

成大先 主编

# 机械设计手册

第五版

第 1 卷

HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN



化学工业出版社



# 权威实用 内容齐全 简明便查

## 这是一部机械设计史上的功勋图书

历时四十载，是我国机械工业的编年史，它对我国机械工业发展的贡献已超过手册本身。

## 这是一部引起轰动的工具书

1969年的第一版是新中国第一部大型机械设计工具书。目前修订至第五版，受到无数机械设计和工程技术人员的称颂。

## 这是一部四十年与读者共同成长的图书

很多读者从学生时代就开始使用它，如今看到新版面世，仍然爱不释手，因为它是一生事业中最亲密、最忠诚的伙伴。

## 这更是我们一生追求的事业

从第一版开始，作者和编辑们就四十年如一日，孜孜以求，不敢有丝毫的马虎和懈怠，把它作为毕生追求的事业。

HANDBOOK  
MECHANICAL  
DESIGN

ISBN 978-7-122-01408-5



9 787122 014085 >

销售分类建议：机械/机械设计

定价：130.00元

TH122/8=7

:1

2008

# 机械设计手册

第五版

第 **1** 卷

主编单位 中国有色工程设计研究总院

主 编 成大先

副主编 王德夫 姬奎生 韩学铨

姜 勇 李长顺 王雄耀

HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN



化学工业出版社

· 北 京 ·



《机械设计手册》第五版共5卷,涵盖了机械常规设计的所有内容。其中第1卷包括一般设计资料,机械制图、极限与配合、形状和位置公差及表面结构,常用机械工程材料,机构;第2卷包括连接与紧固,轴及其连接,轴承,起重运输机械零部件,操作件、小五金及管件;第3卷包括润滑与密封,弹簧,螺旋传动、摩擦轮传动,带、链传动,齿轮传动;第4卷包括多点啮合柔性传动,减速器、变速器,常用电机、电器及电动(液)推杆与升降机,机械振动的控制及利用,机架设计,塑料制品与塑料注射成型模具设计;第5卷包括液压传动,液压控制,气压传动等。

《机械设计手册》第五版是在总结前四版的成功经验,考虑广大读者的使用习惯及对《机械设计手册》提出新要求的基础上进行编写的。《机械设计手册》保持了前四版的风格、特色和品位:突出实用性,从机械设计人员的角度考虑,合理安排内容取舍和编排体系;强调准确性,数据、资料主要来自标准、规范和其他权威资料,设计方法、公式、参数选用经过长期实践检验,设计举例来自工程实践;反映先进性,增加了许多适合我国国情、具有广阔应用前景的新材料、新方法、新技术、新工艺,采用了最新的标准、规范,广泛收集了具有先进水平并实现标准化的新产品;突出了实用、便查的特点。

《机械设计手册》可作为机械设计人员和有关工程技术人员的工具书,也可供高等院校有关专业师生参考使用。

#### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计手册.第1卷/成大先主编.—5版.—北京:  
化学工业出版社,2007.11  
ISBN 978-7-122-01408-5

I.机… II.成… III.机械设计-技术手册  
IV.TH122-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第164153号

---

责任编辑:周国庆 张兴辉 王 焯 贾 娜 文字编辑:闫 敏 张燕文 项 激  
责任校对:顾淑云 周梦华 装帧设计:尹琳琳

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张104½ 字数3791千字

1969年6月第1版 2008年4月北京第5版第28次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:130.00元

版权所有 违者必究

京化广临字2008—9号

# 撰稿人员

- |     |                    |      |                |
|-----|--------------------|------|----------------|
| 成大先 | 中国有色工程设计研究总院       | 徐 华  | 西安交通大学         |
| 王德夫 | 中国有色工程设计研究总院       | 陈立群  | 西北轻工业学院        |
| 刘世参 | 《中国表面工程》杂志、装甲兵工程学院 | 谢振宇  | 南京航空航天大学       |
| 姬奎生 | 中国有色工程设计研究总院       | 陈应斗  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 韩学铨 | 北京石油化工工程公司         | 张奇芳  | 沈阳铝镁设计研究院      |
| 余梦生 | 北京科技大学             | 肖治彭  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 高淑之 | 北京化工大学             | 邹舜卿  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 柯蕊珍 | 中国有色工程设计研究总院       | 邓述慈  | 西安理工大学         |
| 王欣玲 | 机械科学研究院            | 秦 毅  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 陶兆荣 | 中国有色工程设计研究总院       | 周凤香  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 孙东辉 | 中国有色工程设计研究总院       | 朴树寰  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 李福君 | 中国有色工程设计研究总院       | 杜子英  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 阮忠唐 | 西安理工大学             | 汪德涛  | 广州机床研究所        |
| 熊绮华 | 西安理工大学             | 朱 炎  | 中国航宇救生装置公司     |
| 雷淑存 | 西安理工大学             | 王鸿翔  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 田惠民 | 西安理工大学             | 郭 永  | 山西省自动化研究所      |
| 殷鸿樑 | 上海工业大学             | 厉始忠  | 机械科学研究院        |
| 齐维浩 | 西安理工大学             | 厉海祥  | 武汉理工大学         |
| 曹惟庆 | 西安理工大学             | 欧阳志喜 | 宁波双林汽车部件股份有限公司 |
| 关天池 | 中国有色工程设计研究总院       | 段慧文  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 房庆久 | 中国有色工程设计研究总院       | 姜 勇  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 李建平 | 北京航空航天大学           | 徐永年  | 郑州机械研究所        |
| 李安民 | 机械科学研究院            | 梁桂明  | 河南科技大学         |
| 李维荣 | 机械科学研究院            | 张光辉  | 重庆大学           |
| 丁宝平 | 机械科学研究院            | 罗文军  | 重庆大学           |
| 梁全贵 | 中国有色工程设计研究总院       | 沙树明  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 王淑兰 | 中国有色工程设计研究总院       | 谢佩娟  | 太原理工大学         |
| 林基明 | 中国有色工程设计研究总院       | 余 铭  | 无锡市万向轴厂        |
| 王孝先 | 中国有色工程设计研究总院       | 陈祖元  | 广东工业大学         |
| 童祖楹 | 上海交通大学             | 陈仕贤  | 北京航空航天大学       |
| 刘清廉 | 中国有色工程设计研究总院       | 郑自求  | 四川理工学院         |
| 许文元 | 天津工程机械研究所          | 贺元成  | 泸州职业技术学院       |
| 孔庆堂 | 北京新兴超越离合器有限公司      | 季泉生  | 济南钢铁集团         |
| 孙永旭 | 北京古德机电技术研究所        | 方 正  | 中国重型机械研究院      |
| 丘大谋 | 西安交通大学             | 马敬勋  | 济南钢铁集团         |
| 诸文俊 | 西安交通大学             | 冯彦宾  | 四川理工学院         |



- |     |                   |     |                       |
|-----|-------------------|-----|-----------------------|
| 袁 林 | 四川理工学院            | 周 靖 | 中冶京城工程技术有限公司          |
| 王春和 | 北方工业大学            | 崔桂芝 | 北方工业大学                |
| 周朗晴 | 中国有色工程设计研究总院      | 张若青 | 北方工业大学                |
| 孙夏明 | 北方工业大学            | 王 侃 | 北方工业大学                |
| 黄吉平 | 宁波市镇海减变速机制造有限公司   | 张常年 | 北方工业大学                |
| 陈宗源 | 中冶集团重庆钢铁设计研究院     | 朱宏军 | 北方工业大学                |
| 张 翌 | 北京太富力传动机器有限责任公司   | 佟 新 | 中国有色工程设计研究总院          |
| 蔡学熙 | 连云港化工矿山设计研究院      | 禚有雄 | 天津大学                  |
| 姚光义 | 连云港化工矿山设计研究院      | 林少芬 | 集美大学                  |
| 沈益新 | 连云港化工矿山设计研究院      | 卢长耿 | 集美大学                  |
| 钱亦清 | 连云港化工矿山设计研究院      | 吴根茂 | 浙江大学                  |
| 于 琴 | 连云港化工矿山设计研究院      | 魏建华 | 浙江大学                  |
| 蔡学坚 | 邢台地区经济委员会         | 钟荣龙 | 厦门海特液压机械工程有限公司        |
| 虞培清 | 浙江长城减速机有限公司       | 黄 畚 | 北京科技大学                |
| 项建忠 | 浙江通力减速机有限公司       | 王雄耀 | 费斯托 (FESTO) (中国) 有限公司 |
| 阮劲松 | 宝鸡市广环机床责任有限公司     | 彭光正 | 北京理工大学                |
| 纪盛青 | 东北大学              | 张百海 | 北京理工大学                |
| 付宏生 | 北京电子科技职业学院设计与工艺学院 | 王 涛 | 北京理工大学                |
| 张海臣 | 深圳海翔铭公司           | 陈金兵 | 北京理工大学                |
| 黄效国 | 北京科技大学            | 包 钢 | 哈尔滨工业大学               |
| 陈新华 | 北京科技大学            | 蒋友谅 | 北京理工大学                |
| 李长顺 | 中国有色工程设计研究总院      | 刘福祐 | 中国有色工程设计研究总院          |
| 刘秀利 | 中国有色工程设计研究总院      | 史习先 | 中国有色工程设计研究总院          |
| 宋天民 | 北京钢铁设计研究总院        |     |                       |

## 审 稿 人 员

- |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 余梦生 | 成大先 | 王德夫 | 强 毅 | 房庆久 | 李福君 | 钟云杰 | 郭可谦 |
| 姬奎生 | 王春九 | 韩学铨 | 段慧文 | 邹舜卿 | 汪德涛 | 陈应斗 | 刘清廉 |
| 李继和 | 徐 智 | 郭长生 | 吴宗泽 | 李长顺 | 陈谌闻 | 饶振纲 | 季泉生 |
| 林 鹤 | 黄靖远 | 武其俭 | 洪允楣 | 蔡学熙 | 张红兵 | 朱天仕 | 唐铁城 |
| 卢长耿 | 宋京其 | 姜 勇 | 吴 筠 | 徐文灿 | 史习先 |     |     |

## 编 辑 人 员

- |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 周国庆 | 张兴辉 | 王 焯 | 贾 娜 | 张红兵 | 郭长生 | 任文斗 | 黄 滢 |
| 周 红 | 李军亮 | 辛 田 | 张燕文 | 闫 敏 | 项 澈 |     |     |

# 第五版前言

《机械设计手册》自1969年第一版出版发行以来,已经修订至第五版,累计销售量超过120万套,成为新中国成立以来,在国内影响力最强、销售量最大的机械设计工具书。作为国家级的重点科技图书,《机械设计手册》多次获得国家和省部级奖励。其中,1978年获全国科学大会科技成果奖,1983年获化工部优秀科技图书奖,1995年获全国优秀科技图书二等奖,1999年获全国化工科技进步二等奖,2002年获石油和化学工业优秀科技图书一等奖,2003年获中国石油和化学工业科技进步二等奖。1986~2002年,连续被评为全国优秀畅销书。

与时俱进、开拓创新,实现实用性、可靠性和创新性的最佳结合,协助广大机械设计人员开发出更新更好的产品,适应市场和生产需要,提高市场竞争力和国际竞争力,这是《机械设计手册》一贯坚持、不懈努力的最高宗旨。

《机械设计手册》第四版出版发行至今已有6年多的时间,在这期间,我们进行了广泛的调查研究,多次邀请了机械方面的专家、学者座谈,倾听他们对第五版修订的建议,并深入设计院所、工厂和矿山的第一线,向广大设计工作者了解《手册》的应用情况和意见,及时发现、收集生产实践中出现的新经验和新问题,多方位、多渠道跟踪、收集国内外涌现出来的新技术、新产品,改进和丰富《手册》的内容,使《手册》更具鲜活力,以最大限度地快速提高广大机械设计人员自主创新的能力,适应建设创新型国家的需要。

《手册》第五版的具体修订情况如下。

## 一、在提高产品开发、创新设计方面

1. 开辟了“塑料制品与塑料注射成型模具设计”篇:介绍了塑料产品和模具设计的相关基础资料、注塑成型的常见缺陷和对策。

2. 机械传动部分:增加了点线啮合传动设计;增加了符合ISO国际最新标准的渐开线圆柱齿轮的设计;补充并完善了非零变位锥齿轮设计;对多点啮合柔性传动的柔性支撑做了重新分类;增加了塑料齿轮设计。

3. “气压传动”篇全面更新:强调更新、更全、更实用,尽可能把当今国际上已有的新技术、新产品反映出来。汇集的新技术、新产品有:用于抓取和卸放的模块化导向驱动器、气动肌肉、高速阀、阀岛、气动比例伺服阀、压电比例阀、气动软停止、气动的比例气爪、双倍行程无杆气缸、无接触真空吸盘、智能三联件等。第一次把气动驱动器分成两大类型,即普通类气缸和导向驱动装置。普通类气缸实质上是不带导向机构的传统气缸及新型开发的各种气缸,如低摩擦气缸、低速气缸、耐高温气缸、不含铜和四氟乙烯的气缸等。所谓导向驱动装置是让读者根据产品技术参数直接选用,不必再另行设计导轨系统。它将成为今后的发展趋势,强调模块化,即插即用。另外还增补了与气动应用密切相关的其他行业标准、技术的基础性介绍,如气动技术中静电的产生与防止、各国对净化车间压缩空气的分类等级标准;气动元件的防爆等级分类;食品行业对设备气动元件等的卫生要求;在电子行业不含铜和四氟乙烯产品等。

4. 收集了钢丝绳振动的分析资料。

## 二、在促进新产品设计和加工制造的新工艺设计方面

1. 进一步扩充了表面技术,在介绍多种单一表面技术基础上又新增了复合表面技术的基本原理、适用场合、选用原则和应用实例等内容。



2. 推荐了快速原型制造技术。该技术解决了单件或小批量铸件的制造问题,大大缩短了产品的设计开发周期,可以预见,它必将受到普遍的重视,得到迅速的发展。

3. 节能的形变热处理。如铸造余热淬火,它是利用锻造的余热淬火,既节省了热处理的重新加热,而且得到了较好的力学性能的组合,使淬火钢的强度和冲击值同时提高。

### 三、为新产品开发、老产品改造创新,提供新型元器件和新材料方面

1. 左右螺纹防松螺栓:生产实践证明防松效果良好,而且结构简单,操作方便,是防松设计的一种新的、好的设计思路。

2. 集成式新型零部件:包括一些新型的联轴器、离合器、制动器、带减速器的电机等,这种集成式零部件增加了产品功能,减少了零件数,既节材又省工。

3. 节能产品:介绍了节能电机。

4. 新型材料:在零部件设计工艺性部分和材料篇分别阐述了“蠕墨铸铁”和“镁合金”的工艺特性和主要技术参数。“蠕墨铸铁”具有介于灰铸铁和球墨铸铁之间的良好性能。其抗拉强度、屈服强度高于高强度灰铸铁,而低于球墨铸铁,热传导性、耐热疲劳性、切削加工性和减振性又近似于一般灰铸铁;它的疲劳极限和冲击韧度虽不如球墨铸铁,但明显优于灰铸铁;它的铸造性能接近于灰铸铁,制造工艺简单,成品率高,因而具有广泛的条件,如:(1)由于强度高,对于断面的敏感性小,铸造性好,因而可用来制造复杂的大型零件;(2)由于具有较高的力学性能,并具有良好的导热性,因而常用来制造在热交换以及有较大温度梯度下工作的零件,如汽车制动盘、钢锭模等;(3)由于强度较高、致密性好,可用来代替孕育铸铁件,不仅节约了废钢,减轻了铸件重量(碳当量较高,强度却比灰铸铁高),而且成品率也大幅度提高,特别是铸件气密性增加,特别适用于液压件的生产等。“镁合金”的主要特点是密度低、比刚度和比强度高。铸造镁合金还有高的减振性,因此能承受较大的冲击振动载荷,而且在受冲击及摩擦时不会起火花。镁的体积热容比其他所有金属都低,因此,镁及其合金的另一个主要特性是加热升温与散热降温都比其他金属快;所有金属成形工艺一般都可以用于镁合金的成形加工,其中,压铸(高压铸造)工艺最为常用,镁压铸件精度高、组织细小、均匀、致密,具有良好的性能,因此,镁合金广泛应用于航天、航空、交通运输、计算机、通信器材和消费类电子产品、纺织和印刷等工业。镁合金由于它的优良的力学性能、物理性能等以及材料回收率高,符合环保要求,被称为21世纪最具开发应用前景的“绿色材料”。

### 四、在贯彻推广标准化工作方面

1. 所有产品、材料和工艺方面的标准均全部采用2006年和2007年公布的最新标准资料。

2. 在产品设计资料的编写方面,对许多生产厂家(如气动产品厂家)进行了标准化工作的调查研究,将标准化好的产品作为入选首要条件。应广大读者的要求,在介绍产品时,在备注中增加了产品生产厂名。由于市场经济的实际变化较快,读者必须结合当时的实际情况,进一步作深入调查,了解产品实际生产品种、规格及尺寸,以及产品质量和用户的实际反映,再作选择。

借《机械设计手册》第五版出版之际,再次向参加每版编写的单位和个人表示衷心的感谢!同时也感谢给我们提供大力支持和热忱帮助的单位 and 各界朋友们!特别感谢长沙有色冶金设计研究院的袁学敏、刘天庭、陈雨田,武汉钢铁设计研究总院的刘美珑、刘翔等同志给我们提供帮助!

由于水平有限,调研工作不够全面,修订中难免存在疏漏和不足,恳请广大读者继续给予批评指正。

主 编

# 目 录

## 第 1 篇 一般设计资料

### 第 1 章 常用基础资料和公式 1-3

1 常用资料和数据	1-3
字母	1-3
国内标准代号及各国国家标准代号	1-4
机械传动效率	1-5
常用材料的密度	1-6
松散物料的密度和安息角	1-6
材料弹性模量及泊松比	1-7
摩擦因数	1-8
金属材料熔点、热导率及比热容	1-10
材料线胀系数 $\alpha_t$	1-10
液体材料的物理性能	1-11
气体材料的物理性能	1-11
2 法定计量单位和常用单位换算	1-12
2.1 法定计量单位	1-12
用于构成十进倍数单位和分数单位的	
SI 词头 (摘自 GB 3100—1993)	1-12
常用物理量的法定计量单位 (摘自	
GB 3102.1~3102.7—1993)	1-12
2.2 常用单位换算	1-30
长度单位换算	1-30
面积单位换算	1-30
体积、容积单位换算	1-31
质量单位换算	1-31
密度单位换算	1-31
速度单位换算	1-32
角速度单位换算	1-32
质量流量单位换算	1-32
体积流量单位换算	1-33

压力单位换算	1-33
力单位换算	1-34
力矩、转矩单位换算	1-34
功、能、热量单位换算	1-34
功率单位换算	1-35
比能单位换算	1-36
比热容与比焓单位换算	1-36
传热系数单位换算	1-36
热导率单位换算	1-36
黑色金属硬度及强度换算值之一 (摘自	
GB/T 1172—1999)	1-37
黑色金属硬度及强度换算值之二 (摘自	
GB/T 1172—1999)	1-38
3 优先数和优先数系	1-38
3.1 优先数系 (摘自 GB/T 321—2005、	
GB/T 19763—2005)	1-38
3.2 优先数的应用示例	1-41
4 数表与数学公式	1-44
4.1 数表	1-44
二项式系数 $\binom{n}{p}$	1-44
正多边形的圆内切、外接时, 其几何	
尺寸	1-45
弓形几何尺寸	1-45
4.2 物理科学和技术中使用的数学符号	
(摘自 GB 3102.11—1993)	1-46
4.3 数学公式	1-51
代数	1-51
平面三角	1-55
复数	1-59



坐标系及坐标变换	1-60	5.7 压杆、梁与壳的稳定性	1-168
常用曲线	1-61	等断面立柱受压稳定性计算	1-168
几种曲面	1-65	变断面立柱受压稳定性计算	1-175
微积分	1-66	梁的稳定性	1-175
不定积分法则和公式	1-67	线弹性范围壳的临界载荷	1-180
定积分及公式	1-69	<b>第2章 铸件设计的工艺性和铸件</b>	
微积分的应用	1-70	<b>结构要素</b>	1-181
常微分方程	1-74	1 铸造技术发展趋势及新一代精确铸造	
拉氏变换	1-75	技术	1-181
应用拉氏变换解常系数线性微分		2 常用铸造金属的铸造性和结构特点	1-190
方程	1-77	铸铁和铸钢的特性与结构特点	1-190
传递函数	1-78	用灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁制造	
矩阵	1-78	汽车零件和钢锭模的技术经济比较	1-192
常用几何体的面积、体积及重心		常用铸造有色合金的特性与结构	
位置	1-87	特点	1-194
5 常用力学公式	1-89	3 铸件的结构要素	1-195
5.1 运动学、动力学基本公式	1-89	最小壁厚	1-195
运动学基本公式	1-89	外壁、内壁与筋的厚度	1-196
动力学基本公式	1-90	壁的连接	1-196
转动惯量	1-92	壁厚的过渡	1-197
一般物体旋转时的转动惯量	1-93	最小铸孔	1-197
常用旋转体的转动惯量	1-100	铸造内圆角及过渡尺寸	
5.2 材料力学基本公式	1-101	(JB/ZQ 4255—1997)	1-198
主应力及强度理论公式	1-101	铸造外圆角 (JB/ZQ 4256—1997)	1-198
许用应力与安全系数	1-107	铸造斜度	1-199
截面力学特性的计算公式	1-110	法兰铸造过渡斜度	
各种截面的力学特性	1-111	(JB/ZQ 4254—1997)	1-199
杆件计算的基本公式	1-119	凸出部分最小尺寸	
受静载荷梁的内力及变位计算公式	1-123	(JB/ZQ 4169—1997)	1-199
单跨刚架计算公式	1-144	加强筋	1-199
5.3 接触应力	1-147	孔边凸台	1-200
5.4 动荷应力	1-151	内腔	1-200
惯性力引起的动应力	1-151	凸座	1-200
冲击载荷计算公式	1-153	4 铸造公差 (摘自 GB/T 6414—1999)	1-200
振动应力	1-154	5 铸件设计的一般注意事项 (摘自	
5.5 厚壁圆筒、等厚圆盘及薄壳中的		JB/ZQ 4169—1997)	1-201
应力	1-155	6 铸铁件 (摘自 JB/T 5000.4—1998)、	
厚壁圆筒计算公式	1-155	铸钢件 (摘自 JB/T 5000.6—1998)、	
等厚旋转圆盘计算公式	1-157	有色金属铸件 (摘自 JB/T 5000.5—	
薄壳中应力与位移计算公式	1-157	1998) 等铸件通用技术条件	1-209
5.6 平板中的应力	1-160		

### 第3章 锻造和冲压设计的工艺性及结构要素

1 锻造	1-210
1.1 金属材料的可锻性	1-210
1.2 锻造零件的结构要素 (摘自 GB/T 12361—2003、JB/T 9177—1999)	1-211
模锻斜度 (摘自 GB/T 12361—2003)	1-211
圆角半径 (摘自 GB/T 12361—2003、JB/T 9177—1999)	1-211
截面形状变化部位外圆角半径值 (a) 和内圆角半径值 (b) (摘自 GB/T 12361—2003)	1-212
收缩截面、多台阶截面、齿轮轮辐、曲轴的凹槽圆角半径 (摘自 JB/T 9177—1999)	1-212
最小底厚 (摘自 JB/T 9177—1999)	1-213
最小壁厚、筋宽及筋端圆角半径 (摘自 JB/T 9177—1999)	1-214
腹板最小厚度 (摘自 JB/T 9177—1999)	1-215
最小冲孔直径、盲孔和连皮厚度 (摘自 JB/T 9177—1999)	1-215
扁钢辗成圆柱形端尺寸	1-216
圆钢锤扁尺寸	1-216
1.3 锻件设计注意事项	1-216
2 冲压	1-218
2.1 冷冲压零件推荐用钢	1-218
2.2 冷冲压件的结构要素	1-219
冲裁件的结构要素 (摘自 JB/T 4378.1—1999)	1-219
弯曲件的结构要素 (摘自 JB/T 4378.1—1999)	1-219
拉深件和翻孔件的结构要素	1-220
铁皮咬口类型、用途和余量	1-221
卷边直径	1-221
通风罩冲孔 (摘自 JB/ZQ 4262—1997)	1-222
零件弯角处必须容纳另一个直角零件的做法	1-222

最小可冲孔眼的尺寸 (为板厚的倍数)	1-222
翻孔尺寸及其距离边缘的最小距离	1-222
加固筋的形状、尺寸及间距	1-223
弯曲件尾部弯出长度	1-223
冲出凸部的高度	1-223
箱形零件的圆角半径、法兰边宽度和工件高度	1-223
冲裁件最小许可宽度与材料的关系	1-223
箍压时直径缩小的合理比例	1-223
2.3 冲压件的尺寸和角度公差、形状和位置未注公差 (摘自 GB/T 13914、13915、13916—2002)、未注公差尺寸的极限偏差 (摘自 GB/T 15055—1994)	1-224
平冲压件和成形冲压件尺寸公差	1-224
冲压件形状和位置未注公差 (摘自 GB/T 13916—2002)	1-229
2.4 冷挤压件结构要素	1-230
冷挤压件的分类	1-231
确定结构要素的一般原则	1-231
冷挤压件结构要素	1-232
2.5 冷冲压、冷挤压零件的设计注意事项	1-232
3 锻件通用技术条件 (碳素钢和合金结构钢) (摘自 JB/T 5000.8—1998)	1-235

### 第4章 焊接和铆接设计工艺性

1 焊接	1-236
1.1 金属常用焊接方法分类、特点及应用	1-236
1.2 金属的可焊性	1-240
钢的可焊性	1-240
铸铁的可焊性	1-241
有色金属的可焊性	1-242
常用异种金属间的可焊性	1-243
1.3 焊接材料及其选择	1-246
不同焊接方法采用的焊接材料及其作用	1-246
焊条、焊丝及焊剂的分类、特点和应用	1-249

对焊条、焊丝及焊剂工艺性能的要求 .....	1-256	接规线、最小弯曲半径及截切 ...	1-351
不同药皮类型焊条工艺性等比较 .....	1-258	等边角钢 .....	1-351
选择焊条的基本原则 .....	1-260	不等边角钢 .....	1-353
几种常用钢材的焊条选择举例 .....	1-261	热轧普通槽钢 .....	1-355
几种常用钢材埋弧焊焊剂与焊丝的选配举例 .....	1-266	热轧普通工字钢 .....	1-356
焊条的型号和牌号 .....	1-271	板材最小弯曲半径 .....	1-357
不锈钢焊条型号表示 .....	1-273	管材最小弯曲半径 .....	1-358
焊条、焊丝和焊剂 .....	1-280	扁钢、圆钢弯曲的推荐尺寸 .....	1-359
1.4 焊缝 .....	1-304	角钢坡口弯曲 $c$ 值 .....	1-360
焊接及相关工艺方法代号及注法 (摘自 GB/T 5185—2005) .....	1-304	角钢截切角推荐值 .....	1-360
焊缝符号表示方法 (摘自 GB/T 324—1988、GB/T 12212—1990) .....	1-305	3 焊接件通用技术条件 (摘自 JB/T 5000.3—1998) .....	1-360
碳钢、低合金钢焊缝坡口的基本型式与尺寸 (摘自 GB/T 985—1988) .....	1-318	<b>第5章 零部件冷加工设计工艺性与结构要素</b> .....	1-362
不同厚度钢板的对接焊接 .....	1-322	1 金属材料的切削加工性 .....	1-362
有色金属焊接坡口型式及尺寸 .....	1-322	2 一般标准 .....	1-365
焊缝强度计算 .....	1-323	标准尺寸 (摘自 GB/T 2822—2005) ...	1-365
焊缝许用应力 .....	1-327	标准角度 (参考) .....	1-366
1.5 焊接结构的一般尺寸公差和形位公差 (摘自 GB/T 19804—2005) .....	1-329	锥度与锥角系列 (摘自 GB/T 157—2001) .....	1-366
角度尺寸公差 .....	1-329	棱体的角度与斜度 (摘自 GB/T 4096—2001) .....	1-367
1.6 钎焊 .....	1-331	莫氏和公制锥度 (附斜度对照) .....	1-368
各种钎焊方法的比较及应用范围 .....	1-331	60°中心孔 (摘自 GB/T 145—2001) .....	1-368
钎料和钎剂的选择原则 .....	1-332	75°、90°中心孔 .....	1-369
钎料的选择 .....	1-333	零件倒圆与倒角 (摘自 GB/T 6403.4—1986) .....	1-369
典型钎焊的接头型式 .....	1-334	球面半径 (摘自 GB/T 6403.1—1986) .....	1-370
钎焊接头的间隙 .....	1-335	圆形零件自由表面过渡圆角半径和静配合连接轴用倒角 .....	1-370
钎料 .....	1-336	燕尾槽 (摘自 JB/ZQ 4241—1997) .....	1-370
钎剂 .....	1-340	T形槽 (摘自 GB/T 158—1996) ...	1-371
1.7 塑料焊接 .....	1-343	砂轮越程槽 (摘自 GB/T 6403.5—1986) .....	1-372
热塑性塑料的可焊性 .....	1-343	刨切、插、珩磨越程槽 .....	1-373
塑料焊接温度 .....	1-343	退刀槽 (摘自 JB/ZQ 4238—1997) .....	1-373
硬聚氯乙烯塑料焊接接头型式及尺寸 .....	1-343	滚人字齿轮退刀槽 (摘自	
1.8 焊接结构设计注意事项 .....	1-344		
2 铆接 .....	1-350		
2.1 铆接设计注意事项 .....	1-350		
2.2 型钢焊接接头尺寸、螺栓和铆钉连			

JB/ZQ 4238—1997) .....	1-374	2 有色金属热处理 .....	1-464
弧形槽端部半径 (摘自		2.1 有色金属材料热处理方法及	
GB 1127—1997) .....	1-374	选用 .....	1-464
分度盘和标尺刻度 (摘自		2.2 铝及铝合金热处理 .....	1-465
JB/ZQ 4260—1997) .....	1-375	变形铝合金的热处理方法和应用 .....	1-465
滚花 (摘自		铸造铝合金的热处理方法和应用 .....	1-467
GB/T 6403.3—1986) .....	1-375	2.3 铜及铜合金热处理 .....	1-468
锯缝尺寸 (摘自		2.4 钛及钛合金热处理 .....	1-469
JB/ZQ 4246—1997) .....	1-375	2.5 镁合金的热处理 .....	1-470
3 冷加工设计注意事项 .....	1-376	<b>第7章 表面技术</b> .....	1-473
4 切削加工件通用技术条件 (重型机械)		1 表面技术的分类和功能 .....	1-473
(摘自 JB/T 5000.9—1998) .....	1-387	1.1 表面技术的含义和分类 .....	1-473
<b>第6章 热处理</b> .....	1-390	1.2 表面技术的功能 .....	1-474
1 钢铁热处理 .....	1-390	2 不同表面技术的特点 .....	1-477
1.1 铁-碳合金平衡图及钢的结构		2.1 表面技术的特点与应用 .....	1-477
组织 .....	1-390	2.2 各种薄膜气相沉积技术的特点	
1.2 热处理方法分类、特点和应用 .....	1-392	对比 .....	1-485
整体热处理方法、特点和应用 .....	1-392	3 电镀 .....	1-486
表面热处理、化学热处理方法、特点		电镀层的分类 .....	1-487
和应用 .....	1-397	金属镀层的特点及应用 .....	1-488
形变热处理方法、特点和应用 .....	1-403	镀层选择 .....	1-489
1.3 常用材料的热处理 .....	1-412	4 复合电镀 .....	1-492
材料在热处理中的特性 .....	1-412	复合电镀的优缺点 .....	1-492
淬透性曲线图及其应用 .....	1-414	复合电镀的类型和应用 .....	1-492
合金元素对钢组织性能和热处理		5 (电)刷镀 .....	1-494
工艺的影响 .....	1-417	不同工况下镀层的选择 .....	1-494
常用材料的工作条件和热处理 .....	1-420	在不同金属材料上的电刷镀 .....	1-495
1.4 如何正确地提出零件的热处理		单一镀层安全厚度和夹心镀层 .....	1-496
要求 .....	1-431	6 纳米复合电刷镀 .....	1-496
工作图上应注明的热处理要求 .....	1-431	纳米复合电刷镀技术原理、特点和	
金属热处理工艺分类及代号的表示方法		应用 .....	1-496
(摘自 GB/T 12603—1990) .....	1-432	纳米复合电刷镀层的性能 .....	1-497
热处理技术要求在零件图上的表示方法		7 热喷涂 .....	1-499
(摘自 JB/T 8555—1997) .....	1-434	不同热喷涂方法的技术特性比较 .....	1-500
常见的热处理技术要求的标注错例 .....	1-438	喷涂基体表面基本设计要求 .....	1-501
制定热处理要求的要点 .....	1-439	热喷涂材料的选择原则 .....	1-501
几类典型零件的热处理实例 .....	1-446	涂层类别、特性及其喷涂材料选择 .....	1-502
1.5 热处理对零件结构设计的要求 .....	1-454	热喷涂应用实例 .....	1-507
一般要求 .....	1-454	8 塑料粉末热喷涂 .....	1-510
感应加热表面淬火的特殊要求 .....	1-462	塑料粉末热喷涂的特点、涂料类别、	



涂层性能和应用 .....	1-511	15 复合表面技术 .....	1-539
塑料粉末喷涂方法的原理、特点和 应用 .....	1-512	15.1 以增强耐磨性为主的复合 涂层 .....	1-539
塑料涂层的应用实例 .....	1-513	电镀、化学镀复合材料及其复合 涂层 .....	1-539
塑料喷涂对被涂件结构的一般要求 ..	1-514	多层涂层 .....	1-542
9 粉末渗镀锌 (摘自 JB/T 5067—1999) .....	1-514	功能梯度涂层 .....	1-545
镀层厚度等级及厚度值 .....	1-514	含表面热处理的复合强化层 .....	1-546
10 化学镀、热浸镀、真空镀膜 .....	1-515	含激光处理的复合强化层及其他表面 技术的复合 .....	1-550
化学镀、热浸镀、真空镀膜的特点及 应用 .....	1-515	15.2 以增强耐蚀性为主的复合 涂层 .....	1-554
离子镀 TiN、TiC 化合物镀膜 .....	1-516	耐蚀复合镀层和多层镍-铬镀层 .....	1-554
11 化学转化膜法 (金属的氧化、磷化和 钝化处理) 和金属着色处理 .....	1-516	镍镉扩散镀层和金属-非金属复合 涂层 .....	1-555
金属的氧化、磷化和钝化处理的特点与 应用 .....	1-516	有机复合膜层 .....	1-557
金属着色处理 .....	1-517	自蔓延技术制备钢基陶瓷复合材料和 耐高温热腐蚀复合涂层 .....	1-558
12 喷丸、滚压和表面纳米化 .....	1-518	15.3 以增强固体润滑性为主的复合 涂层 .....	1-561
喷丸原理与应用 .....	1-518	复合镀固体润滑材料和气相沉积复合膜 和多层膜 .....	1-561
滚压原理与参数 .....	1-518	含扩渗改性的表面膜层 .....	1-565
滚珠滚压加工对碳钢零件表面性质的 改善程度 .....	1-519	金属塑料复合材料 .....	1-567
表面强化使疲劳强度增加的百分数 ..	1-519	黏结固体润滑膜 .....	1-568
各种表面强化方法的特点 .....	1-520	15.4 以提高疲劳强度等综合性能的表 面复合涂层 .....	1-571
表面纳米化 .....	1-520	16 陶瓷涂层 .....	1-572
13 高能束表面强化技术 .....	1-521	17 表面技术的设计选择 .....	1-575
高能束表面强化技术的含义、特点及 比较 .....	1-521	17.1 表面 (复合表面) 技术设计选择 的一般原则 .....	1-575
激光束、电子束表面强化和离子束 注入技术的分类、特点及应用 .....	1-521	17.2 涂覆层界面结合的类型、原理和 特点 .....	1-578
14 涂装 .....	1-528	17.3 镀层和不同材料相互接触时的 接触腐蚀等级 .....	1-580
涂装技术的涂层体系和涂料的设计 选用 .....	1-528	17.4 镀层厚度系列及应用范围 .....	1-581
按不同因素选择涂料 .....	1-529	17.5 不同金属及合金基体材料的镀覆 层的选择 .....	1-587
耐热涂层 .....	1-532	17.6 表面处理的表示方法 .....	1-588
三防 (防湿热、防盐雾、防霉菌) 涂层系统 .....	1-533	金属镀覆和化学处理 .....	1-588
各种涂装类别所用油漆的通用技术要求 (摘自 JB/T 5000.12—1998) .....	1-535	表面涂料涂覆 (摘自	
涂装通用技术条件 (摘自 JB/T 5000.12—1998) .....	1-537		

GB/T 4054—1983)	1-590	1.5 工程用塑料零件的设计注意	1-626
18 有色金属表面处理	1-591	事项	1-626
铝及铝合金的氧化与着色	1-591	2 粉末冶金零件设计要素	1-629
镁合金的表面处理	1-594	2.1 粉末冶金的特点及主要用途	1-629
<b>第8章 装配工艺性</b>	1-597	2.2 粉末冶金零件最小厚度、尺寸范围及其精度	1-629
1 装配类型和方法	1-597	2.3 粉末冶金零件设计注意事项	1-629
2 装配工艺设计注意事项	1-597	<b>第10章 人机工程学有关功能参数</b>	1-632
3 转动件的平衡	1-606	1 人体尺寸百分位数在产品中的应用	1-632
3.1 基本概念	1-606	1.1 人体尺寸百分位数的选择 (摘自 GB/T 12985—1991)	1-632
3.2 静平衡和动平衡的选择	1-607	1.2 以主要百分位和年龄范围的中国成人人体尺寸数据 (摘自 GB/T 10000—1988)	1-634
3.3 平衡品质的确定 (摘自 GB/T 9239—1988)	1-607	1.3 工作空间人体尺寸 (摘自 GB/T 13547—1992)	1-640
3.4 转子许用不平衡量向校正平面的分配 (摘自 GB/T 9239—1988)	1-609	人体立姿尺寸	1-640
3.5 转子平衡品质等级在图样上的标注方法 (参考)	1-611	人体坐姿、跪姿、俯卧姿及爬姿尺寸	1-641
4 装配通用技术条件 (摘自 JB/T 5000.10—1998)	1-612	1.4 工作岗位尺寸设计的原则及其数值 (摘自 GB/T 14776—1993)	1-643
4.1 一般要求	1-612	1.4.1 工作岗位尺寸设计	1-645
4.2 装配连接方式	1-612	1.4.2 工作岗位尺寸设计举例	1-647
4.3 典型部件的装配	1-613	2 人体必需和可能的活动空间	1-649
4.3.1 滚动轴承	1-613	2.1 人体必需的空间	1-649
4.3.2 滑动轴承	1-614	2.2 人手运动的范围	1-649
4.3.3 齿轮与齿轮箱装配	1-616	2.3 上肢操作时的最佳运动区域	1-649
4.3.4 带和链传动装配	1-616	2.4 腿和脚运动的范围	1-649
4.3.5 联轴器装配	1-617	3 操作者有关尺寸	1-650
4.3.6 制动器、离合器装配	1-617	3.1 坐着工作时手工操作的最佳尺寸	1-650
4.4 平衡试验及其他	1-617	3.2 工作坐位的推荐尺寸	1-651
4.5 总装及试车	1-618	3.3 运输工具的坐位及驾驶室尺寸	1-652
5 配管通用技术条件 (摘自 JB/T 5000.11—1998)	1-618	3.4 站着工作时手工操作的有关尺寸	1-652
<b>第9章 工程用塑料和粉末冶金零件设计要素</b>	1-622	4 手工操作的主要数据	1-653
1 工程用塑料零件设计要素	1-622	4.1 操作种类和人力关系	1-653
1.1 塑料分类、成形方法及应用	1-622	4.2 操纵机构的功能参数及其选择	1-655
1.2 工程常用塑料的选用	1-623	5 工业企业噪声有关数据	1-657
1.3 工程用塑料零件的结构要素	1-624		
1.4 塑料零件的尺寸公差和塑料轴承的配合间隙	1-625		

6	照明	1-658
7	综合环境条件的不同舒适度区域和振动引起疲劳的极限时间	1-658
8	安全隔栅及其他	1-659
8.1	安全隔栅	1-659
8.2	梯子 (摘自 GB 4053.1, 4053.2—1993) 及防护栏杆 (摘自 GB 4053.3—1993)	1-660
8.3	倾斜通道	1-662
<b>第11章 符合造型、载荷、材料等因素要求的零部件结构设计准则</b> 1-663		
1	符合造型要求的结构设计准则	1-663
2	符合载荷要求的结构设计准则	1-664
3	符合公差要求的结构设计准则	1-669
4	符合材料及其相关因素要求的结构设计准则	1-671
	铸钢、铸铁件等及材料相关因素要求	

的结构设计准则	1-671
镁合金件合理的结构设计	1-674

<b>第12章 装运要求及设备基础</b> 1-678	
1	装运要求 1-678
1.1	包装通用技术条件 (摘自 JB/T 5000.13—1998) 1-678
1.2	有关运输要求 1-679
2	设备基础设计的一般要求 1-681
2.1	混凝土基础的类型 1-681
2.2	地脚螺栓 1-682
	地脚螺栓的种类和选用 1-683
	地脚螺栓的外露长度 1-683
2.3	设备和基础的连接方法及适应范围 1-683
3	垫铁种类、型式、规格及应用 1-685
<b>参考文献</b> 1-687	



## 机械制图、极限与配合、形状和位置公差及表面结构

<b>第1章 机械制图</b> 2-3	
1	图纸幅面及格式 (摘自 GB/T 14689—1993) 2-3
2	标题栏和明细栏 (摘自 GB/T 10609.1~2—1989) 2-4
3	比例 (摘自 GB/T 14690—1993) 2-4
4	图线 (摘自 GB/T 4457.4—2002) 2-5
5	剖面符号 (摘自 GB/T 4457.5—1984) 2-7
6	图样画法 2-9
6.1	视图 (摘自 GB/T 17451—1998、GB/T 4458.1—2002) 2-9
6.2	剖视图和断面图 (摘自 GB/T 17452—1998、GB/T 4458.6—2002) 2-15

6.3	图样画法的简化表示法 (摘自 GB/T 16675.1—1996) 2-22
7	装配图中零、部件序号及其编排方法 (摘自 GB/T 4458.2—2003) 2-39
8	尺寸注法 2-39
8.1	尺寸注法 (摘自 GB/T 4458.4—2003) 2-39
8.2	尺寸注法的简化表示法 (摘自 GB/T 16675.2—1996) 2-45
9	尺寸公差与配合的标注 (摘自 GB/T 4458.5—2003) 2-55
10	圆锥的尺寸和公差注法 (摘自 GB/T 15754—1995) 2-56
11	螺纹及螺纹紧固件表示法 (摘自 GB/T 4459.1—1995) 2-58
11.1	螺纹的表示方法 2-58

HANDBOOK

11.2 螺纹的标记方法 .....	2-59	3.1 线性和角度尺寸的一般公差的概念 .....	2-153
12 齿轮、花键表示法 (摘自 GB/T 4459.2—2003、GB/T 4459.3—2000) .....	2-62	3.2 一般公差的公差等级和极限偏差数值 .....	2-153
13 弹簧表示法 (摘自 GB/T 4459.4—2003) .....	2-66	3.3 一般公差的标注 .....	2-154
14 中心孔表示法 (摘自 GB/T 4459.5—1999) .....	2-68	4 在高温或低温工作条件下装配间隙的计算 .....	2-154
15 动密封圈表示法 (摘自 GB/T 4459.6—1996) .....	2-69	5 圆锥公差与配合 .....	2-155
16 滚动轴承表示法 (摘自 GB/T 4459.7—1998) .....	2-74	5.1 圆锥公差 (摘自 GB/T 11334—2005) .....	2-155
17 齿轮、弹簧的图样格式 .....	2-80	5.1.1 适用范围 .....	2-155
17.1 齿轮的图样格式 (摘自 GB/T 4459.2—2003) .....	2-80	5.1.2 术语、定义及图例 .....	2-155
17.2 弹簧的图样格式 (摘自 GB/T 4459.4—2003) .....	2-81	5.1.3 圆锥公差的项目和给定方法 .....	2-156
18 技术要求的一般内容与给出方式 (摘自 JB/T 5054.2—2000) .....	2-82	5.1.4 圆锥公差的数值 .....	2-157
19 常用几何画法 .....	2-84	5.2 圆锥配合 (摘自 GB/T 12360—2005) .....	2-159
20 展开图画法 .....	2-88	5.2.1 适用范围 .....	2-159
<b>第2章 极限与配合</b> .....	2-91	5.2.2 术语及定义 .....	2-159
1 极限与配合基础 .....	2-91	5.2.3 圆锥配合的一般规定 .....	2-161
1.1 术语、定义及标法 (摘自 GB/T 1800.1—1997、GB/T 1800.2—1998) .....	2-91	5.2.4 内、外圆锥轴向极限偏差的计算 .....	2-162
1.2 标准公差数值表 (摘自 GB/T 1800.3—1998) .....	2-94	<b>第3章 形状和位置公差</b> .....	2-167
2 公差与配合的选择 .....	2-95	1 术语与定义 (摘自 GB/T 1182—1996、GB/T 4249—1996、GB/T 16671—1996) .....	2-167
2.1 基准制的选择 .....	2-95	2 形位公差带的定义、标注和解释 (摘自 GB/T 1182—1996) .....	2-171
2.2 标准公差等级和公差带的选择 .....	2-95	3 形位公差的符号及其标注 (摘自 GB/T 1182—1996) .....	2-182
2.2.1 标准公差等级的选择 .....	2-95	4 形状和位置公差的选择 .....	2-189
2.2.2 公差带的选择 (摘自 GB/T 1801—1999) .....	2-101	5 形状和位置公差的公差值或数系表及应用举例 .....	2-204
2.3 配合的选择 .....	2-103	直线度、平面度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) .....	2-204
2.4 配合特性及基本偏差的应用 .....	2-103	圆度、圆柱度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) .....	2-206
2.5 应用示例 .....	2-110	同轴度、对称度、圆跳动和全跳动公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) .....	2-208
2.6 孔与轴的极限偏差数值 (摘自 GB/T 1800.4—1999) .....	2-111	平行度、垂直度、倾斜度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) .....	2-210
3 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差 (摘自 GB/T 1804—2000) .....	2-153	形位公差未注公差值 (摘自 GB/T 1184—1996) .....	2-212



<b>第4章 表面结构</b> .....	2-214
1 概述 .....	2-214
1.1 表面结构的概念 .....	2-214
1.2 表面结构标准体系 .....	2-214
2 表面结构参数及其数值 .....	2-215
2.1 表面结构参数 .....	2-215
2.1.1 评定表面结构的轮廓参数 (摘自 GB/T 3505—2000) .....	2-215
2.1.2 基本术语和表面结构参数的 新旧标准对照 .....	2-221
2.1.3 表面粗糙度参数数值及取样 长度 $l$ 与评定长度 $l_n$ 数值 (摘自 GB/T 1031—1995) .....	2-221
2.2 轮廓法评定表面结构的规则和方 法 (摘自 GB/T 10610—1998) .....	2-223
2.2.1 参数测定 .....	2-223
2.2.2 测得值与公差极限值相比较的 规则 .....	2-223
2.2.3 参数评定 .....	2-224
2.2.4 用触针式仪器检验的规则和 方法 .....	2-224
3 产品几何技术规范 (GPS) 技术产品 文件中表面结构的表示法 (摘自 GB/T 131—2006) .....	2-226
3.1 标注表面结构的方法 .....	2-226
3.2 表面结构要求图形标注的新旧	

标准对照 .....	2-233
3.3 表面结构代号的含义及表面结构 要求的标注示例 .....	2-234
4 表面结构参数的选择 .....	2-236
4.1 表面粗糙度对零件功能的影响 .....	2-236
4.2 表面粗糙度参数的选择 .....	2-237
4.3 表面粗糙度参数值的选择 .....	2-237
4.3.1 选用原则 .....	2-238
4.3.2 表面粗糙度参数值选用 实例 .....	2-238

<b>第5章 孔间距偏差</b> .....	2-250
1 孔间距偏差的计算公式 .....	2-250
2 按直接排列孔间距允许偏差 .....	2-251
2.1 连接型式及特性 .....	2-251
2.2 一般精度用孔的孔间距允许偏差 .....	2-252
2.3 精确用孔的孔间距允许偏差 .....	2-252
3 按圆周分布的孔间距允许偏差 .....	2-253
3.1 用两个以上的螺栓及螺钉连接的 孔间距允许偏差 .....	2-253
3.2 用两个螺栓或螺钉及任意数量 螺栓连接的孔间距允许偏差 .....	2-255
3.3 用任意数量螺钉连接的孔间距 允许偏差 .....	2-257
<b>参考文献</b> .....	2-258

## 第3篇 常用机械工程材料

<b>第1章 黑色金属材料</b> .....	3-3
1 黑色金属材料的表示方法 .....	3-3
钢铁产品牌号中化学元素的符号 (摘自 GB/T 221—2000) .....	3-3
钢铁产品牌号中表示名称、用途、特性 和工艺方法的符号 (摘自 GB/T 221—2000) .....	3-3
钢铁产品牌号表示方法举例 (摘自 GB/T 221—2000、GB/T 700—2006) .....	3-4
金属材料力学性能代号及其含义 .....	3-8

2 钢铁材料的分类及技术条件 .....	3-11
2.1 一般用钢 .....	3-11
碳素结构钢 (摘自 GB/T 700—2006) .....	3-11
优质碳素结构钢 (摘自 GB/T 699—1999) 和锻件用碳素 结构钢 (摘自 GB/T 17107—1997) .....	3-13
低合金结构钢 (摘自 GB/T 1591—1994) .....	3-19
合金结构钢 (摘自 GB/T 3077—1999) 和锻件用合金结构钢 (摘自	

HANDBOOK

GB/T 17107—1997) .....	3-22	高硅耐蚀铸铁件 (摘自	
弹簧钢及轴承钢 (摘自		GB/T 8491—1987) .....	3-82
GB/T 1222—1984、		3 钢材 .....	3-83
GB/T 18254—2002) .....	3-38	3.1 钢板 .....	3-83
不锈钢、耐热钢 (摘自		常用钢板、钢带的标准摘要 .....	3-83
GB/T 1220—1992、		热轧钢板和钢带 (摘自	
GB/T 1221—1992) .....	3-41	GB/T 709—2006) .....	3-85
大型不锈、耐酸、耐热钢锻件的化学		冷轧钢板和钢带 (摘自	
成分和力学性能 (摘自		GB/T 708—2006) .....	3-86
JB/T 6398—1992) .....	3-55	钢板每平方米面积理论质量 .....	3-87
工具钢 (摘自 GB/T 1298—1986、		锅炉用钢板 (摘自	
GB/T 1299—2000) .....	3-57	GB 713—1997) .....	3-88
耐候钢 (摘自 GB/T 4172—2000、		压力容器用钢板 (摘自	
GB/T 4171—2000) .....	3-63	GB 6654—1996) .....	3-89
大型轧辊件用钢 (摘自		镀锡板、镀铅板 (摘自	
JB/T 6401—1992) .....	3-65	GB/T 2520—2000、	
2.2 铸钢 .....	3-67	YB/T 5130—1993) .....	3-90
一般工程用铸造碳钢件 (摘自		连续热镀锌钢板及钢带 (摘自	
GB/T 11352—1989) .....	3-67	GB/T 2518—2004) .....	3-91
大型低合金钢铸件 (摘自		不锈钢冷、热轧钢板 (摘自	
JB/T 6402—1992) .....	3-68	GB/T 3280—1992、	
焊接结构用碳素钢铸件 (摘自		GB/T 4237—1992) .....	3-93
GB/T 7659—1987) .....	3-69	耐热钢板 (摘自	
一般用途耐热钢和合金铸件 (摘自		GB/T 4238—1992) .....	3-97
GB/T 8492—2002) .....	3-70	花纹钢板 (摘自	
高锰钢铸件 (摘自		GB/T 3277—1991) .....	3-99
GB/T 5680—1998) .....	3-72	3.2 型钢 .....	3-100
一般用途耐蚀钢铸件 (摘自		热轧扁钢 (摘自	
GB/T 2100—2002) .....	3-72	GB/T 704—1988) .....	3-100
2.3 铸铁 .....	3-75	弹簧扁钢尺寸 (摘自	
灰铸铁件 (摘自		GB/T 1222—1984) .....	3-102
GB/T 9439—1988) .....	3-75	热轧圆、方钢和六角钢 (摘自	
球墨铸铁件 (摘自		GB/T 702—2004、	
GB/T 1348—1988) .....	3-77	GB/T 705—1989) .....	3-103
可锻铸铁件 (摘自		优质结构钢冷拉钢材交货状态的力学	
GB/T 9440—1988) .....	3-78	性能 (摘自 GB/T 3078—1994) .....	3-104
蠕墨铸铁件 (摘自		热轧等边角钢 (摘自	
JB/T 4403—1999) .....	3-79	GB/T 9787—1988) .....	3-105
耐磨铸铁与白口铸铁 .....	3-79	热轧不等边角钢 (摘自	
耐热铸铁件 (摘自		GB/T 9788—1988) .....	3-110
GB/T 9437—1988) .....	3-81	热轧槽钢 (摘自	

GB/T 707—1988) .....	3-114	GB/T 3639—2000) .....	3-167
热轧工字钢 (摘自		冷拔异型方形钢管 (摘自	
GB/T 706—1988) .....	3-116	GB/T 3094—2000) .....	3-169
热轧 H 型钢和部分 T 型钢 (摘自		冷拔异型矩形钢管 (摘自	
GB/T 11263—2005) .....	3-119	GB/T 3094—2000) .....	3-171
通用冷弯开口型钢 (摘自		3.4 钢丝 .....	3-173
GB/T 6723—1986) .....	3-124	一般用途低碳钢丝 (摘自	
结构用冷弯空心型钢 (摘自		YB/T 5294—2006) .....	3-173
GB/T 6728—2002) .....	3-131	冷拉圆钢丝、方钢丝尺寸、质量	
客运汽车用冷弯方形空心型钢 (摘自		(摘自 GB/T 342—1997) .....	3-175
GB/T 6727—1986) .....	3-139	重要用途低碳钢丝 (摘自	
客运汽车用冷弯矩形空心型钢 (摘自		YB/T 5032—1993) .....	3-176
GB/T 6727—1986) .....	3-140	优质碳素结构钢丝 (摘自	
起重机钢轨 (摘自		YB/T 5303—2006) .....	3-176
YB/T 5055—2005) .....	3-141	合金结构钢丝 (摘自	
重轨 (摘自 GB 2585—2007) .....	3-142	YB/T 5301—2006) .....	3-177
轻轨 (摘自 GB/T 11264—1989) .....	3-143	碳素弹簧钢丝 (摘自	
轻轨接头夹板 (摘自		GB/T 4357—1989) .....	3-177
GB/T 11265—1989) .....	3-144	重要用途碳素弹簧钢丝力学性能	
重轨用鱼尾板 (摘自 GB/T 185—1963、		(摘自 YB/T 5311—2006) .....	3-178
GB/T 184—1963) .....	3-145	油淬火-回火弹簧钢丝 (摘自	
3.3 钢管 .....	3-146	GB/T 18983—2003) .....	3-179
低压流体输送焊接管 (摘自		不锈钢丝 (摘自 GB/T 4240—1993) .....	3-181
GB/T 3091—2001) .....	3-146	高电阻电热合金 (摘自	
直缝电焊钢管 (摘自		GB/T 1234—1995) .....	3-182
GB/T 13793—1992) .....	3-147	4 各国 (地区) 黑色金属材料牌号近似	
流体输送用不锈钢焊接钢管 (摘自		对照 .....	3-184
GB/T 12771—2000) .....	3-150	4.1 各国 (地区) 结构用钢钢号	
传动轴用电焊钢管 (摘自		对照 .....	3-184
YB/T 5209—2000) .....	3-153	4.2 各国 (地区) 不锈钢和耐热钢	
结构用和输送流体用无缝钢管 (摘自		钢号对照 .....	3-192
GB/T 8162—1999、		4.3 各国 (地区) 工具钢钢号对照 .....	3-199
GB/T 8163—1999) .....	3-153	4.4 各国硬质合金牌号对照 .....	3-202
无缝钢管尺寸、质量 (摘自		4.5 各国 (地区) 铸钢钢号对照 .....	3-206
GB/T 17395—1998) .....	3-157	4.6 各国 (地区) 铸铁牌号对照 .....	3-210
不锈钢无缝钢管尺寸系列 (摘自		4.7 各国 (地区) 钢铁焊接材料型号	
GB/T 17395—1998) .....	3-162	与牌号对照 .....	3-212
结构用和流体输送用不锈钢无缝钢管		<b>第 2 章 有色金属材料</b> .....	3-217
(摘自 GB/T 14975—2002、		1 有色金属材料的表示方法 .....	3-217
GB/T 14976—2002) .....	3-164	常用有色金属和合金元素名称及其	
冷拔或冷轧精密无缝钢管 (摘自			

代号 (摘自 GB/T 340—1976) ……	3-217	4423—1992、GB/T 13808—1992) ……	3-244
专用合金名称及其代号 (摘自 GB/T 340—1976) ……	3-217	常用铜及铜合金线材的力学性能和 规格 ……	3-245
有色金属和合金加工产品的状态名称 和代号 (摘自 GB/T 340—1976) ……	3-217	加工铜材牌号的特性与用途 ……	3-246
有色合金铸造方法和热处理状态名称 及其代号 ……	3-217	3.2 铅及铅合金加工产品 ……	3-250
有色金属和合金产品牌号表示方法 举例 (摘自 GB/T 340—1976) ……	3-218	常用铅及铅铋合金板、管的化学成分 (摘自 GB/T 1470—2005、 GB/T 1472—2005) ……	3-250
变形铝及铝合金产品基础状态、T 细 分状态代号及新旧代号对照 (摘自 GB/T 16475—1996) ……	3-219	铅及铅铋合金板规格 (摘自 GB/T 1470—2005) ……	3-250
2 铸造有色合金 ……	3-220	铅及铅铋合金管规格 (摘自 GB/T 1472—2005) ……	3-251
铸造铜合金 (摘自 GB/T 1176—1987) ……	3-220	3.3 铝及铝合金加工产品 ……	3-253
压铸铜合金 (摘自 GB/T 15116—1994) ……	3-226	变形铝及铝合金的化学成分 (摘自 GB/T 3190—1996) ……	3-253
铸造铝合金 (摘自 GB/T 1173—1995) ……	3-227	铝及铝合金加工产品的力学性能 ……	3-254
压铸铝合金 (摘自 GB/T 15115—1994) ……	3-230	工业用铝及铝合金热挤压型材的室温 纵向力学性能 (摘自 GB/T 6892—2006) ……	3-256
铸造锌合金 (摘自 GB/T 1175—1997) ……	3-231	铝合金板材理论质量 (摘自 GB/T 3194—1998) ……	3-258
压铸锌合金 (摘自 GB/T 13818—1992) ……	3-231	铝及铝合金花纹板 (摘自 GB/T 3618—2006) ……	3-259
铸造轴承合金 (摘自 GB/T 1174—1992) ……	3-232	常用冷拉铝及铝合金管规格 (摘自 GB/T 4436—1995) ……	3-260
铸造镁合金 (摘自 GB 1177—1991) ……	3-235	常用热挤压铝及铝合金管规格 (摘自 GB/T 4436—1995) ……	3-261
3 有色金属加工产品 ……	3-236	铝及铝合金冷拉正方形、矩形管规格 (摘自 GB/T 4436—1995) ……	3-261
3.1 铜及铜合金加工产品 ……	3-236	等边角铝型材 ……	3-262
常用铜及铜合金板 (带)、管、棒的 化学成分和力学性能 ……	3-236	不等边角铝型材 ……	3-265
铜及铜合金板材牌号、状态及规格 (摘自 GB/T 2040—2002) ……	3-239	槽铝型材 ……	3-269
铜及铜合金带材牌号、状态和规格 (摘自 GB/T 2059—2000) ……	3-240	加工铝材牌号的特性及用途 ……	3-271
铜及黄铜板的理论质量 ……	3-241	3.4 钛及钛合金加工产品 ……	3-274
常用铜及铜合金管规格 (摘自 GB/T 1527—2006、GB/T 1528—1997) ……	3-242	钛及钛合金板材规格 (摘自 GB/T 3621—1994) ……	3-274
常用铜及铜合金棒规格 (摘自 GB/T 4423—1992、GB/T 13808—1992) ……	3-244	钛及钛合金管规格 (摘自 GB/T 3624—1995) ……	3-274
		钛材的室温力学性能 (摘自 GB/T 3621—1994、 GB/T 3624—1995) ……	3-275



加工钛材的特性与用途 .....	3-276
3.5 变形镁及镁合金 .....	3-277
变形镁及镁合金牌号和化学成分 (摘自 GB/T 5153—2003) .....	3-277
变形镁及镁合金牌号的命名规则 (摘自 GB/T 5153—2003) .....	3-278
4 各国有色金属材料牌号近似对照 .....	3-278
<b>第3章 非金属材料</b> .....	3-291
1 橡胶及其制品 .....	3-291
1.1 常用橡胶品种、特点和用途 .....	3-291
1.2 橡胶的综合性能 .....	3-292
通用橡胶的综合性能 .....	3-292
特种橡胶的综合性能 .....	3-294
1.3 橡胶制品 .....	3-295
工业用橡胶板 (摘自 GB/T 5574—1994) .....	3-295
设备防腐衬里用橡胶板 (摘自 GB/T 18241.1—2001) .....	3-296
压缩空气用橡胶软管 (摘自 GB/T 1186—1992) .....	3-297
输水、通用橡胶软管 (摘自 HG/T 2184—1991) .....	3-297
耐稀酸碱橡胶软管 (摘自 HG/T 2183—1991) .....	3-298
织物增强液压橡胶软管和软管组合件 (摘自 GB/T 15329.1—2003) .....	3-299
钢丝缠绕增强外覆橡胶的液压橡胶 软管和软管组件 (摘自 GB/T 10544—2003) .....	3-300
液化石油气 (LPG) 橡胶软管 (摘自 GB 10546—2003) .....	3-301
岸上排吸油橡胶软管 (摘自 HG/T 3038—1997) .....	3-302
计量分配燃油用橡胶软管 (摘自 HG/T 3037—2000) .....	3-302
输送无水氨用橡胶软管压力及尺寸规格 (摘自 GB/T 16591—1996) .....	3-303
氧气胶管的规格和性能 (摘自 GB/T 2550—1992) .....	3-304
乙炔胶管的规格和性能 (摘自 GB/T 2551—1992) .....	3-304
蒸汽橡胶软管及软管组件 (摘自 HG/T 3036—1999) .....	3-305
车辆门窗橡胶密封条 (摘自 HG/T 3088—1999) .....	3-305
2 工程用塑料及制品 .....	3-306
2.1 塑料组成 .....	3-306
2.2 塑料分类 .....	3-308
2.3 工程常用塑料的综合性能、用途 及选用 .....	3-310
工程常用塑料的综合性能 .....	3-311
工程常用塑料的特点和用途 .....	3-314
工程常用塑料的选用 .....	3-317
2.4 硬聚氯乙烯制品 .....	3-318
硬聚氯乙烯层压板材 (摘自 GB/T 4454—1996) .....	3-318
化工用硬聚氯乙烯 (PVC-U) 管材 (摘自 GB/T 4219—1996) .....	3-319
化工用硬聚氯乙烯管件 (摘自 QB/T 3802—1999) .....	3-322
2.5 软聚氯乙烯制品 .....	3-325
软聚氯乙烯压延薄膜和片材 (摘自 GB/T 3830—1994) .....	3-325
软聚氯乙烯管 (流体输送用) (摘自 GB/T 13527.1—1992) .....	3-326
2.6 聚乙烯制品 .....	3-326
聚乙烯 (PE) 挤出板材的规格及性能 (摘自 QB/T 2490—2000) .....	3-326
聚乙烯管的规格 (摘自 GB/T 13018—1991) .....	3-327
2.7 聚四氟乙烯制品 .....	3-328
聚四氟乙烯板、管、棒的规格 .....	3-328
聚四氟乙烯制品的物理力学性能 .....	3-329
2.8 有机玻璃 .....	3-329
浇铸型工业有机玻璃板材、棒材和管材 (摘自 GB/T 7134—1996) .....	3-329
浇铸型珠光有机玻璃板材 (摘自 HG/T 2713—1995) .....	3-330
2.9 尼龙制品 .....	3-331
尼龙 1010 棒材及管材规格 (摘自 JB/ZQ 4196—1998) .....	3-331

尼龙 1010 棒材及其他尼龙材料性能 (摘自 JB/ZQ 4196—1998) .....	3-331	增强石棉橡胶板 .....	3-350
2.10 泡沫塑料 .....	3-332	电绝缘石棉纸 (摘自 JC/T 41—1996) .....	3-351
泡沫塑料制品的规格、性能及用途 ...	3-332	石棉绳 (摘自 JC/T 222—1994) ...	3-351
泡沫塑料的物理力学性能 .....	3-332	汽车制动器衬片 (摘自 GB 5763—1998) .....	3-351
泡沫塑料的化学性能 .....	3-333	汽车离合器面片 (摘自 GB 5764—1998) .....	3-352
3 玻璃 .....	3-333	工业机械用石棉摩擦片 (摘自 GB/T 11834—2000) .....	3-352
钢化玻璃 (摘自 GB/T 9963—1998) .....	3-333	7 保温、隔热、吸声材料 .....	3-353
普通平板玻璃尺寸 (摘自 GB/T 4870—1985) .....	3-334	常用保温、隔热材料的性能及规格 ...	3-353
平端玻璃直管 .....	3-334	普通硅酸铝耐火纤维毡的规格及性能 (摘自 GB/T 3003—1982) .....	3-356
扩口玻璃管 .....	3-334	常用吸声材料的性能和规格 .....	3-356
水位计玻璃板 .....	3-334	8 工业用毛毡、帆布 .....	3-359
液位计用透明石英玻璃管 (摘自 JC/T 225—1997) .....	3-335	工业用毛毡分类和编号 (摘自 FZ/T 25001—1992) .....	3-359
不透明石英玻璃制品 (摘自 JC/T 182—1997) .....	3-336	平面毛毡的牌号及性能 (摘自 FZ/T 25001—1992) .....	3-359
4 陶瓷制品 .....	3-337	特种工业帆布规格、技术性能 (摘自 FZ/T 66104—1995) .....	3-360
陶瓷制品的分类、特点与用途 .....	3-337	9 电气绝缘层压制品 .....	3-360
耐酸陶瓷 (化工陶瓷) 性能与 制品 .....	3-338	酚醛纸层压板 (摘自 JB/T 8149.1—2000) .....	3-360
耐酸耐温砖规格及性能 (摘自 JC 424—1991) .....	3-340	酚醛棉布层压板 (摘自 JB/T 8149.2—2000) .....	3-361
化工陶管及配件 (摘自 JC 705—1998) .....	3-340	层压棒 (摘自 GB/T 5133—1985) .....	3-362
瓷制填料 .....	3-342	10 胶黏剂 .....	3-362
过滤陶瓷 .....	3-343	10.1 结构胶黏剂 .....	3-362
耐温、耐磨、耐腐蚀、高强度陶瓷 ...	3-344	10.2 通用胶黏剂 .....	3-364
5 石墨制品 .....	3-345	10.3 特种胶黏剂 .....	3-366
石墨制品的类型与应用 .....	3-345	耐高温胶 .....	3-366
石墨耐磨材料的性能与应用 .....	3-346	耐低温胶 .....	3-368
不透性石墨块和石墨管性能 .....	3-347	应变片用胶 .....	3-369
树脂浸渍石墨的耐腐蚀性能 .....	3-347	胶接点焊用胶 .....	3-370
石墨管件 .....	3-348	热熔胶 .....	3-371
6 石棉制品 .....	3-350	厌氧胶 .....	3-372
石棉橡胶板 (摘自 GB/T 3985—1995) .....	3-350	密封胶 .....	3-374
耐油石棉橡胶板 (摘自 GB/T 539—1995) .....	3-350	塑料用胶黏剂和其他用途胶黏剂 .....	3-377
耐酸、绝缘石棉橡胶板 .....	3-350		

11	涂料	3-378	3	粉末冶金材料	3-397	
	涂料类别、品种及其代号 (摘自 GB/T 2705—2003)	3-378	3.1	粉末冶金结构材料	3-397	
	各类涂料的特点及应用	3-378		粉末冶金烧结铁基结构材料 (摘自 GB/T 14667.1—1993)	3-397	
	防锈漆种类和性能	3-380		热处理状态粉末冶金铁基结构材料 (摘自 JB/T 3593—1999)	3-398	
	底漆种类和性能	3-381		烧结奥氏体不锈钢结构零件材料 (摘自 GB/T 13827—1992)	3-398	
	硝基漆种类和性能	3-381	3.2	粉末冶金烧结金属摩擦材料 (摘自 JB/T 3063—1996)	3-399	
	天然树脂、醇酸漆种类和性能	3-382		铁基干式摩擦材料组成、性能及主要 适用范围	3-399	
	其他涂料种类和性能	3-382		铜基干式摩擦材料组成、性能及主要 适用范围	3-399	
12	其他非金属材料	3-384		铜基湿式摩擦材料组成、性能及主要 适用范围	3-400	
	常用木材的物理力学性能	3-384	3.3	粉末冶金减摩材料	3-401	
	机械产品适用木材品种	3-385		粉末冶金减摩材料类型、特点及 应用	3-401	
	硬钢纸板规格及技术性能 (摘自 QB/T 2199—1996)	3-386		粉末冶金含油轴承材料	3-402	
	软钢纸板规格及技术性能 (摘自 QB/T 2200—1996)	3-386		双金属含油减摩材料	3-404	
	滤芯纸板 (摘自 QB/T 1712—1993)	3-386		金属塑料减摩材料	3-404	
	常用水泥标号、特性及应用 (摘自 GB 175—1999、GB 1344—1999)	3-387		镶嵌固体润滑剂轴承材料	3-405	
<b>第4章 其他材料及制品</b>			3-388	3.4	粉末冶金过滤材料	3-406
1	工业用网	3-388		烧结不锈钢过滤元件 (摘自 GB/T 6886—2001)	3-406	
	工业用金属丝编织方孔筛网 (摘自 GB/T 5330—2003)	3-388		烧结钛过滤元件及材料 (摘自 GB/T 6887—1986)	3-408	
	合成纤维网	3-389		烧结镍过滤元件 (摘自 GB/T 6888—1986)	3-409	
	蚕丝绢网	3-390	4	磁性材料	3-410	
	机织热镀锌六角形钢丝网	3-390		磁性材料的类型、牌号和用途	3-410	
	气液过滤网	3-390		铁钴钕永磁合金 (摘自 GB/T 14989—1994)	3-413	
	常用丝网除沫器网块结构	3-391		变形永磁钢 (摘自 GB/T 14991—1994)	3-413	
	钢板网 (摘自 QB/T 3896—1999)	3-391	5	复合材料	3-414	
	预弯成型金属丝编织方孔网 (摘自 GB/T 13307—1991)	3-392	5.1	复合钢板	3-414	
	重型钢板网	3-394		不锈钢复合板和钢带	3-414	
	人字形铝板网	3-394		钛-钢复合板 (摘自 GB/T 8547—1987)	3-416	
	铝板网	3-394				
2	金属软管	3-395				
	P3 型镀锌金属软管 (摘自 GB/T 3641—1983)	3-395				
	S 型钎焊不锈钢金属软管 (摘自 GB/T 3642—1983)	3-396				

钛-不锈钢复合板 (摘自 GB/T 8546—1987) .....	3-418
铜-钢复合钢板 (摘自 GB/T 13238—1991) .....	3-419
塑料复合薄钢板 .....	3-419
塑料-青铜-钢背三层复合自润滑 板材 .....	3-420
5.2 衬里钢管和管件 .....	3-420
衬聚四氟乙烯钢管和管件 (摘自 HG/T 21562—1994) .....	3-420
衬塑 (PP、PE、PVC) 钢管和管件 (摘自 HG/T 20538—1992) .....	3-423
5.3 玻璃纤维增强热固性塑料	

(玻璃钢) .....	3-424
5.3.1 玻璃钢的种类和特点 .....	3-424
5.3.2 玻璃钢的性能 .....	3-424
5.3.3 玻璃钢的组成和主要的成型 方法 .....	3-429
合成树脂及辅助材料 .....	3-429
玻璃纤维及制品 .....	3-432
玻璃钢主要成型方法、特点及应用 ..	3-433
5.4 碳纤维增强塑料 .....	3-434
5.4.1 碳纤维增强热固性塑料 .....	3-434
5.4.2 碳纤维增强热塑性树脂 .....	3-435

参考文献 .....	3-436
------------	-------

## 4 机构

### 第1章 机构分析的常用方法 .....

1 机构的自由度分析 .....	4-3
1.1 常用术语的概念 .....	4-3
1.2 机构的运动简图和机动示意图 .....	4-4
1.3 机构的自由度分析 .....	4-9
1.3.1 平面机构自由度分析 .....	4-9
1.3.2 单封闭环空间机构自由度的 计算 .....	4-10
1.3.3 多闭环空间机构及开环机构的 自由度的计算 .....	4-14
1.3.4 空间机构自由度计算例题 .....	4-14
1.4 平面机构的结构分析 .....	4-15
2 平面机构的运动分析 .....	4-17
2.1 机构的位置和构件上某点的轨迹 分析 .....	4-18
2.2 机构的速度与加速度分析 .....	4-18
2.2.1 矢量图解法 .....	4-18
2.2.2 解析法 .....	4-24
2.2.3 瞬心法 .....	4-24
2.3 高副机构的运动分析 .....	4-29
2.3.1 用高副低代法求解 .....	4-29
2.3.2 用高副机构直接求解 .....	4-30
3 平面机构的受力分析 .....	4-32

3.1 杆组静定条件和构件惯性力的 计算 .....	4-33
3.2 运动副中摩擦力的计算 .....	4-34
3.3 机构的受力分析 .....	4-35
3.3.1 图解算法 .....	4-35
3.3.2 用速度杠杆法求平衡力 $F_p$ .....	4-36
3.3.3 机构动态静力分析的 解析法 .....	4-36
3.4 惯性力的平衡 .....	4-38
3.4.1 具有不规则形状的旋转构件 平衡重力的确定 .....	4-39
3.4.2 平面机构的平衡 .....	4-39
4 单自由度机器的动力分析 .....	4-43
4.1 机器的运动过程和运动方程式 .....	4-43
4.2 机器运动方程的求解 .....	4-43
4.3 机器周期性速度波动的调节和飞轮 设计 .....	4-43
4.3.1 机器主轴的平均角速度 $\omega_m$ 与 速度不均匀系数 $\delta$ .....	4-48
4.3.2 飞轮设计 .....	4-48
4.4 机械效率的计算 .....	4-50

### 第2章 基本机构的设计 .....

1 平面连杆机构 .....	4-52
----------------	------



1.1	四杆机构的结构型式	4-52	3.1	凸轮机构的术语及一般设计 步骤	4-83
1.2	按传动角设计四杆机构	4-52	3.2	凸轮机构的基本型式及封闭 方式	4-85
1.2.1	按最小传动角具有最大值的 条件设计曲柄摇杆机构	4-53	3.3	凸轮机构的压力角	4-88
1.2.2	按最小传动角设计行程速比 系数 $k=1$ ( $\varphi_{12}=180^\circ$ ) 的 曲柄摇杆机构	4-54	3.4	基圆半径 $R_b$ 、圆柱凸轮最小半径 $R_{min}$ 和滚子半径 $R_r$	4-89
1.2.3	按最小传动角具有最大值的条 件设计偏置曲柄-滑块机构	4-55	3.4.1	基圆半径 $R_b$ 对凸轮机构的 影响	4-89
1.2.4	根据最小传动角设计双曲柄 机构	4-55	3.4.2	确定基圆半径 $R_b$ 、 $R_{min}$ 的 方法	4-89
1.3	按照输入杆与输出杆位置关系设计 四杆机构	4-56	3.4.3	滚子半径 $R_r$ 的确定	4-92
1.3.1	几何法	4-56	3.5	从动件运动规律及其方程式	4-93
1.3.2	分析法	4-60	3.5.1	从动件运动规律	4-93
1.3.3	实验法	4-63	3.5.2	基本运动规律的参数曲线	4-95
1.4	按照连杆位置及连杆点位置综合 铰链四杆机构	4-63	3.5.3	常用组合运动规律方程式 应用	4-97
1.4.1	已知连杆三个位置综合铰链 四杆机构	4-63	3.6	滚子从动件凸轮工作轮廓的 设计	4-103
1.4.2	已知连杆四个位置综合铰链 四杆机构	4-64	3.6.1	作图法	4-103
1.4.3	圆点曲线及圆心曲线	4-65	3.6.2	解析法	4-105
1.4.4	已知连杆上点的位置综合铰链 四杆机构	4-65	3.7	平底从动件盘形凸轮工作轮廓的 设计	4-111
1.4.5	轨迹综合	4-67	3.8	圆弧凸轮工作轮廓的设计	4-114
1.4.6	相当机构及其应用	4-70	3.8.1	单圆弧凸轮 (偏心轮)	4-114
1.4.7	直线运动机构	4-70	3.8.2	多圆弧凸轮	4-114
2	瞬心线机构及互包络线机构	4-71	3.9	凸轮及滚子结构、材料、强度、 精度、表面粗糙度及工作图	4-116
2.1	瞬心线机构的工作特点及设计计算 的一般原理	4-71	3.9.1	凸轮及滚子结构	4-116
2.2	非圆齿轮节线设计	4-73	3.9.2	常用材料	4-119
2.2.1	再现一个给定自变量的函数的 非圆齿轮节线设计	4-73	3.9.3	强度校核及许用应力	4-119
2.2.2	偏心圆齿轮与非圆齿轮 共轭	4-75	3.9.4	凸轮精度及表面粗糙度	4-120
2.2.3	椭圆-卵形齿轮及卵形齿轮 传动	4-77	3.9.5	凸轮工作图	4-120
2.3	互包络线机构的工作特点	4-79	4	分度凸轮机构	4-122
2.4	互包络线机构的设计	4-80	4.1	分度凸轮机构的性能及其运动 参数	4-122
3	凸轮机构	4-83	4.2	弧面 (滚子齿式) 分度凸轮 机构	4-122
			4.2.1	基本结构和工作原理	4-122
			4.2.2	弧面分度凸轮机构的主要运动 参数和几何尺寸	4-124

4.2.3	弧面分度凸轮的工作曲面设计 及其实例计算	4-126	5.2.3	槽轮机构的动力性能	4-155
4.2.4	弧面分度凸轮机构的动力学 计算	4-129	5.3	不完全齿轮机构	4-156
4.2.5	弧面分度凸轮机构主要零件的 材料、热处理与技术要求	4-131	5.3.1	基本型式与啮合特性	4-156
4.2.6	弧面分度凸轮机构的结构设计 要点	4-131	5.3.2	设计参数的计算	4-158
4.2.7	弧面分度凸轮机构的主要零 部件图实例	4-131	5.3.3	不完全齿轮机构的设计计算 公式及工作图	4-161
4.2.8	弧面凸轮分度箱	4-133	5.4	针轮机构	4-163
4.3	圆柱分度凸轮机构	4-135	5.4.1	针轮机构的主要类型和 特点	4-163
4.3.1	工作原理和主要类型	4-135	5.4.2	针轮机构的设计计算	4-164
4.3.2	圆柱分度凸轮机构的主要运动 参数和几何尺寸	4-135	6	斜面机构与螺旋机构	4-165
4.3.3	圆柱分度凸轮的工作轮廓 设计	4-138	6.1	斜面机构的特性指标与计算 公式	4-165
4.3.4	圆柱分度凸轮机构主要零件的 材料、技术要求及结构设计 要点	4-138	6.2	螺旋机构	4-167
4.3.5	圆柱分度凸轮轮廓曲面展开为 平面矩形时的设计计算	4-139	6.2.1	螺旋机构的特性指标	4-168
4.4	共轭(平行)分度凸轮机构	4-140	6.2.2	螺旋机构传动型式	4-168
4.4.1	基本结构和工作原理	4-140	6.3	参数选择	4-169
4.4.2	共轭分度凸轮机构的主要运动 参数和几何尺寸	4-140	7	往复油(汽)缸机构的运动设计	4-169
4.4.3	用作图法绘制凸轮的理论廓线 和工作廓线	4-144	7.1	参数计算	4-169
4.4.4	共轭盘形分度凸轮机构凸轮 廓线的解析法计算	4-145	7.2	参数选择	4-170
4.4.5	共轭(平行)凸轮分度箱	4-147	7.3	运动设计	4-171
5	棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构 和针轮机构	4-148	<b>第3章 组合机构的分析与设计</b>		4-173
5.1	棘轮机构	4-148	1	基本机构的主要组合型式	4-173
5.1.1	常用型式	4-148	2	凸轮-连杆组合机构	4-174
5.1.2	设计要点	4-149	2.1	固定凸轮-连杆组合机构	4-174
5.2	槽轮机构	4-150	2.2	转动凸轮-连杆组合机构	4-176
5.2.1	工作原理及型式	4-150	2.3	联动凸轮-连杆组合机构	4-179
5.2.2	槽轮机构的几何尺寸和主要 运动参数的计算(均布径 向槽)	4-152	3	齿轮-连杆组合机构	4-179
			3.1	行星轮系与Ⅱ级杆组的组合 机构	4-179
			3.2	四杆机构与周转轮系的组合 机构	4-182
			3.3	五杆机构与齿轮机构的组合 机构	4-187
			4	凸轮-齿轮组合机构	4-190
			4.1	输出件实现周期性变速运动的 凸轮-齿轮组合机构	4-190
			4.2	实现轨迹要求的凸轮-齿轮组合 机构	4-192
			4.3	输出件实现周期性停歇的凸轮-齿	

轮组合机构 .....	4-193
5 具有挠性件的组合机构 .....	4-194
5.1 同步带-连杆组合机构 .....	4-194
5.2 差动式带、链-连杆组合机构 .....	4-194
<b>第4章 机构参考图例 .....</b>	<b>4-196</b>
1 匀速转动机构 .....	4-196
1.1 定传动比匀速转动机构 .....	4-196
1.2 有级变速机构 .....	4-201
1.3 无级变速机构 .....	4-203
2 非匀速转动机构 .....	4-204
3 往复运动机构 .....	4-206
4 急回机构 .....	4-214
5 行程放大机构 .....	4-216

6 可调行程机构 .....	4-218
7 间歇运动机构 .....	4-221
8 超越止动及单向机构 .....	4-227
9 换向机构 .....	4-229
10 差动补偿机构 .....	4-232
11 气、液驱动机构 .....	4-235
12 增力及夹持机构 .....	4-239
13 实现预期轨迹的机构 .....	4-244
14 安全保险、制动装置 .....	4-250
15 定位联锁机构 .....	4-255
16 伸缩机构 .....	4-257
17 振动机构 .....	4-260

<b>参考文献 .....</b>	<b>4-264</b>
-------------------	--------------





# 第 1 篇 一般设计资料



主要撰稿 成大先 刘世参 王德夫 余梦生  
韩学铨 柯蕊珍

审 稿 刘世参 余梦生 成大先 王德夫  
李长顺



HANDBOOK





# 第 1 章 常用基础资料和公式

## 1 常用资料和数据

### 字 母

表 1-1-1

汉语拼音字母											
大写	小写	名 称		大写	小写	名 称		大写	小写	名 称	
		拼 音	汉字注音			拼 音	汉字注音			拼 音	汉字注音
A	a	a	阿	J	j	jie	街	S	s	ès	诶思
B	b	bē	玻诶	K	k	kē	科诶	T	t	tē	特诶
C	c	cē	雌诶	L	l	el	诶勒	U	u	u	乌
D	d	dē	得诶	M	m	ēm	诶摸	V	v	vē	物诶
E	e	e	鹅	N	n	nē	讷诶	W	w	wa	蛙
F	f	ef	诶佛	O	o	o	喔	X	x	xi	希
G	g	gē	哥诶	P	p	pē	坡诶	Y	y	ya	呀
H	h	ha	哈	Q	q	qiu	邱	Z	z	zē	资诶
I	i	i	衣	R	r	ar	阿儿				

希腊字母(正体与斜体)(GB 3101—1993)

正 体		斜 体		英文名称 (国际音标注音)	正 体		斜 体		英文名称 (国际音标注音)
大 写	小 写	大 写	小 写		大 写	小 写	大 写	小 写	
A	α	A	α	alpha[ 'ælfə ]	N	ν	N	ν	nu[ nju: ]
B	β	B	β	beta[ 'bitə ]	Ξ	ξ	Ξ	ξ	xi[ ksai ]
Γ	γ	Γ	γ	gamma[ 'gæmə ]	O	ο	O	ο	omicron[ ou'maikrən ]
Δ	δ	Δ	δ	delta[ 'deltə ]	Π	π	Π	π	pi[ pai ]
E	ε	E	ε	epsilon[ 'epsilən ]	P	ρ	P	ρ	rho[ rou ]
Z	ζ	Z	ζ	zeta[ 'zi:tə ]	Σ	σ	Σ	σ	sigma[ 'sigmə ]
H	η	H	η	eta[ 'i:tə ]	T	τ	T	τ	tau[ tau ]
Θ	θ, θ	Θ	θ, θ	theta[ 'θi:tə ]	Υ	υ	Υ	υ	upsilon[ 'ju:psilon ]
I	ι	I	ι	jota[ ai'outə ]	Φ	φ, φ	Φ	φ, φ	phi[ fai ]
K	κ, κ	K	κ	kappa[ 'kæpə ]	X	χ	X	χ	chi[ kai ]
Λ	λ	Λ	λ	lambda[ 'læmdə ]	Ψ	ψ	Ψ	ψ	psi[ psi: ]
M	μ	M	μ	mu[ mju: ]	Ω	ω	Ω	ω	omega[ 'oumigə ]

注: 1. 名称栏内的汉字注音是按普通话的近似音, 二字以上的要连续读。  
2. 汉语拼音中“V”只用来拼写外来语、少数民族语言和方言。

## 国内标准代号及各国国家标准代号

表 1-1-2

国内标准代号	标准名称	国内标准代号	标准名称	国内标准代号	标准名称	国内标准代号	标准名称
GB	强制性国家标准	GD	原一机部锻压、机械标准	JC	建材行业标准	SH	石油化工业标准
GB/T	推荐性国家标准			JG	建筑工业行业标准	SJ	电子行业标准
GBn	国家内部标准					SL	水利行业标准
GBJ	国家工程建设标准	GZ	原一机部铸造机械标准	JJ	原国家建委、城建部标准	SY	石油天然气行业标准
GB5	国家工程建设标准	HB	航空工业行业标准	JJC	国家计量局标准	TB	铁道行业标准
GJB	国家军用标准	HC	化工行业标准	JT	交通行业标准	WJ	兵工民品行业标准
TJ	国家工程标准	HJ	环境保护行业标准	JY	教育行业标准	WM	对外经济贸易行业标准
ZB	原国家专业标准	HY	海洋行业标准	LY	林业行业标准		
BB	包装行业标准	JB	机械行业标准	MH	民用航空行业标准	XB	稀土行业标准
CB	船舶行业标准			MT	煤炭行业标准	YB	黑色冶金行业标准
CH	测绘行业标准	JB/TQ	原机械部石化通用标准	MZ	民政工业行业标准	YS	有色冶金行业标准
CJ	城市建设行业标准						
DL	电力行业标准	JB/GQ	原机械部机床工具标准	NJ	原机械部农机行业标准		
DZ	地质矿业行业标准			NY	农业行业标准		
EJ	核工业行业标准	JB/ZQ	原机械部重型矿山标准	QB	原轻工行业标准		
FJ	原纺织工业标准	JB/DQ	原机械部电工标准	QC	汽车行业标准		
FZ	纺织行业标准			QJ	航天工业行业标准		
GC	金属切削机床标准	JB/Z	机械工业指导性技术文件	SD	原水利电力标准		
国外标准代号	标准名称	国外标准代号	标准名称	国外标准代号	标准名称	国外标准代号	标准名称
ISO <sup>①</sup>	国际标准化组织标准	ASME	美国机械工程师学会标准	JSME	日本机械学会标准	NZS	新西兰标准
ISA	国际标准化协会标准	ASTM	美国材料试验标准	JGMA	日本齿轮工业协会标准	ONORM	奥地利标准
IEC	国际电工委员会标准	ГОСТ	俄罗斯国家标准	DS	丹麦标准	SABS	南非标准
IDO	联合国工业发展组织标准	AFNOR	法国标准协会标准	ELOT	希腊标准	SFS	芬兰标准
ANSI <sup>②</sup>	美国国家标准	NF	法国国家标准	E. S.	埃及标准	UNE	西班牙标准
SAE	美国汽车协会标准	BS	英国标准	IS	印度标准		
NBS	美国国家标准局标准	DIN	德国工业标准	KS	韩国标准		
ASA	美国标准协会标准	VDI	德国工程师协会标准	MSZ	匈牙利标准		
AISI	美国钢铁学会标准	CSA	加拿大标准协会标准	NB	巴西标准		
AGMA	美国齿轮制造者协会标准	UNI	意大利国家标准	NBN	比利时标准		
		AS	澳大利亚标准	NC、UNC	古巴标准		
		SIS	瑞典国家标准	Nch	智利标准		
		JIS	日本工业标准	NEN	荷兰标准		
				NS	挪威标准		

① ISO 的前身为 ISA。

② ANSI 的前身为 ASA, USASI。

注：1. 标准代号后加“/T”为推荐性标准；在代号后加“/Z”为指导性技术文件，如“YB/Z”为冶金部指导性技术文件。

2. 中国台湾省标准代号是 CNS。

3. ZB 是原国家专业标准，其后带有 A、B、C、…、Y 等字母，表示不同专业的标准，如 ZBY 为原机械部仪器仪表标准，这类标准有部分已经变更或正在变更为新标准。

机械传动效率<sup>[1,2]</sup>

表 1-1-3

类别	传动型式	效率 $\eta$	类别	传动型式	效率 $\eta$
圆柱 齿轮传动	很好跑合的 6 级精度和 7 级精度齿轮传动(稀油润滑)	0.98~0.99	绞车卷筒		0.94~0.97
	8 级精度的一般齿轮传动(稀油润滑)	0.97	滑动轴承	润滑不良	0.94
	9 级精度的齿轮传动(稀油润滑)	0.96		润滑正常	0.97
	加工齿的开式齿轮传动(干油润滑)	0.94~0.96		润滑特好(压力润滑)	0.98
	铸造齿的开式齿轮传动	0.90~0.93		液体摩擦	0.99
圆锥 齿轮传动	很好跑合的 6 级和 7 级精度齿轮传动(稀油润滑)	0.97~0.98	滚动轴承	球轴承(稀油润滑)	0.99
	8 级精度的一般齿轮传动(稀油润滑)	0.94~0.97		滚子轴承(稀油润滑)	0.98
	加工齿的开式齿轮传动(干油润滑)	0.92~0.95	摩擦传动	平摩擦传动	0.85~0.92
	铸造齿的开式齿轮传动	0.88~0.92		槽摩擦传动	0.88~0.90
蜗杆传动	自锁蜗杆	0.4~0.45		联轴器	卷绳轮
	单头蜗杆	0.7~0.75	浮动联轴器		0.97~0.99
	双头蜗杆	0.75~0.82	齿轮联轴器		0.99
	三头和四头蜗杆	0.8~0.92	弹性联轴器		0.99~0.995
	圆弧面蜗杆传动	0.85~0.95	万向联轴器( $\alpha \leq 3^\circ$ )		0.97~0.98
带传动	平带无压紧轮的开式传动	0.98	复滑轮组	万向联轴器( $\alpha > 3^\circ$ )	0.95~0.97
	平带有压紧轮的开式传动	0.97		梅花接轴	0.97~0.98
	平带交叉传动	0.90		液力联轴器(在设计点)	0.95~0.98
	V 带传动	0.96		滑动轴承( $i=2\sim6$ )	0.98~0.90
	同步齿形带传动	0.96~0.98		滚动轴承( $i=2\sim6$ )	0.99~0.95
链传动	焊接链	0.93	减(变) 速器	单级圆柱齿轮减速器	0.97~0.98
	片式关节链	0.95		双级圆柱齿轮减速器	0.95~0.96
	滚子链	0.96		单级行星圆柱齿轮减速器	0.95~0.96
	齿形链	0.97		单级行星摆线针轮减速器	0.90~0.97
丝杠传动	滑动丝杠	0.3~0.6		单级圆锥齿轮减速器	0.95~0.96
	滚动丝杠	0.85~0.95		双级圆锥-圆柱齿轮减速器	0.94~0.95
				无级变速器	0.92~0.95
				轧机人字齿轮座(滑动轴承)	0.93~0.95
				轧机人字齿轮座(滚动轴承)	0.94~0.96
				轧机主减速器(包括主联轴器和电机联轴器)	0.93~0.96

常用材料的密度<sup>[3,4]</sup>t/m<sup>3</sup>

表 1-1-4

材料名称	密度	材料名称	密度	材料名称	密度	材料名称	密度
灰铸铁	7.25	锌铝合金	6.3~6.9	工业用毛毡	0.3	有机玻璃	1.18~1.19
白口铸铁	7.55	铝镍合金	2.7	纤维蛇纹石	2.2~2.4	泡沫塑料	0.2
可锻铸铁	7.3	软木	0.1~0.4	石棉		玻璃钢	1.4~2.1
工业纯铁	7.87	木材(含水15%)	0.4~0.75	角闪石石棉	3.2~3.3	尼龙	1.04~1.15
铸钢	7.8	胶合板	0.56	工业橡胶	1.3~1.8	ABS树脂	1.02~1.08
钢材	7.85	刨花板	0.6	平胶板	1.6~1.8	石棉板	1~1.3
高速钢	8.3~8.7	竹材	0.9	皮革	0.4~1.2	橡胶石棉板	1.5~2.0
不锈钢、合金钢	7.9	木炭	0.3~0.5	软钢纸板	0.9	石棉线	0.45~0.55
硬质合金	14.8	石墨	2~2.2	纤维纸板	1.3	石棉布制动带	2
硅钢片	7.55~7.8	石膏	2.2~2.4	酚醛层压板	1.3~1.45	橡胶夹布传动带	0.8~1.2
紫铜	8.9	凝固水泥块	3.05~3.15	平板玻璃	2.5	磷酸	1.78
黄铜	8.4~8.85	混凝土	1.8~2.45	实验器皿玻璃	2.45	盐酸	1.2
铝	2.7	硅藻土	2.2	耐高温玻璃	2.23	硫酸(87%)	1.8
锡	7.29	普通黏土砖	1.7	石英玻璃	2.2	硝酸	1.54
钛	4.51	黏土耐火砖	2.1	陶瓷	2.3~2.45	酒精	0.8
金	19.32	石英	2.5	碳化钙(电石)	2.22	汽油	0.66~0.75
银	10.5	大理石	2.6~2.7	胶木	1.3~1.4	煤油	0.78~0.82
镁	1.74	石灰石	2.6	电玉	1.45~1.55	柴油	0.83
锌板	7.3	花岗岩	2.6~3	聚氯乙烯	1.35~1.4	石油(原油)	0.82
铅板	11.37	金刚石	3.5~3.6	聚苯乙烯	1.05~1.07	各类机油	0.9~0.95
工业镍	8.9	金刚砂	4	聚乙烯	0.92~0.95	变压器油	0.88
镍铜合金	8.8	普通刚玉	3.85~3.9	聚四氟乙烯	2.1~2.3	汞	13.55
锡基轴承合金	7.34~7.75	白刚玉	3.9	聚丙烯	0.9~0.91	水(4℃)	1
无锡青铜	7.5~8.2	碳化硅	3.1	聚甲醛	1.41~1.43	空气(20℃)	0.0012
铅基轴承合金	9.33~10.67	云母	2.7~3.1	聚苯醚	1.06~1.07		
磷青铜	8.8	沥青	0.9~1.5	聚砜	1.24		
镁合金	1.74~1.81	石蜡	0.9	赛璐珞	1.35~1.4		

注:表内数值为 $t=20^{\circ}\text{C}$ 的数值,部分是近似值。松散物料的密度和安息角<sup>[5]</sup>

表 1-1-5

物料名称	密度/ $t \cdot m^{-3}$	安息角/ $(^{\circ})$		物料名称	密度/ $t \cdot m^{-3}$	安息角/ $(^{\circ})$	
		运 动	静 止			运 动	静 止
无烟煤(干,小)	0.7~1.0	27~30	27~45	硫铁矿(块)			45
烟煤	0.8~1	30	35~45	锰矿	1.7~1.9		35~45
褐煤	0.6~0.8	35	35~50	镁砂(块)	2.2~2.5		40~42
泥煤	0.29~0.5	40	45	粉状镁砂	2.1~2.2		45~50
泥煤(湿)	0.55~0.65	40	45	铜矿	1.7~2.1		35~45
焦炭	0.36~0.53	35	50	铜精矿	1.3~1.8		40
木炭	0.2~0.4			铅精矿	1.9~2.4		40
无烟煤粉	0.84~0.89		37~45	锌精矿	1.3~1.7		40
烟煤粉	0.4~0.7		37~45	铅锌精矿	1.3~2.4		40
粉状石墨	0.45		40~45	铁烧块	1.7~2.0		45~50
磁铁矿	2.5~3.5	30~35	40~45	碎烧块	1.4~1.6	35	
赤铁矿	2.0~2.8	30~35	40~45	铅烧块	1.8~2.2		
褐铁矿	1.8~2.1	30~35	40~45	铅锌烧块	1.6~2.0		



续表

物料名称	密度/ $t \cdot m^{-3}$	安息角/ $(^\circ)$		物料名称	密度/ $t \cdot m^{-3}$	安息角/ $(^\circ)$	
		运 动	静 止			运 动	静 止
锌烟尘	0.7~1.5			石灰石(大块)	1.6~2.0	30~35	40~45
黄铁矿烧渣	1.7~1.8			石灰石(中块,小块)	1.2~1.5	30~35	40~45
铅锌团矿	1.3~1.8			生石灰(块)	1.1	25	45~50
黄铁矿球团矿	1.2~1.4			生石灰(粉)	1.2		
平炉渣(粗)	1.6~1.85		45~50	碎石	1.32~2.0	35	45
高炉渣	0.6~1.0	35	50	白云石(块)	1.2~2.0	35	
铅锌水碎渣(湿)	1.5~1.6		42	碎白云石	1.8~1.9	35	
干煤灰	0.64~0.72		35~45	砾石	1.5~1.9	30	30~45
煤灰	0.70		15~20	黏土(小块)	0.7~1.5	40	50
粗砂(干)	1.4~1.9			黏土(湿)	1.7		27~45
细砂(干)	1.4~1.65	30	30~35	水泥	0.9~1.7	35	40~45
细砂(湿)	1.8~2.1		32	熟石灰(粉)	0.5		
造型砂	0.8~1.3	30	45	电石	约1.2		

材料弹性模量及泊松比<sup>[5,6]</sup>

表 1-1-6

名 称	弹性模量 $E$ /GPa	切变模量 $G$ /GPa	泊松比 $\mu$	名 称	弹性模量 $E$ /GPa	切变模量 $G$ /GPa	泊松比 $\mu$
镍铬钢、合金钢	206	79.38	0.3	横纹木材	0.5~0.98	0.44~0.64	
碳 钢	196~206	79	0.3	橡胶	0.00784		0.47
铸 钢	172~202		0.3	电木	1.96~2.94	0.69~2.06	0.35~0.38
球墨铸铁	140~154	73~76	0.3	赛璐珞	1.71~1.89	0.69~0.98	0.4
灰铸铁、白口铸铁	113~157	44	0.23~0.27	可锻铸铁	152		
冷拔纯铜	127	48		拔制铝线	69		
				大理石	55		
轧制磷青铜	113	41	0.32~0.35	花岗石	48		
轧制纯铜	108	39	0.31~0.34	石灰石	41		
轧制锰青铜	108	39	0.35	尼龙 1010	1.07		
铸铝青铜	103	41	0.3	夹布酚醛塑料	4~8.8		
冷拔黄铜	89~97	34~36	0.32~0.42	石棉酚醛塑料	1.3		
轧制锌	82	31	0.27	高压聚乙烯	0.15~0.25		
硬铝合金	70	26	0.3	低压聚乙烯	0.49~0.78		
轧制铝	68	25~26	0.32~0.36	聚丙烯	1.32~1.42		
铅	17	7	0.42	硬聚氯乙烯	3.14~3.92		
玻璃	55	22	0.25				
混凝土	14~39	4.9~15.7	0.1~0.18	聚四氟乙烯	1.14~1.42		
纵纹木材	9.8~12	0.5					

摩擦因数<sup>[4]</sup>

表 1-1-7

常用材料的摩擦因数

摩擦副材料	摩擦因数 $\mu$		摩擦副材料	摩擦因数 $\mu$	
	无润滑	有润滑		无润滑	有润滑
钢-钢	0.15 <sup>①</sup>	0.1~0.12 <sup>①</sup>	青铜-不淬火的 T8 钢	0.16	—
	0.1 <sup>②</sup>	0.05~0.1 <sup>②</sup>	青铜-黄铜	0.16	—
钢-软钢	0.2	0.1~0.2	青铜-青铜	0.15~0.20	0.04~0.10
钢-不淬火的 T8 钢	0.15	0.03	青铜-钢	0.16	—
钢-铸铁	0.2~0.3 <sup>①</sup>	0.05~0.15	青铜-酚醛树脂层压材	0.23	—
	0.16~0.18 <sup>②</sup>		青铜-钢纸	0.24	—
钢-黄铜	0.19	0.03	青铜-塑料	0.21	—
钢-青铜	0.15~0.18	0.1~0.15 <sup>①</sup>	青铜-硬橡胶	0.36	—
		0.07 <sup>②</sup>	青铜-石板	0.33	—
钢-铝	0.17	0.02	青铜-绝缘物	0.26	—
钢-轴承合金	0.2	0.04	铝-不淬火的 T8 钢	0.18	0.03
钢-夹布胶木	0.22	—	铝-淬火的 T8 钢	0.17	0.02
钢-粉末冶金材料	0.35~0.55 <sup>①</sup>	—	铝-黄铜	0.27	0.02
钢-冰	0.027 <sup>①</sup>	—	铝-青铜	0.22	—
	0.014 <sup>②</sup>	—	铝-钢	0.30	0.02
石棉基材料-铸铁或钢	0.25~0.40	0.08~0.12	铝-酚醛树脂层压材	0.26	—
皮革-铸铁或钢	0.30~0.50	0.12~0.15	硅铝合金-酚醛树脂层压材	0.34	—
木材(硬木)-铸铁或钢	0.20~0.35	0.12~0.16	硅铝合金-钢纸	0.32	—
软木-铸铁或钢	0.30~0.50	0.15~0.25	硅铝合金-树脂	0.28	—
钢纸-铸铁或钢	0.30~0.50	0.12~0.17	硅铝合金-硬橡胶	0.25	—
毛毡-铸铁或钢	0.22	0.18	硅铝合金-石板	0.26	—
软钢-铸铁	0.2 <sup>①</sup> , 0.18 <sup>②</sup>	0.05~0.15	硅铝合金-绝缘物	0.26	—
软钢-青铜	0.2 <sup>①</sup> , 0.18 <sup>②</sup>	0.07~0.15	木材-木材	0.4~0.6 <sup>①</sup>	0.1 <sup>①</sup>
铸铁-铸铁	0.15	0.15~0.16 <sup>①</sup>		0.2~0.5 <sup>②</sup>	0.07~0.10 <sup>②</sup>
		0.07~0.12 <sup>②</sup>	麻绳-木材	0.5~0.8 <sup>①</sup>	—
铸铁-青铜	0.28 <sup>①</sup>	0.16 <sup>①</sup>		0.5 <sup>②</sup>	—
	0.15~0.21 <sup>②</sup>	0.07~0.15 <sup>②</sup>	45 号淬火热钢-聚甲醛	0.46	0.016
铸铁-皮革	0.55 <sup>①</sup> , 0.28 <sup>②</sup>	0.15 <sup>①</sup> , 0.12 <sup>②</sup>	45 号淬火热钢-聚碳酸酯	0.30	0.03
铸铁-橡胶	0.8	0.5	45 号淬火热钢-尼龙 9(加 3% MoS <sub>2</sub> 填充料)	0.57	0.02
橡胶-橡胶	0.5	—	45 号淬火热钢-尼龙 9(加 30% 玻璃纤维填充物)	0.48	0.023
皮革-木料	0.4~0.5 <sup>①</sup>	—	45 号淬火热钢-尼龙 1010(加 30% 玻璃纤维填充物)	0.039	—
	0.03~0.05 <sup>②</sup>	—	45 号淬火热钢-尼龙 1010(加 40% 玻璃纤维填充物)	0.07	—
铜-T8 钢	0.15	0.03	45 号淬火热钢-氯化聚醚	0.35	0.034
铜-铜	0.20	—	45 号淬火热钢-苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚体 (ABS)	0.35~0.46	0.018
黄铜-不淬火的 T8 钢	0.19	0.03			
黄铜-淬火的 T8 钢	0.14	0.02			
黄铜-黄铜	0.17	0.02			
黄铜-钢	0.30	0.02			
黄铜-硬橡胶	0.25	—			
黄铜-石板	0.25	—			
黄铜-绝缘物	0.27	—			

① 静摩擦因数。② 动摩擦因数。

注：1. 表中滑动摩擦因数是摩擦表面为一般情况时的试验数值，由于实际工作条件和试验条件不同，表中的数据只能作近似计算参考。

2. 除①、②标注外，其余材料动、静摩擦因数二者兼之。

表 1-1-8

各种工程用塑料的摩擦因数

下试样(塑料)	上试样(钢)		上试样(塑料)	
	静摩擦因数 $\mu_s$	动摩擦因数 $\mu_k$	静摩擦因数 $\mu_s$	动摩擦因数 $\mu_k$
聚四氟乙烯	0.10	0.05	0.04	0.04
聚全氟乙丙烯	0.25	0.18	—	—
聚乙烯 { 低密度 高密度	0.27	0.26	0.33	0.33
	0.18	0.08 ~ 0.12	0.12	0.11
聚甲醛	0.14	0.13	—	—
聚偏二氯乙烯	0.33	0.25	—	—
聚碳酸酯	0.60	0.53	—	—
聚苯二甲酸乙二醇酯	0.29	0.28	0.27 <sup>①</sup>	0.20 <sup>①</sup>
聚酰胺(尼龙66)	0.37	0.34	0.42 <sup>①</sup>	0.35 <sup>①</sup>
聚三氟氯乙烯	0.45 <sup>①</sup>	0.33 <sup>①</sup>	0.43 <sup>①</sup>	0.32 <sup>①</sup>
聚氯乙烯	0.45 <sup>①</sup>	0.40 <sup>①</sup>	0.50 <sup>①</sup>	0.40 <sup>①</sup>
聚偏二氯乙烯	0.68 <sup>①</sup>	0.45 <sup>①</sup>	0.90 <sup>①</sup>	0.52 <sup>①</sup>

① 表示黏滑运动。

表 1-1-9

物体的摩擦因数

名 称		摩擦因数 $\mu$	名 称	摩擦因数 $\mu$		
滚 动 轴 承	深沟球轴承	径向载荷	滑 动 轴 承	液体摩擦	0.001 ~ 0.008	
		轴向载荷		0.002	半液体摩擦	0.008 ~ 0.08
	角接触球轴承	径向载荷		0.003	半干摩擦	0.1 ~ 0.5
		轴向载荷		0.005	液体静压轴承	$(0.75 \sim 4) \times 10^{-6}$
	圆锥滚子轴承	径向载荷		0.008	滚动轴承	0.002 ~ 0.005
		轴向载荷		0.02	层压胶木轴瓦	0.004 ~ 0.006
	调心球轴承	0.0015		轧 辊 轴 承	青铜轴瓦(用于热轧辊)	0.07 ~ 0.1
	圆柱滚子轴承	0.002			青铜轴瓦(用于冷轧辊)	0.04 ~ 0.08
	长圆柱或螺旋滚子轴承	0.006			特殊密封全液体摩擦轴承	0.003 ~ 0.005
	滚针轴承	0.003			特殊密封半液体摩擦轴承	0.005 ~ 0.01
推力球轴承	0.003	密封软填料盒中填料与轴的摩擦	0.2			
调心滚子轴承	0.004	热钢在辊道上摩擦	0.3			
加 热 炉 内	金属在管子或金属条上	0.4 ~ 0.6	冷钢在辊道上摩擦	0.15 ~ 0.18		
			制动器普通石棉制动带(无润滑)	0.35 ~ 0.48		
	金属在炉底砖上	0.6 ~ 1	离合器装有黄铜丝的压制石棉带	0.4 ~ 0.43		

注:表中滚动轴承和轧辊轴承的摩擦因数为有润滑情况下的无量纲摩擦因数。

表 1-1-10

有量纲的滚动摩擦因数  $\mu_k$  (大约值)

圆柱沿平面滚动。滚动阻力矩为：  
 $M = N\mu_k = Fr$   
 $\mu_k$  为滚动摩擦因数

两个具有固定轴线的圆柱,其中主动圆柱以  $N$  力压另一圆柱,两个圆柱相对滚动。主动圆柱上遇到的滚动阻力矩为：  
 $M = N\mu_k \left( 1 + \frac{r_1}{r_2} \right)$   
 $\mu_k$  为滚动摩擦因数

重物压在圆辊支承的平台上移动,每个圆辊承受的载重为  $N$ 。克服一个辊子上摩擦阻力所需的牵引力  $F$   
 $F = \frac{N}{d}(\mu_k + \mu_{k1})$   
 式中  $\mu_k$  和  $\mu_{k1}$  依次是平台与圆辊之间和圆辊与固定支持物之间的滚动摩擦因数

摩擦副材料		$\mu_k/cm$	摩擦副材料		$\mu_k/cm$
软钢与软钢		约 0.05	表面淬火车轮与钢轨		
铸铁与铸铁		约 0.05	圆锥形车轮		0.08 ~ 0.1
木材与钢		0.03 ~ 0.04	圆柱形车轮		0.05 ~ 0.070
木材与木材		0.05 ~ 0.08	钢轮与木面		0.15 ~ 0.25
钢板间的滚子(梁的活动支座)		0.02 ~ 0.07	橡胶轮胎与沥青路面		约 0.25
铸铁轮或钢轮与钢轨		约 0.05	橡胶轮胎与混凝土路面		约 0.15
			橡胶轮胎与土路面		1 ~ 1.5

注：表中数据只作近似计算参考。

金属材料熔点、热导率及比热容<sup>[7]</sup>

表 1-1-11

名称	熔点 /℃	热导率 /W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	比热容 /J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	名称	熔点 /℃	热导率 /W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	比热容 /J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	名称	熔点 /℃	热导率 /W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	比热容 /J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
灰口铁	1200	39.2	480	青铜	995	64	343	锡	232	67	228
碳素钢	1400 ~ 1500	48	480	紫铜	1083	407	418	锌	419	121	388
不锈钢	1450	15.2	460	铝	658	238	902	镍	1452	91.4	444
黄铜	1083	109	377	铅	327	35	128	钛	1668	22.4	520

注：表中热导率和比热容为 20℃ 时的数据。

材料线胀系数  $\alpha_t$

表 1-1-12

$10^{-6} (1/℃)$

材 料	温 度 范 围 /℃								
	20	20 ~ 100	20 ~ 200	20 ~ 300	20 ~ 400	20 ~ 600	20 ~ 700	20 ~ 900	70 ~ 1000
工程用铜		16.6 ~ 17.1	17.1 ~ 17.2	17.6	18 ~ 18.1	18.6			
紫铜		17.2	17.5	17.9					
黄铜		17.8	16.8	20.9					
锡青铜		17.6	17.9	18.2					
铝青铜		17.6	17.9	19.2					
铝合金		22.0 ~ 24.0	23.4 ~ 24.8	24.0 ~ 25.9					
碳钢		10.6 ~ 12.2	11.3 ~ 13	12.1 ~ 13.5	12.9 ~ 13.9	13.5 ~ 14.3	14.7 ~ 15		
铬钢		11.2	11.8	12.4	13	13.6			
40CrSi		11.7							
30CrMnSiA		11							
3Cr13		10.2	11.1	11.6	11.9	12.3	12.8		
1Cr18Ni9Ti		16.6	17.0	17.2	17.5	17.9	18.6	19.3	
铸铁		8.7 ~ 11.1	8.5 ~ 11.6	10.1 ~ 12.2	11.5 ~ 12.7	12.9 ~ 13.2			17.6
镍铬合金		14.5							
砖	9.5								
水泥、混凝土	10 ~ 14								
胶木、硬橡胶	64 ~ 77								
玻璃		4 ~ 11.5							
赛璐珞		100							
有机玻璃		130							

液体材料的物理性能<sup>[4]</sup>

表 1-1-13

名称	密度 $\rho$ ( $t=20^\circ\text{C}$ ) /kg·dm <sup>-3</sup>	熔点 $t$ /°C	沸点 $t/^\circ\text{C}$	热导率 $\lambda$ ( $t=20^\circ\text{C}$ ) /W·m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	比热容 ( $0 < t$ < 100°C) /kJ·kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	名称	密度 $\rho$ ( $t=20^\circ\text{C}$ ) /kg·dm <sup>-3</sup>	熔点 $t$ /°C	沸点 $t/^\circ\text{C}$	热导率 $\lambda$ ( $t=20^\circ\text{C}$ ) /W·m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	比热容 ( $0 < t$ < 100°C) /kJ·kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>
水	0.998	0	100	0.60	4.187	氯仿	1.49	-70	61		
汞	13.55	-38.9	357	10	0.138	盐酸 (400g/L)	1.20				
苯	0.879	5.5	80	0.15	1.70	硫酸 (500g/L)	1.40				
甲苯	0.867	-95	110	0.14	1.67	浓硫酸	1.83	约 10	338	0.47	1.42
甲醇	0.8	-98	66		2.51	浓硝酸	1.51	-41	84	0.26	1.72
乙醚	0.713	-116	35	0.13	2.28	醋酸	1.04	16.8	118		
乙醇	0.79	-110	78.4		2.38	氢氟酸	0.987	-92.5	19.5		
丙酮	0.791	-95	56	0.16	2.22	石油醚	0.66	-160	>40	0.14	1.76
甘油	1.26	19	290	0.29	2.37	三氯乙烯	1.463	-86	87	0.12	0.93
重油 (轻级)	约 0.83	-10	>175	0.14	2.07	四氯代 乙烯	1.62	-20	119		0.904
汽油	约 0.73	-(30 ~50)	25~210	0.13	2.02	亚麻油	0.93	-15	316	0.17	1.88
煤油	0.81	-70	>150	0.13	2.16	润滑油	0.91	-20	>360	0.13	2.09
柴油	约 0.83	-30	150~300	0.15	2.05	变压器油	0.88	-30	170	0.13	1.88

气体材料的物理性能<sup>[4]</sup>

表 1-1-14

名称	密度 $\rho$ ( $t=20^\circ\text{C}$ ) /kg·m <sup>-3</sup>	熔点 $t$ /°C	沸点 $t/^\circ\text{C}$	热导率 $\lambda$ ( $t=0^\circ\text{C}$ ) /W·m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	比热容 ( $t=0^\circ\text{C}$ ) /kJ·kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>		名称	密度 $\rho$ ( $t=20^\circ\text{C}$ ) /kg·m <sup>-3</sup>	熔点 $t$ /°C	沸点 $t/^\circ\text{C}$	热导率 $\lambda$ ( $t=0^\circ\text{C}$ ) /W·m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	比热容 ( $t=0^\circ\text{C}$ ) /kJ·kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	
					$c_p$	$c_v$						$c_p$	$c_v$
氢	0.09	-259.2	-252.8	0.171	14.05	9.93	二氧化碳	1.97	-78.2	-56.6	0.015	0.816	0.627
氧	1.43	-218.8	-182.9	0.024	0.909	0.649	二氧化硫	2.92	-75.5	-10.0	0.0086	0.586	0.456
氮	1.25	-210.5	-195.7	0.024	1.038	0.741	氯化氢	1.63	-111.2	-84.8	0.013	0.795	0.567
氯	3.17	-100.5	-34.0	0.0081	0.473	0.36	臭氧	2.14	-251	-112			
氫	1.78	-189.3	-185.9	0.016	0.52	0.312	硫化碳	3.40	-111.5	46.3	0.0069	0.582	0.473
氟	0.90	-248.6	-246.1	0.046	1.03	0.618	硫化氢	1.54	-85.6	-60.4	0.013	0.992	0.748
氫	3.74	-157.2	-153.2	0.0088	0.25	0.151	甲烷	0.72	-182.5	-161.5	0.030	2.19	1.672
氫	5.86	-111.9	-108.0	0.0051	0.16	0.097	乙炔	1.17	-83	-81	0.018	1.616	1.300
氮	0.18	-270.7	-268.9	0.143	5.20	3.121	乙烯	1.26	-169.5	-103.7	0.017	1.47	1.173
氨	0.77	-77.9	-33.4	0.022	2.056	1.568	丙烷	2.01	-187.7	-42.1	0.015	1.549	1.360
干燥空气	1.293	-213	-192.3	0.02454	1.005	0.718	正丁烷	2.70	-135	1			
煤气	约 0.58	-230	-210		2.14	1.59	异丁烷	2.67	-145	-10			
高炉煤气	1.28	-210	-170	0.02	1.05	0.75	水蒸气 <sup>①</sup>	0.77	0.00	100.00	0.016	1.842	1.381
一氧化碳	1.25	-205	-191.6	0.023	1.038	0.741							

① 表示该项是在  $t=100^\circ\text{C}$  时测出的。

注：1. 表中性能数据在 101.325kPa 压力时测出。

2. 表中  $c_p$  表示比定压热容， $c_v$  表示比定容热容。



## 2 法定计量单位和常用单位换算

### 2.1 法定计量单位

用于构成十进倍数单位和分数单位的 SI 词头 (摘自 GB 3100—1993)

表 1-1-15

因数	词头名称		符号	因数	词头名称		符号	因数	词头名称		符号
	英文	中文			英文	中文			英文	中文	
$10^{24}$	yotta	尧[它]	Y	$10^3$	kilo	千	k	$10^{-9}$	nano	纳[诺]	n
$10^{21}$	zetta	泽[它]	Z	$10^2$	hecto	百	h	$10^{-12}$	pico	皮[可]	p
$10^{18}$	exa	艾[可萨]	E	$10^1$	deca	十	da	$10^{-15}$	femto	飞[母托]	f
$10^{15}$	peta	拍[它]	P	$10^{-1}$	deci	分	d	$10^{-18}$	atto	阿[托]	a
$10^{12}$	tera	太[拉]	T	$10^{-2}$	centi	厘	c	$10^{-21}$	zepto	仄[普托]	z
$10^9$	giga	吉[咖]	G	$10^{-3}$	milli	毫	m	$10^{-24}$	yocto	幺[科托]	y
$10^6$	mega	兆	M	$10^{-6}$	micro	微	$\mu$				

注: 1.  $10^4$  称为万,  $10^8$  称为亿,  $10^{12}$  称为万亿, 这类数词的使用不受词头名称的影响, 但不应与词头混淆。

2. [ ] 内的字, 是在不致混淆的情况下, 可以省略的字。

常用物理量的法定计量单位 (摘自 GB 3102.1 ~ 3102.7—1993)

表 1-1-16

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
空间和时间 (GB 3102.1—1993)					
[平面]角 (无量纲量)	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$ 平面角是以两射线交点为圆心的圆被射线所截的弧长与半径之比	弧度	rad 弧度是一圆内两条半径之间的平面角, 这两条半径在圆周上所截取的弧长与半径相等		
		度 [角]分 [角]秒	$(^\circ)1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{rad}$ $(')1' = (1/60)^\circ$ $('')1'' = (1/60)'$	$1^\circ = 0.0174533 \text{rad}$ $1' = 2.90888 \times 10^{-4} \text{rad}$ $1'' = 4.84814 \times 10^{-6} \text{rad}$	“度”最好按十进制细分, 其符号置于数字之后, 例如: $17^\circ 15'$ 最好写成 $17.25^\circ$
立体角 (无量纲量)	$\Omega$ 锥体的立体角是以锥体的顶点为球心作球面, 该锥体在球表面截取的面积与球半径平方之比	球面度	sr 球面度是一立体角, 其顶点位于球心, 而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形面积		

续表

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
空间和时间 (GB 3102.1—1993)					
长度 宽度 高度 厚度	$l, L$ $b$ $h$ $\delta, d$	米 毫米 微米	$m$ 米是光在真空中 ( $1/299792458$ ) s $mm$ $\mu m$ 时间间隔里所经 路程的长度		长度是基本量之一 千米俗称公里,米不 得称为公尺
半径 直径 程长 距离 笛卡儿坐标 曲率半径	$r, R$ $d, D$ $s$ $d, r$ $x, y, z$ $\rho$	海里	$n \text{ mile}$	$1 n \text{ mile} = 1852 m$ (准 确值)(只用于航程)	
曲率	$\kappa, \kappa = 1/\rho$	每米	$m^{-1}$		
面积	$A, (s)$ $A = \iint dx dy$ $x, y$ 是笛卡儿坐标	平方米	$m^2$		
		公顷	$hm^2$ $1hm^2$ 是以 100 米为边长的正方 形面积	$1hm^2 = 10^4 m^2$ (准 确值)	公顷的国际通用符 号为 ha
体积,容积	$V$ $V = \iiint dx dy dz$ $x, y, z$ 是笛卡儿坐标	立方米	$m^3$		立方厘米的符号用 $cm^3$ ,而不用 cc
		升	L, (l) $1L = 1dm^3$	$1L = 10^{-3} m^3$ (准确值)	1964 年国际计量大 会重新定义升为 $1L =$ $1dm^3$ 。根据旧定义,升 等于 $1.000028dm^3$
时间,时间间 隔,持续时间	$t$	秒	s 秒是铯-133 原子基 态的两个超精细能 级之间跃迁所对应 的辐射的 9192631770 个周期的持续时间		时间是基本量之一
		分 [小]时 日(天)	$min, 1min = 60s$ $h, 1h = 60min$ $d, 1d = 24h$	$1h = 3600s$ $1d = 86400s$	其他单位如年、月、 星期是通常使用单位。 年的符号为 a
角速度	$\omega \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt}$	弧度 每秒	$rad/s$	$1(^{\circ})/s = 0.0174533 rad/s$ $1(^{\circ})/min = 2.90888$ $\times 10^{-4} rad/s$ $1 rad/min =$ $0.0166667 rad/s$	
角加速度	$\alpha \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}$ 此式适用于绕固定轴 的旋转,如果 $\omega$ 与 $\alpha$ 均被看作是矢量,它 们也可以普遍使用	弧度 每二次 方秒	$rad/s^2$		

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
空间和时间 (GB 3102.1—1993)					
速度	$v$ $c$ $u, v, w$ $v = \frac{ds}{dt}$	米每秒	$m/s, m \cdot s^{-1}$		$v$ 是广义的标志。 $c$ 用作波的传播速度。当不用矢量标志时, 建议用 $u, v, w$ 作速度 $c$ 的分量
		千米每小时 节	km/h kn	$1 \text{ km/h} = \frac{1}{3.6} \text{ m/s}$ $= 0.277778 \text{ m/s}$ $1 \text{ kn} = 1 \text{ n mile/h}$ $= 0.514444 \text{ m/s}$	节只用于航行
加速度 自由落体 加速度, 重力 加速度	$a$ $a = \frac{dv}{dt}$ 本方程用于直线运动。如果 $a, v$ 是矢量, 它也普遍适用 $g$	米每 二次 方秒	$m/s^2$		标准自由落体加速度: $g_n = 9.80665 \text{ m/s}^2$ (国际计量大会, 1901年)
周期及有关现象 (GB 3102.2—1993)					
周期	$T$ 一个循环的时间	秒	s		
时间常数	$\tau$ 量保持其初始变化率时达到极限值的时间	秒	s		若一个量 $F(t)$ 是时间 $t$ 的函数: $F(t) = A + Be^{-t/\tau}$ 则 $\tau$ 是时间常数
频率 旋转频率, 旋转速度 (转速)	$f, \nu$ $f = \frac{1}{T}$ $n$ 转数除以时间	赫[兹] 每秒 转每分	$\text{Hz}$ $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ $\text{s}^{-1}$ $\text{r/min}$	$1 \text{ r/min} = \frac{\pi}{30} \text{ rad/s}$ $1 \text{ r/s} = 2\pi \text{ rad/s}$	1Hz 是周期为 1s 的周期现象的频率 “转每分”(r/min) 通常用作旋转机械转速的单位
角频率, 圆 频率	$\omega$ $\omega = 2\pi f$	弧度每秒 每 秒	rad/s $\text{s}^{-1}$		
波长	$\lambda$ 在周期波传播方向上, 同一时刻两相邻同相位点间的距离	米	m		埃(Å), $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ (准确值)
波数	$\sigma$ $\sigma = \frac{1}{\lambda}$ 与波数对应的矢量 $\sigma$ 称为波矢量	每 米	$\text{m}^{-1}$		
角波数	$\kappa$ $\kappa = 2\pi\sigma$ 与角波数对应的矢量 $\kappa$ 称为传播矢量	弧度每米 每 米	rad/m $\text{m}^{-1}$		
相速度 群速度	$c, v$ $c = \frac{\omega}{k} = \lambda f$ $c_\phi, U_\phi$ $c_g, U_g$ $c_g = \frac{d\omega}{dk}$	米每秒	m/s		如果涉及电磁波速度和其他速度, 则用 $c$ 表示电磁波速度, 用 $v$ 表示其他速度

续表

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
周期及有关现象 (GB 3102.2—1993)					
场[量]级	$L_F$ $L_F = \ln(F/F_0)$ 其中 $F$ 和 $F_0$ 代表两个同类量的振幅, $F_0$ 是基准振幅	奈培 分贝	$N_p$ $1N_p$ 是当 $\ln(F/F_0) = 1$ 时的场量级 dB $1dB$ 是当 $20\lg(F/F_0) = 1$ 时的场量级	$1dB = \frac{\ln 10}{20} N_p$ $= 0.1151293 N_p$	
功率[量]级	$L_p$ $L_p = \frac{1}{2} \ln(P/P_0)$ 其中 $P$ 和 $P_0$ 代表两个功率, $P_0$ 是基准功率	奈培 分贝	$N_p$ $1N_p$ 是当 $\frac{1}{2} \ln(P/P_0) = 1$ 时的功率量级 dB $1dB$ 是当 $10\lg(P/P_0) = 1$ 时的功率量级		
阻尼系数	$\delta$ 若一个量 $F(t)$ 与时间 $t$ 的函数为: $F(t) = Ae^{-\delta t} \cos[\omega(t-t_0)]$ 则 $\delta$ 为阻尼系数	每秒 奈培每秒 分贝每秒	$s^{-1}$ $N_p/s$ dB/s		量 $\tau = 1/\delta$ 为振幅的时间常数(驰豫时间)。量 $\omega(t-t_0)$ 称为相位
对数减缩	$A$ $A = T\delta$ , 阻尼系数与周期的乘积	分贝	dB		无量纲量
衰减系数	$\alpha$ 若一个量 $F(x)$ 与距离 $x$ 的函数为: $F(x) = Ae^{-\alpha x} \cos[\beta(x-x_0)]$ 则 $\alpha$ 为衰减系数	每米	$m^{-1}$	$\alpha$ 和 $\beta$ 的单位, 常分别用“奈培每米”( $N_p/m$ ) 和“弧度每米”(rad/m)	量 $l = 1/\alpha$ 被称为衰减长度 量 $\beta(x-x_0)$ 称为相位 $k' = -j\gamma$ 为复角波数
相位系数 传播系数	$\beta$ $\beta$ 为相位系数 $\gamma$ $\gamma = \alpha + j\beta$				
力 学 (GB 3102.3—1993)					
质量	$m$ 质量是基本量之一	千克 (公斤)	kg 千克为质量单位; 它等于国际千克原器的质量	$1g = 10^{-3} kg$	人民生活 and 贸易中, 习惯把质量称为重量
		吨	t $1t = 1000kg$		英语中也称为米制吨
体积质量 [质量] 密度	$\rho$ $\rho = \frac{m}{V}$ 质量除以体积	千克每 立方米 吨每立方米 千克每升	$kg/m^3$ $t/m^3$ $kg/L$	$1t/m^3 = 10^3 kg/m^3$ $= 1g/cm^3$ $1kg/L = 10^3 kg/m^3$ $= 1g/cm^3$	
相对体积 质量 相对[质 量]密度	$d$ 物质的密度与参考物质的密度在对两种物质所规定的条件下的比				无量纲量, 量的名称不应称为比重

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
力 学 (GB 3102.3—1993)					
质量体积, 比体积	$v \quad v = \frac{V}{m}$ , 体积除以质量	立方米 每千克	$m^3/kg$		
线质量 线密度	$\rho_l \quad \rho_l = \frac{m}{l}$ , 质量除以 长度	千克每米 特[克斯]	$kg/m$ tex (用于纤维纺织 业)	$1 \text{ tex} = 10^{-6} kg/m$ $= 1 g/km$	
面质量 面密度	$\rho_A, (\rho_S) \quad \rho_A = m/A$ , 质 量除以面积	千克每 平方米	$kg/m^2$		
转动惯量 (惯性矩)	$J, (I) \quad J = \int r^2 dm$ , 物体 对于一个轴的转 动惯量, 是它的 各质量元与它们 到该轴的距离的 二次方之积的总 和(积分)	千克二 次方米	$kg \cdot m^2$	$1 kg \cdot m^2 = 1 N \cdot s^2 \cdot m$ $= 1 J \cdot s^2$ $= 1 W \cdot s^3$	$r$ 为质量元到该轴的 距离
动量	$p \quad p = mv$ 质量与速度 之积	千克米 每秒	$kg \cdot m/s$	$1 kg \cdot m/s = 1 N \cdot s$ $= 1 Pa \cdot m^2 \cdot s$ $= 1 J \cdot s/m$	
力  重量	$F \quad F = \frac{d(mv)}{dt}$ 作用于物 体上的合力等于物 体动量的变化率 $W(P, G) \quad W = mg$	牛[顿]	N	$1 N = 1 kg \cdot m/s^2$ $= 1 Pa \cdot m^2 = 1 J/m$ $= 1 W \cdot s/m$ $= 1 C \cdot V/m$ $= 1 A \cdot T \cdot m$ $= 1 A \cdot Wb/m$ $= 1 C^2/(F \cdot m)$	加在质量为 1kg 的 物体上使之产生 $1m/s^2$ 加速度的力为 1N 物体在特定参考系 中的重量为使该物体 在此参考系中获得其 加速度等于当地自由 落体加速度时的力。 当此参考系为地球时, 此量常称为物体所在 地的重力。“重量”一 词按习惯仍可用于表 示质量, 但不赞成这种 习惯
冲量	$I \quad I = \int F dt$ 在 $[t_1, t_2]$ 时 间内, $I = p(t_2) - p$ ( $t_1$ ), 式中 $p$ 为动量	牛[顿]秒	$N \cdot s$		
动量矩, 角 动量	$L \quad L = r \times p$ 质点对一点 的动量矩等于从该点 到质点的矢径与质点 的动量的矢量积	千克 二次方 米每秒	$kg \cdot m^2/s$		
引力常数	$G, (f)$ 两个质点之间的 引力是, $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 式中, $r$ 为两质 点间的距离, $m_1, m_2$ 为两质 点的质量	牛 [顿]二 次方米 每二次 方千克	$N \cdot m^2/kg^2$		$G = (6.67259 \pm 0.00085) \times$ $10^{-11} N \cdot m^2/kg^2$



续表

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
力 学 (GB 3102.3—1993)					
力矩	$M$	牛[顿]米	$N \cdot m$	定义:力对一点的力矩,等于从这一点到力的作用线上任一点的矢径与该力的矢量积 $M = r \times F$ 在弹性力学中, $M$ 用于表示弯矩, $T$ 用于表示扭矩或转矩	
力偶矩	$M$			两个大小相等,方向相反,且不在同一直线上的力,其力矩之和	
转矩	$M, T$			力偶矩的推广	
角冲量	$H \quad H = \int M dt$	牛[顿]米秒	$N \cdot m \cdot s$	在 $[t_1, t_2]$ 时间内, $H = L(t_2) - L(t_1)$ , 式中 $L$ 为角动量	
压力,压强 正应力 切应力, (剪应力)	$p \quad p = F/A$ , 力除以面积 $\sigma$ $\tau$	帕[斯卡]	Pa $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ J/m}^3$ $= 1 \text{ kg}/(\text{s}^2 \cdot \text{m})$ 符号 $p_0$ 用于表压,其定义为 $p - p_{\text{amb}}$ , 表压的正或负取决于 $p$ 大于或小于环境压力 $p_{\text{amb}}$	$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$
线应变, (相对变形) 切应变, (剪应变) 体应变	$\varepsilon, e \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ $\gamma \quad \gamma = \frac{\Delta x}{d}$ $\theta \quad \theta = \frac{\Delta V}{V_0}$			$l_0$ 是指定参考状态下的长度, $\Delta l$ 是长度增量, $\Delta x$ 是厚度为 $d$ 的薄层的上表面对下表面的平行位移 $V_0$ 是指定参考状态下的体积, $\Delta V$ 是体积增量	
泊松比	$\mu, \nu$ 横向收缩量除以延伸量				无量纲量
弹性模量 切变模量, (刚量模量) 体积模量, (压缩模量)	$E \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ $G \quad G = \frac{\tau}{\gamma}$ $K \quad K = \frac{-p}{\theta}$	帕[斯卡]	Pa $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$		$E$ 也称为杨氏模量, $G$ 也称为库仑模量, 定义中的 $\varepsilon, \gamma$ 和 $\theta$ 是和 $\sigma, \tau$ 和 $p$ 相对应的
[体积]压缩率	$\kappa \quad \kappa = \frac{1}{V} \times \frac{dV}{dp}$	每帕[斯卡]	$\text{Pa}^{-1}$ $1 \text{ Pa}^{-1} = 1 \text{ m}^2/\text{N}$		
截面二次矩(惯性矩) 截面二次极矩(极惯性矩)	$I_a, (I) \quad I_a = \int r_a^2 dA$ $I_p \quad I_p = \int r_p^2 dA$	四次方米	$\text{m}^4$	一截面对在该平面内一轴的二次矩是其面积元与它们到该轴距离的二次方之积的总和(积分) $r_a$ : 面积元到轴的距离 一截面对在该平面内一点的二次极矩是其面积元与它们到该点距离的二次方之积的总和(积分) $r_p$ : 面积元到一点的距离	

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
力 学 (GB 3102.3—1993)					
截面系数	$W, Z \quad W = \frac{I_x}{r_{\max}}$	三次方米	$m^3$		一截面对在该平面内一轴的截面系数是其截面的二次矩除以该截面距轴最远点的距离
动摩擦因数 静摩擦因数	$\mu, (f)$ 滑动物体的摩擦力与法向力之比 $\mu_s, (f_s)$ 静止物体的摩擦力与法向力的最大比值				无量纲量 也称摩擦系数
[动力] 黏度	$\eta, (\mu) \quad \tau_{xz} = \eta \frac{dv}{dz}$ 式中 $\tau_{xz}$ 是以垂直于切变平面的速度梯度 $dv/dz$ 移动的液体中的切应力	帕[斯] 卡]秒	$Pa \cdot s$	$1Pa \cdot s = 1N \cdot s/m^2$ $= 1kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ $= 1J \cdot s/m^3$ 一般常用 $mPa \cdot s$	
运动黏度	$\nu \quad \nu = \frac{\eta}{\rho}$ $\rho$ 为密度	二次方 米 每秒	$m^2/s$	$1m^2/s = 1Pa \cdot s \cdot m^3/kg$ $= 1J \cdot s/kg$ 一般常用 $mm^2/s$	
表面张力	$\gamma, \sigma \quad \gamma = \frac{F}{l}$ 与表面内一个线单元垂直的力除以该线单元的长度	牛 [顿] 每米	$N/m$	$1N/m = 1J/m^2$ $= 1Pa \cdot m$ $= 1kg/s^2$	
能[量] 功 势能, 位能  动能	$E$ 所有各种形式的能 $W, (A) \quad W = \int Fdr$ $E_p, (V) \quad E_p = - \int Fdr$ 式中 $F$ 为保守力 $E_k, (T) \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2$	焦[耳]	$J \quad 1J = 1N \cdot m$ $= 1W \cdot s$	$1J = 1N \cdot m = 1Pa \cdot m^3$ $= 1W \cdot s = 1V \cdot A \cdot s$ $= 1Wb \cdot A = 1V \cdot C$ $= 1A^2 \cdot H = 1V^2 \cdot F$ $= 1Wb^2/H = 1C^2/F$ $= 1A^2 \cdot \Omega \cdot s$ $= 1kg \cdot m^2/s^2$	1J 是 1N 的力在沿力的方向上移过 1m 距离所作的功
功率	$P \quad P = \frac{W}{t}$ 能的输送速率	瓦[特] 千瓦	$W \quad 1W = 1J/s$ $kW$	$1W = 1J/s = 1N \cdot m/s$ $= 1Pa \cdot m^3/s$ $= 1V \cdot A = 1A^2 \cdot \Omega$ $= 1V^2/s$ $= 1kg \cdot m^2/s^3$	
效率	$\eta$ 输出功率与输入功率之比				

续表

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
力 学 (GB 3102.3—1993)					
质量流量	$q_m$ 质量穿过一个面的速率	千克每秒	kg/s	$1 \text{ kg/s} = 1 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ $= 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}$ $= 1 \text{ J} \cdot \text{s/m}^2$ $1 \text{ kg/min} = 16.6667$ $\times 10^{-3} \text{ kg/s}$ $1 \text{ kg/h} = 2.77778$ $\times 10^{-4} \text{ kg/s}$	
体积流量	$q_v$ 体积穿过一个面的速率	立方米每秒	$\text{m}^3/\text{s}$	$1 \text{ m}^3/\text{min} = 16.6667$ $\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $1 \text{ m}^3/\text{h} = 2.77778$ $\times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	
热 学 (GB 3102.4—1993)					
热力学温度	$T, (\Theta)$ 热力学温度是基本量之一	开[尔文]	K 热力学温度单位开尔文是水的三相点热力学温度的 $\frac{1}{273.16}$		
摄氏温度	$t, \theta$ $t = T - T_0$ 其中 $T_0$ 定义为等于 273.15 K	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$ 摄氏度是开尔文用于表示摄氏温度值的一个专门名称		热力学温度 $T_0$ 准确地比水的三相点热力学温度低 0.01K, 即 273.15K
线[膨]胀系数 体[膨]胀系数 相对压力系数	$\alpha_l$ $\alpha_l = \frac{1}{l} \times \frac{dl}{dT}$ $\alpha_v, (\gamma)$ $\alpha_v = \frac{1}{V} \times \frac{dV}{dT}$ $\alpha_p$ $\alpha_p = \frac{1}{p} \times \frac{dp}{dT}$	每开[尔文]	$\text{K}^{-1}$		在不会发生混淆时, 符号的下标可省略 压力系数的名称及符号 $\beta$ 也可用于相对压力系数的量上
压力系数	$\beta$ $\beta = \frac{dp}{dT}$	帕[斯卡] 每开[尔文]	Pa/K		
等温压缩率 等熵压缩率	$\kappa_T$ $\kappa_T = -\frac{1}{V} \times \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$ $\kappa_S$ $\kappa_S = -\frac{1}{V} \times \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_S$	每帕[斯卡]	$\text{Pa}^{-1}$	$1 \text{ Pa}^{-1} = 1 \text{ m}^2/\text{N}$	
热, 热量	$Q$ 等温相变中传递的热量, 以前常用符号 $L$ 表示, 并称为潜热, 应当用适当的热力学函数的变化表示, 如 $T\Delta S$ , 这里 $\Delta S$ 是熵的变化或 $\Delta H$ 焓的变化	焦[耳]	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ $= 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$ $= 1 \text{ W} \cdot \text{s}$ $= 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$ $= 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$	
热流量	$\phi$ 单位时间内通过一个面的热量	瓦[特]	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$	
面积热流量, 热流量密度	$q, \varphi$ 热流量除以面积	瓦[特] 每平方米	$\text{W}/\text{m}^2$	$1 \text{ W}/\text{m}^2 = 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}/\text{s}$ $= 1 \text{ kg}/\text{s}^3$	

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
热 学 (GB 3102.4—1993)					
热导率, (导热系数)	$\lambda, (\kappa)$ 面积热流量除以温度梯度	瓦[特] 每米开 [尔文]	W/(m·K)		
传热系数 表面传热 系数	$K, (k)$ 面积热流量除以温度差 $h, (\alpha)$ $q = h(T_s - T_f)$ , 式中, $T_s$ 为表面 温度, $T_f$ 为表征 外部环境特性的 参考温度	瓦[特] 每平方米 开[尔 文]	W/(m <sup>2</sup> ·K)	1W/(m <sup>2</sup> ·K) = 1J/(s·K·m <sup>2</sup> ) = 1N/(s·K·m) = 1Pa·m/(s·K) = 1kg/(s <sup>3</sup> ·K)	在建筑技术中, 这个 量常称为热传递系数, 符号为 $U$
热绝缘 系数	$M$ 温度差除以面积热 流量 $M = 1/K$	平方米 开[尔文] 每瓦 [特]	m <sup>2</sup> ·K/W		在建筑技术中, 这个 量常称为热阻, 符号 为 $R$
热阻	$R$ 温度差除以热流量	开[尔 文]每瓦 [特]	K/W		
热导	$G$ $G = 1/R$	瓦[特] 每开[尔 文]	W/K		
热扩散率	$a$ $a = \frac{\lambda}{\rho c_p}$ $\lambda$ 是热导率 $\rho$ 是体积质量 $c_p$ 是质量定压热容	平方米 每秒	m <sup>2</sup> /s	1m <sup>2</sup> /s = 1J·s/kg = 1N·s·m/kg = 1Pa·s· m <sup>3</sup> /kg	
热容	$C$ 当一系统由于加给一 微小热量 $\delta Q$ 而温度 升高 $dT$ 时, $\delta Q/dT$ 这 个量即是热容	焦[耳] 每开[尔 文]	J/K	1J/K = 1N·m/K = 1Pa·m <sup>3</sup> /K = 1kg·m <sup>2</sup> /(s <sup>2</sup> · K)	除非规定变化过程, 这个量是不完全确 定的
质量热容, 比热容 质量定压 热容, 比定压 热容 质量定容 热容, 比定容 热容 质量饱和 热容, 比饱和 热容	$c$ 热容除以质量 $c_p$ $c_v$ $c_{sat}$	焦[耳] 每千克开 [尔文]	J/(kg·K)	1J/(kg·K) = 1Pa·m <sup>3</sup> /(kg·K) = 1m <sup>2</sup> /(s <sup>2</sup> ·K)	相应的摩尔量, 参看 GB 3102.8—1993
质量热 容比 等熵指数	$\gamma$ $\gamma = c_p/c_v$ $\kappa$ $\kappa = -\frac{V}{p} \left( \frac{\partial p}{\partial V} \right)_s$				这两个量为无量 纲量 对于理想气体, $\kappa = \gamma$

续表

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
热 学 (GB 3102.4—1993)					
熵	$S$ 当热力学温度为 $T$ 的系统接受微小热量 $\delta Q$ 时,若系统内没有发生不可逆的变化,则系统的熵增为 $\delta Q/T$	焦[耳] 每开[尔文]	J/K	$1\text{J/K} = 1\text{N} \cdot \text{m}/\text{K}$ $= 1\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{K}$ $= 1\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^2 \cdot \text{K})$	
质量熵 比熵	$s$ 熵除以质量	焦[耳] 每千克开[尔文]	J/(kg·K)	$1\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ $= 1\text{N} \cdot \text{m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ $= 1\text{Pa} \cdot \text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{K})$ $= 1\text{m}^2/(\text{s}^2 \cdot \text{K})$	相应的摩尔量参见 GB 3102.8—1993
能[量]	$E$ 所有各种形式的能	焦[耳]	J		
热力学能	$U$ 对于热力学封闭系统, $\Delta U = Q + W$ , 式中 $Q$ 是传给系统的能量, $W$ 是对系统所作的功				热力学能也称为内能
焓	$H$ $H = U + pV$				
亥姆霍兹自由能, 亥姆霍兹函数	$A, F$ $A = U - TS$				
吉布斯自由能, 吉布斯函数	$G$ $G = U + pV - TS$				$G = H - TS$
质量能, 比能	$e$ 内能除以质量	焦[耳] 每千克	J/kg	$1\text{J}/\text{kg} = 1\text{N} \cdot \text{m}/\text{kg}$ $= 1\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ $= 1\text{m}^2/\text{s}^2$	相应的摩尔量参见 GB 3102.8—1993
质量热力学能, 比热力学能	$u$ 热力学能除以质量				质量热力学能也称为质量内能
质量焓, 比焓	$h$ 焓除以质量				
质量亥姆霍兹自由能, 比亥姆霍兹自由能, 比亥姆霍兹函数	$a, f$ 亥姆霍兹自由能除以质量				
质量吉布斯自由能, 比吉布斯自由能, 比吉布斯函数	$g$ 吉布斯自由能除以质量				
马休函数	$J$ $J = -A/T$	焦[耳] 每开[尔文]	J/K		



量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
热学 (GB 3102.4—1993)					
普朗克函数	$Y \quad Y = -G/T$	焦[耳] 每开[尔文]	J/K		
电学和磁学 (GB 3102.5—1993)					
电流	$I$	安[培]	A 在真空中, 截面积可忽略的两根相距 1m 的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时, 若导线间相互作用力在每米长度上为 $2 \times 10^{-7} \text{N}$ , 则每根导线中的电流定义为 1A		电流是基本量之一。在交流电技术中, 用 $i$ 表示电流的瞬时值, $I$ 表示有效值(均方根值)
电荷[量]	$Q$ 电流对时间的积分	库[仑]	C $1\text{C} = 1\text{A} \cdot \text{s}$	$1\text{C} = 1\text{J}/\text{V} = 1\text{F} \cdot \text{V} = 1\text{Wb}/\Omega$	也可以使用符号 $q$ 。ISO 和 IEC 未给出 $q$ 单位安[培][小]时用于蓄电池
体积电荷, 电荷[体]密度	$\rho, (\eta) \quad \rho = Q/V$ $V$ 为体积	库[仑] 每立方米	$\text{C}/\text{m}^3$		倍数单位可用 $\text{C}/\text{mm}^3, \text{C}/\text{cm}^3$
面积电荷, 电荷面密度	$\sigma \quad \sigma = Q/A$ $A$ 为面积	库[仑] 每平方米	$\text{C}/\text{m}^2$	$1\text{C}/\text{m}^2 = 1\text{A} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = 1\text{N}/(\text{V} \cdot \text{m}) = \text{F} \cdot \text{T}/\text{s}$	倍数单位可用 $\text{C}/\text{mm}^2, \text{C}/\text{cm}^2$
电场强度	$E \quad E = F/Q$ $F$ 为力	伏[特] 每米	$\text{V}/\text{m} \quad 1\text{V}/\text{m} = 1\text{N}/\text{C}$	$1\text{V}/\text{m} = 1\text{m} \cdot \text{kg}/(\text{A} \cdot \text{s}^3) = 1\text{W}/(\text{A} \cdot \text{m}) = 1\text{A} \cdot \Omega/\text{m} = 1\text{A}/(\text{S} \cdot \text{m}) = 1\text{T} \cdot \text{m}/\text{s} = 1\text{N}/\text{C}$	倍数单位可用 $\text{V}/\text{mm}, \text{V}/\text{cm}$
电位, (电势)  电位差, (电势差), 电压  电动势	$V, \varphi$ 是一个标量, 在静电学中: $-\text{grad } V = E$ $E$ 为电场强度 $U, (V)$ 1, 2 两点间的电位差为从点 1 到点 2 的电场强度线积分 $U = \varphi_1 - \varphi_2$ $= \int_{r_1}^2 E dr$ $r$ 为距离 $E$ 电源电动势是电源供给的能量被它输送的电荷除	伏[特]	V $1\text{V} = 1\text{W}/\text{A}$	$1\text{V} = 1\text{A} \cdot \Omega = 1\text{A}/\text{S} = 1\text{Wb}/\text{s} = 1\text{A} \cdot \text{H}/\text{s} = 1\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{A} \cdot \text{s}^3)$	在交流电技术中, $u$ 表示电位差的瞬时值, $U$ 表示有效值(均方根值) IEC 将 $\varphi$ 作为备用符号 在交流电技术中, 用 $e$ 表示电动势的瞬时值, $E$ 表示有效值(均方根值)

续表

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
电学和磁学 (GB 3102.5—1993)					
电通[量]密度, 电位移	$D$ $\operatorname{div} D = \rho$ , 电通量密度是一个矢量	库[仑]每平方米	$C/m^2$ , 倍数单位可用 $C/cm^2$	$1C/m^2 = 1A \cdot s/m^2$ $= 1N/(V \cdot m)$ $= 1F \cdot T/s$	
电通[量], 电位移通量	$\Psi$ $\Psi = \int D e_n dA$ $A$ 为面积, $e_n$ 为面积的矢量单元	库[仑]	C		
电容	$C$ $C = Q/U$	法[拉]	F $1F = 1C/V$	$1F = 1A \cdot s/V$ $= 1S \cdot s$ $= 1s/\Omega$ $= 1H/\Omega^2$ $= 1A^2 \cdot s^4/(kg \cdot m^2)$	
介电常数, (电容率) 真空介电常数, (真空电容率)	$\epsilon$ $\epsilon = D/E$ , $E$ 为电场强度 $\epsilon_0$	法[拉]每米	F/m	$1F/m = 1C/(V \cdot m)$ $= 1A \cdot s/(V \cdot m)$ $= 1S \cdot s/m$ $= 1s/(\Omega \cdot m)$ $= 1N/V^2$ $= 1A^2 \cdot s^4/(kg \cdot m^3)$	对于 $\epsilon$ , IEC 给出名称“绝对介电常数(绝对电容率)”, ISO 和 IEC 还给出此量的另一名称“电常数” $\epsilon_0 = 1/(\mu_0 c_0^2)$ $= 8.854188 \times 10^{-12} F/m$ 式中, $c_0$ 是电磁波在真空中的传播速度
相对介电常数, (相对电容率)	$\epsilon_r$ $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$				无量纲量
电极化率	$\chi, \chi_e$ $\chi = \epsilon_r - 1$				无量纲量
电极化强度	$P$ $P = D - \epsilon_0 E$	库[仑]每平方米	$C/m^2$ , 倍数单位可用 $C/cm^2$		IEC 还给出电极化强度备用符号 $D_i$
电偶极矩	$p, (p_e)$ 是一个矢量 $p \times E = T$ 式中, $T$ 为转矩, $E$ 为均匀场的电场强度	库[仑]米	$C \cdot m$		
面积电流 电流密度	$J, (S)$ $\int J e_n dA = I$ , 式中 $A$ 为面积, $e_n$ 为面积的矢量单元, 面积电流是一个矢量, 面积电流对一给定表面的积分等于流经该表面的电流	安[培]每平方米	$A/m^2$ , 倍数单位可用 $A/mm^2, A/cm^2$		面积电流也可以使用符号 $j, (\delta)$ 。ISO 和 IEC 未给出备用符号 $\delta$
线电流, 电流线 密度	$A, (a)$ 电流除以导电片宽度	安[培]每米	A/m		倍数单位可用 $A/mm, A/cm$
磁场强度	$H$ 磁场强度是一矢量, $\operatorname{rot} H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$	安[培]每米	A/m	$1A/m = 1N/Wb$	倍数单位可用 $A/mm, A/cm$

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
电学和磁学 (GB 3102.5—1993)					
磁位差, (磁势差)	$U_m$ $U_m = \int_{r_1}^{r_2} H dr$ $r$ 为距离	安[培]	A		IEC 还给出磁位差的符号 $U$ 和备用符号 $\mathcal{U}$
磁通势, (磁动势)	$F, F_m$ $F = \int H dr$ $r$ 为距离				IEC 还给出磁通势的备用符号 $\mathcal{F}$
电流链	$\mathcal{I}$ 穿过一闭合环路的净传导电流				$N$ 匝相等电流 $I$ 形成的电流链 $\mathcal{I} = NI$
磁通[量] 密度,磁感应 强度	$B$ 是一个矢量。 $F = I\Delta S \times B$ $S$ 为长度 $I\Delta S$ 为电流元	特[斯拉]	T $1T = 1N/(A \cdot m)$	$1T = 1V \cdot s/m^2$ $= 1Wb/m^2$ $= 1Pa \cdot m/A$ $= 1J/(A \cdot m^2)$ $= 1kg/(A \cdot s^2)$	
磁通[量]	$\Phi$ $\Phi = \int B dA$ $A$ 为面积	韦[伯]	Wb $1Wb = 1V \cdot s$	$1Wb = 1T \cdot m^2$ $= 1C \cdot \Omega = 1A \cdot H$ $= 1J/A = 1N \cdot m/A$ $= 1kg \cdot m^2/(A \cdot s^2)$	
磁矢位, (磁矢势)	$A$ 磁矢位是一个矢量,其旋度等于磁通密度, $B = \text{rot } A$	韦[伯] 每米	Wb/m		倍数单位可用 Wb/mm
自感 互感	$L$ $L = \Phi/I$ $M, L_{12}$ $M = \Phi_1/I_2$ $\Phi_1$ 为穿过回路 1 的磁通 $I_2$ 为回路 2 的电流	亨[利]	H $1H = 1Wb/A$	$1H = 1\Omega \cdot s$ $= 1s/S$ $= 1F \cdot \Omega^2$ $= 1kg \cdot m^2/(A^2 \cdot s^2)$ $= 1V \cdot s/A$	电感:自感和互感的统称
耦合因数, (耦合系数) 漏磁因数, (漏磁系数)	$k, (\kappa)$ $k =  L_{mn} /\sqrt{L_m L_n}$ $\sigma$ $\sigma = 1 - k^2$				无量纲量
磁导率 真空磁 导率	$\mu$ $\mu = B/H$ $\mu_0$	亨[利] 每米	H/m $1H/m$ $= 1Wb/(A \cdot m)$ $= 1V \cdot s/(A \cdot m)$	$1H/m = 1\Omega \cdot s/m$ $= 1s/(S \cdot m)$ $= 1N/A^2$ $= 1kg \cdot m/(A^2 \cdot s^2)$	IEC 还给出名称“绝对磁导率” $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$ $= 1.256637 \times 10^{-6} H/m$ ISO 和 IEC 还给出名称“磁常数”
相对磁 导率	$\mu_r$ $\mu_r = \mu/\mu_0$				无量纲量
磁化率	$\kappa, (\chi_m, \chi)$ $\kappa = \mu_r - 1$				无量纲量 ISO 和 IEC 未给出备用符号 $\chi$
[面]磁矩	$m$ $m \times B = T$ $T$ 为转矩 $B$ 为均匀场的磁通密度	安[培] 平方米	$A \cdot m^2$	ISO 还给出名称“电磁矩” IEC 还定义了磁偶极矩 $j = \mu_0 m$ , 磁偶极矩的单位为 Wb $\cdot$ m	

续表

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
电学和磁学 (GB 3102.5—1993)					
磁化强度	$M, (H_i) \quad M = (B/\mu_0) - H$	安[培]每米	A/m	$1\text{A/m} = 1\text{N/Wb}$	倍数单位可用 A/mm
磁极化强度	$J, (B_i) \quad J = B - \mu_0 H$	特[斯拉]	T	$1\text{T} = 1\text{Wb/m}^2 = 1\text{V} \cdot \text{s/m}^2$	
体积电磁能密度	$w$ 电磁场能量除以体积 $w = \frac{1}{2}(ED + BH)$	焦[耳]每立方米	J/m <sup>3</sup>	$1\text{J/m}^3 = 1\text{kg}/(\text{s}^2 \cdot \text{m})$	
坡印廷矢量	$S \quad S = E \times H$	瓦[特]每平方米	W/m <sup>2</sup>		
电磁波的相平面速度 电磁波在真空中的传播速度	$c, c_0$	米每秒	m/s		$c_0 = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = 299792458\text{m/s}$ 如果介质中的速度用符号 $c$ , 则真空中的速度用符号 $c_0$
[直流]电阻	$R \quad R = U/I$ (导体中无电动势)	欧[姆]	$\Omega \quad 1\Omega = 1\text{V/A}$	$1\Omega = 1\text{S}^{-1} = 1\text{W/A}^2 = 1\text{V}^2/\text{W} = 1\text{Wb/C} = 1\text{s/F} = 1\text{H/s} = 1\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{A}^2 \cdot \text{s}^3)$	
[直流]电导	$G \quad G = 1/R$	西[门子]	S $1\text{S} = 1\text{A/V}$	$1\text{S} = 1\Omega^{-1} = 1\text{A}^2 \cdot \text{s}^3/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	
[直流]功率	$P \quad P = UI$	瓦[特]	W $1\text{W} = 1\text{V} \cdot \text{A}$		
电阻率	$\rho \quad \rho = RA/l$ $A$ 为面积 $l$ 为长度	欧[姆]米	$\Omega \cdot \text{m}$	$1\Omega \cdot \text{m} = 1\text{m/S} = 1\text{V} \cdot \text{m/A} = 1\text{s} \cdot \text{m/F} = 1\text{H} \cdot \text{m/s}$	倍数单位可用 $\Omega \cdot \text{cm}, \mu\Omega \cdot \text{cm}$
电导率	$\gamma, \sigma \quad \gamma = 1/\rho$	西[门子]每米	S/m	$1\text{S/m} = 1\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1} = 1\text{A}/(\text{V} \cdot \text{m}) = 1\text{F}/(\text{s} \cdot \text{m}) = 1\text{s}/(\text{H} \cdot \text{m})$	电化学中用符号 $\kappa$
磁阻	$R_m \quad R_m = U_m/\Phi$ IEC 还给出备用符号 $\mathcal{R}$ ISO 和 IEC 还给出符号 $R$	每亨[利]	$\text{H}^{-1} \quad 1\text{H}^{-1} = 1\text{A/Wb}$		
磁导	$A, (P) \quad A = 1/R_m$	亨[利]	H $1\text{H} = 1\text{Wb/A}$		
绕组的匝数	$N$				都是无量纲量
相数	$m$				
极对数	$p$				
频率	$f, \nu$	赫[兹]	Hz	$1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1}$	
旋转频率	$n$ 转数被时间除	每秒	$\text{s}^{-1}$		

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
电学和磁学 (GB 3102.5—1993)					
角频率	$\omega$ $\omega = 2\pi f$	弧度每秒 每秒	rad/s $s^{-1}$		
相[位]差、 相[位]移	$\varphi$ 当两个正弦量, $u, i$ 分别为 $u = U_m \cos \omega t, i = I_m \cos(\omega t - \varphi)$ 时, 则 $\varphi$ 为相位移		弧度 [角]秒 [角]分 度	rad  ( $''$ ) $1'' = (\pi/648000)$ rad ( $'$ ) $1' = 60'' = (\pi/10800)$ rad ( $^\circ$ ) $1^\circ = 60' = (\pi/180)$ rad	此量无量纲  这三个单位符号不处于数字右上角时, 用括号。 $\pi$ 为圆周率
阻抗, (复 [数]阻抗)	$Z$ 复数电压 被复数电 流除	$Z =  Z e^{j\varphi}$ $= R + jX$	欧[姆]	$\Omega$ $1\Omega = 1V/A$	
阻抗模, (阻抗)	$ Z $	$ Z  = \sqrt{R^2 + X^2}$			
电抗	$X$ 阻抗的 虚部	当一感抗 与一容抗串 联时, $X = \omega L - \frac{1}{C\omega}$			
[交流]电阻	$R$ 阻抗的 实部	在交流电 技术中, 电阻 均指交流电 阻, 必要时还 应说明频率; 如需与直流 电阻区别, 则 可使用全称			
品质因数	$Q$ 对于无辐射系统, 如 果 $Z = R + jX$ , 则 $Q =  X /R$				无量纲量
导纳, (复 [数]导纳)	$Y, Y = 1/Z$	$Y =  Y e^{-j\varphi}$ $= G + jB$ $= (R - jX)/ Z ^2$	西[门子]	S $1S = 1A/V$	
导纳模, (导纳)	$ Y $	$ Y  = \sqrt{G^2 + B^2}$			
电纳	$B$ 导纳的 虚部	在交流电 技术中, 电导 均指交流电 导, 必要时还 应说明频率; 如需与直流 电导区别, 则 可使用全称			
[交流] 电导	$G$ 导纳的 实部				

续表

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
电学和磁学 (GB 3102.5—1993)					
损耗因数	$d \quad d = 1/Q$				无量纲量
损耗角	$\delta \quad \delta = \arctan d$	弧度	rad		
[有功]功率	$P \quad P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$ 式中, $t$ 为时间, $T$ 为计算功率的时间	瓦特	W $1W = 1J/s$ $= 1V \cdot A$	$1W = 1N \cdot m/s$ $= 1Pa \cdot m^3/s$ $= 1A^2 \cdot \Omega$ $= 1V^2 \cdot S$ $= 1kg \cdot m^2/s^3$	$P = ui$ 是瞬时功率, 在电工技术中, 有功功率单位用瓦特(W)
视在功率 (表观功率)	$S, P_s \quad S = UI$ 需要强调其复数性质时使用名称“复[数视在]功率”、符号为 $S, P_s$ 和“复[数视在]功率模”、符号为 $ S ,  P_s $ 当 $u = U_m \cos \omega t$ $= \sqrt{2} U \cos \omega t$ 和 $i = I_m \cos(\omega t - \varphi)$ $= \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi)$ 时, 则 $P = UI \cos \varphi$ $Q = UI \sin \varphi$	伏安	V · A		$\lambda = \cos \varphi$ 式中 $\varphi$ 为正弦交流电压和正弦交流电流间的相位角
无功功率	$Q, P_Q \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}$				无功功率单位 IEC 用乏(var)
功率因数	$\lambda \quad \lambda = P/S$				无量纲量
[有功]电能[量]	$W$ 有功功率对时间的积分, $W = \int u i dt$ 发电能量可称为发电量, 送电能量可称为送电量, 用电能量可称为用电量	焦[耳] 千瓦[特] [小时]	J kW · h 1kW · h = 3.6MJ	$1J = 1N \cdot m = 1Pa \cdot m^3 = 1W \cdot s$ $= 1V \cdot A \cdot s = 1Wb \cdot A = 1V \cdot C$ $= 1A^2 \cdot H = 1V^2 \cdot F = 1Wb^2/H$ $= 1C^2/F = 1A^2 \cdot \Omega \cdot s = 1V^2 \cdot S \cdot s$ $= 1kg \cdot m^2/s^2$	
光 学 (GB 3102.6—1993)					
光通量	$\Phi, (\Phi_v)$ 发光强度为 $I$ 的光源在立体角 $d\Omega$ 内的光通量, $d\Phi = I d\Omega$ , $\Phi = \int \Phi_\lambda d\lambda$	流[明]	lm	$1lm = 1cd \cdot sr$ sr 为立体角球面度	
发光强度	$I, (I_v)$ $I = \int I_\lambda d\lambda$ , 发光强度是基本量之一	坎[德拉]	cd	坎德拉是一光源在给定方向上的发光强度, 该光源发出频率为 $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ 的单色辐射, 且在此方向上的辐射强度为 $(1/683) \text{ W/sr}$	



量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
光 学 (GB 3102. 6—1993)					
[光]亮度	$L, (L_v)$ 表面一点处的面元在给定方向上的发光强度除以该面元在垂直于给定方向的平面上的正投影面积 $L = \int L_\lambda d\lambda$	坎[德拉]每平方米	$cd/m^2$		
[光]照度	$E, (E_v)$ 照射到表面一点处的面元上的光通量除以该面元的面积, $E = \int E_\lambda d\lambda$	勒[克斯]	lx	$1lx = 1lm/m^2$	
辐[射]能	$Q, W$ 以辐射的形式发射、传播( $U, Q_e$ )或接收的能量	焦[耳]	J	$1J = 1N \cdot m$	
辐[射]功率 辐[射能]通量	$P, \Phi, (\Phi_e)$ 以辐射的形式发射、传播和接收的功率 $\Phi = \int \Phi_\lambda d\lambda$	瓦[特]	W	$1W = 1J/s$	
光量	$Q(Q_v)$ 光通量对时间积分 $Q = \int Q_\lambda d\lambda$	流[明]秒	$lm \cdot s$		
曝光量	$H H = \int Edt$	勒[克斯]秒	$lx \cdot s$		
声 学 (GB 3102. 7—1993)					
静压 (瞬时) 声压	$p_s, (p_0)$ 没有声波时媒质中的压力 $p$ 有声波时媒质中的瞬时总压力与静压之差	帕[斯卡]	Pa $1Pa = 1N/m^2$		
声能密度	$w, (e), (D)$ 某一给定体积中的平均声能除以该体积	焦[耳]每立方米	$J/m^3$		
声功率	$W, P$ 声波辐射的、传输的或接收的功率	瓦[特]	W		
声强[度]	$I, J$ 通过一与传播方向垂直的表面的声功率除以该表面的面积	瓦[特]每平方米	$W/m^2$		
声阻抗率 [媒质的声]特性阻抗	$Z_s$ 某表面上的声压与质点速度的复数比 $Z_c$ 对一平面行波, 媒质中某点处的声压与质点速度的复数比	帕[斯卡]秒每米	$Pa \cdot s/m$		对于无损耗的媒质 $Z_c = \rho c$ $c$ 为声波在媒质中的传播速度, m/s $\rho$ 为媒质密度, $kg/m^3$

续表

量的名称	量的符号、定义	单位名称	单位符号、定义	换算系数	备注
声 学 (GB 3102.7—1993)					
声阻抗 声阻抗 声阻抗	$Z_a$ 某表面上的声压和 体积流量的复数比 $R_a$ 声阻抗的实数部分 $X_a$ 声阻抗的虚数部分	帕[斯卡] 秒每立方米	$\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$		
力阻抗 力阻抗 力阻抗	$Z_m$ 某表面(或某点)上 的力与在此力方向 上该表面上的平均 质点速度(或该点 上的质点速度)的 复数比 $R_m$ 力阻抗的实数部分 $X_m$ 力阻抗的虚数部分	牛[顿] 秒每米	$\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}$		
声压级	$L_p$ $L_p = 2 \lg(p/p_0)$ 式中, $p$ 为声压; $p_0$ 为基准声压, 在空气 中 $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ , 在水 中 $p_0 = 1 \mu\text{Pa}$	贝[尔]	B	1B 为 $2 \lg(p/p_0) = 1$ 时的声压级	通常用 dB 为单位, 1dB = 0.1B 此处 $p, l, W$ 均为有 效值 声压级 $L_p$ 的下标 $p$ 可略去, 特别是当需用 其他下标时
声强级	$L_I$ $L_I = \lg(I/I_0)$ 式中, $I$ 为声强; $I_0$ 为 其准声强, 等于 $1 \text{pW}/\text{m}^2$	贝[尔]	B	1B 为 $\lg(I/I_0) = 1$ 时的声强级	
声功率级	$L_W$ $L_W = \lg(W/W_0)$ 式中, $W$ 为声功率; $W_0$ 为基准声功率, 等于 $1 \text{pW}$	贝[尔]	B	1B 为 $\lg(W/W_0) = 1$ 时的声功率级	
隔声量	$R$ $R = \frac{1}{2} \lg(1/\tau)$ 式中, $\tau$ 为透射因数	贝[尔]	B	1B 为 $\lg(1/\tau) = 1$ 时的隔声量 通常用 dB 为单位	
吸声量	$A$ 吸收因数乘以材料的 表面积	平方米	$\text{m}^2$	吸收因数 $\alpha$ ; $\alpha = \delta + \tau$ 损耗因数 $\delta$ ; 损耗声功率与入射声功率之比 透射因数 $\tau$ ; 透射声功率与入射声功率之比	
感觉噪 声级	$L_{PN}$ $L_{PN} = 2 \lg(p_f/p_0)_{1\text{kHz}}$ 式中, $p_f$ 为测试 者判断为具有相 等噪度的来自正 前方中心频率 1kHz 的倍频带噪 声的声压级	贝[尔]	B	1B 为 $2 \lg(p_f/p_0) = 1$ 时的感觉噪声级。通常 以 dB 为单位。此量不是纯物理量, 而是主观 评价量	

注: 1. 平面角单位度、分、秒的符号, 在组合单位中应采用 ( $^\circ$ )、( $'$ )、( $''$ ) 的形式。例如不用  $^\circ/\text{s}$  而用 ( $^\circ$ )/s。

2. 方括号中的字, 在不致引起混淆、误解的情况下, 可以省略。

3. 量的符号用斜体, 单位符号用正体, 如  $m/\text{kg}$ , 其中  $m$  表示质量符号用斜体,  $\text{kg}$  表示质量的单位符号千克用正体。除来源于人名的单位符号第一字母要大写外, 其余均为小写字母 (但升的符号 L 除外), 如牛[顿]用 N, 帕[斯卡]用 Pa。

## 2.2 常用单位换算

长度单位换算<sup>[9]</sup>

表 1-1-17

米/m	英寸/in	英尺/ft	码/yd	公里/km	英里/mile	(国际)海里/n mile
1	39.3701	3.28084	1.09361	0.001	$6.21371 \times 10^{-4}$	$5.39957 \times 10^{-4}$
0.0254	1	0.0833333	0.0277778	$0.0254 \times 10^{-3}$	$1.57828 \times 10^{-5}$	$1.37149 \times 10^{-5}$
0.3048	12	1	0.333333	$0.3048 \times 10^{-3}$	$1.89394 \times 10^{-4}$	$1.64579 \times 10^{-4}$
0.9144	36	3	1	$0.9144 \times 10^{-3}$	$5.68182 \times 10^{-4}$	$4.93737 \times 10^{-4}$
1000.0	39370.1	3280.84	1093.61	1	0.621371	0.539957
1609.344	63360	5280	1760	1.609344	1	0.868976
1852	72913.4	6076.12	2025.37	1.851999	1.15078	1

面积单位换算<sup>[9]</sup>

表 1-1-18

平方米/m <sup>2</sup>	平方英寸/in <sup>2</sup>	平方英尺/ft <sup>2</sup>	平方码/yd <sup>2</sup>	市亩	平方英里/mile <sup>2</sup>	平方千米/km <sup>2</sup>	公顷/a	公頃/hm <sup>2</sup>
1	1550.00	10.7639	1.19599	$0.15 \times 10^{-2}$	$3.86102 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-4}$
$6.4516 \times 10^{-4}$	1	$6.94444 \times 10^{-3}$	$7.71605 \times 10^{-4}$	$9.67742 \times 10^{-7}$	$2.49098 \times 10^{-10}$	$0.64516 \times 10^{-9}$	$0.64516 \times 10^{-5}$	$6.4516 \times 10^{-8}$
0.0929030	144	1	0.111111	$1.39355 \times 10^{-4}$	$3.58701 \times 10^{-8}$	$9.29030 \times 10^{-8}$	$9.29030 \times 10^{-4}$	$9.29030 \times 10^{-5}$
0.836127	1296	9	1	$1.25419 \times 10^{-3}$	$3.22831 \times 10^{-7}$	$8.36127 \times 10^{-7}$	$8.36127 \times 10^{-3}$	$8.36127 \times 10^{-5}$
$6.66667 \times 10^2$	$1.03333 \times 10^6$	$7.17593 \times 10^3$	$7.97327 \times 10^2$	1	$2.57401 \times 10^{-4}$	$6.66667 \times 10^{-4}$	6.66667	$6.66667 \times 10^{-2}$
$2.58999 \times 10^6$	$4.01449 \times 10^9$	$2.78784 \times 10^7$	$3.09760 \times 10^6$	$3.88499 \times 10^3$	1	2.58999	25899.9	$2.58999 \times 10^2$
$1 \times 10^6$	$1.55000 \times 10^9$	$1.07639 \times 10^7$	$1.19599 \times 10^6$	1500	0.386102	1	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^2$
$1 \times 10^2$	$1.55000 \times 10^5$	$1.07639 \times 10^3$	$1.19599 \times 10^2$	0.15	$3.86102 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	1	$1 \times 10^{-2}$
$1 \times 10^4$	$1.55000 \times 10^7$	$1.07639 \times 10^5$	$1.19599 \times 10^4$	15	$3.86102 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^2$	1

注: 1. 1 英亩(acre) = 0.404686ha = 4046.86m<sup>2</sup> = 0.004047km<sup>2</sup>。

2. 公顷的国际通用符号为 ha。

体积、容积单位换算<sup>[9]</sup>

表 1-1-19

立方米/m <sup>3</sup>	立方分米,升/dm <sup>3</sup> ,L	立方英寸/in <sup>3</sup>	立方英尺/ft <sup>3</sup>	立方码/yd <sup>3</sup>	英加仑/UK gal	美加仑/US gal
1	1000	61023.7	35.3147	1.30795	219.969	264.172
0.001	1	61.0237	0.0353147	1.30795 × 10 <sup>-3</sup>		
0.16387064 × 10 <sup>-4</sup>	1.6387064 × 10 <sup>-2</sup>	1	5.78704 × 10 <sup>-4</sup>	2.14335 × 10 <sup>-5</sup>	0.219969	0.264172
0.0283168	28.3168	1728	1	0.0370370	3.60465 × 10 <sup>-3</sup>	4.32900 × 10 <sup>-3</sup>
0.764555	764.555	46656	27	1	6.22883	7.48052
4.54609 × 10 <sup>-3</sup>	4.54609	277.420	0.160544		1	1.20095
3.78541 × 10 <sup>-3</sup>	3.78541	231	0.133681		0.832674	1

注: 1. 1 桶 (barrel) (用于石油) = 9702in<sup>3</sup> = 158.9873dm<sup>3</sup> = 42US gal = 34.97UK gal。

2. 1 蒲式耳 (bu) (美) = 2150.42in<sup>3</sup> = 35.239dm<sup>3</sup>。

质量单位换算<sup>[9]</sup>

表 1-1-20

吨/t	千克/kg	克/g	英吨/ton	美吨/US ton	磅/lb	盎司/oz	市斤	市两
1	1 × 10 <sup>3</sup>	1 × 10 <sup>6</sup>	0.984207	1.10231	2204.62	35274.0	2 × 10 <sup>3</sup>	2 × 10 <sup>4</sup>
1 × 10 <sup>-3</sup>	1	1 × 10 <sup>3</sup>	9.84207 × 10 <sup>-4</sup>	1.10231 × 10 <sup>-3</sup>	2.20462	35.2740	2	20
1 × 10 <sup>-6</sup>	1 × 10 <sup>-3</sup>	1	9.84207 × 10 <sup>-7</sup>	1.10231 × 10 <sup>-6</sup>	2.20462 × 10 <sup>-3</sup>	0.0352740	2 × 10 <sup>-3</sup>	2 × 10 <sup>-2</sup>
1.01605	1016.05	1.01605 × 10 <sup>6</sup>	1	1.12	2240	35840		
0.907185	907.185	9.07185 × 10 <sup>5</sup>	0.892857	1	2000	32000		
4.5359237 × 10 <sup>-4</sup>	0.45359237	453.59237	4.46429 × 10 <sup>-4</sup>	5 × 10 <sup>-4</sup>	1	16	0.907184	9.07184
2.83495 × 10 <sup>-5</sup>	0.0283495	28.3495	2.79018 × 10 <sup>-5</sup>	3.125 × 10 <sup>-5</sup>	6.25 × 10 <sup>-2</sup>	1	0.0566990	0.566990
0.5 × 10 <sup>-3</sup>	0.5	5 × 10 <sup>2</sup>			1.10231	17.6370	1	10
0.5 × 10 <sup>-4</sup>	0.05	50			0.110231	1.76370	0.1	1

注: 1. 英吨的单位符号为“ton”, 在我国书刊中也有用“UK ton”。

2. 美吨是美国单位, 又称为“short ton”, 即短吨。

密度单位换算<sup>[9]</sup>

表 1-1-21

千克每立方米(克每升) /kg · m <sup>-3</sup> (g · L <sup>-1</sup> )	克每毫升(克每立方厘米, 吨每立方米) /g · mL <sup>-1</sup> (g · cm <sup>-3</sup> , t · m <sup>-3</sup> )	磅每立方英寸 /lb · in <sup>-3</sup>	磅每立方英尺 /lb · ft <sup>-3</sup>	磅每英加仑 /lb · (UK gal) <sup>-1</sup>	磅每美加仑 /lb · (US gal) <sup>-1</sup>
1	0.001	3.61273 × 10 <sup>-5</sup>	6.24280 × 10 <sup>-2</sup>	1.00224 × 10 <sup>-2</sup>	0.834540 × 10 <sup>-2</sup>
1000	1	0.0361273	62.4280	10.0224	8.34540
27679.9	27.6799	1	1728	277.420	231
16.0185	0.0160185	5.78704 × 10 <sup>-4</sup>	1	0.160544	0.133681
99.7763	0.0997763	3.60165 × 10 <sup>-3</sup>	6.22883	1	0.832674
119.826	0.110826	4.32900 × 10 <sup>-3</sup>	7.48052	1.20095	1

注: 1lb/yd<sup>3</sup> (磅每立方码) = 0.037 lb/ft<sup>3</sup> = 0.593276kg/m<sup>3</sup>。

速度单位换算<sup>[9]</sup>

表 1-1-22

米每秒 /m·s <sup>-1</sup>	千米每小时 /km·h <sup>-1</sup>	英尺每分 /ft·min <sup>-1</sup>	英尺每秒 /ft·s <sup>-1</sup>	英里每小时 /mile·h <sup>-1</sup>	节 /kn	市里每小时 /市里·时 <sup>-1</sup>
1	3.6	196.850	3.28084	2.23694	1.94260	7.2
0.277778	1	54.6807	0.911344	0.621371	0.539612	2
0.00508	0.018288	1	0.0166667	0.0113636	9.86842 × 10 <sup>-3</sup>	0.036576
0.3048	1.09728	60	1	0.681818	0.592105	2.19456
0.44704	1.609344	88	1.46667	1	0.868421	3.218688
0.514773	1.85318	101.333	1.68889	1.15152	1	3.706368
0.138889	0.5	27.3403	0.455672	0.310686	0.269806	1

角速度单位换算<sup>[4]</sup>

表 1-1-23

弧度每秒 /rad·s <sup>-1</sup>	弧度每分 /rad·min <sup>-1</sup>	转每秒 /r·s <sup>-1</sup>	转每分 /r·min <sup>-1</sup>	度每秒 /(°)·s <sup>-1</sup>	度每分 /(°)·min <sup>-1</sup>
1	60	0.159155	9.54930	57.2958	3437.75
0.0166667	1	0.00265258	0.159155	0.954930	57.2958
6.28319	376.991	1	60	360	21600
0.104720	6.28319	0.0166667	1	6	360
0.0174533	1.04720	0.00277778	0.166667	1	60
2.90888 × 10 <sup>-4</sup>	0.0174533	4.62963 × 10 <sup>-5</sup>	2.77778 × 10 <sup>-3</sup>	0.0166667	1

质量流量单位换算<sup>[9]</sup>

表 1-1-24

千克每秒 /kg·s <sup>-1</sup>	克每分 /g·min <sup>-1</sup>	克每秒 /g·s <sup>-1</sup>	吨每小时 /t·h <sup>-1</sup>	吨每分 /t·min <sup>-1</sup>	千克每小时 /kg·h <sup>-1</sup>	千克每分 /kg·min <sup>-1</sup>	英吨每小时 /ton·h <sup>-1</sup>	美吨每小时 /US ton·h <sup>-1</sup>
1	6 × 10 <sup>4</sup>	1000	3.6	0.06	3600	60	3.54315	3.96832
1.66667 × 10 <sup>-5</sup>	1	0.0166667	6 × 10 <sup>-5</sup>	1 × 10 <sup>-6</sup>	0.06	1 × 10 <sup>-3</sup>	5.90524 × 10 <sup>-5</sup>	6.61386 × 10 <sup>-5</sup>
0.001	60	1	0.0036	6 × 10 <sup>-5</sup>	3.6	0.08	0.354315 × 10 <sup>-2</sup>	0.396832 × 10 <sup>-2</sup>
0.277778	0.166667 × 10 <sup>5</sup>	277.778	1	0.0166667	1000	16.6667	0.984207	1.10231
16.6667	1 × 10 <sup>6</sup>	1.66667 × 10 <sup>4</sup>	60	1	6 × 10 <sup>4</sup>	1000	59.0524	66.1386
0.277778 × 10 <sup>-3</sup>	16.6667	0.277778	1 × 10 <sup>-3</sup>	1.66667 × 10 <sup>-5</sup>	1	0.0166667	0.984207 × 10 <sup>-3</sup>	1.10231 × 10 <sup>-3</sup>
0.0166667	1000	16.6667	0.06	0.001	60	1	0.0590524	0.0661386
0.282236	0.169342 × 10 <sup>5</sup>	282.236	1.01605	1.69342 × 10 <sup>-2</sup>	1016.05	16.9342	1	1.12
0.251996	15119.8	251.996	0.907185	0.0151198	907.185	15.1198	0.892859	1

体积流量单位换算<sup>[9]</sup>

表 1-1-25

立方米每秒 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	立方米每分钟 $/\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	立方米每小时 $/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	立方厘米每秒 $/\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	升每秒 $/\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$	升每分钟 $/\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	升每小时 $/\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$	立方英尺每秒 $/\text{ft}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	立方英尺每分钟 $/\text{ft}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	立方英尺每小时 $/\text{ft}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
1	60	3600	$1 \times 10^6$	1000	$6 \times 10$	$3.6 \times 10^6$	35.3147	$0.211888 \times 10^4$	$0.127133 \times 10^6$
0.0166667	1	60	$0.166667 \times 10^5$	16.6667	1000	$6 \times 10^4$	0.588578	35.3147	2118.88
$2.77778 \times 10^{-4}$	$0.0166667$	1	277.778	0.277778	16.6667	1000	$9.80963 \times 10^{-3}$	0.588578	35.3147
$1 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-5}$	$3.6 \times 10^{-3}$	1	$1 \times 10^{-3}$	0.06	3.6	$3.53147 \times 10^{-5}$	$0.211888 \times 10^{-2}$	0.127133
0.001	0.06	3.6	1000	1	60	3600	0.0353147	2.11888	127.133
$1.66667 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3}$	0.06	16.6667	0.0166667	1	60	$5.88578 \times 10^{-4}$	0.0353147	2.11888
$0.277778 \times 10^{-6}$	$0.166667 \times 10^{-4}$	0.001	0.277778	$0.277778 \times 10^{-3}$	0.0166667	1	$9.80963 \times 10^{-6}$	$0.588578 \times 10^{-3}$	0.0353147
0.0283168	1.69902	101.941	$0.283169 \times 10^8$	28.3168	1699.01	101940	1	60	3600
$0.471947 \times 10^{-3}$	0.0283168	1.69902	$0.471947 \times 10^6$	0.471947	28.3168	1699.02	0.0166667	1	60
$7.86579 \times 10^{-6}$	$0.471947 \times 10^{-3}$	0.0283168	7.86579	$7.86579 \times 10^{-3}$	0.471947	28.3168	$0.277778 \times 10^{-3}$	0.0166667	1

压力单位换算<sup>[9]</sup>

表 1-1-26

帕斯卡/Pa $(\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$	牛顿每平方米毫米 $/\text{N} \cdot \text{mm}^{-2} (\text{MPa})$	千克力每平方米厘米 $/\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$	磅力每平方米英寸 $/\text{lbf} \cdot \text{in}^{-2}$	巴/bar	毫巴/mbar	标准大气压/atm	托/Torr	英寸水柱/inH <sub>2</sub> O	毫米汞柱/mmHg
1	$1 \times 10^{-6}$	1.01972	$1.45038 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	0.01	$9.86923 \times 10^{-6}$	$0.750062 \times 10^{-2}$	$4.01463 \times 10^{-3}$	$7.50062 \times 10^{-3}$
$1 \times 10^6$	1	10.1972	145.038						
$9.80665 \times 10^4$	$9.80665 \times 10^{-2}$	1	14.2233	0.980665	980.665	0.967841	735.559		
$6.89476 \times 10^3$	$6.89476 \times 10^{-3}$	0.0703070	1	0.0689476	68.9476	0.0680460	51.7149		
$1 \times 10^5$		1.01972	14.5038	1	1000	0.986923	750.062		
100		1.01972	0.0145038	0.001	1	$9.86923 \times 10^{-4}$	0.750062	0.401463	0.750062
101325.0		1.03323	14.6959	1.01325	1013250	1	760		
133.322		$1.35951 \times 10^{-3}$	0.0193368	0.00133322	1.33322	$1.31579 \times 10^{-3}$	1		
249.089					2.49089			1	1.86832
133.322					1.33322			0.535240	1

注: 1. 1at (工程大气压) =  $1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 0.96784\text{atm} = 98066.5\text{Pa} = 10^4\text{mmH}_2\text{O} = 735.6\text{mmHg}$ 。

2.  $1\text{mmH}_2\text{O} (\text{kgf}/\text{m}^2) = 10^{-4}\text{at} = 0.9678\text{atm} = 9.80665\text{Pa} = 0.0736\text{mmHg}$ 。

3.  $1\text{mmHg} = 13.595\text{mmH}_2\text{O} = 133.322\text{Pa} = 0.00136\text{at} = 0.00132\text{atm}$ 。

力单位换算<sup>[4]</sup>

表 1-1-27

牛/N	千克力/kgf	达因/dyn	吨力/tf	磅达/pdl	磅力/lbf
1	0.101972	100000	$1.01972 \times 10^{-4}$	7.23301	0.224809
9.80665	1	980665	$10^{-3}$	70.9316	2.20462
$10^{-5}$	$0.101972 \times 10^{-5}$	1	$0.101972 \times 10^{-8}$	$7.23301 \times 10^{-5}$	$2.24809 \times 10^{-6}$
9806.65	1000	$980665 \times 10^3$	1	70931.6	2204.62
0.138255	0.0140981	13825.5	$1.40981 \times 10^{-5}$	1	0.0310810
4.44822	0.453592	444822	$4.53592 \times 10^{-4}$	32.1740	1

力矩、转矩单位换算<sup>[4]</sup>

表 1-1-28

牛米/N·m	千克力米/kgf·m	磅达英尺/pdl·ft	磅力英尺/lbf·ft	达因厘米/dyn·cm
1	0.101972	23.7304	0.737562	$10^7$
9.80665	1	232.715	7.23301	$9.807 \times 10^7$
0.0421401	$4.29710 \times 10^{-3}$	1	0.0310810	421401.24
1.35582	0.138255	32.1740	1	$1.356 \times 10^7$
$10^{-7}$	$1.020 \times 10^{-8}$	$2.373 \times 10^{-6}$	$0.7376 \times 10^{-7}$	1

功、能、热量单位换算<sup>[4]</sup>

表 1-1-29

焦/J	千瓦时/kW·h	千克力米/kgf·m	英尺磅力/ft·lbf	米制马力时	英制马力时/hp·h	千卡/kcal <sub>IT</sub> <sup>①</sup>	英热单位/Btu	尔格/erg
1	$2.77778 \times 10^{-7}$	0.101972	0.737562	$3.77673 \times 10^{-7}$	$3.72506 \times 10^{-7}$	$2.38846 \times 10^{-4}$	$9.47813 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^7$
3600000	1	367098	2655220	1.35962	1.34102	859.845	3412.14	$3.6 \times 10^{13}$
9.80665	$2.72407 \times 10^{-6}$	1	7.23301	$3.70370 \times 10^{-6}$	$3.65304 \times 10^{-6}$	$2.34228 \times 10^{-3}$	$9.2949 \times 10^{-3}$	$9.80665 \times 10^7$
1.35582	$3.76616 \times 10^{-7}$	0.138255	1	$5.12055 \times 10^{-7}$	$5.05051 \times 10^{-7}$	$3.23832 \times 10^{-4}$	$1.28507 \times 10^{-3}$	$1.356 \times 10^7$
2647790	0.735499	270000	1952193	1	0.986321	632.415	2509.62	$2.6478 \times 10^{13}$
2684520	0.745699	273745	1980000	1.01387	1	641.186	2544.43	$2.68452 \times 10^{13}$
4186.80	$1.163 \times 10^{-3}$	426.935	3088.03	$1.58124 \times 10^{-3}$	$1.55961 \times 10^{-3}$	1	3.96832	$4.186798 \times 10^{10}$
1055.06	$2.93071 \times 10^{-4}$	107.66	778.169	$3.98467 \times 10^{-4}$	$3.93015 \times 10^{-4}$	0.251996	1	$10.55 \times 10^9$
$10^{-7}$	$27.78 \times 10^{-15}$	$0.102 \times 10^{-7}$	$0.737 \times 10^{-7}$	$37.77 \times 10^{-15}$	$37.25 \times 10^{-15}$	$23.9 \times 10^{-12}$	$94.78 \times 10^{-12}$	1

① kcal<sub>IT</sub>是指国际蒸汽表卡。

注：1. 米制马力无国际符号，PS 为德国符号。

2. 在英制中功、能单位用“英尺磅力 (ft·lbf)”以便与力矩单位“磅力英尺 (lbf·ft)”区别开来。



功率单位换算<sup>19)</sup>

表 1-1-30

瓦[特]/W	千瓦[特]/kW	尔格每秒 /erg · s <sup>-1</sup>	千克力米每秒 /kgf · m · s <sup>-1</sup>	米制马力	英尺磅力每秒 /ft · lbf · s <sup>-1</sup>	英制马力/hp	卡每秒/cal · s <sup>-1</sup>	千卡每小时 /kcal · h <sup>-1</sup>	英热单位每小时 /Btu · h <sup>-1</sup>
1	1 × 10 <sup>-3</sup>	1 × 10 <sup>7</sup>	0.101972	1.35962 × 10 <sup>-3</sup>	0.737562	1.34102 × 10 <sup>-3</sup>	0.238846	0.859845	3.41214
1 × 10 <sup>3</sup>	1	1 × 10 <sup>10</sup>	0.101972 × 10 <sup>3</sup>	1.35962	0.737562 × 10 <sup>3</sup>	1.34102	0.238846 × 10 <sup>3</sup>	0.859845 × 10 <sup>3</sup>	3412.14
1 × 10 <sup>-7</sup>	1 × 10 <sup>-10</sup>	1	0.101972 × 10 <sup>-7</sup>	1.35962 × 10 <sup>-10</sup>	0.737562 × 10 <sup>-7</sup>	1.34102 × 10 <sup>-10</sup>	0.238846 × 10 <sup>-7</sup>	0.859845 × 10 <sup>-7</sup>	3.41214 × 10 <sup>-7</sup>
9.80665	9.80665 × 10 <sup>-3</sup>	9.80665 × 10 <sup>7</sup>	1	0.0133333	7.23301	0.0131509	2.34228	8.43220	33.4617
735.499	0.735499	0.735499 × 10 <sup>10</sup>	75	1	542.476	0.986320	175.671	632.415	2509.63
1.35582	1.35582 × 10 <sup>-3</sup>	1.35582 × 10 <sup>7</sup>	0.138255	1.84340 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.81818 × 10 <sup>-3</sup>	0.323832	1.16579	4.62624
745.700	0.745700	0.745700 × 10 <sup>10</sup>	76.0402	1.01387	550	1	178.107	641.186	2544.43
4.1868	4.1868 × 10 <sup>-3</sup>	4.1868 × 10 <sup>7</sup>	0.426935	5.69246 × 10 <sup>-3</sup>	3.08803	5.61459 × 10 <sup>-3</sup>	1	3.6	14.286
1.163	1.163 × 10 <sup>-3</sup>	1.163 × 10 <sup>7</sup>	0.118593	1.58124 × 10 <sup>-3</sup>	0.857785	1.55961 × 10 <sup>-3</sup>	0.277778	1	3.96832
0.293071	0.293071 × 10 <sup>-3</sup>	0.2930712 × 10 <sup>7</sup>	2.98849 × 10 <sup>-2</sup>	3.98466 × 10 <sup>-4</sup>	0.216158	3.93015 × 10 <sup>-4</sup>	0.0699988	0.251996	1

注：米制马力无国际符号，PS为德国符号。

比能单位换算<sup>[4]</sup>

表 1-1-31

焦每千克 /J · kg <sup>-1</sup>	千卡每千克 /kcal <sub>IT</sub> · kg <sup>-1</sup>	热化学千卡每千克 /kcal <sub>th</sub> · kg <sup>-1</sup>	15℃千卡每千克 /kcal <sub>15</sub> · kg <sup>-1</sup>	英热单位每磅 /Btu · lb <sup>-1</sup>	英尺磅力每磅 /ft · lbf · lb <sup>-1</sup>	千克力米每千克 /kgf · m · kg <sup>-1</sup>
1	0.238846 × 10 <sup>-3</sup>	0.239006 × 10 <sup>-3</sup>	0.238920 × 10 <sup>-3</sup>	0.429923 × 10 <sup>-3</sup>	0.334553	0.101972
4186.8	1	1.00067	1.00031	1.8	1400.70	426.935
4184	0.999331	1	0.999642	1.79880	1399.77	426.649
4185.5	0.999690	1.00036	1	1.79944	1400.27	426.802
2326	0.555556	0.555927	0.555728	1	778.169	237.186
2.98907	7.13926 × 10 <sup>-4</sup>	7.14404 × 10 <sup>-4</sup>	7.14148 × 10 <sup>-4</sup>	1.28507 × 10 <sup>-3</sup>	1	0.3048
9.80665	2.34228 × 10 <sup>-3</sup>	2.34385 × 10 <sup>-3</sup>	2.34301 × 10 <sup>-3</sup>	4.21610 × 10 <sup>-3</sup>	3.28084	1

注：比能又称质量能。

比热容与比熵单位换算<sup>[4]</sup>

表 1-1-32

焦/(千克·开) /J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	千卡/(千克·开) /kcal <sub>IT</sub> · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	热化学千卡/ (千克·开)/kcal <sub>th</sub> · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	15℃千卡/ (千克·开)/kcal <sub>15</sub> · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	英热单位/ (磅·°F) /Btu · lb <sup>-1</sup> · °F <sup>-1</sup>	英尺·磅力/ (磅·°F)/ft · lbf · lb <sup>-1</sup> · °F <sup>-1</sup>	千克力·米/ (千克·开)/kgf · m · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>
1	0.238846 × 10 <sup>-3</sup>	0.239006 × 10 <sup>-3</sup>	0.238920 × 10 <sup>-3</sup>	0.238846 × 10 <sup>-3</sup>	0.185863	0.101972
4186.8	1	1.00067	1.00031	1	778.169	426.935
4184	0.999331	1	0.999642	0.999331	777.649	426.649
4185.5	0.999690	1.00036	1	0.999690	777.928	426.802
4186.8	1	1.00067	1.00031	1	778.169	426.935
5.38032	1.28507 × 10 <sup>-3</sup>	1.28593 × 10 <sup>-3</sup>	1.28547 × 10 <sup>-3</sup>	1.28507 × 10 <sup>-3</sup>	1	0.54864
9.80665	2.34228 × 10 <sup>-3</sup>	2.34385 × 10 <sup>-3</sup>	2.34301 × 10 <sup>-3</sup>	2.34228 × 10 <sup>-3</sup>	1.82269	1

注：比热容又称质量热容，比熵又称质量熵。

传热系数单位换算<sup>[4]</sup>

表 1-1-33

瓦/(米 <sup>2</sup> ·开) /W · m <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup>	卡/(厘米 <sup>2</sup> ·秒·开) /cal · cm <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	千卡/(米 <sup>2</sup> ·小时·开) /kcal · m <sup>-2</sup> · h <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	英热单位/(英尺 <sup>2</sup> ·小时·°F) /Btu · ft <sup>-2</sup> · h <sup>-1</sup> · °F <sup>-1</sup>
1	0.238846 × 10 <sup>-4</sup>	0.859845	0.176110
41868	1	36000	7373.38
1.163	2.77778 × 10 <sup>-5</sup>	1	0.204816
5.67826	1.35623 × 10 <sup>-4</sup>	4.88243	1

热导率单位换算<sup>[4]</sup>

表 1-1-34

瓦/(米·开) /W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	卡/(厘米·秒·开) /cal · cm <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	千卡/(米·小时·开) /kcal · m <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	英热单位/(英尺·小时·°F) /Btu · ft <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> · °F <sup>-1</sup>	英热单位·英寸/(英尺 <sup>2</sup> ·小时·°F) /Btu · in · ft <sup>-2</sup> · h <sup>-1</sup> · °F <sup>-1</sup>
1	0.238846 × 10 <sup>-2</sup>	0.859845	0.577789	6.93347
418.68	1	360	241.909	2902.91
1.163	2.77778 × 10 <sup>-3</sup>	1	0.671969	8.06363
1.73073	4.13379 × 10 <sup>-3</sup>	1.48816	1	12
0.144228	3.44482 × 10 <sup>-4</sup>	0.124014	0.0833333	1

黑色金属硬度及强度换算值之一 (摘自 GB/T 1172—1999)

表 1-1-35

硬 度									抗 拉 强 度 $\sigma_b$ /MPa								
洛 氏		表面洛氏			维氏	布氏 ( $F/D^2 = 30$ )			碳钢	铬钢	铬钒钢	铬镍钢	铬钼钢	铬镍钼钢	铬锰硅钢	超高强度钢	不锈钢
HRC	HRA	HR15N	HR30N	HR45N	HV	HBS	HBW										
20.0	60.2	68.8	40.7	19.2	226	225		774	742	736	782	747		781		740	
21.0	60.7	69.3	41.7	20.4	230	229		793	760	753	792	760		794		758	
22.0	61.2	69.8	42.6	21.5	235	234		813	779	770	803	774		809		777	
23.0	61.7	70.3	43.6	22.7	241	240		833	798	788	815	789		824		796	
24.0	62.2	70.8	44.5	23.9	247	245		854	818	807	829	805		840		816	
25.0	62.8	71.4	45.5	25.1	253	251		875	838	826	843	822		856		837	
26.0	63.3	71.9	46.4	26.3	259	257		897	859	847	859	840	859	874		858	
27.0	63.8	72.4	47.3	27.5	266	263		919	880	869	876	860	879	893		879	
28.0	64.3	73.0	48.3	28.7	273	269		942	902	892	894	880	901	912		901	
29.0	64.8	73.5	49.2	29.9	280	276		965	925	915	914	902	923	933		924	
30.0	65.3	74.1	50.2	31.1	288	283		989	948	940	935	924	947	954		947	
31.0	65.8	74.7	51.1	32.3	296	291		1014	972	966	957	948	972	977		971	
32.0	66.4	75.2	52.0	33.5	304	298		1039	996	993	981	974	999	1001		996	
33.0	66.9	75.8	53.0	34.7	313	306		1065	1022	1022	1007	1001	1027	1026		1021	
34.0	67.4	76.4	53.9	35.9	321	314		1092	1048	1051	1034	1029	1056	1052		1047	
35.0	67.9	77.0	54.8	37.0	331	323		1119	1074	1082	1063	1058	1087	1079		1074	
36.0	68.4	77.5	55.8	38.2	340	332		1147	1102	1114	1093	1090	1119	1108		1101	
37.0	69.0	78.1	56.7	39.4	350	341		1177	1131	1148	1125	1122	1153	1139		1130	
38.0	69.5	78.7	57.6	40.6	360	350		1207	1161	1183	1159	1157	1189	1171		1161	
39.0	70.0	79.3	58.6	41.8	371	360		1238	1192	1219	1195	1192	1226	1204	1195	1193	
40.0	70.5	79.9	59.5	43.0	381	370	370	1271	1225	1257	1233	1230	1265	1240	1243	1226	
41.0	71.1	80.5	60.4	44.2	393	380	381	1305	1260	1296	1273	1269	1306	1277	1290	1262	
42.0	71.6	81.1	61.3	45.4	404	391	392	1340	1296	1337	1314	1310	1348	1316	1336	1299	
43.0	72.1	81.7	62.3	46.5	416	401	403	1378	1335	1380	1358	1353	1392	1357	1381	1339	
44.0	72.6	82.3	63.2	47.7	428	413	415	1417	1376	1424	1404	1397	1439	1400	1427	1383	
45.0	73.2	82.9	64.1	48.9	441	424	428	1459	1420	1469	1451	1444	1487	1445	1473	1429	
46.0	73.7	83.5	65.0	50.1	454	436	441	1503	1468	1517	1502	1492	1537	1493	1520	1479	
47.0	74.2	84.0	65.9	51.2	468	449	455	1550	1519	1566	1554	1542	1589	1543	1569	1533	
48.0	74.7	84.6	66.8	52.4	482		470	1600	1574	1617	1608	1595	1643	1595	1620	1592	
49.0	75.3	85.2	67.7	53.6	497		486	1653	1633	1670	1665	1649	1699	1651	1674	1655	
50.0	75.8	85.7	68.6	54.7	512		502	1710	1698	1724	1724	1706	1758	1709	1731	1725	
51.0	76.3	86.3	69.5	55.9	527		518		1768	1780	1786	1764	1819	1770	1792		
52.0	76.9	86.8	70.4	57.1	544		535		1845	1839	1850	1825	1881	1834	1857		
53.0	77.4	87.4	71.3	58.2	561		552			1899	1917	1888	1947	1901	1929		
54.0	77.9	87.9	72.2	59.4	578		569			1961	1986			1971	2006		
55.0	78.5	88.4	73.1	60.5	596		585			2026				2045	2090		
56.0	79.0	88.9	73.9	61.7	615		601								2181		
57.0	79.5	89.4	74.8	62.8	635		616								2281		
58.0	80.1	89.8	75.6	63.9	655		628								2390		
59.0	80.6	90.2	76.5	65.1	676		639								2509		
60.0	81.2	90.6	77.3	66.2	698		647								2639		
61.0	81.7	91.0	78.1	67.3	721												
62.0	82.2	91.4	79.0	68.4	745												
63.0	82.8	91.7	79.8	69.5	770												
64.0	83.3	91.9	80.6	70.6	795												
65.0	83.9	92.2	81.3	71.7	822												
66.0	84.4				850												
67.0	85.0				879												
68.0	85.5				909												

- 注: 1. 本标准所列换算值是对主要钢种进行实验的基础上制定的。各钢系的换算值适用于含碳量由低到高的钢种。  
 2. 本标准所列换算值, 只有当试件组织均匀一致时, 才能得到较精确的结果, 因此应尽量避免各种换算。  
 3. 本表不包括低碳钢。

## 黑色金属硬度及强度换算值之二 (摘自 GB/T 1172—1999)

表 1-1-36

硬 度							抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	硬 度							抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa			
洛氏	表面洛氏			维氏	布氏			洛氏	表面洛氏			维氏	布氏					
	HRB	HR15T	HR30T		HR45T	HBS			HRB	HR15T	HR30T		HR45T	HV		HBS		
						$F/D^2 = 10$										$F/D^2 = 30$	$F/D^2 = 10$	$F/D^2 = 30$
60.0	80.4	56.1	30.4	105	102		375	80.0	85.9	68.9	51.0	146	133		498			
61.0	80.7	56.7	31.4	106	103		379	81.0	86.2	69.5	52.1	149	136		508			
62.0	80.9	57.4	32.4	108	104		382	82.0	86.5	70.2	53.1	152	138		518			
63.0	81.2	58.0	33.5	109	105		386	83.0	86.8	70.8	54.1	156		152	529			
64.0	81.5	58.7	34.5	110	106		390	84.0	87.0	71.4	55.2	159		155	540			
65.0	81.8	59.3	35.5	112	107		395	85.0	87.3	72.1	56.2	163		158	551			
66.0	82.1	59.9	36.6	114	108		399	86.0	87.6	72.7	57.2	166		161	563			
67.0	82.3	60.6	37.6	115	109		404	87.0	87.9	73.4	58.3	170		164	576			
68.0	82.6	61.2	38.6	117	110		409	88.0	88.1	74.0	59.3	174		168	589			
69.0	82.9	61.9	39.7	119	112		415	89.0	88.4	74.6	60.3	178		172	603			
70.0	83.2	62.5	40.7	121	113		421	90.0	88.7	75.3	61.4	183		176	617			
71.0	83.4	63.1	41.7	123	115		427	91.0	89.0	75.9	62.4	187		180	631			
72.0	83.7	63.8	42.8	125	116		433	92.0	89.3	76.6	63.4	191		184	646			
73.0	84.0	64.4	43.8	128	118		440	93.0	89.5	77.2	64.5	196		189	662			
74.0	84.3	65.1	44.8	130	120		447	94.0	89.8	77.8	65.5	201		195	678			
75.0	84.5	65.7	45.9	132	122		455	95.0	90.1	78.5	66.5	206		200	695			
76.0	84.8	66.3	46.9	135	124		463	96.0	90.4	79.1	67.6	211		206	712			
77.0	85.1	67.0	47.9	138	126		471	97.0	90.6	79.8	68.6	216		212	730			
78.0	85.4	67.6	49.0	140	128		480	98.0	90.9	80.4	69.6	222		218	749			
79.0	85.7	68.2	50.0	143	130		489	99.0	91.2	81.0	70.7	227		226	768			
								100.0	91.5	81.7	71.7	233		232	788			

注：1. 本标准所列换算值是对主要钢种进行实验的基础上制定的。本表主要适用于低碳钢。

2. 本标准所列换算值，只有当试件组织均匀一致时，才能得到较精确的结果，因此应尽量避免各种换算。

### 3 优先数和优先数系

优先数系和优先数是一种科学的、国际统一的数值制度。产品或零件的主要参数按优先数系形成系列，可使产品或零件走上系列化、标准化轨道；用优先数系进行系列设计，便于分析参数间的关系，减少设计计算工作量；可用较少的品种规格来满足较宽范围的需要，便于协调各部门各专业之间的配合。

#### 3.1 优先数系 (摘自 GB/T 321—2005、GB/T 19763—2005)

优先数系是公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 和 $\sqrt[80]{10}$ ，且项值中含有10的整数幂的几何级数的常用圆整值。各数列分别用符号R5、R10、R20、R40和R80表示，分别称为R5系列、R10系列、R20系列、R40系列和R80系列。系列种类分为基本系列、补充系列、变形系列（包括派生系列和复合系列）和化整值系列。

表1-1-37列出了1~10这个十进段内基本系列的项值。大于10和小于1的优先数，可按十进延伸方法求得。



基本系列(常用值)				化整值	优先数的序号 $N$			计算值	基本系列的常用值对计算值的相对误差/%	对数尾数	补充系列 R80		衍生系列
R5	R10	R20	R40		从 0.1 至 1	从 1 至 10	从 10 至 100				R2.80	R2.90	
数值	6.30	8.00	8.00	8.00	-4	36	76	7.9433	+0.71	900	2.80	9.00	
			8.50		-3	37	77	8.4140	+1.02	925	2.90	9.25	
			9.00	9.00	-2	38	78	8.9125	+0.98	950	3.00	9.50	
			9.50		-1	39	79	9.4406	+0.63	975	3.07	9.75	
10.00	10.00	10.00	10.00		0	40	80	10.000	0	000			
公比	$\sqrt[5]{10}$ ≈ 1.6	$\sqrt[10]{10}$ ≈ 1.25	$\sqrt[20]{10}$ ≈ 1.12	$\sqrt[40]{10}$ ≈ 1.06							$\sqrt[80]{10}$ ≈ 1.03		
主要特性	1. 基本系列中任意两项之积和商,任意一项之整数乘方或开方,都为优先数,其运算应通过序号 $N$ 去实现 2. 大于 10 或小于 1 的优先数均可用 10、100、1000、…或用 0.1、0.01、…乘以基本系列或补充系列优先数求得												

注: 1. 优先数的计算与序号  $N$  的运用

#### (1) 求优先数之积

当求优先数  $M_1$ 、 $M_2$  之积时, 只需将这两个优先数相应的序号相加, 求得新序号, 与之对应的优先数为所求之值。

例如: 求两优先数之积:  $3.15 \times 1.6 = 5$

对应序号之和:  $20 + 8 = 28$

对应于序号 28 之优先数为 5 (相当于  $3.15 \times 1.6$  之优先数)。

#### (2) 求优先数之商

当求优先数  $M_1$ 、 $M_2$  之商时, 只需将这两个优先数相应的序号相减, 求得新序号, 与之对应的优先数为所求之值。

例如: 求两优先数之商:  $4.25 \div 25 = 0.17$

对应序号之差:  $25 - 56 = -31$

对应于序号 -31 之优先数为 0.17 (相当于  $4.25 \div 25$  之优先数)。

#### (3) 求优先数之乘方

当求优先数  $M$  的  $n$  次乘方 ( $M^n$ ) 时, 只需将乘方指数  $n$  乘以  $M$  的相应序号求得新序号, 与之对应的优先数为所求之值。

例如: 求优先数的平方:  $(1.18)^2 = 1.4$

对应序号与乘方指数的积:  $3 \times 2 = 6$

对应于序号 6 的优先数为 1.4 (相当于  $1.18^2$  的优先数)。

#### (4) 求优先数的开方 (或优先数的正、负分数幂)

当求优先数  $M$  之  $n$  次方根 ( $\sqrt[n]{M}$ ) 时, 只需将  $M$  的相应序号除以根指数求得新序号, 与之对应的优先数为所求之值。但优先数序号与分式指数的乘积必须为整数。

例如: 求优先数的平方根  $\sqrt{0.16} = 0.4$

对应序号与根指数的商  $-32 \div 2 = -16$

对应于序号 -16 的优先数为 0.4 (相当于  $\sqrt{0.16}$  的优先数)。

例如: 求  $0.25^{-3/4} = 1.6$ , 对应序号与分式指数的积  $-24 (-1/3) = 8$ , 序号 8 对应的优先数为 1.6

又例如:  $\sqrt[4]{3} = 3^{1/4}$  不是优先数, 因  $1/4$  与 3 的序号之积不是整数

### 2. 系列选择原则

(1) 选择参数系列时, 应优先采用项数最少 (相对差最大) 的基本系列, 即 R5 系列优先于 R10 系列采用, R10 系列优先于 R20 系列采用, R20 系列优先于 R40 系列采用。补充系列 R80 尽可能少用 (相对差 =  $\frac{\text{后项} - \text{前项}}{\text{前项}} \times 100\%$ , 各系列分别为: R5 ≈ 60%; R10 ≈ 25%; R20 ≈ 12%; R40 ≈ 6%; R80 ≈ 3%)。

(2) 基本系列的公比不能满足要求时, 则可采用派生系列。选择派生系列时, 应依次优先考虑 R5/2、R10/3、R10/5、R20/3、R20/4、R40/3、R40/5。

(3) 基本系列中的数值不符合需要有充分理由而完全不能采用优先数时, 允许采用标准中的化整值 (见表第 6 行带 “\*” 号者)。化整值系列是由优先数的常用值和一部分化整值所组成的系列, 应优先采用第一化整值系列 R'r。选得的化整值应尽量保持系列公比的均匀。见标准 GB/T 19763—2005。

(4) 优先数对于产品的尺寸和参数不全部适用时, 则应在基本参数和主要尺寸上采用优先数。

(5) 对某些精密产品的参数, 可直接使用计算值 (所列计算值精确到 5 位数字, 与理论值比较, 误差小于 0.00005)。

3. 化整值中括号内尺寸, 特别是标有 \* 号的数值 1.5, 应尽可能不用。

### 3.2 优先数的应用示例<sup>[10]</sup>

在设计产品时,产品的主参数系列应最大限度采用优先数系。对规格杂乱、品种繁多的老产品,应通过调查分析加以整顿,从优先数系中选用合适的系列作为产品的主要参数系列。在零部件的系列设计中应选取一些主要尺寸作为自变量选用优先数系。下面为起重机滑轮结构尺寸的设计示例。起重机滑轮结构尺寸见图 1-1-1。

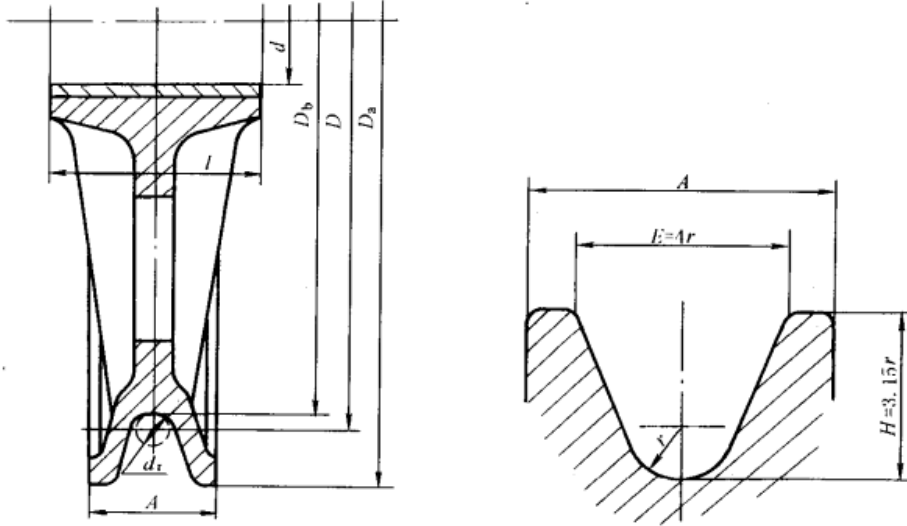


图 1-1-1 滑轮的结构尺寸 (参阅 JISZ 8601 标准数解说)

#### (1) 确定采用优先数的参数

对滑轮来说,最重要的参数是与其相配的钢丝绳直径  $d_r$ 。因为  $d_r$  的大小直接影响到滑轮上所承受载荷的大小,从而决定了滑轮的结构尺寸。因此,首先选用钢丝绳直径  $d_r$  为优先数,取 R20 系列,尺寸在 10~60mm 范围内。

其次,在滑轮轮缘部分的几个直径尺寸中,决定钢丝绳中心处的滑轮公称直径  $D$  采用优先数。而滑轮底径  $D_b$  按下式计算:

$$D_b = D - d_r$$

$D_b$  一般不再为优先数。

另外,根据经验确定适当的槽形,其尺寸比例如图 1-1-1 所示,比例系数取优先数。这样只要槽底的圆弧半径  $r$  取为优先数,则槽形的各部分尺寸就都为优先数。

滑轮的外径  $D_a$  由下式计算确定:

$$D_a = D_b + 2H$$

$D_a$  一般也不再为优先数。

与轴的配合尺寸——轮毂长度  $l$  和滑轮孔径  $d$  都取为优先数。

#### (2) 确定滑轮直径 $D$

滑轮直径  $D$  的系列取 R20 系列。滑轮直径与钢丝绳直径之比取决于起重机使用的频繁程度,在起重机的结构规范中最低为 20 倍。系列设计中假定取 20 倍、25 倍和 31.5 倍三种(倍数也按优先数选用,以保证  $D$  为优先数),并称 20 倍的滑轮为 20 型,25 倍的为 25 型,31.5 倍的为 31.5 型。对应不同钢丝绳直径  $d_r$  的滑轮直径  $D$  可按 R20 系列排表(见表 1-1-38)。

#### (3) 确定槽底的圆弧半径 $r$

对槽底圆弧半径  $r$  的要求是使钢丝绳能较合适地安放在槽内。槽底半径过小或钢丝绳直径过大,都会产生干涉。 $r$  值可按式求得:

$$r \geq \frac{d_{rm}}{2} + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$$

式中  $d_{rm}$ ——钢丝绳直径的平均值, mm;



$\alpha$ ——钢丝绳直径公差的分 $\frac{1}{4}$ ，mm；

$\beta$ ——槽底半径公差的分 $\frac{1}{2}$ ，mm。

表 1-1-38

滑轮的系列尺寸

mm

钢丝绳 直径 $d_r$	滑轮直径 $D$			滑轮底径 $D_b$			槽底半 径 $r$	槽的高 度 $H$	沟槽宽 度 $E$	轮缘宽 度 $A$	滑轮外径 $D_o$			载荷 $P$ /kN
	20 型	25 型	31.5 型	20 型	25 型	31.5 型					20 型	25 型	31.5 型	
10	200	250	315	190	240	305	6.3	20	25	37.5	230	280	345	20
11.2	224	280	355	212.8	268.8	343.8	7.1	22.4	28	40	257.6	313.6	388.6	25
12.5	250	315	400	237.5	302.5	387.5	7.1	22.4	28	40	282.3	347.3	432.3	31.5
14	280	355	450	266	341	436	8	25	31.5	40	316	391	486	40
16	315	400	500	299	384	484	9	28	35.5	50	355	440	540	50
18	355	450	560	337	432	542	10	31.5	40	56	400	495	605	63
20	400	500	630	380	480	610	11.2	35.5	45	60	451	551	681	80
22.4	450	560	710	427.6	537.6	687.6	12.5	40	50	67	507.6	617.6	767.6	100
25	500	630	800	475	605	775	14	45	56	75	565	695	865	125
28	560	710	900	532	682	872	16	50	63	80	632	782	972	160
31.5	630	800	1000	598.5	768.5	968.5	18	56	71	90	710.5	880.5	1080.5	200
35.5	710	900	1120	674.5	864.5	1084.5	20	63	80	100	800.5	990.5	1210.5	250
40	800	1000	1250	760	960	1210	22.4	71	90	112	902	1102	1352	315
45	900	1120	1400	855	1075	1355	25	80	100	125	1015	1235	1515	400
50	1000	1250	1600	950	1200	1550	28	90	112	140	1130	1380	1730	500
56	1120	1400	1800	1064	1344	1744	31.5	100	125	150	1264	1544	1944	630

把计算所得的值圆整为 R20 中的优先数。

(4) 确定轮缘宽度  $A$

轮缘宽度  $A$  根据经验式为

$$A = E + 4.25\sqrt{r}$$

把计算所得的值圆整为相近的 R40 中的优先数。

(5) 计算滑轮轴承上所承受的载荷  $P$

轴承上所承受的载荷  $P$  应为钢丝绳拉力  $P_a$  的两倍，即：

$$P = 2P_a = 2 \times \frac{P_b}{n} = \frac{P_b}{3}$$

式中  $P_a$ ——钢丝绳拉力；

$P_b$ ——钢丝绳的破断载荷，可由钢丝绳的直径查标准求得；

$n$ ——安全系数，对起重机用钢丝绳取  $n=6$ 。

钢丝绳直径  $d_r=10\text{mm}$  时，查得  $P_b=60.3\text{kN}$ ，则  $P=20.1\text{kN}$ ，近似取为优先数  $P \approx 20\text{kN}$ 。同时，考虑到在材料许用应力不变时，钢丝绳的破断载荷  $P_b$  与钢丝绳的截面积成正比。因此

$$P_b \propto d_r^2, P \propto P_b, P \propto d_r^2$$

现在钢丝绳直径  $d_r$  为 R20 系列，故载荷  $P$  为 R20/2 系列（因  $P=20\text{kN}$  为 R10 系列中的值，故 R20/2 = R10 系列）。

(6) 决定孔径  $d$  和轮毂长度  $l$

设孔径  $d$  取 R20 系列，轮毂长度  $l$  取 R10 系列。对同一种钢丝绳直径的滑轮，因承载条件的不同，必须有不同的孔径  $d$  和轮毂长度  $l$  的组合，因此需要确定其大小的极限范围，这时最好利用优先数图来作系列分析。

1) 确定孔径  $d$  和轮毂长度  $l$  的关系  $d$  与  $l$  的关系可由滑轮轴承面上的许用压力决定，其关系为：

$$l = \frac{P}{dB_p} \propto \frac{d_r^2}{d}$$

式中  $B_p$ ——轴承许用压力，设  $B_p=900\text{N/cm}^2$ ；

$P$ ——滑轮轴承所受的载荷，N；

$l$ 、 $d$  的单位取 cm。

对各个钢丝绳直径  $d_r$ ，其  $B_p$  和  $P$  值都是一定的，故上式可表示为

$$l \propto \frac{1}{d}$$

这个关系式在按优先数刻度的  $d-l$  坐标中是斜率为  $-1$  的直线 (见图 1-1-2), 只要算出任意一点就能画出此直线。取孔径  $d = 100\text{mm} = 10\text{cm}$ , 钢丝绳直径分别取最小 ( $d_r = 10\text{mm}$ ,  $P = 20\text{kN}$ ) 和最大 ( $d_r = 56\text{mm}$ ,  $P = 630\text{kN}$ ) 两种情况, 则轮毂长度  $l$  为:

$$d_r = 10\text{mm 时, } l = \frac{20000}{10 \times 900} \text{cm} = 2.24\text{cm} = 22.4\text{mm}$$

$$d_r = 56\text{mm 时, } l = \frac{630000}{10 \times 900} \text{cm} = 71\text{cm} = 710\text{mm}$$

在图 1-1-2 中相应于  $d_r = 10\text{mm}$  时  $d = 100\text{mm}$ ,  $l = 22.4\text{mm}$  的一个点, 和  $d_r = 56\text{mm}$  时  $d = 100\text{mm}$ ,  $l = 710\text{mm}$  的一个点, 以符号  $\blacktriangle$  表示。从这两点分别画出斜率为  $-1$  的直线①和①'。

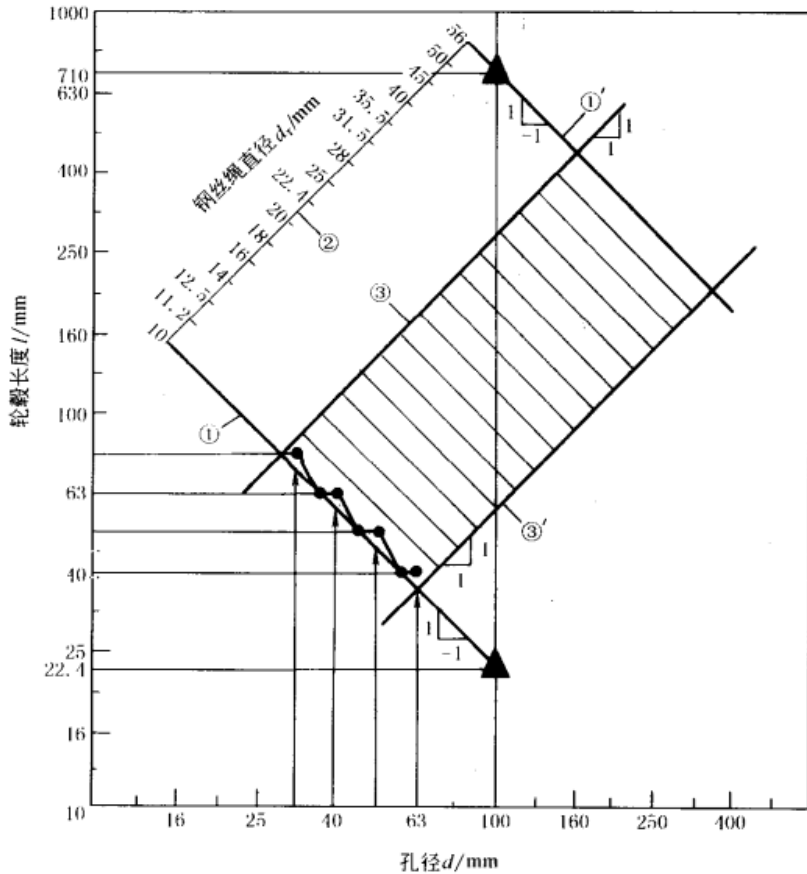


图 1-1-2 确定孔径  $d$  和轮毂长度  $l$  的系列

相应于其他  $d_r$  值的  $d$  与  $l$  值, 只要在两直线①和①'之间, 按钢丝绳直径系列 R20 等分, 绘出平行直线, 就很容易求得, 而不必一一计算。

2) 确定  $d$  和  $l$  的极限范围 按照在滑轮轴两支点间仅装一个滑轮的最小承载条件, 以及装五个滑轮的最大承载条件, 考虑使轴的弯曲应力不超过许用值, 可求得最小孔径、最大孔径与轮毂长度的关系为:

$$d_{\min} = \frac{1}{2.72} l$$

$$d_{\max} = 1.80 l$$

与上式相应的两条斜率为 1 的直线③、③'给出了  $d$  和  $l$  的极限范围。

3) 修正轮毂长度 与各种  $d$ 、 $l$  值相应的点, 只要在直线①、①'、③、③'规定的范围内, 就能符合设计要求。但因轴(孔)径  $d$  取 R20 系列, 而轮毂长度  $l$  取 R10 系列, 是已经给定的条件, 因此, 需要把  $l$  中不是 R10 系列的值向上修正到 R10 系列。例如在图 1-1-2 的直线①上, 把箭头符号所表示的 R20 系列的轮毂长度修正到 R10 上。这样得到的滑轮孔径与轮毂长度的系列尺寸见表 1-1-39。

表 1-1-39

滑轮的孔径和轮毂长度

mm

钢丝绳直径 $d$ ,	轴、孔径 $d$	轮毂长度 $l$														
		40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400				
10	31.5				×											
	35.5			×												
	40			×												
	45		×													
	50		×													
	56	×														
	63	×														
	71	×														
11.2	35.5				×											
	40				×											
	45			×												
	50			×												
	56		×													

## 4 数表与数学公式

### 4.1 数表

#### 二项式系数 $\binom{n}{p}$

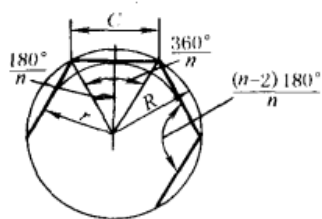
表 1-1-40

$n$	$p$															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1														
2	1	2	1													
3	1	3	3	1												
4	1	4	6	4	1											
5	1	5	10	10	5	1										
6	1	6	15	20	15	6	1									
7	1	7	21	35	35	21	7	1								
8	1	8	28	56	70	56	28	8	1							
9	1	9	36	84	126	126	84	36	9	1						
10	1	10	45	120	210	252	210	120	45	10	1					
11	1	11	55	165	330	462	462	330	165	55	11	1				
12	1	12	66	220	495	792	924	792	495	220	66	12	1			
13	1	13	78	286	715	1287	1716	1716	1287	715	286	78	13	1		
14	1	14	91	364	1001	2002	3003	3432	3003	2002	1001	364	91	14	1	
15	1	15	105	455	1365	3003	5005	6435	6435	5005	3003	1365	455	105	15	1

注：例  $(a+b)^8 = a^8 + 8a^7b + 28a^6b^2 + 56a^5b^3 + 70a^4b^4 + 56a^3b^5 + 28a^2b^6 + 8ab^7 + b^8$ 。

## 正多边形的圆内切、外接时，其几何尺寸

表 1-1-41



$n$ ——多边形的边数  
 $C$ ——多边形的边长  
 $R$ ——外接圆半径  
 $r$ ——切圆半径  
 $A$ ——多边形的面积

$$C = 2R \sin \frac{180^\circ}{n} = 2r \tan \frac{180^\circ}{n}$$

$$R = \frac{C}{2 \sin \frac{180^\circ}{n}} = \frac{r}{\cos \frac{180^\circ}{n}}$$

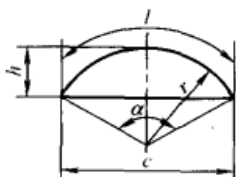
$$r = \frac{C}{2} \cot \frac{180^\circ}{n} = R \cos \frac{180^\circ}{n}$$

$$A = \frac{n}{2} R^2 \sin \frac{360^\circ}{n} = nr^2 \tan \frac{180^\circ}{n}$$

$$= n \frac{C^2}{4} \cot \frac{180^\circ}{n}$$

$n$	$C$		$R$		$r$		$A$		
	$C/R$	$C/r$	$R/C$	$R/r$	$r/C$	$r/R$	$A/C^2$	$A/R^2$	$A/r^2$
3	1.732	3.464	0.577	2.000	0.289	0.500	0.433	1.299	5.196
4	1.414	2.000	0.707	1.414	0.500	0.707	1.000	2.000	4.000
5	1.176	1.453	0.851	1.236	0.688	0.809	1.721	2.378	3.633
6	1.000	1.155	1.000	1.155	0.866	0.866	2.598	2.598	3.464
7	0.868	0.963	1.152	1.110	1.038	0.901	3.635	2.736	3.371
8	0.765	0.828	1.307	1.082	1.207	0.924	4.828	2.828	3.314
9	0.684	0.728	1.462	1.064	1.374	0.940	6.182	2.893	3.276
10	0.618	0.650	1.618	1.052	1.539	0.951	7.694	2.939	3.249
11	0.564	0.587	1.775	1.042	1.703	0.960	9.364	2.974	3.230
12	0.518	0.536	1.932	1.035	1.866	0.966	11.196	3.000	3.215
16	0.390	0.398	2.563	1.020	2.514	0.981	20.109	3.062	3.183
20	0.313	0.317	3.196	1.013	3.157	0.988	31.569	3.090	3.168
24	0.261	0.263	3.831	1.009	3.798	0.991	45.575	3.106	3.160
32	0.196	0.197	5.101	1.005	5.077	0.995	81.225	3.121	3.152
48	0.131	0.131	7.645	1.002	7.629	0.998	183.08	3.133	3.146
64	0.098	0.098	10.190	1.001	10.178	0.999	325.69	3.137	3.144

## 弓形几何尺寸



$$1. A = \frac{1}{2} [rl - c(r-h)]$$

$$2. c = 2 \sqrt{h(2r-h)} = 2r \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$3. r = \frac{c^2 + 4h^2}{8h}$$

$$4. h = r - \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - c^2} = r \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$5. l = 0.01745 r \alpha^\circ$$

$$6. \alpha^\circ = 57.296 l / r$$

## 4.2 物理科学和技术中使用的数学符号 (摘自 GB 3102.11—1993)

表 1-1-42

符号	意义及举例	符号	意义及举例
几何符号		杂类符号	
$\overline{AB}, AB$	[直]线段 $AB$	%	百分比
$\angle$	[平面]角	( )	圆括号
$\widehat{AB}$	弧 $AB$	[ ]	方括号
$\pi$	圆周率, 圆周长与直径的比	{ }	花括号
$\triangle$	三角形	$\langle \rangle$	角括号
$\square$	平行四边形	$\pm$	正或负
$\odot$	圆	$\mp$	负或正
$\perp$	垂直	max	最大
$\parallel, \parallel$	平行, $\underline{\parallel}$ 用于表示平行且相等	min	最小
$\sim$	相似	运算符号	
$\cong$	全等	$a + b$	$a$ 加 $b$
杂类符号		$a - b$	$a$ 减 $b$
=	$a$ 等于 $b$ , 即 $a = b$ , $\equiv$ 用来强调这一等式是数学上的恒等	$ab, a \cdot b, a \times b$	$a$ 乘以 $b$ , 数的乘号用 $\times$ ( $\times$ ) 或居中的圆点 ( $\cdot$ ), 如出现小数点时, 数的乘号只能用 $\times$
$\neq$	$a$ 不等于 $b$ , 即 $a \neq b$	$\frac{a}{b}, a/b, ab^{-1}$	$a$ 除以 $b$ , 或 $a$ 被 $b$ 除
<u>def</u>	按定义 $a$ 等于 $b$ 或 $a$ 以 $b$ 为定义, 即 $a \stackrel{\text{def}}{=} b$ , 也可用 $\stackrel{d}{=}$	$\sum_{i=1}^n a_i$	$a_1 + a_2 + \dots + a_n$ , 也可记为 $\sum_i a_i, \sum a_i, \sum_i a_i, \sum_{i=1}^n a_i$ 例: $\sum_{i=1}^{\infty} a_i = a_1 + a_2 + \dots + a_n + \dots$
$\triangle$	$a$ 相当于 $b$ , 即 $a \triangle b$ , 例如在地图上 1cm 相当于 10km 长时, 可写成 $1\text{cm} \triangle 10\text{km}$	$\prod_{i=1}^n a_i$	$a_1 \cdot a_2 \cdots a_n$ , 也可记为 $\prod_i a_i, \prod a_i$ , $\prod_i a_i, \prod_{i=1}^n a_i$ 例: $\prod_{i=1}^{\infty} a_i = a_1 \cdot a_2 \cdots a_n \cdots$
$\approx$	$a$ 约等于 $b$ , 即 $a \approx b$	$a^p$	$a$ 的 $p$ 次方或 $a$ 的 $p$ 次幂
$\propto$	$a$ 与 $b$ 成正比, 即 $a \propto b$	$a^{1/2}, a^{\frac{1}{2}}$ $\sqrt{a}, \sqrt{a}$	$a$ 的 $\frac{1}{2}$ 次方, $a$ 的平方根
:	$a$ 比 $b$ , 即 $a : b$	$a^{1/n}, a^{\frac{1}{n}}$ $\sqrt[n]{a}, \sqrt[n]{a}$	$a$ 的 $\frac{1}{n}$ 次方, $a$ 的 $n$ 次方根。在使用符号 $\sqrt[n]{a}$ 或 $\sqrt[n]{a}$ 时, 为了避免混淆, 应采用括号把被开方的复杂表达式括起来
<	$a$ 小于 $b$ , 即 $a < b$	$ a $	$a$ 的绝对值, $a$ 的模, 也可用 $\text{abs}a$
>	$a$ 大于 $b$ , 即 $a > b$	sgna	$a$ 的符号函数, 对于实数 $a$ : $\text{sgna} = \begin{cases} 1 & \text{当 } a > 0 \\ 0 & \text{当 } a = 0 \\ -1 & \text{当 } a < 0 \end{cases}$ 对于复数 $a$ , $\text{sgna} = a/ a  = \exp(i \arg a)$ , $a \neq 0$
$\leq$	$a$ 小于或等于 $b$ , 即 $a \leq b$		
$\geq$	$a$ 大于或等于 $b$ , 即 $a \geq b$		
$\ll$	$a$ 远小于 $b$ , 即 $a \ll b$		
$\gg$	$a$ 远大于 $b$ , 即 $a \gg b$		
$\infty$	无穷[大]或无限[大]		
$\sim$	数字范围 $a \sim b$		
.	小数点, 例: 13.59, 整数和小数之间用处于下方位置的小数点“.”分开		
..	循环小数, 例: 3.12382382... 写作 3.12382		

续表

符号	意义及举例	符号	意义及举例
运 算 符 号		函 数 符 号	
$\bar{a}, \langle a \rangle$	如果平均值的求法在文中不明了, 则应指出其形成的方法。若 $\bar{a}$ 容易与 $a$ 的复共轭混淆时, 就用 $\langle a \rangle$	$\frac{df}{dx}$ $df/dx$ $f'$ $Df$	单变量函数 $f$ 的导(函)数或微商即: $\frac{df(x)}{dx}, df(x)/dx, f'(x), Df(x)$ 如自变量为时间 $t$ , 也可用 $f$ 表示 $df/dt$
$n!$	$n$ 的阶乘, $n \geq 1$ 时, $n! = \prod_{k=1}^n k = 1 \times 2 \times 3 \times \cdots \times n$ $n=0$ 时, $n! = 1$	$\left(\frac{df}{dx}\right)_{x=a}$ $(df/dx)_{x=a}$ $f'(a)$ $Df(a)$	函数 $f$ 的导(函)数在 $a$ 的值, 也可用 $\left.\frac{df}{dx}\right _{x=a}$
$\binom{n}{p}, C_n^p$	二项式系数, $C_n^p = \frac{n!}{p!(n-p)!}$	$\frac{d^n f}{dx^n}$ $d^n f/dx^n$ $f^{(n)}$ $D^n f$	单变量函数 $f$ 的 $n$ 阶导函数, 当 $n=2, 3$ 时, 也可用 $f'', f'''$ 来代替 $f^{(n)}$ 。 如自变量是时间 $t$ , 也可用 $\dot{f}$ 来代替 $d^2 f/dt^2$
ent $a, E(a)$	小于或等于 $a$ 的最大整数; 示性 $a$ 例: ent 2.4 = 2, ent (-2.4) = -3 有时也用 $[a]$	函 数 符 号	
$f$	函数 $f$ , 也可以表示为 $x \rightarrow f(x)$	$\frac{\partial f}{\partial x}$ $\partial f/\partial x$ $\partial_x f$	多变量 $x, y, \dots$ 的函数 $f$ 对于 $x$ 的偏微商或偏导数, 即: $\frac{\partial f(x, y, \dots)}{\partial x}, \partial f(x, y, \dots)/\partial x, \partial_x f(x, y, \dots)$ 也可用 $\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_y, \dots$ 或 $f_x$
$f(x)$ $f(x, y, \dots)$	函数 $f$ 在 $x$ 或在 $(x, y, \dots)$ 的值, 也表示以 $x$ 或以 $x, y, \dots$ 为自变量的函数 $f$	$\frac{\partial^{m+n} f}{\partial x^m \partial y^n}$	函数 $f$ 先对 $y$ 求 $m$ 次偏微商, 再对 $x$ 求 $n$ 次偏微商
$f(x) \Big _a^b, [f(x)]_a^b$	$f(b) - f(a)$ , 这种表示法主要用于定积分计算	$\frac{\partial(u, v, w)}{\partial(x, y, z)}$	$u, v, w$ 对 $x, y, z$ 的 函数行列式, 即: $\begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{vmatrix}$
$g \circ f$	$f$ 与 $g$ 的合成函数或复合函数, $(g \circ f)(x) = g(f(x))$	$df$	函数 $f$ 的全微分 $df(x, y, \dots) = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \dots$
$x \rightarrow a$	$x$ 趋于 $a$ , 用 $x_n \rightarrow a$ 表示序列 $\{x_n\}$ 的极限为 $a$	$\delta f$	函数 $f$ 的(无穷小)变差
$\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$	$x$ 趋于 $a$ 时 $f(x)$ 的极限, $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = b$ 可以写为: $f(x) \rightarrow b$ 当 $x \rightarrow a$ , 右极限以及左极限可分别表示为 $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x)$ 及 $\lim_{x \rightarrow a^-} f(x)$	$\int_a^b f(x) dx$	函数 $f$ 由 $a$ 至 $b$ 的定积分, $\int_C, \int_S, \int_V, \oint$ 分别用于沿曲线 $C$ , 沿曲面 $S$ , 沿体积 $V$ 以及沿闭曲线或闭曲面的积分
$\overline{\lim}$	上极限	$\int_A \int f(x, y) dA$	函数 $f(x, y)$ 在集合 $A$ 上的二重积分
$\underline{\lim}$	下极限	指数函数和对数函数符号	
sup	上确界	$a^x$	$x$ 的指数函数(以 $a$ 为底)
inf	下确界	$e$	自然对数的底, $e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 2.7182818\dots$
$\approx$	渐近等于, 例: $\frac{1}{\sin(x-a)} \approx \frac{1}{x-a}$ 当 $x \rightarrow a$ 时		
$O(g(x))$	$f(x) = O(g(x))$ 的含义为 $ f(x)/g(x) $ 在行文所述的极限中是上方有界的 当 $f/g$ 与 $g/f$ 都有界时, 称 $f$ 与 $g$ 是同阶的		
$o(g(x))$	$f(x) = o(g(x))$ 表示在行文所述的极限中 $f(x)/g(x) \rightarrow 0$		
$\Delta x$	$x$ 的(有限)增量		

符号	意义及举例	符号	意义及举例
指数函数和对数函数符号		三角函数和双曲函数符号	
$e^x, \exp x$	$x$ 的指数函数(以 $e$ 为底), 同一场合时只用一种符号	$\operatorname{arccsc} x$	$x$ 的反余割, 也可用 $\operatorname{arccosec} x$ $y = \operatorname{arccsc} x \Leftrightarrow x = \operatorname{csc} y, -\pi/2 \leq y \leq \pi/2, y \neq 0$ 反余割函数是余割函数在上述限制下的反函数。上述 $\operatorname{arcsin} x$ 至 $\operatorname{arccsc} x$ 各项不采用 $\sin^{-1} x, \cos^{-1} x$ 等符号, 因可能被误解为 $(\sin x)^{-1}, (\cos x)^{-1}$ 等
$\log_a x$	以 $a$ 为底的 $x$ 的对数, 当底数不必指出时, 常用 $\log x$ 表示	$\sinh x$	$x$ 的双曲正弦, 亦可用 $\operatorname{sh} x$
$\ln x$	$x$ 的自然对数, $\ln x = \log_e x$ 不能用 $\log x$ 代替 $\ln x, \log_e x$	$\cosh x$	$x$ 的双曲余弦, 亦可用 $\operatorname{ch} x$
$\lg x$	$x$ 的常用对数, $\lg x = \log_{10} x$ 不能用 $\log x$ 代替 $\lg x, \log_{10} x$	$\tanh x$	$x$ 的双曲正切, 亦可用 $\operatorname{th} x$
$\operatorname{lb} x$	$x$ 的以 2 为底的对数, $\operatorname{lb} x = \log_2 x$ 不能用 $\log x$ 代替 $\operatorname{lb} x, \log_2 x$	$\operatorname{coth} x$	$x$ 的双曲余切, 亦可用 $\operatorname{cth} x, \operatorname{coth} x = 1/\tanh x$
三角函数和双曲函数符号		$\operatorname{sech} x$	$x$ 的双曲正割, $\operatorname{sech} x = 1/\cosh x$
$\sin x$	$x$ 的正弦	$\operatorname{csch} x$	$x$ 的双曲余割, 亦可用 $\operatorname{cosech} x, \operatorname{csch} x = 1/\sinh x$
$\cos x$	$x$ 的余弦	$\operatorname{arsinh} x$	$x$ 的反双曲正弦, 亦可用 $\operatorname{arsh} x$ $y = \operatorname{arsinh} x \Leftrightarrow x = \sinh y$ 反双曲正弦函数是双曲正弦函数的反函数
$\tan x$	$x$ 的正切, 亦可用 $\operatorname{tg} x$	$\operatorname{arcosh} x$	$x$ 的反双曲余弦, 亦可用 $\operatorname{arch} x$ $y = \operatorname{arcosh} x \Leftrightarrow x = \cosh y, y \geq 0$ 反双曲余弦函数是双曲余弦函数在上述限制下的反函数
$\cot x$	$x$ 的余切, $\cot x = 1/\tan x$	$\operatorname{artanh} x$	$x$ 的反双曲正切, 也可用 $\operatorname{arth} x$ $y = \operatorname{artanh} x \Leftrightarrow x = \tanh y$
$\sec x$	$x$ 的正割, $\sec x = 1/\cos x$	$\operatorname{arcoth} x$	$x$ 的反双曲余切, $y = \operatorname{arcoth} x \Leftrightarrow x = \operatorname{coth} y, y \neq 0$
$\operatorname{csc} x$	$x$ 的余割, $\operatorname{csc} x = \frac{1}{\sin x}$ , 亦可用 $\operatorname{cosec} x$	$\operatorname{arsech} x$	$x$ 的反双曲正割, $y = \operatorname{arsech} x \Leftrightarrow x = \operatorname{sech} y, y \geq 0$
$\sin^m x$	$\sin x$ 的 $m$ 次方, 其他三角函数和双曲线函数的 $m$ 次方的表示法类似	$\operatorname{arsch} x$	$x$ 的反双曲余割, 亦可用 $\operatorname{arcsch} x$ , $y = \operatorname{arsch} x \Leftrightarrow x = \operatorname{csch} y, y \neq 0$ 上述各项不采用 $\sinh^{-1} x, \cosh^{-1} x$ 等符号, 因为可能被误解为 $(\sinh x)^{-1}, (\cosh x)^{-1}$ 等
$\operatorname{arcsin} x$	$x$ 的反正弦, $y = \operatorname{arcsin} x \Leftrightarrow x = \sin y$ , $-\pi/2 \leq y \leq \pi/2$ 反正弦函数是正弦函数在上述限制下的反函数	复数符号	
$\operatorname{arccos} x$	$x$ 的反余弦, $y = \operatorname{arccos} x \Leftrightarrow x = \cos y$ , $0 \leq y \leq \pi$ 反余弦函数是余弦函数在上述限制下的反函数	$i, j$	虚数单位, $i^2 = -1$ , 在电工中通常用 $j$
$\operatorname{arctan} x$	$x$ 的反正切, 亦可用 $\operatorname{arctg} x$ $y = \operatorname{arctan} x \Leftrightarrow x = \tan y$ , $-\pi/2 < y < \pi/2$ 反正切函数是正切函数在上述限制下的反函数	$\operatorname{Re} z$	$z$ 的实部
$\operatorname{arccot} x$	$x$ 的反余切, $y = \operatorname{arccot} x \Leftrightarrow x = \cot y$ , $0 < y < \pi$ 反余切函数是余切函数在上述限制下的反函数	$\operatorname{Im} z$	$z$ 的虚部, $z = x + iy$ , 其中 $x = \operatorname{Re} z, y = \operatorname{Im} z$
$\operatorname{arcsec} x$	$x$ 的反正割, $y = \operatorname{arcsec} x \Leftrightarrow x = \sec y$ , $0 \leq y \leq \pi, y \neq \pi/2$ 反正割函数是正割函数在上述限制下的反函数	$ z $	$z$ 的绝对值; $z$ 的模, 也可用 $\operatorname{mod} z$
		$\arg z$	$z$ 的辐角; $z$ 的相, $z = re^{i\varphi}$ , 其中 $r =  z $ , $\varphi = \arg z$ 即 $\operatorname{Re} z = r \cos \varphi, \operatorname{Im} z = r \sin \varphi$
		$z^*$	$z$ 的[复]共轭, 有时用 $\bar{z}$ 代替 $z^*$
		$\operatorname{sgn} z$	$z$ 的单位模函数, $z \neq 0$ 时 $\operatorname{sgn} z = z/ z  = \exp(i \arg z)$ ; $z = 0$ 时, $\operatorname{sgn} z = 0$



续表

符号	意义及举例	符号	意义及举例
矩阵符号		矩阵符号	
$A$ $\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$	$m \times n$ 型的矩阵 $A$ ,也可用 $A = (a_{ij})$ , $a_{ij}$ 是矩阵 $A$ 的元素; $m$ 为行数, $n$ 为列数。当 $m = n$ 时, $A$ 称为[正]方阵。矩阵元可用大写字母表示。也可用圆括号代替方括号	$A^*$	$A$ 的复共轭矩阵, $(A^*)_{ik} = (A_{ik})^* = A_{ik}^*$ , 在数学中亦常用 $\bar{A}$
$AB$	矩阵 $A$ 与 $B$ 的积, $(AB)_{ik} = \sum_j A_{ij} B_{jk}$ , 其中 $A$ 的列数必须等于 $B$ 的行数	$A^H, A^+$	$A$ 的厄米特共轭矩阵, $(A^H)_{ik} = (A_{ki})^* = A_{ki}^*$ , 在数学中亦常用 $A^+$
$E, I$	单位矩阵, 方阵的元素 $E_{ik} = \delta_{ik}$ , $i$ 与 $k$ 均为整数	$\det A$ $\begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$	方阵 $A$ 的行列式
$A^{-1}$	方阵 $A$ 的逆, $AA^{-1} = A^{-1}A = E$	$\text{tr } A$	方阵 $A$ 的迹, $\text{tr } A = \sum_i A_{ii}$
$A^T, \tilde{A}$	$A$ 的转置矩阵, $(A^T)_{ik} = A_{ki}$ 或 $(\tilde{A})_{ik} = A_{ki}$ ; 亦使用 $A'$	$\ A\ $	矩阵 $A$ 的范数, 矩阵的范数有各种定义, 例如范数 $\ A\  = (\text{tr}(AA^H))^{1/2}$

## 坐标符号

坐标	径矢量及其微分	坐标系名称	备注
$x, y, z$	$r = xe_x + ye_y + ze_z,$ $dr = dx e_x + dy e_y + dz e_z$	笛卡儿坐标 cartesian coordinates	$e_x, e_y$ 与 $e_z$ 组成一标准正交右手系, 见图 1
$\rho, \varphi, z$	$r = \rho e_\rho(\varphi) + ze_z, dr =$ $d\rho e_\rho(\varphi) + \rho d\varphi e_\varphi(\varphi) + dz e_z$	圆柱坐标 cylindrical coordinates	$e_\rho, e_\varphi$ 与 $e_z$ 组成一标准正交右手系, 见图 3 和图 4 若 $z=0$ , 则 $\rho$ 与 $\varphi$ 成为极坐标
$r, \theta, \varphi$	$r = re_r(\theta, \varphi), dr = dr e_r(\theta, \varphi) +$ $r d\theta e_\theta(\theta, \varphi) + r \sin\theta d\varphi e_\varphi(\varphi)$	球坐标 spherical coordinates	$e_r, e_\theta$ 与 $e_\varphi$ 组成一标准正交右手系, 见图 3 和图 5

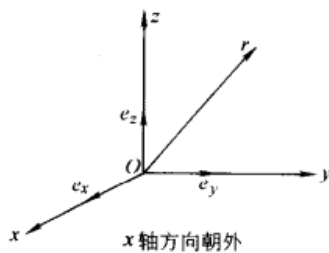


图1 右手笛卡儿坐标系

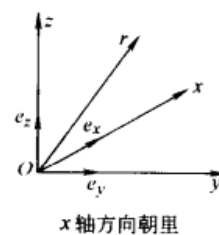


图2 左手笛卡儿坐标系

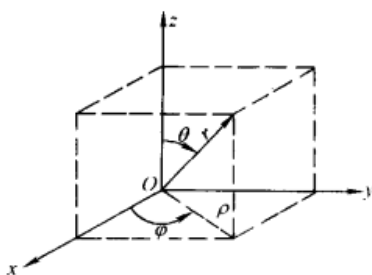
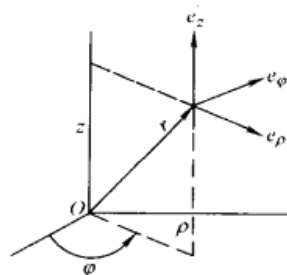
图3  $Oxyz$  是右手坐标系

图4 右手柱坐标

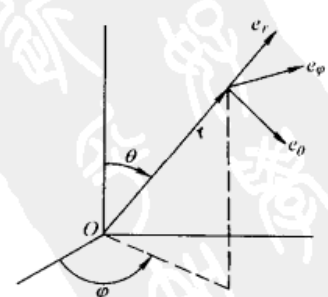


图5 右手球坐标

说明: 如果为了某些目的, 例外地使用左手坐标系(见图 2)时, 必须明确地说出, 以免引起符号错误。

符号	意义及举例	符号	意义及举例
矢量和张量符号		矢量和张量符号	
$a, \vec{a}$	矢量或向量 $a$ , 这里, 笛卡儿坐标用 $x, y, z$ 或 $x_1, x_2, x_3$ 表示, 在后一种情况, 指标 $i, j, k$ 从 1 到 3 取值, 并采用下面的求和约定: 如果在某项中某个指标出现两次, 则表示该指标对 1, 2, 3 求和。印刷用黑体 $a$ , 书写用 $\vec{a}$	$\nabla \cdot a$ diva	$a$ 的散度 $\nabla \cdot a = \frac{\partial a_i}{\partial x_i}$
$a,  a $	矢量 $a$ 的模或长度, 也可用 $\ a\ $	$\nabla \times a$ rota curla	$a$ 的旋度, 气象学上称为涡度。也可用 $\text{rot } a, \text{curl } a, (\nabla \times a)_x = \frac{\partial a_z}{\partial y} - \frac{\partial a_y}{\partial z}$ , 一般 $(\nabla \times a)_i = \sum_j \sum_k \varepsilon_{ijk} \frac{\partial a_k}{\partial x_j}$
$e_a$	$a$ 方向的单位矢量, $e_a = a/ a $ $a = ae_a$	$\nabla^2$ $\Delta$	拉普拉斯算子 $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$
$e_x, e_y, e_z,$ $i, j, k, e_i$	在笛卡儿坐标轴方向的单位矢量	$\square$	达朗贝尔算子 $\square = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}$ 式中 $c$ 为电磁波在真空中的传播速度 $c = 299792458 \text{ m/s}$
$a_x, a_y, a_z, a_i$	矢量 $a$ 的笛卡儿分量, $a = a_x e_x + a_y e_y + a_z e_z = (a_x, a_y, a_z); a_x e_x$ 等为分矢量 $r = xe_x + ye_y + ze_z$	$T$	二阶张量 $T$ , 也用 $\overline{\overline{T}}$
$a \cdot b$	$a$ 与 $b$ 的标量积或数量积, $a \cdot b = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z,$ $a \cdot a = a^2 =  a ^2 = a^2,$ $a \cdot b = a_i b_i = \sum_i a_i b_i$ 在特殊场合, 也可用 $(a, b)$	$T_{xx}, T_{yy}, \dots, T_{zz}$ $T_{ij}$	张量 $T$ 的笛卡儿分量 $T = T_{xx} e_x e_x + T_{yy} e_y e_y + \dots,$ $T_{xx} e_x e_x$ 等为分张量
$a \times b$	$a$ 与 $b$ 的矢量积或向量积, 在右手笛卡儿坐标系中, 分量 $(a \times b)_x = a_y b_z - a_z b_y$ , 一般 $(a \times b)_i = \sum_j \sum_k \varepsilon_{ijk} a_j b_k$	$ab, a \otimes b$	两矢量 $a$ 与 $b$ 的并矢积或张量积即具有分量 $(ab)_{ij} = a_i b_j$ 的二阶张量
$\nabla$ $\vec{\nabla}$	那勃勒算子或算符, 也称矢量微分算子 $\nabla = e_x \frac{\partial}{\partial x} + e_y \frac{\partial}{\partial y} + e_z \frac{\partial}{\partial z} = e_i \frac{\partial}{\partial x_i}$ , 也可用 $\frac{\partial}{\partial r}$	$T \otimes S$	两个二阶张量 $T$ 与 $S$ 的张量积, 即具有分量 $(T \otimes S)_{ijkl} = T_{ij} S_{kl}$ 的四阶张量
$\nabla \varphi$ grad $\varphi$	$\varphi$ 的梯度, 也可用 grad $\varphi$ $\nabla \varphi = e_i \frac{\partial \varphi}{\partial x_i}$	$T \cdot S$	两个二阶张量 $T$ 与 $S$ 的内积, 即具有分量 $(T \cdot S)_{ik} = \sum_j T_{ij} S_{jk}$ 的二阶张量
		$T \cdot a$	二阶张量 $T$ 与矢量 $a$ 的内积, 即具有分量 $(T \cdot a)_i = \sum_j T_{ij} a_j$ 的矢量
		$T : S$	两个二阶张量 $T$ 与 $S$ 的标量积, 即标量 $T : S = \sum_i \sum_j T_{ij} S_{ji}$

注: 矢量和张量往往用其分量的通用符号表示, 例如矢量用  $a_i$ , 二阶张量用  $T_{ij}$ , 并矢积用  $a_i b_j$  等, 但这里指的都是张量的协变分量, 张量还具有其他形式的分量, 如逆变分量、混合分量等。

## 4.3 数学公式

## 代 数

## 因 式 分 解

(1)  $(x+a)(x+b) = x^2 + (a+b)x + ab$

(2)  $(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$

(3)  $(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$

(4)  $(a+b+c+\dots+k+z)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + \dots + k^2 + z^2 + 2ab + 2ac + \dots + 2az + 2bc + \dots + 2bz + \dots + 2kz$

(5)  $a^2 - b^2 = (a-b)(a+b)$

(6)  $a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2)$

(7)  $a^n - b^n = (a-b)(a^{n-1} + a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1})$  ( $n$  为正整数)

(8)  $a^n - b^n = (a+b)(a^{n-1} - a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 - \dots + ab^{n-2} - b^{n-1})$  ( $n$  为正偶数)

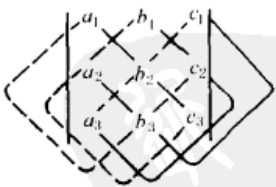
(9)  $a^n + b^n = (a+b)(a^{n-1} - a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 - \dots - ab^{n-2} + b^{n-1})$  ( $n$  为正奇数)

$$(10) (a \pm b)^n = \sum_{p=0}^n (\pm 1)^p \binom{n}{p} a^{n-p} b^p = a^n \pm na^{n-1}b + \frac{n(n-1)}{1 \times 2} a^{n-2}b^2 \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \times 2 \times 3} a^{n-3}b^3 + \dots + (\pm 1)^p \frac{n(n-1)(n-2)\dots[n-(p-1)]}{1 \times 2 \times 3 \times \dots \times p} a^{n-p} b^p + \dots + (\pm 1)^{n-1} nab^{n-1} + (\pm 1)^n b^n$$

式中二项式系数  $\binom{n}{p}$  见表 1-1-40。

表 1-1-43

## 行 列 式

二阶 行列式	$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 b_2 - a_2 b_1$
行 列 式 的 展 开	<p style="text-align: center;">按某一行(或列)展开法</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>对角线展开法</p>  <p><math>(-)</math>      <math>(+)</math></p> <p>实线上三数的积取正号,虚线上三数的积取负号 四阶以上的高阶行列式不能用对角线展开法,只能 采用按某一行(或列)的展开法进行计算</p> </div> <div> <math display="block">\begin{vmatrix} a_1 &amp; b_1 &amp; c_1 \\ a_2 &amp; b_2 &amp; c_2 \\ a_3 &amp; b_3 &amp; c_3 \end{vmatrix} = \begin{cases} -a_2 \begin{vmatrix} b_1 &amp; c_1 \\ b_3 &amp; c_3 \end{vmatrix} + b_2 \begin{vmatrix} a_1 &amp; c_1 \\ a_3 &amp; c_3 \end{vmatrix} - c_2 \begin{vmatrix} a_1 &amp; b_1 \\ a_3 &amp; b_3 \end{vmatrix} \\ \text{(按第二行展开)} \\ a_1 \begin{vmatrix} b_2 &amp; c_2 \\ b_3 &amp; c_3 \end{vmatrix} - a_2 \begin{vmatrix} b_1 &amp; c_1 \\ b_3 &amp; c_3 \end{vmatrix} + a_3 \begin{vmatrix} b_1 &amp; c_1 \\ b_2 &amp; c_2 \end{vmatrix} \\ \text{(按第一列展开)} \end{cases}</math> <p>等式右端各项符号,按各元素在行列式中位置决定:</p> <math display="block">\begin{vmatrix} + &amp; - &amp; + \\ - &amp; + &amp; - \\ + &amp; - &amp; + \end{vmatrix}</math> </div> </div>

行列式的性质	行、列依次序对调时,其值不变,	某两行(或两列)的元素对应成比例,其值为零,
	$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ la_2 & lb_2 & lc_2 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix} = 0; \begin{vmatrix} kb_1 & b_1 & c_1 \\ kb_2 & b_2 & c_2 \\ kb_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = 0$
	两行(或两列)对调后,其值变号,	某行(或列)的元素都是二项式,该行列式可分解为两个行列式的和,
	$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} a_3 & b_3 & c_3 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_1 & b_1 & c_1 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} a_1+d & b_1+e & c_1+f \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} d & e & f \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$
某行(或列)各元素乘以 $k$ ,其值为原行列式的 $k$ 倍,	某行(或列)所有元素乘以同一数,加到另行(或列)的对应元素上,其值不变,	
$\begin{vmatrix} a_1 & kb_1 & c_1 \\ a_2 & kb_2 & c_2 \\ a_3 & kb_3 & c_3 \end{vmatrix} = k \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} a_1 & b_1+kc_1 & c_1 \\ a_2 & b_2+kc_2 & c_2 \\ a_3 & b_3+kc_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$	
三阶行列式的性质可推广于高阶行列式		

代(三阶以上都适用)余数子式

元素  $a_{ij}$  的代数余子式  $A_{ij}$  是将行列式中的第  $i$  行及第  $j$  列划去后,剩下的低一阶的行列式乘以  $(-1)^{i+j}$ ,

如  $\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$  的  $A_{12} = (-1)^{1+2} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix}$

例如  $\begin{vmatrix} 3 & 0 & 6 \\ 1 & -1 & 7 \\ 5 & 2 & 4 \end{vmatrix}$  中,元素  $a_{12} = 0$ , 它的代数余子式  $A_{12}$  如下:

$$A_{12} = (-1)^{1+2} \begin{vmatrix} 1 & 7 \\ 5 & 4 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} 1 & 7 \\ 5 & 4 \end{vmatrix}$$

表 1-1-44

方程的解

一次方程组	$\begin{cases} a_1x + b_1y = c_1 \\ a_2x + b_2y = c_2 \end{cases}$	$x = \frac{\Delta x}{\Delta}, y = \frac{\Delta y}{\Delta} (\Delta \neq 0) \quad \Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}; \Delta x = \begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix}; \Delta y = \begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}$
	$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1z = d_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z = d_2 \\ a_3x + b_3y + c_3z = d_3 \end{cases}$	$x = \frac{\Delta x}{\Delta}, y = \frac{\Delta y}{\Delta}, z = \frac{\Delta z}{\Delta}, (\Delta \neq 0)$ 当 $d_1 = d_2 = d_3 = 0$ 时, $\Delta \neq 0$ , 方程组只有零解, $\Delta = 0$ , 方程组有无穷多组解 $\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}; \Delta x = \begin{vmatrix} d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}; \Delta y = \begin{vmatrix} a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \\ a_3 & d_3 & c_3 \end{vmatrix}; \Delta z = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_3 \end{vmatrix}$
	$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1z = 0 \\ a_2x + b_2y + c_2z = 0 \end{cases}$	$\frac{x}{\begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_2 & c_2 \end{vmatrix}} = \frac{y}{\begin{vmatrix} c_1 & a_1 \\ c_2 & a_2 \end{vmatrix}} = \frac{z}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}} = k$

续表

一元二次方程	$ax^2 + bx + c = 0$ $a \neq 0$	$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ 根与系数的关系: $x_1 + x_2 = -\frac{b}{a}$ , $x_1 x_2 = \frac{c}{a}$ 判别式: $b^2 - 4ac \begin{cases} > 0 & \text{不等二实根} \\ = 0 & \text{相等二实根} \\ < 0 & \text{共轭复数根} \end{cases}$
一元三次方程	$x^3 - 1 = 0$	$x_1 = 1, x_2 = \omega_1 = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}, x_3 = \omega_2 = \frac{-1 - \sqrt{3}i}{2}$
	$x^3 + ax^2 + bx + c = 0$	令 $x = y - \frac{a}{3}$ 代入, 则得 $y^3 + py + q = 0$ , 式中 $p = b - \frac{a^2}{3}$ , $q = \frac{4a^3}{27} - \frac{ab}{3} + c$ 设其根为 $y_1, y_2, y_3$ , 则 $y_1 = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}}$ $y_2 = \omega_1 \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}} + \omega_2 \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}}$ $y_3 = \omega_2 \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}} + \omega_1 \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}}$ 式中 $\omega_1$ 和 $\omega_2$ 是方程 $x^3 - 1 = 0$ 的二个解

## 级 数

(1) 等差级数  $a_1 + (a_1 + d) + (a_1 + 2d) + \dots$  (公差为  $d$ , 首项为  $a_1$ )第  $n$  项  $a_n = a_1 + (n-1)d$ 前  $n$  项和  $S_n = \frac{n(a_1 + a_n)}{2} = na_1 + \frac{n(n-1)d}{2}$ 等差中项 若  $a, b, c$  成等差数列, 则称  $b$  是  $a, c$  的等差中项,  $b = \frac{1}{2}(a+c)$ (2) 等比级数  $a_1 + a_1q + a_1q^2 + \dots$  (公比为  $q$ , 首项为  $a_1$ )第  $n$  项  $a_n = a_1q^{n-1}$ 前  $n$  项和  $S_n = \frac{a_1(1-q^n)}{1-q} = \frac{a_1 - a_nq}{1-q}$  ( $q \neq 1$ )等比中项 若  $a, b, c$  成等比数列, 则称  $b$  是  $a, c$  的等比中项,  $b = \pm\sqrt{ac}$ 无穷递减排比级数的和  $S = a_1 + a_1q + a_1q^2 + \dots = \frac{a_1}{1-q}$  ( $|q| < 1$ ), ( $a_1$  为首项)(3) 调和级数 设  $a, b, c$  成调和级数, 则 $(a-b):(b-c) = a:c$ 调和中项  $b = \frac{2ac}{a+c}$  $\frac{1}{a}, \frac{1}{b}, \frac{1}{c}$  成等差级数 $a - \frac{b}{2}, b - \frac{b}{2}, c - \frac{b}{2}$  成等比级数设  $A, G, H$  分别表示二数的等差中项、等比中项与调和中项则:  $AH = G^2$ (4) 某些有穷级数的前  $n$  项和1)  $1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{1}{2}n(1+n)$ 2)  $1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1)$

$$3) 1^3 + 2^3 + 3^3 + \cdots + n^3 = \left[ \frac{1}{2}n(n+1) \right]^2$$

$$4) 1 + 3 + 5 + \cdots + (2n-1) = n^2$$

$$5) 2 + 4 + 6 + \cdots + 2n = n(n+1)$$

$$6) 1^2 + 3^2 + 5^2 + \cdots + (2n-1)^2 = \frac{1}{3}n(4n^2-1)$$

$$7) 1^3 + 3^3 + 5^3 + \cdots + (2n-1)^3 = n^2(2n^2-1)$$

$$8) 1 \times 2 + 2 \times 3 + 3 \times 4 + \cdots + n(n+1) = \frac{1}{3}n(n+1)(n+2)$$

$$9) 1 \times 2 \times 3 + 2 \times 3 \times 4 + 3 \times 4 \times 5 + \cdots + n(n+1)(n+2) = \frac{1}{4}n(n+1)(n+2)(n+3)$$

$$10) \frac{1}{1 \times 2} + \frac{1}{2 \times 3} + \frac{1}{3 \times 4} + \cdots + \frac{1}{n(n+1)} = \frac{n}{n+1}$$

$$11) \frac{1}{1 \times 2 \times 3} + \frac{1}{2 \times 3 \times 4} + \frac{1}{3 \times 4 \times 5} + \cdots + \frac{1}{n(n+1)(n+2)} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{1 \times 2} - \frac{1}{(n+1)(n+2)} \right]$$

(5) 某些特殊级数的和

$$1) 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \cdots = \frac{\pi}{4}$$

$$2) \frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \cdots + \frac{1}{n^2} + \cdots = \frac{\pi^2}{6}$$

$$3) \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} + \cdots = \frac{\pi^2}{12}$$

$$4) \frac{1}{1 \times 3} + \frac{1}{3 \times 5} + \frac{1}{5 \times 7} + \cdots = \frac{1}{2}$$

$$5) 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \cdots + \frac{1}{n!} + \cdots = e \quad (e = 2.71828 \cdots)$$

### 根 式

$$(1) (\sqrt[n]{a})^n = \sqrt[n]{a^n} = a \quad (a \geq 0)$$

$$(2) \sqrt[np]{a^{mp}} = \sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}} \quad (a \geq 0)$$

$$(3) \sqrt[n]{1/a} = 1/\sqrt[n]{a} = a^{-\frac{1}{n}} \quad (a > 0)$$

$$(4) \sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a} = \sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} \quad (a \geq 0)$$

$$(5) \sqrt[n]{ab} = \sqrt[n]{a}\sqrt[n]{b} \quad (a \geq 0, b \geq 0)$$

$$(6) \sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} \quad (a \geq 0, b > 0)$$

$$(7) \sqrt[n]{a}\sqrt[n]{a} = \sqrt[nm]{a^{n+m}} \quad (a \geq 0)$$

$$(8) \sqrt{a} \pm \sqrt{b} = \sqrt{a+b \pm 2\sqrt{ab}} \quad (a > b)$$

$$(9) \sqrt{a \pm \sqrt{b}} = \sqrt{\frac{a + \sqrt{a^2 - b}}{2}} \pm \sqrt{\frac{a - \sqrt{a^2 - b}}{2}}$$

$$(10) \frac{1}{\sqrt{a} \pm \sqrt{b}} = \frac{\sqrt{a} \mp \sqrt{b}}{a - b} \quad (a > 0, b > 0, a \neq b)$$

$$(11) \frac{1}{\sqrt[3]{a} \pm \sqrt[3]{b}} = \frac{\sqrt[3]{a^2} \mp \sqrt[3]{ab} + \sqrt[3]{b^2}}{a \pm b}$$

### 指 数

$$(1) a^x \cdot a^y = a^{x+y}$$

$$(2) \frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$$

$$(3) (a^x)^y = a^{xy}$$

$$(4) (ab)^x = a^x b^x$$

$$(5) \left(\frac{a}{b}\right)^x = \frac{a^x}{b^x}$$

$$(6) a^{\frac{n}{m}} = \sqrt[m]{a^n} = (\sqrt[m]{a})^n \quad (a \geq 0)$$

$$(7) a^{-\frac{n}{m}} = \frac{1}{\sqrt[m]{a^n}} \quad (a > 0)$$

$$(8) a^{-n} = \frac{1}{a^n} \quad (a > 0)$$

$$(9) a^0 = 1 \quad (a \neq 0)$$

$$(10) 0^n = 0$$

### 对 数

(1) 若  $a > 0$ ,  $a \neq 1$ , 且  $a^x = M$ , 则  $x$  叫做  $M$  的以  $a$  为底的对数, 记作  $x = \log_a M$ ,  $M$  叫真数。

$$(2) \log_a 1 = 0$$

$$(3) \log_a a = 1$$

(4)  $\log_a(MN) = \log_a M + \log_a N$

(5)  $\log_a\left(\frac{M}{N}\right) = \log_a M - \log_a N$

(6)  $\log_a M^n = n \log_a M$

(7)  $\log_a \sqrt[n]{M} = \frac{1}{n} \log_a M$

(8)  $a^{\log_a b} = b$

(9)  $\log_a b = \frac{1}{\log_b a} \quad (b > 0)$

(10) 当  $a = 10$  时,  $\log_{10} M$  记作  $\lg M$ , 叫常用对数。 $\lg M = \frac{\ln M}{\ln 10} \approx 0.4343 \ln M$

(11) 当  $a = e$  时,  $\log_e M$  记作  $\ln M$ , 叫自然对数。 $\ln M = \frac{\lg M}{\lg e} \approx 2.3026 \lg M$

(12)  $\log_a a^x = x$

(13)  $\log_a b = \log_c b \log_a c = \frac{\log_c b}{\log_c a}$

不 等 式

常用不等式

(1) 设  $a_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$ , 则算术平均与几何平均满足

$$\frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \geq \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n}$$

(2)  $\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2} \leq |a_1| + |a_2| + \dots + |a_n|$

(3)  $(a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2)(b_1^2 + b_2^2 + \dots + b_n^2) \geq (a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_n b_n)^2$

(4) 设  $a_i > 0, i = 1, 2, \dots, n, k$  是正整数,

则  $\left(\frac{a_1 + \dots + a_n}{n}\right)^k \leq \frac{a_1^k + \dots + a_n^k}{n}$

(5)  $\sqrt[n]{(a_1 + b_1)(a_2 + b_2) \dots (a_n + b_n)} \geq \sqrt[n]{a_1 \dots a_n} + \sqrt[n]{b_1 \dots b_n}$

绝对值与不等式

绝对值定义  $|a| = \begin{cases} a & (a \geq 0) \\ -a & (a < 0) \end{cases}$

(1)  $|a \pm b| \leq |a| + |b|$

(2)  $|a - b| \geq |a| - |b|$

(3)  $-|a| \leq a \leq |a|$

(4)  $\sqrt{a^2} = |a|$

(5)  $|ab| = |a| \cdot |b|$

(6)  $\left|\frac{a}{b}\right| = \frac{|a|}{|b|}$

(7) 若  $|a| \leq b$ , 则  $-b \leq a \leq b$

(8) 若  $|a| > b$ , 则  $a > b$  或  $a < -b$

平 面 三 角

三角函数的定义

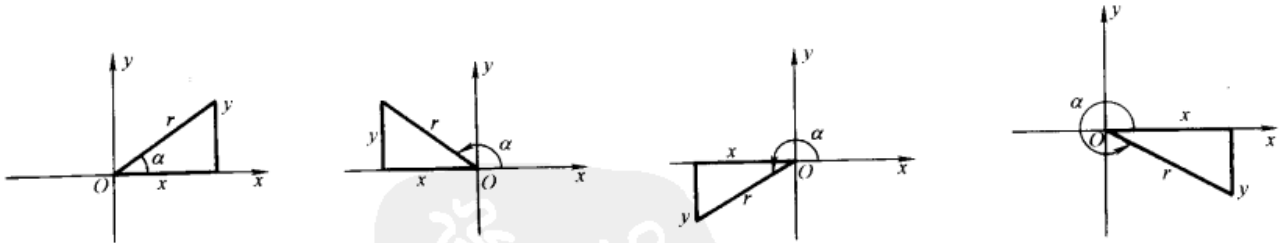


表 1-1-45 三角函数在各象限的正负号

象限	函 数					
	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$\tan\alpha$	$\cot\alpha$	$\sec\alpha$	$\csc\alpha$
I	+	+	+	+	+	+
II	+	-	-	-	-	+
III	-	-	+	+	-	-
IV	-	+	-	-	+	-

正弦:  $\sin\alpha = \frac{y}{r}$

余切:  $\cot\alpha = \frac{x}{y}$

余弦:  $\cos\alpha = \frac{x}{r}$

正割:  $\sec\alpha = \frac{r}{x}$

正切:  $\tan\alpha = \frac{y}{x}$

余割:  $\csc\alpha = \frac{r}{y}$



表 1-1-46

任意角三角函数诱导公式表

角	函 数					
	sin	cos	tan	col	sec	csc
$-\alpha$	$-\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$-\tan\alpha$	$-\cot\alpha$	$\sec\alpha$	$-\csc\alpha$
$90^\circ - \alpha$	$\cos\alpha$	$\sin\alpha$	$\cot\alpha$	$\tan\alpha$	$\csc\alpha$	$\sec\alpha$
$90^\circ + \alpha$	$\cos\alpha$	$-\sin\alpha$	$-\cot\alpha$	$-\tan\alpha$	$-\csc\alpha$	$\sec\alpha$
$180^\circ - \alpha$	$\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$-\tan\alpha$	$-\cot\alpha$	$-\sec\alpha$	$\csc\alpha$
$180^\circ + \alpha$	$-\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$\tan\alpha$	$\cot\alpha$	$-\sec\alpha$	$-\csc\alpha$
$270^\circ - \alpha$	$-\cos\alpha$	$-\sin\alpha$	$\cot\alpha$	$\tan\alpha$	$-\csc\alpha$	$-\sec\alpha$
$270^\circ + \alpha$	$-\cos\alpha$	$\sin\alpha$	$-\cot\alpha$	$-\tan\alpha$	$\csc\alpha$	$-\sec\alpha$
$360^\circ - \alpha$	$-\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$-\tan\alpha$	$-\cot\alpha$	$\sec\alpha$	$-\csc\alpha$
$360^\circ + \alpha$	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$\tan\alpha$	$\cot\alpha$	$\sec\alpha$	$\csc\alpha$

表 1-1-47

三角函数基本公式

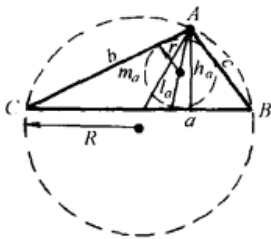
名 称	公 式	名 称	公 式
一个角的诸函数的基本关系	$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$ $\sec^2\alpha - \tan^2\alpha = 1$ $\csc^2\alpha - \cot^2\alpha = 1$ $\sin\alpha\csc\alpha = 1$ $\cos\alpha\sec\alpha = 1$ $\tan\alpha\cot\alpha = 1$ $\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$ $\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} = \cot\alpha$	倍角公式	$\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$ $\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha$ $= 1 - 2\sin^2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1$ $\sin 3\alpha = 3\sin\alpha - 4\sin^3\alpha$ $\cos 3\alpha = 4\cos^3\alpha - 3\cos\alpha$ $\sin 4\alpha = 8\cos^3\alpha\sin\alpha - 4\cos\alpha\sin\alpha$ $\cos 4\alpha = 8\cos^4\alpha - 8\cos^2\alpha + 1$ $\tan 2\alpha = \frac{2\tan\alpha}{1 - \tan^2\alpha}$ $\cot 2\alpha = \frac{\cot^2\alpha - 1}{2\cot\alpha}$ $\tan 3\alpha = \frac{3\tan\alpha - \tan^3\alpha}{1 - 3\tan^2\alpha}$
	一函数以同一角的其他函数表示式		$\sin\alpha = \pm \sqrt{1 - \cos^2\alpha} = \pm \frac{\tan\alpha}{\sqrt{1 + \tan^2\alpha}}$ $= \pm \frac{1}{\sqrt{1 + \cot^2\alpha}}$ $\cos\alpha = \pm \sqrt{1 - \sin^2\alpha} = \pm \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2\alpha}}$ $= \pm \frac{\cot\alpha}{\sqrt{1 + \cot^2\alpha}}$ $\tan\alpha = \pm \frac{\sin\alpha}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha}} = \pm \frac{\sqrt{1 - \cos^2\alpha}}{\cos\alpha}$ $= \frac{1}{\cot\alpha}$ $\cot\alpha = \pm \frac{\sqrt{1 - \sin^2\alpha}}{\sin\alpha} = \pm \frac{\cos\alpha}{\sqrt{1 - \cos^2\alpha}}$ $= \frac{1}{\tan\alpha}$
和差公式	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$ $\tan(\alpha \pm \beta) = (\tan\alpha \pm \tan\beta) / (1 \mp \tan\alpha\tan\beta)$ $\cot(\alpha \pm \beta) = (\cot\alpha\cot\beta \mp 1) / (\cot\beta \pm \cot\alpha)$	和差化积公式	$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\frac{\alpha + \beta}{2}\cos\frac{\alpha - \beta}{2}$ $\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos\frac{\alpha + \beta}{2}\sin\frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha + \beta}{2}\cos\frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos\alpha - \cos\beta = -2\sin\frac{\alpha + \beta}{2}\sin\frac{\alpha - \beta}{2}$ $\tan\alpha \pm \tan\beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos\alpha\cos\beta}$ $\cot\alpha \pm \cot\beta = \pm \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\sin\alpha\sin\beta}$

续表

名称	公式	名称	公式
和差化积公式	$\sin\alpha \pm \cos\alpha = \sqrt{2}\sin(\alpha \pm 45^\circ)$ $= \pm\sqrt{2}\cos(\alpha \mp 45^\circ)$ $\sin^2\alpha - \sin^2\beta = \cos^2\beta - \cos^2\alpha$ $= \sin(\alpha + \beta)\sin(\alpha - \beta)$ $\cos^2\alpha - \sin^2\beta = \cos^2\beta - \sin^2\alpha$ $= \cos(\alpha + \beta)\cos(\alpha - \beta)$	函数的乘方	$\sin^2\alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$ $\sin^3\alpha = \frac{1}{4}(3\sin\alpha - \sin 3\alpha)$ $\cos^2\alpha = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\alpha)$ $\cos^3\alpha = \frac{1}{4}(\cos 3\alpha + 3\cos\alpha)$
半角公式	$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos\alpha}{2}}$ $\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos\alpha}{2}}$ $\tan \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos\alpha}{1 + \cos\alpha}} = \frac{1 - \cos\alpha}{\sin\alpha}$ $= \frac{\sin\alpha}{1 + \cos\alpha}$		
其他常用公式	$\sin\alpha = 2\tan \frac{\alpha}{2} / \left(1 + \tan^2 \frac{\alpha}{2}\right) = 2\sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}$ $\cos\alpha = \left(1 - \tan^2 \frac{\alpha}{2}\right) / \left(1 + \tan^2 \frac{\alpha}{2}\right) = \cos^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 2\cos^2 \frac{\alpha}{2} - 1$ $\tan\alpha = 2\tan \frac{\alpha}{2} / \left(1 - \tan^2 \frac{\alpha}{2}\right)$ $(1 + \tan\alpha) / (1 - \tan\alpha) = \tan\left(\frac{\pi}{4} + \alpha\right)$ $(1 - \tan\alpha) / (1 + \tan\alpha) = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)$ <p>设 <math>a &gt; 0, b &gt; 0</math>, 且 <math>A, B</math> 为正锐角, 设 <math>A = \arctan \frac{a}{b}, B = \arctan \frac{b}{a}</math>, 则</p> $a\cos\alpha + b\sin\alpha = \sqrt{a^2 + b^2} \sin(A + \alpha) = \sqrt{a^2 + b^2} \cos(B - \alpha)$ $a\cos\alpha - b\sin\alpha = \sqrt{a^2 + b^2} \sin(A - \alpha) = \sqrt{a^2 + b^2} \cos(B + \alpha)$		

表 1-1-48

任意三角形常用公式



$a, b, c$ ——边  
 $\angle A, \angle B, \angle C$ ——边的对角  
 $R$ ——外接圆半径  
 $r$ ——内切圆半径  
 $p$ ——三角形三边之和之半

正弦定理	$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$	半角公式	$\sin \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{bc}}$
余弦定理	$a^2 = b^2 + c^2 - 2bccosA$		$\sin \frac{B}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{ac}}$
正切定理	$\frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan \frac{A+B}{2}}{\tan \frac{A-B}{2}} = \frac{\tan \frac{C}{2}}{\tan \frac{A-B}{2}}$		$\sin \frac{C}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{ab}}$
面积	$S = \frac{1}{2}absinC$ $= 2R^2 sinAsinBsinC = rp$ $= \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$		$\cos \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{p(p-a)}{bc}}$
a 边上的高	$h_a = bsinC = csinB$		$\cos \frac{B}{2} = \sqrt{\frac{p(p-b)}{ac}}$
a 边上的中线	$m_a = \frac{1}{2} \sqrt{b^2 + c^2 + 2bccosA}$		$\cos \frac{C}{2} = \sqrt{\frac{p(p-c)}{ab}}$
A 角的二等分线	$l_a = \frac{2bccos \frac{A}{2}}{b+c}$		$\tan \frac{A}{2} = \frac{r}{p-a}; \tan \frac{B}{2} = \frac{r}{p-b}$
外接圆半径	$R = \frac{a}{2sinA} = \frac{b}{2sinB} = \frac{c}{2sinC} = \frac{abc}{4S}$		$\tan \frac{C}{2} = \frac{r}{p-c}$
内切圆半径	$r = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)(p-c)}{p}}$ $= p \tan \frac{A}{2} \tan \frac{B}{2} \tan \frac{C}{2} = \frac{S}{p}$ $(p = \frac{a+b+c}{2})$		

表 1-1-49

任意三角形边和角的公式

已 知	求其余要素的公式	已 知	求其余要素的公式
一边和二角 a、 ∠A、∠B	$\angle C = 180^\circ - \angle A - \angle B$ $b = \frac{asinB}{sinA}, c = \frac{asinC}{sinA}$	二边和其一对 角 a、b、∠A	$sinB = \frac{bsinA}{a}$ $\angle C = 180^\circ - (\angle A + \angle B)$ $c = \frac{asinC}{sinA}$
二边及其夹角 a、b、∠C	$\frac{A+B}{2} = 90^\circ - \frac{C}{2}$ $\tan \frac{A-B}{2} = \frac{a-b}{a+b} \tan \frac{A+B}{2}$ 由所求的 $\frac{A+B}{2}$ 和 $\frac{A-B}{2}$ 的值解出 ∠A 和 ∠B $c = \frac{asinC}{sinA}$	三边 a、b、c	$p = \frac{1}{2}(a+b+c)$ $r = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)(p-c)}{p}}$ $\tan \frac{A}{2} = \frac{r}{p-a}, \tan \frac{B}{2} = \frac{r}{p-b}$ $\tan \frac{C}{2} = \frac{r}{p-c}$

① 表示如  $a > b$ , 则  $\angle B < 90^\circ$ , 这时只有一值。如  $a < b$ , 则当  $bsinA < a$  时,  $\angle B$  有二值 ( $\angle B_2 = 180^\circ - \angle B_1$ ); 当  $bsinA = a$  时,  $\angle B$  有一值即  $\angle B = 90^\circ$ ; 当  $bsinA > a$  时, 三角形不可能。

## 反三角函数

$$(1) \begin{cases} \sin y = x, y = \arcsin x \\ -1 \leq x \leq 1, -\frac{\pi}{2} \leq \arcsin x \leq \frac{\pi}{2} \text{ (主值范围)} \end{cases}$$

$$(2) \begin{cases} \cos y = x, y = \arccos x \\ -1 \leq x \leq 1, 0 \leq \arccos x \leq \pi \text{ (主值范围)} \end{cases}$$

$$(3) \begin{cases} \tan y = x, y = \arctan x \\ -\infty < x < \infty, -\frac{\pi}{2} < \arctan x < \frac{\pi}{2} \text{ (主值范围)} \end{cases}$$

$$(4) \begin{cases} \cot y = x, y = \operatorname{arccot} x \\ -\infty < x < \infty, 0 < \operatorname{arccot} x < \pi \text{ (主值范围)} \end{cases}$$

$$(5) \sin(\arcsin x) = \cos(\arccos x) = \tan(\arctan x) = x$$

$$(6) \cos(\arcsin x) = \sin(\arccos x) = \sqrt{1-x^2}$$

$$(7) \tan(\arccos x) = \sqrt{1-x^2}/x$$

$$(8) \sin(\arctan x) = \cos(\operatorname{arccot} x) = x/\sqrt{1+x^2}$$

$$(9) \tan(\arcsin x) = x/\sqrt{1-x^2}$$

$$(10) \sin(\operatorname{arccot} x) = \cos(\arctan x) = 1/\sqrt{1+x^2}$$

$$(11) \arcsin(\sin x) = x, \left( |x| \leq \frac{\pi}{2} \right)$$

$$(12) \arccos(\cos x) = x, (0 \leq x \leq \pi)$$

$$(13) \arctan(\tan x) = x, \left( |x| < \frac{\pi}{2} \right)$$

$$(14) \operatorname{arccot}(\cot x) = x, (0 < x < \pi)$$

$$(15) \arcsin x + \arccos x = \frac{1}{2}\pi$$

$$(16) \arctan x + \operatorname{arccot} x = \frac{1}{2}\pi$$

$$(17) \arcsin x = \pm \arccos \sqrt{1-x^2} = \arctan(x/\sqrt{1-x^2}), \text{ 正负号与 } x \text{ 同}$$

$$(18) \arccos x = \arcsin \sqrt{1-x^2} = \arctan(\sqrt{1-x^2}/x), (x > 0)$$

$$\arccos x = \pi - \arcsin \sqrt{1-x^2} = \pi + \arctan(\sqrt{1-x^2}/x), (x < 0)$$

$$(19) \arctan x = \arcsin(x/\sqrt{1+x^2}) = \pm \arccos(1/\sqrt{1+x^2}), \text{ 正负号与 } x \text{ 同}$$

$$\arctan x = \operatorname{arccot}(1/x), (x > 0) \quad \arctan x = \operatorname{arccot}(1/x) - \pi, (x < 0)$$

$$(20) \arcsin x \pm \arcsin y = \arcsin(x\sqrt{1-y^2} \pm y\sqrt{1-x^2}), -\frac{1}{2}\pi \leq \arcsin x \pm \arcsin y \leq \frac{1}{2}\pi$$

$$(21) \arccos x \pm \arccos y = \arccos(xy \pm \sqrt{1-x^2}\sqrt{1-y^2}), 0 \leq \arccos x \pm \arccos y \leq \pi$$

$$(22) \arctan x \pm \arctan y = \arctan \frac{x \pm y}{1 \mp xy}, -\frac{\pi}{2} < \arctan x \pm \arctan y < \frac{\pi}{2}$$

$$(23) \arcsin(-x) = -\arcsin x$$

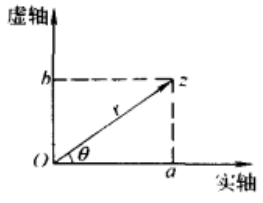
$$(24) \arccos(-x) = \pi - \arccos x$$

$$(25) \arctan(-x) = -\arctan x$$

$$(26) \operatorname{arccot}(-x) = \pi - \operatorname{arccot} x$$

## 复数

表 1-1-50

名称	公 式		
虚单位的周期性	$i^{4n+1} = i, i^{4n+2} = -1, i^{4n+3} = -i, i^{4n} = 1 (n \text{ 为自然数}), (\sqrt{-1} = i \text{ 称为虚数单位})$		
复数的表示法	代数式	$z = a + bi$	$a$ 称为 $z$ 的实部 $b$ 称为 $z$ 的虚部
	三角式	$z = r(\cos\theta + i\sin\theta)$	$r$ 称为 $z$ 的模, 记作 $ z $
	指数式	$z = re^{i\theta}$	$\theta$ 称为 $z$ 的幅角, 记作 $\operatorname{Arg} z$
			$a, b, r, \theta$ 的相互关系: $\begin{cases} a = r\cos\theta \\ b = r\sin\theta \\ r = \sqrt{a^2 + b^2} \\ \tan\theta = \frac{b}{a} \end{cases}$ 
复数的运算	代数式	$(a + bi) \pm (c + di) = (a \pm c) + (b \pm d)i$ $(a + bi)(c + di) = (ac - bd) + (bc + ad)i$ $\frac{a + bi}{c + di} = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + \frac{bc - ad}{c^2 + d^2}i$	

名称	公式
复数的运算	<p>三角式</p> $z_1 = r_1 (\cos\theta_1 + i\sin\theta_1), z_2 = r_2 (\cos\theta_2 + i\sin\theta_2), z = r (\cos\theta + i\sin\theta)$ $z_1 z_2 = r_1 r_2 [\cos(\theta_1 + \theta_2) + i\sin(\theta_1 + \theta_2)]$ $\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2} [\cos(\theta_1 - \theta_2) + i\sin(\theta_1 - \theta_2)]$ $z^n = r^n (\cos n\theta + i\sin n\theta) \text{ (棣莫佛 de Moivre 定理)}$ $\sqrt[n]{z} = \sqrt[n]{r} \left( \cos \frac{\theta + 2k\pi}{n} + i\sin \frac{\theta + 2k\pi}{n} \right) \text{ (} n \text{ 为正整数, } k=0,1,2,\dots,n-1 \text{)}$
指数式	$z_1 = r_1 e^{i\theta_1}, z_2 = r_2 e^{i\theta_2}, z = r e^{i\theta}$ $z_1 z_2 = r_1 r_2 e^{i(\theta_1 + \theta_2)}$ $\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2} e^{i(\theta_1 - \theta_2)}$ $z^n = r^n e^{in\theta}$ $\sqrt[n]{z} = \sqrt[n]{r} e^{i\frac{\theta + 2k\pi}{n}} \text{ (} n \text{ 为正整数, } k=0,1,2,\dots,n-1 \text{)}$
欧拉(Euler)公式	$e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta, \cos\theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2}, \sin\theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2}$

坐标系及坐标变换

表 1-1-51

坐标系	直角坐标	极坐标	图 示
平面直角坐标	<p>点的坐标表示</p> $P(x, y)$ <p><math>x</math>—横坐标 <math>y</math>—纵坐标</p>	<p><math>P(\rho, \theta)</math></p> <p><math>\rho</math>—极径 <math>\theta</math>—极角</p>	
互换公式	$x = \rho \cos\theta$ $y = \rho \sin\theta$	$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ $\tan\theta = \frac{y}{x}$	
变换名称	平 移	旋 转	一 般 变 换
图 示			
变换公式	$\begin{cases} x = x' + a \\ y = y' + b \\ x' = x - a \\ y' = y - b \end{cases}$	$\begin{cases} x = x' \cos\alpha - y' \sin\alpha \\ y = x' \sin\alpha + y' \cos\alpha \\ x' = x \cos\alpha + y \sin\alpha \\ y' = -x \sin\alpha + y \cos\alpha \end{cases}$	$\begin{cases} x = x' \cos\alpha - y' \sin\alpha + a \\ y = x' \sin\alpha + y' \cos\alpha + b \\ x' = (x - a) \cos\alpha + (y - b) \sin\alpha \\ y' = -(x - a) \sin\alpha + (y - b) \cos\alpha \end{cases}$

续表

坐标系	直角坐标	圆柱坐标	球坐标
点的坐标表示	$P(x, y, z)$	$P(\rho, \theta, z)$	$P(r, \varphi, \theta)$ $\varphi$ —纬角, $\theta$ —经角
图示			
空间坐标的互换公式	直角坐标与圆柱坐标互换 $\begin{cases} x = \rho \cos \theta \\ y = \rho \sin \theta \\ z = z \end{cases}$ $\begin{cases} \rho = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \tan \theta = \frac{y}{x} \\ z = z \end{cases}$	圆柱坐标与球坐标互换 $\begin{cases} \rho = r \sin \varphi \\ z = r \cos \varphi \\ \theta = \theta \end{cases}$ $\begin{cases} r = \sqrt{\rho^2 + z^2} \\ \varphi = \arccos \frac{z}{\sqrt{\rho^2 + z^2}} \\ \theta = \theta \end{cases}$	直角坐标与球坐标互换 $\begin{cases} x = r \sin \varphi \cos \theta \\ y = r \sin \varphi \sin \theta \\ z = r \cos \varphi \end{cases}$ $\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \varphi = \arccos \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \\ \tan \theta = \frac{y}{x} \end{cases}$

常用曲线

表 1-1-52

名称	曲线图	方程式	定义与特性	备注
标准形式		直角坐标方程 $x^2 + y^2 = R^2$ 极坐标方程 $\rho = R$ , (参见一般形式的极坐标方程) 参数方程 $\begin{cases} x = R \cos t \\ y = R \sin t \end{cases}$	与定点等距离的动点轨迹	圆心 $O(0,0)$ 半径 $R$ 圆心 $O(\rho=0)$
一般形式		直角坐标方程 $(x-a)^2 + (y-b)^2 = R^2$ 极坐标方程 $\rho^2 - 2\rho\rho_0 \cos(\theta - \theta_0) + \rho_0^2 = R^2$ 参数方程 $\begin{cases} x = a + R \cos t \\ y = b + R \sin t \end{cases}$	同上	圆心 $O'(a,b)$ 半径 $R$ 圆心 $O'(\rho_0, \theta_0)$

名称	曲线图	方程式	定义与特性	备注
椭圆		直角坐标方程 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ 极坐标方程 $\rho^2 = \frac{b^2}{1 - e^2 \cos^2 \theta}$ (极点在椭圆中心 $O$ 点) 参数方程 $\begin{cases} x = a \cos t \\ y = b \sin t \end{cases}$ 准线 $l_1: x = -\frac{a}{e}$ $l_2: x = \frac{a}{e}$	动点 $P$ 到两定点 $F_1$ 、 $F_2$ (焦点) 的距离之和为一常数时, $P$ 点的轨迹 ( $ PF_1  +  PF_2  = 2a$ ) $-a \leq x \leq a$	$2a$ ——长轴 ( $A_1A_2$ ) $2b$ ——短轴 ( $B_1B_2$ ) $2c$ ——焦距 ( $F_1F_2$ ) $c = \sqrt{a^2 - b^2}$ $e$ ——离心率 $e = \frac{c}{a} < 1$ , $e$ 愈大, 椭圆愈扁平 顶点: $A_1(-a, 0)$ $A_2(a, 0)$ $B_1(0, -b)$ $B_2(0, b)$ 焦点: $F_1(-c, 0)$ $F_2(c, 0)$ 焦点半径: $r_1 = PF_1, r_2 = PF_2$ $r_1 = a - ex, r_2 = a + ex$
双曲线		直角坐标方程 $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ 极坐标方程 $\rho^2 = \frac{-b^2}{1 - e^2 \cos^2 \theta}$ (极点在双曲线中心 $O$ 点) 参数方程 $\begin{cases} x = a \cosh t \\ y = b \sinh t \end{cases}$ 准线 $l_1: x = -\frac{a}{e}$ $l_2: x = \frac{a}{e}$ 渐近线 $y = \frac{b}{a}x$ $y = -\frac{b}{a}x$	动点 $P$ 到两定点 $F_1$ 、 $F_2$ (焦点) 的距离之差为一常数时, $P$ 点的轨迹 ( $  PF_1  -  PF_2   = 2a$ ) $x \leq -a, x \geq a$	$2a$ ——实轴 $2b$ ——虚轴 $2c$ ——焦距 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ $e$ ——离心率 $e = \frac{c}{a} > 1$ , $e$ 愈小, 渐近线与 $x$ 轴的夹角愈小 顶点: $A_1(-a, 0), A_2(a, 0)$ $B_1(0, -b), B_2(0, b)$ $B_1, B_2$ 叫虚顶点 焦点: $F_1(-c, 0)$ $F_2(c, 0)$ 焦点半径: $r_1 = PF_1, r_2 = PF_2$ $r_1 = \pm(ex - a),$ $r_2 = \pm(ex + a)$
抛物线		直角坐标方程 $y^2 = 2px (p > 0)$ 极坐标方程 $\rho = \frac{2p \cos \theta}{1 - \cos^2 \theta}$ (极点在抛物线顶点 $O$ 点) 参数方程 $\begin{cases} x = 2pt^2 \\ y = 2pt \end{cases}$ 准线 $l: x = -\frac{p}{2}$	动点 $P$ 到一定点 $F$ (焦点) 和一定直线 $l$ (准线) 的距离相等时, 动点 $P$ 的轨迹 ( $ PF  =  PQ $ )	离心率 $e = 1$ 顶点 $O(0, 0)$ 焦点 $F(\frac{p}{2}, 0)$ $p$ ——焦点至准线的距离, $p$ 愈大抛物线开口愈大, $p$ 称为焦参数, $p > 0$ 开口向右, $p < 0$ 开口向左 焦点半径: $r = PF$ $r = x + \frac{p}{2}$

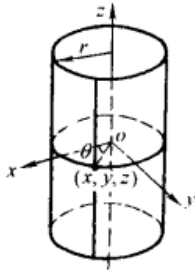
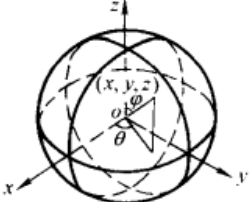
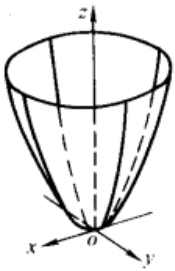
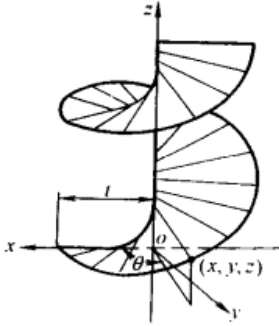
名称	曲线图	方程式	定义与特性	备注
渐开线		<p>极坐标方程</p> $\begin{cases} \rho = \frac{R}{\cos\alpha} \\ \theta = \tan\alpha - \alpha \end{cases}$ <p>参数方程</p> $\begin{cases} x = R(\cos t + t \sin t) \\ y = R(\sin t - t \cos t) \\ t = \alpha + \theta \end{cases}$	<p>一动直线 <math>m</math> (发生线) 沿一定圆 <math>O</math> (基圆) 作无滑滚动时, <math>m</math> 上任意点 (如起始切点 <math>A</math>) 的轨迹。用于齿形等</p>	<p><math>R</math>——基圆半径 <math>\alpha</math>——压力角</p>
阿基米德螺线(等进螺线)		<p>极坐标方程</p> $\rho = a\theta$	<p>动点沿着等速旋转(角速度 <math>\omega</math>) 的圆的半径, 作等速直线运动(线速度 <math>v</math>) 此动点轨迹为阿基米德螺线。用于凸轮等</p>	<p><math>\theta</math>——极角 <math>a = \frac{v}{\omega}</math> <math>\rho</math>——极径 <math>O</math>——极点 极点到曲线上任一点的弧长为 <math>\frac{a}{2}(\theta \sqrt{\theta^2 + 1} + \operatorname{arsh}\theta)</math></p>
对数螺线(等角螺线)		<p>极坐标方程</p> $\rho = ae^{m\theta} \quad (m, a \text{ 为常数, 均大于零})$ $\alpha = \arctan \frac{1}{m}$	<p>动点的运动方向始终与极径保持定角 <math>\alpha</math> 的动点轨迹。用于涡轮叶片等。用对数螺线作为成型铲齿铣刀铲背的轮廓线时, 前角恒定不改变</p>	<p><math>\theta</math>——极角 <math>\rho</math>——极径 <math>\alpha</math>——极径与切线(动点运动方向)间的夹角 曲线上任意两点间的弧长为 <math>\frac{\sqrt{1+m^2}}{m}(\rho_2 - \rho_1)</math></p>
圆柱螺旋线		<p>参数方程</p> $\begin{aligned} x &= r \cos\theta \\ y &= r \sin\theta \\ z &= \pm r\theta \cot\beta \\ &= \pm \frac{h}{2\pi} \theta \end{aligned}$ <p>(右旋为“+”, 左旋为“-”)</p>	<p>圆柱面上的动点 <math>M</math> 绕定轴 <math>z</math> 以等角速度 <math>\omega</math> 回转, 同时沿 <math>z</math> 轴以等速 <math>v</math> 平移, 其动点轨迹就是圆柱螺旋线。用于弹簧等</p>	<p><math>r</math>——圆柱底半径 <math>\beta</math>——螺旋角 <math>h</math>——导程 <math>h = 2\pi r \cot\beta</math> <math>L</math>——一个导程的弧长 <math>L = \sqrt{(2\pi r)^2 + h^2}</math></p>
圆锥螺旋线		<p>参数方程</p> $\begin{aligned} x &= \rho \sin\alpha \cos\theta \\ y &= \rho \sin\alpha \sin\theta \\ z &= \rho \cos\alpha \\ \rho &= a\theta \end{aligned}$	<p>特性: (1) 等螺距 <math>h = 2\pi a \cos\alpha</math> (2) 切线与锥面母线夹角 <math>\beta</math> <math>\cos\beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \theta^2 \sin^2 \alpha}}</math></p>	<p><math>a</math>——常数 <math>\alpha</math>——半锥角</p>



名称	曲线图	方程式	定义与特性	备注
圆锥对数螺旋线		<p>参数方程</p> $\begin{cases} x = \rho \sin \alpha \cos \theta \\ y = \rho \sin \alpha \sin \theta \\ z = \rho \cos \alpha \\ \rho = \rho_0 \frac{\sin \alpha}{\cos \theta} \end{cases}$	<p>(1) 不等螺距 (2) 切线与锥面母线夹角为定角 <math>\beta</math></p>	<p><math>\alpha</math>——半锥角 <math>\rho_0, \beta</math>——常数</p>
外摆线		<p>参数方程</p> $\begin{aligned} x &= (a+b) \cos \theta - b \cos \left( \frac{a+b}{b} \theta \right) \\ y &= (a+b) \sin \theta - b \sin \left( \frac{a+b}{b} \theta \right) \end{aligned}$	<p>滚动圆 <math>O_1</math>, 沿基圆 <math>O</math> 外部相切滚动, 滚动圆上某点 <math>P</math> (或圆外 <math>P''</math>, 圆内 <math>P'</math>) 的轨迹 当内外摆线的 <math>a \rightarrow \infty</math> 时, 摆线转化为平摆线, 当 <math>b \rightarrow \infty</math> 时, 摆线转化为圆的渐开线</p>	<p><math>a</math>——基圆半径 <math>b</math>——滚圆半径 <math>\theta</math>——公转角 <math>\theta_1</math>——自转角 <math>l = O_1 P</math>, 当 <math>l = b</math>, 为普通摆线 <math>\Gamma</math> <math>l &gt; b</math>, 为长幅摆线 <math>\Gamma_2</math> <math>l &lt; b</math>, 为短幅摆线 <math>\Gamma_1</math> <math>\theta_1 = \frac{a+b}{b} \theta</math></p>
内摆线		<p>参数方程</p> $\begin{aligned} x &= (a-b) \cos \theta + b \cos \left( \frac{b-a}{b} \theta \right) \\ y &= (a-b) \sin \theta + b \sin \left( \frac{b-a}{b} \theta \right) \end{aligned}$	<p>滚动圆 <math>O_1</math> 在基圆 <math>O</math> 内部相切滚动, 滚动圆上某点 <math>P</math> (或圆外 <math>P''</math>, 圆内 <math>P'</math>) 的轨迹</p>	<p><math>a</math>——基圆半径 <math>b</math>——滚圆半径 <math>\theta</math>——公转角 <math>\theta_1</math>——自转角 <math>\theta_1 = \frac{a-b}{b} \theta</math> <math>l = O_1 P</math>, 当 <math>l = b</math>, 为普通摆线 <math>\Gamma</math> <math>l &gt; b</math>, 为长幅摆线 <math>\Gamma_2</math> <math>l &lt; b</math>, 为短幅摆线 <math>\Gamma_1</math></p>
平摆线		<p>参数方程</p> $\begin{aligned} x &= bt - l \sin t \\ y &= b - l \cos t \end{aligned}$	<p>定圆沿定直线滚动, 圆周上(或圆外, 圆内)一点的轨迹</p>	<p>曲率半径 <math>= 2PM</math> —拱弧长 <math>= 8b</math> <math>l = O_1 P</math>, 当 <math>l = b</math>, 为普通平摆线 <math>l &gt; b</math>, 为长幅平摆线 <math>l &lt; b</math>, 为短幅平摆线</p>
悬链线		<p>直角坐标方程</p> $\begin{aligned} y &= \frac{a}{2} \left( e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right) \\ &= a \cosh \frac{x}{a} \end{aligned}$	<p>两端悬吊的密度均匀的完全柔软曲线, 在重力作用下的自然状态所构成的曲线</p>	<p><math>a</math>——正常数, 即距离 <math>OA</math>. 在顶点附近近似于抛物线 <math>y = \frac{x^2}{2a} + a</math> <math>\widehat{BAC} = s</math> <math>\approx l \left( 1 + \frac{8f^2}{3l^2} \right)</math></p>

几 种 曲 面

表 1-1-53

名 称	图 形	方 程	说 明
圆柱面		$\begin{cases} x = r\cos\theta \\ y = r\sin\theta \\ z = z \end{cases}$ $\theta, z$ 为参变量 或 $x^2 + y^2 = r^2$	<p>(1) 由平行于 <math>z</math> 轴的直母线</p> $\begin{cases} x = r \\ y = 0 \\ z = z \end{cases}$ <p>绕 <math>z</math> 轴旋转生成</p> <p>(2) 过点 <math>P(x, y, z)</math> 的切平面方程</p> $xX + yY = r^2$
球面		$\begin{cases} x = r\sin\varphi\cos\theta \\ y = r\sin\varphi\sin\theta \\ z = r\cos\varphi \end{cases}$ $\varphi, \theta$ 为参变量 或 $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$	<p>(1) 由圆周</p> $\begin{cases} x = r\sin\varphi \\ y = 0 \\ z = r\cos\varphi \end{cases}$ <p>绕 <math>z</math> 轴回转生成</p> <p>(2) 过点 <math>P(x, y, z)</math> 的切平面方程</p> $xX + yY + zZ = r^2$
旋转抛物面		$x^2 + y^2 = a^2z$	<p>由抛物线</p> $\begin{cases} x^2 = a^2z \\ y = 0 \end{cases}$ <p>绕 <math>z</math> 轴回转生成</p>
螺旋面		$\begin{cases} x = t\cos\theta \\ y = t\sin\theta \\ z = b\theta \end{cases}$ <p>式中 <math>t, \theta</math> —— 参变量</p> <p>直角坐标方程</p> $y = x \tan \frac{z}{b}$ <p>柱坐标方程</p> $z = b\theta$	<p>由垂直于 <math>z</math> 轴的直母线 <math>x = t, y = z = 0</math> 绕 <math>z</math> 轴作螺旋运动生成</p>

名称	图形	方程	说明
阿基米德螺旋面		$\begin{cases} x = (x_0 - t \cos \alpha) \cos \theta \\ y = (x_0 - t \cos \alpha) \sin \theta \\ z = z_0 + t \sin \alpha + b\theta \end{cases}$ 式中 $t, \theta$ —— 参变量	(1) 由与 $xoy$ 平面成定角 $\alpha$ 的直母线 $\begin{cases} x = x_0 - t \cos \alpha \\ y = 0 \\ z = z_0 + t \sin \alpha \end{cases}$ 绕 $z$ 轴作螺旋运动生成 (2) 与垂直于 $z$ 轴的平面相交截口为阿基米德螺旋线 (3) 用作蜗杆齿曲面
渐开线螺旋面		$\begin{cases} x = a [\cos(\theta + \varphi) + \varphi \sin(\theta + \varphi)] \\ y = a [\sin(\theta + \varphi) - \varphi \cos(\theta + \varphi)] \\ z = b\theta \end{cases}$ 式中 $\theta, \varphi$ —— 参变量	(1) 由平面渐开线 $z=0$ $\begin{cases} x = a(\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) \\ y = a(\sin \varphi - \varphi \cos \varphi) \end{cases}$ 绕 $z$ 轴作螺旋运动生成 (2) 用作齿曲面可得等速比传动

## 微 积 分

表 1-1-54

导数基本公式

函数 $y$	导数 $y' = \frac{dy}{dx}$	函数 $y$	导数 $y' = \frac{dy}{dx}$
$c$	$0$	$\sin x$	$\cos x$
$cu$	$cu'$	$\cos x$	$-\sin x$
$u \pm v$	$u' \pm v'$	$\tan x$	$\sec^2 x$
$uv$	$uv' + vu'$	$\cot x$	$-\csc^2 x$
$\frac{u}{v}$	$\frac{vu' - uv'}{v^2}$	$\sec x$	$\tan x \sec x$
$f(u)$	$f'(u)\varphi'(x)$	$\csc x$	$-\cot x \csc x$
$u = \varphi(x)$	$\frac{1}{\varphi'(y)}$	$\arcsin x$	$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
$f(x)$	$\frac{1}{x^2}$	$\arccos x$	$-\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
$x = \varphi(y)$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$\arctan x$	$\frac{1}{1+x^2}$
$\frac{1}{x}$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$\operatorname{arccot} x$	$-\frac{1}{1+x^2}$
$\sqrt{x}$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$\operatorname{arcsec} x$	$\frac{1}{x\sqrt{x^2-1}}$
$x^n$	$nx^{n-1}$	$\operatorname{arccsc} x$	$-\frac{1}{x\sqrt{x^2-1}}$
$a^x$	$a^x \ln a$	$\sinh x$	$\cosh x$
$e^x$	$e^x$	$\cosh x$	$\sinh x$
$\ln x$	$\frac{1}{x}$		
$\ln  x $	$\frac{1}{x}$		
$\log_a x$	$\frac{1}{x \ln a}$		

注: 1. 表中  $y, u, v$  为  $x$  的函数,  $c$  为常数。2. 微分公式:  $df(x) = f'(x) dx$ ;  $df(u) = f'(u) du = f'(u)\varphi'(x) dx$ 。

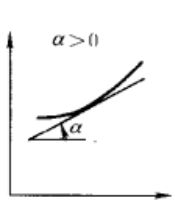
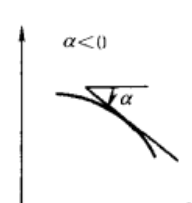
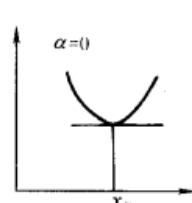
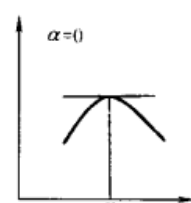
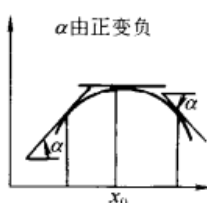
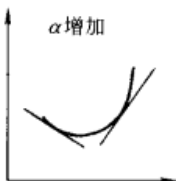
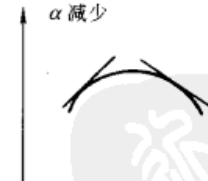
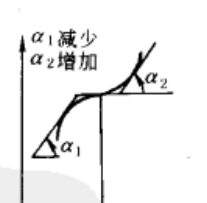
表 1-1-55

常用高阶导数公式

函 数	$n$ 阶导数表达式
$y = x^m$	$y^{(n)} = (m)(m-1)(m-2)\cdots(m-n+1)x^{m-n}$ $m$ 为正整数时, $n > m, y^{(n)} = 0$
$y = a^x$	$y^{(n)} = (\ln a)^n a^x, a = e$ 时, $(e^x)^{(n)} = e^x$
$y = \ln x$	$y^{(n)} = (-1)^{n-1} \frac{(n-1)!}{x^n}$
$y = \sin x$	$y^{(n)} = \sin\left(x + \frac{n\pi}{2}\right)$
$y = \cos x$	$y^{(n)} = \cos\left(x + \frac{n\pi}{2}\right)$
$y = u(x)v(x)$	$y^{(n)} = u^{(n)}v + nu^{(n-1)}v' + \frac{n(n-1)}{2!}u^{(n-2)}v'' + \cdots + uv^{(n)}$

表 1-1-56

导数与函数的增减性、极值、凸凹性、拐点之间的关系

函数 $y = f(x)$	$f'(x) > 0$	$f'(x) < 0$	$f'(x_0) = 0$	
			$f''(x_0) > 0$	$f''(x_0) < 0$
特 点	 <p><math>\alpha &gt; 0</math></p> <p>单调增加</p>	 <p><math>\alpha &lt; 0</math></p> <p>单调减少</p>	 <p><math>\alpha = 0</math></p> <p><math>f(x_0)</math> 是极小值</p>	 <p><math>\alpha = 0</math></p> <p><math>f(x_0)</math> 是极大值</p>
函 数 $y = f(x)$	$f'(x_0) = 0$ $f''(x_0) = 0$	$f''(x) > 0$	$f''(x) < 0$	$f''(x_0) = 0$
特 点	 <p><math>\alpha</math> 由正变负</p> <p>当 <math>x</math> 渐增地经过 <math>x_0</math> 时, 若 <math>f'(x)</math> 由正变负 (由负变正), 则 <math>f(x_0)</math> 是极大值 (极小值)。若 <math>f'(x)</math> 不变符号, 则在 <math>x_0</math> 点无极值</p>	 <p><math>\alpha</math> 增加</p> <p>向上凹</p>	 <p><math>\alpha</math> 减少</p> <p>向下凹</p>	 <p><math>\alpha_1</math> 减少 <math>\alpha_2</math> 增加</p> <p>当 <math>x</math> 渐增地经过 <math>x_0</math> 时, 若 <math>f'(x)</math> 变符号, 则 <math>f(x)</math> 在 <math>x_0</math> 有拐点, 若 <math>f''(x)</math> 不变符号, 则 <math>f(x)</math> 在 <math>x_0</math> 无拐点</p>

## 不定积分法则和公式

$$\int f'(x) dx = f(x) + C$$

$$\int kf(x) dx = k \int f(x) dx \quad (k \text{ 为常数})$$

$$\int [f(x) + g(x) + \cdots + h(x)] dx$$

$$= \int f(x) dx + \int g(x) dx + \cdots + \int h(x) dx$$

$$\int uv' dx = uv - \int vu' dx \quad (\text{分部积分法})$$

$$\text{或} \int u dv = uv - \int v du$$

$$\int f'[\varphi(x)] d\varphi(x) = f[\varphi(x)] + C \quad (\text{配元积分法})$$

$$\int f(x) dx = \int f[\Psi(t)] \Psi'(t) dt, x = \Psi(t) \quad (\text{变量置换法})$$

$$\int a dx = ax + C \quad (a \text{ 为常数})$$

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C \quad (n \neq -1)$$

$$\int \frac{dx}{\sin x} = \ln \left| \tan \frac{x}{2} \right| + C$$

$$\int \frac{dx}{\cos x} = \ln \left| \tan \left( \frac{x}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right| + C$$

$$\int \sin^2 x dx = \frac{x}{2} - \frac{1}{4} \sin 2x + C$$

$$\int \sin^2 ax dx = \frac{1}{2a} (ax - \sin ax \cos ax) + C$$

$$\int \cos^2 x dx = \frac{x}{2} + \frac{1}{4} \sin 2x + C$$

$$\int \cos^2 ax dx = \frac{1}{2a} (ax + \sin ax \cos ax) + C$$

$$\int \sec^2 x dx = \int \frac{dx}{\cos^2 x} = \tan x + C$$

$$\int \csc^2 x dx = \int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\cot x + C$$

$$\int \tan x \sec x dx = \sec x + C$$

$$\int \ln x dx = x \ln x - x + C$$

$$\int \frac{\ln x}{x} dx = \frac{1}{2} (\ln x)^2 + C$$

$$\int \frac{dx}{x \ln x} = \ln(\ln x) + C$$

$$\int \frac{dx}{x^2 - a^2} = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{x-a}{x+a} \right| + C$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln |x| + C$$

$$\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a} + C$$

$$\int e^x dx = e^x + C$$

$$\int e^{ax} dx = \frac{1}{a} e^{ax} + C$$

$$\int \sin x dx = -\cos x + C$$

$$\int \cos x dx = \sin x + C$$

$$\int \tan x dx = -\ln |\cos x| + C$$

$$\int \cot x dx = \ln |\sin x| + C$$

$$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \tan x + C$$

$$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\cot x + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x + C$$

$$\int \frac{dx}{1+x^2} = \arctan x + C$$

$$\int \sinh x dx = \cosh x + C$$

$$\int \cosh x dx = \sinh x + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 \pm a^2}) + C$$

$$\int \frac{x dx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \sqrt{x^2 \pm a^2} + C$$

$$\int \sqrt{x^2 \pm a^2} dx = \frac{x}{2} \sqrt{x^2 \pm a^2} \pm \frac{a^2}{2} \ln(x + \sqrt{x^2 \pm a^2}) + C$$

$$\int x \sqrt{x^2 \pm a^2} dx = \frac{1}{3} \sqrt{(x^2 \pm a^2)^3} + C$$

$$\int x^2 \sqrt{x^2 \pm a^2} dx = \frac{x}{8} (2x^2 \pm a^2) \sqrt{x^2 \pm a^2} - \frac{a^4}{8} \ln(x + \sqrt{x^2 \pm a^2}) + C$$

$$\int \frac{x dx}{\sqrt{x^2 - a^2}} = \sqrt{x^2 - a^2} + C$$

$$\int \sqrt{a^2 - x^2} dx = \frac{x}{2} \sqrt{a^2 - x^2} + \frac{a^2}{2} \arcsin \frac{x}{a} + C$$

$$\int x \sqrt{a^2 - x^2} dx = -\frac{1}{3} \sqrt{(a^2 - x^2)^3} + C$$

$$\int \frac{x dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = -\sqrt{a^2 - x^2} + C$$

$$\int \frac{x^2 dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = -\frac{x}{2} \sqrt{a^2 - x^2} + \frac{a^2}{2} \arcsin \frac{x}{a} + C$$

$$\int \frac{dx}{x \sqrt{a^2 - x^2}} = \frac{-1}{a} \ln \left( \frac{a + \sqrt{a^2 - x^2}}{x} \right) + C$$

$$\int \frac{dx}{(x+a)(x+b)} = \frac{1}{b-a} \ln \frac{x+a}{x+b} + C$$

$$\int (a+bx)^n dx = \frac{(a+bx)^{n+1}}{b(n+1)} + C$$

$$\int \frac{xdx}{a+bx} = \frac{1}{b^2} [a+bx - a \ln |a+bx|] + C$$

$$\int \frac{dx}{x(a+bx)} = -\frac{1}{a} \ln \left| \frac{a+bx}{x} \right| + C$$

$$\int \frac{dx}{a+bx^2} = \frac{1}{\sqrt{ab}} \arctan \sqrt{\frac{b}{a}} x + C$$

$$\int \frac{xdx}{a+bx^2} = \frac{1}{2b} \ln(a+bx^2) + C$$

$$\int \sqrt{ax+b} dx = \frac{2}{3a} (ax+b)^{3/2} + C$$

$$\int x\sqrt{ax+b} dx = \frac{6ax-4b}{15a^2} (ax+b)^{3/2} + C$$

$$\int \sin(ax+b) dx = -\frac{1}{a} \cos(ax+b) + C$$

$$\int \cos(ax+b) dx = \frac{1}{a} \sin(ax+b) + C$$

$$\int b^{ax} dx = \frac{b^{ax}}{a \ln b} + C$$

$$\int x^n e^{ax} dx = \frac{1}{a} x^n e^{ax} - \frac{n}{a} \int x^{n-1} e^{ax} dx$$

### 定积分及公式

(1) 定积分与不定积分的基本关系

$$\int_a^b f(x) dx = \int f(x) dx \Big|_a^b = F(b) - F(a)$$

式中  $F(x)$  为  $f(x)$  的任一个原函数。

(2) 定积分的主要性质

$$1) \int_a^b kf(x) dx = k \int_a^b f(x) dx \quad (k \text{ 为常数})$$

$$2) \int_a^b f(x) dx = - \int_b^a f(x) dx$$

$$3) \int_a^b [f(x) \pm \varphi(x)] dx = \int_a^b f(x) dx \pm \int_a^b \varphi(x) dx$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} \cos nx dx = \int_{-\pi}^{\pi} \sin nx dx = 0$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} \cos mx \sin nx dx = 0$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} \cos mx \cos nx dx = \int_{-\pi}^{\pi} \sin mx \sin nx dx = \begin{cases} 0, & \text{当 } m \neq n \text{ 时} \\ \pi, & \text{当 } m = n \text{ 时} \end{cases}$$

$$\int_0^{\pi} \cos mx \cos nx dx = \int_0^{\pi} \sin mx \sin nx dx = \begin{cases} 0, & \text{当 } m \neq n \text{ 时} \\ \frac{\pi}{2}, & \text{当 } m = n \text{ 时} \end{cases}$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n x dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^n x dx = I_n$$

$$I_n = \begin{cases} \frac{n-1}{n} \times \frac{n-3}{n-2} \times \cdots \times \frac{4}{5} \times \frac{2}{3} & (n \text{ 为正奇数}) \\ \frac{n-1}{n} \times \frac{n-3}{n-2} \times \cdots \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{2} & (n \text{ 为正偶数}) \end{cases}$$

$$\int_0^{+\infty} x^{2n} e^{-ax^2} dx = \frac{(2n-1)!!}{2^{n+1} a^n} \sqrt{\frac{\pi}{a}} \quad (a > 0)$$

注:  $(2n-1)!! = (2n-1)(2n-3)(2n-5)\cdots 5 \times 3 \times 1$

$$\int_0^1 (\ln x)^n dx = (-1)^n n! \quad (n \text{ 为正整数})$$

$$\int_0^1 \frac{\ln x}{1-x} dx = -\frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^1 \frac{\ln x}{1+x} dx = -\frac{\pi^2}{12}$$

$$4) \int_a^b f(x) dx = \int_a^c f(x) dx + \int_c^b f(x) dx$$

其中  $c$  为任意一点

5) 若  $f(x) \leq g(x)$

$$\text{则 } \int_a^b f(x) dx \leq \int_a^b g(x) dx, a \leq b$$

$$\int_0^{+\infty} \frac{dx}{a^2+x^2} = \frac{\pi}{2a}$$

$$\int_0^{+\infty} \sin(x^2) dx = \int_0^{+\infty} \cos(x^2) dx = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2}}$$

$$\int_0^{+\infty} \frac{\tan x}{x} dx = \frac{\pi}{2}$$

$$\int_0^{+\infty} x^n e^{-ax} dx = \frac{n!}{a^{n+1}} \quad (n \text{ 为正整数}, a > 0)$$

$$\int_0^1 \frac{\ln x}{1-x^2} dx = -\frac{\pi^2}{8}$$

$$\int_0^1 \frac{\ln x}{\sqrt{1-x^2}} dx = -\frac{\pi}{2} \ln 2$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \cos x dx = -\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{x}{\tan x} dx = -\frac{\pi}{2} \ln 2$$

$$\int_0^{\infty} e^{-ax} dx = \frac{1}{a} \quad (a > 0)$$

## 微积分的应用

表 1-1-57

平面曲线的切线和法线方程

曲线方程	曲线上点 $M(x, y)$ 处的		说 明
	切 线 方 程	法 线 方 程	
$y=f(x)$	$Y-y=f'(x)(X-x)$	$Y-y=-\frac{1}{f'(x)}(X-x)$	(1) $X, Y$ 为切线或法线的流动坐标 (2) 诸导数均在给定点 $M(x, y)$ 上计算 (3) $\dot{x}(t) = \frac{dx}{dt}$ $\dot{y}(t) = \frac{dy}{dt}$
$F(x, y) = 0$	$F'_x(X-x) + F'_y(Y-y) = 0$	$F'_y(X-x) - F'_x(Y-y) = 0$	
$x=x(t)$ $y=y(t)$	$\frac{X-x}{\dot{x}(t)} = \frac{Y-y}{\dot{y}(t)}$	$(X-x)\dot{x}(t) + (Y-y)\dot{y}(t) = 0$	

表 1-1-58

平面曲线的曲率和曲率中心

曲线方程	曲率 $K$ , 曲率半径 $R = \frac{1}{K}$	曲 率 中 心 $(a, b)$
$y=f(x)$	$K = \frac{y'''}{(1+y'^2)^{3/2}}$	$a = x - \frac{(1+y'^2)y'}{y''}, b = y + \frac{(1+y'^2)}{y''}$
$x=x(t)$ $y=y(t)$	$K = \frac{\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}\dot{y}}{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{3/2}}$	$a = x - \frac{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)\dot{y}}{\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}\dot{y}}, b = y + \frac{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)\dot{x}}{\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}\dot{y}}$
$\rho = \rho(\theta)$	$K = \frac{\rho^2 + 2\rho'^2 - \rho\rho''}{(\rho^2 + \rho'^2)^{3/2}}$	$a = \rho \cos\theta - \frac{(\rho^2 + \rho'^2)(\rho \cos\theta + \rho' \sin\theta)}{\rho^2 + 2\rho'^2 - \rho\rho''}$ $b = \rho \sin\theta - \frac{(\rho^2 + \rho'^2)(\rho \sin\theta - \rho' \cos\theta)}{\rho^2 + 2\rho'^2 - \rho\rho''}$

表 1-1-59

曲线的弧长

名称	曲线方程	弧长微分	曲线端点坐标	弧长计算公式
平面曲线	$y=f(x)$ $a \leq x \leq b$	$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$	$A(a, f(a))$ $B(b, f(b))$	$s = \int_a^b \sqrt{1+y'^2} dx$
	$x=x(t)$ $y=y(t)$ $t_1 \leq t \leq t_2$		$A(x(t_1), y(t_1))$ $B(x(t_2), y(t_2))$	$s = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} dt$
	$\rho = \rho(\theta)$ $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$		$A(\rho(\theta_1), \theta_1)$ $B(\rho(\theta_2), \theta_2)$	$s = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{\rho^2 + \rho'^2} d\theta$
空间曲线	$x=x(t)$ $y=y(t)$ $z=z(t)$ $t_1 \leq t \leq t_2$	$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$	$A(x(t_1), y(t_1), z(t_1))$ $B(x(t_2), y(t_2), z(t_2))$	$s = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} dt$

表 1-1-60

平面图形的面积

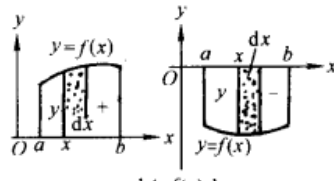
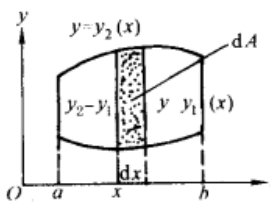
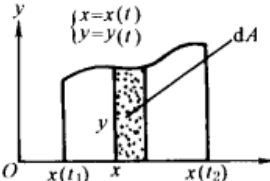
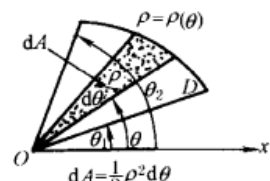
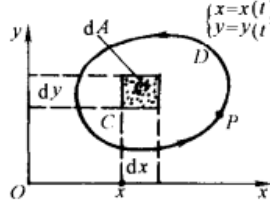
名称	说明	公式	图示和面积微分
	<p>曲边 <math>y=f(x)</math>, <math>x=a</math>, <math>x=b</math> 和 <math>x</math> 轴围成的面积</p>	$A = \int_a^b f(x) dx \quad f(x) \geq 0$ $A = - \int_a^b f(x) dx \quad f(x) \leq 0$	 <p style="text-align: center;"><math>dA=f(x)dx</math></p>
<p>曲边梯形面积</p>	<p>曲边 <math>y=y_2(x)</math> 和曲边 <math>y=y_1(x)</math> 与 <math>x=a</math>, <math>x=b</math> 围成的面积</p> <p><math>y_2(x) \geq y_1(x) \quad (a \leq x \leq b)</math></p>	$A = \int_a^b (y_2 - y_1) dx$	 <p style="text-align: center;"><math>dA=(y_2-y_1)dx</math></p>
	<p>曲边 <math>\begin{cases} x=x(t) \\ y=y(t) \end{cases}</math> 和 <math>x</math> 轴, <math>x=x(t_1)</math>, <math>x=x(t_2)</math> 围成的面积</p>	$A = \int_{t_1}^{t_2} y(t) \dot{x}(t) dt$	 <p style="text-align: center;"><math>dA=ydx=y(t)\dot{x}(t)dt</math></p>
<p>曲边扇形面积</p>	<p>曲边 <math>\rho=\rho(\theta)</math> 和射线 <math>\theta=\theta_1, \theta=\theta_2</math> 围成的面积 (<math>\theta_2 \geq \theta_1</math>)</p>	$A = \iint_D \rho d\rho d\theta = \frac{1}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \rho^2 d\theta$	 <p style="text-align: center;"><math>dA=\frac{1}{2}\rho^2 d\theta</math></p>
<p>区域 <math>D</math> 的面积</p>	<p>区域 <math>D</math> 以闭曲线 <math>C: \begin{cases} x=x(t) \\ y=y(t) \end{cases}</math> 为边界; 当参数 <math>t</math> 由 <math>t_1</math> 变到 <math>t_2</math> 时, 点 <math>P(x(t), y(t))</math> 沿 <math>C</math> 循逆时针方向绕行一周</p>	$A = \iint_D dx dy = \frac{1}{2} \oint_C x dy - y dx$ $= \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} (x\dot{y} - y\dot{x}) dt$	 <p style="text-align: center;"><math>dA=dx dy</math></p>



表 1-1-61

积分应用举例 (一)

名称	定义及简单情况时公式	一般情况		图示	
		微分式	积分式		
变速直线运动的路程 $s$	$s = vt$ $v$ —— 常量	$ds = v(t) dt$ $t_1 \leq t \leq t_2$	$s = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$		
液体静压力 $F$	$F = pA$ $p$ —— 压力, 为常量 $A$ —— 受压面积 $F$ —— 总压力	$dF = p(x) dA = wxy dx$ $w$ —— 流体重度 $p(x) = wx$ $a \leq x \leq b$ $dA = y dx$	$F = \int_a^b wxy dx$ 式中 $y = f(x)$		
变力 $F$ 作的功 $W$	$W = Fr$ $F$ —— 常力 $r$ —— 直线位移	$dW = F(x) dx$ 设力 $F$ 方向恒定, 且与位移方向一致, 在一条直线上	$W = \int_a^b F(x) dx$ $W$ 为由 $a$ 位移到 $b$ 时力所作的功		
力场对质点位移所作的功 $W$		$dW = F(x, y, z) dr$ $= X dx + Y dy + Z dz$ 其中 力场 $F = X(x, y, z) i + Y(x, y, z) j + Z(x, y, z) k$	$W = \int_C F \cdot dr$ $= \int_C X dx + Y dy + Z dz$ 位移沿曲线 $C$ , 由 $A$ 到 $B$		
非均匀物体的质量 $m$	细线 $AB$ 的质量	$m = \mu s$ $\mu$ —— 密度, 常数 (下同); $s$ —— $AB$ 的长度	$dm = \mu(x) ds$ $\mu(x)$ —— 线密度	$m = \int_C \mu(x) ds$ $= \int_a^b \mu(x) \sqrt{1 + y'^2} dx$	
	薄板 $D$ 的质量	$m = \mu A$ $A$ —— $D$ 的面积	$dm = \mu(x, y) dA$ $\mu(x, y)$ —— 面密度	$m = \iint_D \mu(x, y) dA$ $= \iint_D \mu(x, y) dx dy$	
	物体 $\Omega$ 的质量	$m = \mu V$ $V$ —— $\Omega$ 的体积	$dm = \mu(x, y, z) dV$ $\mu(x, y, z)$ —— 体密度	$m = \iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) dV$ $= \iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) dx dy dz$	

名称	定义及简单情况时公式	一般情况		图示
		微分式	积分式	
静矩 $M$	曲线 $AB$ 的静矩  质量为 $m$ 的质点, 对轴 $l$ 的静力矩 $M_l$ 为 $M_l = rm$ 其中 $r$ 为该质点到轴的距离	$dM_x = yds$ $dM_y = xds$	对 $x$ 轴的静矩: $M_x = \int_c ds$ $= \int_a^b y \sqrt{1+y'^2} dx$ 对 $y$ 轴的静矩: $M_y = \int_c xds$ $= \int_a^b x \sqrt{1+y'^2} dx$	
	平面图形 $D$ 的静矩	$dM_x = ydxdy$ $dM_y = xdxdy$	对 $x$ 轴的静矩 $M_x = \iint_D ydxdy$ 对 $y$ 轴的静矩 $M_y = \iint_D xdxdy$	
	立体 $\Omega$ 的静矩  质量为 $m$ 的质点对平面 $\pi$ 的静力矩 $M_\pi$ 为: $M_\pi = rm$ 其中 $r$ 为该质点到平面 $\pi$ 的距离	$dM_{yz} = xdxdydz$ $dM_{zx} = ydxdydz$ $dM_{xy} = zdxdydz$	对 $yOz$ 平面的静矩 $M_{yz} = \iiint_\Omega xdxdydz$ 对 $xOz$ 平面的静矩 $M_{zx} = \iiint_\Omega ydxdydz$ 对 $xOy$ 平面的静矩 $M_{xy} = \iiint_\Omega zdxdydz$	
惯矩 $I$	平面图形 $D$ 的惯矩  质量为 $m$ 的质点对轴 $l$ 的惯矩 $I_l$ 为 $I_l = r^2 m$ 其中 $r$ 为该质点到轴 $l$ 的距离	$dI_x = y^2 dxdy$ $dI_y = x^2 dxdy$	$I_x = \iint_D y^2 dxdy$ $I_y = \iint_D x^2 dxdy$	
	立体 $\Omega$ 的惯矩	$dI_x = (y^2 + z^2) dxdydz$ $dI_y = (x^2 + z^2) dxdydz$ $dI_z = (x^2 + y^2) dxdydz$	$I_x = \iiint_\Omega (y^2 + z^2) dxdydz$ $I_y = \iiint_\Omega (x^2 + z^2) dxdydz$ $I_z = \iiint_\Omega (x^2 + y^2) dxdydz$	
电场通过曲面片 $S$ 的通量 $Q$	$Q = E \cdot S$ 其中 $E$ 为常场强矢量, $S$ 为以 $N$ 为法线, 面积为 $S$ 的平面片	$dQ = E \cdot dS$ $E$ 为变场强, $dS$ 为以 $N$ 为法线的面积为 $dS$ 的微分曲面片, 可以表示为 $dS = dydz\mathbf{i} + dzdx\mathbf{j} + dxdy\mathbf{k}$	$Q = \iint_S E \cdot dS$ $= \iint_S (E_x dydz + E_y dzdx + E_z dxdy)$	

注: 1. 假设图形有密度  $\mu = 1$  的有质量的图形的静力矩叫做图形的静矩。  
2. 假设图形有密度  $\mu = 1$  的有质量的图形的惯性矩叫做图形的惯矩。

表 1-1-62

积分应用举例 (二)

名称	公式和说明	图示
函数在区间上的平均值 $\bar{y}$	$\bar{y} = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx$ 曲边梯形 ABCD 的面积 $\int_a^b f(x) dx$ 等于矩形面积 $\bar{y}(b-a)$	
平面曲线段 AB 的重心	$\bar{x} = \frac{M_y}{s} = \frac{\int_a^b x \sqrt{1+y'^2} dx}{\int_a^b \sqrt{1+y'^2} dx}$ $\bar{y} = \frac{M_x}{s} = \frac{\int_a^b y \sqrt{1+y'^2} dx}{\int_a^b \sqrt{1+y'^2} dx}$ $G(\bar{x}, \bar{y})$ —— AB 的重心; $s$ —— AB 的弧长; $M_x, M_y$ —— AB 的静矩	
几何元素的重心	$\bar{x} = \frac{M_y}{A} = \frac{\iint_D x dx dy}{\iint_D dx dy}$ $\bar{y} = \frac{M_x}{A} = \frac{\iint_D y dx dy}{\iint_D dx dy}$ $G(\bar{x}, \bar{y})$ —— D 的重心; $A$ —— D 的面积; $M_x, M_y$ —— D 的静矩	
立体 $\Omega$ 的重心	$\bar{x} = \frac{M_{yz}}{V} = \frac{\iiint_{\Omega} x dx dy dz}{\iiint_{\Omega} dx dy dz}$ $\bar{y} = \frac{M_{xz}}{V} = \frac{\iiint_{\Omega} y dx dy dz}{\iiint_{\Omega} dx dy dz}$ $\bar{z} = \frac{M_{xy}}{V} = \frac{\iiint_{\Omega} z dx dy dz}{\iiint_{\Omega} dx dy dz}$ $G(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ —— $\Omega$ 的重心; $V$ —— $\Omega$ 的体积; $M_{yz}, M_{xz}, M_{xy}$ —— $\Omega$ 的静矩	

注: 本表是另一种类型的积分应用, 它们是相应积分区域上的平均值。

常微分方程

表 1-1-63

一阶微分方程

方程类型	求解方法及通解
1. 变量(可)分离方程 $M_1(x)M_2(y)dx + N_1(x)N_2(y)dy = 0$	用 $M_2(y)N_1(x)$ 同除方程的两边, 再分别积分 通解: $\int \frac{M_1(x)}{N_1(x)} dx + \int \frac{N_2(y)}{M_2(y)} dy = C, C \text{ 为任意常数(下同)}$
2. 齐次方程 $\frac{dy}{dx} = f\left(\frac{y}{x}\right)$	令 $u = \frac{y}{x}$ , 即 $y = ux, \frac{dy}{dx} = u + x \frac{du}{dx}$ 化原方程为变量分离型 $xdu = [f(u) - u] dx$ 通解: $\int \frac{du}{f(u) - u} = \ln x + C$ 其中 $u = \frac{y}{x}$
3. 可化为齐次的方程 $\frac{dy}{dx} = f\left(\frac{a_1x + b_1y + c_1}{a_2x + b_2y + c_2}\right)$	(1) 若 $\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} \neq 0$ 则令 $x = X + h, y = Y + k$ $\left. \begin{aligned} a_1h + b_1k + c_1 &= 0 \\ a_2h + b_2k + c_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \text{求解 } h, k$ 通过以上变化, 方程便化为齐次方程 (2) 若 $\Delta = 0$ 做未知函数变换 令 $u = a_1x + b_1y$ , 化原方程为分离变量方程

续表

方 程 类 型	求 解 方 法 及 通 解
4. 线性方程 $\frac{dy}{dx} + P(x)y = Q(x)$ $Q(x) = 0$ , 称为齐次 $Q(x) \neq 0$ , 称为非齐次	依型 1, 求其对应齐次方程 $y = e^{-\int P(x)dx} \left[ \int Q(x) e^{\int P(x)dx} dx + C \right]$ $y' + P(x)y = 0$ 的通解 $y = C e^{-\int P(x)dx}$ 再利用常数变易法, 令 $y = C(x) e^{-\int P(x)dx}$ , 代入非齐次方程, 求得 $C(x) = \int Q(x) e^{\int P(x)dx} dx + C$
5. 伯努利方程 $\frac{dy}{dx} + P(x)y = Q(x)y^n$ ( $n \neq 0, 1$ )	利用变换, 令 $z = y^{1-n}$ , 化原方程为线性方程 通解: $y^{1-n} e^{(1-n)\int P(x)dx} = (1-n) \int Q(x) e^{(1-n)\int P(x)dx} dx + C$
6. 全微分方程 $P(x,y)dx + Q(x,y)dy = 0$ 且满足 $\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial Q}{\partial x}$	如方程左边恰好是 $U = U(x,y)$ 的全微分, 则 $dU = Pdx + Qdy = 0$ 通解: $U(x,y) = \int_{x_0}^x P(x,y) dx + \int_{y_0}^y Q(x_0,y) dy = C$ ( $x_0, y_0$ 可适当选取)

表 1-1-64

## 二阶微分方程

方 程 类 型	求 解 方 法 及 通 解
1. 常系数二阶齐次方程 $\frac{d^2y}{dx^2} + a \frac{dy}{dx} + by = 0$ 式中 $a, b$ 为实常数	令 $y = e^{\lambda x}$ , 代入原方程, 得到特征方程 $\lambda^2 + a\lambda + b = 0$ 其根为 $\lambda_1, \lambda_2$ (1) $\lambda_1 \neq \lambda_2$ (实根) 通解 $y = C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{\lambda_2 x}$ $C_1, C_2$ 是任意常数(下同) (2) $\lambda_1 = \lambda_2$ 通解 $y = (C_1 + C_2 x) e^{\lambda_1 x}$ (3) $\lambda_1 = \alpha + \beta i, \lambda_2 = \alpha - \beta i$ 通解 $y = e^{\alpha x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x)$
2. 常系数二阶非齐次方程 $\frac{d^2y}{dx^2} + a \frac{dy}{dx} + by = f(x)$ 式中 $a, b$ 为常数 $f(x) \neq 0$	通解 $y = y_c + y_p$ 式中 $y_c$ 为对应的齐次方程的通解, 求解方法见型 1。 $y_p$ 为方程的特解, 可用待定系数法求得 (1) 如 $f(x) = P_n(x) e^{\lambda x}$ , 式中 $P_n(x)$ 为 $n$ 次多项式 特解 (a) $\lambda$ 不是特征根 $y_p = Q_n(x) e^{\lambda x}$ (b) $\lambda$ 是单特征根 $y_p = x Q_n(x) e^{\lambda x}$ (c) $\lambda$ 是重特征根 $y_p = x^2 Q_n(x) e^{\lambda x}$ (2) 如 $f(x) = P_n(x)$ , 相当于(1)中 $\lambda = 0$ , 求解方法与(1)相同 (3) 如 $f(x) = k e^{\lambda x}$ , 相当于(1)中 $P_n(x) = k$ , 求解方法与(1)相同( $k, \lambda$ 为常数) (4) 如 $f(x) = k e^{\alpha x} \cos \beta x, l e^{\alpha x} \sin \beta x$ 或 $e^{\alpha x} (k \cos \beta x + l \sin \beta x)$ 式中 $k, l, \alpha, \beta$ 为常数 特解 (a) $\alpha \pm \beta i$ 不是特征根 $y_p = e^{\alpha x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x)$ (b) $\alpha \pm \beta i$ 是特征根 $y_p = x e^{\alpha x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x)$ 式中 $A, B$ 为待定系数

## 拉 氏 变 换

拉氏变换的定义: 设函数  $f(t)$  当  $t \geq 0$  时有定义, 并且,  $f(t)$  是连续函数或分段连续函数;  $f(t)$  的增大是指数级的, 即当  $t$  充分大后满足不等式  $|f(t)| \leq M e^{Ct}$ , 其中  $M, C$  都是实常数, 则

$$L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt = F(s)$$

称为函数  $f(t)$  的拉普拉斯变换, 简称拉氏变换, 并用算符“ $L$ ”表示, 其中, 已知函数  $f(t)$  称为原函数, 变换所得的函数  $F(s)$  称为象函数,  $s$  称为拉普拉斯算子。

若  $L[f(t)] = F(s)$ , 则

$$L^{-1}[F(s)] = f(t)$$

称为拉氏逆变换。

表 1-1-65

拉氏变换的性质

$L[af(t)] = aL[f(t)]$ (线性性质)	$L\left[\int_0^t f(\tau) d\tau\right] = \frac{1}{s}F(s)$ (积分定理)
$L[af_1(t) + bf_2(t)] = aL[f_1(t)] + bL[f_2(t)]$ (线性性质)	
$L^{-1}[aF_1(s) + bF_2(s)] = aL^{-1}[F_1(s)] + bL^{-1}[F_2(s)]$ (线性性质)	$L\left[\int_0^{(n)} \dots \int_0^t f(\tau) d\tau^n\right] = \frac{1}{s^n}F(s)$ (积分定理)
$L[f'(t)] = sF(s) - f(0)$ (微分定理)	$L\left[\frac{f(t)}{t}\right] = \int_s^\infty F(s) ds$ (象函数积分定理)
$L[e^{at}f(t)] = F(s-a)$ (位移定理)	
$L[f(t-\tau)] = e^{-s\tau}F(s)$ (延迟定理)	$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$ (初值定理)
$L\left[f\left(\frac{t}{a}\right)\right] = aF(as)$ (时间尺度定理)	$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$ (终值定理)
$L[(-t)^n f(t)] = \frac{d^n F(s)}{ds^n}$ (象函数微分定理)	$L[f_1(t)f_2(t)] = F_1(s)F_2(s)$ (卷积定理)
$L[f''(t)] = s^2F(s) - sf(0) - f'(0)$ (微分定理)	式中 $f_1(t)f_2(t) = \int_0^t f_1(\tau)f_2(t-\tau) d\tau$
$L[f^{(n)}(t)] = s^n F(s) - s^{n-1}f(0) - s^{n-2}f'(0) - \dots - f^{(n-1)}(0)$ (微分定理)	$= \int_0^t f_1(t-\tau)f_2(\tau) d\tau$

表 1-1-66

拉氏变换简表

$F(s) = L[f(t)]$	$f(t)$	$F(s) = L[f(t)]$	$f(t)$
1	单位脉冲 $\delta(t)$	1	$\frac{e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \frac{e^{-bt}}{(a-b)(c-b)} +$
$\frac{1}{s}$	单位阶跃 $u(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t \geq 0 \end{cases}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)(s+c)}$ ( $a, b, c$ 不等)	$\frac{e^{-at}}{(a-c)(b-c)}$
$\frac{1}{s^2}$	单位斜坡 $r(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t & t \geq 0 \end{cases}$	$\frac{s}{(s+a)(s+b)(s+c)}$ ( $a, b, c$ 不等)	$\frac{ae^{-at}}{(c-a)(a-b)} + \frac{be^{-bt}}{(a-b)(b-c)} +$
$\frac{1}{s^n}$	$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}$ ( $n=1, 2, 3, \dots$ )	$\frac{s^2}{(s+a)(s+b)(s+c)}$ ( $a, b, c$ 不等)	$\frac{ce^{-ct}}{(b-c)(c-a)}$
$\frac{1}{s+a}$	$e^{-at}$	$\frac{s^2}{(s+a)(s+b)(s+c)}$ ( $a, b, c$ 不等)	$\frac{a^2 e^{-at}}{(c-a)(b-a)} + \frac{b^2 e^{-bt}}{(a-b)(c-b)} +$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	$te^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)^2}$ ( $a \neq b$ )	$\frac{c^2 e^{-ct}}{(b-c)(a-c)}$
$\frac{s}{(s+a)^2}$	$(1-at)e^{-at}$	$\frac{s}{(s+a)(s+b)^2}$ ( $a \neq b$ )	$\frac{e^{-at} - e^{-bt}[1 - (a-b)t]}{(a-b)^2}$
$\frac{1}{(s+a)^3}$	$\frac{1}{2}t^2 e^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)^2 + b^2}$	$\frac{[a-b(a-b)t]e^{-bt} - ae^{-at}}{(a-b)^2}$
$\frac{s}{(s+a)^3}$	$t\left(1 - \frac{a}{2}t\right)e^{-at}$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + b^2}$	$\frac{e^{-at}}{b} \sin bt$
$\frac{1}{(s+a)^n}$	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{-at}$ ( $n=1, 2, 3, \dots$ )	$\frac{s}{(s+a)^2 + b^2}$	$e^{-at} \cos bt$
$\frac{s^n}{(s+a)^{n+1}}$	$e^{-at} \sum_{k=0}^n \frac{n!}{(n-k)!} \frac{(-at)^k}{(k!)^2}$ ( $n=1, 2, 3, \dots$ )	$\frac{b}{(s+a)^2 - b^2}$	$\left(\cos bt - \frac{a}{b} \sin bt\right) e^{-at}$
$\frac{1}{s(s+a)}$	$\frac{1}{a}(1 - e^{-at})$	$\frac{s}{s^2 + a^2}$	$e^{-at} \cosh bt$
$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$ ( $a \neq b$ )	$\frac{1}{b-a}(e^{-at} - e^{-bt})$	$\frac{1}{s^2 + a^2}$	$e^{-at} \sinh bt$
$\frac{s}{(s+a)(s+b)}$ ( $a \neq b$ )	$\frac{1}{b-a}(be^{-bt} - ae^{-at})$	$\frac{1}{s^2 + a^2}$	$\cos at$
$\frac{1}{s(s+a)(s+b)}$ ( $a \neq b$ )	$\frac{1}{ab}\left[1 + \frac{1}{a-b}(be^{-at} - ae^{-bt})\right]$	$\frac{s \cos b - a \sin b}{s^2 + a^2}$	$\frac{1}{a} \sin at$
		$\frac{s \sin b - a \cos b}{s^2 + a^2}$	$\cos(at+b)$
			$\sin(at+b)$

续表

$F(s) = L[f(t)]$	$f(t)$	$F(s) = L[f(t)]$	$f(t)$
$\frac{s}{s^2 - a^2}$	$\cosh at$	$\frac{1}{s^2 + 2abs + b^2}$	$\frac{1}{b\sqrt{1-a^2}} e^{-abt} \sin b\sqrt{1-a^2}t$
$\frac{1}{s^2 - a^2}$	$\frac{1}{a} \sinh at$	$\frac{s}{s^2 + 2abs + b^2}$	$\frac{-1}{\sqrt{1-a^2}} e^{-abt} \sin(b\sqrt{1-a^2}t - \phi)$
$\frac{1}{s(s^2 + a^2)}$	$\frac{1}{a^2}(1 - \cos at)$		$\phi = \arctan \frac{\sqrt{1-a^2}}{a}$
$\frac{1}{s^2(s^2 + a^2)}$	$\frac{1}{a^3}(at - \sin at)$		$1 - \frac{1}{\sqrt{1-a^2}} e^{-abt} \sin(b\sqrt{1-a^2}t + \phi)$
$\frac{1}{(s^2 + a^2)^2}$	$\frac{1}{2a^3}(\sin at - at \cos at)$	$\frac{b^2}{s(s^2 + 2abs + b^2)}$	$\phi = \arctan \frac{\sqrt{1-a^2}}{a}$
$\frac{s}{(s^2 + a^2)^2}$	$\frac{1}{2a} t \sin at$		$\frac{Tb}{1 + T^2 b^2} e^{-\frac{t}{T}} +$
$\frac{s^2}{(s^2 + a^2)^2}$	$\frac{1}{2a}(\sin at + at \cos at)$	$\frac{b^2}{(1 + Ts)(s^2 + b^2)}$	$\frac{1}{\sqrt{1 + T^2 b^2}} \sin(bt - \phi)$
$\frac{s^2 - a^2}{(s^2 + a^2)^2}$	$t \cos at$		$\phi = \arctan Tb$
$\frac{1}{s(s^2 + a^2)^2}$	$\frac{1}{a^4}(1 - \cos at) - \frac{1}{2a^3} t \sin at$		$\frac{Tb^2 e^{-\frac{t}{T}}}{1 - 2abT + T^2 b^2} +$
$\frac{1}{s^4 - a^4}$	$\frac{1}{2a^3}(\sinh at - \sin at)$	$\frac{b^2}{(1 + Ts)(s^2 + 2abs + b^2)}$	$\frac{be^{-abt} \sin(b\sqrt{1-a^2}t - \phi)}{\sqrt{(1-a^2)(1-2abT - T^2 b^2)}}$
$\frac{s}{s^4 - a^4}$	$\frac{1}{2a^2}(\cosh at - \cos at)$		$\phi = \arctan \frac{Tb\sqrt{1-a^2}}{1 - ab^2 T}$
$\frac{s^2}{s^4 - a^4}$	$\frac{1}{2a}(\sinh at + \sin at)$		$\frac{1}{\sqrt{\pi t}}$
$\frac{s^3}{s^4 - a^4}$	$\frac{1}{2}(\cosh at + \cos at)$		$2\sqrt{\frac{t}{\pi}}$
$\frac{b^2 - a^2}{(s^2 + a^2)(s^2 + b^2)}$	$\frac{1}{a} \sin at - \frac{1}{b} \sin bt$	$s^{-\frac{1}{2}}$	
$\frac{(b^2 - a^2)s}{(s^2 + a^2)(s^2 + b^2)}$	$\cos at - \cos bt$	$s^{-\frac{3}{2}}$	

## 应用拉氏变换解常系数线性微分方程

用拉氏变换求解时, 由于初始条件已经包括在微分方程的拉氏变换中, 不再像古典法需要根据初始条件求算积分常数。

当所有变量的初始条件均为零时, 微分方程的拉氏变换可简单地用算子  $s$  置换  $\frac{d}{dt}$ , 用  $s^2$  置换  $\frac{d^2}{dt^2}$ , ..., 用  $s^n$  置换  $\frac{d^n}{dt^n}$  等, 并将  $y(t)$ ,  $x(t)$  代之以象函数  $Y(s)$ ,  $X(s)$  后求得, 所有这一切, 使对微分方程的求解得到相当程度的简化。

一般步骤 设所给常系数线性微分方程为

$$\begin{cases} x^{(n)} + a_1 x^{(n-1)} + \cdots + a_{n-1} x' + a_n x = f(t) \\ x(0) = b_0, x'(0) = b_1, \cdots, x^{(n-1)}(0) = b_{n-1} \end{cases}$$

1) 对方程的两边逐项做拉氏变换 (结合所给初始条件), 且记  $L[x(t)] = X(s)$ , 即得  $X(s)$  的一次代数方程,

然后解出  $X(s)$ 。

2) 对  $X(s)$  的表达式两边做拉氏逆变换 (可通过查拉氏变换表得到), 若表达式  $X(s) = \frac{A(s)}{B(s)}$  的右边为有理函数时, 则可以将它展开成部分分式之和, 并把它写成拉氏变换表中可以找到的以  $s$  为参量的简单函数, 最终得出满足初始条件的解。

### 传 递 函 数

线性定常系统 (常系数线性微分方程所描述的系统) 的传递函数, 定义为: 初始条件为零时, 系统的输出量 (响应函数) 的拉氏变换与其输入量 (激励函数) 的拉氏变换之比。

对于单输入-单输出的线性定常系统的微分方程, 可用以下一般形式表示:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x$$

式中  $y(t)$  —— 输出量;

$x(t)$  —— 输入量;

$n, m$  —— 阶次, 一般  $n \geq m$ 。

设初始条件为零, 对上式进行拉氏变换, 就可得到此微分方程的拉氏变换式:

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0) Y(s) = (b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0) X(s)$$

式中  $Y(s)$  —— 输出函数的拉氏变换,  $Y(s) = L[y(t)]$ ;

$X(s)$  —— 输入函数的拉氏变换,  $X(s) = L[x(t)]$ 。

于是, 即可求得线性定常系统的传递函数  $G(s)$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$

传递函数  $G(s)$  是由微分方程系数和复变数  $s$  组成的有理分式函数, 它表达了系统本身的固有特性, 是在复域内描述线性系统动态行为的数学模型。

### 矩 阵

表 1-1-67

矩阵的概念

名 称	阵 列 形 式	说 明
一般形式矩阵 m 行 n 列矩阵	$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$	(1) $mn$ 个数 $a_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$ 按一定的次序排成 $m$ 行 $n$ 列的阵列 (2) 矩阵记作 $A$ (或 $B, C \dots$ ), 也可记作 $A_{m \times n}$ 或 $(a_{ij})_{m \times n}$ (3) $a_{ij}$ 称为矩阵的第 $i$ 行第 $j$ 列元素。 $a_{ii}$ 称为对角元
方阵	$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}$	(1) 这是 $n$ 阶方阵, 可记作 $B_n$ (2) 方阵的行数与列数相等 (3) $b_{11}, b_{22}, \dots, b_{nn}$ 这条线称为主对角线
行矩阵	$A = (a_1 a_2 \dots a_n)$	(1) 这是 1 行 $n$ 列矩阵 (2) 行矩阵也称行向量 (3) 元素 $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 可用一个下标表示

续表

名称	阵列形式	说明
一般形式矩阵	$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$	(1) 这是 $n$ 行 1 列矩阵 (2) 列矩阵也称列向量 (3) 元素 $b_i (i=1, 2, \dots, n)$ 可用一个下标表示
	$A = \begin{bmatrix} a_1 & & & \\ & a_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & a_n \end{bmatrix}$	(1) 这是全部非主对角线元素等于 0 的方阵 (2) 元素 $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示位于第 $i$ 行第 $i$ 列 (3) 排列有规律的 0 元素可以省写
	$A = \begin{bmatrix} k & & & \\ & k & & \\ & & \ddots & \\ & & & k \end{bmatrix}$	对角阵的所有对角元都相等
	$I = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & 1 \end{bmatrix}$	(1) 单位阵是方阵 (2) 所有对角元全为 1 (3) 单位阵记作 $I$ , 为说明其阶数, 把 $n$ 阶单位阵记作 $I_n$
特殊形式矩阵	$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & u_{nn} \end{bmatrix}$	$n$ 阶方阵的主对角线以下的元素全为零, 即 $u_{ij} = 0, i > j$
	$L = \begin{bmatrix} l_{11} & & & \\ l_{21} & l_{22} & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{nn} \end{bmatrix}$	$n$ 阶方阵的主对角线以上的元素全为零, 即 $l_{ij} = 0, i < j$
上梯形阵	1. 当 $m < n$ 时 $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} & \cdots & a_{1n} \\ & a_{22} & \cdots & a_{2m} & \cdots & a_{2n} \\ & & \ddots & \vdots & & \vdots \\ & & & a_{mm} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$ 2. 当 $m > n$ 时 $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 0 & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & a_{nn} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$	在 $m$ 行 $n$ 列矩阵中, 对角元以下的元素全为零, 即 $a_{ij} = 0, i > j$



名称	阵列形式	说明
特殊形式矩阵	下梯形阵 1. 当 $m < n$ 时 $A = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & \cdots & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} & 0 & \vdots & 0 \end{bmatrix}$ 2. 当 $m > n$ 时 $A = \begin{bmatrix} a_{11} & & & & & & \\ a_{21} & a_{22} & & & & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} & & & \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & & a_{mn} & & & \end{bmatrix}$	在 $m$ 行 $n$ 列矩阵中, 对角元以上的元素全为零, 即 $a_{ij} = 0, i < j$
零矩阵	$0 = \begin{bmatrix} 0 \cdots 0 \\ \cdots \cdots \\ 0 \cdots 0 \end{bmatrix}$	所有元素都是零的矩阵, 记作 $0$ 或 $0_{m \times n}$
负矩阵	$-A = \begin{bmatrix} -a_{11} & -a_{12} \cdots -a_{1n} \\ -a_{21} & -a_{22} \cdots -a_{2n} \\ \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \\ -a_{m1} & -a_{m2} \cdots -a_{mn} \end{bmatrix}$	(1) 设 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 则 $A$ 的负矩阵为 $-A = (-a_{ij})_{m \times n}$ (2) $-(-A) = A$
矩阵相等	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \cdots a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \cdots a_{2n} \\ \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} \cdots a_{mn} \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \cdots b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} \cdots b_{2n} \\ \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \\ b_{m1} & b_{m2} \cdots b_{mn} \end{bmatrix}$	(1) 矩阵相等时, 对应位置的元素相等, 即 $a_{ij} = b_{ij}, i = 1, 2, \cdots, m$ $j = 1, 2, \cdots, n$ 记作 $A = B$ (2) 同阶矩阵才能相等
矩阵转置	$A^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \vdots & a_{1m} \\ a_{12} & a_{22} & \vdots & a_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{1n} & a_{2n} & \vdots & a_{mn} \end{bmatrix}$	(1) 设 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 则 $A$ 的转置矩阵 $A^T$ 为 $A^T = (a'_{ij})_{n \times m}$ 其中 $a'_{ij} = a_{ji}$ (2) $(A^T)^T = A$ (3) 对角阵的转置仍是它自身。特别有 $I^T = I$
对称矩阵	$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \text{对称} \\ a_{21} & a_{22} \\ \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} \cdots a_{nn} \end{bmatrix}$	(1) 对称矩阵必是方阵 其中 $a_{ij} = a_{ji}$ (2) 转置后不变, 即 $A^T = A$

表 1-1-68

矩阵运算及其性质

名称	运算式	说明及运算性质
矩阵加减	简例 $\begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2+1 & 1+3 \\ 1+2 & 4+1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 4 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 3 & -1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 2 & -1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3-1 & -1-1 & 2-0 \\ 2-2 & 0-(-1) & 1-1 \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} 2 & -2 & 2 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	(1) 矩阵加减时对应位置的元素相加减 (2) 同阶矩阵才能相加减 (3) 运算性质 $A+B=B+A$ 交换律 $(A+B)+C=A+(B+C)$ 结合律
	一般形式 $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \pm \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} = [c_{ij}]$ $c_{ij} = a_{ij} \pm b_{ij} \quad \begin{matrix} i=1, 2, \cdots, m \\ j=1, 2, \cdots, n \end{matrix}$	
数乘矩阵	简例 $3 \times \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \times 3 = \begin{bmatrix} 3 \times (-1) & 3 \times 0 \\ 3 \times 2 & 3 \times 1 \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} -3 & 0 \\ 6 & 3 \end{bmatrix}$	(1) 数乘矩阵时, 该数乘矩阵的每一个元素 (2) 运算性质 $kA = Ak$ $k(A+B) = kA + kB$ 分配律
	一般形式 $k \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} k = [c_{ij}]$ $c_{ij} = ka_{ij} \quad \begin{matrix} i=1, 2, \cdots, m \\ j=1, 2, \cdots, n \end{matrix}$	
矩阵相乘	简例 $\begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 5 & 2 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 0 & 4 & 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \times 1 + 3 \times 0 & 2 \times 3 + 3 \times 4 & 2 \times 2 + 3 \times 5 \\ 5 \times 1 + 2 \times 0 & 5 \times 3 + 2 \times 4 & 5 \times 2 + 2 \times 5 \\ 1 \times 1 + 4 \times 0 & 1 \times 3 + 4 \times 4 & 1 \times 2 + 4 \times 5 \end{bmatrix}$	(1) 矩阵相乘时乘积的元素 $c_{ij}$ 等于左矩阵的第 $i$ 行和右矩阵的第 $j$ 列的对应元素的乘积之和 (2) 左矩阵的列数等于右矩阵的行数时才能相乘 (3) 运算性质 $(AB)C = A(BC)$ 结合律 $A(B+C) = AB+AC$ $(B+C)A = BA+CA$ 分配律 注意, 一般 $AB \neq BA$
	一般形式 $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{1j} & \cdots & b_{1p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{21} & b_{2j} & \cdots & b_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nj} & \cdots & b_{np} \end{bmatrix} = [c_{ij}]_{m \times p}$ $c_{ij} = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \cdots + a_{in}b_{nj} = \sum_{k=1}^n a_{ik}b_{kj}$ $\begin{matrix} i=1, 2, \cdots, m \\ j=1, 2, \cdots, p \end{matrix}$	
方阵的幂	简例 $\begin{bmatrix} 2 & 0 \\ -1 & 3 \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ -1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ -1 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ -5 & 9 \end{bmatrix}$	(1) 方阵的幂是同一方阵的连乘积 (2) $a_0 A^n + a_1 A^{n-1} + \cdots + a_n I$ 叫做方阵多项式 (3) 运算性质 $A^p A^q = A^{p+q}$ $(A^p)^q = A^{pq}$
	一般形式 $A^0 = I$ $A^p = \underbrace{AA \cdots A}_{\text{共 } p \text{ 个}}$	

名称	运 算 式	说明及运算性质
矩阵微分	简例 $\begin{bmatrix} t^2 - 1 & -2t \\ 3 & e^t \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} (t^2 - 1)' & (-2t)' \\ 3' & (e^t)' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2t & -2 \\ 0 & e^t \end{bmatrix}$	矩阵微分即对矩阵的每一个元素求微分 $\frac{d}{dt}(A+B) = \frac{dA}{dt} + \frac{dB}{dt}$ $\frac{d}{dt}(kA) = k \frac{dA}{dt} \quad (k \text{--- 常数})$
	一般形式 若 $A$ 的元素是 $t$ 的函数 $a_{ij} = a_{ij}(t)$ , 则 $\frac{dA}{dt} = A' = \begin{bmatrix} a'_{11}(t) & a'_{12}(t) & \cdots & a'_{1n}(t) \\ a'_{21}(t) & a'_{22}(t) & \cdots & a'_{2n}(t) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a'_{m1}(t) & a'_{m2}(t) & \cdots & a'_{mn}(t) \end{bmatrix}$	$\frac{d}{dt}(AB) = \frac{dA}{dt}B + A \frac{dB}{dt}$ 例如 $\begin{bmatrix} e^t & \sin t \\ t^3 & \cos t \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} e^t & \cos t \\ 3t^2 & -\sin t \end{bmatrix}$
矩阵积分	简例 $A = \begin{bmatrix} 2t & -2 \\ 0 & e^t \end{bmatrix}, \int A dt = \begin{bmatrix} \int 2t dt & \int -2 dt \\ \int 0 dt & \int e^t dt \end{bmatrix}$	矩阵积分即矩阵的每一个元素积分 例如 $\int_0^1 \begin{bmatrix} e^t & \sin t \\ t^3 & \cos t \end{bmatrix} dt = \begin{bmatrix} \int_0^1 e^t dt & \int_0^1 \sin t dt \\ \int_0^1 t^3 dt & \int_0^1 \cos t dt \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} e - 1 & 1 - \cos 1 \\ 1/4 & \sin 1 \end{bmatrix}$
	一般形式 若 $A$ 的元素是 $t$ 的函数 $a_{ij} = a_{ij}(t)$ , 则 $\int A dt = \begin{bmatrix} \int a_{11}(t) dt & \int a_{12}(t) dt & \cdots & \int a_{1n}(t) dt \\ \int a_{21}(t) dt & \int a_{22}(t) dt & \cdots & \int a_{2n}(t) dt \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \int a_{m1}(t) dt & \int a_{m2}(t) dt & \cdots & \int a_{mn}(t) dt \end{bmatrix}$	

表 1-1-69 矩阵运算性质与数的运算性质比较

比较	数的 运 算	矩 阵 的 运 算
相 同 点	$a + b = b + a$ $(a + b) + c = a + (b + c)$ $k(a + b) = ka + kb$ $(k_1 + k_2)a = k_1a + k_2a$ $a + 0 = a$ $a(bc) = (ab)c$ $(a + b)c = ac + bc$	$A + B = B + A$ 加法交换律 $(A + B) + C = A + (B + C)$ 加法结合律 $k(A + B) = kA + kB$ 加法分配律 $(k_1 + k_2)A = k_1A + k_2A$ $A + 0 = A$ $A(BC) = (AB)C$ 乘法结合律 $(A + B)C = AC + BC$ 乘法分配律
不 同 点	$ab = ba$ $ab = 0$ $a, b$ 至少有一个为 0 $(ab)^2 = a^2b^2$ $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ $a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$	一般地 $AB \neq BA$ 不满足交换律 $AB = 0$ 可能 $A, B$ 均不为 0 一般地 $(AB)^2 \neq A^2B^2$ 一般地 $(A + B)^2 \neq A^2 + 2AB + B^2$ 一般地 $A^2 - B^2 \neq (A + B)(A - B)$

表 1-1-70 分块矩阵及其运算

名称	阵列形式及运算式	说 明
分块矩阵	$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$	(1) 分划原矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 的横、竖虚线条数及分划位置根据计算方便而定 (2) 被划分的每一块低阶矩阵称为子矩阵或子块

续表

名称	阵列形式及运算式	说明
准对角阵	$A = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_2 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & A_l \end{bmatrix}$	主对角线上的子块 $A_1, A_2, \dots, A_l$ 都是方阵, 其他子块都是零矩阵
分块矩阵加减	$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1s} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{r1} & A_{r2} & \cdots & A_{rs} \end{bmatrix} \pm \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1r} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ B_{r1} & B_{r2} & \cdots & B_{rs} \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} A_{11} \pm B_{11} & A_{12} \pm B_{12} & \cdots & A_{1s} \pm B_{1s} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{r1} \pm B_{r1} & A_{r2} \pm B_{r2} & \cdots & A_{rs} \pm B_{rs} \end{bmatrix}$	两个具有相同分划方式的分块矩阵可以按块相加或相减, 作为其和或差的分块矩阵仍保持原分划方式 注意, 分划方式不同的分块矩阵不能按块相加或相减
分块矩阵的数量乘法	$k \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1s} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{r1} & A_{r2} & \cdots & A_{rs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kA_{11} & kA_{12} & \cdots & kA_{1s} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ kA_{r1} & kA_{r2} & \cdots & kA_{rs} \end{bmatrix}$	数 $k$ 乘分块矩阵的每一子块后, 仍保持原分划方式
分块矩阵相乘	$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{i1} & A_{i2} & \cdots & A_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \cdots & A_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11} & \cdots & B_{1j} & \cdots & B_{1p} \\ B_{21} & \cdots & B_{2j} & \cdots & B_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ B_{n1} & \cdots & B_{nj} & \cdots & B_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \cdots & C_{mp} \end{bmatrix}$ $C_{ij} = A_{i1}B_{1j} + A_{i2}B_{2j} + \cdots + A_{in}B_{nj} = \sum_{k=1}^n A_{ik}B_{kj}$ $\begin{pmatrix} i=1, 2, \dots, m \\ j=1, 2, \dots, p \end{pmatrix}$	$A$ 的列从左到右的分划方式与 $B$ 的行自上而下的分划方式相同 [即 $A$ 中子块 $A_{ik}$ 的列数与 $B$ 中子块 $B_{kj}$ 的行数相同 ( $i=1, 2, \dots, n$ )], 则 $A$ 与 $B$ 可以按块相乘, 其乘积仍为分块矩阵
分块矩阵转置	$A^T = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1s} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2s} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{r1} & A_{r2} & \cdots & A_{rs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}^T & A_{21}^T & \cdots & A_{r1}^T \\ A_{12}^T & A_{22}^T & \cdots & A_{r2}^T \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{1s}^T & A_{2s}^T & \cdots & A_{rs}^T \end{bmatrix}$	分块矩阵的转置, 不仅仅是把每个子块看作元素后对矩阵作转置, 而且每个子块本身还要转置

表 1-1-71

方阵的行列式和代数余子式

名称	方阵的行列式	代数余子式
定义	方阵 $A$ 的行列式是指由方阵 $A$ 的所有元素 (位置不变) 组成的行列式, 记为 $ A $ 或 $\det A$	方阵 $A$ 的任意元素 $a_{ij}$ 的代数余子式是行列式 $ A $ 的对应元素 $a_{ij}$ 的代数余子式, 记为 $A_{ij}$ (见本章行列式)
简例	例如 $A = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 2 \\ 1 & 1 & 3 \\ 2 & 1 & 5 \end{bmatrix}$ $ A  = \begin{vmatrix} 3 & 0 & 2 \\ 1 & 1 & 3 \\ 2 & 1 & 5 \end{vmatrix}$	例如 $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 4 & 3 & 2 \\ -1 & 5 & -1 \end{bmatrix}$ 的元素 $a_{32} = 5$ 的代数余子式是 $A_{32} = (-1)^{3+2} \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 4 & 2 \end{vmatrix} = (-1)^5 (1 \times 2 - 4 \times 1) = 2$

名称	方阵的行列式	代数余子式
一般形式	$\text{一般 } A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$ $ A  = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$	$a_{ij}$ 的代数余子式 $A_{ij}$ 是将行列式中的第 $i$ 行及第 $j$ 列划去后剩下的低一阶的行列式乘以 $(-1)^{i+j}$ 。 如 $\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$ 的 $A_{12} = (-1)^{1+2} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix}$

表 1-1-72

非奇异矩阵、正交矩阵、伴随矩阵

名称	定义	性质
非奇异矩阵	设方阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ , 若 $ A  \neq 0$ , 则 $A$ 是非奇异矩阵 (若 $ A  = 0$ , 则 $A$ 是奇异矩阵)	(1) 若数 $k \neq 0$ , 则 $kA$ 为非奇异矩阵 (2) 若 $A, B$ 为同阶非奇异矩阵, 则 $AB$ 与 $BA$ 为非奇异矩阵 (3) 非奇异矩阵转置 $A^T$ 仍为非奇异矩阵
正交矩阵	设方阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ , 若 $A^T A = AA^T = I$ 其中 $I$ 为 $n$ 阶单位阵, 则 $A$ 为 $n$ 阶正交矩阵	(1) $ A  = \pm 1$ (2) $A$ 为非奇异矩阵
伴随矩阵	由方阵 $A$ 的每一个元素 $a_{ij}$ 的代数余子式 $A_{ij}$ 替换对应元素 $a_{ij}$ 所形成的矩阵经过转置而得到的方阵叫做 $A$ 的伴随矩阵, 记为 $A^*$ 或 $\text{adj}A$ 。即	(1) $AA^* =  A I = A^*A$ (2) $(AB)^* = B^*A^*$ (3) $ A^*  =  A ^{n-1}$

表 1-1-73

矩阵的初等变换

序号	初等变换	三阶举例
(1)	用常数 $k (\neq 0)$ 乘 $A$ 的第 $i$ 行 或者	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \xrightarrow{k \text{ 乘第 2 行}} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ ka_{21} & ka_{22} & ka_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$
(1)'	用常数 $k (\neq 0)$ 乘 $A$ 的第 $j$ 列	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \xrightarrow{k \text{ 乘第 3 列}} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & ka_{13} \\ a_{21} & a_{22} & ka_{23} \\ a_{31} & a_{32} & ka_{33} \end{bmatrix}$

续表

序号	初等变换	三阶举例
(2)	$A$ 的第 $i$ 行加上第 $j$ 行的 $k$ 倍 或者	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{第2行加上第1行的}k\text{倍}} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} + ka_{11} & a_{22} + ka_{12} & a_{23} + ka_{13} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$
(2)'	$A$ 的第 $i$ 列加上第 $j$ 列的 $k$ 倍	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{第3列加上第1列的}k\text{倍}} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} + ka_{11} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} + ka_{21} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} + ka_{31} \end{bmatrix}$
(3)	$A$ 的第 $i$ 行与第 $j$ 行交换 或者	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{第2行与第3行交换}} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$
(3)'	$A$ 的第 $i$ 列与第 $j$ 列交换	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{第1列与第3列交换}} \begin{bmatrix} a_{31} & a_{12} & a_{13} \\ a_{23} & a_{22} & a_{21} \\ a_{33} & a_{32} & a_{31} \end{bmatrix}$

表 1-1-74

初等矩阵及其与初等变换的关系

初等矩阵	和单位矩阵的不同	与初等变换的关系	三阶举例
$E(i(k)) = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & \ddots & & & \\ & & 1 & & \\ & & & k & \\ & & & & \ddots \\ & & & & & 1 & \\ & & & & & & \ddots \\ & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} i \text{ 行} \\ \\ \\ \\ \\ i \text{ 列} \end{matrix}$	将单位矩阵 $(i, i)$ 位置的 1 换成 $k$	$E(i(k))$ 左(或右)乘 $A$ 等价于对 $A$ 作初等变换 (1) [或 (1)']	$E(2(k))A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ ka_{21} & ka_{22} & ka_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$
$E(i, j(k)) = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & \ddots & & & \\ & & 1 & & \\ & & & k & \\ & & & & \ddots \\ & & & & & 1 & \\ & & & & & & \ddots \\ & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} i \text{ 行} \\ \\ \\ j \text{ 行} \\ \\ \\ j \text{ 列} \end{matrix}$	将单位矩阵 $(i, j)$ 位置的 0 换成 $k$	$E(i, j(k))$ 左(或右)乘 $A$ 等价于对 $A$ 作初等变换 (2) [或 (2)']	$AE(1, 2(k)) = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ k & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} + ka_{12} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} + ka_{22} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} + ka_{32} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$
$E(i, j) = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & \ddots & & & \\ & & 1 & & \\ & & & 0 & \cdots & 0 & \\ & & & \vdots & \ddots & \vdots & \\ & & & \vdots & & 1 & \\ & & & \vdots & & & \ddots & \\ & & & 1 & \cdots & \cdots & 0 & \\ & & & & & & & \ddots \\ & & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} i \text{ 行} \\ \\ \\ j \text{ 行} \\ \\ \\ i \text{ 列} \quad j \text{ 列} \end{matrix}$	将单位矩阵 $(i, i)$ , $(j, j)$ 位置的 1 换成 0, 将 $(i, i)$ , $(j, j)$ 位置的 0 换成 1	$E(i, j)$ 左乘 $A$ 等价于对 $A$ 作初等变换 (3) 或者 $E(i, j)$ 右乘 $A$ 等价于对 $A$ 作初等变换 (3)'	$E(1, 2)A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ $AE(1, 2) = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{12} & a_{11} & a_{13} \\ a_{22} & a_{21} & a_{23} \\ a_{32} & a_{31} & a_{33} \end{bmatrix}$

注: 若矩阵  $B$  可由矩阵  $A$  经过有限次初等变换得到, 则称矩阵  $B$  与  $A$  等价。

表 1-1-75

矩阵的秩

名称	定义及说明
矩阵的秩	<p>设矩阵 <math>A = (a_{ij})_{m \times n}</math></p> <p><math>A</math> 的 <math>m(n)</math> 个行(列)向量所组成的向量组,其最大线性无关组所含向量的个数称为 <math>A</math> 的行(列)秩。矩阵的行秩与列秩相等,矩阵的行秩与列秩的公共值称为矩阵的秩,记作 <math>r(A)</math></p> <p>矩阵经初等变换后其秩不变,因而等价矩阵有相同的秩</p>
上梯形阵的秩	<p>设 <math>A</math> 为上梯形阵</p> $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1r} & \cdots & a_{1n} \\ 0 & a_{22} & \cdots & a_{2r} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & a_{rr} & \cdots & a_{rn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$ <p>若 <math>a_{ii} \neq 0 (i=1, 2, \dots, r)</math>, 则 <math>r(A) = r</math></p>
下梯形阵的秩	<p>设 <math>B</math> 为下梯形阵</p> $B = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & \cdots & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{s1} & b_{s2} & \cdots & b_{ss} & 0 & \vdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{ms} & 0 & \vdots & 0 \end{bmatrix}$ <p>若 <math>b_{ii} \neq 0 (i=1, 2, \dots, s)</math>, 则 <math>r(B) = s</math></p>
矩阵的标准形	<p>若矩阵 <math>A_{m \times n}</math> 与形如</p> $\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}_{m \times n}$ <p>的矩阵等价,则称其为 <math>A_{m \times n}</math> 的标准形</p> <p>标准形中主对角线上的对角元 1 的个数等于 <math>A</math> 的秩 <math>r(A)</math></p>
满秩方阵	<p>设方阵 <math>A = (a_{ij})_{n \times n}</math>, 若 <math>r(A) = n</math>, 则称 <math>A</math> 是满秩的</p> <p>满秩方阵的标准形是单位阵,而且仅用行初等变换可将满秩方阵化为单位阵</p>
矩阵秩的求法	<p>方法 1 对矩阵 <math>A</math> 进行初等变换,化为上(下)梯形阵,其非零行的行数即为 <math>A</math> 的秩。也可以化为标准形,其主对角线上的元素 1 的个数等于 <math>A</math> 的秩</p> <p>方法 2 按定义求秩</p> <p>方法 3 找出 <math>A</math> 的不等于零的子式的最高阶数,即为 <math>A</math> 的秩 <math>r(A)</math></p>

表 1-1-76

逆矩阵的计算

计算公式	运算性质
<p>设 <math>A = (a_{ij})_{n \times n}</math> 是可逆的, 则</p> $A^{-1} = \frac{1}{ A } A^* = \frac{\text{adj}A}{\det A}$	$(A^{-1})^{-1} = A \quad (kA)^{-1} = k^{-1}A^{-1} (k \neq 0)$ $(AB)^{-1} = B^{-1}A^{-1} \quad (A^T)^{-1} = (A^{-1})^T$ <p>若 <math>AB = C</math>, 则 <math>B = A^{-1}C</math></p>
说明	<p>如果 <math>n</math> 阶方阵 <math>B</math> 左乘(或右乘)同阶方阵 <math>A</math> 得到单位阵 <math>I</math>, 即 <math>BA = AB = I</math>, 则 <math>B</math> 叫做 <math>A</math> 的逆矩阵, 记为 <math>B = A^{-1}</math>, 显然, <math>A</math> 和 <math>B</math> 都是可逆的、满秩的、非奇异的</p> <p>对于高阶方阵用公式求逆比较麻烦, 可用初等行变换法求逆, 即</p> <p><math>(A : I)</math> <u>初等行变换</u> <math>(I : A^{-1})</math> 即在对 <math>A</math> 进行初等行变换的同时, 对单位阵也进行同样的初等行变换, 这样将 <math>A</math> 化为单位阵 <math>I</math> 的同时, 原 <math>I</math> 就化为 <math>A^{-1}</math></p>

表 1-1-77

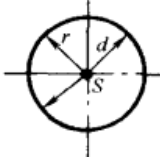
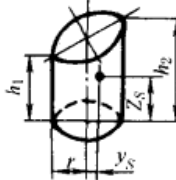
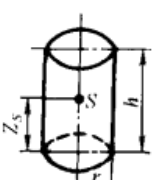
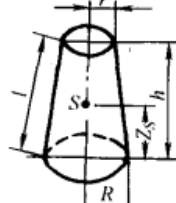
线性方程组

线性方程组及其解的判别	含 $n$ 个未知量 $m$ 个方程的线性方程组 $\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases}$ 的矩阵形式是 $Ax = B_m$ , 其相应的齐次方程形式是 $Ax = 0$	
	式中 $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}; B_m = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$ , $A$ 称为方程组的系数矩阵	
	令 $\bar{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & b_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} & b_m \end{bmatrix}$ ; $\bar{A}$ 称为方程组的增广矩阵	
	当 $m = n$ , 且 $ A  \neq 0$ 时, 方程组有唯一解, $X = A^{-1}B_m$ 若 $r(A) = r(\bar{A}) = n$ , 方程组有唯一解; 若 $r(A) < r(\bar{A})$ , 方程组无解, 若 $r(A) = r(\bar{A}) < n$ , 方程组有无穷多解。齐次方程组有非零解的充要条件是 $r(A) < n$	
线性方程组的解法	非齐次线性方程组的解法	齐次线性方程组的解法
	第一步: 写出方程组的增广矩阵 $\bar{A}$ 第二步: 利用矩阵的初等行变换将 $\bar{A}$ 化为梯形阵或标准形 第三步: 从梯形阵中即可判断方程组是否有解, 若有解可求出其解	第一步: 写出方程组的系数矩阵 $A$ 第二步: 利用矩阵的初等行变换将 $A$ 化为梯形阵或标准形 第三步: 从梯形阵中解出方程组的解

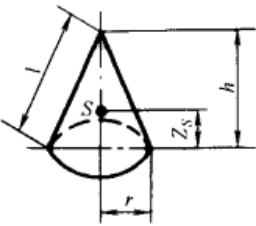
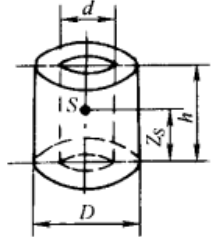
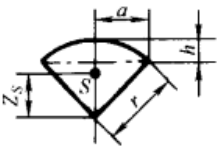
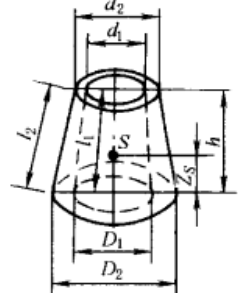
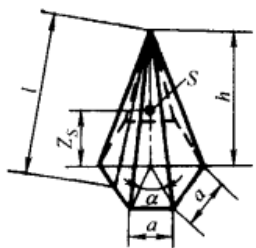
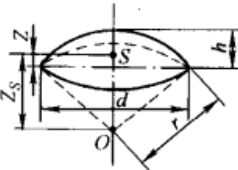
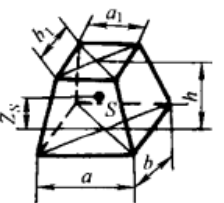
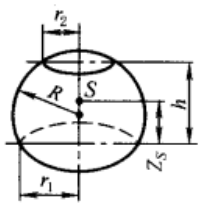
常用几何体的面积、体积及重心位置

$S$  —— 重心位置;  $A_n$  —— 全面积;  $A$  —— 侧面积;  $V$  —— 体积

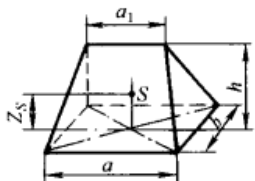
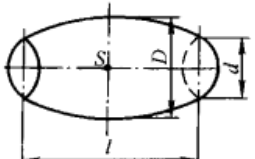
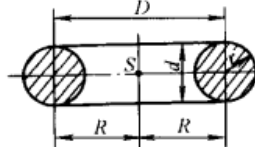
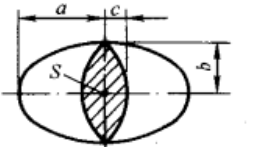
表 1-1-78

<p>1. 圆球体</p>  $A_n = 4\pi r^2 = \pi d^2$ $V = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{\pi d^3}{6}$	<p>3. 斜截圆柱体</p>  $Y_s = \frac{r(h_2 - h_1)}{4(h_2 + h_1)}$ $Z_s = \frac{h_2 + h_1}{4} + \frac{(h_2 - h_1)^2}{16(h_2 + h_1)}$ $A = \pi r(h_2 + h_1)$ $A_n = \pi r \left[ h_1 + h_2 + r + \sqrt{r^2 + \left(\frac{h_2 - h_1}{2}\right)^2} \right]$ $V = \frac{\pi r^2 (h_2 + h_1)}{2}$
<p>2. 正圆柱体</p>  $Z_s = \frac{h}{2}$ $A_n = 2\pi r(h + r)$ $A = 2\pi rh$ $V = \pi r^2 h$	<p>4. 平截正圆锥体</p>  $Z_s = \frac{h(R^2 + 2Rr + 3r^2)}{4(R^2 + Rr + r^2)}$ $A = \pi l(R + r)$ $A_n = A + \pi(R^2 + r^2)$ $V = \frac{\pi h}{3}(R^2 + Rr + r^2)$ $l = \sqrt{(R - r)^2 + h^2}$



<p>5. 正圆锥体</p>  $Z_s = \frac{h}{4}$ $A = \pi r l$ $A_n = \pi r (l + r)$ $V = \frac{\pi r^2 h}{3}$ $l = \sqrt{r^2 + h^2}$	<p>9. 空心圆柱体</p>  $Z_s = \frac{h}{2}$ $A = \pi h (D + d)$ $V = \frac{\pi h}{4} (D^2 - d^2)$
<p>6. 球面扇形体</p>  $Z_s = \frac{3}{8} (2r - h)$ $A_n = \pi r (2h + a)$ $A = \pi a r$ $V = \frac{2}{3} \pi r^2 h$	<p>10. 平截空心圆锥体</p>  $Z_s = \frac{h}{4} [D_2^2 - D_1^2 + 2(D_2 d_2 - D_1 d_1) + 3(d_2^2 - d_1^2)] / (D_2^2 - D_1^2 + D_2 d_2 - D_1 d_1 + d_2^2 - d_1^2)$ $A = \frac{\pi}{2} [l_2 (D_2 + d_2) + l_1 (D_1 + d_1)]$ $V = \frac{\pi h}{12} (D_2^2 - D_1^2 + D_2 d_2 - D_1 d_1 + d_2^2 - d_1^2)$
<p>7. 棱锥体</p>  $Z_s = \frac{h}{4}, A = \frac{1}{2} n a l$ $V = \frac{n a^2 h}{12} \cot \frac{\alpha}{2}$ <p>或 <math>V = \frac{h A_b}{3}</math> (<math>A_b</math> 为底面积, 此式适用于底面为任意多边形的棱锥体)</p> $A_n = \frac{1}{2} n a \left( \frac{\alpha}{2} \cot \frac{\alpha}{2} + l \right)$ $\alpha = \frac{360^\circ}{n}, n \text{ —— 侧面面数}$	<p>11. 球缺</p>  $Z_s = \frac{3}{4} \times \frac{(2r - h)^2}{3r - h}$ $Z = \frac{h(4r - h)}{4(3r - h)}$ $A = 2\pi r h = \frac{\pi}{4} (d^2 + 4h^2)$ $A_n = \pi \left( 2rh + \frac{d^2}{4} \right)$ $V = \pi h^2 \left( r - \frac{h}{3} \right)$
<p>8. 平截长方棱锥体</p>  $Z_s = \frac{h(ab + ab_1 + a_1 b + 3a_1 b_1)}{2(2ab + ab_1 + a_1 b + 2a_1 b_1)}$ <p>或 <math>Z_s = \frac{h}{4} \times \frac{A_b + 2\sqrt{A_1 A_b} + 3A_1}{A_b + \sqrt{A_1 A_b} + A_1}</math> (此式适用情况同下面 V)</p> $V = \frac{h}{6} (2ab + ab_1 + a_1 b + 2a_1 b_1)$ 或 $V = \frac{h}{3} (A_1 + \sqrt{A_1 A_b} + A_b)$ <p>(<math>A_1, A_b</math> 分别为顶、底面积, 此式适用底面为任意多边形的平截角锥体)</p>	<p>12. 平截球台体</p>  $Z_s = \frac{3(r_1^4 - r_2^4)}{2h(3r_2^2 + 3r_1^2 + h^2)} \pm \frac{r_2^2 - r_1^2 + h^2}{2h}$ <p>式中, 第 2 项 “+” 为球心在球台体之内, “-” 为球心在球台体之外</p> $A = 2\pi R h$ $A_n = \pi [2R h + (r_1^2 + r_2^2)]$ $V = \frac{\pi h}{6} (3r_1^2 + 3r_2^2 + h^2)$ $= 0.5236 h (3r_1^2 + 3r_2^2 + h^2)$ $R^2 = r_1^2 + \left( \frac{r_2^2 - r_1^2 + h^2}{2h} \right)^2$

续表

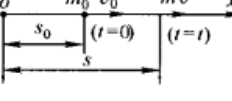
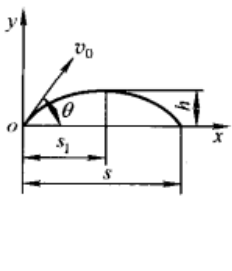
<p>13. 楔形体</p> 	$Z_s = \frac{h(a + a_1)}{2(2a + a_1)}$ $V = \frac{bh}{6}(2a + a_1)$	<p>15. 桶形</p> 	<p>对于抛物线形桶板:</p> $V = \frac{\pi l}{15} \left( 2D^2 + Dd + \frac{3}{4}d^2 \right)$ <p>对于圆形桶板:</p> $V = \frac{1}{12} \pi l (2D^2 + d^2)$ $= 0.262l(2D^2 + d^2)$
<p>14. 圆环</p> 	$A_n = 4\pi^2 Rr = 39.478Rr$ $V = 2\pi^2 Rr^2 = \frac{\pi^2 Dd^2}{4}$ $= 19.74Rr^2$	<p>16. 椭圆球</p> 	$V = \frac{4}{3}abc\pi$ <p>(<math>A_n</math> 不能用简单公式表示)</p>

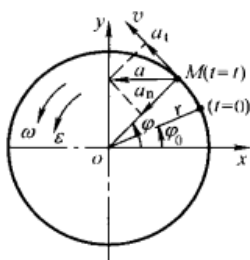
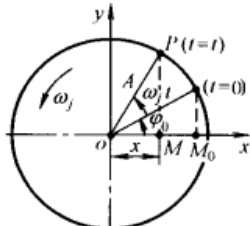
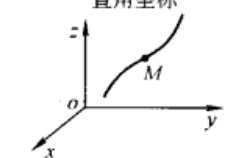
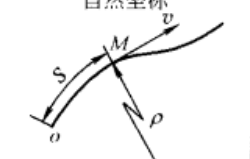
## 5 常用力学公式

### 5.1 运动学、动力学基本公式

#### 运动学基本公式

表 1-1-79

<p>直线运动</p> <p><math>s = f(t)</math> 已知时</p> $v = \frac{ds}{dt}, a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$ <p><math>a = f(t)</math> 已知时</p> $v = v_0 + \int_0^t a dt$ $s = s_0 + \int_0^t v dt$	<p>匀速运动 <math>s = s_0 + vt</math> (<math>v = \text{常数}</math>)</p> <p>匀变速运动 (<math>a = \text{常数}</math>) <math>s = s_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{(v + v_0)t}{2}</math></p> $v = v_0 + at$ $a = \frac{v - v_0}{t}$	<p><math>s_0</math> —— 运动开始已经走过的距离</p> <p><math>s</math> —— 运动的距离</p> <p><math>v</math> —— 运动速度</p> <p><math>v_0</math> —— 初速度</p> <p><math>v_x</math> —— 抛射运动、简谐运动动点 <math>x</math> 方向的速度</p> <p><math>t</math> —— 运动时间</p> <p><math>a</math> —— 加速度</p> <p><math>a_t</math> —— 切向加速度</p> <p><math>a_n</math> —— 法向加速度</p> <p><math>a_x</math> —— 抛射运动、简谐运动动点 <math>x</math> 方向的加速度</p>
	<p>自由落体运动 (<math>x</math> 轴垂直向下, <math>s</math> 用 <math>h</math> 表示, <math>a = g</math>)</p> <p>(<math>v_0 = 0</math>) <math>h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}vt</math></p> $v = gt = \sqrt{2gh}$	<p><math>h</math> —— 垂直高度</p> <p><math>g</math> —— 重力加速度</p>
<p>抛射运动</p> 	<p>抛射水平位置 <math>x = v_0 t \cos \theta</math></p> <p>抛射垂直位置 <math>y = x \tan \theta - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta} = v_0 t \sin \theta - \frac{1}{2}gt^2</math></p> <p>速度与加速度 <math>v_x = v_{0x} = v_0 \cos \theta, v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \theta - gt</math> <math>a_x = 0, a_y = -g</math></p> <p>抛射到最大高度时的水平距离 <math>s_1 = \frac{1}{2g}v_0^2 \sin 2\theta</math></p> <p>抛射全程的水平距离 <math>s = 2s_1</math></p> <p>抛射最大高度 <math>h = \frac{1}{2g}v_0^2 \sin^2 \theta</math></p> <p>抛射到最大高度的时间 <math>t_1 = \frac{v_0 \sin \theta}{g}</math></p> <p>抛射全程的时间 <math>t = 2t_1</math></p>	<p><math>v_{0x}</math> —— 沿 <math>x</math> 方向初速度</p> <p><math>v_{0y}</math> —— 沿 <math>y</math> 方向初速度</p> <p><math>\theta</math> —— 抛射角度</p> <p><math>\varphi</math> —— 角位移</p> <p><math>\varphi_0</math> —— 运动开始时相对某一基线的角位移</p> <p><math>\omega</math> —— 角速度</p> <p><math>\omega_0</math> —— 初角速度</p> <p><math>\varepsilon</math> —— 角加速度</p> <p><math>r</math> —— 转动半径</p>

<p>圆周运动</p> $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ 	<p>匀速运动 (<math>\omega = \text{常数}</math>) <math>\varphi = \varphi_0 + \omega t</math>, 弧长(距离) <math>s = r\varphi</math></p> $\omega = \frac{\pi n}{30}, v = \omega r = \frac{\pi nr}{30}$ $a_t = 0, a_n = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}$ <hr/> <p>匀变速运动 (<math>\varepsilon = \text{常数}</math>) <math>\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\varepsilon t^2 = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon} = \frac{(\omega + \omega_0)t}{2}, s = r\varphi</math></p> $\omega = \omega_0 + \varepsilon t, v = r\omega$ $a_t = \frac{dv}{dt} = r\varepsilon, a_n = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}$ $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = r\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$ $\tan \mu = \frac{a_t}{a_n} = \frac{\varepsilon}{\omega^2}$	<p><math>n</math>——每分钟转数  <math>\mu</math>——加速度 <math>a</math> 与转动半径 <math>r</math> 的夹角  <math>\omega_j</math>——简谐运动角速度(圆频率)  <math>A</math>——简谐运动动点 <math>M</math> 距 <math>o</math> 的最大距离或振幅  <math>x</math>——简谐运动动点离中间原点位移  <math>T</math>——运动周期  <math>f</math>——频率  <math>\rho</math>——质点所处位置运动轨迹的曲率半径</p>
<p>简谐运动</p> 	<p><math>\varphi = \varphi_0 + \omega_j t</math>  <math>x = A \cos \varphi</math>  <math>v_x = -A\omega_j \sin \varphi</math>  <math>a_x = -A\omega_j^2 \cos \varphi = -a_n \cos \varphi = -\omega_j^2 x = -4\pi^2 f^2 x</math></p> $T = \frac{2\pi}{\omega_j} = \frac{60}{n}$ $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega_j}{2\pi} = \frac{n}{60}$	
<p>一般曲线运动</p> <p>直角坐标</p>  <p>自然坐标</p> 	<p><math>x = x(t), y = y(t), z = z(t)</math></p> $v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}$ $a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2}$ <p><math>s = s(t), v = \frac{ds}{dt}</math></p> $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\rho}\right)^2}$	

动力学基本公式

表 1-1-80

项目	直线运动	回转运动	符号意义
力和转矩	$F = ma$ (N)	$T = J\varepsilon$ (N·m)	$m$ ——质量, kg $v$ ——运动速度, m/s $\omega$ ——角速度, rad/s $a$ ——加速度, m/s <sup>2</sup> $\varepsilon$ ——角加速度, rad/s <sup>2</sup> $g$ ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ $J$ ——物体对回转轴线的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ $J = mi^2$ $i$ ——惯性半径, m $\beta$ ——力和位移间的夹角, rad $r$ ——质点的转动半径, m $h_A$ ——物体起始位置的高度, m $h_B$ ——物体末端位置的高度, m
惯性力和惯性力矩	$F_k = -ma$ (N)	离心惯性力 $F_{gn} = -m\omega^2 r$ (N) 切向惯性力 $F_{gt} = -m\varepsilon r$ (N) $M_k = -J\varepsilon$ (N·m)	
功	$W = F s \cos \beta$ (J) 重力: $W = mg(h_A - h_B)$ (J) 弹力: $W = \frac{1}{2}K(\lambda_A^2 - \lambda_B^2)$ (J)	$W = T(\varphi_B - \varphi_A)$ (J)	
功率	$P = \frac{Fv \cos \beta}{1000}$ (kW)	$P = \frac{Tn}{9550} = \frac{T\omega}{1000}$ (kW)	

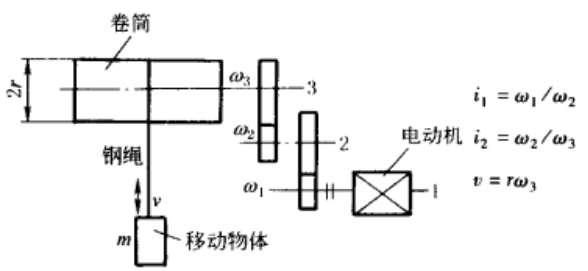
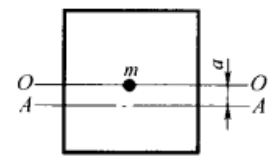
续表

项目	直线运动	回转运动	符号意义
动能	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ (J)	$E_k = \frac{1}{2}J\omega^2$ (J)	$\lambda_A$ —— 弹簧起始位置的变形量, m $\lambda_B$ —— 弹簧末端位置的变形量, m
	刚体平面运动 $E_k = \frac{1}{2}mv_C^2 + \frac{1}{2}J_C\omega^2$ (J)		$K$ —— 弹簧的刚度系数, N/m $\varphi_A$ —— 旋转运动开始时相对某一基线的角位移, rad $\varphi_B$ —— 旋转运动末端位置时相对某一基线的角位移, rad
位能	重力: $E_p = mgh$ (J) 弹力: $E_p = \frac{1}{2}K\lambda^2$ (J)		$v_C$ —— 质心 C 的移动速度, m/s $J_C$ —— 刚体对通过质心且与运动平面垂直的轴的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
动能定理	$\Sigma W = \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2)$ (J)	$\Sigma W = \frac{1}{2}J(\omega^2 - \omega_0^2)$ (J)	$h$ —— 物体距参考水平面的高度, m $\lambda$ —— 弹簧的变形量, m
机械能守恒定律	$E_k + E_p = \text{常数}$ (J) (在势力场中, 只有势力作功时)		$t$ —— 作用力的作用时间, s $v_1, v_2$ —— 分别为物体 1, 2 碰撞前的速度, m/s
动量或动量矩	$P = mv$ ( $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ )	$L = J\omega$ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ )	$u_1, u_2$ —— 分别为物体 1, 2 碰撞后的速度, m/s
冲量或冲量矩	$I = Ft$ ( $\text{N} \cdot \text{s}$ )	$I_t = Tt$ ( $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$ )	$k_1$ —— 恢复系数, $k_1 = \frac{u_2 - u_1}{v_1 - v_2}$
动量或动量矩定理	$m(v - v_0) = Ft$	$J(\omega - \omega_0) = Tt$	木料和胶木相撞 $k = 0.26$ 木球和木球相撞 $k = 0.50$ 钢球和钢球相撞 $k = 0.56$ 玻璃球和玻璃球相撞 $k = 0.94$ 完全弹性碰撞 $k = 1.0$ 完全塑性碰撞 $k = 0$
动量或动量矩守恒定律	$\Sigma mv = \text{常数}$ (系统不受外力或外力矢量和为零时, 系统的总动量守恒)	$\Sigma J\omega = \text{常数}$ (系统不受外力矩或外力矩的矢量和为零时, 则系统对固定轴的动量矩守恒)	$J_z$ —— 物体对 z 轴的转动惯量 $J_c'$ —— 物体对平行于 z 轴并通过物体重心的 c 轴的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
两物相撞前后系统动能的变化	$E_{k0} - E_k = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)}(1 - k_1^2) \times (v_1 - v_2)^2$		$k_2$ —— z 轴与过重心的 c 轴的距离, m
碰撞后速度	$u_1 = \frac{(m_1 - k_1 m_2)v_1 + m_2(1 + k_1)v_2}{m_1 + m_2}$ $u_2 = \frac{m_1(1 + k_1)v_1 + (m_2 - k_1 m_1)v_2}{m_1 + m_2}$		其他符号同表 1-1-79
碰撞冲量	$I = m_1(v_1 - u_1) = (1 + k_1) \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \times (v_1 - v_2)$		
惯量平行轴定律		$J_z = J_c' + mk_2^2$ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )	

## 转 动 惯 量

表 1-1-81

机械传动中转动惯量的换算<sup>[11]</sup>

转动惯量及 飞轮矩	$J = mi^2$	$J$ ——转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ $m$ ——物体的质量, $\text{kg}$ $r$ ——惯性半径, $\text{m}$
	转动惯量 $J$ 与飞轮矩 ( $GD^2$ ) 的关系 $J = (GD^2)/4g$ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ (1) $J = (GD^2)/4$ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ (2)	式(1)中 ( $GD^2$ )——飞轮矩, $\text{N} \cdot \text{m}^2$ $g$ ——重力加速度 式(2)中 ( $GD^2$ )——飞轮矩, $\text{kgf} \cdot \text{m}^2$
转动惯量的 换算	 <p>系统总动能 <math>E = J_1 \omega_1^2 / 2 + J_2 \omega_2^2 / 2 + J_3 \omega_3^2 / 2 + m(r\omega_3)^2 / 2</math></p> <p>换算到电动机轴上的转动惯量</p> $J = \frac{2E}{\omega_1^2} = J_1 + J_2 \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + J_3 \left( \frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + mr^2 \left( \frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2$ $= J_1 + J_2 / i_1^2 + J_3 / (i_1 i_2)^2 + mr^2 / (i_1 i_2)^2$ <p>换算到移动物体上的当量质量</p> $m = \frac{2E}{v^2} = J_1 (i_1 i_2)^2 / r^2 + J_2 i_2^2 / r^2 + J_3 / r^2 + m$	$J$ ——换算到电动机轴上的总转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ $J_1, J_2, J_3$ ——分别为轴 1, 轴 2, 轴 3 上回转体的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ $m$ ——吊在钢绳上移动物体的质量, $\text{kg}$ $r$ ——卷筒的半径, $\text{m}$ $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ——分别为轴 1, 轴 2, 轴 3 的角速度, $\text{rad/s}$ $i_1, i_2$ ——轴 1 与轴 2, 轴 2 与轴 3 间的传动比 $v$ ——移动物体速度, $\text{m/s}$
移动物体转 动惯量的换算	一般移动物体 $J = \frac{mv_m^2}{\omega_0^2}, \omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}$ 丝杆传动 $J = \frac{mt^2}{4\pi^2 i^2}$ 齿轮齿条传动 $J = \frac{md^2}{4i^2}$ 转动物体换算为移动速度为 $v_m$ 时的当量质量 $m = \frac{J_n \omega^2}{v_m^2}, \omega = \frac{\pi n}{30}$	$J$ ——换算到电动机轴上的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ $m$ ——移动物体的质量, $\text{kg}$ $v_m$ ——物体的移动速度, $\text{m/s}$ $\omega_0$ ——电动机角速度, $\text{rad/s}$ $n_0$ ——电动机转速, $\text{r/min}$ $t$ ——丝杆螺距, $\text{m}$ $d$ ——与齿条相啮合的齿轮节圆直径, $\text{m}$ $i$ ——电动机与丝杆或齿条间的传动比 $J_n$ ——物体绕某轴转动角速度为 $\omega$ 时的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ $\omega$ ——物体绕某轴转动的角速度, $\text{rad/s}$ $n$ ——转动物体转速, $\text{r/min}$
物体对某一 轴线 AA (平行 OO) 的转动 惯量	 $J = J_0 + ma^2$	$J$ ——物体对 AA 轴的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ $J_0$ ——物体对通过重心 OO 轴线的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ $a$ ——OO 轴与 AA 轴间的距离, $\text{m}$

一般物体旋转时的转动惯量<sup>[12]</sup>

$J$ ——对某回转轴的转动惯量;  $A$ ——图形面积;  $V$ ——图形体积;  $m$ ——质量;  $i = \sqrt{J/m}$ ——惯性半径;  $O$ ——重心 (个别重心符号另有注明);  $\bar{x}, \bar{y}$ ——重心坐标

表 1-1-82

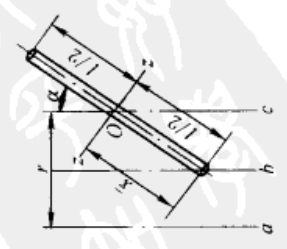
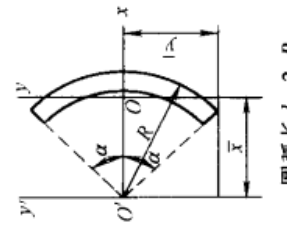
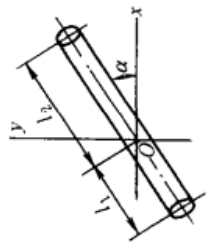
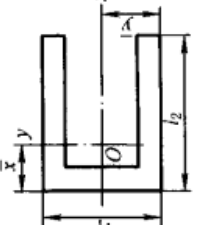
图 形	公 式	图 形	公 式
<p>直杆</p> 	$J_a = m \left[ r^2 + \frac{(l \sin \alpha)^2}{12} \right]$ $J_b = m \frac{(l \sin \alpha)^2}{3}$ $J_c = m \frac{(l \sin \alpha)^2}{12}$ $J_x = m \frac{l^2}{12}$ $\bar{x} = \frac{l}{2}$	<p>圆弧杆</p>  <p>圆弧长 <math>l = 2\alpha R</math></p>	$J_x = mR^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{2\alpha} \right)$ $J_y = mR^2 \left[ \left( \frac{1}{2} + \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{2\alpha} \right) - \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \right]$ $J_{pO'} = mR^2 \left( \frac{1}{2} + \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{2\alpha} \right)$ $\bar{x} = \frac{R \sin \alpha}{\alpha}, \alpha \text{——弧度}$ $\bar{y} = R \sin \alpha$
<p>直杆</p> 	$J_x = \frac{m}{3} \sin^2 \alpha (l_1^2 - l_1 l_2 + l_2^2)$ $J_y = \frac{m}{3} \cos^2 \alpha (l_1^2 - l_1 l_2 + l_2^2)$	<p>U形杆</p> 	$J_x = \frac{ml_1^2(l_1 + 6l_2)}{12(l_1 + 2l_2)}$ $J_y = \frac{ml_2^2(2l_1 + l_2)}{3(l_1 + 2l_2)^2}$ $i_x = 0.289l_1 \sqrt{\frac{l_1 + 6l_2}{l_1 + 2l_2}}$ $i_y = \frac{0.577l_2}{l_1 + 2l_2} \sqrt{l_2(2l_1 + l_2)}$ $\bar{x} = \frac{l_2^2}{l_1 + 2l_2}, \bar{y} = \frac{l_1}{2}$



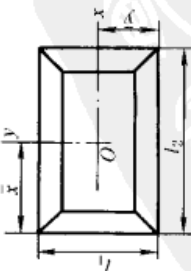
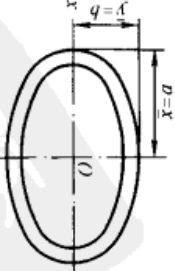
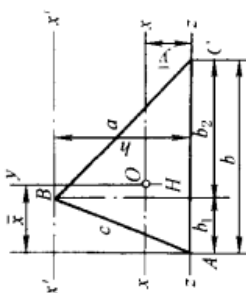
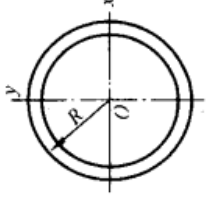
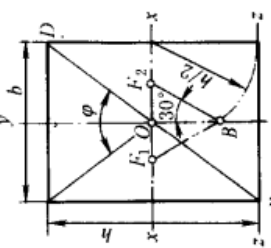
图 形	公 式	图 形	公 式
<p>矩形杆</p>  <p>细长杆</p>  <p>周长 <math>L = \pi(a+b) \frac{64-3R^4}{64-16R^2}</math>  <math>R = \frac{a-b}{a+b}</math></p>	$J_x = \frac{ml_1^3(l_1+3l_2)}{12(l_1+l_2)}$ $J_y = \frac{ml_2^3(3l_1+l_2)}{12(l_1+l_2)}$ $i_x = 0.289l_1 \sqrt{\frac{l_1+3l_2}{l_1+l_2}}$ $i_y = 0.289l_2 \sqrt{\frac{3l_1+l_2}{l_1+l_2}}$ $\bar{x} = \frac{l_2-l_1}{2}, \bar{y} = \frac{l_1}{2}$ $J_x = \frac{mb^2(55a^4+10a^2b^2-b^4)}{2(45a^4+22a^2b^2-3b^4)}$ $J_y = \frac{ma^2(35a^4+34a^2b^2-5b^4)}{2(45a^4+22a^2b^2-3b^4)}$ $i_x = \sqrt{\frac{J_x}{m}}, i_y = \sqrt{\frac{J_y}{m}}$	<p>三角形平板</p>  $A = \frac{1}{2}bh$ $\bar{y} = \frac{h}{3}$	$J_x = m \frac{h^2}{18}, J_{x'} = m \frac{h^2}{2}$ $J_y = m \frac{h^2}{6}, J_{HB} = m \frac{b^3+b_2^3}{6b}$ $J_{pB} = v_f \left[ \frac{bh^3}{4} + \frac{h(b_1^3-b_2^3)}{12} \right]$ $J_{pO} = m \frac{a^2+b^2+c^2}{36}$ $J_O = m \frac{e_1^2+e_2^2+e_3^2}{12}$ <p><math>J_{pB}, J_{pO}</math>——回转轴分别为 <math>pB, pO</math> 的转动惯量, 回转轴分别过 <math>B, O</math> 点与三角形平面垂直</p> <p><math>v_f</math>——单位面积的质量</p> <p><math>J_O</math>——回转轴在三角形平面内且通过重心 <math>O</math> 的任意轴的转动惯量, <math>e_1, e_2, e_3</math> 为三顶点与回转轴间的距离</p>
<p>圆环杆</p> 	$J_x = J_y = \frac{mR^2}{2}$ <p><math>J_{pO} = mR^2</math> (<math>pO</math> 表示回转轴, 该轴在圆心 <math>O</math> 与杆圆平面垂直)</p> $i_x = i_y = 0.707R$ $i_{pO} = R$	<p>矩形</p>  <p><math>A = bh</math></p>	$J_O = m \frac{D^2 \sin^2 \varphi}{24}$ <p>夹角)</p> $J_x = m \frac{h^2}{12}, J_y = m \frac{b^2}{12}$ $J_z = m \frac{h^2}{3}$ $J_{pO} = m \frac{b^2+h^2}{12}$ <p><math>pO</math>——通过重心 <math>O</math>, 与矩形平面垂直的转轴</p>

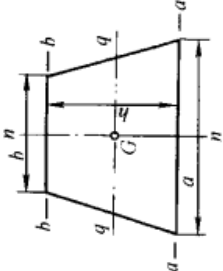
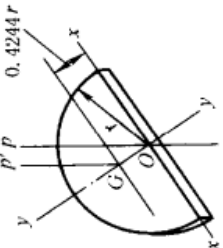

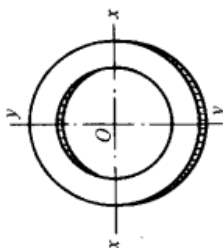
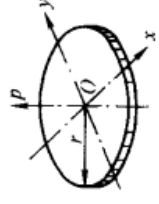
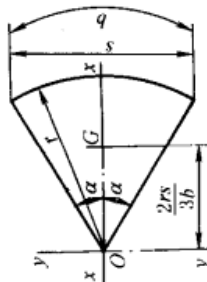
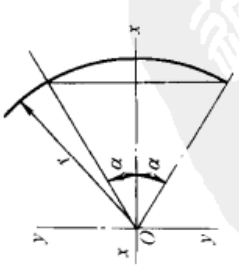
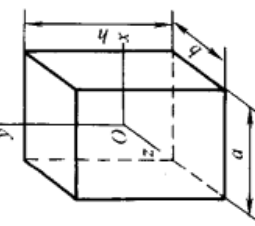
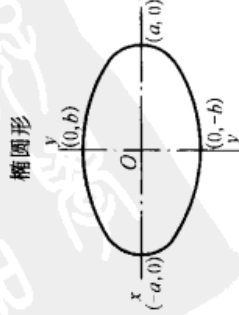
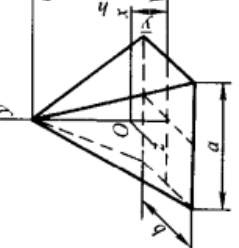
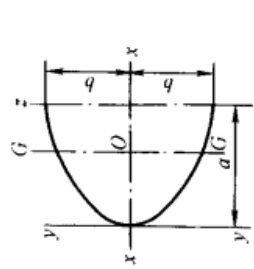
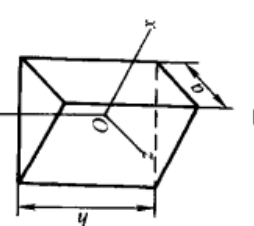
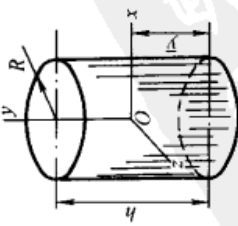
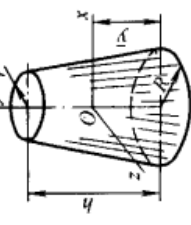
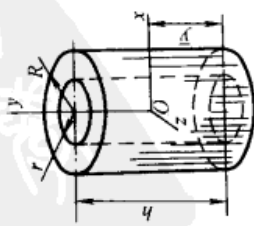
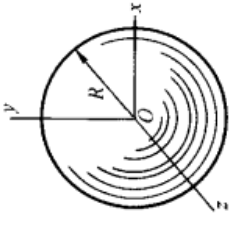
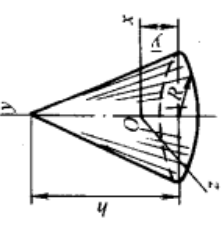
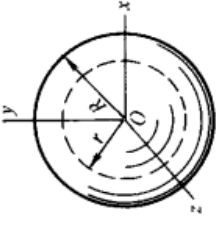
图 形	公 式	图 形	公 式
<p>梯形</p>  $A = \frac{(a+b)h}{2}$	$J_a = m \frac{h^2}{6} \left( \frac{a+3b}{a+b} \right)$ $J_b = m \frac{h^2}{6} \left( \frac{b+3a}{a+b} \right)$ $J_n = m \frac{a^2 + b^2}{24}$ $J_g = m \frac{h^2}{18} \left[ 1 + \frac{2ab}{(a+b)^2} \right]$	<p>半圆板</p>  $A = \frac{\pi}{2} r^2$	$J_x = J_y = m \frac{r^2}{4}, J_{pO} = m \frac{r^2}{2}$ $J_{pG} = m \frac{r^2}{2} \left( 1 - \frac{32}{9\pi^2} \right)$ <p>O 为圆心, G 为重心</p>
<p>正 n 边形</p>  $A = \frac{nar}{2}$	$J_{pO} = m \frac{12r^2 + a^2}{24} = m \frac{6R^2 - a^2}{12}$ $J_x = J_y = \frac{m}{48} (12r^2 + a^2) = \frac{m}{24} (6R^2 - a^2)$ <p>pO——与正 n 边形平面垂直的转轴 a——正 n 边形边长 r——内切圆半径 R——外接圆半径</p>	<p>圆环</p>  $A = \pi(R^2 - r^2)$	$J_x = m \frac{R^2 + r^2}{4}$ $J_{pO} = 2J_x$ <p>pO——回转轴 pO 垂直圆环平面</p>
<p>圆板</p>  $A = \pi r^2$	$J_x = J_y = m \frac{r^2}{4}, i_x = i_y = \frac{r}{\sqrt{2}}$ $J_{pO} = m \frac{r^2}{2}, i_{pO} = \frac{r}{\sqrt{2}}$	<p>扇形</p>  $A = \alpha r^2$	$J_x = m \frac{r^2}{4} \left( 1 - \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha} \right)$ $J_y = m \frac{r^2}{4} \left( 1 + \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha} \right)$ $J_{pO} = m \frac{r^2}{2}$ $J_{pG} = m \frac{r^2}{2} \left( 1 - \frac{8s^2}{9b^2} \right)$ <p>alpha——弧度 pO, pG——分别通过 O, G (重心) 垂直图形平面的转轴 s——弦长 b——弧长</p>



图 形	公 式	图 形	公 式
<p>弓形</p>  <p><math>A = \frac{1}{2}r^2(2\alpha - \sin 2\alpha)</math></p>	$J_x = \frac{mr^2}{4} \left( 1 - \frac{1}{6} \times \frac{2\sin 2\alpha - \sin 4\alpha}{2\alpha - \sin 2\alpha} \right)$ $J_y = \frac{mr^2}{4} \left( 1 + \frac{1}{2} \times \frac{2\sin 2\alpha - \sin 4\alpha}{2\alpha - \sin 2\alpha} \right)$ $J_{pO} = \frac{mr^2}{2} \left( 1 + \frac{1}{6} \times \frac{2\sin 2\alpha - \sin 4\alpha}{2\alpha - \sin 2\alpha} \right)$ <p><math>\alpha</math>——弧度</p>	<p>矩形棱柱</p> 	$J_x = \frac{m}{12}(b^2 + h^2)$ $J_y = \frac{m}{12}(a^2 + b^2)$ $J_z = \frac{m}{12}(a^2 + h^2)$ <p>正立方体时, <math>a = b = h</math></p> $J_x = J_y = J_z = \frac{ma^2}{6}$
<p>椭圆形</p>  <p><math>A = \pi ab</math></p>	$J_x = m \frac{b^2}{4}, J_y = m \frac{a^2}{4}$ $J_{pO} = m \frac{a^2 + b^2}{4}$	<p>正直角锥体</p>  <p><math>V = \frac{1}{3}abh</math></p>	$J_x = \frac{m}{20} \left( b^2 + \frac{3h^2}{4} \right)$ $J_y = \frac{m}{20} (a^2 + b^2)$ $J_z = \frac{m}{20} \left( a^2 + \frac{3h^2}{4} \right)$ <p><math>\bar{y} = \frac{h}{4}</math></p>
<p>抛物线形</p> 	$J_x = m \frac{b^2}{5}, J_y = m \frac{3a^2}{7}$ $J_z = m \frac{8a^2}{35}, J_G = m \frac{12a^2}{175}$ <p>设抛物线方程为 <math>y^2 = 2px</math>, 则面积 <math>A = \frac{4}{3} \sqrt{2px^3} = \frac{4}{3}ab</math></p>	<p>正三角柱</p>  <p><math>V = \frac{\sqrt{3}}{4}a^2h</math></p>	$J_x = J_z = \frac{m}{24}(a^2 + 2h^2)$ $J_y = \frac{ma^2}{12}$

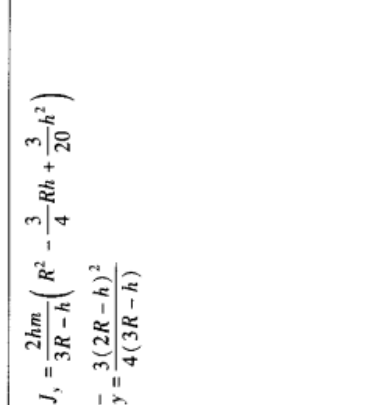
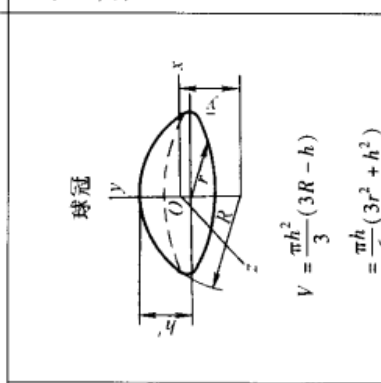
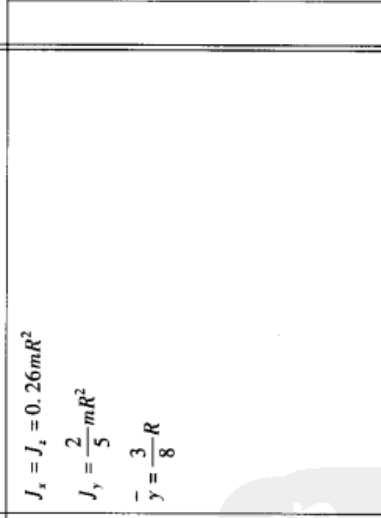
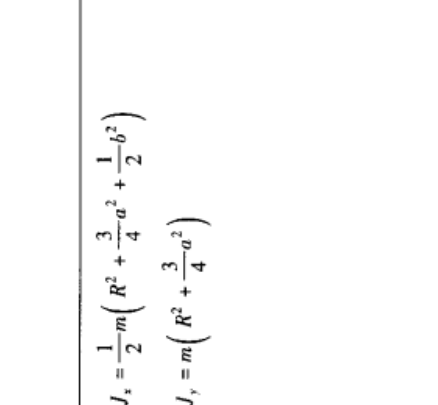
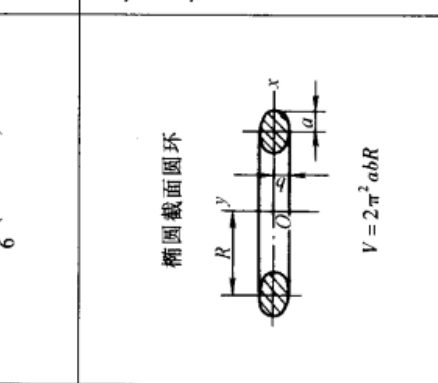
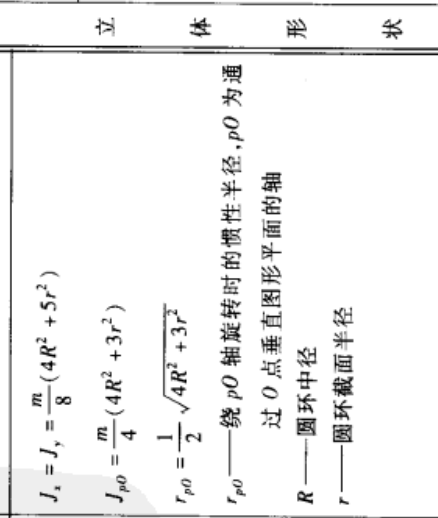
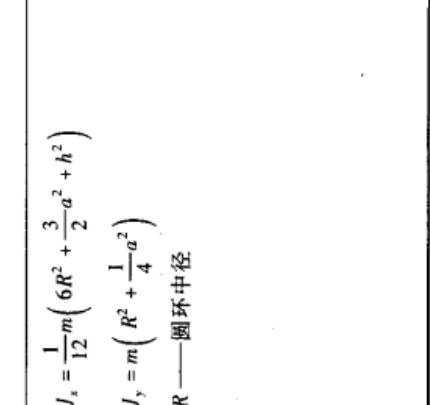
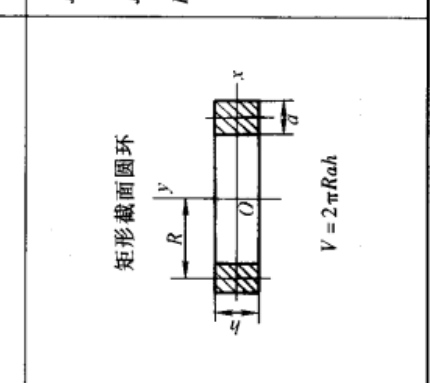
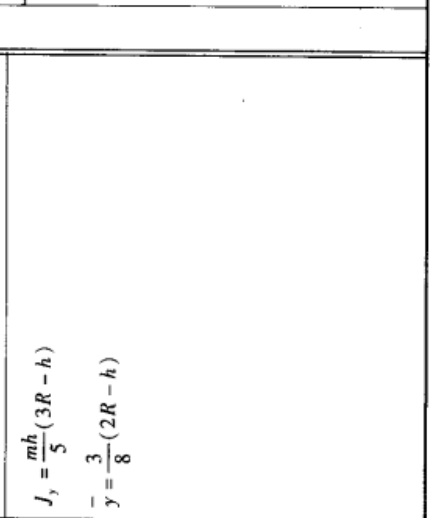
立 体 形 状

续表

图 形	公 式	图 形	公 式
<p>圆柱体</p>  <p><math>V = \pi R^2 h</math></p>	<p><math>J_x = J_z = \frac{m}{12}(3R^2 + h^2)</math>  <math>J_y = \frac{mR^2}{2}, \bar{y} = \frac{h}{2}</math></p>	<p>截顶圆锥体</p>  <p><math>V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2)</math></p>	<p><math>J_y = \frac{3m}{10} \left( \frac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3} \right)</math>  <math>\bar{y} = \frac{h}{4} \left( \frac{R^2 + 2Rr + 3r^2}{R^2 + Rr + r^2} \right)</math></p>
<p>圆筒体</p>  <p><math>V = \pi (R^2 - r^2) h</math></p>	<p><math>J_x = J_z = \frac{m}{12} [3(R^2 + r^2) + h^2]</math>  <math>J_y = \frac{m}{2} (R^2 + r^2)</math>  <math>\bar{y} = \frac{h}{2}</math></p>	<p>圆球</p>  <p><math>V = \frac{4}{3} \pi R^3</math></p>	<p><math>J_x = J_y = J_z = \frac{2}{5} m R^2</math></p>
<p>直圆锥体</p>  <p><math>V = \frac{1}{3} \pi R^2 h</math></p>	<p><math>J_x = J_z = \frac{3m}{20} \left( R^2 + \frac{h^2}{4} \right)</math>  <math>J_y = \frac{3}{10} m R^2, \bar{y} = \frac{h}{4}</math></p>	<p>空心圆球</p>  <p><math>V = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3)</math></p>	<p><math>J_x = J_y = J_z = \frac{2m}{5} \left( \frac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3} \right)</math></p>

立 体 形 状

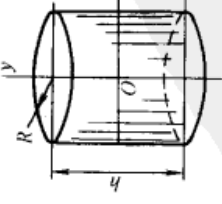
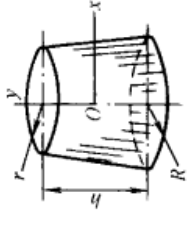
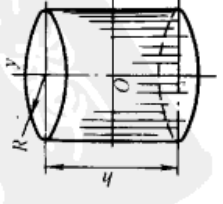

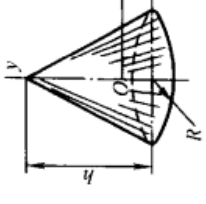
立 体 形 状

图 形	公 式	图 形	公 式
<p>半球</p>  <p><math>V = \frac{2}{3} \pi R^3</math></p>	<p><math>J_x = J_z = 0.26 m R^2</math></p> <p><math>J_y = \frac{2}{5} m R^2</math></p> <p><math>\bar{y} = \frac{3}{8} R</math></p>	<p>球冠</p>  <p><math>V = \frac{\pi h^2}{3} (3R - h)</math></p> <p><math>= \frac{\pi h}{6} (3r^2 + h^2)</math></p>	<p>半球</p>  <p><math>V = \frac{2}{3} \pi R^3</math></p>
<p>圆环</p>  <p><math>V = 2 \pi r^2 R</math></p>	<p><math>J_x = J_y = \frac{m}{8} (4R^2 + 5r^2)</math></p> <p><math>J_{pO} = \frac{m}{4} (4R^2 + 3r^2)</math></p> <p><math>r_{pO} = \frac{1}{2} \sqrt{4R^2 + 3r^2}</math></p> <p><math>r_{pO}</math>——绕 <math>pO</math> 轴旋转时的惯性半径, <math>pO</math> 为通过 <math>O</math> 点垂直图形平面的轴</p> <p><math>R</math>——圆环中径</p> <p><math>r</math>——圆环截面半径</p>	<p>椭圆截面圆环</p>  <p><math>V = 2 \pi a b R</math></p>	<p>圆环</p>  <p><math>V = 2 \pi r^2 R</math></p>
<p>部分球体</p>  <p><math>V = \frac{2}{3} \pi R^2 h</math></p>	<p><math>J_x = J_y = \frac{m h}{5} (3R - h)</math></p> <p><math>\bar{y} = \frac{3}{8} (2R - h)</math></p>	<p>矩形截面圆环</p>  <p><math>V = 2 \pi R a h</math></p>	<p>部分球体</p>  <p><math>V = \frac{2}{3} \pi R^2 h</math></p>

立 体 形 状

立 体 形 状

续表

图 形	公 式	图 形	公 式
<p>圆柱侧表面</p>  <p>侧面积 <math>A = 2\pi R h</math></p>	$J_x = \frac{1}{2} m \left( R^2 + \frac{h^2}{6} \right)$ $J_y = m R^2$ $J_n = \frac{1}{6} m (3R^2 + 2h^2)$	<p>截顶圆锥侧表面</p>  <p>侧面积</p> $A = \pi (R+r) \sqrt{h^2 + (R-r)^2}$	$J_x = \frac{m}{4} (R^2 + r^2) + \frac{m}{18} h^2 \left[ 1 + \frac{2Rr}{(R+r)^2} \right]$ $J_y = \frac{1}{2} m (R^2 + r^2)$
<p>圆柱全表面</p>  <p>全面积 <math>A = 2\pi R (R+h)</math></p>	$J_x = \frac{m}{12} \times \frac{1}{R+h} [3R^2 (R+2h) + h^2 (3R+h)]$ $J_y = \frac{1}{2} m R^2 \frac{R+2h}{R+h}$ $J_n = \frac{m}{12} \times \frac{1}{R+h} [3R^2 (R+h) + 2h^2 (3R+2h)]$	<p>半球面</p>  <p>半球面积 <math>A = 2\pi R^2</math></p>	$J_x = \frac{5}{12} m R^2$ $J_y = \frac{2}{3} m R^2$ $J_n = \frac{2}{3} m R^2$ <p>全球面</p> $J_y = J_n = \frac{2}{3} m R^2$
<p>圆锥侧表面</p>  <p>侧面积 <math>A = \pi R \sqrt{R^2 + h^2}</math></p>	$J_x = \frac{m}{4} \left( R^2 + \frac{2}{9} h^2 \right)$ $J_y = \frac{1}{2} m R^2$ $J_n = \frac{m}{12} (3R^2 + 2h^2)$	<p>薄壳体</p>	<p>薄壳体</p>

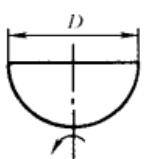
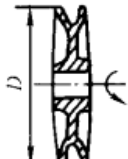
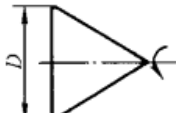
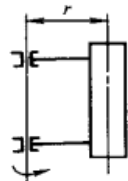
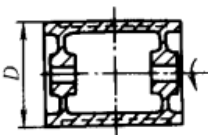
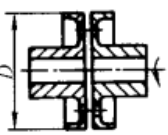
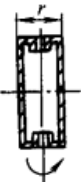
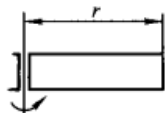
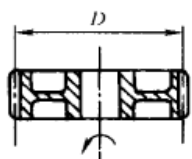
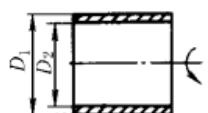
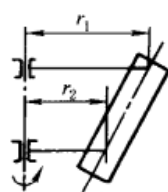
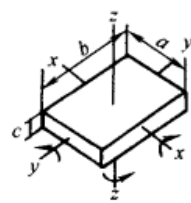
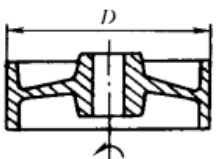

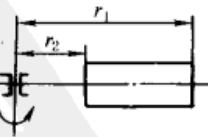
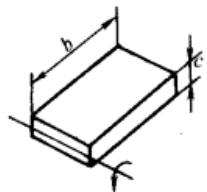
常用旋转体的转动惯量<sup>[13]</sup>

表 1-1-83

计算通式:

$$J = \frac{KmD_c^2}{4} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

式中  $m$ ——旋转体质量, kg $K$ ——系数, 见本表 $D_c$ ——旋转体的飞轮计算直径, m

 <p><math>K=0.4 \quad D_c^2 = D^2</math></p>	 <p><math>K=0.55 \quad D_c^2 = D^2</math></p>	 <p><math>K=0.3 \quad D_c^2 = D^2</math></p>	 <p><math>K=4 \quad D_c^2 = r^2</math></p>
 <p><math>K=0.7 \quad D_c^2 = D^2</math></p>	 <p><math>K=0.45 \quad D_c^2 = D^2</math></p>	 <p><math>K=2 \quad D_c^2 = r^2</math></p>	 <p><math>K=1.33 \quad D_c^2 = r^2</math></p>
 <p><math>K=0.6 \quad D_c^2 = D^2</math></p>	 <p><math>K=0.5 \quad D_c^2 = D_1^2 + D_2^2</math></p>	 <p><math>K=1.33 \quad D_c^2 = r_1^2 + r_1r_2 + r_2^2</math></p>	 <p><math>K=0.33</math>  <math>D_{cx}^2 = b^2 + c^2</math>  <math>D_{cy}^2 = c^2 + a^2</math>  <math>D_{cz}^2 = b^2 + a^2</math></p>
 <p><math>K=0.6 \quad D_c^2 = D^2</math></p>	 <p><math>K=0.5 \quad D_c^2 = D^2</math></p>	 <p><math>K=1.33 \quad D_c^2 = \frac{r_1^3 - r_2^3}{r_1 - r_2}</math></p>	 <p><math>K=0.166 \quad D_c^2 = 4b^2 + c^2</math></p>

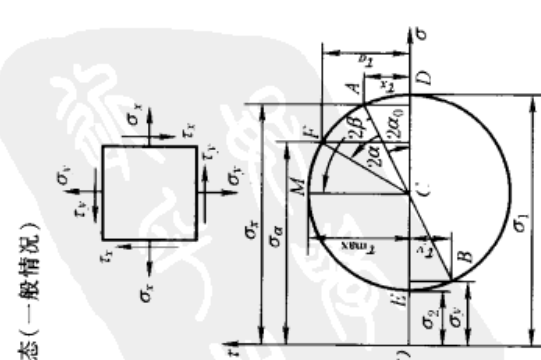
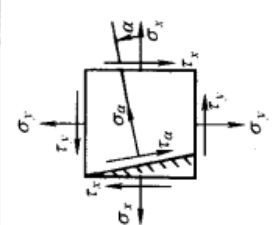
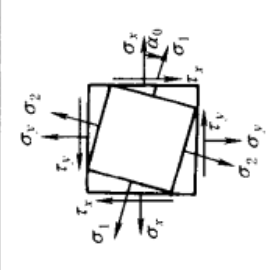
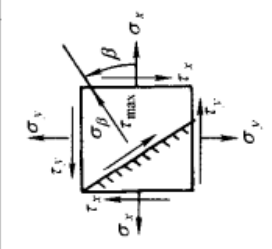
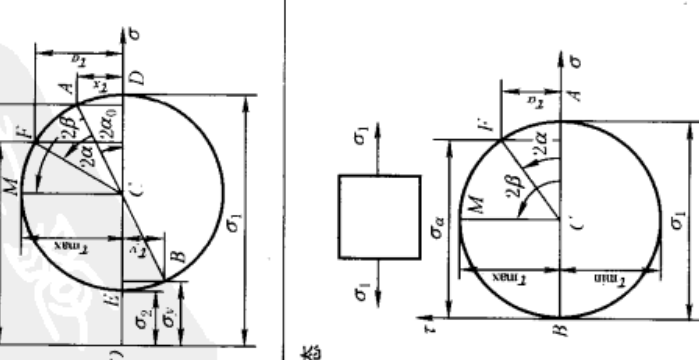
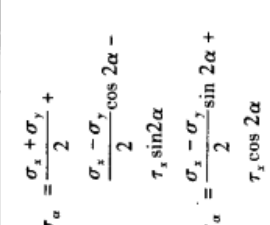
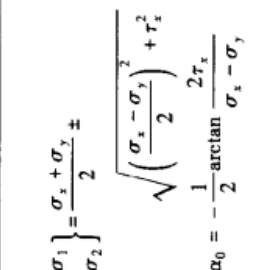
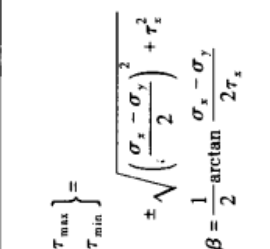
注: 表中部分零件只给出主要尺寸, 计算出的转动惯量是近似的。

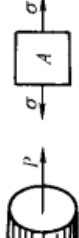



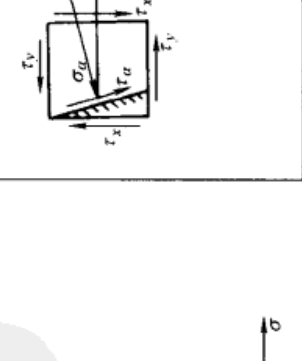
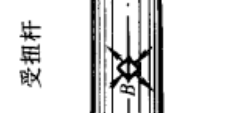
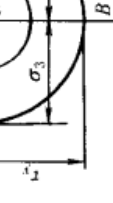
### 5.2 材料力学基本公式

主应力及强度理论公式<sup>[4]</sup>

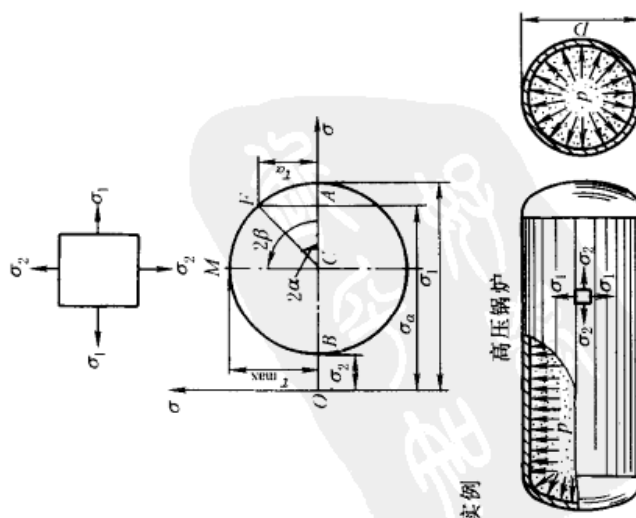
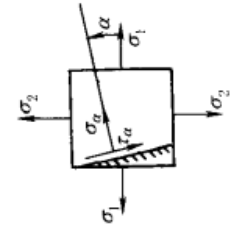
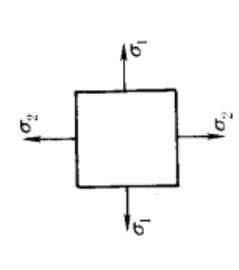
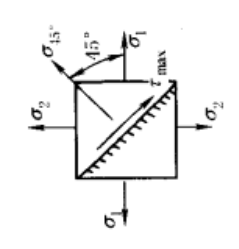
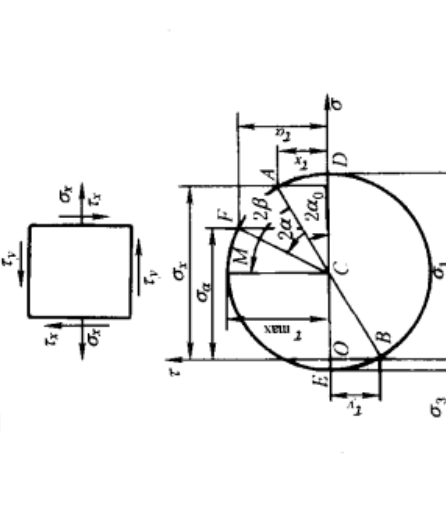
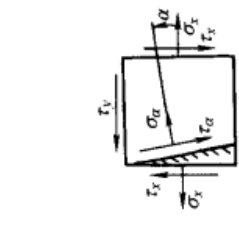
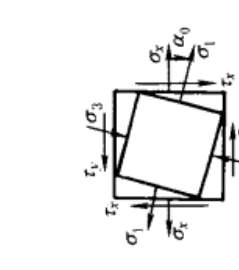
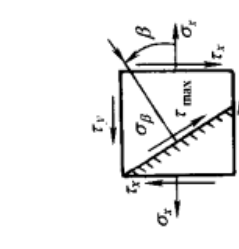
表 1-1-84

平面应力状态下斜截面上的应力、主应力、最大切应力及应力圆

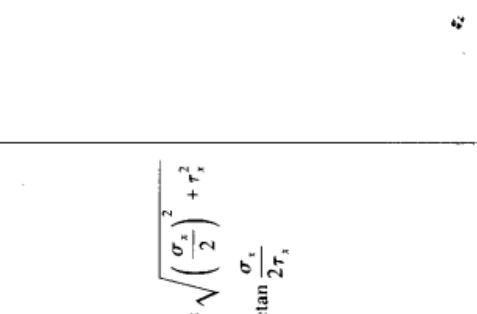
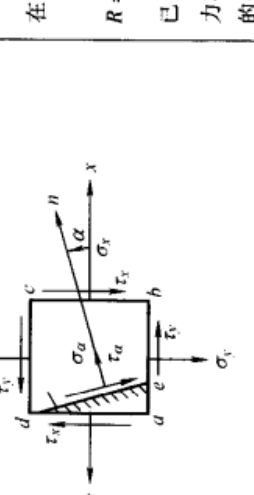
应力状态	斜截面上的应力 ( $\sigma_\alpha, \tau_\alpha$ )	主应力( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) 及主方向角( $\alpha_0$ )	最大切应力( $\tau_{max}$ ) 及其位置( $\beta$ )	说明
<p>两轴应力状态(一般情况)</p> 	 $\sigma_\alpha = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_x \sin 2\alpha$ $\tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_x \cos 2\alpha$	 $\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_x^2}$ $\alpha_0 = -\frac{1}{2} \arctan \frac{2\tau_x}{\sigma_x - \sigma_y}$	 $\tau_{max} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_x^2}$ $\beta = \frac{1}{2} \arctan \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_x}$	<p>(1) 主平面——单元体上切应力为零的平面                  (2) 主方向角——主平面的法线方向角称为主方向角                  (3) 主应力——主平面上的正应力称为主应力, 分别用 <math>\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3</math> 表示, 其大小按代数值顺序排列为 <math>\sigma_1 &gt; \sigma_2 &gt; \sigma_3</math>                  (4) 作用于受力构件某点单元体上的受力图如下</p>
<p>单轴应力状态</p> 				<p><math>\sigma_x, \sigma_y</math>——单元体上的正应力  <math>\tau_x</math>——单元体上的切应力  <math>\alpha</math>——斜截面 <math>de</math> 与截面 <math>ad</math> 间的夹角, 其转向由 <math>x</math> 轴起量, 逆时针转为正, 反之则为负  <math>\sigma_\alpha, \tau_\alpha</math>——斜截面上的应力  <math>\alpha_0</math>——主应力 <math>\sigma_1</math> 与 <math>x</math> 轴的夹角, 即 <math>\sigma_1</math> 的方向, 叫主方向  <math>\beta</math>——最大切应力 <math>\tau_{max}</math> 作用面法线与 <math>x</math> 轴的夹角, 即 <math>\tau_{max}</math> 作用面的位置, 与主平面相差 <math>\pm 45^\circ</math></p>

实例	应力状态	斜截面上的应力 ( $\sigma_\alpha, \tau_\alpha$ )	主应力( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) 及主方向角( $\alpha_0$ )	最大切应力( $\tau_{max}$ ) 及其位置( $\beta$ )	说明
<p>拉杆</p>  <p>应力状态</p>  <p>纯弯梁</p> 	$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha$ $= \frac{1}{2} \sigma_1 (1 + \cos 2\alpha)$ $\tau_\alpha = \frac{1}{2} \sigma_1 \sin 2\alpha$	$\sigma_1 = \sigma_{max}, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ $\alpha_0 = 0$	$\tau_{max} = \pm \frac{1}{2} \sigma_1$ $\beta = 45^\circ$	同上	
<p>两轴应力状态(纯剪)</p>  	$\sigma_\alpha = -\tau_x \sin 2\alpha$ $\tau_\alpha = \tau_x \cos 2\alpha$	$\sigma_1 = \sigma_{max} = \tau_x$ $\sigma_2 = 0$ $\sigma_3 = \alpha_{min} = -\tau_x$ $\alpha_0 = -45^\circ$	$\tau_{max} = \pm \tau_x$ $\tau_{min} = 0$ $\beta = 0$	同上	
<p>受扭杆</p>  <p>应力状态</p> 					

续表

应力状态	斜截面上的应力 ( $\sigma_\alpha, \tau_\alpha$ )	主应力( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) 及主方向角( $\alpha_0$ )	最大切应力( $\tau_{max}$ ) 及其位置( $\beta$ )	说明
<p>两轴应力状态(已知主平面上的应力), 设 <math>\sigma_1 &gt; \sigma_2</math></p> <p>实例</p>  <p>高压锅炉</p>				
	$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha$ $\tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha$	$\sigma_1 = \sigma_{max}$ $\sigma_2 \neq 0$ $\sigma_3 = 0$ $\alpha_0 = 0$	$\tau_{max} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$ $\tau_{min} = 0$ $\beta = 45^\circ$	同上
<p>两轴应力状态[轴向拉(压)与纯剪切的合成]</p> 				



应力状态	斜截面上的应力 ( $\sigma_\alpha, \tau_\alpha$ )	主应力( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) 及主方向角( $\alpha_0$ )	最大切应力( $\tau_{max}$ ) 及其位置( $\beta$ )	说明
<p>两轴应力状态[轴向拉(压)与纯剪切的合成]</p> 	$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_{xy} \sin 2\alpha$ $\tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha$	$\left. \begin{aligned} \sigma_1 = \sigma_{max} \\ \sigma_3 = \sigma_{min} \end{aligned} \right\} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$ $\sigma_2 = 0$ $\alpha_0 = -\frac{1}{2} \arctan \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$	$\left. \begin{aligned} \tau_{max} \\ \tau_{min} \end{aligned} \right\} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$ $\beta = \frac{1}{2} \arctan \frac{\sigma_y}{2\tau_{xy}}$	<p>同上</p>
<p>平面应力状态单元体</p> 	<p>应力圆的定义： 将 <math>\sigma_\alpha</math> 及 <math>\tau_\alpha</math> 式中参变量 <math>2\alpha</math> 消去，可得到以 <math>\sigma_\alpha</math> 及 <math>\tau_\alpha</math> 为变量的圆方程</p> $\left(\sigma_\alpha - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_\alpha^2 = \left(\sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}\right)^2$ <p>在 <math>\sigma</math>-<math>\tau</math> 坐标系中，以坐标 <math>\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}, 0\right)</math> 为圆心，以 <math>R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}</math> 为半径作圆即为应力圆。当已知单元体上所受应力 <math>\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}</math> 时，则此两轴应力状态下任意斜面上的应力可由此应力圆上对应点的坐标求得</p>	<p>应力圆性质： (1) 应力圆上任一点的坐标值必对应于单元体某一截面上的应力，如应力圆上的 F 点对应于单元体 de 面上的应力 <math>\sigma_\alpha, \tau_\alpha</math> (2) 应力圆上任意两点所夹的圆心角 <math>2\alpha</math>，对应于单元体上与该两点相对应截面外法线的夹角 <math>\alpha</math>，它们转向相同，大小差两倍 (3) 应力圆上的起量基点与单元体上的起量基面相对应，如应力圆上 A 点 (<math>\sigma_x, \tau_{xy}</math>) 为起量基点，则单元体上与 A 点相对应的截面 bc 为起量基面</p>	<p>同上</p>	

续表

单元体应力圆	应力状态	斜截面上的应力 ( $\sigma_\alpha, \tau_\alpha$ )	主应力( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) 及主方向角( $\alpha_0$ )	最大切应力( $\tau_{max}$ ) 及其位置( $\beta$ )	说明
	<p>应力圆画法:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 取直角坐标系, <math>\sigma</math> 为横轴, <math>\tau</math> 为纵轴</li> <li>(2) 根据单元体 <math>abcd</math> 已知应力 (<math>\sigma_x, \tau_x</math>) 及 (<math>\sigma_y, \tau_y</math>) 按一定比例尺, 定出 <math>A, B</math> 两点, 注意应力正负应与坐标轴正负向一致</li> <li>(3) 连 <math>A, B</math> 两点的直线交 <math>\sigma</math> 轴于 <math>C</math> 点, 以 <math>C</math> 为圆心, <math>CA</math> 为半径作圆, 此圆即为单元体的应力圆</li> </ol>	<p>注: 1. 表中各式所表示的应力都为正, 若按表所列公式算出的某应力值或偏转角为负, 则其方向与图中表示的方向相反。 2. 应用举例 (图 1-1-3) 某设备主轴, 已知在 <math>S-S</math> 截面上由额定转矩 <math>M_1</math> 引起的切应力 <math>\tau = 1650 \text{ N/cm}^2</math>, 主轴自重引起的弯曲正应力 <math>\sigma = 2500 \text{ N/cm}^2</math>, 求 <math>S-S</math> 截面上危险点 <math>C</math> 的主应力及最大切应力。并进行强度校核。</p>	<p>如: 由应力圆上量得斜截面上的应力为 <math>\sigma_\alpha = OG, \tau_\alpha = FG</math>。主应力 <math>\sigma_1 = OD, \sigma_2 = OE</math>, 主方向 <math>\alpha_0 = \frac{1}{2} \angle ACD</math>。最大、最小切应力为 <math>\tau_{max} = CM, \tau_{min} = CN</math>, 其作用面位置为 <math>\beta = \frac{1}{2} \angle ACM</math></p>	<p>注: 1. 表中各式所表示的应力都为正, 若按表所列公式算出的某应力值或偏转角为负, 则其方向与图中表示的方向相反。 2. 应用举例 (图 1-1-3) 某设备主轴, 已知在 <math>S-S</math> 截面上由额定转矩 <math>M_1</math> 引起的切应力 <math>\tau = 1650 \text{ N/cm}^2</math>, 主轴自重引起的弯曲正应力 <math>\sigma = 2500 \text{ N/cm}^2</math>, 求 <math>S-S</math> 截面上危险点 <math>C</math> 的主应力及最大切应力。并进行强度校核。</p>	

注: 1. 表中各式所表示的应力都为正, 若按表所列公式算出的某应力值或偏转角为负, 则其方向与图中表示的方向相反。  
2. 应用举例 (图 1-1-3) 某设备主轴, 已知在  $S-S$  截面上由额定转矩  $M_1$  引起的切应力  $\tau = 1650 \text{ N/cm}^2$ , 主轴自重引起的弯曲正应力  $\sigma = 2500 \text{ N/cm}^2$ , 求  $S-S$  截面上危险点  $C$  的主应力及最大切应力。并进行强度校核。

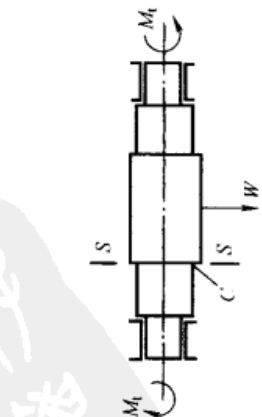


图 1-1-3

解 在危险点  $C$  取单元体, 其上作用有切应力  $\tau_x = 1650 \text{ N/cm}^2$ , 正应力  $\sigma_x = 2500 \text{ N/cm}^2$ , 见图 1-1-4a, 是弯扭组合的两轴应力状态。

(1) 解析法:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 \\ \sigma_3 \end{aligned} \right\} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_x^2} = \frac{2500}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2500}{2}\right)^2 + 1650^2} = \begin{cases} 3320 \text{ N/cm}^2 \\ -820 \text{ N/cm}^2 \end{cases}$$

$$\alpha_0 = -\frac{1}{2} \arctan \frac{2\tau_x}{\sigma_x} = -\frac{1}{2} \arctan \frac{2 \times 1650}{2500} = -26.4^\circ$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_x^2} = \sqrt{\left(\frac{2500}{2}\right)^2 + 1650^2} = 2070 \text{ N/cm}^2$$

求出最大主应力和最大切应力后, 可按第三强度理论进行强度校核  $\sigma_{III} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_p$  (许用应力)  
(2) 图解法: 作  $\sigma-\tau$  坐标, 选取一定的比例尺, 取  $OK = \sigma_x = 2500 \text{ N/cm}^2, AK = \tau_x = 1650 \text{ N/cm}^2$  得  $A$  点, 因  $\sigma_y = 0$ , 取  $OB = \tau_y = -1650 \text{ N/cm}^2$  得  $B$  点, 连接  $AB$  交  $\sigma$  轴于  $C$  点, 以  $C$  点为圆心,  $CA$  为半径作圆, 此圆即为所取单元体的应力圆, 见图 1-1-4b, 从应力圆上可以按比例尺直接量得:  
 $\sigma_1 = OD = 3320 \text{ N/cm}^2, \sigma_2 = OE = -820 \text{ N/cm}^2, 2\alpha_0 = \angle ACD = -52.8^\circ, \alpha_0 = -26.4^\circ, \tau_{max} = CM = 2070 \text{ N/cm}^2$ 。

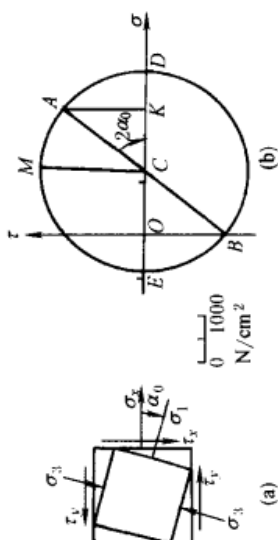


图 1-1-4

表 1-1-85 强度理论及其适用范围

材料	材料	脆性材料(低碳钢、非淬硬中碳钢、退火球墨铸铁、铜、铝等)		极脆材料(淬硬工具钢、陶瓷等)		拉伸与压缩强度极限不等的脆性材料(如铸铁、石料、混凝土)或低塑性材料(如淬硬高强度钢)		说明及符号意义
		简单拉伸	两轴拉伸应力(如薄壁压力容器)	第一强度理论(最大拉应力引起材料正断破坏的原因)	第一强度理论(修正后的第三强度理论)	精确计算	简化计算	
单轴应力状态	简单拉伸	第三强度理论(最大切应力理论):最大切应力是造成材料屈服破坏的原因 破坏条件: $\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_s}{2}$ 强度条件: $\sigma_{II} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq \sigma_p = \frac{\sigma_s}{S}$ ( $\sigma_s$ ——屈服点,下同)	第一强度理论(最大拉应力引起材料正断破坏的原因) 破坏条件: $\sigma_1 = \sigma_b$ 强度条件: $\sigma_1 = \sigma_1 \leq \frac{\sigma_b}{S}$ ( $\sigma_b$ ——抗拉强度,下同)	第一强度理论,用于脆性材料的正断破坏(即压应力的绝对值小于拉力)				(1)各强度理论仅限于讨论常温和静载荷时的情况 (2)各强度理论仅适用于各向同性的材料 (3) $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 为三个互相垂直的主平面内的三向主应力,按其代数值规定 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ (4) $\mu$ 为材料的泊松比 (5) $\nu = \frac{\sigma_b}{\sigma_c}$ 即 拉伸强度极限 压缩强度极限 (6) $\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}, \sigma_N$ 及 $\sigma_M$ 分别为相应强度理论时的相当应力 (7)表中 $\sigma_p$ 为许用应力, S为安全系数,详见下一节
	两轴应力状态	第四强度理论(形状改变比能理论),形状改变比能是引起材料屈服破坏的原因 破坏条件: $\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} = \sigma_s$ 强度条件: $\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq \frac{\sigma_s}{S}$	近似用第二强度理论(最大伸长线变形理论)是引起材料正断破坏的原因 $\epsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)] = \frac{\sigma_b}{E}$ $\sigma_{II} = \sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) \leq \frac{\sigma_b}{S}$					
三轴应力状态	两轴压缩应力(如压配合的被包容件的受力情况)	第三强度理论或第四强度理论						
	三轴拉伸应力(如拉伸具有能产生应力集中的尖锐沟槽的杆件)	第一强度理论						
三轴应力状态	三轴压缩应力(点接触或线接触的接触应力)	第三强度理论或第四强度理论						

① 比能指单位体积的弹性变形能。

许用应力与安全系数<sup>[14]</sup>

对于标准的和专用的机械零部件,其许用应力与安全系数常常有比较成熟的推荐值。但对于非标准的或特殊的,或对其体积或尺寸无严格限制的机械零部件,其许用应力 $\sigma_p$ 与安全系数 $S$ 常需要设计者自己选取。

工作应力 $\sigma_c$ 与许用应力 $\sigma_p$ 的一般关系式为

$$\sigma_c \leq \sigma_p$$

工作应力

$$\sigma_c = K_w \sigma$$

许用应力

$$\sigma_p = \sigma_{lim} / S$$

式中, $K_w$ 为载荷系数; $\sigma_{lim}$ 为材料强度的极限值。式中各 $\sigma$ 的涵义应是广义的,也包括各相应 $\tau$ 的涵义。

对于塑性材料 $\sigma_{lim} = \sigma_s$  (强度计算)

$$\sigma_{lim} = \sigma_{-1}$$
 (疲劳计算)

对于脆性材料 $\sigma_{lim} = \sigma_b$

由于 $\sigma$ 为与计算中所引用的名义载荷 $F$ 对应的名义应力, $\sigma_c$ 是与在工作中所存在的实际工作载荷 $F_c$ 对应的工作应力,因此,也就有

$$K_w = F_c / F$$

载荷系数 $K_w$ 与工作载荷的类型或机器的受载状态有关。当有动态过载的危险时,要用经常反复的最大载荷(名义载荷加静态附加力和动态附加力)作为 $F_c$ 。当有静态过载的危险时,要用按最不利的条件计算的最大的总力作为 $F_c$ ,即使这个力只发生一次。

$K_w$ 的精确值只能通过对在已经做好的或与之类似的构件上的载荷或应力的测量得到。如果没有精确确定的 $K_w$ 值,则可用表1-1-86的推荐值,也可参考表1-1-87的值。

表 1-1-86 载荷系数 $K_w$ 的推荐值

机器名称	空载启动	带载平稳启动	带载快速启动	启动后由摩擦离合器加载	启动后冲击加载
小型离心风机,车床,钻床,发电机,带式运输机等	1.2~1.3	—	—	1.2~1.4	—
轻型传动,片式运输机,铣床,自动机床,泵等	1.3~1.5	—	—	1.3~1.5	—
摩擦传动的卷扬机,绞盘,刨床及插床,刮板运输机,纺织机械,汽车等	1.3~1.5	1.4~1.6	1.5~1.7	1.4~1.6	1.8~2.5
曲柄压力机,球磨机,螺旋压力机,剪床,碾泥机,立式车床等	1.4~1.8	1.7~1.9	1.8~2.0	1.7~1.9	2.0~2.2
挖土机,起重机的起重机构等	—	1.1~1.25	1.2~1.3	—	1.3~2.0
起重机的水平移动机构	—	1.6~1.9	1.8~3.0	—	—
电车,电气列车,电动小车,翻车机等	—	1.6~1.9	1.8~2.5	—	2.0~2.5
碎石机,空气锤,推钢机等	—	2.0~2.2	2.0~2.6	—	2.5~3.5
有曲柄连杆机构或偏心机构的机械,从动部分有大质量及高速的由链传动带动的机械	1.3~1.9	1.5~2.2	1.8~2.5	1.5~2.2	2.0~3.0

表 1-1-87 载荷系数 $K_w$ 的概略值

机器类型举例	$K_w$	机器类型举例	$K_w$
旋转机械(蒸汽透平与水力透平),电动机	1.0~1.1	锻压机,切边机,冲孔机,碾碎机	1.6~2.0
活塞式机械,刨床,插床,起吊装置	1.2~1.5	机械锤,轧机,碎石机	2~3

材料强度的极限值 $\sigma_{lim}$ 要根据材料是塑性材料还是脆性材料,载荷是静载荷还是变载荷(脉动或交变),载荷是拉伸、扭转、弯曲载荷还是复合载荷,构件是否在高温下工作等而分别用屈服极限、扭转屈服极限、弯曲屈服极限、有应力集中时的弯曲屈服极限、强度极限、疲劳极限、蠕变极限等代入。

由于目前在手册中只给出材料的屈服极限与强度极限，只有少数材料有一些疲劳曲线，故在缺少资料的情况下，弯曲屈服极限与扭转屈服极限可由下式近似求得。

弯曲屈服极限  $\sigma_{bs}$  与屈服极限  $\sigma_s$  之间的关系为

$$\sigma_{bs} = k_b \sigma_s \quad (\sigma_s \text{ 单位为 MPa})$$

弯曲支承系数  $k_b$  由下式求得：

对于圆杆  $k_b = 1 + 0.53(300/\sigma_s)^{0.25}$

对于扁杆  $k_b = 1 + 0.37(300/\sigma_s)^{0.25}$

扭转屈服极限也可用此式。

当有应力集中时，弯曲屈服极限  $\sigma_{bs}$  和扭转屈服极限  $\tau_{ts}$  与屈服极限  $\sigma_s$  之间的关系为

$$\sigma_{bs} \text{ 或 } \tau_{ts} = k_{b,t} \sigma_s / \alpha_k$$


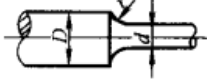
式中的支承系数  $k_{b,t}$  由下式求得：

$$k_{b,t} = 1 + 0.75(c\alpha_k - 1)(300/\sigma_s)^{0.25}$$

对于受弯曲的圆杆,  $c = 1.7$ ; 对于受弯曲的扁杆,  $c = 1.5$ ; 对于受扭转的圆杆,  $c = 1.3$ 。

形状系数  $\alpha_k$  由表 1-1-88 确定。

表 1-1-88 按公式  $\alpha_k = A + B(X - C)$  求得的形状系数 (式中  $X = \sqrt{d/r}$ )

有圆形沟槽的轴				有台阶的轴			
							
对于	拉伸	弯曲	扭转	拉伸	弯曲	扭转	
A	1.140	1.154	1.070	1.080	0.780	0.950	
C	0.830	0.980	0.940	0.770	0	0.30	
B							
d/D	0.2	0.7201	0.5461	0.2767	0.4884	0.3689	0.1983
	0.4	0.6880	0.5315	0.2691	0.4579	0.3562	0.1895
	0.6	0.6340	0.5055	0.2557	0.4107	0.3346	0.1747
	0.8	0.5255	0.4451	0.2246	0.3254	0.2885	0.1452
	0.9	0.4105	0.3687	0.1855	0.2452	0.2359	0.1137
	0.95	0.3052	0.2873	0.1442	0.1783	0.1840	0.0847
	0.98	0.1960	0.1914	0.0958	0.1127	0.1215	0.0538

注:  $r = (D - d)/2$ 。

$\sigma_{bs}$  与  $\tau_{ts}$  也可由表 1-1-89 查得。

钢、灰铸铁与轻金属的平均疲劳极限与屈服极限  $\sigma_s$  或强度极限  $\sigma_b$  之间的关系可由表 1-1-89 求得。

表 1-1-89 钢、灰铸铁与轻金属的平均疲劳极限

材 料	拉 伸		弯 曲			扭 转		
	对称 $\sigma_{-1}$	脉动 $\sigma_{01}$	对称 $\sigma_{-1}$	脉动 $\sigma_0$	屈服极限 $\sigma_{bs}$	对称 $\tau_{-1}$	脉动 $\tau_0$	屈服极限 $\tau_{ts}$
结构钢	$0.45\sigma_b$	$1.3\sigma_{-1}$	$0.49\sigma_b$	$1.5\sigma_{-1}$	$1.5\sigma_s$	$0.35\sigma_b$	$1.1\tau_{-1}$	$0.7\sigma_s$
调质钢	$0.41\sigma_b$	$1.7\sigma_{-1}$	$0.44\sigma_b$	$1.7\sigma_{-1}$	$1.4\sigma_s$	$0.30\sigma_b$	$1.6\tau_{-1}$	$0.7\sigma_s$
渗碳钢	$0.40\sigma_b$	$1.6\sigma_{-1}$	$0.41\sigma_b$	$1.7\sigma_{-1}$	$1.4\sigma_s$	$0.30\sigma_b$	$1.4\tau_{-1}$	$0.7\sigma_s$
灰铸铁	$0.25\sigma_b$	$1.6\sigma_{-1}$	$0.37\sigma_b$	$1.8\sigma_{-1}$	—	$0.36\sigma_b$	$1.6\tau_{-1}$	—
轻金属	$0.30\sigma_b$	—	$0.4\sigma_b$	—	—	$0.25\sigma_b$	—	—

安全系数 S 应当综合载荷确定的准确程度、材料性能数据的可靠性、所用计算方法的合理性、加工装配精度以及所设计的零部件的重要性等来确定。各行业都有一些凭经验的安全系数，但都偏于保守。

有一种相当流行的部分系数法，它将各个对安全系数有影响的因素分别用一个分系数  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $\dots$  表示，这些分系数的乘积即为安全系数：

$$S = S_1 S_2 S_3 S_4 \dots$$

表 1-1-90 为各个分系数的例子及其推荐值。

实际上，这些分系数相互之间有一定的联系，即某个分系数取小值时，另一分系数可能要取大值。同时，对这些分系数的选择或对各影响因素的评估常带有主观性，即一般取大值或中间值。因此，如果取值不当，各个分系数的乘积就可能会很大，从而导致零件尺寸过大。通常，所考虑的因素越多，安全系数值越大。

表 1-1-90 部分系数法求安全系数时各分系数的推荐值

项 目	系数	具 体 条 件	推荐值
考虑零部件重要程度	$S_1$	零部件的破坏不会引起停车 零部件的破坏会引起停车 零部件的破坏会造成事故	1.0 1.1 ~ 1.2 1.2 ~ 1.3
考虑计算载荷及应力公式的准确性	$S_2$	计算公式准确,所有作用力及应力已知 计算所得应力比实际应力高 计算应力比实际应力低	1.0 1.0 1.05 ~ 1.65
抗拉强度(拉伸强度)极限与其他失效形式强度极限之间的关系	$S_3$	静载荷 塑性材料 $S_3 = \frac{\text{抗拉强度极限}}{\text{屈服点}}$ 脆性材料 $S_3 = \frac{\text{抗拉强度极限}}{\text{所考虑的强度极限}}$ 循环变载荷 $S_3 = \frac{\text{抗拉强度极限}}{\text{疲劳极限}}$	$\frac{\sigma_b}{\sigma_s}$ $\frac{\sigma_b}{\sigma_{lim}}$ $\frac{\sigma_b}{\sigma_{-1}}$
考虑应力集中	$S_4$	用有效应力集中系数 $K_\sigma, K_\sigma = \frac{\text{光滑试样极限载荷}}{\text{缺口试样极限载荷}}$	$K_\sigma$
考虑截面尺寸增大	$S_5$	由尺寸系数 $\epsilon$ 求得 $\epsilon = \frac{\text{直径为 } d \text{ 的试样的疲劳极限 } (\sigma_{-1})_d}{\text{直径为 } d_0 \text{ 的标准试样的疲劳极限 } (\sigma_{-1})_{d_0}}$	$1/\epsilon$
考虑表面加工情况	$S_6$	由表面系数 $\beta$ 求得 $\beta = \frac{\text{某种表面加工状态的试样的疲劳极限 } (\sigma_{-1})_\beta}{\text{磨削试样的疲劳极限 } \sigma_{-1}}$	$1/\beta$
检验质量的系数	$S_7$	成批产品抽样试验 每一个零部件都检验	1.15 ~ 1.30 1.05 ~ 1.15

因此，目前比较简单的方法是只取三个部分系数，即

$$S = S_1 S_2 S_3$$

式中， $S_1$  考虑材料的可靠性（力学性能的均匀性，内部缺陷等）；对锻件或轧制件制造的零件， $S_1 = 1.05 \sim 1.10$ ，对铸造零件， $S_1 = 1.15 \sim 1.2$ 。 $S_2$  考虑零件的重要程度（工作条件），一般  $S_2 = 1.0 \sim 1.3$ 。 $S_3$  考虑计算的精确性，一般  $S_3 = 1.2 \sim 1.3$ 。

有时也可按计算方法以下列粗略值选取安全系数：

按抗疲劳断裂计算  $S = 1.5 \sim 3$

按抗变形计算  $S = 1.2 \sim 2$

按抗断裂计算  $S = 2 \sim 4$

按抗不稳定计算  $S = 3 \sim 5$

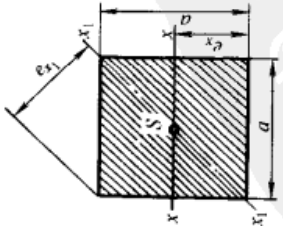
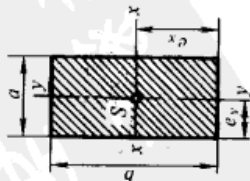
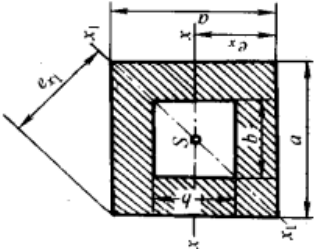
## 截面力学特性的计算公式

表 1-1-91

特性名称	计算公式	图形	符号意义
静矩	$S_x = \int_A y dA = Ay_0$ $S_y = \int_A x dA = Ax_0$		A——图形的全面积 $y_0, x_0$ ——重心与 $x, y$ 轴的距离
惯性矩	$I_x = \int_A y^2 dA = i_x^2 A$ $I_y = \int_A x^2 dA = i_y^2 A$		$i_y, i_x$ ——分别称为截面对 y 轴和 x 轴的惯性半径(回转半径)
极惯性矩	$I_p = \int_A \rho^2 dA$ $= \int_A (x^2 + y^2) dA = I_x + I_y$		
惯性积	$I_{xy} = \int_A xy dA$		
平行轴惯性矩间的关系	$I_{x_1} = I_x + a^2 A$ $I_{y_1} = I_y + b^2 A$		
平行轴惯性积间的关系	$I_{x_1 y_1} = I_{xy} + abA$		如果 $x, y$ 轴包括图形的对称轴, 则 $I_{xy} = 0$ , 所以 $I_{x_1 y_1} = abA$
两轴(通过任一点 O)旋转 $\alpha$ 角(以逆时针方向为正)后	惯性矩的关系	$I_{x_1} = I_x \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha - I_{xy} \sin 2\alpha$ $I_{y_1} = I_y \cos^2 \alpha + I_x \sin^2 \alpha + I_{xy} \sin 2\alpha$	
	惯性积的关系	$I_{x_1 y_1} = \frac{1}{2} (I_x - I_y) \sin 2\alpha + I_{xy} \cos 2\alpha$	
主形心轴的方位角 $\alpha_0$	$\tan 2\alpha_0 = \frac{2I_{xy}}{I_y - I_x}$		通过截面形心并且有一定方位角 $\alpha_0$ 的两个互相垂直的轴 $x_0$ 和 $y_0$ 称为主形心轴。此时, 截面对主形心轴 $x_0$ 和 $y_0$ 的主形心惯性矩, 一个为最大, 另一个为最小, 而且惯性积必等于零
主形心惯性矩	$I_{x_0} = I_x \cos^2 \alpha_0 + I_y \sin^2 \alpha_0 - I_{xy} \sin 2\alpha_0$ $I_{y_0} = I_x \sin^2 \alpha_0 + I_y \cos^2 \alpha_0 + I_{xy} \sin 2\alpha_0$		

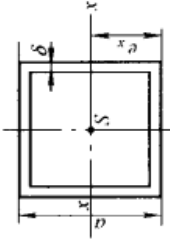
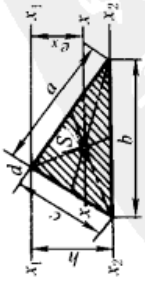
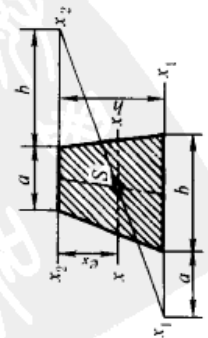
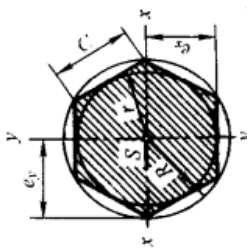
各种截面的力学特性

表 1-1-92

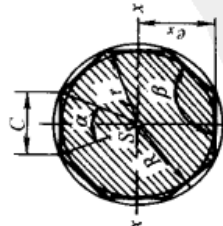
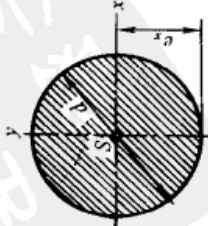
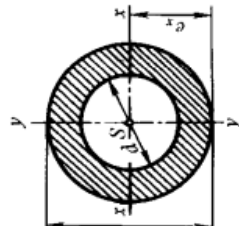
简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	抗弯截面系数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的 距离 $e$	惯性半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
正方形 	$a^2$	$\frac{a^4}{12}$	$W_x = \frac{a^3}{6}$ $W_{x_1} = 0.1179a^3$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_{x_1} = 0.7071a$	$\frac{a}{\sqrt{12}} = 0.289a$
矩形 	$ab$	$I_x = \frac{ab^3}{12}$ $I_y = \frac{a^3b}{12}$	$W_x = \frac{ab^2}{6}$ $W_y = \frac{a^2b}{6}$	$e_x = \frac{b}{2}$ $e_y = \frac{a}{2}$	$i_x = 0.289b$ $i_y = 0.289a$
空心正方形 	$a^2 - b^2$	$\frac{a^4 - b^4}{12}$	$W_x = \frac{a^4 - b^4}{6a}$ $W_{x_1} = 0.1179 \frac{a^4 - b^4}{a}$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_{x_1} = 0.7071a$	$0.289 \sqrt{a^2 + b^2}$



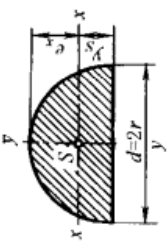
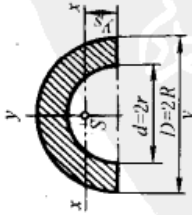
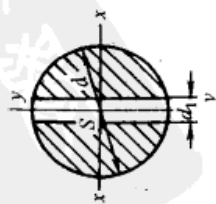
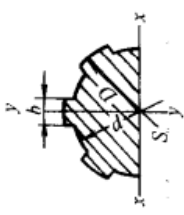
续表

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	抗弯截面系数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的 距离 $e$	惯性半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
<p>薄壁正方形</p> 	$\approx 4a\delta$ $\delta \leq \frac{a}{15}$	$\frac{2}{3}a^3\delta$	$W_x = \frac{4}{3}a^3\delta$	$e_x = \frac{a}{2}$	$\frac{a}{\sqrt{6}} = 0.408a$
<p>三角形</p> 	$A = \frac{bh}{2} = \frac{\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}}{4}$ 式中: $p = \frac{1}{2}(a+b+c)$	$I_{x_1} = \frac{bh^3}{4}$ $I_x = \frac{bh^3}{36}$ $I_{x_2} = \frac{bh^3}{12}$	$W_{x_1} = \frac{bh^2}{24}$ $W_{x_2} = \frac{bh^2}{12}$	$e_x = \frac{2h}{3}$	$i_x = 0.236h$
<p>梯形</p> 	$\frac{h(a+b)}{2}$	$I_x = \frac{h^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a+b)}$ $I_{x_1} = \frac{h^3(b+3a)}{12}$	$W_{x_2} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(a+2b)}$ $W_{x_1} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(2a+b)}$	$e_x = \frac{h(a+2b)}{3(a+b)}$	$i_x = \frac{h}{3(a+b)} \times \sqrt{\frac{a^2 + 4ab + b^2}{2}}$
<p>六角形</p> 	$A = 2.598C^2 = 3.464r^2$ $C = R$ $r = 0.866R$	$I_x = 0.5413R^4$ $I_y = I_x$	$W_x = 0.625R^3$ $W_y = 0.5413R^3$	$e_x = 0.866R$ $e_y = R$	$i_x = 0.4566R$

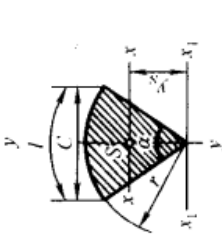
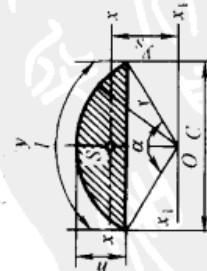
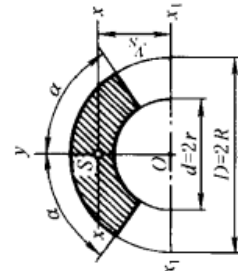
续表

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	抗弯截面系数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的 距离 $e$	惯性半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
<p>多角形</p>  <p><math>n</math>——多角形边数</p>	$A = \frac{nCr}{2}$ $= \frac{nC}{2} \sqrt{R^2 - \frac{C^2}{4}}$ $C = 2 \sqrt{R^2 - r^2}$ $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$ $\beta = 180^\circ - \alpha$ <p>对八角形  <math>A = 2.828R^2 = 4.828C^2</math>  <math>r = 0.924R \quad C = 0.765R</math></p>	<p>对八角形  <math>I = 0.638R^4</math>  <math>= 0.8752r^4</math></p>	<p>对八角形  <math>W_x = 0.691R^3</math>  <math>= 0.876r^3</math></p>	$e_x = r = \sqrt{R^2 - \frac{C^2}{4}}$ $= R \cos \frac{\alpha}{2}$	<p>对八角形  <math>i_x = 0.4749R</math>  <math>= 0.514r</math>  <math>= 0.621C</math></p>
<p>圆</p> 	$\frac{\pi}{4} d^2$	$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} d^4$ $= 0.0491 d^4$ $I_p = \frac{\pi d^4}{32} = 0.0982 d^4$	$\frac{\pi}{32} d^3 = 0.0982 d^3$ <p>抗扭截面系数  <math>W_n = 2W</math></p>	$e_x = \frac{d}{2}$	$\frac{d}{4}$
<p>空心圆</p> 	$\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$	$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $= 0.0491 (D^4 - d^4)$ $I_p = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$ $= 0.0982 (D^4 - d^4)$	$\frac{\pi (D^4 - d^4)}{32D} =$ $0.0982 \frac{D^4 - d^4}{D}$ <p>抗扭截面系数  <math>W_n = 2W</math></p>	$e_x = \frac{D}{2}$	$\frac{1}{4} \sqrt{D^2 + d^2}$

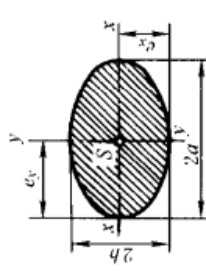
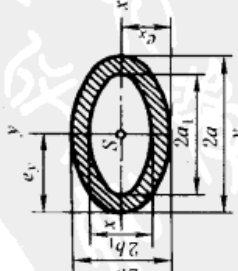
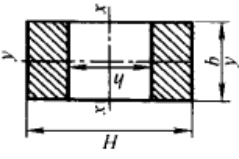
续表

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	抗弯截面系数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的 距离 $e$	惯性半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
<p>半圆</p> 	$\frac{\pi}{8}d^2 = 0.393d^2$	$I_x = 0.00686d^4$ $I_y = \frac{\pi}{128}d^4 \approx 0.0245d^4$	$W_x = 0.0239d^3$ $W_y = \frac{\pi}{64}d^3 \approx 0.0491d^3$	$e_x = 0.2878d$ $e_y = 0.2122d$	$i_x = 0.1319d$ $i_y = \frac{d}{4}$
<p>半圆环</p> 	$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{8}$ $= 0.393(D^2 - d^2)$ $= 1.5708(R^2 - r^2)$	$I_x = 0.00686(D^4 - d^4) - \frac{0.0177D^2d^2(D-d)}{D+d}$ $I_y = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{128}$	$W_y = \frac{\pi d^3}{64} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)$	$e_y = \frac{2(D^2 + Dd + d^2)}{3\pi(D+d)}$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$ $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \frac{1}{4}\sqrt{D^2 + d^2}$
<p>带孔圆</p> 	$\frac{\pi}{4}d^2 - d_1d$	$I_x = \frac{\pi d^4}{64}(1 - 1.69\beta)$ $I_y = \frac{\pi d^4}{64}(1 - 1.69\beta^3)$ $\beta = \frac{d_1}{d}$	$W_x = \frac{\pi d^3}{32}(1 - 1.69\beta)$ $W_y = \frac{\pi d^3}{32}(1 - 1.69\beta^3)$ 抗扭截面系数 $W_n = \frac{\pi d^3}{16}(1 - \beta)$	$e_y = \frac{d}{2}$ $e_x = \frac{d}{2}$	$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
<p>花键</p> 	$\frac{\pi}{4}d^2 + \frac{Zb(D-d)}{2}$ ( $Z$ ——花键齿数)	$I_x = \frac{\pi d^4}{64} + \frac{bZ(D-d)(D+d)^2}{64}$	$W_x = \frac{\pi d^4 + bZ(D-d)(D+d)^2}{32D}$ 抗扭截面系数 $W_n = 2W_x$	$e_y = \frac{D}{2}$ $e_x = \frac{d}{2}$	$i_x = \frac{1}{4} \times \sqrt{\frac{\pi d^4 + bZ(D-d)(D+d)^2}{\pi d^2 + 2Zb(D-d)}}$

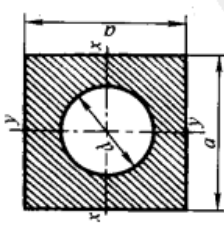
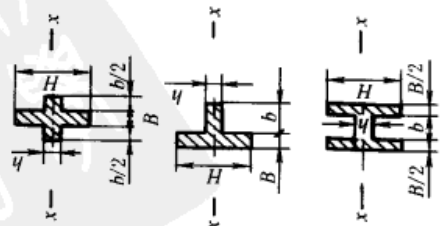
续表

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	抗弯截面系数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的 距离 $e$	惯性半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
<p>扇形</p> 	$A = \frac{\pi r^2 \alpha}{360^\circ}$ $= 0.00873 r^2 \alpha$ $I = \frac{\pi r \alpha}{180^\circ} = 0.01745 r \alpha$ $C = 2r \sin \frac{\alpha}{2}$	$I_{x_1} = \frac{r^4}{8} \left( \pi \frac{\alpha}{180^\circ} + \sin \alpha \right)$ $I_x = \frac{r^4}{8} \left( \pi \frac{\alpha}{180^\circ} + \sin \alpha - \frac{64}{9} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \times \frac{180^\circ}{\pi \alpha} \right)$ $I_y = \frac{r^4}{8} \left( \pi \frac{\alpha}{180^\circ} - \sin \alpha \right)$	$W = \frac{I}{e}$	$y_s = \frac{2rC}{3I}$	$i_x = \frac{r}{2} \sqrt{1 + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \times \frac{180^\circ}{\pi}} - \frac{64}{9} \times \frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\left( \frac{\pi}{180^\circ} \right)^2}$ $i_y = \frac{r}{2} \sqrt{1 - \frac{\sin \alpha}{\alpha} \times \frac{180^\circ}{\pi}}$
<p>弓形</p> 	$A = \frac{1}{2} [rl - C(r-h)]$ $C = 2 \sqrt{h(2r-h)}$ $r = \frac{8h}{C^2 + 4h^2}$ $h = r - \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - C^2}$ $l = 0.01745 r \alpha$ $\alpha = \frac{57.296l}{r}$	$I_{x_1} = \frac{lr^3}{8} - \frac{r^4}{16} \sin 2\alpha$ $I_x = I_{x_1} - Ay_s^2$ $I_y = \frac{r^4}{8} \left( \frac{\alpha \pi}{180^\circ} - \sin \alpha - \frac{2}{3} \sin \alpha \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right)$ $W_x = \frac{I_x}{r - y_s}$		$y_s = \frac{C^3}{12A}$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$
<p>扇形圆环</p> 	$\frac{\pi \alpha}{180^\circ} (R^2 - r^2)$	$I_{x_1} = \frac{R^4 - r^4}{8} \left( \frac{\pi \alpha}{90^\circ} + \sin 2\alpha \right)$ $I_x = I_{x_1} - Ay_s^2$ $I_y = \frac{R^4 - r^4}{8} \left( \frac{\pi \alpha}{90^\circ} - \sin 2\alpha \right)$		$y_s = 38.197 \frac{(R^3 - r^3) \sin \alpha}{(R^2 - r^2) \alpha}$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$ $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$

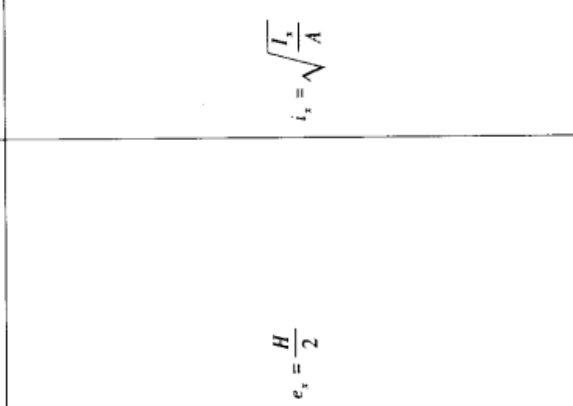
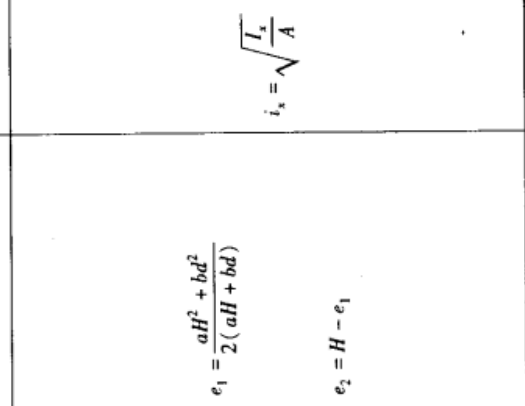
续表

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	抗弯截面系数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的 距离 $e$	惯性半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
<p>椭圆</p>  <p style="text-align: center;"><math>\pi ab</math></p>		$I_x = \frac{\pi ab^3}{4}$ $I_y = \frac{\pi a^3 b}{4}$	$W_x = \frac{\pi ab^2}{4}$ $W_y = \frac{\pi a^2 b}{4}$	$e_x = b$ $e_y = a$	$i_y = \frac{b}{2}$ $i_x = \frac{a}{2}$
<p>空心椭圆</p>  <p style="text-align: center;"><math>\pi(ab - a_1b_1)</math></p>		$I_x = \frac{\pi}{4}(ab^3 - a_1b_1^3)$ $I_y = \frac{\pi}{4}(a^3b - a_1^3b_1)$	$W_x = \frac{\pi(ab^3 - a_1b_1^3)}{4b}$ $W_y = \frac{\pi(a^3b - a_1^3b_1)}{4a}$	$e_x = b$ $e_y = a$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$ $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$
<p>带孔矩形</p>  <p style="text-align: center;"><math>b(H - h)</math></p>		$I_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{12}$ $I_y = \frac{b^3(H - h)}{12}$	$W_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{6H}$ $W_y = \frac{b^3(H - h)}{6}$	$e_x = \frac{H}{2}$ $e_y = \frac{b}{2}$	$i_x = \sqrt{\frac{H^2 + Hh + h^2}{12}}$ $i_y = 0.289b$

续表

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	抗弯截面系数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的 距离 $e$	惯性半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
<p>空心正方形</p> 	$a^2 - \frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{1}{12} \left( a^4 - \frac{3\pi d^4}{16} \right)$	$\frac{1}{6a} \left( a^4 - \frac{3\pi d^4}{16} \right)$	$\frac{a}{2}$	$\sqrt{\frac{16a^4 - 3\pi d^4}{48(4a^2 - \pi d^2)}}$
<p>型钢截面</p> 	$BH + bh$	$I_x = \frac{BH^3 + bh^3}{12}$	$W_x = \frac{BH^3 + bh^3}{6H}$	$e_s = \frac{H}{2}$	$i_s = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$

续表

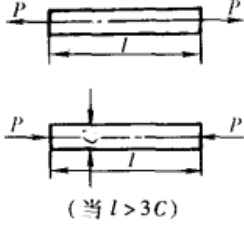
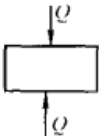
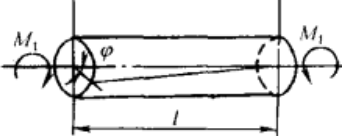
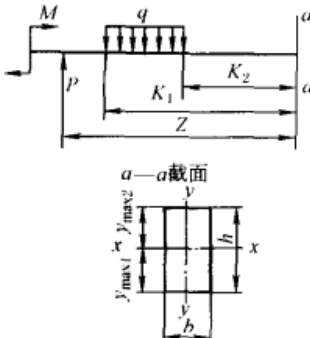
简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	抗弯截面系数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的距离 $e$	惯性半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
<p>型钢截面</p> 	$BH - bh$	$I_x = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$	$W_x = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$	$e_x = \frac{H}{2}$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$
<p>型钢截面</p> 	$BH - b(e_2 + h)$	$I_x = \frac{1}{3}(Be_1^3 - bh^3 + ae_2^3)$	$W_{x1} = \frac{I_x}{e_1}$ $W_{x2} = \frac{I_x}{e_2}$	$e_1 = \frac{aH^2 + bd^2}{2(aH + bd)}$ $e_2 = H - e_1$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$

注：1. 表中  $I_x$ 、 $I_y$  均为轴惯性矩； $I_p$  为极惯性矩。

2. 表中  $\alpha$  单位为度。

杆件计算的基本公式

表 1-1-93

载 荷 情 况	计 算 公 式	符 号 意 义
<p>等截面直杆中心拉伸和压缩</p>  <p>(当 <math>l &gt; 3C</math>)</p>	<p>纵向力作用下的正应力:</p> $\sigma = \frac{P}{A} \leq \sigma_{tp} \text{ (拉伸)}$ $\sigma = \frac{P}{A} \leq \sigma_{cp} \text{ (压缩)}$ $A \geq \frac{P}{\sigma_p}$ <p>纵向绝对变形: <math>\Delta l = \frac{Pl}{EA}</math></p> <p>纵向应变: <math>\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}</math></p> <p>横向应变: <math>\varepsilon_1 = -\mu\varepsilon</math></p> <p>虎克定律</p>	<p><math>P</math>——纵向力  <math>E</math>——材料抗压弹性模量  <math>A</math>——横截面面积  <math>\sigma_{tp}</math>——材料抗拉许用应力  <math>\sigma_{cp}</math>——材料抗压许用应力  <math>\sigma_p</math>——材料许用应力  <math>\mu</math>——泊松比  <math>l</math>——杆件原长(或杆件长度)  <math>Q</math>——切力  <math>\tau_p</math>——材料许用切应力  <math>\varphi_p</math>——许用扭转角, 单位为(<math>^\circ</math>)/m  <math>G = \frac{E}{2(1+\mu)}</math>——材料的切变模量</p>
<p>剪切</p> 	<p>横向力作用下的切应力:</p> $\tau = \frac{Q}{A} \leq \tau_p \text{ (假定横截面上切应力 } \tau \text{ 均匀分布)}$ <p>切应变:</p> $\gamma = \frac{\tau}{G} \text{ (纯剪切的虎克定律)}$	<p><math>M_t</math>——扭矩  <math>W_t</math>——抗扭截面系数          实心圆轴:  <math>W_t = \frac{I_t}{r} = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0.2d^3</math>          空心圆管: <math>W_t = \frac{I_t}{r}</math>  <math>= \frac{\pi}{32} \times \frac{D^4(1-\alpha^4)}{D/2}</math>  <math>\approx 0.2D^3 \times (1-\alpha^4)</math></p>
<p>等直圆杆与圆管的扭转</p> 	<p>扭矩作用下的切应力:</p> $\tau_{max} = \frac{M_t}{W_t} \leq \tau_p$ <p>最大扭转角:</p> $\varphi = \frac{M_t l}{G I_t} \times \frac{180}{\pi} \text{ (} ^\circ \text{)}$ <p>或 <math>\varphi = \frac{M_t \times 100}{G I_t} \times \frac{180}{\pi} &lt; \varphi_p</math>, 单位为(<math>^\circ</math>)/m, (此式中 <math>M_t, G, I_t</math> 中所包含的长度单位应用“cm”)</p>	<p><math>W_t</math>——抗扭截面系数          实心圆轴:  <math>W_t = \frac{I_t}{r} = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0.2d^3</math>          空心圆管: <math>W_t = \frac{I_t}{r}</math>  <math>= \frac{\pi}{32} \times \frac{D^4(1-\alpha^4)}{D/2}</math>  <math>\approx 0.2D^3 \times (1-\alpha^4)</math></p>
<p>直杆横向平面弯曲</p> 	<p>弯矩作用下的正应力: <math>\sigma = \frac{M_b y}{I_x}</math></p> <p>在受拉一边的最大拉应力: <math>\sigma_{max} = \frac{M_b y_{max1}}{I_x} = \frac{M_b}{W_{x1}} \leq \sigma_{tp}</math></p> <p>在受压一边的最大压应力: <math>\sigma_{max} = \frac{M_b y_{max2}}{I_x} = \frac{M_b}{W_{x2}} \leq \sigma_{cp}</math></p> <p><math>a-a</math> 截面处的弯矩: <math>M_b = M + PZ - \frac{q(K_1^2 - K_2^2)}{2}</math></p> <p>矩形截面弯曲切应力: <math>\tau = \frac{Q'S_x}{Ib}</math></p> <p>截面上最大切应力(中性轴上): <math>\tau_{max} = \frac{Q'S_0}{Ib_0} = \frac{3Q'}{2bh} \leq \tau_p</math></p> <p><math>a-a</math> 截面处的切力:  <math>Q' = P - q(K_1 - K_2)</math></p> <p>截面上其他任意点应力:</p> <p>第三强度理论  <math display="block">\sigma_{III} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_p</math></p> <p>第四强度理论  <math display="block">\sigma_{IV} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_p</math></p> <p>通常情况下,对于一般细长的梁,仅根据梁的最大弯矩按正应力强度条件选择应有的截面就可以。只有下列情况时才需校核梁的切应力:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高度较大的铆接或焊接的组合梁,其梁的腹板上的切应力要校核</li> <li>2. 跨度短、载荷大,或很大载荷均作用于支座附近</li> <li>3. 材料抗剪强度比弯曲强度小得多(如木材)</li> </ol>	<p><math>I_t</math>——抗扭惯性矩,等于圆面积对于形心的极惯性矩 <math>I_p</math>,即          实心圆轴:  <math>I_p = \frac{\pi d^4}{32} \approx 0.1d^4</math>          空心圆管:  <math>I_p = \frac{\pi}{32} \times D^4 \times (1-\alpha^4)</math>  <math>\approx 0.1D^4(1-\alpha^4)</math>  <math>\alpha</math>——圆管内外圆直径之比  <math>\alpha = \frac{d}{D}</math>  <math>Q'</math>——横截面上的切力  <math>b</math>——横截面上,在所求切应力处的宽度  <math>S_x</math>——横截面上切力 <math>\tau</math> 所在的横线至边缘部分的面积对中心轴的静矩</p>



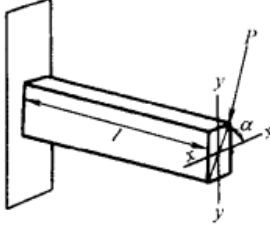
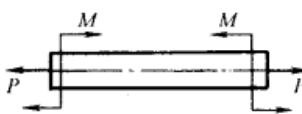
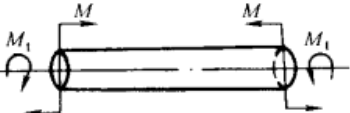
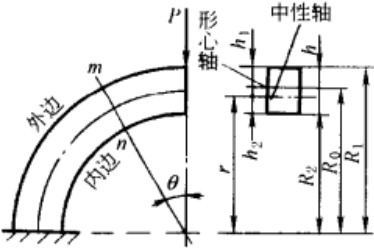
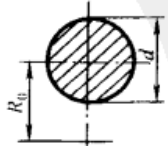
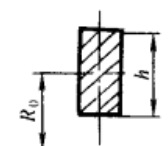
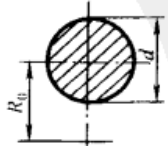
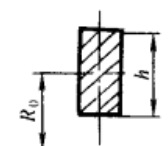
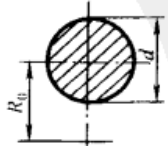
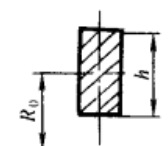
载 荷 情 况	计 算 公 式	符 号 意 义																																																	
<p>直杆斜弯曲</p> 	<p>弯矩作用平面与截面主轴线 <math>x-x, y-y</math> 不重合时, 弯矩的合应力: <math display="block">\sigma_{\max} = \pm \frac{M_{\max} \cos \alpha}{W_y} \pm \frac{M_{\max} \sin \alpha}{W_x}</math></p> <p>上式是指工程中常用截面, 即有棱角的对称截面, 这类截面上最大拉应力与最大压应力相等, 恒发生在距中性轴最远的棱角上。拉应力取“+”, 压应力取“-”。最大应力所在点无切应力, 按正应力进行强度计算, 对钢制梁其拉伸与压缩的许用应力相等, 所以强度条件:</p> $\sigma_{\max} = \left[ \frac{M_{\max} \cos \alpha}{W_y} + \frac{M_{\max} \sin \alpha}{W_x} \right] \leq \sigma_p$ <p>简化为 <math display="block">\frac{M_{\max} \cos \alpha}{W_y} \left[ 1 + \frac{W_y \tan \alpha}{W_x} \right] \leq \sigma_p</math></p>	<p><math>M_0</math> —— 弯矩  <math>y</math> —— 截面中任意一点至中性轴 <math>x-x</math> 的距离  <math>y_{\max}</math> —— 截面边缘至中性轴的距离  <math>I_x</math> —— 截面对 <math>x-x</math> 轴的抗弯惯性矩  <math>I</math> —— 整个横截面对于中性轴的惯性矩  <math>W_x</math> —— 截面对 <math>x-x</math> 轴的抗弯截面系数</p>																																																	
<p>直杆拉伸(或压缩)与弯曲</p> 	<p>拉力(或压力)与弯矩联合作用下的正应力:</p> $\sigma = \pm \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W} \leq \sigma_p$ <p>(拉应力取+, 压应力取-)</p>	<p><math>W_y</math> —— 截面对 <math>y-y</math> 轴的抗弯截面系数  <math>W</math> —— 抗弯截面系数  <math>q</math> —— 一段杆件上的均布载荷</p>																																																	
<p>圆直杆的弯曲与扭转</p> 	<p>弯矩与扭矩联合作用时, 最大应力分别为(危险点在上下边缘)</p> <p>正应力: <math>\sigma = \frac{M}{W}</math> 切应力: <math>\tau = \frac{M_1}{W_t}</math></p> <p>合成正应力(相当应力):</p> <p>根据第四强度理论 <math>\sigma_N = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_p</math>          (用于钢材等塑性材料)</p> <p>根据第一强度理论 <math>\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} + \frac{\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}}{2} \leq \sigma_p</math>          (用于铸铁等脆性材料)</p>	<p><math>S_0</math> —— 中性轴以上或以下的这部分横截面积对于中性轴的静矩  <math>b_0</math> —— 截面沿中性轴的宽度  <math>\alpha</math> —— 载荷平面与截面主轴 <math>x-x</math> 间的夹角</p>																																																	
<p>曲杆弯曲</p>  <p>(用于 <math>\frac{R_0}{h} \leq 5</math>; 当 <math>\frac{R_0}{h} \geq 5</math> 时仍按直杆弯曲计算; 与切力 <math>Q</math> 对应的切应力一般很小, 可略去不计)</p>	<p>曲杆任意截面 <math>m-n</math> 上 法向力: <math>N = P \sin \theta</math>          弯矩: <math>M = PR_0 \sin \theta</math>; 曲杆内外边缘的正应力:</p> $\text{外边 } \sigma_1 = \frac{M h_1}{A(R_0 - r) R_1} - \frac{N}{A} \leq \sigma_{tp}$ $\text{内边 } \sigma_2 = -\frac{M h_2}{A(R_0 - r) R_2} - \frac{N}{A} \leq \sigma_{cp}$ <p>(如 <math>P</math> 力方向与图相反, 式中前后二项的正负号应相反, 括号中符号不变)</p> <p>中性层曲率半径 <math>r</math> 可按表 1-1-94 中公式计算          对于圆截面和矩形截面, 亦可按下式大略计算</p> $\text{外边 } \sigma_1 = k_1 \frac{M}{W}, \text{ 内边 } \sigma_2 = k_2 \frac{M}{W}$ <p>式中系数 <math>k_1, k_2</math> 由下表查出</p> <table border="1" data-bbox="526 1523 1101 1960"> <thead> <tr> <th rowspan="2">截 面</th> <th rowspan="2">系数</th> <th colspan="6"><math>\frac{R_0}{d}</math> 及 <math>\frac{R_0}{h}</math></th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>1.5</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"></td> <td><math>k_1</math></td> <td>0.730</td> <td>0.820</td> <td>0.860</td> <td>0.910</td> <td>0.930</td> <td>0.950</td> <td>0.96</td> </tr> <tr> <td><math>k_2</math></td> <td>1.6</td> <td>1.361</td> <td>1.261</td> <td>1.171</td> <td>1.121</td> <td>1.091</td> <td>1.08</td> </tr> <tr> <td rowspan="2"></td> <td><math>k_1</math></td> <td>0.750</td> <td>0.820</td> <td>0.860</td> <td>0.920</td> <td>0.960</td> <td>0.970</td> <td>0.98</td> </tr> <tr> <td><math>k_2</math></td> <td>1.531</td> <td>1.291</td> <td>1.211</td> <td>1.121</td> <td>1.091</td> <td>1.061</td> <td>1.05</td> </tr> </tbody> </table>	截 面	系数	$\frac{R_0}{d}$ 及 $\frac{R_0}{h}$						1	1.5	2	3	4	5	6		$k_1$	0.730	0.820	0.860	0.910	0.930	0.950	0.96	$k_2$	1.6	1.361	1.261	1.171	1.121	1.091	1.08		$k_1$	0.750	0.820	0.860	0.920	0.960	0.970	0.98	$k_2$	1.531	1.291	1.211	1.121	1.091	1.061	1.05	<p><math>M</math> —— 作用在杆件上的力矩  <math>M_{\max}</math> —— 杆件上受的最大弯矩  <math>\sigma_N, \sigma_1</math> —— 根据第四强度理论和第一强度理论的合成正应力  <math>h_1</math> —— 截面外边至中性轴距离  <math>h_2</math> —— 截面内边至中性轴距离  <math>R_0</math> —— 截面形心层曲率半径  <math>R_1</math> —— 截面外边缘曲率半径  <math>R_2</math> —— 截面内边缘曲率半径  <math>\theta</math> —— 截面 <math>m-n</math> 与作用载荷的夹角  <math>r</math> —— 中性层曲率半径</p>
截 面	系数			$\frac{R_0}{d}$ 及 $\frac{R_0}{h}$																																															
		1	1.5	2	3	4	5	6																																											
	$k_1$	0.730	0.820	0.860	0.910	0.930	0.950	0.96																																											
	$k_2$	1.6	1.361	1.261	1.171	1.121	1.091	1.08																																											
	$k_1$	0.750	0.820	0.860	0.920	0.960	0.970	0.98																																											
	$k_2$	1.531	1.291	1.211	1.121	1.091	1.061	1.05																																											

表 1-1-94

不同形状截面中性层和形心层的曲率半径值

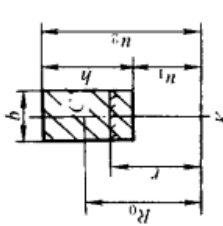
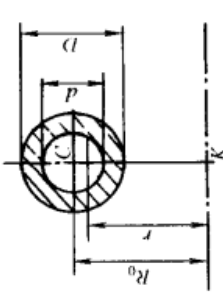
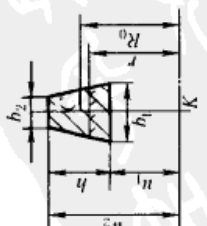
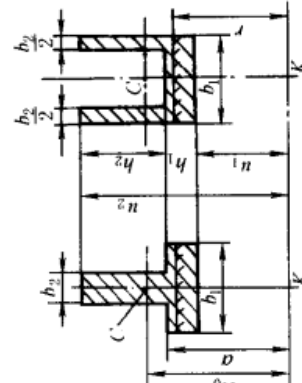
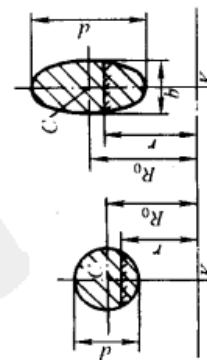
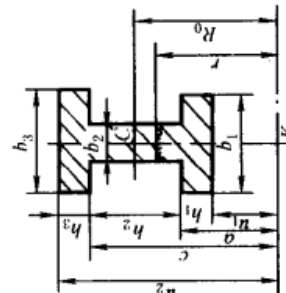
截面形状	中性层的曲率半径 $r$ 形心层的曲率半径 $R_0$	截面形状	中性层的曲率半径 $r$ 形心层的曲率半径 $R_0$
	$r = \frac{h}{\ln \frac{u_2}{u_1}}$ <p><math>C</math>——截面形心;<math>K</math>——曲率中心 (全表相同) <math>R_0 = u_1 + \frac{h}{2}</math></p>		$r = \frac{D^2 - d^2}{8R_0 \left[ \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2R_0}\right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{D}{2R_0}\right)^2} \right]}$
	$r = \frac{(b_1 + b_2)h}{\left[ \frac{b_1 u_2 - b_2 u_1}{h} \right] \ln \frac{u_2}{u_1} - (b_1 - b_2)}$ $R_0 = u_1 + \frac{(b_1 + 2b_2)h}{3(b_1 + b_2)}$		$r = \frac{b_1 h_1 + b_2 h_2}{b_1 \ln \frac{a}{u_1} + b_2 \ln \frac{a}{u_2}}$ $R_0 = u_1 + \frac{\frac{1}{2} b_1 h_1^2 + b_2 h_2 \left( \frac{h_2}{2} + h_1 \right)}{A}$ <p><math>A</math>——面积(下同)</p>
	$r = \frac{d^2}{8R_0 \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2R_0}\right)^2} \right]}$		$r = \frac{b_1 h_1 + b_2 h_2 + b_3 h_3}{b_1 \ln \frac{a}{u_1} + b_2 \ln \frac{c}{a} + b_3 \ln \frac{c}{u_2}}$ $R_0 = u_1 + \frac{\frac{1}{2} b_1 h_1^2 + b_2 h_2 \left( \frac{h_2}{2} + h_1 \right) + b_3 h_3 \left( \frac{h_3}{2} + h_1 + h_2 \right)}{A}$ <p>当 <math>b_1 = b_3, h_1 = h_3</math> 时: <math>R_0 = u_1 + h_1 + \frac{h_2}{2}</math></p>

表 1-1-95 非圆截面直杆自由扭转时的应力和变形计算式 (线弹性范围)

最大扭转切应力  $\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_t}$  (1)

单位杆长相对扭转角  $\theta = \frac{M_t}{GI_t}$  (2)

式中  $M_t$ ——扭矩;  $G$ ——切变模量;  $I_t, W_t$ ——截面抗扭惯性矩和抗扭截面系数

截面形状与扭转切应力分布	$I_t$	$W_t$	附 注																																																												
<p>矩形 (<math>b/a \geq 1</math>)</p>	$I_t = \beta a^3 b$ <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>b/a</math></th> <th>1</th> <th>1.2</th> <th>1.5</th> <th>1.75</th> <th>2</th> <th>2.5</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\alpha</math></td> <td>0.208</td> <td>0.219</td> <td>0.231</td> <td>0.239</td> <td>0.246</td> <td>0.258</td> <td>0.267</td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td>0.141</td> <td>0.166</td> <td>0.196</td> <td>0.214</td> <td>0.229</td> <td>0.249</td> <td>0.263</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma</math></td> <td>1.0</td> <td>0.930</td> <td>0.860</td> <td>0.820</td> <td>0.795</td> <td>0.766</td> <td>0.753</td> </tr> </tbody> </table>	$b/a$	1	1.2	1.5	1.75	2	2.5	3	$\alpha$	0.208	0.219	0.231	0.239	0.246	0.258	0.267	$\beta$	0.141	0.166	0.196	0.214	0.229	0.249	0.263	$\gamma$	1.0	0.930	0.860	0.820	0.795	0.766	0.753	$W_t = \alpha a^2 b$ <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>b/a</math></th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>8</th> <th>10</th> <th><math>\infty</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\alpha</math></td> <td>0.282</td> <td>0.291</td> <td>0.299</td> <td>0.307</td> <td>0.312</td> <td>0.333</td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td>0.281</td> <td>0.291</td> <td>0.299</td> <td>0.307</td> <td>0.312</td> <td>0.333</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma</math></td> <td>0.745</td> <td>0.744</td> <td>0.743</td> <td>0.742</td> <td>0.742</td> <td>0.742</td> </tr> </tbody> </table>	$b/a$	4	5	6	8	10	$\infty$	$\alpha$	0.282	0.291	0.299	0.307	0.312	0.333	$\beta$	0.281	0.291	0.299	0.307	0.312	0.333	$\gamma$	0.745	0.744	0.743	0.742	0.742	0.742	<p><math>\tau_{\max}</math> 在长边中点 A、短边中点 B 的应力为</p> <p><math>\tau_B = \gamma \tau_{\max}</math></p>
$b/a$	1	1.2	1.5	1.75	2	2.5	3																																																								
$\alpha$	0.208	0.219	0.231	0.239	0.246	0.258	0.267																																																								
$\beta$	0.141	0.166	0.196	0.214	0.229	0.249	0.263																																																								
$\gamma$	1.0	0.930	0.860	0.820	0.795	0.766	0.753																																																								
$b/a$	4	5	6	8	10	$\infty$																																																									
$\alpha$	0.282	0.291	0.299	0.307	0.312	0.333																																																									
$\beta$	0.281	0.291	0.299	0.307	0.312	0.333																																																									
$\gamma$	0.745	0.744	0.743	0.742	0.742	0.742																																																									
<p>空心矩形</p> <p>正多边形 (边长为 a)</p>	$I_t = \frac{2t_1(a-t)^2(b-t_1)^2}{a + bt_1 - t^2 - t_1^2}$ $I_t = \begin{cases} 0.02165a^4 & \text{(正三角形)} \\ 1.039a^4 & \text{(正六边形)} \\ 3.658a^4 & \text{(正八边形)} \end{cases}$	<p>长边中点 <math>W_t = 2t_1(a-t)(b-t_1)</math></p> <p>短边中点 <math>W_t = 2t(a-t)(b-t_1)</math></p> $W_t = \begin{cases} 0.05a^3 & \text{(正三角形)} \\ 0.981a^3 & \text{(正六边形)} \\ 2.605a^3 & \text{(正八边形)} \end{cases}$	<p><math>\tau_{\max}</math> 在各边中点</p>																																																												
<p>开口薄壁截面</p> <p>切应力沿厚度线性分布</p>	$I_t = \eta \frac{1}{3} \sum s_i t_i^3$ <p>式中 <math>s_i</math>——第 <math>i</math> 个狭矩形 (直的或弯的) 的长度  <math>t_i</math>——第 <math>i</math> 个狭矩形的厚度  <math>t_{\max}</math>——各狭矩形中的最大厚度  <math>\eta</math>——修正系数</p> $\eta = \begin{cases} 1 & \text{对非型钢和角钢} \\ 1.12 & \text{槽钢} \\ 1.14 & \text{Z型钢} \\ 1.15 & \text{T型钢} \\ 1.20 & \text{工字钢} \end{cases}$	$W_t = I_t / t_{\max}$	<p><math>\tau_{\max}</math> 发生在各狭条矩形中厚度最大处的周边上</p>																																																												
<p>空心椭圆</p> <p>实心椭圆</p>	$I_t = \frac{\pi a^3 (b^4 - b_1^4)}{b(a^2 + b^2)}$ $I_t = \frac{\pi a^3 b^3}{a^2 + b^2}$	$W_t = \frac{\pi (ab^3 - a_1 b_1^3)}{2b}$ $W_t = \frac{\pi ab^2}{2}$	<p><math>\tau_{\max}</math> 在 A 点、B 点应力为</p> <p><math>\tau_B = \frac{b}{a} \tau_{\max}</math></p>																																																												

注: 截面周边各点切应力方向与周边相切, 凸角点切应力为零, 凹角点有应力集中现象。

受静荷载梁的内力及变位计算公式<sup>[15.16]</sup>

表 1-1-96

符号意义及正负号规定	简图
<p><math>P</math>——集中荷载  <math>q</math>——均布荷载  <math>R</math>——支座反力,作用方向向上者为正  <math>Q</math>——剪力,对邻近截面所产生的力矩沿顺时针方向者为正  <math>M</math>——弯矩,使截面上部受压,下部受拉者为正  <math>\theta</math>——转角;顺时针方向旋转者为正  <math>f</math>——挠度,向下变位者为正  <math>E</math>——弹性模量  <math>I</math>——截面的轴惯性矩</p>	



1. 悬臂梁

$$\xi = \frac{x}{l}; \alpha = \frac{a}{l}; \beta = \frac{b}{l}; \gamma = \frac{c}{l}$$

$a, b, c$ ——见各栏图中所示

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_B = P$ $M_B = -Pl$		$Q_x = -P$	$M_x = -Px$	$f_x = \frac{Pl^3}{6EI}(2 - 3\xi + \xi^3)$ $f_A = \frac{Pl^3}{3EI}$	$\theta_x = -\frac{Pl^2}{2EI}(1 - \xi^2)$ $\theta_A = -\frac{Pl^2}{2EI}$
	$R_B = P$ $M_B = -Pb$	AC	$Q_x = 0$	$M_x = 0$	$f_x = \frac{Pb^2}{6EI}(3 - \beta - 3\xi)$	
		CB	$Q_x = -P$	$M_x = -P(x - a)$	$f_x = \frac{Pb^2}{6EI} \left[ 2 - 3\frac{x-a}{b} + \frac{(x-a)^3}{b^3} \right]$ $f_A = \frac{Pb^2}{6EI}(3 - \beta)$	$\theta_A = -\frac{Pb^2}{2EI}$

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_B = nP$ $M_B = -\frac{n+1}{2} \times Pl$				$f_A = \frac{3n^2 + 4n + 1}{24nEI} Pl^3$ $\theta_A = -\frac{2n^2 + 3n + 1}{12nEI} Pl^2$	
	$R_B = ql$ $M_B = -\frac{ql^2}{2}$		$Q_x = -qx$	$M_x = -\frac{qx^2}{2}$	$f_x = \frac{ql^4}{24EI} (3 - 4\xi + \xi^4)$ $f_A = \frac{ql^4}{8EI}$	$\theta_x = -\frac{ql^3}{6EI} (1 - \xi^3)$ $\theta_A = -\frac{ql^3}{6EI}$
	$R_B = qc$ $M_B = -qcb$	AC	$Q_x = 0$	$M_x = 0$	$f_x = \frac{qc}{24EI} [12b^2l - 4b^3 + ac^2 - (12b^2 + c^2)x]$	$\theta_x = \theta_A = -\frac{qc}{24EI} (12b^2 + c^2)$
		CD	$Q_x = -q(x-d)$	$M_x = -\frac{q}{2}(x-d)^2$	$f_x = \frac{qc}{24EI} \left[ \frac{12b^2l - 4b^3 + ac^2 - (12b^2 + c^2)x + (x-d)^4}{c} \right]$	$\theta_x = -\frac{qc}{24EI} \left[ 12b^2 + c^2 - \frac{4(x-d)^3}{c} \right]$
		DB	$Q_x = -qc$	$M_x = -qc(x-a)$	$f_x = \frac{qc}{6EI} [3b^2l - b^3 - 3b^2x + (x-a)^3]$ $f_A = \frac{qc}{24EI} (12b^2l - 4b^3 + ac^2)$	$\theta_x = -\frac{qc}{24EI} [b^2 - (x-a)^2]$
	$R_B = \frac{ql}{2}$ $M_B = -\frac{ql^2}{6}$		$Q_x = -\frac{qx^2}{2l}$	$M_x = -\frac{qx^3}{6l}$	$f_x = \frac{ql^4}{120EI} (4 - 5\xi + \xi^5)$ $f_A = \frac{ql^4}{30EI}$	$\theta_x = -\frac{ql^3}{24EI} (1 - \xi^4)$ $\theta_A = -\frac{ql^3}{24EI}$

续表

简图	支座反力、支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_B = \frac{ql}{2}$ $M_B = -\frac{ql^2}{4}$	AC	$Q_x = -\frac{qx^2}{l}$	$M_x = -\frac{qx^3}{3l}$	$f_A = \frac{11ql^4}{192EI}$	$\theta_A = -\frac{7ql^3}{96EI}$
		CB	$Q_x = \frac{ql}{2}(1 - 4\xi + 2\xi^2)$	$M_x = -\frac{ql^2}{12}(1 - 6\xi + 12\xi^2 - 4\xi^3)$		
	$R_B = 0$ $M_B = M_x = -M$		$Q_x = 0$	$M_x = -M$	$f_x = \frac{Ml^2}{2EI}(1 - \xi)^2$ $f_A = \frac{Ml^2}{2EI}$	$\theta_x = -\frac{Ml}{EI}(1 - \xi)$ $\theta_A = -\frac{Ml}{EI}$
<p>2. 简支梁</p>						
	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$	AC	$Q_x = \frac{P}{2}$	$M_x = \frac{Px}{2}$ $M_C = M_{max} = \frac{Pl}{4}$	$f_x = \frac{Pl^2x}{48EI}(3 - 4\xi^2)$ $f_C = f_{max} = \frac{Pl^3}{48EI}$	$\theta_x = \frac{Pl^2}{16EI}(1 - 4\xi^2)$ $\theta_A = -\theta_B = \frac{Pl^2}{16EI}$
		CB	$Q_x = -\frac{P}{2}$	$M_x = \frac{Pl}{2}(1 - \xi)$ $= \frac{Pl}{2}\xi$	$f_x = \frac{Pbl^2}{6EI}(\omega_{D\xi} - \beta^2\xi)$	$\theta_x = -\frac{Pbl}{6EI}(\omega_{M\xi} + \beta^2)$ $\theta_A = \frac{Pbl}{6EI}(1 - \beta^2) = \frac{Pl^2}{6EI}\omega_{D\beta}$
	$R_A = \frac{Pb}{l}$ $R_B = \frac{Pa}{l}$	AC	$Q_x = \frac{Pb}{l}$	$M_x = \frac{Pbx}{l}$	$f_x = \frac{Pa^2b^2}{3EI}(1 - \alpha^2\xi)$ $f_C = \frac{Pa^2b^2}{3EI} = \frac{Pl^3}{3EI}\omega_{R\alpha}$	$\theta_x = \frac{Pbl}{6EI}(\omega_{M\xi} + \beta^2)$ $\theta_A = \frac{Pbl}{6EI}(1 - \beta^2) = \frac{Pl^2}{6EI}\omega_{D\beta}$
		CB	$Q_x = -\frac{Pa}{l}$	$M_x = Pa\xi$ $M_C = M_{max} = \frac{Pab}{l}$	$f_x = \frac{Pa^2}{6EI}(\omega_{D\xi} - \alpha^2\xi)$ 若 $a > b$ , 当 $x = \sqrt{\frac{a}{3}(a+2b)}$ 则 $f_{max} = \frac{Pb}{9EI}\sqrt{\frac{(a^2+2ab)^3}{3}}$	$\theta_x = \frac{Pbl}{6EI}(\omega_{M\xi} + \alpha^2)$ $\theta_B = -\frac{Pbl}{6EI}(1 - \alpha^2) = -\frac{Pl^2}{6EI}\omega_{D\alpha}$



2. 简支梁

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = R_B = P$	AC	$Q_x = P$	$M_x = Px$	$f_x = \frac{Pl^2x}{6EI} (3\omega_{R_0} - \xi^2)$	$\theta_A = \frac{Pl^2}{2EI} (\omega_{R_0} - \xi^2)$
		CD	$Q_x = 0$	$M_x = M_{\max} = Pa$	$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EI} (3 - 4\alpha^2)$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{Pal}{2EI} (1 - \alpha)$ $= \frac{Pl^2}{2EI} \omega_{R_0}$
	$R_A = \frac{P}{l} (2c + b)$ $R_B = \frac{P}{l} (2a + b)$	AC	$Q_x = \frac{P}{l} \times (2c + b)$	$M_x = \frac{P}{l} (2c + b)x$	$f_x = \frac{Pa}{6EI} [(2a+c)^2 - 4a^2l + 2a^3 - a^2c - c^3]$	$\theta_A = \frac{P}{6EI} [(2a+c)^2 - 3a^2l + a^3 - c^3]$
		CD	$Q_x = \frac{P}{l} \times (c - a)$	$M_x = \frac{P}{l} [(c-a)x + a]$	$f_b = \frac{Pc}{6EI} [(2c+a)^2 - 4c^2l + 2c^3 - ac^2 - a^3]$	$\theta_B = -\frac{P}{6EI} [(2c+a)^2 - 3c^2l + c^3 - a^3]$
		DB	$Q_x = -\frac{P}{l} \times (2a + b)$	$M_x = \frac{P}{l} (2a + b) \times (l - x)$ 若 $a > c$ : $M_C = M_{\max} = \frac{Pa}{l} \times (2c + b)$		
	$R_A = R_B = \frac{n-1}{2} P$				当 $n$ 为奇数: $f_{\max} = \frac{5n^4 - 4n^2 - 1}{384n^3 EI} Pl^3$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{n^2 - 1}{24nEI} Pl^2$
					当 $n$ 为偶数: $f_{\max} = \frac{5n^2 - 4}{384nEI} Pl^3$	

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = R_B = \frac{n}{2} P$			当 n 为奇数: $M_{\max} = \frac{n^2 + 1}{8n} \times Pl$ 当 n 为偶数: $M_{\max} = \frac{n}{8} Pl$	当 n 为奇数: $f_{\max} = \frac{5n^4 + 2n^2 + 1}{384n^3} Pl^3$ 当 n 为偶数: $f_{\max} = \frac{5n^2 + 2}{384n} Pl^3$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{2n^2 + 1}{48nEI} Pl^2$
	$R_A = R_B = \frac{ql}{2}$		$Q_x = \frac{ql}{2}(1 - 2\xi)$	$M_x = \frac{qlx}{2}(1 - \xi)$ $= \frac{q^2}{2} \omega_{R\xi}$ $M_{\max} = \frac{ql^2}{8}$	$f_x = \frac{ql^3}{24EI}(1 - 2\xi^2 + \xi^3) = \frac{ql^4}{24EI} \omega_{S\xi}$ $f_{\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$	$\theta_x = \frac{ql^2}{24EI}(1 - 6\xi^2 + 4\xi^3)$ $\theta_A = -\theta_B = \frac{ql^3}{24EI}$
	$R_A = R_B = qa$	AC	$Q_x = q(a - x)$	$M_x = \frac{qx}{2}(2a - x)$	$f_{\max} = \frac{qa^2 l^2}{48EI}(3 - 2\alpha^2)$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{qa^2 l}{12EI}(3 - 2\alpha)$
		CD	$Q_x = 0$	$M_x = M_{\max} = \frac{qa^2}{2}$		
	$R_A = R_B = \frac{qc}{2}$	AC	$Q_x = \frac{qc}{2}$	$M_x = \frac{qcx}{2}$	$f_x = \frac{qcl^2}{48EI}(3 - \gamma^2 - 4\xi^2)$	$\theta_x = \frac{qcl^2}{48EI}(3 - \gamma^2 - 12\xi^2)$
		CD	$Q_x = \frac{q}{2} [cx - 2 \times (x - a)]$	$M_x = \frac{q}{2} [cx - (x - a)^2]$	$f_x = \frac{qcl^3}{48EI} \left[ (3 - \gamma^2 - 4\xi^2) \xi + \frac{2(x-a)^4}{c^3} \right]$	$\theta_x = \frac{qcl^2}{48EI} \left[ 3 - \gamma^2 - 12\xi^2 + \frac{8(x-a)^3}{c^2} \right]$
				$M_{\max} = \frac{qcl}{8}(2 - \gamma)$	$f_{\max} = \frac{qcl^3}{384EI}(8 - 4\gamma^2 + \gamma^3)$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{qcl^2}{48EI}(3 - \gamma^2)$



续表

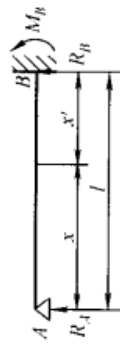
简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = \frac{qcb}{l}$ $R_B = \frac{qca}{l}$	AC	$Q_x = \frac{qcb}{l}$	$M_x = \frac{qcbx}{l}$	$f_x = \frac{qcb}{24EI} \left[ \left( 4l - 4\frac{b^2}{l} - \frac{c^2}{l} \right) x - 4\frac{x^3}{l} \right]$	$\theta_x = \frac{qcb}{24EI} \left( 4l - 4\frac{b^2}{l} - \frac{c^2}{l} - 12\frac{x^2}{l} \right)$
		CD	$Q_x = qc \left( \frac{b}{l} - \frac{x-d}{c} \right)$	$M_x = qc \left[ \frac{bx}{l} - \frac{(x-d)^2}{2c} \right]$	$f_x = \frac{qcb}{24EI} \left[ \left( 4l - 4\frac{b^2}{l} - \frac{c^2}{l} \right) x - 4\frac{x^3}{l} + \frac{(x-d)^4}{bc} \right]$	$\theta_x = \frac{qcb}{24EI} x \left[ 4l - 4\frac{b^2}{l} - \frac{c^2}{l} - 12\frac{x^2}{l} + 4\frac{(x-d)^3}{bc} \right]$
		DB	$Q_x = -\frac{qca}{l}$	$M_x = qca \left( 1 - \frac{x}{l} \right)$	$f_x = \frac{qc}{24EI} \left[ 4b \left( 1 - \frac{b^2}{l} \right) x - 4\frac{bx^3}{l} + 4 \left( x - a \right)^3 - ac^2 \left( 1 - \frac{x}{l} \right) \right]$	$\theta_x = \frac{qc}{24EI} x \left[ 4b \left( 1 - \frac{b^2}{l} + \frac{ac^2}{l} - 12\frac{bx^2}{l} + 12(x-a)^2 \right) \right]$
	$R_A = R_B = qc$	AC	$Q_x = qc$	$M_x = qcax$	$f_x = \frac{qc}{2EI} \left[ \left( lb - b^2 - \frac{c^2}{12} \right) x - \frac{x^3}{3} \right]$	$\theta_x = \frac{qc}{2EI} \left( lb - b^2 - \frac{c^2}{12} - x^2 \right)$
		CD	$Q_x = qc \left( 1 - \frac{x-a}{c} \right)$	$M_x = qc \left[ x - \frac{(x-a)^2}{2c} \right]$	$f_x = \frac{qc}{2EI} \left[ \left( lb - b^2 - \frac{c^2}{12} \right) x - \frac{x^3}{3} + \frac{(x-a)^4}{12c} \right]$	$\theta_x = \frac{qc}{2EI} \left[ lb - b^2 - \frac{c^2}{12} - x^2 + \frac{(x-a)^3}{3c} \right]$
		DE	$Q_x = 0$	$M_x = M_{\max} = qcb$	$f_x = \frac{qcb}{2EI} \left( lx - x^2 - \frac{b^2}{3} - \frac{c^2}{12} \right)$	$\theta_x = \frac{qcb}{2EI} (l - 2x)$
	$R_A = \frac{ql}{6}$ $R_B = \frac{ql}{3}$		$Q_x = \frac{ql}{6} (1 - 3\xi^2)$	$M_x = \frac{qlx}{6} (1 - \xi^2)$	$f_x = \frac{ql^3 x}{360EI} (7 - 10\xi^2 + 3\xi^4)$	$\theta_x = \frac{ql^3}{360EI} (7 - 30\xi^2 + 15\xi^4)$
			$Q_x = -\frac{ql}{6} \omega_{M\xi}$	$M_{\max} = \frac{ql^2}{6} \omega_{M\xi}$	$M_{\max} = \frac{ql^2}{9\sqrt{3}}$	$f_{\max} = \frac{ql^3}{2EI} \left( \frac{l^2}{4} - \frac{b^2}{3} - \frac{c^2}{12} \right)$

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = R_B = \frac{ql}{4}$	$Q_x = \frac{ql}{4}(1 - 4\xi^2)$	$M_x = \frac{qlx}{12}(3 - 4\xi^2)$	$f_x = \frac{ql^3}{120EI} \left( \frac{25}{8} - 5\xi^2 + 2\xi^4 \right)$	$\theta_x = \frac{ql^2}{24EI} \left( \frac{5}{8} - 3\xi^2 + 2\xi^4 \right)$
		$M_{\max} = \frac{ql^2}{12}$	$M_{\max} = \frac{ql^2}{12}$	$f_{\max} = \frac{ql^4}{120EI}$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{5ql^3}{192EI}$
	$R_A = \frac{ql}{6}(1 + \beta)$	$Q_x = -\frac{ql^2}{6a}x$ $(\beta^2 + \omega_{M\xi})$	$M_x = \frac{ql^3}{6a}(\omega_{D\xi} - \beta^2\xi)$	$f_c = \frac{ql^4}{45EI} [4(\alpha^5 + \beta^5) - 9(\alpha^4 + \beta^4) + 5(\alpha^3 + \beta^3)]$	$\theta_A = \frac{ql^3}{360EI}(1 + \beta)(7 - 3\beta^2)$ $\theta_B = -\frac{ql^3}{360EI}(1 + \alpha)(7 - 3\alpha^2)$
	$R_B = \frac{ql}{6}(1 + \alpha)$	$Q = \frac{ql^2}{6b}x$ $(\alpha^2 + \omega_{M\xi})$	$M_x = \frac{ql^3}{6b}(\omega_{D\xi} - \alpha^2\xi)$		
			若 $a > b$ , 当 $x = \sqrt{\frac{a(l+b)}{3}}$ ; $M_{\max} = \frac{q}{9} \sqrt{\frac{a(l+b)^3}{3}}$		
	$R_A = -R_B = \frac{M}{l}$	$Q_x = -\frac{M}{l}$	$M_x = M(1 - \xi)$ $M_{\max} = M$	$f_x = \frac{Ml^2}{6EI}(2 - 3\xi + \xi^2) = \frac{Ml^2}{6EI}\omega_{D\xi}$ 若 $x = 0.423l$ ; $f_{\max} = 0.0642 \frac{Ml^2}{EI}$	$\theta_A = \frac{Ml}{3EI}$ $\theta_B = -\frac{Ml}{6EI}$ $\theta_x = \frac{Ml}{6EI}(2 - 6\xi + 3\xi^2) = \frac{M}{6EI}\omega_{M\xi}$
	$M_0 = M_2 - M_1$ $R_A = -R_B = -\frac{M_0}{l}$	$Q_x = \frac{M_0}{l}$	$M_x = M_1 + M_0 \frac{x}{l}$ 若 $M_1 > M_2$ ; $M_{\max} = M_1$	$f_x = \frac{l^2}{6EI}(3M_1\omega_{M\xi} + M_0\omega_{D\xi})$	$\theta_x = \frac{l}{6EI}[3M_1(1 - 2\xi) - M_0\omega_{M\xi}]$ $\theta_A = \frac{(2M_1 + M_2)l}{6EI}$ $\theta_B = -\frac{(M_1 + 2M_2)l}{6EI}$

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = -R_B$ $M = \frac{M}{l}$	AC	$Q_x = \frac{M}{l}$	$M_x = M\xi$ $M_{C右} = M\alpha$	$f_x = \frac{Ml^2}{6EI}(\omega_{0\xi} - 3\beta^2\xi)$	$\theta_x = -\frac{Ml}{6EI}(\omega_{0\xi} + 3\beta^2)$
		CB		$M_x = -M\xi$ $M_{C左} = -M\beta$	$f_x = -\frac{Ml^2}{6EI}(\omega_{0\xi} - 3\alpha^2\xi)$	$\theta_x = \frac{Ml}{6EI}(\omega_{0\xi} + 3\alpha^2)$
						$\theta_A = \frac{Ml}{6EI}(1 - 3\beta^2) = -\frac{Ml}{6EI}\omega_{0B}$ $\theta_B = \frac{Ml}{6EI}(1 - 3\alpha^2) = -\frac{Ml}{6EI}\omega_{0A}$



3. 一端简支另一端固定梁

$\xi = \frac{x}{l}; \zeta = \frac{x'}{l}; \alpha = \frac{a}{l}; \beta = \frac{b}{l}; \gamma = \frac{c}{l}; \omega$  值见表 1-1-97; a, b, c —— 见各栏图中所示

	$R_A = \frac{5P}{16}$	AC	$Q_x = \frac{5P}{16}$	$M_x = \frac{5Px}{16}$	$f_x = \frac{Pl^2x}{96EI}(3 - 5\xi^2)$	$\theta_A = \frac{Pl^2}{32EI}$
	$R_B = \frac{11P}{16}$	CB	$Q_x = -\frac{11P}{16}$	$M_x = \frac{Pl}{16}(8 - 11\xi)$	$f_x = \frac{Pl^2}{96EI}(-2 + 15\xi - 24\xi^2 + 11\xi^3)$	
				$M_B = -\frac{3Pl}{16}$ $M_C = M_{max} = \frac{5Pl}{32}$	$f_c = \frac{7Pl^3}{768EI}$ 当 $x = 0.447l; f_{max} = 0.00932 \frac{Pl^3}{EI}$	
	$R_A = \frac{Pb^2}{2l^2}(3 - \beta)$ $R_B = \frac{Pa^2}{2l}(3 - \alpha^2)$	AC	$Q_x = R_A$	$M_x = R_A x$	$f_x = \frac{1}{6EI}[R_A(3l^2x - x^3) - 3Plb^2x]$	$\theta_A = \frac{Pab^2}{4EI} - \frac{Pl^2}{4EI}\omega_{0B}$
	$M_B = -\frac{Pab}{2l}(1 + \alpha)$ $= -\frac{Pl}{2}x\omega_{0a}$	CB	$Q_x = R_A - P$	$M_x = R_A x - P(x - a)$	$f_x = \frac{1}{6EI}[R_A(3l^2x - x^3) - 3Plb^2x + P(x - a)^3]$	
				$M_C = M_{max} = \frac{Pab^2}{2l^2}(3 - \beta)$ $= \frac{Pl}{2}(3 - \beta)\omega_{0B}$		

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = \frac{P}{2} (2 - 3\alpha + 3\alpha^2)$ $= \frac{P}{2} (2 - 3\omega_{R\alpha})$ $R_B = \frac{P}{2} (2 + 3\alpha - 3\alpha^2)$ $= \frac{P}{2} (2 + 3\omega_{R\alpha})$ $M_B = -\frac{3Pa}{2} \times (1 - \alpha)$ $= -\frac{3Pl}{2} \times \omega_{R\alpha}$	AC	$Q_x = R_A$	$M_x = R_A x$	$f_x = \frac{1}{6EI} [R_A (3l^2 x - x^3) - 3P(l^2 - 2al + 2a^2)x]$	$\theta_A = \frac{Pal}{4EI} (1 - \alpha) = \frac{Pl^2}{4EI} \omega_{R\alpha}$
		CD	$Q_x = R_A - P$	$M_x = R_A x - P(x - a)$	$f_x = \frac{1}{6EI} [R_A (3l^2 x - x^3) - 3P(l^2 - 2al + 2a^2)x + P(x - a)^3]$	
		DB	$Q_x = R_A - 2P$	$M_x = R_A x - P(2x - l)$	$f_x = \frac{1}{6EI} [R_A (3l^2 x - x^3) - 2l^3] + P(l^3 - 3lx^2 + 2x^3)$	
				$M_C = M_{\max} = R_A a$	$f_C = \frac{Pa^2 l}{12EI} (3 - 5\alpha + 3\omega_{R\alpha})$	
	$R_A = \frac{3ql}{8}$ $R_B = \frac{5ql}{8}$ $M_B = -\frac{ql^2}{8}$		$Q_x = \frac{ql}{8} (3 - 8\xi)$	$M_x = \frac{qlx}{8} (3 - 4\xi)$ 当 $x = \frac{3}{8}l$ ; $M_{\max} = \frac{9ql^2}{128}$	$f_x = \frac{ql^3 x}{48EI} (1 - 3\xi^2 + 2\xi^3)$ $= \frac{ql^4}{48EI} (2\omega_{\xi} - \omega_{D\xi})$ 当 $x = 0.422l$ ; $f_{\max} = 0.00542 \frac{ql^4}{EI}$	$\theta_x = \frac{ql^3}{48EI} (1 - 9\xi^2 + 8\xi^3)$ $\theta_A = \frac{ql^3}{48EI}$
		AC	$Q_x = R_A$	$M_x = R_A x$	$f_x = \frac{1}{24EI} [4R_A (3l^2 x - x^3) - qc(12b^2 + c^2)x]$	$\theta_A = \frac{1}{24EI} [12R_A l^2 - qc(12b^2 + c^2)]$
		CD	$Q_x = R_A - q(x - d)$	$M_x = R_A x - \frac{q}{2} (x - d)^2$	$f_x = \frac{1}{24EI} [4R_A (3l^2 x - x^3) - qc(12b^2 + c^2)x + q(x - d)^4]$	
DB	$Q_x = R_A - qc$	$M_x = R_A x - qc(x - a)$	$f_x = \frac{1}{24EI} [4R_A (3l^2 x - x^3) - 12qcb^2 x + 4qc(x - a)^3 - qac^3]$			
				当 $x = d + \frac{R_A}{q}$ ; $M_{\max} = R_A \times \left( d + \frac{R_A}{2q} \right)$		
	$R_A = \frac{qc}{8l^3} \times (12b^2 l - 4b^3 + ac^2)$ $R_B = qc - R_A$ $M_B = R_A l - qcb$					
		AC	$Q_x = R_A$	$M_x = R_A x$	$f_x = \frac{1}{24EI} [4R_A (3l^2 x - x^3) - qc(12b^2 + c^2)x]$	$\theta_A = \frac{1}{24EI} [12R_A l^2 - qc(12b^2 + c^2)]$
		CD	$Q_x = R_A - q(x - d)$	$M_x = R_A x - \frac{q}{2} (x - d)^2$	$f_x = \frac{1}{24EI} [4R_A (3l^2 x - x^3) - qc(12b^2 + c^2)x + q(x - d)^4]$	
DB	$Q_x = R_A - qc$	$M_x = R_A x - qc(x - a)$	$f_x = \frac{1}{24EI} [4R_A (3l^2 x - x^3) - 12qcb^2 x + 4qc(x - a)^3 - qac^3]$			
				当 $x = d + \frac{R_A}{q}$ ; $M_{\max} = R_A \times \left( d + \frac{R_A}{2q} \right)$		

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = \frac{ql}{10}$ $R_B = \frac{2ql}{5}$ $M_B = -\frac{ql^2}{15}$		$Q_x = \frac{ql}{10} \times (1 - 5\xi^2)$	$M_x = \frac{qlx}{30} (3 - 5\xi^2)$ 当 $x = 0.447l$ ; $M_{\max} = 0.0298ql^2$	$f_x = \frac{ql^3x}{120EI} (1 - 2\xi^2 + \xi^4)$ 当 $x = 0.447l$ ; $f_{\max} = 0.00239 \frac{ql^4}{EI}$	$\theta_A = \frac{ql^3}{120EI} (1 - 6\xi^2 + 5\xi^4)$ $\theta_A = \frac{ql^3}{120EI}$
	$R_A = \frac{11ql}{40}$ $R_B = \frac{9ql}{40}$ $M_B = -\frac{7ql^2}{120}$		$Q_x = \frac{ql}{2} \left( \frac{11}{20} - 2\xi + \xi^2 \right)$	$M_x = \frac{qlx}{6} \left( \frac{33}{20} - 3\xi + \xi^2 \right)$ 当 $x = 0.329l$ ; $M_{\max} = 0.0423ql^2$	$f_x = \frac{ql^3x}{240EI} (3 - 11\xi^2 + 10\xi^3 - 2\xi^4)$ 当 $x = 0.402l$ ; $f_{\max} = 0.00305 \frac{ql^4}{EI}$	$\theta_A = \frac{ql^3}{240EI} (3 - 33\xi^2 + 40\xi^3 - 10\xi^4)$ $\theta_A = \frac{ql^3}{80EI}$
	$R_A = \frac{11ql}{64}$ $R_B = \frac{21ql}{64}$ $M_B = -\frac{5ql^2}{64}$	AC	$Q_x = ql \left( \frac{11}{64} - \xi^2 \right)$	当 $x = 0.415l$ ; $M_{\max} = 0.0475ql^2$	当 $x = 0.430l$ ; $f_{\max} = 0.00357 \frac{ql^4}{EI}$	$\theta_A = \frac{5ql^3}{384EI}$

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = -R_B = -\frac{3M}{2l}$ $M_B = -\frac{M}{2}$		$Q_x = -\frac{3M}{2l}$	$M_x = \frac{M}{2}(2-3\xi)$ $M_A = M_{\max} = M$	$f_x = \frac{Mlx}{4EI}(1-2\xi+\xi^2) = \frac{Ml^2}{4EI}\omega_{+\xi}$ 当 $x = \frac{l}{3}$ : $f_{\max} = \frac{Ml^2}{27EI}$	$\theta_x = \frac{Ml}{4EI}(1-4\xi+3\xi^2)$ $\theta_A = \frac{Ml}{4EI}$
	$R_A = -R_B$ $= -\frac{3M}{2l} \times (1-\alpha^2)$ $M_B = -\frac{M}{2}(1-3\alpha^2)$ $= \frac{M}{2}\omega_{D\alpha}$	AC	$Q_x = R_A$	$M_x = \frac{3M}{2}(1-\alpha^2)\xi$	$f_x = \frac{Ml^2}{4EI}[(1-4\alpha+3\alpha^2)\xi + (1-\alpha^2)\xi^3]$	$\theta_A = \frac{Ml}{4EI}(1-4\alpha+3\alpha^2)$
		CB		$M_x = \frac{M}{2}[2-3(1-\alpha^2)\xi]$	$f_x = \frac{Ml^2}{4EI}[(1-\xi)^2\xi - (2-3\xi+\xi^2)\alpha^2]$	
				$M_{C\xi} = -\frac{3M}{2}(\alpha-\alpha^3)$ $= -\frac{3M}{2}\omega_{D\alpha}$ $M_{C\xi} = M_{\max} = M + M_{C\xi}$		

$\xi = \frac{x}{l}$ ;  $\xi = \frac{x'}{l}$ ;  $\alpha = \frac{a}{l}$ ;  $\beta = \frac{b}{l}$ ;  $\gamma = \frac{c}{l}$ ;  $\omega$  值见表 1-1-97;  $a, b, c$ ——见各栏图中所示



4. 两端固定梁

	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$ $M_A = M_B = -\frac{Pl}{8}$	AC	$Q_x = \frac{P}{2}$	$M_x = -\frac{Pl}{8}(1-4\xi)$ $M_{\max} = \frac{Pl}{8}$ 反弯点在 $x = \frac{l}{4}$ 及 $x = \frac{3l}{4}$ 处	$f_x = \frac{Plx^2}{48EI}(3-4\xi)$ $f_{\max} = \frac{Pl^3}{192EI}$	
--	--	----	---------------------	---	---	--

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = R_B = P$ $M_A = M_B$ $= -Pa(1-\alpha)$ $= -Pl\omega_{Ra}$	AC	$Q_x = P$	$M_x = Pl(\xi - \omega_{Ra})$	$f_x = \frac{Plx^2}{6EI}(3\omega_{Ra} - \xi)$	
		CD	$Q_x = 0$	$M_x = M_{\max} = \frac{Pa^2}{l}$	$f_{\max} = \frac{Pa^2l}{24EI}(3-4\alpha)$	
	$R_A = \frac{Pb^2}{l^2} \times (1+2\alpha)$ $R_B = \frac{Pa^2}{l^2} \times (1+2\beta)$ $M_A = -\frac{Pab^2}{l^2}$ $= -Pl\omega_{\beta}$ $M_B = -\frac{Pa^2b}{l^2}$ $= -Pl\omega_{\alpha}$	AC	$Q_x = R_A$	$M_x = M_A + R_A x$	$f_x = \frac{Pb^2x^2}{6EI}[3\alpha - (1+2\alpha)\xi]$	
		CB	$Q_x = R_A - P$	$M_x = M_A + R_A x - P(x-a)$	$f_x = -\frac{Pa^2(1-x)^2}{6EI}[\alpha - (1+2\beta)\xi]$	
	$R_A = R_B$ $= \frac{n-1}{2}P$ $M_A = M_B$ $= -\frac{n^2-1}{12n}Pl$					
					$M_C = M_{\max}$ $= \frac{2Pa^2b^2}{l^3}$ $= 2Pl\omega_{Ra}$	$f_C = \frac{Pa^3b^3}{3EI} - \frac{Pl^3}{3EI}\omega_{Ra}$ 若 $a > b$ , 当 $x = \frac{2al}{3a+b}$ ; $f_{\max} = \frac{2P}{3EI} \times \frac{a^3b^3}{(3a+b)^2}$
				当 $n$ 为奇数: $M_{\max} = \frac{n^2-1}{24n}Pl$ 当 $n$ 为偶数: $M_{\max} = \frac{n^2+2}{24n}Pl$	当 $n$ 为奇数: $f_{\max} = \frac{n^4-1}{384n^3EI}Pl^3$ 当 $n$ 为偶数: $f_{\max} = \frac{nPl^3}{384EI}$	

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = R_B = \frac{nP}{2}$ $M_A = M_B = -\frac{2n^2 + 1}{24n}Pl$		<p>当 <math>n</math> 为奇数:</p> $M_{\max} = \frac{n^2 + 2}{24n}Pl$ <p>当 <math>n</math> 为偶数:</p> $M_{\max} = \frac{n^2 - 1}{24n}Pl$	<p>当 <math>n</math> 为奇数:</p> $f_{\max} = \frac{n^4 + 1}{384n^3} \frac{Pl^3}{EI}$ <p>当 <math>n</math> 为偶数:</p> $f_{\max} = \frac{nPl^3}{384EI}$	
	$R_A = R_B = \frac{ql}{2}$ $M_A = M_B = -\frac{ql^2}{12}$	$Q_x = \frac{ql}{2}(1 - 2\xi)$	$M_x = \frac{ql^2}{12}(6\omega_{R\xi} - 1)$ $M_{\max} = \frac{ql^2}{24}$ <p>反弯点在 <math>x = 0.211l</math> 及 <math>x = 0.789l</math> 处</p>	$f_x = \frac{ql^2 x^2}{24EI}(1 - \xi)^2 = \frac{ql^4}{24EI}\omega_{R\xi}^2$ $f_{\max} = \frac{ql^4}{384EI}$	
	$R_A = R_B = qa$ $M_A = M_B = -\frac{qa^2}{6}(3 - 2\alpha)$	$Q_x = qa\left(1 - \frac{x}{a}\right)$	$M_x = \frac{qa^2}{6}(-3 + 2\alpha + 6\frac{x}{a} - 3\frac{x^2}{a^2})$	$f_x = \frac{qa^2 x^2}{24EI}\left(6 - 4\alpha - 4\frac{x}{a} + \frac{x^2}{a^2}\right)$	
		$Q_x = 0$	$M_x = M_{\max} = \frac{qa^3}{3l}$	$f_x = \frac{qa^3 l}{24EI}(4\omega_{R\xi} - \alpha)$	$f_{\max} = \frac{qa^3 l}{24EI}(1 - \alpha) = \frac{qa^3 l^3}{24EI}\omega_{R\alpha}$





续表

简图	支座反力、 支座反力矩	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = R_B = \frac{qc}{2}$ $M_A = M_B = -\frac{qc^2}{24}(3-\gamma^2)$	AC	$M_x = \frac{qc}{24} \times (-3 + \gamma^2 + 12\xi)$	$f_x = \frac{qc^3}{48EI} [(3-\gamma^2)\xi^2 - 4\xi^3]$	
		CD	$Q_x = \frac{qc}{2} \times \left[ 1 - \frac{2(x-a)}{c} \right]$ $M_{\max} = \frac{lqc}{24} (3 - 3\gamma + \gamma^2)$	$M_x = \frac{qc^2}{48EI} \left[ (3-\gamma^2)\xi^2 - 4\xi^3 + 2\frac{(x-a)^4}{c^3} \right]$	
	$R_A = \frac{qc}{4l^3} (12b^2l - 8b^3 + c^2l - 2bc^2)$ $R_B = qc - R_A$ $M_A = -\frac{qc}{12l^2} \times (12ab^2 - 3bc^2 + c^2l)$ $M_B = -\frac{qc}{12l^2} \times (12a^2b + 3bc^2 - 2c^2l)$	AC	$Q_x = R_A$ $M_x = M_A + R_A x$	$f_x = \frac{1}{6EI} (-R_A x^3 - 3M_A x^2)$	
		CD	$Q_x = R_A - q(x-d)$ $M_x = M_A + R_A x - \frac{q(x-d)^2}{2}$	$f_x = \frac{1}{6EI} \left[ -R_A x^3 - 3M_A x^2 + \frac{q(x-d)^4}{4} \right]$	
		DB	$Q_x = R_A - qc$ $M_x = M_A + R_A x - qc(x-a)$	$f_x = \frac{1}{6EI} \times \left[ -R_A x^3 - 3M_A x^2 + qc(x-a)^3 + \frac{qc^3(x-a)}{4} \right]$	
	$R_A = \frac{3ql}{20}$ $R_B = \frac{7ql}{20}$ $M_A = -\frac{ql^2}{30}$ $M_B = -\frac{ql^2}{20}$		$M_x = \frac{ql^2}{60} (-2 + 9\xi - 10\xi^3)$	$f_x = \frac{ql^2 x^2}{120EI} (2 - 3\xi + \xi^3)$	
			$Q_x = \frac{ql}{20} (3 - 10\xi^2)$	$M_{\max} = M_A + R_A \times \left( d + \frac{R_A}{2q} \right)$	$f_{\max} = 0.525l^4$ $f_{\max} = 0.00131 \frac{ql^4}{EI}$

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角	
	$R_A = R_B = \frac{ql}{4}$ $M_A = M_B = -\frac{5ql^2}{96}$	AC	$Q_x = \frac{ql}{4}(1 - 4\xi^2)$	$M_x = \frac{ql^2}{12}x \left( -\frac{5}{8} + 3\xi - 4\xi^3 \right)$	$f_x = -\frac{ql^2 x^2}{120EI} \left( \frac{25}{8} - 5\xi + 2\xi^3 \right)$		
					$M_{\max} = \frac{ql^2}{32}$	$f_{\max} = \frac{7ql^4}{3840EI}$	
	$R_A = R_B = \frac{qc}{2}$ $M_A = M_B = -\frac{qcl}{24}(3 - 2\gamma^2)$	AC	$Q_x = \frac{qc}{2}$	$M_{\max} = \frac{qcl}{24}(3 - 4\gamma + 2\gamma^2)$	$f_{\max} = \frac{qcl^3}{960EI}(5 - 10\gamma^2 + 8\gamma^3)$		
		CD	$Q_x = \frac{qc}{2} \left[ 1 - \frac{(x-a)^2}{c^2} \right]$				
	$R_A = -R_B = -\frac{6Mab}{l^3}$ $= -\frac{6M}{l} \omega_{Ra}$ $M_A = \frac{Mb}{l}(2 - 3\beta)$ $M_B = -\frac{M\alpha}{l}x(2 - 3\alpha)$	AC	$Q_x = R_A$	$M_x = M_A + R_A x$	$f_x = \frac{1}{6EI}(-3M_A x^2 - R_A x^3)$		
		CB			$M_x = M_A + R_A x + M$	$f_x = \frac{1}{6EI}[(M_A + M)(6lx - 3x^2 - 3l^2) - R_A(2l^3 - 3l^2x + x^3)]$	
					$M_{CE} = M_{\max} = \frac{M\alpha}{l}(4 - 9\alpha + 6\alpha^2)$ $M_{CE} = -M(1 - 4\alpha + 9\alpha^2 - 6\alpha^3)$		

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
5. 带悬臂的梁	$R_A = P(1 + \lambda)$ $R_B = -P\lambda$ $M_A = -Pm$	AC	$Q_x = -P$	$M_x = -Px$	$f_c = \frac{Pm^2 l}{3EI}(1 + \lambda)$ 当 $x = m + 0.423l$ 时: $f_{\min} = -0.0642 \frac{Pm l^2}{EI}$	$\theta_c = -\frac{Pml}{6EI}(2 + 3\lambda)$ $\theta_A = -\frac{Pml}{3EI}$ $\theta_B = \frac{Pml}{6EI}$
		AB	$Q_x = R_A - P$	$M_x = -Px +$ $P(1 + \lambda)(x - m)$		
	$R_A = R_B = P$ $M_A = M_B = -Pm$	AC	$Q_x = -P$	$M_x = -Px$	$f_c = f_D = \frac{Pm^2 l}{6EI}(3 + 2\lambda)$ 当 $x = m + 0.5l$ 时: $f_{\min} = -\frac{Pm l^2}{8EI}$	$\theta_c = -\theta_D = -\frac{Pml}{2EI}(1 + \lambda)$ $\theta_A = -\theta_B = -\frac{Pml}{2EI}$
		AB	$Q_x = 0$	$M_x = -Pm$		
	$R_A = R_B = \frac{ql}{2}(1 + 2\lambda)$ $M_A = M_B = -\frac{qm^2}{2}$	AC	$Q_x = -qx$	$M_{\max} = \frac{ql^2}{8}(1 - 4\lambda^2)$	$f_c = f_D = \frac{qm l^3}{24EI}(-1 + 6\lambda^2 + 3\lambda^3)$ $f_{\max} = \frac{ql^4}{384EI}(5 - 24\lambda^2)$	$\theta_c = -\theta_D = \frac{ql^3}{24EI}(1 - 6\lambda^2 - 4\lambda^3)$ $\theta_A = -\theta_B = \frac{ql^3}{24EI}(1 - 6\lambda^2)$
		AB	$Q_x = R_A - qx$			
	$R_A = \frac{qm}{2}(2 + \lambda)$ $R_B = -\frac{qm^2}{2l}$ $M_A = -\frac{qm^2}{2}$	AC	$Q_x = -qx$	$M_x = -\frac{qx^2}{2}$	$f_c = \frac{qm^3 l}{24EI}(4 + 3\lambda)$ 当 $x = m + 0.423l$ 时: $f_{\min} = -0.0321 \frac{qm^2 l^2}{EI}$	$\theta_c = -\frac{qm^2 l}{6EI}(1 + \lambda)$ $\theta_A = -\frac{qm^2 l}{6EI}$ $\theta_B = \frac{qm^2 l}{12EI}$
		AB	$Q_x = \frac{qm^2}{2l}$	$M_x = -\frac{qm^2}{2} \times$ $\left(\frac{m+l-x}{l}\right)$		

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = R_B = qm$ $M_A = M_B = -\frac{qm^2}{2}$	AC	$Q_x = -qx$	$M_x = -\frac{qx^2}{2}$	$f_c = f_D = \frac{qm^3 l}{8EI}(2 + \lambda)$ 当 $x = m + 0.5l$ 时: $f_{\min} = -\frac{qm^2 l^2}{16EI}$	$\theta_C = -\theta_D = -\frac{qm^2 l}{12EI}(3 + 2\lambda)$ $\theta_A = -\theta_B = -\frac{qm^2 l}{4EI}$
	AB	$Q_x = 0$	$M_x = -\frac{qm^2}{2}$			
	$R_A = \frac{P}{2}(2 + 3\lambda)$ $R_B = -\frac{3Pm}{2l}$ $M_A = -Pm$ $M_B = \frac{Pm}{2}$	AC	$Q_x = -P$	$M_x = -Px$	$f_c = \frac{Pm^2 l}{12EI}(3 + 4\lambda)$ 当 $x = m + \frac{l}{3}$ 时: $f_{\min} = -\frac{Pml^2}{27EI}$	$\theta_C = -\frac{Pml}{4EI}(1 + 2\lambda)$ $\theta_A = -\frac{Pml}{4EI}$
	AB	$Q_x = \frac{3Pm}{2l}$	$M_x = -Px + R_A(x - m)$			
	$R_A = \frac{ql}{8}(3 + 8\lambda + 6\lambda^2)$ $R_B = \frac{ql}{8}(5 - 6\lambda^2)$ $M_A = -\frac{qm^2}{2}$ $M_B = -\frac{ql^2}{8} \times (1 - 2\lambda^2)$	AC	$Q_x = -qx$	$\frac{R_A}{q}$ 时: $M_{\max} = \frac{R_B - M_B}{2q}$ 当 $m = 0.707l$ 时: $M_B = 0$	$f_c = \frac{qm l^3}{48EI}(-1 + 6\lambda^2 + 6\lambda^3)$	$\theta_C = \frac{ql^3}{48EI}(1 - 6\lambda^2 - 8\lambda^3)$ $\theta_A = \frac{ql^3}{48EI}(1 - 6\lambda^2)$
	AB	$Q_x = R_A - qx$				
	$R_A = \frac{qm}{4}(4 + 3\lambda)$ $R_B = -\frac{3qm^2}{4l}$ $M_A = -\frac{qm^2}{2}$ $M_B = \frac{qm^2}{4}$	AC	$Q_x = -qx$	$M_x = -\frac{qx^2}{2}$	$f_c = \frac{qm^3 l}{8EI}(1 + \lambda)$	$\theta_C = -\frac{qm^2 l}{24EI}(3 - 4\lambda)$ $\theta_A = -\frac{qm^2 l}{8EI}$
	AB	$Q_x = R_A - qx$	$M_x = -qm \times \left(x - \frac{m}{2}\right) + R_A(x - m)$			

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_A = -\frac{3M}{2l}$ $R_B = \frac{3M}{2l}$ $M_A = M$ $M_B = -\frac{M}{2}$	AC	$Q_x = 0$	$M_x = M$	$f_c = -\frac{Mml}{4EI}(1+2\lambda)$ 当 $x = m + \frac{l}{3}$ 时: $f_{max} = \frac{Ml^2}{27EI}$	$\theta_c = \frac{Ml}{4EI}(1+4\lambda)$ $\theta_A = \frac{Ml}{4EI}$
		AB	$Q_x = -\frac{3M}{2l}$	$M_x = -R_A(x-m) + M$		

6. 双跨、三跨梁

	$R_O = R_B = \frac{3}{8}ql$ $R_A = \frac{5}{4}ql$	OA		$M_x = \frac{q}{8}(3lx - 4x^2)$	$f = \frac{qx}{48EI}(l^3 - 3lx^2 + 2x^3)$ 两支点中间: $f = \frac{ql^4}{192EI}$ $x = 0.421l$ 处: $f_{max} = 0.0054 \frac{ql^4}{EI}$	
				$M_O = M_B = 0$ $M_A = -\frac{ql^2}{8}$ $DE = AC = FG = \frac{ql^2}{8}$		
	$R_O = \frac{1}{l_1} \times \left[ \frac{q_1 l_1^2}{2} - \frac{q_1 l_1^3 + q_2 l_2^2}{8(l_1 + l_2)} \right]$ $R_A = (q_1 l_1 + q_2 l_2) - (R_O + R_B)$ $R_B = \frac{1}{l_2} \times \left[ \frac{q_2 l_2^2}{2} - \frac{q_1 l_1^3 + q_2 l_2^2}{8(l_1 + l_2)} \right]$	OA		$M_x = R_O x - \frac{q_1 x^2}{2}$	$f = \frac{1}{24EI} [q_1 x^4 - 4R_O x^3 + l_1^2 x(4R_O - q_1 l_1)]$	
			$M_O = M_B = 0$ $M_A = -\frac{q_1 l_1^2 + q_2 l_2^2}{8(l_1 + l_2)}$ $DE = \frac{q_1 l_1^2}{8}$ $FG = \frac{q_2 l_2^2}{8}$			

续表

简图	支座反力、 支座反力矩	区段	剪力	弯矩	挠度	转角
	$R_0 = \frac{1}{l_1} \left( \frac{q_1 l_1^2}{2} + M_A \right)$ $R_A = \frac{q_1 l_1}{2} + \frac{q_2 l_2}{2} - \frac{M_A}{l_1} - \frac{M_B}{l_2}$ $R_B = \frac{q_3 l_3}{2} + \frac{q_2 l_2}{2} - \frac{M_B}{l_2} - \frac{M_A}{l_1}$ $R_C = \frac{1}{l_3} \left( \frac{q_3 l_3^2}{2} + M_B \right)$			$M_0 = M_C = 0$ $M_A = - [2q_1 l_1^2 (l_2 + l_3) + q_2 l_2^2 (l_2 + 2l_3) - q_3 l_3^2 l_2] / 16 \left[ l_1 (l_2 + l_3) + l_2 \left( l_3 + \frac{3}{4} l_2 \right) \right]$ $M_B = - \frac{q_2 l_2^2 + q_3 l_3^2 + 4M_A l_2}{8(l_2 + l_3)}$		
	$R_0 = R_D = \frac{5}{16} P$ $R_B = \frac{11}{8} P$	<p>OA</p> <p>AB</p>		$M_x = \frac{5}{16} P x$ $M_x = \frac{P}{16} (8l - 11x)$	$f = \frac{P}{96EI} (3l^2 x - 5x^3)$ $f = \frac{P}{96EI} (11x^3 - 24lx^2 + 15l^2 x - 2l^3)$ <p><math>x = 0.447l</math> 处:</p> $f_{\max} = 0.0093 \frac{Pl^3}{EI}$ $f_C = \frac{7Pl^3}{768EI}$	
	$R_0 = \frac{M_B + P_1 (l_1 - a_1)}{l_1}$ $R_B = P_1 + P_2 - (R_0 + R_2)$ $R_D = \frac{M_B + P_2 (l_2 - a_2)}{l_2}$			$M_0 = M_D = 0$ $AE = \frac{P_1 a_1 (l_1 - a_1)}{l_1}$ $CF = \frac{P_2 a_2 (l_2 - a_2)}{l_2}$ $M_B = - \left[ P_1 \frac{a_1}{l_1} (l_1^2 - a_1^2) + P_2 \frac{a_2}{l_2} (l_2^2 - a_2^2) \right] / [2(l_1 + l_2)]$		

梁分段的比值及  $\omega$  的函数表<sup>(14)</sup>

表 1-1-97

$\alpha$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\omega_{Ra}$	$\omega_{Ra}^2$	$\omega_{Da}$	$\omega_{Ma}$	$\omega_{ra}$	$\omega_{Sa}$	$\alpha$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\omega_{Ra}$	$\omega_{Ra}^2$	$\omega_{Da}$	$\omega_{Ma}$	$\omega_{ra}$	$\omega_{Sa}$
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.36	0.1296	0.0467	0.0168	0.0060	0.2304	0.0531	0.3133	-0.6112	0.0829	0.2835
0.01	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0099	0.0001	0.0100	-0.9997	0.0001	0.0100	0.37	0.1369	0.0507	0.0187	0.0069	0.2331	0.0543	0.3193	-0.5893	0.0862	0.2874
0.02	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0196	0.0004	0.0200	-0.9988	0.0004	0.0200	0.38	0.1444	0.0549	0.0209	0.0079	0.2356	0.0555	0.3251	-0.5668	0.0895	0.2911
0.03	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0291	0.0008	0.0300	-0.9973	0.0009	0.0299	0.39	0.1521	0.0593	0.0231	0.0090	0.2379	0.0566	0.3307	-0.5437	0.0928	0.2945
0.04	0.0016	0.0001	0.0000	0.0000	0.0384	0.0015	0.0399	-0.9952	0.0015	0.0399	0.40	0.1600	0.0640	0.0256	0.0102	0.2400	0.0576	0.3360	-0.5200	0.0960	0.2976
0.05	0.0025	0.0001	0.0000	0.0000	0.0475	0.0023	0.0499	-0.9925	0.0024	0.0498											
0.06	0.0036	0.0002	0.0000	0.0000	0.0564	0.0032	0.0598	-0.9892	0.0034	0.0596	0.41	0.1681	0.0689	0.0283	0.0116	0.2419	0.0585	0.3411	-0.4957	0.0992	0.3004
0.07	0.0049	0.0003	0.0000	0.0000	0.0651	0.0042	0.0697	-0.9853	0.0046	0.0693	0.42	0.1764	0.0741	0.0311	0.0131	0.2436	0.0593	0.3459	-0.4708	0.1023	0.3029
0.08	0.0064	0.0005	0.0000	0.0000	0.0736	0.0054	0.0795	-0.9808	0.0059	0.0790	0.43	0.1849	0.0795	0.0342	0.0147	0.2451	0.0601	0.3505	-0.4453	0.1054	0.3052
0.09	0.0081	0.0007	0.0001	0.0000	0.0819	0.0067	0.0893	-0.9757	0.0074	0.0886	0.44	0.1936	0.0852	0.0375	0.0165	0.2464	0.0607	0.3548	-0.4192	0.1084	0.3071
0.10	0.0100	0.0010	0.0001	0.0000	0.0900	0.0081	0.0990	-0.9700	0.0090	0.0981	0.45	0.2025	0.0911	0.0410	0.0185	0.2475	0.0613	0.3589	-0.3925	0.1114	0.3088
0.11	0.0121	0.0013	0.0001	0.0000	0.0979	0.0096	0.1087	-0.9637	0.0108	0.1075	0.46	0.2116	0.0973	0.0448	0.0206	0.2484	0.0617	0.3627	-0.3652	0.1143	0.3101
0.12	0.0144	0.0017	0.0002	0.0000	0.1056	0.0112	0.1183	-0.9568	0.0127	0.1168	0.47	0.2209	0.1038	0.0488	0.0229	0.2491	0.0621	0.3662	-0.3373	0.1171	0.3112
0.13	0.0169	0.0022	0.0003	0.0000	0.1131	0.0128	0.1278	-0.9493	0.0147	0.1259	0.48	0.2304	0.1106	0.0531	0.0255	0.2496	0.0623	0.3694	-0.3088	0.1198	0.3119
0.14	0.0196	0.0027	0.0004	0.0001	0.1204	0.0145	0.1373	-0.9412	0.0169	0.1349	0.49	0.2401	0.1176	0.0576	0.0282	0.2499	0.0625	0.3724	-0.2797	0.1225	0.3124
0.15	0.0225	0.0034	0.0005	0.0001	0.1275	0.0163	0.1466	-0.9325	0.0191	0.1438	0.50	0.2500	0.1250	0.0625	0.0313	0.2500	0.0625	0.3750	-0.2500	0.1250	0.3125
0.16	0.0256	0.0041	0.0007	0.0001	0.1344	0.0181	0.1559	-0.9232	0.0215	0.1525	0.51	0.2601	0.1327	0.0677	0.0345	0.2499	0.0625	0.3773	-0.2197	0.1274	0.3124
0.17	0.0289	0.0049	0.0008	0.0001	0.1411	0.0199	0.1651	-0.9133	0.0240	0.1610	0.52	0.2704	0.1406	0.0731	0.0380	0.2496	0.0623	0.3794	-0.1888	0.1298	0.3119
0.18	0.0324	0.0058	0.0010	0.0002	0.1476	0.0218	0.1742	-0.9028	0.0266	0.1694	0.53	0.2809	0.1489	0.0789	0.0418	0.2491	0.0621	0.3811	-0.1573	0.1320	0.3112
0.19	0.0361	0.0069	0.0013	0.0002	0.1539	0.0237	0.1831	-0.8917	0.0292	0.1776	0.54	0.2916	0.1575	0.0850	0.0459	0.2484	0.0617	0.3825	-0.1252	0.1341	0.3101
0.20	0.0400	0.0080	0.0016	0.0003	0.1600	0.0256	0.1920	-0.8800	0.0320	0.1856	0.55	0.3025	0.1664	0.0915	0.0503	0.2475	0.0613	0.3836	-0.0925	0.1361	0.3088
0.21	0.0441	0.0093	0.0019	0.0004	0.1659	0.0275	0.2007	-0.8677	0.0348	0.1934	0.56	0.3136	0.1756	0.0983	0.0551	0.2464	0.0607	0.3844	-0.0592	0.1380	0.3071
0.22	0.0484	0.0106	0.0023	0.0005	0.1716	0.0294	0.2094	-0.8548	0.0378	0.2010	0.57	0.3249	0.1852	0.1056	0.0602	0.2451	0.0601	0.3848	-0.0253	0.1397	0.3052
0.23	0.0529	0.0122	0.0028	0.0006	0.1771	0.0314	0.2178	-0.8413	0.0407	0.2085	0.58	0.3364	0.1951	0.1132	0.0656	0.2436	0.0593	0.3849	0.0092	0.1413	0.3029
0.24	0.0576	0.0138	0.0033	0.0008	0.1824	0.0333	0.2262	-0.8272	0.0438	0.2157	0.59	0.3481	0.2054	0.1212	0.0715	0.2419	0.0585	0.3846	0.0443	0.1427	0.3004
0.25	0.0625	0.0156	0.0039	0.0010	0.1875	0.0352	0.2344	-0.8125	0.0469	0.2227	0.60	0.3600	0.2160	0.1296	0.0778	0.2400	0.0576	0.3840	0.0800	0.1440	0.2976
0.26	0.0676	0.0176	0.0046	0.0012	0.1924	0.0370	0.2424	-0.7972	0.0500	0.2294	0.61	0.3721	0.2270	0.1385	0.0845	0.2379	0.0566	0.3830	0.1163	0.1451	0.2945
0.27	0.0729	0.0197	0.0053	0.0014	0.1971	0.0388	0.2503	-0.7813	0.0532	0.2359	0.62	0.3844	0.2383	0.1478	0.0916	0.2356	0.0555	0.3817	0.1532	0.1461	0.2911
0.28	0.0784	0.0220	0.0061	0.0017	0.2016	0.0406	0.2580	-0.7648	0.0564	0.2422	0.63	0.3969	0.2500	0.1575	0.0992	0.2331	0.0543	0.3800	0.1907	0.1469	0.2874
0.29	0.0841	0.0244	0.0071	0.0021	0.2059	0.0424	0.2656	-0.7477	0.0597	0.2483	0.64	0.4096	0.2621	0.1678	0.1074	0.2304	0.0531	0.3779	0.2288	0.1475	0.2835
0.30	0.0900	0.0270	0.0081	0.0024	0.2100	0.0441	0.2730	-0.7300	0.0630	0.2541	0.65	0.4225	0.2746	0.1785	0.1160	0.2275	0.0518	0.3754	0.2675	0.1479	0.2793
0.31	0.0961	0.0298	0.0092	0.0029	0.2139	0.0458	0.2802	-0.7117	0.0663	0.2597	0.66	0.4356	0.2875	0.1897	0.1252	0.2244	0.0504	0.3725	0.3068	0.1481	0.2748
0.32	0.1024	0.0328	0.0105	0.0034	0.2176	0.0473	0.2872	-0.6928	0.0696	0.2649	2/3	0.4444	0.2963	0.1975	0.1317	0.2222	0.0494	0.3704	0.3333	0.1481	0.2716
0.33	0.1089	0.0359	0.0119	0.0039	0.2211	0.0489	0.2941	-0.6733	0.0730	0.2700	0.67	0.4489	0.3008	0.2015	0.1350	0.2211	0.0489	0.3692	0.3467	0.1481	0.2700
1/3	0.1111	0.0370	0.0123	0.0041	0.2222	0.0494	0.2963	-0.6667	0.0741	0.2716	0.68	0.4624	0.3144	0.2138	0.1454	0.2176	0.0473	0.3656	0.3872	0.1480	0.2649
0.34	0.1156	0.0393	0.0134	0.0045	0.2244	0.0504	0.3007	-0.6532	0.0763	0.2748	0.69	0.4761	0.3285	0.2267	0.1564	0.2139	0.0458	0.3615	0.4283	0.1476	0.2597
0.35	0.1225	0.0429	0.0150	0.0053	0.2275	0.0518	0.3071	-0.6325	0.0796	0.2793	0.70	0.4900	0.3430	0.2401	0.1681	0.2100	0.0441	0.3570	0.4700	0.1470	0.2541
$\beta$	$\beta^2$	$\beta^3$	$\beta^4$	$\beta^5$	$\omega_{Ra}$	$\omega_{Ra}^2$	$\omega_{Da}$	$\omega_{Ma}$	$\omega_{ra}$	$\omega_{Sa}$	$\beta$	$\beta^2$	$\beta^3$	$\beta^4$	$\beta^5$	$\omega_{Ra}$	$\omega_{Ra}^2$	$\omega_{Da}$	$\omega_{Ma}$	$\omega_{ra}$	$\omega_{Sa}$

续表

$\alpha$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\omega_{R\alpha}$	$\omega_{D\alpha}^2$	$\omega_{D\alpha}$	$\omega_{M\alpha}$	$\omega_{r\alpha}$	$\omega_{S\alpha}$	$\alpha$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\omega_{R\alpha}$	$\omega_{R\alpha}^2$	$\omega_{D\alpha}$	$\omega_{M\alpha}$	$\omega_{r\alpha}$	$\omega_{S\alpha}$
0.71	0.5041	0.3579	0.2541	0.1804	0.2059	0.0424	0.3521	0.5123	0.1462	0.2483	0.86	0.7396	0.6361	0.5470	0.4704	0.1204	0.0145	0.2239	1.2188	0.1035	0.1349
0.72	0.5184	0.3732	0.2687	0.1935	0.2016	0.0406	0.3468	0.5552	0.1452	0.2422	0.87	0.7569	0.6585	0.5729	0.4984	0.1131	0.0128	0.2115	1.2707	0.0984	0.1259
0.73	0.5329	0.3890	0.2840	0.2073	0.1971	0.0388	0.3410	0.5987	0.1439	0.2359	0.88	0.7744	0.6815	0.5997	0.5277	0.1056	0.0112	0.1985	1.3232	0.0929	0.1168
0.74	0.5476	0.4052	0.2999	0.2219	0.1924	0.0370	0.3348	0.6428	0.1424	0.2294	0.89	0.7921	0.7050	0.6274	0.5584	0.0979	0.0096	0.1850	1.3763	0.0871	0.1075
0.75	0.5625	0.4219	0.3164	0.2373	0.1875	0.0352	0.3281	0.6875	0.1406	0.2227	0.90	0.8100	0.7290	0.6561	0.5905	0.0900	0.0081	0.1710	1.4300	0.0810	0.0981
0.76	0.5776	0.4390	0.3336	0.2536	0.1824	0.0333	0.3210	0.7328	0.1386	0.2157	0.91	0.8281	0.7536	0.6857	0.6240	0.0819	0.0067	0.1564	1.4843	0.0745	0.0886
0.77	0.5929	0.4565	0.3515	0.2707	0.1771	0.0314	0.3135	0.7787	0.1364	0.2085	0.92	0.8464	0.7787	0.7164	0.6591	0.0736	0.0054	0.1413	1.5392	0.0677	0.0790
0.78	0.6084	0.4746	0.3702	0.2887	0.1716	0.0294	0.3054	0.8252	0.1338	0.2010	0.93	0.8649	0.8044	0.7481	0.6957	0.0651	0.0042	0.1256	1.5947	0.0605	0.0693
0.79	0.6241	0.4930	0.3895	0.3077	0.1659	0.0275	0.2970	0.8723	0.1311	0.1934	0.94	0.8836	0.8306	0.7807	0.7339	0.0564	0.0032	0.1094	1.6508	0.0530	0.0596
0.80	0.6400	0.5120	0.4096	0.3277	0.1600	0.0256	0.2880	0.9200	0.1280	0.1856	0.95	0.9025	0.8574	0.8145	0.7738	0.0475	0.0023	0.0926	1.7075	0.0451	0.0498
0.81	0.6561	0.5314	0.4305	0.3487	0.1539	0.0237	0.2786	0.9683	0.1247	0.1776	0.96	0.9216	0.8847	0.8493	0.8153	0.0384	0.0015	0.0753	1.7648	0.0369	0.0399
0.82	0.6724	0.5514	0.4521	0.3707	0.1476	0.0218	0.2686	1.0172	0.1210	0.1694	0.97	0.9409	0.9127	0.8853	0.8587	0.0291	0.0008	0.0573	1.8227	0.0282	0.0299
0.83	0.6889	0.5718	0.4746	0.3939	0.1411	0.0199	0.2582	1.0667	0.1171	0.1610	0.98	0.9604	0.9412	0.9224	0.9039	0.0196	0.0004	0.0388	1.8812	0.0192	0.0200
0.84	0.7056	0.5927	0.4979	0.4182	0.1344	0.0181	0.2473	1.1168	0.1129	0.1525	0.99	0.9801	0.9703	0.9606	0.9510	0.0099	0.0001	0.0197	1.9403	0.0098	0.0100
0.85	0.7225	0.6141	0.5220	0.4437	0.1275	0.0163	0.2359	1.1675	0.1084	0.1438	1.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.0000	0.0000	0.0000
$\beta$	$\beta^2$	$\beta^3$	$\beta^4$	$\beta^5$	$\omega_{R\beta}$	$\omega_{R\beta}^2$	$\omega_{D\beta}$	$\omega_{M\beta}$	$\omega_{r\beta}$	$\omega_{S\beta}$	$\beta$	$\beta^2$	$\beta^3$	$\beta^4$	$\beta^5$	$\omega_{R\beta}$	$\omega_{R\beta}^2$	$\omega_{D\beta}$	$\omega_{M\beta}$	$\omega_{r\beta}$	$\omega_{S\beta}$

注：1.  $\alpha$  和  $\beta$  的含义见表 1-1-96。

2. 对于脚标为  $\beta$  的  $\omega$  值，必须根据已知的  $\beta$  值自底行向上查。如果已知值为  $\alpha$ ，则按公式  $\beta = 1 - \alpha$  求得  $\beta$  后再查表。

3. 函数  $\omega$  与参数  $\alpha$  或  $\beta$  间的关系式：

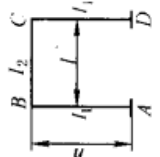
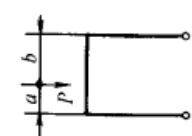
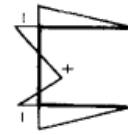
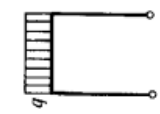
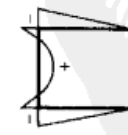
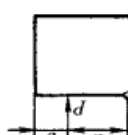

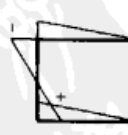
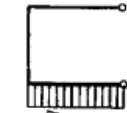
$$\begin{aligned} \omega_{R\alpha} = \omega_{R\beta} &= \alpha\beta = \alpha - \alpha^2 = \beta - \beta^2; \\ \omega_{D\alpha} &= \alpha - \alpha^3 = \alpha(1 - \alpha^2) = \beta(2 - 3\beta + \beta^2) = 3\omega_{R\alpha} - \omega_{D\beta} = \omega_{R\alpha}(1 + \alpha) = \omega_{R\alpha}(2 - \beta); \\ \omega_{D\beta} &= \beta - \beta^3 = \beta(1 - \beta^2) = \alpha(2 - 3\alpha + \alpha^2) = 3\omega_{R\alpha} - \omega_{D\alpha} = \omega_{R\alpha}(1 + \beta) = \omega_{R\alpha}(2 - \alpha); \\ \omega_{M\alpha} &= 3\alpha^2 - 1 = 2 - 6\beta + 3\beta^2 = \omega_{M\beta} - 3(2\beta - 1) = 1 - 6\omega_{R\alpha} - \omega_{M\beta}; \\ \omega_{M\beta} &= 3\beta^2 - 1 = 2 - 6\alpha + 3\alpha^2 = \omega_{M\alpha} - 3(2\alpha - 1) = 1 - 6\omega_{R\alpha} - \omega_{M\alpha}; \\ \omega_{S\alpha} &= \omega_{r\alpha} = \alpha - 2\alpha^3 + \alpha^4 = \beta - 2\beta^3 + \beta^4 = \omega_{R\alpha}(1 + \omega_{R\alpha}); \\ \omega_{r\alpha} &= \alpha\omega_{R\alpha} = \alpha^2\beta = \alpha^2 - \alpha^3; \\ \omega_{r\beta} &= \beta\omega_{R\alpha} = \alpha\beta^2 = \beta^2 - \beta^3 = \alpha - 2\alpha^2 + \alpha^3; \end{aligned}$$

函数  $\omega$  的参数也可以是  $\xi$  或  $\zeta$ ，关系式是相同的，只是变换脚标以示区别。 $\omega$  的脚标的意义是：第一个字母表示某一特定的函数关系，如上一列诸关系式；第二个字母表示参数的符号，例如  $\omega_{M\beta} = 3\beta^2 - 1$ ， $\omega_{M\zeta} = 3\zeta^2 - 1$ ， $\omega_{M\xi} = 3\xi^2 - 1$ ， $\omega_{M\zeta} = \xi\zeta$  等。但必须符合下列条件： $\alpha + \beta = 1$  或  $\xi + \zeta = 1$  等。



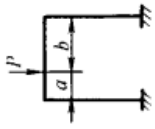
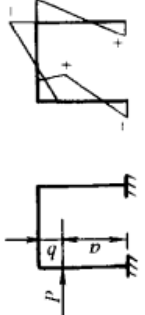
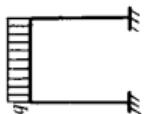

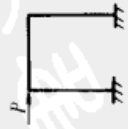

单跨刚架计算公式<sup>[17]</sup>  
(引起刚架内侧拉伸的是正弯矩)

表 1-1-98

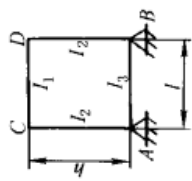
		$I_1, I_2$ —— 惯性矩  $k = \frac{I_2}{I_1} \times \frac{h}{l}$ ; $N = 2k + 3$		
		$M_B = M_C = -\frac{Pab}{l} \times \frac{3}{2N}$ $M_P = \frac{Pab}{l} + M_B$	$\beta = \frac{b}{h}$ $M_B = \frac{Pa}{2} \left[ -\frac{(2-\beta)\beta k}{N} + 1 \right]$ $M_C = \frac{Pa}{2} \left[ -\frac{(2-\beta)\beta k}{N} - 1 \right]$ $M_P = (1-\beta)(Pb + M_B)$	
		$M_B = M_C = -\frac{ql^2}{4N}$ $M_{\max} = \frac{ql^2}{8} + M_B$		$M_B = \frac{qh^2}{4} \left( -\frac{k}{2N} + 1 \right)$ $M_C = \frac{qh^2}{4} \left( -\frac{k}{2N} - 1 \right)$
		$M_B = \frac{Ph}{2}$ $M_C = -\frac{Ph}{2}$		$M_B = \frac{qh^2}{4} \left( -\frac{k}{2N} + 1 \right)$ $M_C = \frac{qh^2}{4} \left( -\frac{k}{2N} - 1 \right)$

续表

$$k = \frac{l_2}{l_1} \times \frac{h}{l}; N_1 = k + 2; N_2 = 6k + 1; \beta = \frac{b}{l} \text{ 或 } \frac{b}{h}$$

	$M_A = \frac{Pab}{l} \left[ \frac{1}{2N_1} - \frac{2\beta - 1}{2N_2} \right]$ $M_D = \frac{Pab}{l} \left[ \frac{1}{2N_1} + \frac{2\beta - 1}{2N_2} \right]$ $M_B = -\frac{Pab}{l} \left[ \frac{1}{N_1} + \frac{2\beta - 1}{2N_2} \right]$ $M_C = -\frac{Pab}{l} \left[ \frac{1}{N_1} - \frac{2\beta - 1}{2N_2} \right]$		$X_1 = \frac{Pab}{h} \times \frac{1 + \beta + \beta k}{2N_1}$ $X_2 = \frac{Pab}{h} \times \frac{(1 - \beta)k}{2N_1}$ $X_3 = \frac{3Pa(1 - \beta)k}{2N_2}$ $\left. \begin{matrix} M_A \\ M_D \end{matrix} \right\} = -X_1 \mp \left( \frac{Pa}{2} - X_3 \right)$ $\left. \begin{matrix} M_B \\ M_C \end{matrix} \right\} = -X_2 \pm X_3$
	$M_A = M_D = \frac{ql^2}{12N_1}$ $M_B = M_C = -\frac{ql^2}{6N_1}$ $M_{\max} = \frac{ql^2}{8} + M_B$		$M_A = \frac{qh^2}{4} \left[ -\frac{k+3}{6N_1} - \frac{4k+1}{N_2} \right]$ $M_B = \frac{qh^2}{4} \left[ -\frac{k}{6N_1} + \frac{2k}{N_2} \right]$ $M_C = \frac{qh^2}{4} \left[ \frac{k}{6N_1} - \frac{2k}{N_2} \right]$ $M_D = \frac{qh^2}{4} \left[ -\frac{k+3}{6N_1} + \frac{4k+1}{N_2} \right]$
	$M_A = -\frac{Ph}{2} \times \frac{3k+1}{N_2}$ $M_B = \frac{Ph}{2} \times \frac{3k}{N_2}$ $M_C = -M_B$ $M_D = -M_A$		$M_A = \frac{Pab}{h} \times \frac{1 + \beta + \beta k}{2N_1}$ $M_D = \frac{Pab}{h} \times \frac{(1 - \beta)k}{2N_1}$ $M_B = -\frac{Pab}{h} \times \frac{(1 - \beta)k}{2N_1}$ $M_C = \frac{3Pa(1 - \beta)k}{2N_2}$ $\left. \begin{matrix} M_A \\ M_D \end{matrix} \right\} = -X_1 \mp \left( \frac{Pa}{2} - X_3 \right)$ $\left. \begin{matrix} M_B \\ M_C \end{matrix} \right\} = -X_2 \pm X_3$

续表



$$k = \frac{l_1}{l_2} \times \frac{h}{l}; m = \frac{l_1}{l_3}; \alpha = \frac{x}{l}; \nu = 2 + k + \frac{m}{k}(3 + 2k); \mu = 1 + 6k + m$$

		$\left. \begin{aligned} M_A \\ M_B \end{aligned} \right\} = \frac{Pl}{2} \alpha (1 - \alpha) \left[ \frac{1}{\nu} \mp \frac{1 - 2\alpha}{\mu} \right]$ $\left. \begin{aligned} M_C \\ M_D \end{aligned} \right\} = -\frac{Pl}{2} \alpha (1 - \alpha) m \left[ \frac{1}{\nu} \mp \frac{1 - 2\alpha}{\mu} \right]$	$\left. \begin{aligned} M_A \\ M_B \end{aligned} \right\} = \frac{Pl}{2} \alpha (1 - \alpha) \left[ \frac{1}{\nu} \mp \frac{1 - 2\alpha}{\mu} \right]$ $\left. \begin{aligned} M_C \\ M_D \end{aligned} \right\} = -\frac{Pl}{2} \alpha (1 - \alpha) \left[ \frac{1}{\nu} \mp \frac{1 - 2\alpha}{\mu} \right]$
--	--	--	--

$$k = \frac{l_1}{l_2} \times \frac{h}{l}; m = \frac{l_1}{l_3}; \nu = 2 + k + \frac{m}{k}(3 + 2k); \mu = 1 + 6k + m$$

		$\left. \begin{aligned} M_A \\ M_B \end{aligned} \right\} = \frac{Ph}{2} \eta \times \left\{ \frac{1 - \eta}{\nu} [(1 + k)\eta - (2 + k)] \mp \frac{1}{\mu} [1 + 3k(2 - \eta)] \right\}$ $\left. \begin{aligned} M_C \\ M_D \end{aligned} \right\} = \frac{Ph}{2} \eta \left\{ -\frac{1 - \eta}{\nu} [\eta(k + m) + m] \pm \frac{1}{\mu} (3k\eta + m) \right\}$ <p style="text-align: center;"><math>\eta = y/h</math></p>	<p>(1) 载荷在构件 CD 上</p> $M_A = M_B = \frac{ql^2}{12} \times \frac{1}{\nu}; M_C = M_D = -\frac{ql^2}{12} \times \frac{2k + 3m}{kv}$ <p>(2) 载荷在构件 AB 上</p> $M_A = M_B = \frac{ql^2}{12} m \frac{3 + 2k}{kv}; M_C = M_D = -\frac{ql^2}{12} \times \frac{m}{\nu}$
--	--	--	---

		$\left. \begin{aligned} M_A \\ M_B \end{aligned} \right\} = \frac{qh^2}{4} \left[ -\frac{3 + k}{6\nu} \mp \frac{1 + 4k}{\mu} \right]$ $\left. \begin{aligned} M_C \\ M_D \end{aligned} \right\} = \frac{qh^2}{4} \left[ -\frac{k + 3m}{6\nu} \pm \frac{2k + m}{\mu} \right]$	$I_1 = I_3$ $M_A = M_B = M_C = M_D = -\frac{q}{12} \times \frac{l^2 + kh^2}{k + 1}$
--	--	--	---


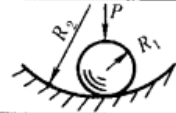
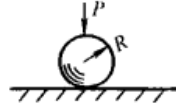
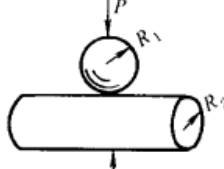
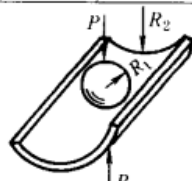
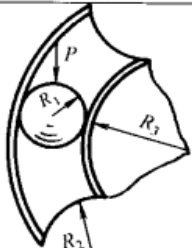
### 5.3 接触应力

高副机构，理论上载荷是通过点或线接触传递的，实际上零件受载后接触部分产生局部弹性变形，从而形成接触面很小的面接触，这样在零件的接触处产生很大的局部应力，离开接触面稍远处接触应力急剧下降，此时应力称为接触应力。机械零件遇到的接触应力多为变应力，其引起的失效属于接触疲劳破坏。它的特点是零件在接触应力的反复作用下，零件表面产生疲劳裂纹，逐渐扩展，使金属表层脱落，产生疲劳点蚀。影响疲劳点蚀的主要因素是接触应力的大小。接触区材料受力后变形受到各方向限制，材料处于三向压应力状态，所以接触面中心处材料能承受很大的压力而不屈服。表 1-1-99 所引用的是弹性力学的结果， $\sigma_{max}$  为接触表面中心处的最大接触压应力。实际上接触体的危险点并不在接触表面，而是在接触面中心下面、接触体内某深度上，按第四强度理论，危险点的计算应力为  $\sigma_{IV} = 0.6\sigma_{max}$ 。通常接触问题的强度校核按接触表面处的接触应力进行校核，其强度条件为

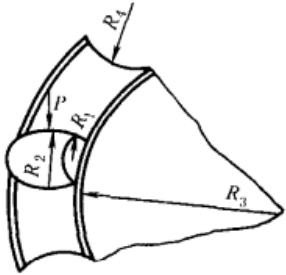
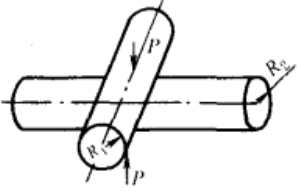
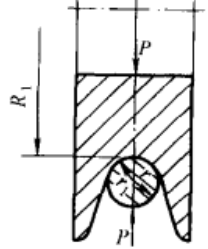
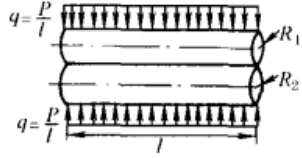
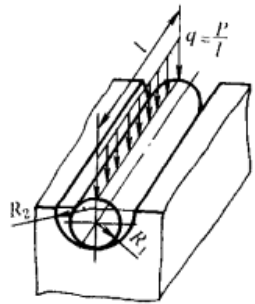
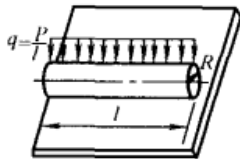
$$\sigma_{max} \leq \sigma_{HP}$$

式中  $\sigma_{HP}$  ——许用接触应力，与材料及其热处理情况、点或线接触、动或静接触的不同情况有关，见表 1-1-100 ~ 表 1-1-102。

表 1-1-99 接触应力计算公式<sup>[18]</sup>

接触体的形式		接触椭圆方程 $Ax^2 + By^2 = C$ 的系数		接触面中心最大接触压应力 $\sigma_{max}$ (当接触体 $E_1 = E_2 = E$ ; $\mu_1 = \mu_2 = 0.3$ 时)
接触简图	接触体尺寸	A	B	
	半径为 $R_1$ 及 $R_2$ 的两球	$\frac{R_1 + R_2}{2R_1R_2}$	$\frac{R_1 + R_2}{2R_1R_2}$	$0.388 \sqrt[3]{PE^2 \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1R_2}\right)^2}$
	半径为 $R_1$ 的球及半径为 $R_2$ 的球面	$\frac{R_2 - R_1}{2R_1R_2}$	$\frac{R_2 - R_1}{2R_1R_2}$	$0.388 \sqrt[3]{PE^2 \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1R_2}\right)^2}$
	半径为 $R$ 的球及平面 ( $R_2 = \infty$ )	$\frac{1}{2R}$	$\frac{1}{2R}$	$0.388 \sqrt[3]{PE^2 \frac{1}{R^2}}$
	半径为 $R_1$ 的球及半径为 $R_2$ 的圆柱体 ( $R_2 > R_1$ )	$\frac{1}{2R_1}$	$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$	$a \sqrt[3]{PE^2 \frac{1}{R_1^2}}$
	半径为 $R_1$ 的球及半径为 $R_2$ 的圆筒槽 ( $R_2 > R_1$ )	$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$	$\frac{1}{2R_1}$	$a \sqrt[3]{PE^2 \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1R_2}\right)^2}$
	半径为 $R_1$ 的球及半径为 $R_2$ 及 $R_3$ 的环形槽 (球珠滑轮) ( $R_2 > R_3$ )	$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$	$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right)$	$a \sqrt[3]{PE^2 \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1R_2}\right)^2}$

$$\sigma_{max} = a \sqrt[3]{\frac{1}{2} PE^2}$$

接触体的形式		接触椭圆方程 $Ax^2 + By^2 = C$ 的系数		接触面中心最大接触压应力 $\sigma_{max}$ (当接触体 $E_1 = E_2 = E$ ; $\mu_1 = \mu_2 = 0.3$ 时)
接触简图	接触体尺寸	A	B	
	半径为 $R_1$ 及 $R_2$ 的滚柱及半径为 $R_3$ 及 $R_4$ 的环形槽 ( $R_4 > R_2$ )	$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_4} \right)$	$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right)$	$a \sqrt[3]{PE^2 \left( \frac{R_4 - R_2}{R_2 R_4} \right)^2}$
	成十字形的半径为 $R_1$ 及 $R_2$ 的二圆柱体 ( $R_2 > R_1$ )	$\frac{1}{2R_2}$	$\frac{1}{2R_1}$	$a \sqrt[3]{PE^2 \frac{1}{R_2^2}}$
	半径为 $R_1, r_1$ 的滑轮槽及半径为 $r$ 的圆柱体	—	—	$\frac{0.41}{ab} \sqrt[3]{PE^2 \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} \right)^2}$ $E'$ ——滑轮的弹性模量 $a, b$ ——根据辅助角 $\theta$ 查本表, 辅助角按下式计算 $\cos\theta = \frac{1/r - 1/r_1 - 1/R_1}{1/r - 1/r_1 + 1/R_1}$
	半径为 $R_1$ 及 $R_2$ 的二轴相平行的圆柱体	—	$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$	$0.418 \sqrt{\frac{PE}{l} \times \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}}$
	半径为 $R_1$ 及 $R_2$ 的二轴相平行的圆柱体与圆柱凹面	—	$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$	$0.418 \sqrt{\frac{PE}{l} \times \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2}}$
	半径为 $R$ 的圆柱体及平面 ( $R_2 = \infty$ )	—	$\frac{1}{2R}$	$0.418 \sqrt{\frac{PE}{lR}}$

$\sigma_{max} = a \sqrt[3]{AP^2 E^2}$

续表

系数 $\alpha$ 值							
$\frac{A}{B}$	$\alpha$	$\frac{A}{B}$	$\alpha$	$\frac{A}{B}$	$\alpha$	$\frac{A}{B}$	$\alpha$
1.0	0.388	0.6	0.468	0.2	0.716	0.02	1.800
0.9	0.400	0.5	0.490	0.15	0.800	0.01	2.271
0.8	0.420	0.4	0.536	0.1	0.970	0.007	3.202
0.7	0.440	0.3	0.600	0.05	1.280		

系数 $a, b$ 值										
$\theta$	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$a$	1	1.128	1.284	1.486	1.754	2.136	2.731	3.778	6.612	$\infty$
$b$	1	0.893	0.802	0.717	0.641	0.567	0.493	0.408	0.319	0

注：表中  $E$  为弹性模量； $\mu$  为泊松比。

表 1-1-100

许用接触应力<sup>[19]</sup>

静载荷作用下接触面上的许用接触应力	材料牌号	强度极限/MPa	布氏硬度 HB	接触面许用接触应力 $\sigma_{HP}$ /MPa	
	一开始为线接触时	30	500	180	$\sigma_{HLP}$ (许用线接触应力)
	40	580	200	1000 ~ 1350	
	50	640	230	1050 ~ 1400	
	50Mn	660	240	1100 ~ 1450	
	15Cr	750	240	1050 ~ 1600	
	20Cr	850	240	1200 ~ 1450	
	10CrV		240	1350 ~ 1600	
	GCr15		—	3800	
一开始为点接触时				$\sigma_{HPP} = (1.3 \sim 1.4) \sigma_{HLP}$	$\sigma_{HPP}$ ——许用点接触应力
接触应力实例	起重机车轮(与钢轨), 材料 35			1700(点接触), 750(线接触)	
	铁路钢轨			800 ~ 1000(线接触)	
	翻车机(翻转火车箱)滚圈, 材料 35			750(线接触)	
	火车轮, 表面硬度 310HB			2100	
	烧结机的环状冷却机的球形支承材料 14MnMoVNb			1500	
	滚动轴承 GCr15			2300 ~ 5000	
	汽车转向器中的螺杆滚子轴承			5000	
	润滑良好的凸轮 300 ~ 500HB			770 ~ 1300	
	润滑一般的走轮, 材料 45, 调质 215 ~ 255HB			440 ~ 470	
	润滑一般的走轮, 材料 35SiMn, 调质 215 ~ 280HB			490 ~ 540	
	润滑一般的走轮, 材料 38SiMnMo, 调质 195 ~ 270HB			500 ~ 540	
润滑一般的走轮, 材料 42MnMoV, 调质 220 ~ 260HB			500 ~ 550		
润滑一般的走轮, 材料 40Cr, 调质 240 ~ 280HB			530 ~ 550		

注：本表仅供参考。

表 1-1-101

重型机械用钢的许用接触应力<sup>[20]</sup>

钢 号	热处理	截面尺寸/mm	许用面 压应力 /MPa	许用接 触应力 /MPa	钢 号	热处理	截面尺寸/mm	许用面 压应力 /MPa	许用接 触应力 /MPa
35	正 火	≤100	130	380	45	正 火	≤100	140	430
		>100 ~ 300	126	360			>100 ~ 300	136	415
		>300 ~ 500	122	330			>300 ~ 500	134	400
		>500 ~ 750	120	325			>500 ~ 700	130	380
		>750 ~ 1000	118	310			>500 ~ 700	130	380
	回 火	≤100	140	430	20MnMo	调 质	≤200	158	470
		>100 ~ 300	134	400			100 ~ 300	142	445
		>300 ~ 500	134	400			>300 ~ 500	134	400
		>500 ~ 750	120	325			>500 ~ 700	130	380
		>750 ~ 1000	118	310			>500 ~ 700	130	380
20SiMn	正 火 回 火	400 ~ 600	130	380	42MnMoV	调 质	100 ~ 300	182	565
		>600 ~ 900	126	360			>300 ~ 500	179	555
		>900 ~ 1200	124	350			>500 ~ 800	175	540
35SiMn	调 质	≤100	176	545	18MnMoNb	调 质	100 ~ 300	175	540
		>100 ~ 300	169	525			>300 ~ 500	169	525
		>300 ~ 400	164	500			>500 ~ 800	155	475
		>400 ~ 500	160	490			>500 ~ 800	155	475
42SiMn	调 质	≤100	176	545	30CrMn2MoB	调 质	100 ~ 300	186	590
		>100 ~ 200	171	530			>300 ~ 500	185	580
		>200 ~ 300	169	525			>500 ~ 800	183	570
		>300 ~ 500	160	490			>500 ~ 800	183	570
38SiMnMo	调 质	≤100	182	565	35CrMo	调 质	≤100	179	550
		>100 ~ 300	179	555			>100 ~ 300	175	540
		>300 ~ 500	175	540			>300 ~ 500	169	525
		>500 ~ 800	164	500			>500 ~ 800	164	500
37SiMn2MoV	调 质	≤200	187	525	40Cr	调 质	≤100	179	550
		>200 ~ 400	185	490			>100 ~ 300	175	540
		>400 ~ 600	182	465			>300 ~ 500	169	525
							>500 ~ 800	155	475

注：表中的许用应力值，仅适用于表面粗糙度为  $R_a 6.3 \sim 0.8 \mu\text{m}$  的轴，对于  $R_a 12.5 \mu\text{m}$  以下的轴，许用应力应降低 10%； $R_a 0.4 \mu\text{m}$  以上的轴，许用应力可提高 10%。

表 1-1-102

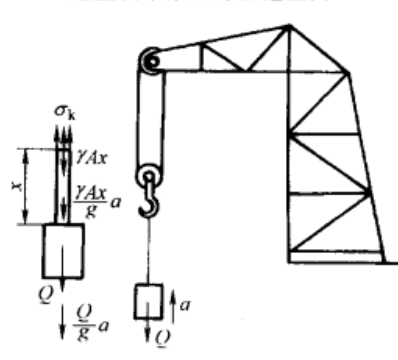
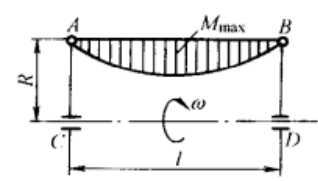
润滑一般的走轮类零件的许用接触应力<sup>[20]</sup>

材 料	热处理	硬度 HB	许用接触应力 /MPa	材 料	热处理	硬度 HB	许用接触应力 /MPa
35	正火	140 ~ 185	320 ~ 380	37SiMn2MoV	调质	240 ~ 290	500 ~ 560
	调质	155 ~ 205	400 ~ 430	42MnMoV	调质	220 ~ 260	500 ~ 550
45	正火	160 ~ 215	380 ~ 430	18MnMo	调质	190 ~ 230	480 ~ 540
	调质	215 ~ 255	440 ~ 470	18MnMoB	调质	240 ~ 290	500 ~ 580
20SiMn	正火	—	350 ~ 380	30CrMn2MoB	调质	240 ~ 300	570 ~ 590
35SiMn	调质	215 ~ 280	490 ~ 540	35CrMo	调质	220 ~ 265	500 ~ 550
42SiMn	调质	215 ~ 285	500 ~ 540	40Cr	调质	240 ~ 285	530 ~ 550
38SiMnMo	调质	195 ~ 270	500 ~ 540			215 ~ 260	480 ~ 530

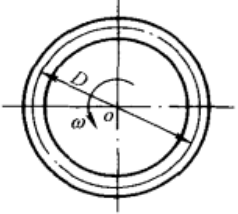
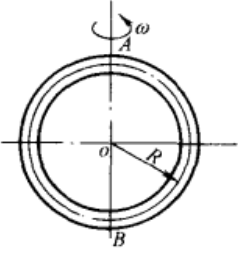

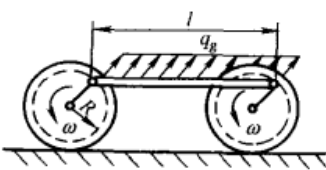
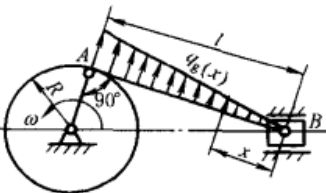
## 5.4 动荷应力

惯性力引起的动应力<sup>[4]</sup>

表 1-1-103

运动状况	实 例	计 算 公 式
构件作等加速运动	<p>起重机吊索以等加速上升</p> 	$\sigma_k = \frac{Q + \gamma Ax}{A} \left( 1 + \frac{a}{g} \right) = \sigma_s K_k$ $\Delta l_k = \Delta l_s K_k$ $K_k = 1 + \frac{a}{g} \text{ 称为动载荷系数}$ <p>强度条件 <math>\sigma_{kmax} = K_k \sigma_{smax} \leq \sigma_p</math> (以下均同)</p>
构件作等角速转动	<p>杆轴与旋转轴平行的构件, 如图示绕 CD 轴旋转的 AB 铰接杆</p> 	<p>对于 AB 杆</p> $\sigma_{kmax} = \frac{\rho \omega^2 A R l^2}{8 W}$ <p>对于 AC、BD 杆, 除计算出自身的惯性应力外在杆端部需附加 AB 梁引起的集中力</p> $Q_k = \frac{1}{2} \rho A R \omega^2 l$

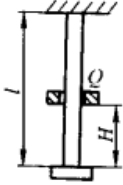
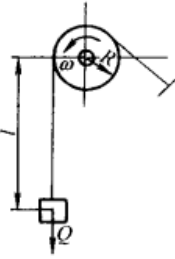
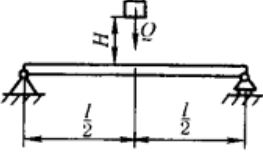
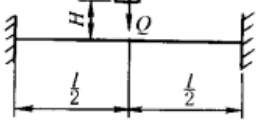
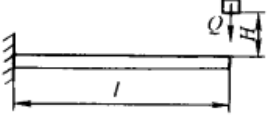
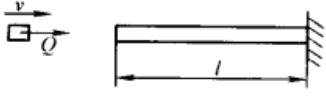


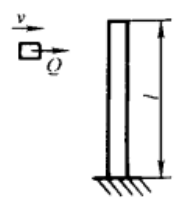
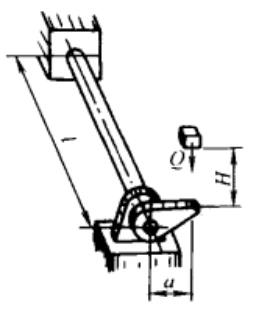
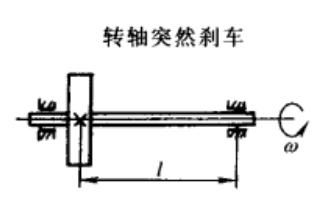
运动状况	实 例	计 算 公 式																		
构件 作等角 速转动	绕中心轴旋转的薄壁圆环 	圆环横截面上的应力 $\sigma_k = \rho \omega^2 R^2 = \rho v^2$ 直径变形 $\Delta D = \frac{D}{E} \sigma_k$ 圆环圆周速度 $v$ 与应力 $\sigma_k$ 的关系表 ( $\rho = 7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <tr> <td><math>v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}</math></td> <td>25</td> <td>50</td> <td>75</td> <td>100</td> <td>150</td> <td>200</td> <td>250</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_k/\text{GPa}</math></td> <td>4.9</td> <td>19.6</td> <td>44.2</td> <td>78.5</td> <td>176.6</td> <td>314.0</td> <td>490.6</td> <td>706.5</td> </tr> </table>	$v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	25	50	75	100	150	200	250	300	$\sigma_k/\text{GPa}$	4.9	19.6	44.2	78.5	176.6	314.0	490.6	706.5
	$v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	25	50	75	100	150	200	250	300											
$\sigma_k/\text{GPa}$	4.9	19.6	44.2	78.5	176.6	314.0	490.6	706.5												
	以直径为旋转轴的薄壁圆环 	圆环 AB 截面上的应力 $\sigma_{k\max} = \rho \omega^2 R^2 + \frac{\rho \omega^2 A R^3}{4W} = \rho v^2 \left( 1 + \frac{AR}{4W} \right)$																		
构件 作等角 加速度 转动	飞轮轴受 $M_t$ 作用使飞轮以等角加速度 $\varepsilon$ 转动 	轴横截面上最大切应力 $\tau_{k\max} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{I_0 \varepsilon}{W_t}$																		
构件 作变加 速运动	机车车轮连杆 	当连杆与曲柄垂直时应力最大 $\sigma_{k\max} = \frac{\rho A l^2 R \omega^2}{8W}$																		
构件 作平面 运动	发动机连杆 	当连杆与曲柄垂直时应力最大 $\sigma_{k\max} = \frac{\rho A l^2 R \omega^2}{9\sqrt{3}W}$																		

注： $\sigma_k$ —动应力； $\sigma_s$ —静应力； $\sigma_p$ —许用应力； $a$ —加速度； $\omega$ —角速度； $\varepsilon$ —角加速度； $\rho$ —构件材料的密度； $A$ —横截面积； $W$ —抗弯截面模量； $W_t$ —抗扭截面模量； $I_0$ —转动惯量。

冲击载荷计算公式<sup>[4]</sup>


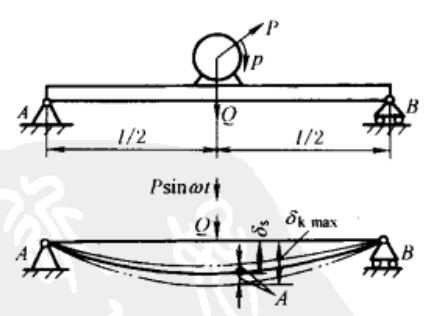
表 1-1-104

冲击型式	实 例	最 大 静 变 形 $\delta_s$	未考虑被冲击物质量时			考 虑 被 冲 击 物 质 量 时 修 正 系 数 $\alpha$	说 明
			最大冲击 变 形 $\delta_k$	动 荷 系 数 $K_k = \frac{\delta_k}{\delta_s}$	最大冲击 应 力 $\sigma_k$		
纵 向 冲 击		$\frac{Ql}{EA}$	$\delta_k = \delta_s K_k$	$1 + \sqrt{1 + \frac{2HEA}{Ql}}$ $E$ ——弹性模量 (下同) $A$ ——杆截面积 (下同)	$\frac{Q}{A} K_k$	$\alpha = \frac{1}{3}$	在很短的时间内 (作用时间小于受 力构件的基波自由 振动周期的一半) 以很大速度作用在 构件上的载荷,称为 冲击载荷。其应力 与变形的计算相当 复杂。计算时一般 按机械能守恒定律 作如下简化: (1)当冲击物的 质量比被冲击物 质量大 5~10 倍以 上时,被冲击物的 质量可略去不计 (2)冲击物的变 形略去不计,视为 刚体。被冲击物的 局部塑性变形也不 计,视为弹性体 (3)冲击物在冲 击时的弹性回跳量 略去不计,冲击应 力波引起的能量损 耗不计 冲击动荷系数计 算公式为: (1)已知冲击物 冲击前的高度 $H$ , 则 $K_k = 1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{\delta_s}}$ (2)已知冲击物 以速度 $v$ 作用于被 冲击物, 则 $K_k = 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2}{g\delta_s}}$ 从前两公式可知, 当 $H=0$ 或 $v=0$ , 即 载荷突然全部加于 构件, 称为突加载 荷, 此时 $K_k = 2$ (3)已知冲击物 的动能 $T_k$ , 则
		$\frac{Ql}{EA}$		$1 + \sqrt{\frac{v^2 EA}{gQl}}$	$\frac{Q}{A} K_k$ $v = R\omega$		
横 向 冲 击		$\frac{Ql^3}{48EI}$	$1 + \sqrt{1 + \frac{96HEI}{Ql^3}}$ $l$ ——截面惯 性矩 (下同)	$\frac{Ql}{4W} K_k$	$\alpha = \frac{17}{35}$		
		$\frac{Ql^3}{192EI}$	$1 + \sqrt{1 + \frac{384HEI}{Ql^3}}$	$\frac{Ql}{8W} K_k$			
		$\frac{Ql^3}{3EI}$	$1 + \sqrt{1 + \frac{6HEI}{Ql^3}}$	$\frac{Ql}{W} K_k$		$\alpha = \frac{33}{140}$	
水 平 冲 击		$\frac{Ql}{EA}$	$\sqrt{\frac{v^2 EA}{gQl}}$	$\frac{Q}{A} K_k$	$\alpha = \frac{1}{3}$		

冲击型式	实 例	最 大 静变形 $\delta_s$	未考虑被冲击物质量时			考虑被 冲击物质 量时修正 系数 $\alpha$	说 明
			最大冲击 变形 $\delta_k$	动荷系数 $K_k = \frac{\delta_k}{\delta_s}$	最大冲击 应力 $\sigma_k$		
水平冲击		$\frac{Ql^3}{3EI}$		$\sqrt{\frac{3v^2 EI}{gQl^3}}$	$\frac{Ql}{W} K_k$	$\alpha = \frac{33}{140}$	$K_k = 1 + \sqrt{1 + \frac{T_k}{U_s}}$ $U_s$ —— 被冲击物 在静载荷作用下的 变形能 若被冲击物的质量 较大需考虑时,被 冲击物的冲击应力 与应变以波的形式 传播,称为应力波或 应变波,作为简化计 算,可在动荷系数中 乘以修正系数 $\alpha$ ,即 $K_k = 1 +$ $\sqrt{1 + \frac{2H}{\delta_s (1 + \alpha \frac{m'}{m})}}$ $m'$ —— 被冲击物的 质量 $m$ —— 冲击物的 质量
冲击 扭		$\varphi_s = \frac{Qal}{GI_t}$ $\delta_s = \frac{Qa^2 l}{GI_t}$	$\delta_k = \delta_s K_k$	$1 + \sqrt{1 + \frac{2HGI_t}{Qa^2 l}}$ $l_t$ —— 抗剪惯 性矩 $G$ —— 切变模量	$\tau_k = \frac{Qa}{W_t} K_k$		
转	转轴突然刹车 			$n$ —— 转轴转速, r/min	$\tau_k = \sqrt{\frac{2\omega^2 GI}{Al}}$ $= \frac{\pi n}{30} \sqrt{\frac{2GI}{Al}}$		

振动应力<sup>[4]</sup>

表 1-1-105

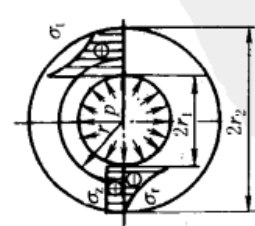

振动情况	自 由 振 动	有 阻 尼 强 迫 振 动
实 例		
振动应力 计算公式	$\sigma_k = \sigma_s \left( 1 + \frac{A}{\delta_s} \right)$	$\sigma_{kmax} = \sigma_s \left( 1 + \frac{\delta_p}{\delta_s} \beta \right)$ $\sigma_{kmin} = \sigma_s \left( 1 - \frac{\delta_p}{\delta_s} \beta \right)$ $\beta = \frac{1}{\sqrt{\left[ \left( 1 - \frac{p}{\omega} \right)^2 + 4 \left( \frac{n}{\omega} \right)^2 \left( \frac{p}{\omega} \right)^2 \right]}}$

注:  $\sigma_k$ —振动应力;  $\sigma_s$ —静应力;  $A$ —振幅;  $\delta_s$ —静变形;  $\delta_p$ —干扰力  $P$  按静载荷作用产生的变形;  $Q$ —静载荷;  $P$ —离心惯性力;  $P \sin \omega t$ —惯性力垂直分量;  $\beta$ —放大系数;  $p$ —干扰力频率;  $\omega$ —振动系统固有频率;  $n$ —阻尼系数。

5.5 厚壁圆筒、等厚圆盘及薄壳中的应力

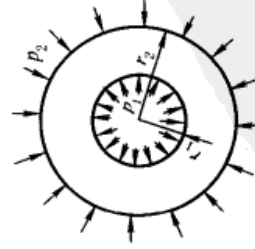
厚壁圆筒计算公式<sup>[19]</sup>

表 1-1-106

载荷类型与应力分布图	半径为 $r$ 的圆柱面上点的主应力: $\sigma_r$ —径向应力, $\sigma_t$ —切向应力, $\sigma_z$ —轴向应力	半径为 $r$ 的圆柱面上点的径向位移 $\Delta r$ , 沿长度 $l$ 方向的位移 $\Delta l$	危险点的主应力; 危险点的相当应力 ( $k = r_1/r_2$ )
<p>承受内压 <math>p</math> 作用的圆筒</p>  <p>圆筒长度为 <math>l</math> (下同)</p>	$\sigma_r = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right)$ $\sigma_t = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right)$ $\sigma_z = 0 \text{ (开口圆筒)}$ $\sigma_z = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \text{ (封闭圆筒)}$	<p>开口圆筒</p> $\Delta r = \frac{pr_1^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \left[ (1 - \mu)r + (1 + \mu)\frac{r_2^2}{r} \right]$ $\Delta l = \frac{p\mu l}{E} \times \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}$ <p>封闭圆筒</p> $\Delta r = \frac{pr_1^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \left[ (1 - 2\mu)r + (1 + \mu)\frac{r_2^2}{r} \right]$ $\Delta l = \frac{pl}{E} \times \frac{r_1^2(1 - 2\mu)}{r_2^2 - r_1^2}$	$r = r_1$ $\sigma_1 = \sigma_t = \frac{1 + k^2}{1 - k^2} p$ $\sigma_2 = \sigma_z = 0 \text{ (开口圆筒)}$ $\sigma_2 = \sigma_z = \frac{k^2}{1 - k^2} p \text{ (封闭圆筒)}$ $\sigma_3 = \sigma_r = -p$ $\sigma_{III} = \frac{2p}{1 - k^2}$ <p>当 <math>r_2 \rightarrow \infty, k \rightarrow 0</math> 时, 根据第三强度理论有</p> $\sigma_{III} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq \sigma_p$ <p>强度条件为</p> $2p \leq \sigma_p, p \leq \frac{\sigma_p}{2}$ <p>说明即使很厚的圆筒, 其内压也不能超过一定的限度</p> $\sigma_M = p \left( \frac{1 + k^2}{1 - k^2} + \frac{\sigma_{pl}}{\sigma_{pc}} \right)$ $\sigma_{pl} = \frac{\sigma_{bl}}{S}, \sigma_{pc} = \frac{\sigma_{bc}}{S}$
<p>承受外压 <math>p</math> 作用的圆筒</p> 	$\sigma_r = -\frac{pr_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 - \frac{r_1^2}{r^2} \right)$ $\sigma_t = -\frac{pr_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 + \frac{r_1^2}{r^2} \right)$ $\sigma_z = 0 \text{ (开口圆筒)}$ $\sigma_z = -\frac{pr_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \text{ (封闭圆筒)}$	<p>开口圆筒</p> $\Delta r = -\frac{pr_2^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \left[ (1 - \mu)r + (1 + \mu)\frac{r_1^2}{r} \right]$ $\Delta l = \frac{p\mu l}{E} \times \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}$ <p>封闭圆筒</p> $\Delta r = -\frac{pr_2^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \left[ (1 - 2\mu)r + (1 + \mu)\frac{r_1^2}{r} \right]$ $\Delta l = -\frac{pl}{E} \times \frac{r_2^2(1 - 2\mu)}{r_2^2 - r_1^2}$	$r = r_1, \sigma_1 = \sigma_t = 0$ $\sigma_2 = \sigma_z = 0 \text{ (开口圆筒)}$ $\sigma_2 = \sigma_z = -\frac{p}{1 - k^2} \text{ (封闭圆筒)}$ $\sigma_3 = \sigma_r = -\frac{2p}{1 - k^2}$ $\sigma_{III} = \frac{2p}{1 - k^2}$ $\sigma_M = \frac{2p}{1 - k^2} \times \frac{\sigma_{pl}}{\sigma_{pc}}$ $\sigma_{pl} = \frac{\sigma_{bl}}{S}, \sigma_{pc} = \frac{\sigma_{bc}}{S}$



续表

载荷类型与应力分布图	半径为 $r$ 的圆柱面上点的主应力: $\sigma_r$ 一向应力, $\sigma_\theta$ 一切向应力, $\sigma_z$ 一向应力	半径为 $r$ 的圆柱面上点的径向位移 $\Delta r$ , 沿长度 $l$ 方向的位移 $\Delta l$	危险点的主应力: 危险点的相当应力 ( $k = r_1/r_2$ )
同时承受内压 $p_1$ 和外压 $p_2$ 作用的圆筒 	$\sigma_r = \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{r_1^2 r_2^2 (p_1 - p_2)}{r^2 (r_2^2 - r_1^2)} \times \frac{1}{r^2}$ $\sigma_\theta = \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{r_1^2 r_2^2 (p_1 - p_2)}{r^2 (r_2^2 - r_1^2)} \times \frac{1}{r^2}$ $\sigma_z = 0 \text{ (开口圆筒)}$ $\sigma_z = \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \text{ (封闭圆筒)}$	开口圆筒 $\Delta r = \frac{1 - \mu}{E} \times \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2} r + \frac{1 + \mu}{E} \times \frac{r_1^2 r_2^2 (p_1 - p_2)}{r_2^2 - r_1^2} \times \frac{1}{r}$ 封闭圆筒 $\Delta r = \frac{1 - 2\mu}{E} \times \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2} r + \frac{1 + \mu}{E} \times \frac{r_1^2 r_2^2 (p_1 - p_2)}{r_2^2 - r_1^2} \times \frac{1}{r}$	$r = r_1$ $\sigma_r = -p_1$ $\sigma_\theta = \frac{(1 + k^2) p_1 - 2p_2}{1 - k^2}$ $\sigma_z = \frac{k^2 p_1 - p_2}{1 - k^2}$

注: 1. 当外径与内径之比  $d_2/d_1 > 1.1$  时, 一般按厚壁圆筒计算。

2.  $\sigma_H$ 、 $\sigma_M$  分别为按第三强度理论和莫尔强度理论计算的相当应力。

3.  $\sigma_{bc}$ 、 $\sigma_{bc}$  分别为拉伸和压缩时的强度极限;  $S$  为安全系数;  $\sigma_n$ 、 $\sigma_{pc}$  分别为拉伸与压缩时的许用应力;  $E$ 、 $\mu$  分别为弹性模量和泊松比。

4. 从表可知, 单纯增加壁厚并不能提高内压圆筒的承载能力, 而且增加壁厚将使圆筒内、外侧的应力相差更大, 使圆筒外侧的大部分材料不能充分利用。为了有效地提高承载能力, 可采用过盈配合的方法制成组合圆筒。

5. 内压厚壁圆筒的压力容器的计算, 按钢制压力容器标准 (摘自 GB 150—1998) 计算, 外压厚壁圆筒要考虑圆筒体的稳定性。

等厚旋转圆盘计算公式

表 1-1-107

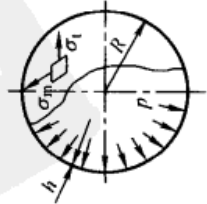
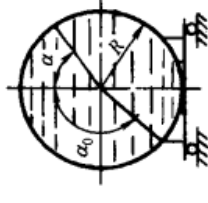
强度校核	应力公式	最大应力	应力公式	最大应力
实心圆盘	当外表面不存在压力,仅考虑离心力径向应力 $\sigma_r = \frac{3+\mu}{8}\rho\omega^2(r_2^2 - r^2)$ 切向应力 $\sigma_t = \frac{\rho\omega^2}{8}[(3+\mu)r_2^2 - (1+3\mu)r^2]$	最大应力发生在盘中心处( $r=0$ ) $\sigma_{\max} = \sigma_{t\max} = \frac{3+\mu}{8}\rho\omega^2 r_2^2$	$\sigma_r = \frac{3+\mu}{8}\rho\omega^2 \left( r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_2^2 r_1^2}{r^2} - r^2 \right)$ $\sigma_t = \frac{3+\mu}{8}\rho\omega^2 \left( r_2^2 + r_1^2 + \frac{r_2^2 r_1^2}{r^2} - \frac{1+3\mu}{3+\mu} r^2 \right)$	最大径向应力发生在 $r = \sqrt{r_2 r_1}$ 处,最大切向应力发生在中心孔内径上( $r=r_1$ ) $\sigma_{\max} = \frac{3+\mu}{8}\rho\omega^2 (r_2 - r_1)^2$ $\sigma_{t\max} = \frac{3+\mu}{4}\rho\omega^2 \left( r_2^2 + \frac{1-\mu}{3+\mu} r_1^2 \right)$ 当 $r_1 \rightarrow 0$ , 中心孔处的切向应力比实心盘中心处的应力约大一倍
带中心孔的圆盘				
强度校核	按第三强度理论,当 $\sigma_t$ 和 $\sigma_r$ 同号时,取其中绝对值较大者作为相当应力 $\sigma_{\text{III}}$ , 强度条件为 $\sigma_{\text{III}} \leq \sigma_p$ 当 $\sigma_t$ 和 $\sigma_r$ 异号时,则相当应力取两者之差,强度条件为 $\sigma_{\text{III}} = \sigma_t - \sigma_r \leq \sigma_p$			

注:  $\mu$ —泊松比;  $\rho$ —圆盘材料密度;  $\omega$ —旋转角速度;  $r_2$ —圆盘外圆半径;  $r_1$ —圆盘中心孔半径;  $r$ —圆盘内任一点处半径;  $\sigma_p$ —许用应力。

薄壳中应力与位移计算公式<sup>[19]</sup>

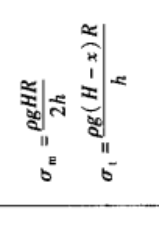

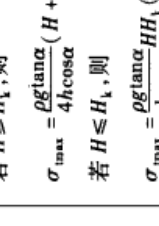
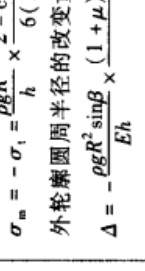
$E, \mu, \rho_M$  —分别为壳体材料的弹性模量、泊松比和密度  
 $\omega$  —壳表面垂直方向上的位移 (离开壳体轴线或中心者为正)  
 $\rho$  —液体密度  
 $g$  —重力加速度

表 1-1-108

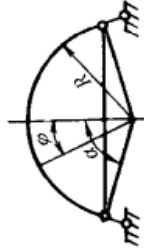
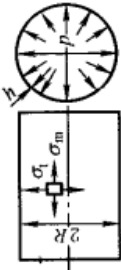
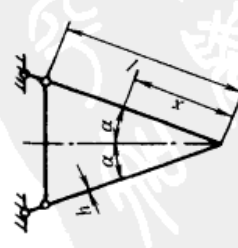
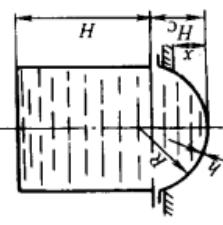
类型	公式	类型	公式
承受均匀内压的球罐  $\sigma_m = \sigma_t = \frac{pR}{2h}$ $\omega = \frac{pR^2}{2Eh}(1-\mu)$		装满液体并且在半径为 $R \sin \alpha_0$ 处支承的球罐 	内压 $p = \rho g R (1 - \cos \alpha)$ $\alpha \leq \alpha_0$ $\sigma_m = \frac{\rho g R^2}{6h} \left( 1 - \frac{2 \cos^2 \alpha}{1 + \cos \alpha} \right)$ $\sigma_t = \frac{\rho g R^2}{6h} \left( 5 - 6 \cos \alpha + \frac{2 \cos^2 \alpha}{1 + \cos \alpha} \right)$ $\alpha > \alpha_0$ $\sigma_m = \frac{\rho g R^2}{6h} \left( 5 + \frac{2 \cos^2 \alpha}{1 - \cos \alpha} \right)$ $\sigma_t = \frac{\rho g R^2}{6h} \left( 1 - 6 \cos \alpha - \frac{2 \cos^2 \alpha}{1 - \cos \alpha} \right)$



续表

类 型	公 式	类 型	公 式
<p>装满液体的球形容器， 边界上自由支承</p> 	<p>内压 <math>p = \rho g R (\cos \varphi - \cos \beta)</math></p> $\sigma_m = \frac{\rho g R^2}{h} \left[ \frac{1 + \cos \varphi + \cos^2 \varphi - \cos \beta}{3(1 + \cos \varphi)} - \frac{\cos \beta}{2} \right]$ $\sigma_1 = \frac{\rho g R^2}{h} \left[ \frac{-1 + 2 \cos \varphi + 2 \cos^2 \varphi - \cos \beta}{3(1 + \cos \varphi)} - \frac{\cos \beta}{2} \right]$ <p>当 <math>\varphi = 0</math> 时，</p> $\sigma_m = \sigma_1 = \frac{\rho g R^2}{h} \times \frac{1 - \cos \beta}{2} = \sigma_{\max}$ <p>当 <math>\varphi = \beta</math> 时，</p> $\sigma_m = -\sigma_1 = \frac{\rho g R^2}{h} \times \frac{2 - \cos \beta - \cos^2 \beta}{6(1 + \cos \beta)}$ <p>外轮廓圆周半径的改变量</p> $\Delta = -\frac{\rho g R^2 \sin \beta}{Eh} \times \frac{(1 + \mu)(2 - \cos \varphi - \cos^2 \varphi)}{6(1 + \cos \varphi)}$	<p>装满液体的圆柱壳，上边 自由支承</p> 	<p>锥底中的应力</p> $\sigma_m = \frac{\rho g \tan \alpha}{2h \cos \alpha} \left( H + H_k - \frac{2}{3}x \right) x$ $\sigma_1 = \frac{\rho g x \tan \alpha}{h \cos \alpha} (H + H_k - x)$ <p>若 <math>H &gt; H_k/3</math>，则</p> $\sigma_{\max} = \frac{\rho g \tan \alpha}{2h \cos \alpha} \left( H + \frac{H_k}{3} \right) H_k \quad (\text{在 } x = H_k \text{ 处})$ <p>若 <math>H &lt; H_k/3</math>，则</p> $\sigma_{\max} = \frac{3 \rho g \tan \alpha}{16 h \cos \alpha} (H + H_k)^2 \quad (\text{在 } x = \frac{3}{4}(H + H_k) \text{ 处})$ <p>若 <math>H \geq H_k</math>，则</p> $\sigma_{\max} = \frac{\rho g \tan \alpha}{4 h \cos \alpha} (H + H_k)^2 \quad (\text{在 } x = \frac{H + H_k}{2} \text{ 处})$ <p>若 <math>H \leq H_k</math>，则</p> $\sigma_{\max} = \frac{\rho g \tan \alpha}{h \cos \alpha} H H_k \quad (\text{在 } x = H_k \text{ 处})$
<p>装满液体的圆锥壳，边 界上自由支承</p> 	<p>内压 <math>p = \rho g R (\cos \varphi - \cos \beta)</math></p> $\sigma_m = \frac{\rho g R^2 \sin \beta}{h} \times \frac{(1 + \mu)(2 - \cos \varphi - \cos^2 \varphi)}{6(1 + \cos \varphi)}$	<p>带有锥底的圆柱壳，装满 液体</p> 	<p>锥底中的应力</p> $\sigma_m = \frac{\rho g x \tan \alpha}{2h \cos \alpha} \left( H - \frac{2}{3}x \right)$ $\sigma_1 = \frac{\rho g x \tan \alpha}{h \cos \alpha} (H - x)$ $\sigma_{\max} = \frac{3 \rho g H^2 \tan \alpha}{16 h \cos \alpha} \left( x = \frac{3}{4}H \text{ 处} \right)$ $\sigma_{\max} = \frac{\rho g H^2 \tan \alpha}{4 h \cos \alpha} \left( x = \frac{H}{2} \text{ 处} \right)$ <p>轮廓圆周半径的改变量</p> $\Delta = -\mu \frac{\rho g H^3 \tan^2 \alpha}{6 h E \cos \alpha}$

续表

类型	公式	类型	公式
<p>自重作用下的球形拱, 拱边自由支承</p> 	$\sigma_m = -\frac{\rho_M g R}{1 + \cos\varphi}$ $\sigma_t = \rho_M g R \frac{1 - \cos\varphi - \cos^2\varphi}{1 + \cos\varphi}$ <p><math>\varphi = 51^\circ 50'</math> 时, <math>\sigma_t = 0</math>;  <math>0 &lt; \varphi &lt; 51^\circ 50'</math> 时, <math>\sigma_t &lt; 0</math>;  <math>\varphi &gt; 51^\circ 50'</math> 时, <math>\sigma_t &gt; 0</math></p>	<p>带底的长圆柱壳, 承受均匀内压</p> 	<p>离开边界较远处</p> $\sigma_m = \frac{pR}{2h}$ $\sigma_t = \frac{pR}{h} = \sigma_{\max}$ $\omega = \frac{pR^2}{Eh} \left(1 - \frac{\mu}{2}\right)$
<p>在自重作用下的圆锥壳, 边界自由支承</p> 	<p>距离边界较远处</p> $\sigma_m = \frac{\rho_M g x}{2\cos\alpha}; \quad \sigma_t = \frac{\rho_M g x \sin^2\alpha}{\cos\alpha}$ <p>边界 (<math>x=l</math>) 处的径向位移</p> $\Delta = \frac{\rho_M g l^2}{E} \tan\alpha \left(\sin^2\alpha - \frac{\mu}{2}\right)$ <p>当 <math>\sin\alpha = \sqrt{\frac{\mu}{2}}</math> 时, <math>\Delta = 0</math></p>	<p>带有球底的圆柱壳, 装满液体</p> 	<p>球底中的应力</p> $\sigma_m = \frac{\rho g R}{2h} \left[ H + H_c - x + \frac{x(3R-x)}{3(2R-x)} \right]$ $\sigma_{\max} = \frac{\rho g R}{2h} (H + H_c) \quad (\text{在 } x=0 \text{ 处})$ $\sigma_t = \frac{\rho g R}{2h} \left[ H + H_c - x - \frac{x(3R-x)}{3(2R-x)} \right]$ $\sigma_{t, \max} = \frac{\rho g R}{2h} (H + H_c) \quad (\text{在 } x=0 \text{ 处})$ <p>对于半球底 (<math>H_c = R</math>)</p> $\sigma_{\max} = \sigma_{t, \max} = \frac{\rho g R}{2h} (H + R) \quad (\text{在 } x=0 \text{ 处})$

注: 1. 当外径与内径之比  $d_2/d_1 \leq 1.1$  时, 按薄壳计算。  
 2. 表中计算系“薄膜理论”方法。如仅在边界处考虑弯矩、扭矩及剪切力的影响, 而在离开边界稍远部分仍用薄膜理论计算, 这种近似计算方法称为“边缘效应”方法, 可参考有关书籍。



## 5.6 平板中的应力<sup>[17]</sup>

直角坐标系的  $xOz$  平面和平板的水平中层面重合,  $y$  轴的方向垂直向下。对于矩形平板,  $x$  轴的方向和平板长边之一重合, 坐标原点和一角重合 (图 1-1-5a)。对于圆形平板, 用圆柱坐标系; 基面和中层面重合,  $y$  轴通过中心 (图 1-1-5b)。

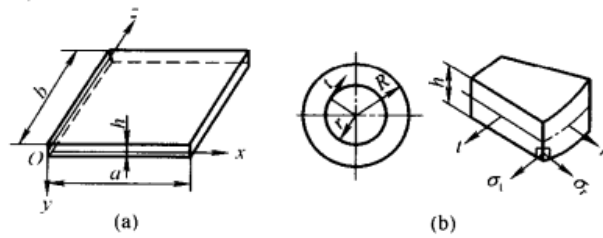
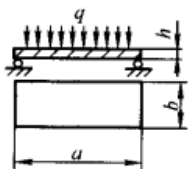
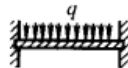
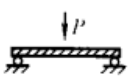
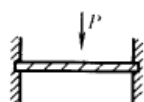


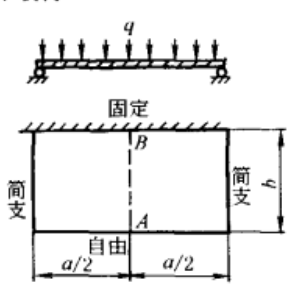
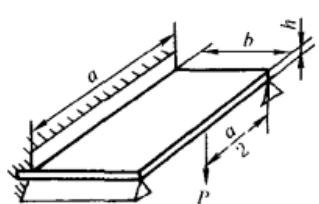
图 1-1-5 平板中的应力

表 1-1-109 中所列矩形或表 1-1-112 中所列圆形板公式适用于  $h \leq 0.2b$  (小边) 的刚性薄板 (即  $\frac{f}{h} \leq 0.2$  的小挠度板, 即薄膜内力很小)。公式中取泊松比  $\mu = 0.3$ 。薄板的大挠度计算请参考其他有关手册。

表 1-1-109 矩形平板计算公式 ( $a \geq b$ )

支承与载荷特性	中心挠度	中心应力	长边中心应力
 <p>周界铰支, 整个板面受均布载荷 <math>q</math></p>	$f = c_0 \frac{qb^4}{Eh^3}$	$\sigma_z = c_1 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$ $\sigma_x = c_2 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$	
 <p>周界固定, 整个板面受均布载荷 <math>q</math></p>	$f = c_3 \frac{qb^4}{Eh^3}$	$\sigma_z = c_4 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$ $\sigma_x = c_5 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$	$\sigma = -c_6 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$
 <p>周界铰支, 中心受集中载荷 <math>P</math></p>	$f = c_7 \frac{Pb^2}{Eh^3}$	载荷作用点附近的应力分布, 大致和半径为 $0.64b$ 、中心受集中力的圆形平板相同	
 <p>周界固定, 中心受集中载荷 <math>P</math></p>	$f = c_8 \frac{Pb^2}{Eh^3}$		$\sigma = -c_9 \frac{P}{h^2}$

续表

支承与载荷特性	中心挠度	中心应力	长边中心应力
<p>两个对边简支,第三边固定,第四边自由,整个板面受均布载荷</p> 	<p>最大挠度在自由边的中点 A 处</p> $f = a \frac{qb^4}{Eh^3}$		<p>最大弯曲应力发生在长边中心的 A 点及 B 点处</p> <p>A 点处:</p> $\sigma = \beta_1 q \left( \frac{a}{h} \right)^2$ <p>B 点处:</p> $\sigma = -\beta_2 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$
<p>两个对边简支,第三边固定,第四边自由,自由边中心受集中载荷 P</p> 	<p>当 <math>a \gg b</math> 时,受力点的挠度</p> $f = \frac{1.82Pb^2}{Eh^3}$		<p>当 <math>a \gg b</math> 时,受力点的计算应力</p> $\sigma = \frac{3.06P}{h^2}$

注: 1. 负号表示上边纤维受拉伸。

2. 系数  $c_0 \sim c_9$  及  $\alpha$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$  见表 1-1-110 和表 1-1-111。

表 1-1-110 矩形平板系数表 ( $a \geq b$ )

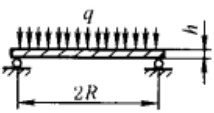
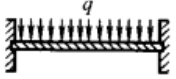
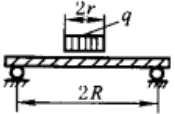
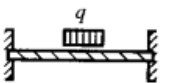
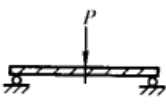
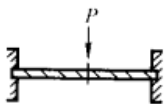
$\frac{a}{b}$	$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	$c_9$	$\frac{a}{b}$
1.0	0.0443	0.2874	0.2874	0.0138	0.1374	0.1374	0.3102	0.1265	0.0611	0.7542	1.0
1.1	0.0530	0.3318	0.2964	0.0165	0.1602	0.1404	0.3324	0.1381			1.1
1.2	0.0616	0.3756	0.3006	0.0191	0.1812	0.1386	0.3672	0.1478	0.0706	0.8940	1.2
1.3	0.0697	0.4158	0.3024	0.0210	0.1968	0.1344	0.4008				1.3
1.4	0.0770	0.4518	0.3036	0.0227	0.2100	0.1290	0.4284	0.1621	0.0755	0.9624	1.4
1.5	0.0843	0.4872	0.2994	0.0241	0.2208	0.1224	0.4518				1.5
1.6	0.0906	0.5172	0.2958	0.0251			0.4680	0.1714	0.0777	0.9906	1.6
1.7	0.0964	0.5448	0.2916								1.7
1.8	0.1017	0.5688	0.2874	0.0267			0.4872	0.1769	0.0786	1.0002	1.8
1.9	0.1064	0.5910	0.2826								1.9
2.0	0.1106	0.6102	0.2784	0.0277			0.4974	0.1803	0.0788	1.0044	2.0
3.0	0.1336	0.7134	0.2424					0.1846			3.0
4.0	0.1400	0.7410	0.2304								4.0
5.0	0.1416	0.7476	0.2250								5.0
$\infty$	0.1422	0.7500	0.2250	0.0284			0.5000	0.1849	0.0792	1.008	$\infty$

表 1-1-111 系数  $\alpha, \beta_1, \beta_2$  的数值

$\frac{b}{a}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{3}{2}$	2	3	$\infty$
$\alpha$	1.37	1.03	0.635	0.366	0.123	0.154	0.164	0.166	0.166
$\beta_1$	0	0.0468	0.176	0.335	0.583	0.738	0.786	0.798	0.798
$\beta_2$	3.0	2.568	1.914	1.362	0.714	0.744	0.750	0.750	0.750

表 1-1-112

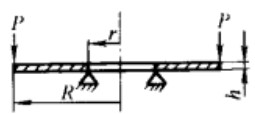
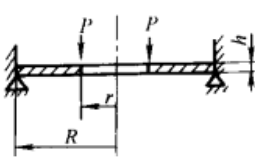
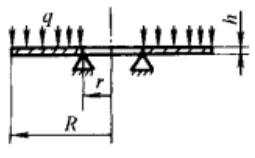
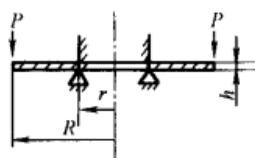
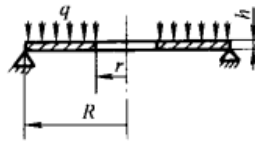
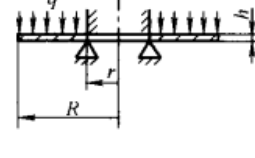
圆形平板计算公式<sup>[17]</sup>

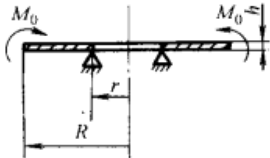
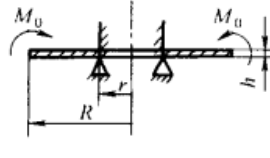
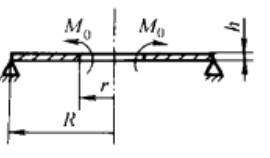
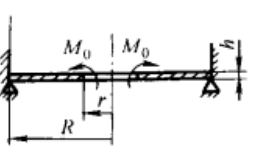
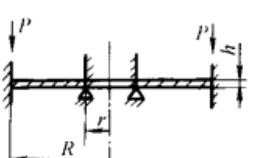
支承与载荷特性	中心挠度	中心应力	周界应力
周界铰支, 整个板面受均布载荷 $q$ 	$f = \frac{0.7qR^4}{Eh^3}$	$\sigma_r = \sigma_t = \mp 1.24q \left( \frac{R}{h} \right)^2$ “+”号指下表面, “-”号指上表面, 下同	$\sigma_r = 0; \sigma_t = \mp 0.52q \left( \frac{R}{h} \right)^2$ “+、-”号同左边
周界固定, 整个板面受均布载荷 $q$ 	$f = \frac{0.17qR^4}{Eh^3}$	$\sigma_r = \sigma_t = \mp 0.49q \left( \frac{R}{h} \right)^2$	$\sigma_r = \pm 0.75q \left( \frac{R}{h} \right)^2; \sigma_t = \mu\sigma_r$ “+”号指上表面, “-”号指下表面
周界铰支, 载荷均布在中心半径为 $r$ 的圆面积上。比值 $\frac{r}{R} = \beta$ 	$f = (1.73 - 1.03\beta^2 + 0.68 \times \beta^2 \ln\beta) \frac{qR^2r^2}{Eh^3}$	$\sigma_r = \sigma_t = \mp (1.5 - 0.262\beta^2 - 1.95 \ln\beta) q \left( \frac{r}{h} \right)^2$	$\sigma_r = 0;$ $\sigma_t = \mp 0.525(2 - \beta^2) q \left( \frac{r}{h} \right)^2$ “+”号指下表面, “-”号指上表面
周界固定, 载荷均布在中心半径为 $r$ 的圆面积上。比值 $\frac{r}{R} = \beta$ 	$f = (0.68 - 0.51\beta^2 + 0.68 \times \beta^2 \ln\beta) \frac{qR^2r^2}{Eh^3}$	$\sigma_r = \sigma_t = \mp 0.49(\beta^2 - 4 \ln\beta) q \left( \frac{r}{h} \right)^2$	$\sigma_r = \pm 0.75(2 - \beta^2) q \left( \frac{r}{h} \right)^2;$ $\sigma_t = \mu\sigma_r$ “+”号指上表面, “-”号指下表面
周界铰支, 中心受集中载荷 $P$ 	$f = \frac{0.55PR^2}{Eh^3}$	最大拉伸应力在下表面 $\sigma_{\max} = \sigma_r = \sigma_t = \frac{P}{h^2} \left( 0.63 \ln \frac{R}{h} + 1.16 \right)$	$\sigma_t = \mp 0.334 \frac{P}{h^2}$ “+”号指下表面, “-”号指上表面
周界固定, 中心受集中载荷 $P$ 	$f = \frac{0.218PR^2}{Eh^3}$	最大拉伸应力在下表面 $\sigma_{\max} = \sigma_r = \sigma_t = \frac{P}{h^2} \left( 0.63 \ln \frac{R}{h} + 0.68 \right)$	$\sigma_r = \pm 0.477 \frac{P}{h^2}$ “+”号指上表面, “-”号指下表面

注: 表中  $\sigma_r$ 、 $\sigma_t$  表示径向应力和圆周向应力;  $\mu$  为泊松比。

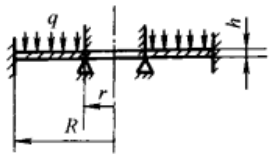
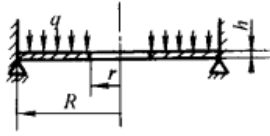
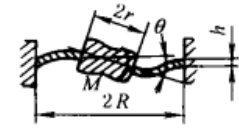
表 1-1-113

圆环形平板计算公式<sup>[17,21]</sup>

支承与载荷特性	最大挠度	内、外周界处转角	内周界处应力	外周界处应力
1. 	$f = C_1 \frac{PR^2}{Eh^3}$	$\theta_r = K_1 \frac{PR^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = 0$	$\sigma_r = 0$
		$\theta_R = K_2 \frac{PR^2}{rEh^3}$	$\sigma_1 = A_1 \frac{P}{h^2}$	$\sigma_1 = B_1 \frac{P}{h^2}$
2. 	$f = C_2 \frac{PR^2}{Eh^3}$		$\sigma_r = 0$	$\sigma_r = B_2 \frac{P}{h^2}$
			$\sigma_1 = A_2 \frac{P}{h^2}$	$\sigma_1 = B_3 \frac{P}{h^2}$
3. 	$f = C_3 \frac{qR^4}{Eh^3}$	$\theta_r = K_3 \frac{qR^4}{rEh^3}$	$\sigma_r = 0$	$\sigma_r = 0$
		$\theta_R = K_4 \frac{qR^4}{rEh^3}$	$\sigma_1 = A_3 \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_r = B_4 \frac{qR^2}{h^2}$
4. 	$f = C_4 \frac{PR^2}{Eh^3}$	$\theta_r = 0$	$\sigma_r = A_4 \frac{P}{h^2}$	$\sigma_r \approx 0$
		$\theta_R = K_5 \frac{PR^2}{rEh^3}$	$\sigma_1 = A_5 \frac{P}{h^2}$	$\sigma_1 = B_5 \frac{P}{h^2}$
5. 	$f = C_5 \frac{qR^4}{Eh^3}$	$\theta_r = K_6 \frac{qR^4}{rEh^3}$	$\sigma_r = 0$	$\sigma_r = 0$
		$\theta_R = K_7 \frac{qR^4}{rEh^3}$	$\sigma_1 = A_6 \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_1 = B_6 \frac{qR^2}{h^2}$
6. 	$f = C_6 \frac{qR^4}{Eh^3}$	$\theta_r = 0$	$\sigma_r = A_7 \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_r = 0$
		$\theta_R = K_8 \frac{qR^4}{rEh^3}$	$\sigma_1 = A_8 \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_1 = B_7 \frac{qR^2}{h^2}$

支承与载荷特性	最大挠度	内、外周界处转角	内周界处应力	外周界处应力
7. 	$f = C_7 \frac{M_0 R^2}{Eh^3}$	$\theta_r = K_9 \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = 0$	$\sigma_r = \frac{6M_0}{h^2}$
		$\theta_R = K_{10} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = A_9 \frac{M_0}{h^2}$	$\sigma_r = B_8 \frac{M_0}{h^2}$
8. 	$f = C_8 \frac{M_0 R^2}{Eh^3}$	$\theta_r = 0$	$\sigma_r = A_{10} \frac{M_0}{h^2}$	$\sigma_r = \frac{6M_0}{h^2}$
		$\theta_R = K_{11} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = A_{11} \frac{M_0}{h^2}$	$\sigma_r = B_9 \frac{M_0}{h^2}$
9. 	$f = C_9 \frac{M_0 R^2}{Eh^3}$	$\theta_r = K_{12} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = \frac{6M_0}{h^2}$	$\sigma_r = 0$
		$\theta_R = K_{13} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = A_{12} \frac{M_0}{h^2}$	$\sigma_r = B_{10} \frac{M_0}{h^2}$
10. 	$f = C_{10} \frac{M_0 R^2}{Eh^3}$	$\theta_r = K_{14} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = \frac{6M_0}{h^2}$	$\sigma_r = B_{11} \frac{M_0}{h^2}$
		$\theta_R = 0$	$\sigma_r = A_{13} \frac{M_0}{h^2}$	$\sigma_r = B_{12} \frac{M_0}{h^2}$
11. 	$f = C_{11} \frac{PR^2}{Eh^3}$	$\theta_r = 0$	$\sigma_r = A_{14} \frac{P}{h^2}$	$\sigma_r = B_{13} \frac{P}{h^2}$
		$\theta_R = 0$	$\sigma_r = A_{15} \frac{P}{h^2}$	$\sigma_r = B_{14} \frac{P}{h^2}$

续表

支承与载荷特性	最大挠度	内、外周界处转角	内周界处应力	外周界处应力
12. 	$f = C_{12} \frac{qR^4}{Eh^3}$		$\sigma_r = A_{16} \frac{qR^2}{h^2}$ $\sigma_t = A_{17} \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_r = B_{15} \frac{qR^2}{h^2}$ $\sigma_t = B_{16} \frac{qR^2}{h^2}$
13. 	$f = C_{13} \frac{qR^4}{Eh^3}$		$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = A_{18} \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_r = B_{17} \frac{qR^2}{h^2}$ $\sigma_t = B_{18} \frac{qR^2}{h^2}$
14.  周界固定，中心受力矩 $M$		中心刚性部分的转角 $\theta = K_{15} \frac{M}{Eh^3}$	在内周界上 $\sigma_{r \max} = A_{19} \frac{M}{Rh^2}$	在外周界上 $\sigma_r = B_{19} \frac{M}{Rh^2}$

注：1. 周界固定表示周界（圆柱面）相对支承可以向下或向上产生挠度，但不能旋转（亦称可动固定）。如带有不能变形的轮缘的板（图 1-1-6a）就是属于外周界固定，内周界固定并支起的情况见图 1-1-6b。

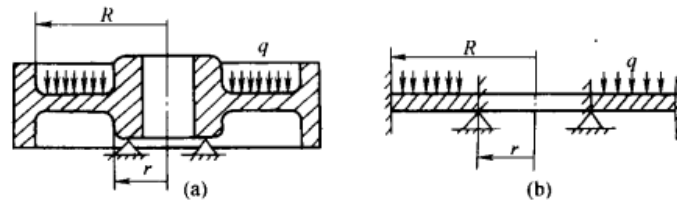


图 1-1-6 周界固定情况

2. 表中  $\sigma_r$  表示径向应力， $\sigma_t$  表示圆周向应力。

3. 表中挠度计算应满足下列条件：

如果圆环形板的一个或两个边缘自由支起，应该  $h \leq \frac{2}{3} (R-r)$ ；如果板的一个或两个边缘固定，则应该  $h \leq \frac{1}{3} (R-r)$ 。

如果上述条件不能满足，则表中所引入的挠度中应附加下列由剪力作用所产生的挠度

$$\text{对 1, 4, 11 情况} \quad \Delta f = \frac{0.239 P \ln \frac{R}{r}}{hG}$$

$$\text{对 5 情况} \quad \Delta f = \frac{0.375 q R^2}{hG} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 - \frac{2r^2 \ln R/r}{R^2} \right]$$

$$\text{对 3, 6, 12 情况} \quad \Delta f = \frac{0.375 q R^2}{hG} \left[ 2 \ln R/r - 1 + \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

式中  $G$  —— 剪切弹性模量。

4. 表中  $P$  为沿周界分布的载荷； $q$  为单位面积上的载荷分布在板的全部表面上； $M_0$  为单位长度上受的力矩，分布在板的周界上。

5. 系数  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $K$  见表 1-1-114 ~ 表 1-1-118。

表 1-1-114

圆环形平板挠度计算系数表

$\frac{R}{r}$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$
1.25	0.341	0.00504	0.201	0.00512	0.184	0.00212	10.39	0.232	8.876	0.197	0.00128	0.0008	0.162
1.50	0.519	0.0241	0.491	0.0249	0.414	0.018	9.26	0.661	6.927	0.485	0.00639	0.00625	0.118
1.75	0.616	0.0516	0.727	0.0545	0.576	0.0523	8.433	1.100	5.604	0.707	0.0143	0.0175	0.0486
2.00	0.672	0.0810	0.901	0.0878	0.674	0.0935	7.804	1.493	4.654	0.847	0.0237	0.0331	0.0114
2.50	0.721	0.133	1.116	0.153	0.782	0.192	6.923	2.114	3.395	0.955	0.0435	0.0706	0.0915
3.00	0.734	0.172	1.225	0.2096	0.820	0.289	6.342	2.556	2.609	0.940	0.0619	0.1097	0.135
3.50	0.732	0.199	1.278	0.256	0.829	0.374	5.937	2.872	2.080	0.878	0.0782	0.146	0.158
4.00	0.724	0.217	1.302	0.294	0.827	0.448	5.642	3.105	1.704	0.802	0.0922	0.179	0.171
4.50	0.714	0.229	1.340	0.325	0.820	0.511	5.419	3.281	1.426	0.726	0.104	0.209	0.178
5.00	0.704	0.238	1.309	0.350	0.811	0.564	5.246	3.418	1.214	0.656	0.115	0.234	0.182

表 1-1-115

圆环形平板转角计算系数表

$\frac{R}{r}$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$	$K_{14}$
1.25	1.413	1.323	1.169	6.869	0.0296	3.332	2.774	0.144	42.67	40.85	1.799	37.29	34.13	1.642
1.50	1.102	0.983	0.547	4.597	0.0702	2.330	1.770	0.488	19.20	18.4	2.510	15.47	12.80	2.110
1.75	0.892	0.767	0.258	3.508	0.1000	1.712	1.250	0.936	11.64	11.45	2.749	8.894	6.649	2.136
2.00	0.741	0.621	0.110	2.922	0.119	1.307	0.945	1.436	8.000	8.200	2.777	5.900	4.000	1.998
2.50	0.540	0.441	0.0173	2.352	0.135	0.330	0.629	2.486	4.571	5.189	2.600	3.227	1.829	1.616
3.00	0.415	0.336	0.059	2.083	0.136	0.573	0.467	3.540	3.000	3.800	2.348	2.067	1.000	1.277
3.50	0.331	0.270	0.072	1.920	0.131	0.418	0.373	4.573	2.133	3.010	2.111	1.448	0.610	1.016
4.00	0.271	0.224	0.074	1.804	0.124	0.319	0.310	5.582	1.600	2.500	1.905	1.075	0.400	0.819
4.50	0.227	0.192	0.0716	1.711	0.116	0.251	0.267	6.57	1.247	2.144	1.729	0.832	0.277	0.671
5.00	0.193	0.167	0.0674	1.633	0.109	0.203	0.234	7.54	1.000	1.880	1.579	0.664	0.200	0.558

表 1-1-116

圆环形平板内周界处应力计算系数表

$\frac{R}{r}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$
1.25	1.1035	0.0245	1.894	0.227	0.0682	0.592	0.135	0.0456	33.33	6.865
1.50	1.240	0.0868	2.426	0.428	0.128	0.977	0.410	0.123	21.6	7.45
1.75	1.366	0.1723	2.882	0.602	0.181	1.245	0.724	0.217	17.82	7.85
2.00	1.4815	0.270	3.286	0.753	0.226	1.443	1.041	0.312	16.00	8.136
2.50	1.688	0.475	3.983	1.004	0.301	1.710	1.633	0.490	14.29	8.50
3.00	1.868	0.673	4.574	1.206	0.362	1.881	2.153	0.646	13.50	8.71
3.50	2.027	0.855	5.090	1.372	0.412	1.998	2.606	0.782	13.67	8.84
4.00	2.170	1.021	5.547	1.514	0.454	2.082	3.006	0.902	12.80	8.93
4.50	2.298	1.170	5.957	1.637	0.491	2.144	3.362	1.009	12.62	8.99
5.00	2.415	1.305	6.330	1.746	0.524	2.192	3.681	1.104	12.50	9.04

$\frac{R}{r}$	$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{13}$	$A_{14}$	$A_{15}$	$A_{16}$	$A_{17}$	$A_{18}$
1.25	2.059	27.33	0.517	0.114	0.0343	0.0895	0.0269	0.921
1.50	2.234	15.60	0.574	0.219	0.0658	0.273	0.0819	0.677
1.75	2.355	11.82	1.47	0.316	0.0948	0.488	0.146	0.564
2.00	2.440	10.00	2.195	0.405	0.126	0.710	0.213	0.519
2.50	2.550	8.286	3.251	0.564	0.169	1.143	0.343	0.520
3.00	2.613	7.500	3.947	0.703	0.211	1.541	0.462	0.562
3.50	2.653	7.067	4.420	0.825	0.248	1.904	0.571	0.611
4.00	2.679	6.800	4.752	0.935	0.280	2.233	0.670	0.656
4.50	2.698	6.623	4.992	1.033	0.310	2.534	0.760	0.696
5.00	2.71	6.50	5.17	1.123	0.337	2.809	0.843	0.729

表 1-1-117

圆环形平板外周界处应力计算系数表

$\frac{R}{r}$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_8$	$B_9$	$B_{10}$	$B_{11}$	$B_{12}$	$B_{13}$	$B_{14}$	$B_{15}$	$B_{16}$	$B_{17}$	$B_{18}$
1.25	0.827	0.194	0.0583	0.488	0.0183	0.447	0.0075	27.33	2.924	21.33	5.013	1.504	0.0986	0.0296	0.040	0.012	0.330	1.393
1.50	0.737	0.320	0.096	0.690	0.0526	0.596	0.0346	15.60	3.683	9.60	4.174	1.252	0.168	0.0503	0.110	0.033	0.352	1.347
1.75	0.671	0.402	0.121	0.775	0.0875	0.645	0.0725	11.82	4.206	5.818	3.485	1.045	0.218	0.0655	0.181	0.054	0.415	1.309
2.00	0.621	0.454	0.136	0.807	0.119	0.656	0.113	10.00	4.576	4.000	2.927	0.878	0.257	0.077	0.244	0.073	0.476	1.281
2.50	0.551	0.510	0.153	0.810	0.168	0.644	0.186	8.286	5.048	2.286	2.115	0.634	0.311	0.0932	0.346	0.104	0.566	1.246
3.00	0.505	0.531	0.159	0.786	0.203	0.624	0.247	7.500	5.323	1.500	1.579	0.474	0.346	0.104	0.421	0.126	0.620	1.228
3.50	0.472	0.538	0.161	0.757	0.229	0.606	0.294	7.067	5.495	1.067	1.215	0.365	0.371	0.111	0.477	0.143	0.653	1.218
4.00	0.449	0.539	0.162	0.731	0.247	0.592	0.330	6.80	5.609	0.800	0.960	0.288	0.389	0.117	0.520	0.156	0.675	1.212
4.50	0.431	0.536	0.161	0.707	0.261	0.580	0.358	6.623	5.690	0.623	0.775	0.233	0.403	0.121	0.553	0.166	0.690	1.208
5.00	0.417	0.533	0.160	0.688	0.272	0.572	0.381	6.500	5.747	0.500	0.638	0.191	0.413	0.124	0.579	0.174	0.700	1.206

表 1-1-118

圆环形平板的系数表<sup>[17]</sup>

$\frac{r}{R}$	$K_{15}$	$A_{19}$	$B_{19}$	$\frac{r}{R}$	$K_{15}$	$A_{19}$	$B_{19}$
0.5	0.081	1.14	0.573	0.7	0.0128	0.465	0.325
0.6	0.035	0.685	0.452	0.8	0.0032	0.262	0.212

刚性薄板计算示例

在压强 0.637MPa 下操作的活塞见图 1-1-7。求活塞中的最大应力。

解 因为联系活塞上下底板的环有很大刚性，故可以将上下底板当作内边界固定并支起，外边界固定（即可动固定），故板可以弯曲，不能扭转。

板半径  $R = 30.3\text{cm}$ ， $r = 6.25\text{cm}$ ，厚度  $h = 2.4\text{cm}$ 。在下板的外周界上作用有上板传来的分布力  $P$ （如图 b）。该板的支承及载荷特性如表 1-1-113 中 11 项。外周界挠度  $f = C_{11} \frac{PR^2}{Eh^3}$ 。根据  $\frac{R}{r} = \frac{30.3}{6.25} = 4.85$ ，查表 1-1-114 取  $C_{11} \approx 0.115$ ，代入公式得：

$$f_{\text{下}} = 0.115 \times \frac{0.303^2 P}{0.024^3 E} = 763.7 \times \frac{P}{E}$$

上板受的作用力有：

- ① 加在外周界上向上的下板的作用力  $P$ ；
- ② 压强  $q = 0.637\text{MPa}$  在板轮缘上形成的压力  $P_0$ ，

$$P_0 = \frac{\pi}{4} \times (0.695^2 - 0.606^2) \times 0.637 \times 10^6 = 57929\text{N}$$

- ③ 板表面上的均布载荷  $q = 0.637\text{MPa}$ 。

上板的支承及载荷特性如表 1-1-113 中的 11 和 12 两项叠加。

在①、②两个力作用下，板外周界的挠度  $f_1 = 763.7 \times \frac{P_0 - P}{E} = 763.7 \times \frac{57929 - P}{E}$ 。

在③力作用下，板外周界的挠度可按表 1-1-113 中的 12 项公式  $f_2 = C_{12} \frac{qR^4}{Eh^3}$ 。根据  $\frac{R}{r} = 4.85$ ，查表 1-1-114，取  $C_{12} \approx 0.234$ ，代入公式得：

$$f_2 = 0.234 \times \frac{0.637 \times 10^6 \times 0.303^4}{0.024^3 E} = \frac{90884972}{E}$$

$$f_{\text{上}} = f_1 + f_2$$

上下板外周界处的挠度应当相等，即  $f_{\text{下}} = f_{\text{上}}$ ，所以

$$763.7 \times \frac{P}{E} = 763.7 \times \frac{57929 - P}{E} + \frac{90884972}{E}$$

则

$$P = 88469\text{N}$$

上板的应力可根据表 1-1-113 中 11 和 12 两项的应力公式计算。

内周界处的径向应力

$$\sigma_r = A_{14} \frac{P_0 - P}{h^2} + A_{16} \frac{qR^2}{h^2}$$

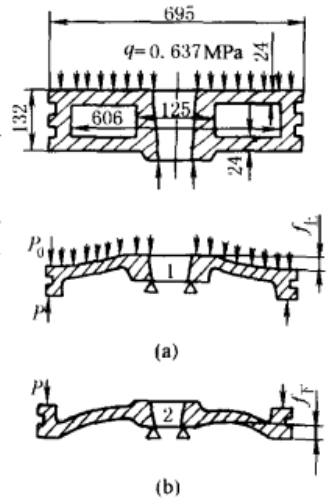


图 1-1-7 活塞应力计算



查表 1-1-116, 取  $A_{14} \approx 1.123$ ,  $A_{16} \approx 2.809$ , 代入公式得:

$$\sigma_r = 1.123 \times \frac{57929 - 88469}{0.024^2} + 2.809 \times \frac{0.637 \times 10^6 \times 0.303^2}{0.024^2} = 225660509 \text{ N/m}^2$$

周向应力

$$\sigma_t = A_{15} \frac{P_0 - P}{h^2} + A_{17} \frac{qR^2}{h^2}$$

查表 1-1-116, 取  $A_{15} \approx 0.337$ ,  $A_{17} \approx 0.843$ , 代入公式得:

$$\sigma_t = 0.337 \times \frac{57929 - 88469}{0.024^2} + 0.843 \times \frac{0.637 \times 10^6 \times 0.303^2}{0.024^2} = 67723310 \text{ N/m}^2$$

外周界处的径向应力

$$\sigma_r = B_{13} \frac{P_0 - P}{h^2} + B_{15} \frac{qR^2}{h^2}$$

查表 1-1-117, 取  $B_{13} \approx 0.413$ ,  $B_{15} \approx 0.579$ , 代入公式得:

$$\sigma_r = 0.413 \times \frac{57929 - 88469}{0.024^2} + 0.579 \times \frac{0.637 \times 10^6 \times 0.303^2}{0.024^2} = 36889324 \text{ N/m}^2$$

周向应力

$$\sigma_t = B_{14} \frac{P_0 - P}{h^2} + B_{16} \frac{qR^2}{h^2}$$

查表 1-1-117, 取  $B_{14} \approx 0.124$ ,  $B_{16} \approx 0.174$ , 代入公式得:

$$\sigma_t = 0.124 \times \frac{57929 - 88469}{0.024^2} + 0.174 \times \frac{0.637 \times 10^6 \times 0.303^2}{0.024^2} = 11091955 \text{ N/m}^2$$

下板按表 1-1-113 中 11 项的公式计算。

内周界处的径向应力  $\sigma_r = A_{14} \frac{P}{h^2} = 1.123 \times \frac{88469}{0.024^2} = 172483831 \text{ N/m}^2$

周向应力  $\sigma_t = A_{15} \frac{P}{h^2} = 0.337 \times \frac{88469}{0.024^2} = 51760509 \text{ N/m}^2$

外周界处的径向应力  $\sigma_r = B_{13} \frac{P}{h^2} = 0.413 \times \frac{88469}{0.024^2} = 63433502 \text{ N/m}^2$

周向应力  $\sigma_t = B_{14} \frac{P}{h^2} = 0.124 \times \frac{88469}{0.024^2} = 19045410 \text{ N/m}^2$

故活塞中的最大应力是活塞上板内周界处的径向应力。

## 5.7 压杆、梁与壳的稳定性

### 等断面立柱受压稳定性计算<sup>[4]</sup>

表 1-1-119 等断面立柱受压静力稳定性计算

项目	稳定条件	说明
中心压杆	安全系数法 $S = \frac{P_c}{P} \geq S_s$ , 常用于机械	$P_c$ ——临界载荷, 见表 1-1-123, N $P$ ——实际工作载荷, N $S$ ——实际稳定安全系数 $S_s$ ——规定的稳定安全系数, 推荐数值见表 1-1-120
	折减系数法 $\sigma = \frac{P}{\varphi A} \leq \sigma_p$ , 常用于杆结构	$A$ ——压杆断面的毛面积, $\text{cm}^2$ $\varphi$ ——折减系数, 参考表 1-1-121 $\sigma_p$ ——强度计算时材料的许用应力, $\text{N/cm}^2$
偏心压杆	折减系数法 $\sigma = \frac{P}{\varphi_e A} \leq \sigma_p$	$\varphi_e$ ——偏心压杆的折减系数, 其值根据杆的柔度 $\lambda$ 及 $\varepsilon$ 查表 1-1-122 $\varepsilon = \frac{eA}{W}$ $e$ ——偏心距, cm $W$ ——断面的抗弯截面系数, $\text{cm}^3$
确定压杆截面尺寸	用稳定条件进行已知压杆的稳定校核十分方便。但要计算压杆的截面积 $A$ 时, 因 $\varphi$ 与 $A$ 有关, 故需采用逐次渐近法。一般第一次试算取 $\varphi_1 = 0.5 \sim 0.6$ , 将 $\varphi_1$ 代入上面折减系数法公式, 确定毛面积 $A$ 及其截面型式。按此截面计算其 $I_{\min}$ 、 $i_{\min}$ 及 $\lambda$ 值, 即可求得实际的 $\varphi'_1$ 值, 如 $\varphi'_1$ 和 $\varphi_1$ 差别较大, 应重复计算。取 $\varphi_1$ 和 $\varphi'_1$ 的平均值 $\varphi_2 = \frac{1}{2}(\varphi_1 + \varphi'_1)$ 进行第二次试算。第二次试算结果, 得到 $\varphi'_2$ 。若 $\varphi'_2$ 与 $\varphi_2$ 仍相差较大, 则进行第三次试算, 取 $\varphi_3 = \frac{1}{2}(\varphi_2 + \varphi'_2)$ , 同样得到 $\varphi'_3$ 。类推下去, 直至 $\varphi$ 与 $\varphi'$ 接近为止。一般进行 2~3 次即可完成	

表 1-1-120 常用零件规定的稳定安全系数的参考数值

压杆类型	$S_s$	压杆类型	$S_s$
金属结构中的压杆	1.8 ~ 3.0	低速发动机挺杆	4 ~ 6
矿山和冶金设备中的压杆	4 ~ 8	高速发动机挺杆	2 ~ 5
机床走刀丝杆	2.5 ~ 4	拖拉机转向机构纵、横推杆	> 5
空压机及内燃机连杆	3 ~ 8	起重螺旋	3.5 ~ 5
磨床油缸活塞杆	4 ~ 6	铸铁	4.5 ~ 5.5
水平长丝杆或精密丝杆	> 4	木材	2.5 ~ 3.5

注：除铸铁和木材外其余均为钢制杆。

表 1-1-121 中心压杆折减系数  $\varphi$

柔度 $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
$\varphi$	Q215																					
	Q235	1.00	0.99	0.98	0.96	0.93	0.89	0.84	0.79	0.73	0.67	0.60	0.54	0.47	0.40	0.35	0.31	0.27	0.24	0.22	0.2	0.18
	Q255																					
值	Q275	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.86	0.82	0.76	0.70	0.62	0.51	0.43	0.37	0.33	0.29	0.26	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16
	16Mn	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.84	0.78	0.71	0.63	0.55	0.46	0.38	0.33	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12
	高强度钢 $\sigma_s \geq 310\text{N/mm}^2$	1.00	0.97	0.95	0.91	0.87	0.83	0.79	0.72	0.65	0.55	0.43	0.35	0.30	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13
铸铁	1.00	0.97	0.91	0.81	0.69	0.57	0.44	0.34	0.26	0.20	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
木材	1.00	0.99	0.97	0.93	0.87	0.80	0.71	0.60	0.48	0.38	0.31	0.25	0.22	0.13	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	

注： $i_{\min}$ 查表 1-1-92； $\mu$ 为压杆的长度系数，见表 1-1-124。

表 1-1-122 偏心压杆折减系数  $\varphi_e$  (Q235,  $\sigma_s = 235\text{N/mm}^2$ )

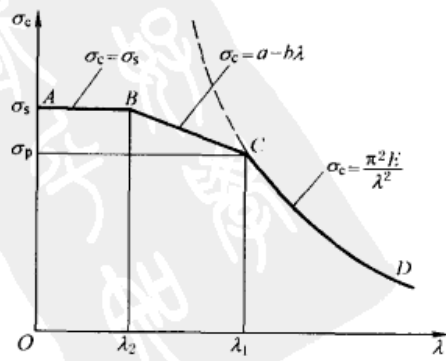
$\varepsilon = \frac{eA}{W}$	0.2						1						5						10						20						30																																																																																																																													
	$\lambda$												$\varphi_e$																																																																																																																																															
0	0.865	0.563	0.199	0.105	0.053	0.035	0.930	0.720	0.277	0.147	0.075	0.050	0.848	0.548	0.196	0.104	0.053	0.035	0.920	0.695	0.271	0.145	0.074	0.050	0.831	0.529	0.193	0.103	0.052	0.035	0.900	0.662	0.263	0.141	0.072	0.049	0.812	0.509	0.189	0.101	0.052	0.034	0.875	0.630	0.254	0.138	0.071	0.048	0.788	0.487	0.183	0.100	0.052	0.034	0.830	0.597	0.243	0.135	0.070	0.047	0.760	0.465	0.177	0.098	0.051	0.033	0.788	0.558	0.234	0.130	0.069	0.046	0.730	0.442	0.171	0.096	0.050	0.033	0.736	0.523	0.224	0.126	0.068	0.045	0.693	0.419	0.165	0.094	0.049	0.033	0.676	0.482	0.213	0.122	0.066	0.044	0.651	0.396	0.159	0.092	0.049	0.033	0.630	0.446	0.203	0.118	0.065	0.043	0.602	0.373	0.153	0.090	0.048	0.032	0.571	0.411	0.192	0.114	0.063	0.042	0.549	0.350	0.147	0.088	0.048	0.032	0.530	0.379	0.183	0.110	0.062	0.042	0.494	0.328	0.142	0.086	0.047	0.031	0.470	0.352	0.173	0.106	0.060	0.041	0.443	0.306	0.136	0.083	0.046	0.031	0.431	0.320	0.165	0.102	0.059	0.041

$\varepsilon = \frac{eA}{W}$	0.2	1	5	10	20	30	0.2	1	5	10	20	30
$\lambda$	$\varphi_c$											
130	0.397	0.284	0.131	0.081	0.045	0.030	0.388	0.293	0.156	0.098	0.057	0.040
140	0.354	0.262	0.126	0.079	0.045	0.030	0.348	0.271	0.149	0.095	0.055	0.040
150	0.306	0.242	0.121	0.076	0.044	0.030	0.306	0.247	0.141	0.091	0.054	0.039
160	0.272	0.225	0.116	0.074	0.043	0.029	0.272	0.227	0.134	0.087	0.053	0.038
170	0.243	0.207	0.112	0.071	0.043	0.029	0.243	0.209	0.127	0.084	0.052	0.038
180	0.218	0.192	0.108	0.069	0.042	0.028	0.218	0.191	0.120	0.080	0.051	0.037
190	0.197	0.177	0.104	0.067	0.041	0.028	0.197	0.176	0.114	0.078	0.049	0.036
200	0.180	0.164	0.099	0.065	0.040	0.028	0.180	0.165	0.107	0.075	0.048	0.035

注：对 16Mn 应按  $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} \sqrt{\frac{\sigma_s}{235}}$  查本表确定  $\varphi_c$ 。

表 1-1-123 等断面立柱受压缩的临界载荷和临界应力计算








压杆类型	计算公式	说明
大柔度压杆 $\lambda > \lambda_1$ (比例极限内的稳定问题)	按欧拉公式计算 临界载荷 $P_c = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2}$ 或 $P_c = \eta \frac{EI_{\min}}{l^2}$ 临界应力 $\sigma_c = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$	$E$ —— 弹性模量, N/cm <sup>2</sup> $l$ —— 压杆全长, cm $I_{\min}$ —— 压杆截面的最小惯性矩, cm <sup>4</sup> $\lambda$ —— 压杆的柔度(长细比), $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}$ $i_{\min}$ —— 压杆截面的最小惯性半径, cm, $i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}$ , 查表 1-1-92 $\mu$ —— 压杆的长度系数, 见表 1-1-124
中等柔度压杆 $\lambda_1 \geq \lambda \geq \lambda_2$ (超过比例极限的稳定问题)	按直线经验公式计算 临界应力 $\sigma_c = a - b\lambda$ $P_c = \sigma_c A$	$\eta$ —— 压杆的稳定系数, 见表 1-1-124 ~ 表 1-1-126, $\eta = \left(\frac{\pi}{\mu}\right)^2$ $A$ —— 压杆的横截毛面积(强度校核时用净面积), cm <sup>2</sup> $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}}$ , 对于 Q235A 钢, $\lambda_1 \approx 100$ $\sigma_p$ —— 材料的比例极限, N/cm <sup>2</sup> $\lambda_2 = \frac{a - \sigma_s}{b}$ $\sigma_s$ —— 材料的屈服极限, N/cm <sup>2</sup>
小柔度压杆 $\lambda < \lambda_2$ (强度问题)	按强度问题计算 其临界应力接近材料的屈服极限 $\sigma_s$ 。	$a, b$ —— 与材料力学性能有关的常数, 推荐值见表 1-1-127 对于 Q235A 钢, $\lambda_1 \approx 100 \geq \lambda \geq \lambda_2 \approx 60$



塑性材料压杆临界应力总图

表 1-1-124

单跨度等截面压杆的长度系数与稳定系数

							
	一端固定 一端自由	一端铰接 一端可侧向和 轴向移动, 但不能转动	二端铰接	一端固定 一端可侧向和 轴向移动, 但不能转动	一端固定 一端铰接	一端铰接 一端可轴向移 动,但不能 转动和侧向 移动	一端固定 一端可轴向移动, 但不能转动和侧向 移动
$\mu$	2		1		0.699		0.5
$\eta$	2.467		9.87		20.19		39.48

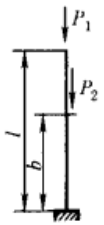
注:表 1-1-124 ~ 表 1-1-126 所列的  $\mu$ 、 $\eta$  是指理想支座,对实际的非理想支座应做出尽可能符合实际的修正。如考虑实际固定端不可能对位移完全限制,应将理想的  $\mu$  值适当加大,对表中一端固定的情况,可分别取 2.1、1.2、0.8、0.65;考虑到桁架中有节点的腹杆,其两端并非理想铰支,应降低  $\mu$  值,理想  $\mu = 1$  时应降到 0.8 ~ 0.9;又如丝杆两端滑动轴承支承,依轴套的长度  $l$  与内径  $d$  之比取如下  $\mu$  值:

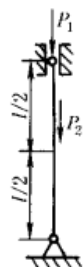
当两端轴承均有  $l/d \geq 3$  时,  $\mu = 0.5$ ; 当两端轴承均有  $l/d \leq 1.5$  时,  $\mu = 1.0$ ;

当一端支承  $l/d \geq 3$ , 另一端支承  $1.5 < l/d < 3$  时,  $\mu = 0.6$ ; 当两端支承均有  $1.5 < l/d < 3$  时,  $\mu = 0.75$ 。

表 1-1-125

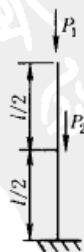
立柱的稳定系数  $\eta$  [17]

 <p><math>P_c = P_1 + P_2</math> <math>= \eta \frac{EI_{min}}{l^2}</math></p>	$\frac{b}{l}$	$P_2/P_1$										$\frac{b}{l}$	
		0	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	10	20	50	100	
	0	2.714	2.961	3.701	4.935	7.402	14.80	27.14	51.82	125.8	249.2	0	
	0.1	2.714	2.960	3.698	4.930	7.377	14.68	26.66	49.86	111.6	176.3	0.1	
	0.2	2.710	2.953	3.679	4.880	7.207	13.78	23.19	36.33	50.96	56.48	0.2	
	0.3	2.703	2.936	3.622	4.712	6.769	11.70	16.82	21.37	24.89	26.14	0.3	
	0.4	2.688	2.904	3.525	4.470	6.074	9.187	11.57	13.29	14.52	14.97	0.4	
	0.5	2.467	2.665	2.856	3.384	4.136	5.268	7.060	8.210	8.963	9.488	9.675	0.5
	0.6	2.635	2.793	3.211	3.759	4.497	5.504	6.048	6.434	6.674	6.764	6.764	0.6
	0.7	2.599	2.715	3.020	3.385	3.830	4.376	4.660	4.834	4.952	4.993	4.993	0.7
	0.8	2.557	2.636	2.821	3.040	3.280	3.551	3.685	3.765	3.818	3.836	3.836	0.8
	0.9	2.513	2.551	2.641	2.734	2.832	2.936	2.986	3.015	3.033	3.040	3.040	0.9
	1.0	2.467	2.467	2.467	2.467	2.467	2.467	2.467	2.467	2.467	2.467	2.467	1.0



$P_c = (P_1 + P_2)_e$   
 $= \eta \frac{EI}{l^2}$

$P_2/P_1$	0.5	1	2
$\eta$	11.9	13.0	14.7



$P_c = (P_1 + P_2)_e$   
 $= \eta \frac{EI}{l^2}$

$P_2/P_1$	0.5	1	2
$\eta$	3.38	4.14	5.27




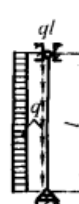
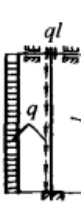
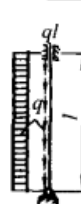

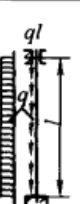
 <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tr> <td><math>ql/\frac{\pi^2 EI}{l^2}</math></td> <td>1/4</td> <td>1/2</td> <td>3/4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><math>\eta</math></td> <td>8.62</td> <td>7.40</td> <td>6.08</td> <td>4.77</td> </tr> </table> <p><math>P_c = \eta \frac{EI}{l^2} \quad \eta \approx \left(1 - 0.5ql/\frac{\pi^2 EI}{l^2}\right) \pi^2</math></p> <p>若 <math>P=0, P_c = (ql)_c = \eta \frac{EI}{l^2}</math>, 其中 <math>\eta = 18.5</math></p>	$ql/\frac{\pi^2 EI}{l^2}$	1/4	1/2	3/4	1	$\eta$	8.62	7.40	6.08	4.77	 <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tr> <td><math>ql/\frac{\pi^2 EI}{4l^2}</math></td> <td>1/4</td> <td>1/2</td> <td>3/4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><math>\eta</math></td> <td>2.28</td> <td>2.08</td> <td>1.91</td> <td>1.72</td> </tr> </table> <p><math>P_c = \eta \frac{EI}{l^2} \quad \eta \approx \left(1 - 0.3ql/\frac{\pi^2 EI}{4l^2}\right) \frac{\pi^2}{4}</math></p> <p>若 <math>P=0, P_c = (ql)_c = \eta \frac{EI}{l^2}</math>, 其中 <math>\eta = 7.84</math></p>	$ql/\frac{\pi^2 EI}{4l^2}$	1/4	1/2	3/4	1	$\eta$	2.28	2.08	1.91	1.72
$ql/\frac{\pi^2 EI}{l^2}$	1/4	1/2	3/4	1																	
$\eta$	8.62	7.40	6.08	4.77																	
$ql/\frac{\pi^2 EI}{4l^2}$	1/4	1/2	3/4	1																	
$\eta$	2.28	2.08	1.91	1.72																	
																					
$P_c = (ql)_c = \eta \frac{EI}{l^2}$																					
$\eta = 7.84$	$\eta = 18.5$	$\eta = 18.9$	$\eta = 29.6$	$\eta = 52.5$	$\eta = 73.6$																

表 1-1-126

中部支撑的柱的稳定系数  $\eta^{[20]}$

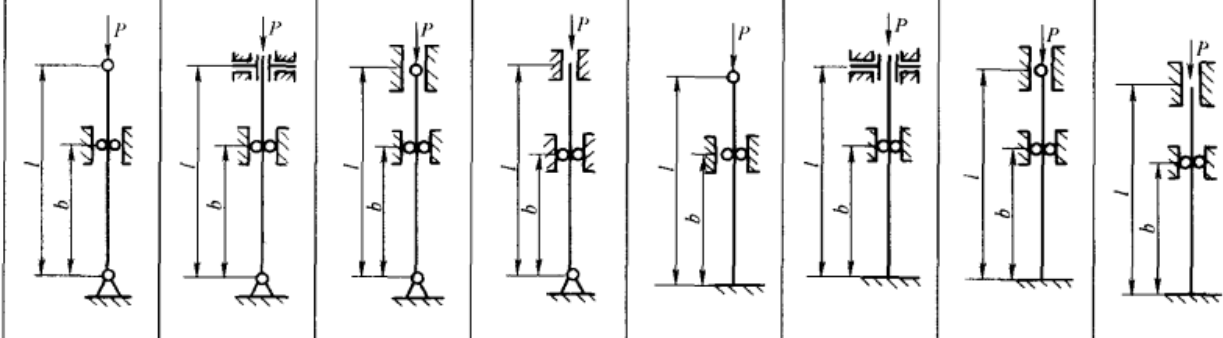
$b/l$								
	$P_c = \eta \frac{EI}{l^2}$							
0	2.467	9.870	20.19	39.48	2.467	9.870	20.19	39.48
0.1	2.832	11.33	23.23	45.27	2.883	11.53	23.63	46.13
0.2	3.283	13.11	27.06	51.97	3.414	13.65	28.09	54.48
0.3	3.845	15.26	31.75	58.92	4.105	16.37	33.96	64.56
0.4	4.551	17.72	36.80	58.84	5.021	19.90	41.68	75.22
0.5	5.438	20.19	39.48	51.12	6.260	24.42	51.12	80.76
0.6	6.511	21.88	36.80	41.68	7.990	29.82	58.84	75.22
0.7	7.726	22.14	31.75	33.90	10.39	35.10	58.92	64.56
0.8	8.874	21.40	27.06	23.09	13.52	38.41	51.97	54.45
0.9	9.637	20.55	23.23	23.63	17.24	39.40	45.27	46.13
1.0	9.870	20.19	20.19	20.19	20.19	39.48	39.48	39.48

表 1-1-127

直线公式系数  $a$ 、 $b$  及  $\lambda$  范围

材 料 ( $\sigma_b, \sigma_s$ 的单位为 $N/cm^2$ )	$a$	$b$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	材 料	$a$	$b$	$\lambda_1$
	/ $N \cdot cm^{-2}$					/ $N \cdot cm^{-2}$		
Q235 $\sigma_b \geq 37200; \sigma_s = 23500$	30400	112	105	61	铸 铁	33220	145.4	
优质碳钢 $\sigma_b \geq 47100; \sigma_s = 30600$	46100	256.8	100	60	硬 铝	37300	215	$\geq 50$
硅钢 $\sigma_b \geq 51000; \sigma_s = 35300$	57800	374.4	100	60	松 木	3870	19	$\geq 59$
铬钼钢	98070	529.6	$\geq 55$					

## 压杆稳定性计算举例

**例 1** 某平面磨床的工作台液压驱动装置的油缸，活塞杆上的最大压力  $P = 3980N$ ，活塞杆长度  $l = 1250mm$ ，材料为 35 钢， $\sigma_p = 220 \times 10^2 N/cm^2$ ， $E = 210 \times 10^5 N/cm^2$ ，稳定安全系数  $S_s = 6$ ，求活塞杆直径  $d$ 。

**解** 活塞杆的临界载荷为

$$P_c = S_s P = 6 \times 3980 = 23900N$$

由于活塞杆直径  $d$  尚待确定，无法求出柔度  $\lambda$ ，无法判断使用的计算公式，现用欧拉公式试算，求出  $d$ ，然后检查是否满足欧拉公式条件。将活塞杆两端简化为铰支座，查表 1-1-124， $\mu = 1$ ，由欧拉公式得

$$P_c = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^5 \times \frac{\pi}{64} d^4}{(1 \times 125)^2}$$

将  $P_c$  的数值代入求得  $d = 25mm$

检查柔度  $\lambda$ ：

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{1 \times 1250}{\frac{25}{4}} = 200$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}} = \pi \sqrt{\frac{210 \times 10^5}{220 \times 10^2}} = 97$$

由于  $\lambda > \lambda_1$ ，所以用欧拉公式试算是正确的。

**例 2** 某搓丝机连杆（图 1-1-8）工作时承受的最大轴向压力  $P = 12 \times 10^4 N$ ，已知连杆的材料为 45 钢， $E = 210 \times 10^5 N/cm^2$ ， $\sigma_s = 350 \times 10^2 N/cm^2$ ， $\sigma_p = 280 \times 10^2 N/cm^2$ ，稳定安全系数  $S_s = 3$ ，校核连杆的稳定性。

**解** 先求柔度。若连杆失稳时，在  $yOz$  平面内弯曲，则两端可简化为铰支端，取  $\mu = 1$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \times 2.5 \times 6^3}{2.5 \times 6}} = 1.73cm$$

$$\lambda_x = \frac{\mu l}{i_x} = \frac{1 \times 94}{1.73} = 54.3$$

若连杆失稳时在  $xOz$  面内弯曲，则杆两端可简化为固定端，取  $\mu = 0.5$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \times 6 \times 2.5^3}{6 \times 2.5}} = 0.721cm = i_{\min} \quad \lambda = \lambda_y = \frac{\mu l_1}{i_{\min}} = \frac{0.5 \times 88}{0.721} = 61 = \lambda_{\max}$$

所以以  $y$  轴为中性轴，失稳的临界应力较小，校核时以  $\lambda_y$  为准。

$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}} = \pi \sqrt{\frac{210 \times 10^5}{280 \times 10^2}} = 86$ ，由于  $\lambda < \lambda_1$ ，所以不能用欧拉公式计算临界载荷。

$\lambda_2 = \frac{a - \sigma_s}{b}$ ，由表 1-1-127 查出  $a = 461 \times 10^2 N/cm^2$ ， $b = 2.568 \times 10^2 N/cm^2$ ，则

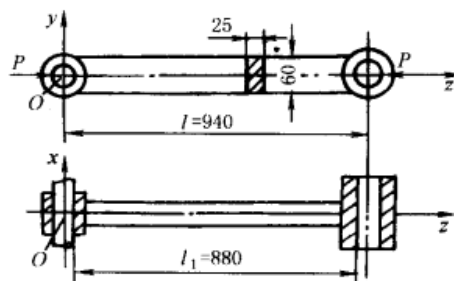


图 1-1-8 搓丝机连杆

$$\lambda_2 = \frac{461 - 350}{2.568} = 43.2$$

由于  $\lambda_2 < \lambda < \lambda_1$ , 故用直线公式计算临界应力

$$\sigma_c = a - b\lambda = (461 - 2.568 \times 61) \times 10^2 \text{ N/cm}^2 = 304 \times 10^2 \text{ N/cm}^2$$

$$\text{工作安全系数 } S = \frac{P_c}{P} = \frac{\sigma_c A}{P} = \frac{304 \times 10^2 \times 6 \times 2.5}{12 \times 10^4} = 3.8 > S_s$$

故连杆满足稳定要求。

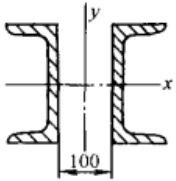


图 1-1-9 压杆截面

例 3 长为 6m 的压杆, 两端简化为铰支座, 压力  $P = 440\text{kN}$ , 压杆由两个槽钢组成 (图 1-1-9), 设限定两个槽钢背与背之间的距离为 100mm, 许用应力  $\sigma_p = 160 \times 10^2 \text{ N/cm}^2$ , 试选择适用的槽钢型号。

解 由稳定条件  $\frac{P}{A} \leq \varphi \sigma_p$

由于  $A$ 、 $\varphi$  皆为未知量, 所以用试凑法确定压杆的截面, 先假设  $\varphi = 0.5$

$$A = \frac{P}{\varphi \sigma_p} = \frac{440 \times 10^3}{0.5 \times 160 \times 10^2} = 55 \text{ cm}^2$$

选用两个 20a 槽钢

$$A = 2 \times 28.83 = 57.66 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 2 \times 1780.4 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2[128 + 28.83(5 + 2.01)^2] = 2 \times 1546 \text{ cm}^4$$

$$i_{\min} = i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2 \times 1546}{2 \times 28.83}} = 7.32 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{1 \times 6}{7.32 \times 10^{-2}} = 82$$

由表 1-1-121 根据低碳钢和  $\lambda = 82$ , 用插入法查得  $\varphi = 0.719$ , 则压杆上的许可压力为

$$P = A\varphi\sigma_p = 57.66 \times 0.719 \times 160 \times 10^2 = 665 \text{ kN}$$

许可压力远远大于实际压力  $P = 440\text{kN}$ , 所以截面过大。

再假设

$$\varphi = 0.7, A = \frac{P}{\varphi \sigma_p} = \frac{440 \times 10^3}{0.7 \times 160 \times 10^2} = 39.3 \text{ cm}^2$$

选用两个 16a 槽钢

$$A = 2 \times 21.95 = 43.9 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 2 \times 866.2 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2[73.3 + (5 + 1.8)^2 \times 21.95] = 2 \times 1088.3 \text{ cm}^4$$

$$i_{\min} = i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{2 \times 866.2}{2 \times 21.95}} = 6.28 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{1 \times 600}{6.28} = 95.4$$

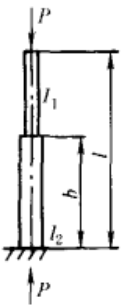
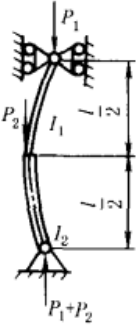
由表 1-1-121 并用插入法,  $\lambda = 95.4$  时,  $\varphi = 0.634$ , 压杆上的许可压力为

$$P = A\varphi\sigma_p = 43.9 \times 0.634 \times 160 \times 10^2 = 445 \text{ kN}$$

所以最后选用两个 16a 槽钢较合适。

## 变断面立柱受压稳定性计算

表 1-1-128

支承及加载方式	临界力计算公式	稳定系数 $\eta$							
		$\frac{I_2 - I_1}{I_1}$	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	
	$P_c = \eta \frac{EI_2}{l^2}$	0.4	2.396	2.327	2.141	1.897	1.499	0.917	
		0.5	2.423	2.379	2.256	2.068	1.756	1.178	
		$\frac{b}{l}$	0.6	2.444	2.420	2.350	2.235	2.025	1.531
		0.7	2.457	2.446	2.415	2.356	2.256	1.95	
		0.8	2.464	2.461	2.453	2.440	2.402	2.297	
	$(P_1 + P_2)_c = \eta \frac{EI_2}{l^2}$	$\frac{P_1 + P_2}{P_1}$	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00		
		$\frac{I_2}{I_1}$	1.00	9.87	10.94	11.92	12.46	13.04	
		1.25	8.79	9.77	10.49	11.17	11.79		
		1.50	7.87	8.79	9.49	10.07	10.71		
		1.75	7.09	8.01	8.62	9.13	9.77		
		2.00	6.42	7.33	7.87	8.46	8.40		

注：稳定条件计算与等断面杆相同。

梁的稳定性<sup>[20]</sup>

表 1-1-129

矩形截面梁整体弯扭失稳的临界载荷

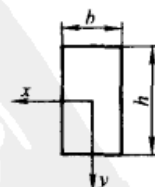
临界载荷计算式

$$\text{最大弯矩临界值 } (M_{\max})_c = \frac{c}{l} \sqrt{EI_y GJ}$$

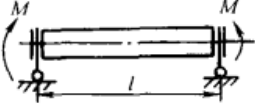
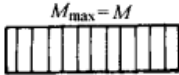
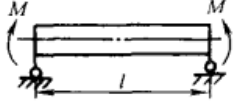

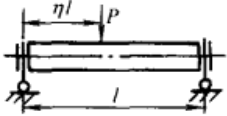
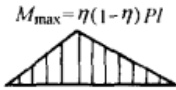


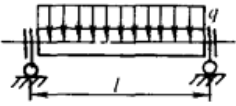
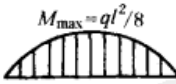
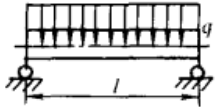
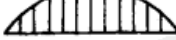
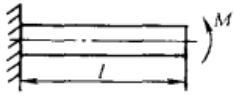
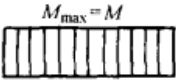
$$\text{最大弯曲应力临界值 } (\sigma_{\max})_c = \frac{(M_{\max})_c}{W_x}$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12} \quad W_x = \frac{bh^2}{6} \quad EI_y \text{ —— 弯曲时最小刚度}$$

$$J = \frac{bh^3}{3} \left( 1 - 0.63 \frac{b}{h} \right) \quad GJ \text{ —— 扭转刚度}$$





载荷及支座约束	弯矩图及最大弯矩	系数 $c$										
1. 支座在水平面内及垂直面内均为铰支 		$\pi$										
2. 支座在水平面内固定,在垂直面内铰支 		$2\pi$										
3. 支座同 1 		<table border="1" data-bbox="1046 808 1409 925"> <tr> <td><math>\eta</math></td> <td>0.20</td> <td>0.30</td> <td>0.40</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td><math>c</math></td> <td>4.66</td> <td>4.41</td> <td>4.27</td> <td>4.23</td> </tr> </table>	$\eta$	0.20	0.30	0.40	0.50	$c$	4.66	4.41	4.27	4.23
$\eta$	0.20	0.30	0.40	0.50								
$c$	4.66	4.41	4.27	4.23								
4. 支座同 2 		<table border="1" data-bbox="1046 1055 1409 1171"> <tr> <td><math>\eta</math></td> <td>0.20</td> <td>0.30</td> <td>0.40</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td><math>c</math></td> <td>6.68</td> <td>6.60</td> <td>6.50</td> <td>6.47</td> </tr> </table>	$\eta$	0.20	0.30	0.40	0.50	$c$	6.68	6.60	6.50	6.47
$\eta$	0.20	0.30	0.40	0.50								
$c$	6.68	6.60	6.50	6.47								
5. 支座同 1 		$3.54$										
6. 支座同 2 		$6.08$										
7. 支座固定,另为自由端 		$\frac{\pi}{2}$										

续表

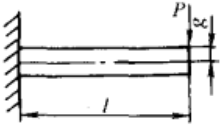

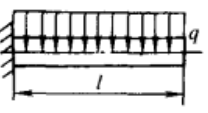
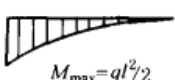
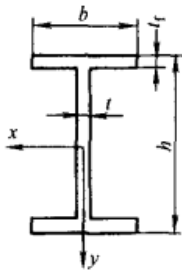
载荷及支座约束	弯矩图及最大弯矩	系数 $c$										
8. 支座固定, 另为自由端 	 $M_{\max} = Pl$	当 $g = 0$ ( $g$ 表示载荷 $P$ 作用位置) <table border="1"> <tr> <td><math>b/h</math></td> <td><math>&lt; 1/10</math></td> <td><math>1/10</math></td> <td><math>1/5</math></td> <td><math>1/3</math></td> </tr> <tr> <td><math>c</math></td> <td>4.01</td> <td>4.09</td> <td>4.32</td> <td>5.03</td> </tr> </table> 当 $g \neq 0, c = 4.013 \left( 1 - \frac{g}{l} \sqrt{\frac{EI_y}{GJ}} \right)$ $P$ 作用在轴线以上 $g$ 为正, 反之为负	$b/h$	$< 1/10$	$1/10$	$1/5$	$1/3$	$c$	4.01	4.09	4.32	5.03
$b/h$	$< 1/10$	$1/10$	$1/5$	$1/3$								
$c$	4.01	4.09	4.32	5.03								
9. 支座固定, 另为自由端 	 $M_{\max} = ql^2/2$	6.43										

表 1-1-130

工字形截面梁的整体弯扭失稳的临界载荷



最大弯矩临界值

$$(M_{\max})_c = \frac{c}{l} \sqrt{EI_y GJ}$$

最大弯曲应力临界值

$$(\sigma_{\max})_c = \frac{(M_{\max})_c}{W_x}$$

$$c = \frac{c_1}{\mu} \pi \left[ \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E \Gamma}{(\mu l)^2 GJ} (1 + c_2^2)} \pm \frac{c_2 \pi}{\mu l} \sqrt{\frac{E \Gamma}{GJ}} \right]$$


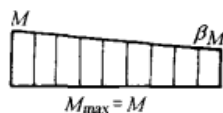
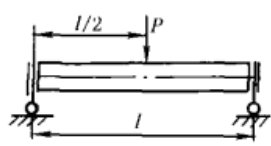
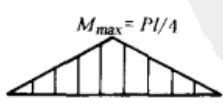
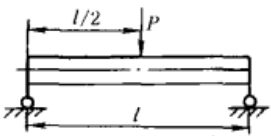
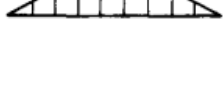
式中  $\Gamma$  —— 扇形惯性矩, 对工字板梁

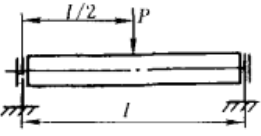
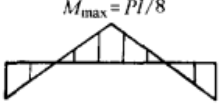
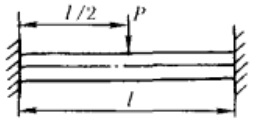
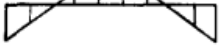
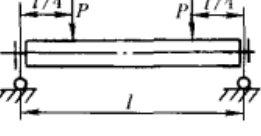
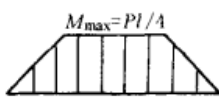

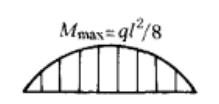
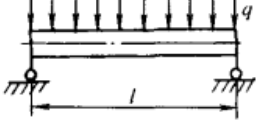
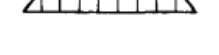
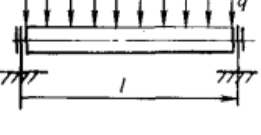
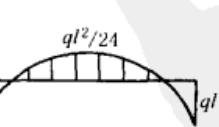


$$\Gamma \approx \frac{I_y}{4} h^2, \text{对型钢可查表}$$

$J$  —— 扭转相当极惯性矩,  $J = \frac{\alpha}{3} (2bt_f^3 + ht^3)$ , 其中

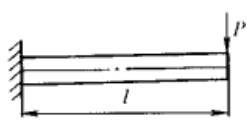
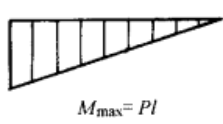
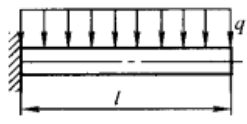
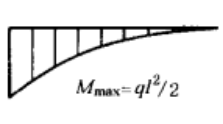
板梁  $\alpha = 1$ , 型钢  $\alpha = 1.2$

横向载荷作用于上翼缘, 式中第二项取负号; 作用于下翼缘取正号, 其他符号同表 1-1-129

载荷与支座约束	弯矩图及最大弯矩	$\mu$	$c_1$	$c_2$
 $-1 \leq \beta \leq 1$	 $M_{\max} = M$	1	$c_1 = 1.75 + 1.05\beta + 0.3\beta^2 \leq 2.3$ 当弯曲有反向曲率时, $\beta$ 取正值	0
	 $M_{\max} = Pl/4$	1	1.35	0.55
	 $M_{\max} = Pl/4$	0.5	1.07	0.42

载荷与支座约束	弯矩图及最大弯矩	$\mu$	$c_1$	$c_2$
	 <p style="text-align: center;"><math>M_{\max} = Pl/8</math></p>	1.0	1.70	1.42
		0.5	1.04	0.84
	 <p style="text-align: center;"><math>M_{\max} = Pl/4</math></p>	1.0	1.04	0.42
	 <p style="text-align: center;"><math>M_{\max} = ql^2/8</math></p>	1.0	1.13	0.45
		0.5	0.97	0.29
	 <p style="text-align: center;"><math>ql^2/24</math></p>	1.0	1.30	1.55
	 <p style="text-align: center;"><math>ql^2/2</math></p>	0.5	0.86	0.82

续表

载荷与支座约束	弯矩图及最大弯矩	$\mu$	$c_1$	$c_2$
	 $M_{\max} = Pl$	1.0	1.30	0.64
	 $M_{\max} = ql^2/2$	1.0	2.05	

注: 1. 支座图意义, 同表 1-1-129。

2. 梁的整体稳定性条件

据我国钢结构设计规范, 梁的整体稳定性条件为

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{\varphi_x W_x} \leq \sigma_p$$

式中  $M_{\max}$ ——梁的最大弯矩 (在最大弯曲刚度平面内); $W_x$ ——抗弯截面系数; $\sigma_p$ ——梁的弯曲许用应力, 当梁的截面厚度不超过 16mm 时,

$$\sigma_p = 215 \text{MPa (Q235 钢);}$$

$$\sigma_p = 315 \text{MPa (16Mn, 16Mnq 钢);}$$

 $\varphi_x$ ——梁的整体稳定系数。轧制普通工字钢简支梁的  $\varphi_x$  见表 1-1-131。轧制槽钢的  $\varphi_x = \frac{570bt}{lh} \times \frac{235}{\sigma_s} \leq 1$ , 其中  $h$ 、 $b$  和  $l$ 分别为槽钢截面的高度、翼缘宽度和厚度;  $l$  为跨长; 屈服极限  $\sigma_s$  的单位为 MPa。当所算得的  $\varphi_x > 0.6$  时, 应以  $\varphi'_x = 1.1 - 0.4646/\varphi_x + 0.1269/\sqrt{\varphi_x^3}$  代替。

表 1-1-131

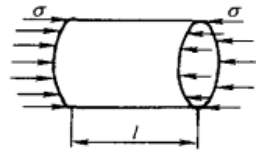
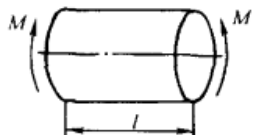
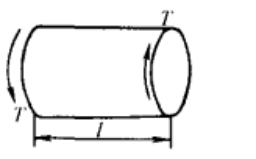
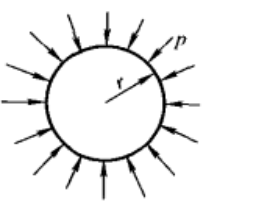
轧制普通工字钢梁的整体稳定系数  $\varphi_x$ 

载荷情况			工字钢型号	自由长度 $l/m$								
				2	3	4	5	6	7	8	9	10
跨中无侧向支承点的梁	集中载荷作用于	上翼缘	10~20	2.0	1.30	0.99	0.80	0.68	0.58	0.53	0.48	0.43
			22~32	2.4	1.48	1.09	0.86	0.72	0.62	0.54	0.49	0.45
			36~63	2.8	1.60	1.07	0.83	0.68	0.56	0.50	0.45	0.40
		下翼缘	10~20	3.1	1.95	1.34	1.01	0.82	0.69	0.63	0.57	0.52
			22~40	5.5	2.80	1.84	1.37	1.07	0.86	0.73	0.64	0.56
			45~63	7.3	3.60	2.30	1.62	1.20	0.96	0.80	0.69	0.60
	均布载荷作用于	上翼缘	10~20	1.7	1.12	0.84	0.68	0.57	0.50	0.45	0.41	0.37
			22~40	2.1	1.30	0.93	0.73	0.60	0.51	0.45	0.40	0.36
			45~63	2.6	1.45	0.97	0.73	0.59	0.50	0.44	0.38	0.35
		下翼缘	10~20	2.5	1.55	1.08	0.83	0.68	0.56	0.52	0.47	0.42
			22~40	4.0	2.20	1.45	1.10	0.85	0.70	0.60	0.57	0.46
			45~63	5.6	2.80	1.80	1.25	0.95	0.78	0.65	0.55	0.49
跨中有侧向支承点的梁 (不论载荷作用于何处)			10~20	2.2	1.39	1.01	0.79	0.66	0.57	0.52	0.47	0.42
			22~40	3.0	1.80	1.24	0.96	0.76	0.65	0.56	0.49	0.43
			45~63	4.0	2.20	1.38	1.01	0.80	0.66	0.56	0.49	0.43

注: 1. 表中的  $\varphi_x$  适用于 Q235 钢, 对其他牌号的钢, 表中系数值应乘以  $235/\sigma_s$ ,  $\sigma_s$  的单位为 MPa。2. 当  $\varphi_x$  值大于 0.6 时, 应以  $\varphi'_x = 1.1 - 0.4646/\varphi_x + 0.1269/\sqrt{\varphi_x^3}$  代替。

线弹性范围壳的临界载荷<sup>[20]</sup>

表 1-1-132

载 荷 与 壳 体	临 界 载 荷																						
<p>轴向均匀受压的圆柱壳</p>  <p><math>D</math>——平均直径 <math>R</math>——平均半径 <math>t</math>——厚度 (下同)</p>	$z = \left(\frac{l}{R}\right)^2 (R/t) \sqrt{1-\nu^2}, \nu$ ——泊松比(下同) <p>短壳, <math>z &lt; 2.85</math></p> $\sigma_c = k_c \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(l/t)^2}, k_c = \begin{cases} \frac{1+12z^2}{\pi^4} & (\text{两端简支}) \\ \frac{4+3z^2}{\pi^4} & (\text{两端固定}) \end{cases}$ <p>中长壳, <math>z &gt; 2.85</math></p> <p>经典理论解(理想圆柱壳) <math>\sigma_c = \frac{1}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \frac{Et}{R}</math> (两端简支或固定)</p> <p>实测值(有缺陷圆柱壳) <math>\sigma_c' = \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}\right) \sigma_c</math></p> <p>对精度较差的柱壳可取 <math>\sigma_c' = \frac{1}{5} \sigma_c</math></p> <p>对精度较高的柱壳可取 <math>\sigma_c' = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}\right) \sigma_c</math></p> <p>长壳, <math>z</math> 很大的细长壳</p> $\sigma_c = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, \lambda = \frac{\sqrt{2\mu}l}{R} > \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_s}}, \mu$ 为长度系数, 见表 1-1-124																						
<p>纵向对称面内受弯矩作用圆柱壳</p> 	<p>中长壳, 临界弯矩 <math>M_c = \frac{\pi ERt^2}{\sqrt{3(1-\nu^2)}}</math>, 实测值 <math>M_c' = (0.4 \sim 0.7) M_c</math></p>																						
<p>两端受扭圆柱壳</p>  $\tau = \frac{T}{2\pi R^2 t}$	$\tau_c = k_s \left[ \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(l/t)^2} \right] = \frac{0.904 k_s E}{(l/t)^2} \quad (\text{当 } \nu = 0.3 \text{ 时})$ <p>短壳, <math>z = (l/R)^2 (R/t) \sqrt{1-\nu^2} &lt; 50, k_s = \begin{cases} 5.35 + 0.213z &amp; (\text{两端简支}) \\ 8.98 + 0.101z &amp; (\text{两端固定}) \end{cases}</math></p> <p>中长壳, <math>100 \leq z \leq 19.5(1-\nu^2)(D/t)^2 = 17.5(D/t)^2</math> (当 <math>\nu = 0.3</math> 时), <math>k_s = 0.85z^{0.75}</math> (<math>\nu = 0.3</math>, 无论什么边界, 考虑初始缺陷影响, 建议取 <math>k_s</math> 比上式低 15%)</p> <p>长壳, <math>k_s = \frac{0.416z}{(D/t)^{0.5}}</math></p>																						
<p>径向均匀外压球壳</p> 	<p>经典理论解 <math>p_c = \frac{2Et^2}{r^2 \sqrt{3(1-\nu^2)}} = 1.2E \left(\frac{t}{r}\right)^2</math> (当 <math>\nu = 0.3</math> 时)</p> <p>实测值 <math>p_c' = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{2}{3}\right) p_c</math></p> <p>经典解也适用于碟形和椭圆形封头, 但式中的 <math>r</math> 应为碟形封头球面部分的内半径; 用于椭圆形封头, 式中 <math>r</math> 应取下表中的当量半径 <math>r</math></p> <table border="1" data-bbox="494 1579 1404 1736"> <tr> <td>长短半轴比 <math>a/b</math></td> <td>3.0</td> <td>2.8</td> <td>2.6</td> <td>2.4</td> <td>2.2</td> <td>2.0</td> <td>1.8</td> <td>1.6</td> <td>1.4</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>当量半径与容器外直径比 <math>r/D</math></td> <td>1.36</td> <td>1.27</td> <td>1.18</td> <td>1.08</td> <td>0.99</td> <td>0.90</td> <td>0.81</td> <td>0.73</td> <td>0.65</td> <td>0.57</td> </tr> </table>	长短半轴比 $a/b$	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	当量半径与容器外直径比 $r/D$	1.36	1.27	1.18	1.08	0.99	0.90	0.81	0.73	0.65	0.57
长短半轴比 $a/b$	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2													
当量半径与容器外直径比 $r/D$	1.36	1.27	1.18	1.08	0.99	0.90	0.81	0.73	0.65	0.57													

注: 1. 轴向受压圆柱壳的屈曲形式与长径比  $l/R$  及径厚比  $R/t$  有关。 $l/R$  大、 $R/t$  小的厚长壳将发生和中心受压细长杆一样的整体屈曲;  $l/R$  及  $R/t$  为中等数值的中长壳, 将发生局部屈曲, 在柱面上出现一系列凹凸菱形的褶皱;  $l/R$  小、 $R/t$  大的短壳, 出现沿轴向成半波形的轴对称屈曲(鼓形)。

2. 轴向压缩或弯矩作用下的圆柱壳以及静水外压的球壳, 初始缺陷使壳的极限承载能力显著降低, 实测破坏载荷值, 仅为临界载荷的  $(1/5) \sim (1/3)$ , 作为设计依据, 应视壳体制造精度从试验结果中取适当值。

3. 扭转或径向外压作用的圆柱壳, 微小初始缺陷对极限承载能力无明显影响, 仅略低于临界载荷。

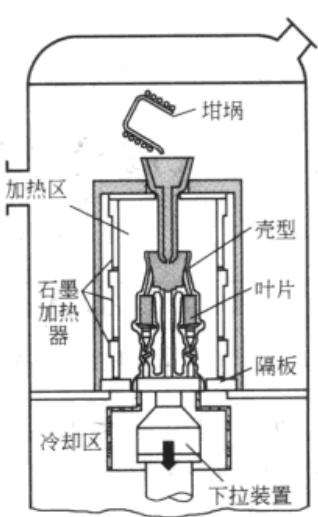


# 第 2 章 铸件设计的工艺性和铸件结构要素

## 1 铸造技术发展趋势及新一代精确铸造技术

表 1-2-1

发展方向		轻量化、精确化、强韧化、高效化、数字化、网络化和清洁化							
一、铸件轻量化	近年来,对通过降低产品自重,以降低能源消耗和减少环境污染,提出了更迫切的需要,由于铝、镁合金的质量轻以及它们的优异性能,受到各国的普遍重视,尤其是镁合金是金属中最轻的,而且其产品材料回收率高,被认为是一种最具开发和发展前途的“绿色材料”。例如,美国福特汽车公司新车型中使用的主要材料中钢铁用量将大幅度减少,将从 978kg 降低到 218kg,而铝及镁合金将显著增加,铝合金将从 129kg 增加到 333kg,镁合金将从 4.5kg 增加到 39kg。专家预测,到 2009 年,74% 的汽车发动机汽缸体及 98% 的缸盖将用铝合金铸造。								
名称	原理和特点	适用生产的铸件					出品率 / %	毛坯 利用率 / %	应用
		材料	(1)质量 (2)最小壁厚/mm	(1)尺寸公差 (2)表面粗糙度/ $\mu\text{m}$	形状特征	批量			
二、铸件的精确化——新一代的精确铸造技术 消失模铸造	<p>是先用成形机获得零件形状的泡沫塑料模型(代替铸模进行造型),接着涂抹耐火涂料及干燥,然后放入砂箱中填砂,并直接浇注液体金属,烧去塑料模型,得到铸件的方法。是一种近无余量,精确成形的新工艺</p> <p>它无需取模,无分型面,无砂芯,并减少了由于型芯组合、合型而造成的尺寸误差,因此,铸件没有飞边、毛刺和超模斜度,尺寸精度高;工序简单,生产效率高;生产清洁,工人劳动强度低,要求技术熟练程度低;零件设计自由度大;投资少,成本低;但生产准备较复杂</p> <p>合肥合力叉车集团公司生产的这类铸件,已达国际先进水平</p>	铝合金、铜合金、铁、钢	(1)从数克到数吨 (2)铝合金 2~3,铸铁 4~5,铸钢 5~6	(1)CT6~CT9 级 (2) $R_a = 6.3 \sim 12.5$ ,加工余量最多为 1.5~2mm	各种形状铸件	干砂振动造型,大批量,中小件;自硬砂造型,单件,小批量,中、大件	40~75	70~80	铸件结构越复杂,砂芯越多,越能体现其优越性和经济性。目前国外多用在汽车发动机缸体、缸盖、进气歧管等铝合金铸件上,国内多是管件、耐磨耐热件、齿轮箱等钢铁铸件

名称	原理和特点	适用生产的铸件					出品率 / %	毛坯 利用率	应用
		材料	(1)质量 (2)最小壁厚/mm	(1)尺寸公差 (2)表面粗糙度/ $\mu\text{m}$	形状特征	批量			
顺序凝固熔模铸造	<p>由于科学技术的发展,传统的失蜡铸造技术已发展成为顺序凝固熔模铸造新技术,可以直接生产高温合金单晶体燃气轮机叶片(见图),这是精确铸造成形技术在航空、航天工业中应用的杰出范例。从20世纪60年代初期等轴晶高温合金实心涡轮叶片发展到20世纪90年代中期单晶高温合金空心涡轮叶片,叶片的承温能力提高了400℃左右。单晶高温合金涡轮叶片已在航空发动机上获得广泛应用(见图1)。美国第四代战斗机F22所用的推重比为10的发动机的第二代单晶合金高压涡轮空心工作叶片是材料与铸造成形制造技术高度集成的杰出体现。在这方面,我国与美国等工业发达国家相比,仍有较大差距。</p>								 <p>(a) 等轴晶 (b) 柱状晶 (c) 单晶</p>
熔模铸造(又称失蜡铸造)	<p>它是用可熔(溶)性一次模和一次型(芯)使铸件成形的。其铸件接近零件最后形状,可不加工,或加工量很小,就可直接使用,是一种近净形生产金属零件的先进工艺</p> <p>它可以铸造形状复杂的铸件;产品精密;合金材料不受限制;生产灵活性高,适应性强</p> <p>但生产铸件尺寸不能太大,工艺流程烦琐,铸件冷却速度较慢,生产周期长</p>	<p>铝、镁、铜、钛四种合金,铸铁、碳钢、不锈钢、合金钢、贵金属、镍、钴基高温合金</p>	<p>(1) 1g到1t (2) 最小壁厚0.5mm,最小孔径0.5mm,轮廓尺寸从几毫米到上千毫米</p>	<p>(1) CT4 ~ CT6级 (2) <math>R_a = 0.4 \sim 3.2 \mu\text{m}</math></p>	<p>复杂铸件</p>	<p>小、中、大批量</p>	<p>30 ~ 60 90</p>	<p>主要用于精密复杂的中、小铸件,目前几乎已应用于所有工业部门,如航空航天、造船、汽轮机、燃气轮机、兵器、电子、石油、化工、交通运输、机械、泵、阀、纺织、医疗、仪器仪表、家电等</p>	

第 1 篇

二、铸件的精确化——新一代的精确铸造技术

名称	原理和特点	应用
----	-------	----

是利用球状初生固相的固液混合浆料铸造成形;或先将这种固液混合浆料完全凝固成坯料,再根据需要将坯料切分,并重新加热至固液两相区,利用这种半固态坯料进行铸造成形。这两种方法均称为半固态金属铸造。其工艺过程主要分为两大类

(1)流变铸造 是利用剧烈搅拌等方法制出预定固相分散的半固态金属料浆进行保温,然后将其直接送入成形机,铸造或锻造成形。采用压铸机成形的称为流变压铸,采用锻造机成形的,称为流变锻造

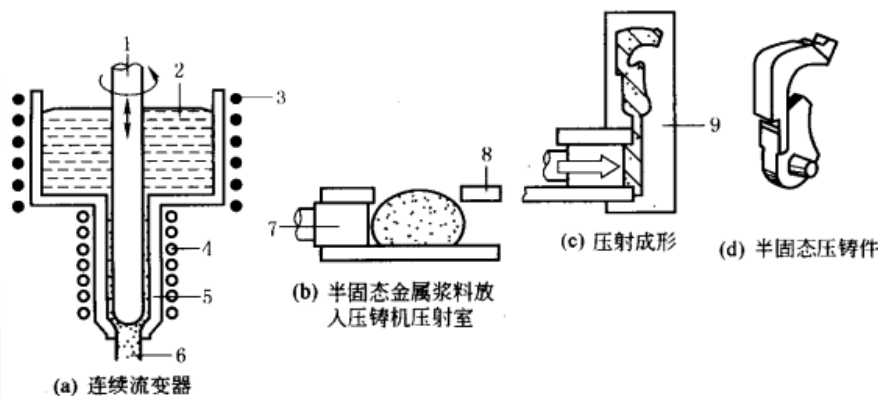


图2 半固态金属流变压铸示意图

- 1—搅拌棒;2—合金液;3—加热器;4—冷却器;5—搅拌室;  
6—半固态合金浆料;7—压射冲头;8—压铸射室;9—压铸型

(2)触变铸造 也是利用剧烈搅拌等方法制出球状晶的半固态金属料浆,并将它进一步凝固成锭坯或坯料,再按需要将坯料分切成一定大小,重新加热至固液两相区,然后利用机械搬运将其送入成形机,进行铸造或锻造。根据采用成形机不同,也可分为触变压铸、触变锻造等

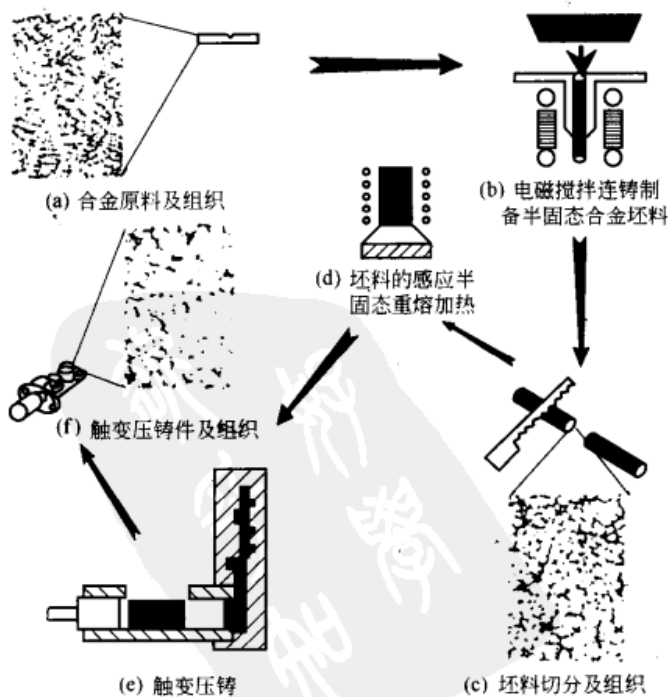


图3 半固态金属触变压铸示意图

由于半固态金属及合金坯料的加热、输送很方便,并易于实现自动化操作,因此,当固态金属触变压铸和触变锻造已成为当今金属半固态成形中的主要工艺方法。但流程更短、成本更低的半固态金属及合金的流变成形技术也正在逐步进入实际商业应用

例如,利用触变铸造法,1997年美国两家半固态铝合金成形工厂的生产能力分别达到每年5000万件,近年来,它的一些主要零件毛坯年产量为:制动总泵体240万件,油道和发动机支架各100万件,摇臂座150万~200万件,同步带托座20万件。另一公司利用镁合金触变射铸技术生产了50余万件半固态镁合金汽车零件。北京科技大学也成功连续铸出球状初生晶粒的AlSi7Mg合金坯料,并触变成形出汽车制动总泵壳及其他零件,触变成形实验达到中试水平等

二、铸件的精确化——新一代的精确铸造技术

半固态金属铸造

工艺过程分类



名称	原理和特点	应用																																																																																																																		
工艺过程分类		<p>由于半固态金属及合金坯料的加热、输送很方便,并易于实现自动化操作,因此,当固态金属触变压铸和触变锻造已成为当今金属半固态成形中的主要工艺方法。但流程更短、成本更低的半固态金属及合金的流变成形技术也正在逐步进入实际商业应用</p> <p>例如,利用触变铸造法,1997年美国两家半固态铝合金成形工厂的生产能力分别达到每年5000万件,近年来,它的一些主要零件毛坯年产量为:制动总泵体240万件,油道和发动机支架各100万件,摇臂座150万~200万件,同步带托座20万件。另一公司利用镁合金触变射铸技术生产了50余万件半固态镁合金汽车零件。北京科技大学也成功连续铸出球状初生晶粒的AlSi7Mg合金坯料,并触变成形出汽车制动总泵壳及其他零件,触变成形实验达到中试水平等</p>																																																																																																																		
半固态金属铸造	<p>图4 半固态金属触变压铸设备平面布置图</p> <p>1—坯料搬运机器人;2—H-630SC型压铸机;3—铸件抓取机器人; 4—浇注系统锯切机构;5—铸件冷却箱; 6—涂料喷涂装置;7—加热系统</p>																																																																																																																			
优点	<p>①在重力下,重熔加热后的黏度很高,可机械搬运,便于实现自动化,在高速剪切作用下,黏度又可迅速降低,便于铸造;②生产效率高;③改善了金属的充型过程,不易发生喷溅,减少了合金的氧化和铸件裹气,提高了铸件的致密性,可通过热处理进一步强化,其强度比液体金属压铸件更高;④减少了凝固收缩,铸件收缩孔洞减少,可承受更高液体压力;⑤铸件不存在宏观偏析,性能更均匀;⑥其固相分散,便于调整,借此改变半固态金属料浆或坯料的表面黏度以适应不同工件的成形要求;⑦铸件为近终化成形,大幅度减少毛坯加工量,降低了生产成本;⑧充型温度低,减轻了对模具的热冲击,提高了模具寿命;⑨节约能源25%~30%;⑩操作更安全,工作环境更好;⑪半固态金属的黏度较高,便于加入增强材料(颗粒或纤维)廉价生产复合材料;⑫充填应力显著降低,因此,可成形很复杂的零件毛坯,其铸件性能与固态锻件相当,而降低了成本</p>																																																																																																																			
不同铸件力学性能比较	<p>A356和A357合金半固态触变压铸件与其他铸件的力学性能比较</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>合金种类</th> <th>成形工艺</th> <th>热处理工艺</th> <th>屈服强度/MPa</th> <th>抗拉强度/MPa</th> <th>伸长率/%</th> <th>硬度HBS</th> <th>合金种类</th> <th>成形工艺</th> <th>热处理工艺</th> <th>屈服强度/MPa</th> <th>抗拉强度/MPa</th> <th>伸长率/%</th> <th>硬度HBS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">A356</td> <td>SSM</td> <td>铸态</td> <td>110</td> <td>220</td> <td>14</td> <td>60</td> <td rowspan="7">A357</td> <td>SSM</td> <td>铸态</td> <td>145</td> <td>220</td> <td>7</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>SSM</td> <td>T4</td> <td>130</td> <td>250</td> <td>20</td> <td>70</td> <td>SSM</td> <td>T4</td> <td>150</td> <td>275</td> <td>15</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>SSM</td> <td>T5</td> <td>180</td> <td>255</td> <td>5~10</td> <td>80</td> <td>SSM</td> <td>T5</td> <td>200</td> <td>285</td> <td>5~10</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>SSM</td> <td>T6</td> <td>240</td> <td>320</td> <td>12</td> <td>105</td> <td>SSM</td> <td>T6</td> <td>260</td> <td>330</td> <td>9</td> <td>115</td> </tr> <tr> <td>SSM</td> <td>T7</td> <td>260</td> <td>310</td> <td>9</td> <td>100</td> <td>SSM</td> <td>T7</td> <td>290</td> <td>330</td> <td>7</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>PM</td> <td>T6</td> <td>186</td> <td>262</td> <td>5</td> <td>80</td> <td>PM</td> <td>T6</td> <td>296</td> <td>359</td> <td>5</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>PM</td> <td>T51</td> <td>138</td> <td>186</td> <td>2</td> <td>—</td> <td>PM</td> <td>T51</td> <td>145</td> <td>200</td> <td>4</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CDF</td> <td>T6</td> <td>280</td> <td>340</td> <td>9</td> <td>—</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	合金种类	成形工艺	热处理工艺	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HBS	合金种类	成形工艺	热处理工艺	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HBS	A356	SSM	铸态	110	220	14	60	A357	SSM	铸态	145	220	7	75	SSM	T4	130	250	20	70	SSM	T4	150	275	15	85	SSM	T5	180	255	5~10	80	SSM	T5	200	285	5~10	90	SSM	T6	240	320	12	105	SSM	T6	260	330	9	115	SSM	T7	260	310	9	100	SSM	T7	290	330	7	110	PM	T6	186	262	5	80	PM	T6	296	359	5	100	PM	T51	138	186	2	—	PM	T51	145	200	4	—	CDF	T6	280	340	9	—									
合金种类	成形工艺	热处理工艺	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HBS	合金种类	成形工艺	热处理工艺	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HBS																																																																																																							
A356	SSM	铸态	110	220	14	60	A357	SSM	铸态	145	220	7	75																																																																																																							
	SSM	T4	130	250	20	70		SSM	T4	150	275	15	85																																																																																																							
	SSM	T5	180	255	5~10	80		SSM	T5	200	285	5~10	90																																																																																																							
	SSM	T6	240	320	12	105		SSM	T6	260	330	9	115																																																																																																							
	SSM	T7	260	310	9	100		SSM	T7	290	330	7	110																																																																																																							
	PM	T6	186	262	5	80		PM	T6	296	359	5	100																																																																																																							
	PM	T51	138	186	2	—		PM	T51	145	200	4	—																																																																																																							
CDF	T6	280	340	9	—																																																																																																															
	<p>注:SSM—半固态触变压铸件,PM—金属型铸件,CDF—闭模锻件。</p>																																																																																																																			

二、铸件的精确化——新一代的精确铸造技术

名称	原理和特点	应用
	<p>快速铸造是利用快速成形技术直接或间接制造铸造用熔模、消失模、模样、模板、铸型或型芯等,然后结合传统铸造工艺快捷地制造铸件的一种新工艺</p> <p>快速铸造与传统铸造比较有下列特点:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 适宜小批量、多品种、复杂形状的铸件</li> <li>(2) 尺寸任意缩放,数字随时修改,所见即所得</li> <li>(3) 工艺过程简单,生产周期短,制造成本低</li> <li>(4) 返回修改容易</li> <li>(5) CAD 三维设计所有过程基于同一数学模型</li> <li>(6) 设计、修改、验证、制造同步</li> </ol>	
	<p>快速成形技术 是指在计算机控制与管理下,根据零件的 CAD 模型,采用材料精确堆积的方法制造原型或零件的技术,是一种基于离散/堆积成形原理的新型制造方法</p>	
<p>原理</p>	<p>它是先由 CAD 软件设计出所需零件的计算机三维实体模型,即电子模型。然后根据工艺要求,将其按一定厚度进行分层,把原来的三维电子模型变成二维平面信息(截面信息)。再将分层后的数据进行一定的处理,加入加工参数,生成数控代码,在微机控制下,数控系统以平面加工方式,顺序地连续加工出每个薄层模型,并使它们自动粘接成形。这样就把复杂的三维成形问题变成了一系列简单的平面成形问题</p>	
<p>特点</p>	<p>它是一种新的成形方法,不同于传统的铸、锻、挤压等“受迫成形”和车、铣、钻等“去除成形”。它几乎能快速制造任意复杂的原型和零件,而零件的复杂程度对成形工艺难度、成形质量、成形时间影响不大</p> <p>(1) 高度柔性 它取消了专用工具,在计算机的管理和控制下可以制造任意复杂形状的零件,将信息过程和物理过程高度相关地并行发生,把可重编程、重组、连续改变的生产装备用信息方式集中到一个制造系统中,使制造成本完全与批量无关</p> <p>(2) 技术高度集成 是计算机技术、数控技术、激光技术、材料技术和机械技术的综合集成。计算机和数控技术为实现零件的曲面和实体造型、精确离散运算和繁杂的数据转换,为高速精确的二维扫描以及精确高效堆积材料提供了保证;激光器件和功率控制技术使采用激光能源固化、烧结、切割材料成为现实;快速扫描的高生产率喷头为材料精密堆积提供了技术条件等</p> <p>(3) 设计、制造一体化 由于采用了离散/堆积的加工工艺,工艺规划不再是难点,CAD 和 CAM 能够顺利地结合在一起,实现了设计、制造一体化</p> <p>(4) 快速性 从 CAD 设计到原型加工完毕,只需几小时至几十小时,复杂、较大的零部件也可能达几百小时,从总体看,比传统加工方法快得多</p>	<p>快速铸造可以将 CAD 模型快速有效地转变为金属零件。它不仅能使过去小批量、难加工、周期长、费用高的铸件生产得以实现,而且将传统的分散化、多工序的铸造工艺过程集成化、自动化、简单化。它的推广应用对新产品开发试制和单件小批量铸件的生产,产生积极的影响,SLA 或 SL 适合成形中、小件,可直接得到类似塑料的产品</p>

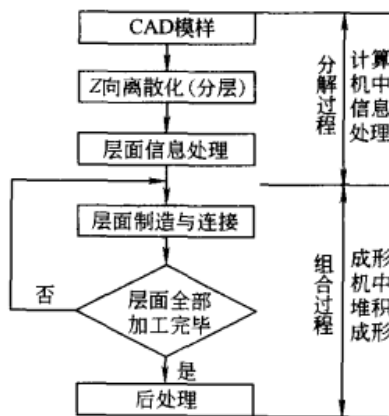


图 5 快速成形的原理

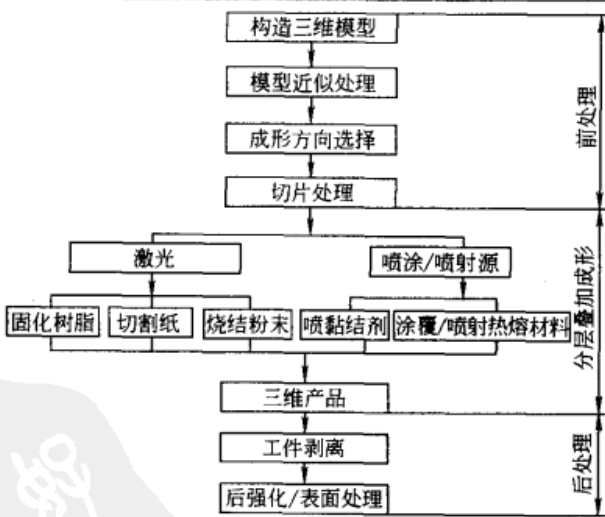


图 6 快速成形的过程

二、铸件的精确化——新一代的精确铸造技术

快速铸造

名称

原理和特点

应用

(1) 液态光敏聚合物选择性固化成形(简称 SLA 或 SL) 这种工艺的成形机原理如图 7 所示,由液槽、升降工作台、激光器(为紫外激光器,如氩离子激光器、氦离子激光器和固态激光器)、扫描系统和计算机数控系统等组成。液槽中盛满液态光敏聚合物,带有许多小孔的升降工作台,在步进电动机的驱动下,沿 Z 轴作往复运动,激光器功率一般为 10~200mW,波长为 320~370nm,扫描系统为一组定位镜,它根据控制系统的指令,按照每一截面轮廓的要求作高速往复摆动,从而使激光器发出的激光束发射并聚焦于液槽中液态光敏聚合物的上表面,并沿此面作 X-Y 方向的扫描运动。在受到紫外激光束照射的部位,液态光敏聚合物快速固化形成相应的一层固态截面轮廓

它的成形过程如图 8 所示,升降工作台的上表面处于液面下一个截面层厚的高度,该层液态光敏聚合物被激光束扫描发生聚合固化,并形成所需第一层固态截面轮廓后,工作台下降一层高度,液态光敏聚合物流过已固化的截面轮廓层,刮刀按设定的层高,刮去多余的聚合物,再对新铺上的一层液态聚合物进行扫描固化,形成第二层所需固态截面轮廓,它牢固地黏结在前一层上,如此重复直到整个工件成形完成

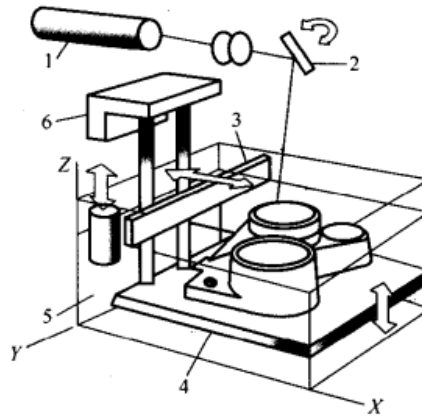


图 7 液态光敏聚合物选择性固化成形机原理  
1—激光器;2—扫描系统;3—刮刀;4—可升降工作台;5—液槽;6—可升降工作台 2

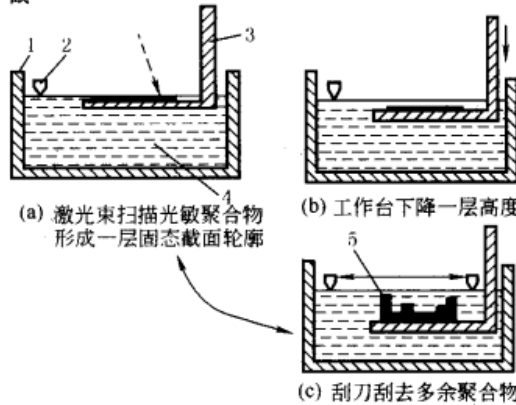


图 8 液态光敏聚合物选择性固化成形过程  
1—液槽;2—刮刀;3—可升降工作台;  
4—液态光敏聚合物;5—制件

快速铸造可以将 CAD 模型快速有效地转变为金属零件。它不仅能使过去小批量、难加工、周期长、费用高的铸件生产得以实现,而且将传统的分散化、多工序的铸造工艺过程集成化、自动化、简单化。它的推广应用对新产品开发试制和单件小批量铸件的生产,产生积极的影响,SLA 或 SL 适合成形中、小件,可直接得到类似塑料的产品

(2) 薄形材料选择性切割成形(简称 LOM) 这种工艺的成形机原理如图 9 所示,它由计算机、原材料存储及送进机构、热粘压机构、激光切割系统、可升降工作台和数控系统、模型取出装置和机架等组成。其成形过程如图 10 所示,计算机接受和存储工件的三维模型,沿模型的高度方向提取一系列的横截面轮廓线,向数控系统发出指令,原材料存储及进给机构将存于其中的原材料逐步送至工作台上方,热粘压机构将一层层材料粘合在一起。激光切割系统按照计算机提取的横截面轮廓线,逐一在工作台上方的材料上切割出轮廓线,并将无轮廓区切割成小方网格,这是为了在成形之后能剔除废料,可升降工作台支撑正在成形的工件,并在每层成形之后,降低一层材料厚度,以便送进、粘合和切割新的一层材料。数控系统执行计算机发出的指令,使一段段的材料逐步送至工作台的上方,然后粘合、切割,最终形成三维工件

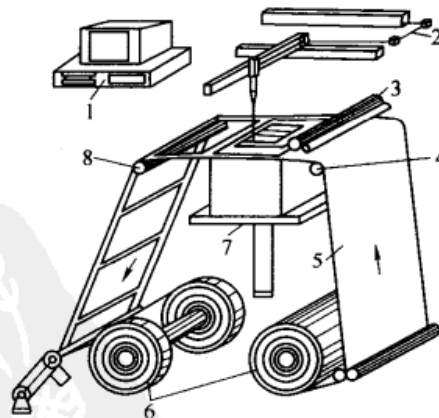


图 9 薄形材料选择性切割成形机原理  
1—计算机;2—激光切割系统;  
3—热粘压机构;4—导向辊 1;  
5—原材料;6—原材料存储及送进机构;7—工作台;8—导向辊 2

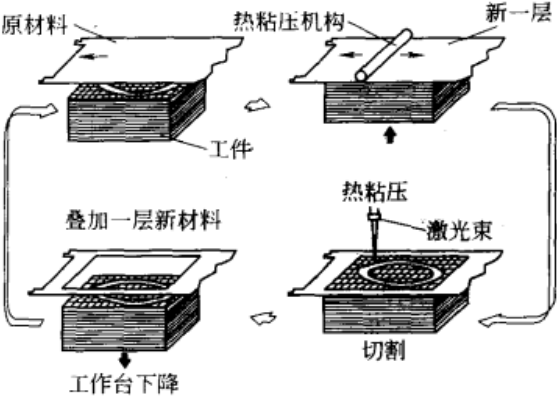
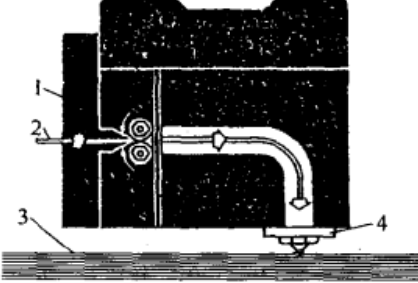
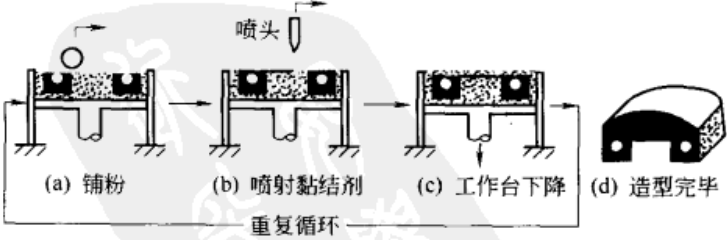
最适合成形中、大件以及多种模具

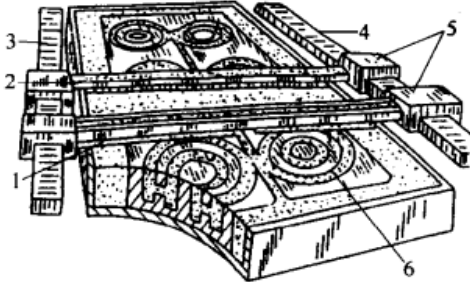
二、铸件的精确化——新一代的精确铸造技术

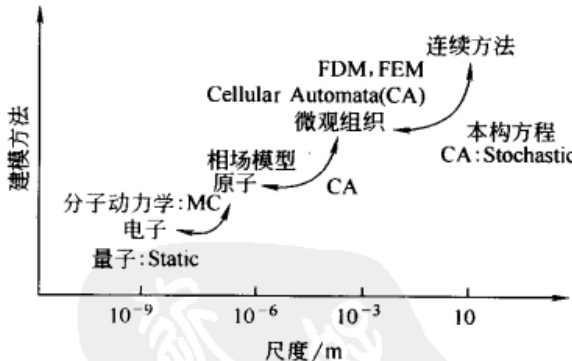
快速铸造

几种典型工艺

续表

名称	原理和特点	应用
	 <p>图10 薄形材料选择性切割成形过程</p>	<p>最适合成形中、大件以及多种模具</p>
<p>二、铸件的精确化——新一代的精确铸造技术</p> <p>快速铸造</p> <p>几种典型工艺</p>	<p>(3) 丝状材料选择性熔覆成形(简称FDM) 这种工艺的成形机的原理图如图11所示,加热喷头在计算机的控制下,根据截面轮廓的信息作X-Y平面运动和Z方向运动。丝状热塑性材料,如ABS及MABS塑料丝、蜡丝、聚烯烃树脂丝、尼龙丝、聚酰胺丝等由供丝机构送至喷头,并在喷头中加热至熔融态,然后被选择性地涂覆在工作台上,快速冷却后形成截面轮廓。完成一层成形后,喷头上升一截面层的高度,再进行下一层的涂覆,如此循环,最终形成三维产品。为提高成形效率,可采用多个热喷头进行涂覆。由于结构的限制,加热器的功率不能太大,因此,实芯柔性丝材一般为熔点不太高的热塑性塑料或蜡料</p>  <p>图11 丝状材料选择性熔覆成形机的原理 1—供丝机构;2—丝状材料; 3—制件;4—加热喷头</p>	<p>适合制造中、小塑料件和蜡件</p>
	<p>(4) 粉末材料选择性黏结成形(简称TDP) 是用多通道喷头在计算机的控制下,根据截面轮廓信息在铺好的一层粉末材料上有选择性地喷射黏结剂使部分粉末黏结,形成截面轮廓。一层成形完成后,工作台下移一截面层的高度,再进行下一层的黏结,如此循环,最终形成三维工件。一般情况下,黏结得到的工件必须放在加热炉中,进一步固化或烧结,以便提高黏结强度。其工艺原理如图12所示</p>  <p>图12 粉末材料选择性黏结工艺原理</p>	<p>适合成形小件</p>
	<p>图13 是按上述原理设计用于制作陶瓷模的TDP型快速成形机,它有一个陶瓷粉喷头1,在直线步进电动机的驱动下,沿Y方向作往复运动,向工作台面喷洒一层厚度为100~200<math>\mu\text{m}</math>的陶瓷粉;另一个黏结剂喷头2,也用步进电动机驱动,跟随1,有选择性地喷洒黏结剂,黏结剂液滴的直径为15~20<math>\mu\text{m}</math></p>	

名称	原理和特点	应用
二、铸件的精确化——新一代的精确铸造技术  快速铸造  几种典型工艺	<p>该工艺成形工件表面不够光洁,必须对整个截面进行扫描黏结,成形时间较长。采用多喷头可提高成形效率</p>  <p>图 13 TDP 型快速成形机 1—陶瓷粉喷头;2—黏结剂喷头;3—导轨 1; 4—导轨 2;5—驱动电动机;6—制件</p>	适合成形小件

名称	原理和特点	应用
三、数字化铸造——铸造过程的模拟仿真	<p>计算材料科学随着计算机技术的发展,已成为一门新兴的交叉学科,是除实验和理论外解决材料科学中实际问题的第三个重要研究方法。它可以比理论和实验做得更深刻、更全面、更细致,可以进行一些理论和实验暂时还做不到的研究。因此,模拟仿真成为当前材料科学与制造科学的前沿领域及研究热点。根据美国科学研究院工程技术委员会的测算,它可以大幅度提高产品质量,增加材料出品率 25%,降低工程技术成本 13%~30%,降低人工成本 5%~20%,增加投入设备利用率 30%~60%,缩短产品设计和试制周期 30%~60%等</p> <p>多学科、多尺度、高性能、高保真及高效率是模拟仿真技术的努力目标,而微观组织模拟(从毫米、微米到纳米尺度)则是近年来研究的热点课题(图 14)。通过计算机模拟,可深入研究材料的结构、组成及其各物理化学过程中宏观、微观变化机制,并由材料化学成分、结构及制备参数的最佳组合进行材料设计</p>  <p>图 14 未来的多尺度模拟仿真</p> <p>在国外,多尺寸模拟已在汽车及航天工业中得到应用。福特汽车公司提出了虚拟铝合金发动机缸体研究,其目标是能预测缸体的疲劳寿命。国内在相场法研究铝合金枝晶生长、无脆自动机法研究铝合金组织演变及汽车球墨铸铁件微观组织与性能预测等方面均已取得重要进展。最近,成功地采用 CA 方法研究单晶体叶片的结晶过程及组织演变</p> <p>铸造过程的宏观模拟在工程应用中已是一项十分成熟的技术,已有很多商品化软件如 MAGMA、PROCAST、DEFORM 及中国的铸造之星(FT-STAR)等,并在生产中取得显著的经济及社会效益</p>	<p>①长江三峡水轮机重 62t 的不锈钢叶片已由中国二重集团铸造厂,采用模拟仿真技术,经反复模拟得到最优铸造工艺方案,一次试制成功(2000 年)</p> <p>②一片重 218t 的热轧薄板用轧机机架铸件到全部 18 片冷轧热机机架铸件由马鞍山钢铁公司制造厂与清华大学合作,采用先进铸造技术和凝固过程计算机模拟技术,优质完成,仅用 10 个月,且节约了上千万元生产费用</p>

原理和特点

应用

现代的产品设计及制造开发系统是在网络化环境下以设计与制造过程的建模与仿真为核心内容,进行的全生命周期设计。美国汽车工业希望汽车的研发周期缩短为 15~25 个月,而 20 世纪 90 年代汽车的研发周期为 5 年。美国先进金属材料加工工程研究中心提出了产品设计/制造(铸造)集成系统在网络化环境下,产品零部件的设计过程中同时要要进行影响产品及零部件性能的铸造等成形制造过程的建模与仿真,它不仅可以提供产品零部件的可制造性评估,而且可以提供产品零部件的性能预测。因此,在网络化环境下,铸造过程的模拟仿真将在新产品的研究与开发中发挥重要作用。图 15 为产品虚拟开发与传统方法比较

(1) 产品及铸造工艺设计集成系统

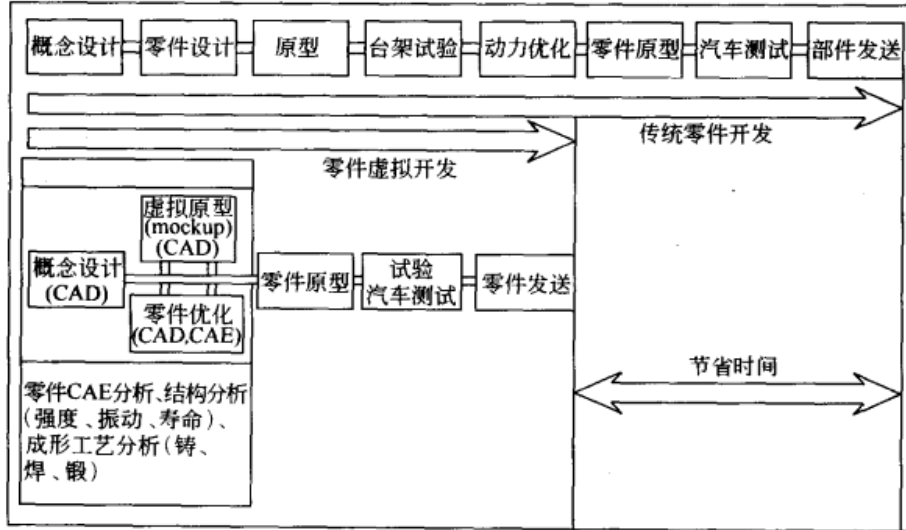


图 15 产品虚拟开发与传统方法比较

①长江三峡水轮机重 62t 的不锈钢叶片已由中国二重集团铸造厂,采用模拟仿真技术,经反复模拟得到最优化铸造工艺方案,一次试制成功(2000 年)

②一片重 218t 的热轧薄板用轧机机架铸件到全部 18 片冷热轧机机架铸件由马鞍山钢铁公司制造厂与清华大学合作,采用先进铸造技术和凝固过程计算机模拟技术,优质完成,仅用 10 个月,且节约了上千万元生产费用

(2) 虚拟制造

虚拟制造是 CAD、CAM 和 CAPP 等软件的集成技术。其关键是建立制造过程的计算模型、模拟仿真制造过程。虚拟制造的基础是虚拟现实技术。所谓“虚拟现实”技术是利用计算机和外围设备,生成与真实环境一致的三维虚拟环境,使用户通过辅助设备从不同的“角度”和“视点”与环境中的“现实”交互

(3) 网络化、数字化设计、铸造与管理信息系统

集成的设计、制造与管理信息系统是未来铸造企业取得成功的必要条件(见图 16)。所有工程、铸造与管理无缝连接,确保在正确的时间与地点能实时作出正确的决定。可在异地进行实时、协同的分布式生产,建成“虚拟企业”

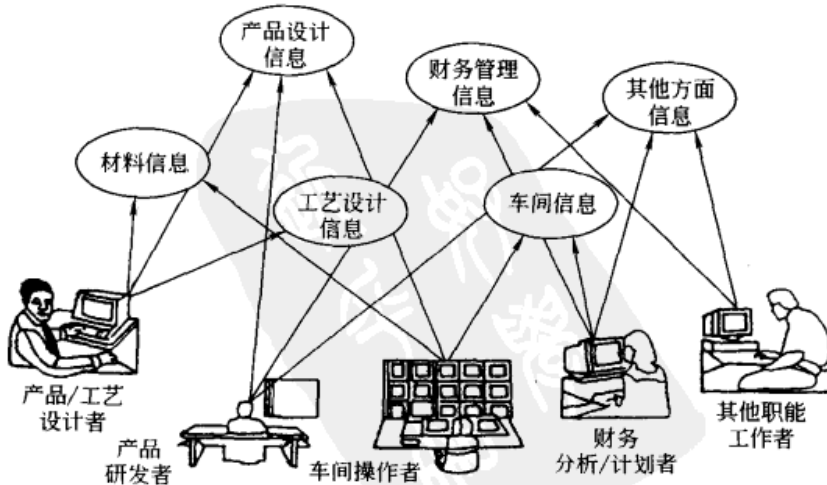
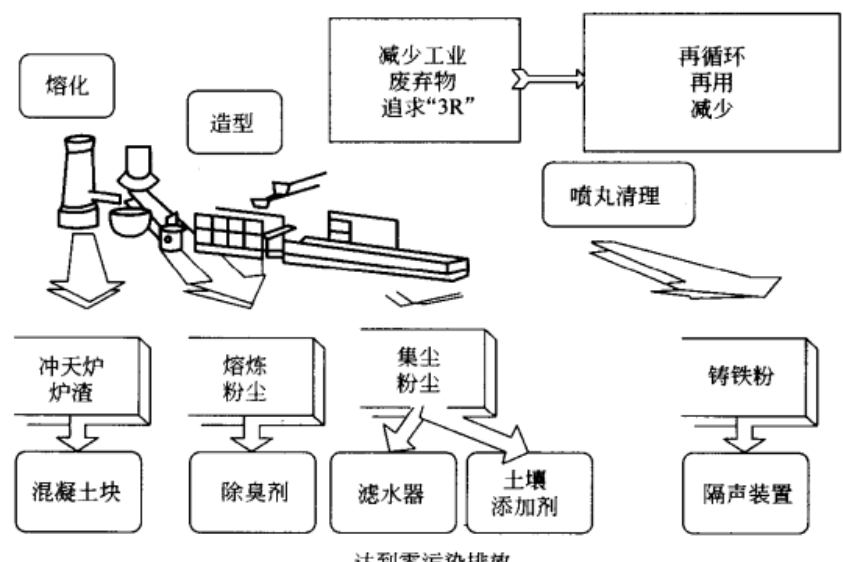


图 16 集成的设计、制造与管理信息系统

四、网络化铸造

原理和特点	应用
<p>美国在展望 2010 年的制造业前景时,进一步把“精确成形工艺”发展为“无废弃物成形加工技术(waste-free process)”。所谓“无废弃物加工”的新一代制造技术是指加工过程中不产生废弃物;或产生的废弃物能在整个制造过程中作为原料而利用,并在下一个流程中不再产生废弃物。由于无废弃物加工减少了废料、污染和能量消耗,并对环境有利,从而成为今后推广的重要绿色制造技术。绿色铸造是长期的努力方向及目标,最近日本铸造工厂提出了 3R 的环境保护新概念(见图 17),即:减少废弃物(reduce)、再利用(reuse)及再循环(recycle)。德国制定了《产品回收法规》</p>  <p>图 17 与环境友好的 3R 日本铸造厂</p>	<p>①长江三峡水轮机重 62t 的不锈钢叶片已由中国二重集团铸造厂,采用模拟仿真技术,经反复模拟得到最优化铸造工艺方案,一次试制成功(2000 年)</p> <p>②一片重 218t 的热轧薄板用轧机架铸件到全部 18 片冷热轧机架铸件由马鞍山钢铁公司制造厂与清华大学合作,采用先进铸造技术和凝固过程计算机模拟技术,优质完成,仅用 10 个月,且节约了上千万元生产费用</p>

五、洁净化铸造——绿色铸造

## 2 常用铸造金属的铸造性和结构特点

### 铸铁和铸钢的特性与结构特点

表 1-2-2

材料类别	材料特性							结构特点
	综合力学性能	壁厚变化对力学性能的影响	冷却速度的敏感性	流动性	线收缩率与体积收缩率	缺口敏感性	热稳定性	
灰铸铁	综合力学性能低,抗压强度大、为本身抗拉强度的 3~4 倍,消振能力比钢大 10 倍,弹性模量较低	大	很大	很好	小	小	低	(1)可获得比铸钢更薄而复杂的铸件,铸件中残余内应力及翘曲变形较铸钢小 (2)对冷却速度敏感性大,因此薄截面容易形成白口和裂纹,而厚截面又易形成疏松,故灰铸铁件当壁厚超过其临界值时,随着壁厚的增加其力学性能反而显著降低 (3)表面光洁,因而加工余量比铸钢小,表面加工质量不高对疲劳极限不利影响小 (4)消振性高,常用来做承受振动的机座 (5)不允许用于长时间在 250℃ 温度下工作的零件 (6)不同截面上性能较均匀,适于做要求高、而截面不一的较厚(大型)铸件

续表

材料类别	材料特性							结构特点
	综合力学性能	壁厚变化对力学性能的影响	冷却速度的敏感性	流动性	线收缩率与体积收缩率	缺口敏感性	热稳定性	
蠕墨铸铁	介于灰铸铁与球墨铸铁之间,冲击韧性及伸长率均比球墨铸铁低,而高于灰铸铁	比灰铸铁小		加蠕化剂去硫去氧后,流动性良好	蠕化率越高,体积收缩率越小,接近灰铸铁。蠕化率越低,体积收缩率越大,接近球墨铸铁		热导率在球墨铸铁与灰铸铁之间	<p>具有介于灰铸铁和球墨铸铁之间的良好性能,如抗拉强度及屈服强度高于高强度灰铸铁而低于球墨铸铁,热传导性、耐热疲劳性、切削加工性、减振性近似一般灰铸铁,疲劳极限和冲击韧度不如球墨铸铁,但明显地优于灰铸铁。铸造性能接近灰铸铁,因而铸造工艺简单,成品率高。由于蠕墨铸铁所具有的这些优异的综合性能,使其具有广泛应用的条件</p> <p>(1)由于强度高,对断面的敏感性小,铸造性能好,因而可用来制造复杂的大型零件</p> <p>(2)由于蠕墨铸铁具有较高的力学性能,同时还具有较好的导热性,因而常用来制造在热交换以及有较大温度梯度下工作的零件,如汽车制动盘、钢锭模、金属型等</p> <p>(3)由于蠕墨铸铁的强度较高;致密性好,可用来代替孕育铸铁件,不仅节约了废钢,减轻了铸件重量(碳当量较高,强度却比灰铸铁高),铸件的成品率也大幅度提高,而且使铸件的气密性增加,这一点特别适用于液压件的生产</p> <p>(4)加工蠕墨铸铁时的刀具寿命介于灰铸铁和球墨铸铁之间</p> <p>(5)加工表面的表面粗糙度值通常比灰铸铁大</p>
球墨铸铁	强度、塑性和弹性模量均比灰铸铁好,抗磨性比灰铸铁约大一倍,消振力比灰铸铁低	小	大	与灰铸铁相近	比灰铸铁体积收缩率大,而线收缩率小,易形成缩孔、缩松	与铸钢相近	高	<p>(1)铸件多设计成均匀厚度,尽量避免厚大断面</p> <p>(2)相连壁的圆角,不同壁厚的过渡段与铸钢相似</p> <p>(3)球墨铸铁体积收缩率与铸钢相近,因此,其结构设计与铸钢相近;由于其流动性好,在某些情况下可代替铸钢作薄壁零件</p> <p>(4)可制造在 300~400℃ 温度下使用的零件</p> <p>(5)可锻铸铁往往因化学成分控制不当引起铸件不合格而报废,但球墨铸铁的化学成分可在较宽范围内变动而不致引起极大的力学性能变化</p>
可锻铸铁	退火前很脆,综合力学性能稍逊于球墨铸铁,冲击韧性比灰铸铁高 3~4 倍,是韧性与冲击值最好的一种铸铁	大	大	比灰铸铁差,比铸钢好	体积收缩率比铸钢大,退火后最终线收缩率比灰铸铁小得多	小	较高	<p>(1)体积收缩率大,目前只宜做厚度不大的零件,最适合厚度为 5~16mm 范围,避免十字形截面</p> <p>(2)可锻铸铁是由白口铸铁热处理(退火或韧化)而得,故其不同厚度截面中的力学性能有很大变化,因此,加工余量很小(尺寸 &lt; 500mm 的铸件为 2~3mm)。同一铸件的厚度一定要均匀,厚度之比为 1:1.6~1:2 较合适</p> <p>(3)一些薄截面、形状复杂、工作中又受震动的零件,如用铸钢,因其铸造性能差,不易得到合格品,且价格贵,用灰铸铁又嫌其塑性、韧性不足,可用可锻铸铁,如汽车后桥</p> <p>(4)可以在 300~350℃ 温度下使用</p> <p>(5)铸件表面比一般灰铸铁光洁,表面韧性较好,适用于力学性能要求较高的表面不加工的毛坯件</p> <p>(6)突出部分都要用筋加固</p>



材料类别	材料特性						结构特点	
	综合力学性能	壁厚变化对力学性能的影响	冷却速度的敏感性	流动性	线收缩率与体积收缩率	缺口敏感性		热稳定性
铸钢	综合力学性能高, 抗压强度与本身抗拉强度相等, 消振性能低	小	不大	不好, 其中低碳钢比高碳钢差, 低合金钢又比碳钢差, 但高锰钢较好	大, 线收缩率约为2%, 而灰铸铁只有0.5%~1%	大	高	<p>(1) 铸件壁厚比铸铁大, 内应力及翘曲较大, 不易铸出复杂零件</p> <p>(2) 可做出大厚度铸件, 其力学性能在厚度增加时没有显著降低, 但必须使铸件保持顺序凝固的条件(即使铸件壁保持有一定的斜度和节点位于铸件上部等), 以防止疏松与缩孔, 但对一些壁较薄而且均匀的铸件, 则应创造同时凝固的条件</p> <p>(3) 相连壁的圆角, 不同壁厚的过渡段均比铸铁大</p> <p>(4) 减少节点及金属积聚比灰铸铁要求严格</p> <p>(5) 气体饱和倾向大, 流动性差, 表面杂质及气泡多, 故加工余量比灰铸铁大</p> <p>(6) 含碳量增高, 收缩率增加, 导热性能降低, 故高碳钢件容易发生冷裂, 低合金钢比碳钢易裂, 高锰钢导热性很差, 收缩率大, 很容易开裂, 设计时应更应强调, 壁厚要均匀, 转角要圆滑</p>

### 用灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁制造汽车零件和钢锭模的技术经济比较

表 1-2-3

名称	6110 柴油机(104kW)缸盖	集成块	EQ140 汽车发动机排气管
毛坯质量	80kg, 897mm × 249mm × 110mm, 主要壁厚 5.5mm, 最大壁厚 40mm	最小 12kg(壁厚 92mm) 最大 136kg(壁厚 280mm)	14.2kg, 总长 676.5mm, 主要管壁 5mm 局部最大壁厚 22mm
技术要求	该铸件结构复杂, 系六缸一盖连体铸件, 工作时受较高机械热应力, 要求材质具有良好力学性能、抗热疲劳性能、铸造性能和气密性	要求铸件致密、耐高压(7~32MPa)、耐磨, 表面粗糙度小、加工性能好	该零件服役温度差别大(室温~1000℃), 承受较大的热循环载荷, 要求材质有良好的抗热疲劳性能
原设计材质为灰铸铁	<p>(1) 缸盖上喷油嘴座旁的气道壁因热疲劳最易开裂, 该部位加工后壁厚仅 3~4mm, 工作温度 250~370℃</p> <p>(2) 缸盖渗漏严重, 在导杆孔、螺栓孔等热节处(均为非铸出孔)易产生缩松(孔)缺陷, 经加工钻孔后铸壁有微孔穿透造成渗漏</p> <p>(3) 因铸件热节多达 50 处, 尺寸精度高, 内腔结构复杂, 难以采用冒口补缩和内外冷铁工艺</p> <p>(4) HT250(CuMo 合金铸铁)</p>	<p>(1) 由于 HT300 高牌号灰铸铁碳硅质量分数低, 所以铸造性能差, 铸件易产生缩裂或晶间缩松而报废, 废品率高达 60%</p> <p>(2) 工艺出品率低, 只有 55% 左右, 压边浇冒口的质量是铸件质量的 80% 以上</p> <p>(3) HT300</p>	<p>(1) 寿命短, 汽车行驶不到 10000km, 管壁开裂严重; 若改用球墨铸铁排气管, 虽不发生开裂, 但变形严重, 通道口错开漏气</p> <p>(2) HT150</p>
蠕墨铸铁	<p>(1) 由于蠕墨铸铁的抗拉强度、抗蠕变能力和塑性均明显优于原材质, 故采用蠕墨铸铁缸盖, 开裂倾向大为降低, 使用寿命显著提高</p> <p>(2) 缸盖渗漏率下降 15%, 当蠕化率大于 50% 时, 其体收缩率小于 HT250 低合金铸铁, 其气密性又与球墨铸铁相近</p> <p>(3) 低合金灰铸铁的抗热疲劳性能、气密性和铸造性能、加工性等对碳当量和合金元素的敏感性大, 尤其对薄壁复杂件更为突出, 而蠕墨铸铁的上述性能对碳当量敏感性小, 加之采用稀土蠕化剂又有较宽的蠕化范围, 冲天炉生产条件下缸盖质量也易于控制</p> <p>(4) 节省贵重合金元素, 成本下降 21%</p>	<p>(1) 废品率大幅度下降, 总废品率约 16.9% (其中夹砂、夹杂物气孔占 9%)</p> <p>(2) 工艺出品率提高到 75%, 压边浇冒口质量比原来的减少 2/5</p> <p>(3) 经济效益明显, 扣除蠕墨铸铁生产成本比 HT300 灰铸件增加约 8% 外, 仅废品率下降、工艺出品率提高两项, 使蠕墨铸铁件成本降低 1/3 以上</p>	<p>(1) 提高寿命 3~5 倍以上, 根本上解决了排气管开裂问题</p> <p>(2) 取消了加强肋, 铸件自重减轻了 10%</p>

续表

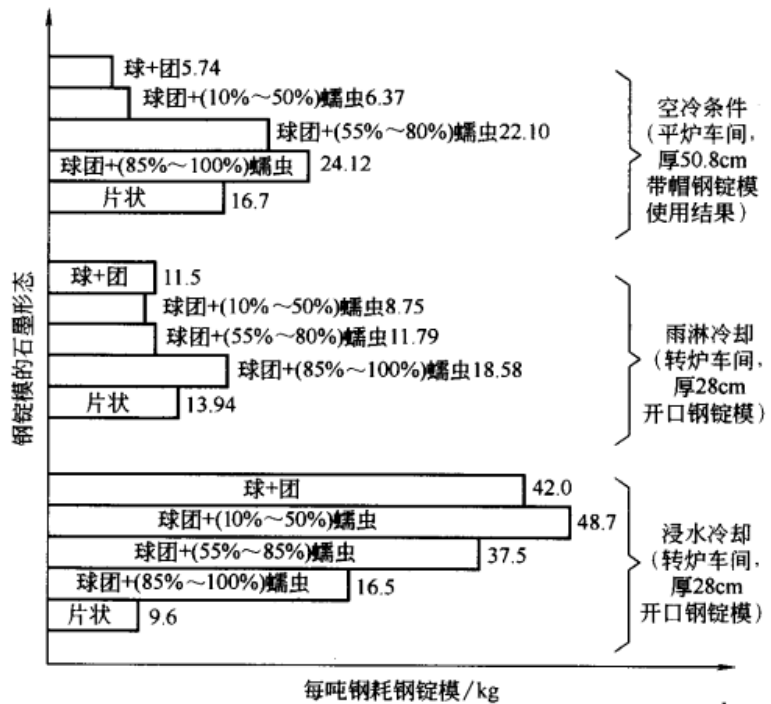
名称 钢 锭 模

技术要求

钢锭模制作目前一般采用普通灰铸铁和球墨铸铁  
 钢锭模在反复受热、冷却的恶劣条件下工作,所以其材质的特性直接影响使用寿命。在热应力的作用下,脆性材质可能发生断裂,塑性材料则会发生永久变形。热应力的大小与温度梯度、热膨胀系数和弹性模量有关。材质的导热性好(可降低温度梯度)、弹性模量低、强度高(特别是高温强度)、韧性好都有利于承受热循环载荷。在非常快的热循环条件下,导热性是主要影响因素,在缓慢热循环的条件下,高强度则更为重要。对于不同结构和冷却方式的钢锭模,对其材质的要求也不尽相同。它要求材质具有良好力学性能、抗热疲劳性能  
 蠕墨铸铁的力学性能比灰铸铁高,导热性能比球墨铸铁好,所以它也是一种生产钢锭模的良好材质

灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁

(1) 某钢铁厂采用蠕虫状石墨 10% ~ 55% 的蠕墨铸铁制作中小型钢锭模(用冲天炉熔炼),在雨淋及空冷的冷却条件下,得到最佳的使用效果,使炼钢车间的钢锭模消耗量明显下降  
 (2) 因为各种材质钢锭模的对比试验结果,可见在空冷条件下球墨铸铁寿命最长,消耗最少,次之是体积分数为 10% ~ 50% 的蠕虫状石墨铸铁;在喷水雨淋冷却条件下体积分数为 10% ~ 50% 蠕虫状石墨铸铁最佳;浸水冷却条件下灰铸铁最好  
 (3) 生产中发现,空冷的断面厚 50.8cm 的钢锭模因断面厚,石墨难以全部球化。即使石墨全部球化时,锭模底部圆角处出现缩孔,其上部石墨漂浮也严重;而体积分数为 10% ~ 50% 蠕虫状石墨,可以避免这些缺陷,给铸造工艺带来方便,其使用寿命与球墨铸铁相差不大  
 (4) 该厂采用体积分数为 10% ~ 50% 蠕虫状石墨的蠕墨铸铁生产空冷断面厚 50.8cm 和雨淋冷却断面厚 28cm 钢锭模,经过一年左右的实际使用,其模耗与原使用的灰铸铁锭模相比明显降低(见右表),每年节约钢锭模数千吨,价值百万元以上



蠕虫—蠕虫石墨;球—球状石墨;团—团状石墨;百分数为体积分数

车间	锭模类型	吨钢消耗量/kg	每吨钢消耗降低/kg	备注
平炉	厚 50.8cm 空冷锭模	8.06	11.9	包括体积分数为 55% ~ 80% 蠕虫状石墨铸铁锭模
转炉	厚 28cm 雨淋开口模	11.32	3.62	

## 常用铸造有色合金的特性与结构特点

表 1-2-4

材料分类	材料特性		结构特点	
黄铜	铸造性良好,流动性好,线收缩率不大,缩松及偏析倾向小,生成集中性缩孔,生成气孔倾向较小。在大气及低速、干燥纯净的蒸汽中腐蚀极微,在纯净淡水中腐蚀速度为 0.0025 ~ 0.25mm/a,海水中约 0.0075 ~ 0.1mm/a;在含 CO <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> S、SO <sub>2</sub> 、NH <sub>3</sub> 等气体的水溶液中腐蚀速度剧增。普通黄铜的强度与塑性,在含锌较低时,随含锌量增加而提高,含锌 32% 塑性最高,含锌 40% ~ 50% 强度最高。所有工业黄铜在 200 ~ 700℃ 间存在低塑性区,热加工不低于 700℃		(1)类同铸钢件 (2)不需另外脱氧处理,可获得致密铸件 (3)含锌较高的 α 黄铜或 β 黄铜中常出现脱锌腐蚀破裂(季节性破裂),可加 Al、Sn、Ni、Si 等防止。另止,黄铜还有应力腐蚀破裂(自动破裂),但可能性较小	
锡青铜	铸造性比黄铜差:流动性不好,结晶范围大,容易偏析,易产生缩松,线收缩率不大,体积收缩率小,高温性能差,易脆,强度随截面增大显著下降。耐磨性好。耐低温。含 Sn8% 时,在大气中腐蚀速度 < 0.00015 ~ 0.002mm/a,随锡含量的增加,耐蚀性提高,锡青铜腐蚀速度,在淡水及海水中 < 0.05mm/a,在浓硝酸中约 0.5mm/月,在浓度为 2mol/L 的 HCl 中含 Sn5% 时约 50mm/a,在浓度为 2mol/L 的 NaOH 中 < 0.025mm/a		(1)可用作铸造各种厚薄不均、尺寸准确的铸件和花纹清晰的工艺美术品,壁厚不得过大,零件突出部分应用较薄的加强筋加固以免热裂 (2)不能用来铸造要求高密封性的铸件 (3)采用金属型或离心铸造可以大大减少缺陷,质量较有保证(大量生产用),单件、小批量生产仍用砂型铸造	
无锡青铜	流动性很好,结晶范围小,偏析很少,不易生成缩松,但生成集中缩孔,体积收缩率大。铝青铜容易吸收气体及氧化而形成氧化铝薄膜造成微裂。无锡青铜具有高的强度、耐磨性、耐热性,在大气、海水、硫酸及大多数的有机酸中耐蚀性较好		(1)类同铸钢件 (2)铝青铜具有很高的强度(可与钢比)和高的冲击韧性,高的疲劳强度,耐磨,耐低温,耐热,冲击不产生火花,可获得致密铸件,在很多情况下,可代替不锈钢	
铝合金	ZL102、ZL104、ZL101、ZL103(这些铝合金不能进行阳极化处理,只能涂漆处理),ZL105 五种铝合金铸造性能良好,ZL203、ZL301 两种铝合金则比较差。它们之间的性能特点比较如下:5——最好,1——最差			
	牌号	流动性	线收缩率/% 砂模 铁模	补缩性 气密性 抗吸气性 耐热性 抗热裂性 耐蚀性
	ZL102	5	0.9 ~ 1.1 0.5 ~ 0.8	4 5 3 3 5 4(在潮湿大气中很好)
	ZL104	5	0.9 ~ 1.0 0.5 ~ 0.8	4 4 3 3 5 3(在潮湿大气中好)
	ZL101	5	0.8 ~ 1.1	4 5 4 3 5 3(在潮湿大气中好)
	ZL103	4	0.9 ~ 1.1	4 4 4 5 3 2
	ZL105	4	0.9 ~ 1.1	4 4 4 4 4 3
	ZL203	2	1.3 ~ 1.5	2 3 3 3 1 2
	ZL301	3	1.0 ~ 1.3	1 1 3 1 3 5(在水中最高)
ZL303	3	1.0 ~ 1.3	2 2 3 5 3 4	
(1)ZL102 力学性能不高,只能做受力不大的零件,可以铸造薄壁、形状复杂、尺寸大的铸件 (2)ZL104 广泛用于汽车、航空发动机以及一般机械电气器具等形状复杂的铸件 (3)ZL101、ZL103 吸气倾向大,极易形成细小的针孔,对于大型厚壁铸件,最好在加压下进行结晶,多用来铸造形状复杂的中型和大型铸件 (4)ZL301 做的铸件厚大截面易出现黄褐色到暗黑色的显微疏松,使强度急剧下降,对厚薄截面变化敏感性大 (5)铝合金铸件的强度随壁厚增大,下降得更显著。可铸出壁厚而形状比较复杂的铸件				

续表

材料分类	材料特性	结构特点
镁合金	<p>(1) 纯镁在 20℃ 时的密度仅为 1.738g/cm<sup>3</sup>, 镁合金为 1.75 ~ 1.85g/cm<sup>3</sup>, 是钢、铁的 1/4, 铝的 2/3, 是常用结构材料中最轻的金属, 与塑料相近</p> <p>(2) 具有优良的力学性能, 比强度和比刚度高, 优于钢、铝; 比弹性模量与高强铝合金、合金钢大致相近</p> <p>(3) 弹性模量较低, 受外力作用时, 应力分布更为均匀, 可避免过高应力集中, 在弹性范围内承受冲击载荷时, 所吸收的能量比铝高 50% 左右, 可制造承受猛烈冲击的零部件</p> <p>(4) 极佳的防振性, 耐冲击、耐磨性好; 镁合金在受到冲击或摩擦时, 表面不会产生火花</p> <p>(5) 镁的体积热容比其他所有金属都低, 因此, 镁及其镁合金加热升温与散热降温, 都比其他金属快</p> <p>(6) 铸造性能优良, 可以用几乎所有铸造工艺来铸造成形</p> <p>(7) 加工切削性能好, 切削速度大大高于其他金属, 不需磨削、抛光处理, 不使用切削液, 即可以得到粗糙度很低的表面</p> <p>(8) 非磁性金属, 抗电磁波干扰, 电磁屏蔽性好</p> <p>(9) 镁在液态下容易剧烈氧化燃烧, 因此镁合金必须在熔剂覆盖下或保护气氛下熔炼。镁合金铸件的固熔处理也要在 SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 或 SF<sub>6</sub> 气体保护下进行, 或在真空下进行。镁合金的固溶处理和时效处理时间均较长</p> <p>(10) 镁的化学活泼性高。而且在室温下, 镁的表面能与空气氧化形成氧化薄膜, 但比较脆, 疏松多孔, 耐腐蚀性很差, 因此, 镁及其合金使用时常需进行表面处理</p>	<p>(1) 密度低, 便于产品轻量化, 降低能源消耗; 运动零部件惯性低, 高速时尤为明显</p> <p>(2) 为满足零件对刚度的要求, 可增大壁厚, 勿需用加筋、肋等复杂结构</p> <p>(3) 镁合金压铸件可将多种部件组合一次成形, 大大提高生产率, 并可减少制造误差, 减少部件间的摩擦、振动, 降低噪声</p> <p>(4) 镁牺牲阳极可用于延长各种金属装置的寿命</p> <p>(5) 优良的热传导性, 可改善电子产品散热</p> <p>(6) 它对 X 射线和热中子的低透射有阻力, 特别适用于 X 射线</p> <p>(7) 它的中温性能使其能在飞机等上面替代工程塑料和树脂基复合材料</p> <p>(8) 替代工程塑料, 解决零件老化、变形和变色等问题, 而且尺寸稳定, 收缩率小</p> <p>(9) 加工成品性好, 产品美观, 质地好, (相对塑料) 无可燃性</p> <p>(10) 具有良好的刻蚀性能和力学性能, 又耐磨损, 故适于制造光刻板</p> <p>(11) 由于含铝小于 30% 的细小镁铝合金颗粒在燃烧时能产生耀眼的白光, 比自然光线更有利于照相, 因此被广泛用于照相用闪光灯</p> <p>(12) 材料回收率高, 符合环保要求, 由于它的优良性能, 被认为是 21 世纪最具开发应用价值的“绿色材料”</p>

### 3 铸件的结构要素

#### 最小壁厚<sup>[22]</sup>

表 1-2-5

									mm
铸造方法	铸件尺寸	铸 钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝合金	镁合金	铜合金	高锰钢
砂 型	≤200 × 200	6~8	5~6	6	4~5	3		3~5	20 (最大壁厚不超过 125)
	>200 × 200 ~ 500 × 500	10~12	6~10	12	5~8	4	3	6~8	
	>500 × 500	18~25	15~20			5~7			
金属型	≤70 × 70	5	4		2.5~3.5	2~3		3	
	>70 × 70 ~ 150 × 150		5		3.5~4.5	4	2.5	4~5	
	>150 × 150	10	6			5		6~8	

注: 1. 一般铸造条件下, 各种灰铸铁的最小允许壁厚:

HT100, HT150  $\delta = 4 \sim 6\text{mm}$ ; HT200  $\delta = 6 \sim 8\text{mm}$ ; HT250  $\delta = 8 \sim 15\text{mm}$ ; HT300, HT350  $\delta = 15\text{mm}$ 。

2. 如有特殊需要, 在改善铸造条件下, 灰铸铁最小壁厚可达 3mm, 可锻铸铁可小于 3mm。

## 外壁、内壁与筋的厚度

表 1-2-6

mm

零件质量 /kg	零件最大外形尺寸	外壁厚度	内壁厚度	筋的厚度	零件举例
<5	300	7	6	5	盖、拨叉、杠杆、端盖、轴套
6~10	500	8	7	5	盖、门、轴套、挡板、支架、箱体
11~60	750	10	8	6	盖、箱体、罩、电机支架、溜板箱体、支架、托架、门
61~100	1250	12	10	8	盖、箱体、搪模架、油缸体、支架、溜板箱体
101~500	1700	14	12	8	油盘、盖、壁、床鞍箱体、带轮、搪模架
501~800	2500	16	14	10	搪模架、箱体、床身、轮缘、盖、滑座
801~1200	3000	18	16	12	小立柱、箱体、滑座、床身、床鞍、油盘

壁的连接<sup>[22]</sup>

表 1-2-7

连接示意图	连接尺寸	连接示意图	连接尺寸
	$b = a, \alpha < 75^\circ$ $R = \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)a$ $R_1 = R + a$		$b > 1.25a$ , 对于铸铁 $h = 4c$ $c = b - a$ , 对于铸钢 $h = 5c$ $\alpha < 75^\circ$ $R = \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)\left(\frac{a+b}{2}\right)$ $R_1 = R + m = R + a + c = R + b$
	$b \approx 1.25a, \alpha < 75^\circ$ $R = \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)\left(\frac{a+b}{2}\right)$ $R_1 = R + b$		三壁厚相等时 $R \geq \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)a$
	$b \approx 1.25a$ , 对于铸铁 $h \approx 8c$ $c = \frac{b-a}{2}$ , 对于铸钢 $h \approx 10c$ $\alpha < 75^\circ$ $R = \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)\left(\frac{a+b}{2}\right)$ $R_1 = R + a + c = \frac{a+b}{2} + R$		壁厚 $b > a$ 时 $a + c \leq b, c \approx 3\sqrt{b-a}$ 对于铸铁 $h \geq 4c$ 对于钢 $h \geq 5c$ $R \geq \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)\left(\frac{a+b}{2}\right)$
	两壁厚相等时 $R \geq \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)a$ $R_1 \geq R + a$		壁厚 $b < a$ 时 $b + 2c \leq a, c \approx 1.5\sqrt{a-b}$ 对于铸铁 $h \geq 8c$ 对于钢 $h \geq 10c$ $R \geq \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)\left(\frac{a+b}{2}\right)$
	壁厚 $b \leq 2a$ 时 $R \geq \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)\left(\frac{a+b}{2}\right)$ $R_1 \geq R + \frac{a+b}{2}$		$\alpha < 90^\circ$ $r = 1.5a$ (不小于 25mm) $R = r + a$ 或 $R = 1.5r + a$ $b$ 与 $a$ 相差不多
	壁厚 $b > 2a$ 时 $a + c \leq b, c \approx 3\sqrt{b-a}$ 对于铸铁 $h \geq 4c$ 对于钢 $h \geq 5c$ $R \geq \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right)\left(\frac{a+b}{2}\right)$ $R_1 \geq R + \frac{a+b}{2}$		$\alpha < 90^\circ$ $r = \frac{b+a}{2}$ (不小于 25mm) $R = r + a$ $R_1 = r + b$ $b$ 比 $a$ 大得多

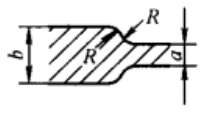
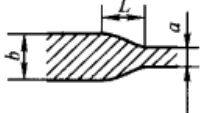
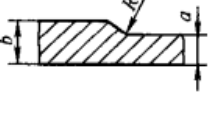
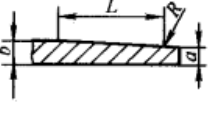
注: 1. 圆角半径标准整数系列为: 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、16mm、20mm、25mm、30mm、35mm、40mm、50mm、60mm、80mm、100mm。

2. 当壁厚大于 20mm 时,  $R$  取系数中的小值。

壁厚的过渡<sup>[22]</sup>

表 1-2-8

mm

	$b \leq 2a$	铸铁	$R \geq \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{3}\right) \left(\frac{a+b}{2}\right)$										
		钢、可 锻铸铁、 有色金属	$\frac{a+b}{2}$	<12	12~16	16~20	20~27	27~35	35~45	45~60	60~80	80~110	110~150
		R	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	
	$b > 2a$	铸 铁	$L \geq 4(b-a)$										
		钢	$L \geq 5(b-a)$										
	$b < 1.5a$		$R = \frac{2a+b}{2}$										
	$b > 1.5a$		$R = 4a, L = 4(a+b)$										

## 最 小 铸 孔

表 1-2-9

mm

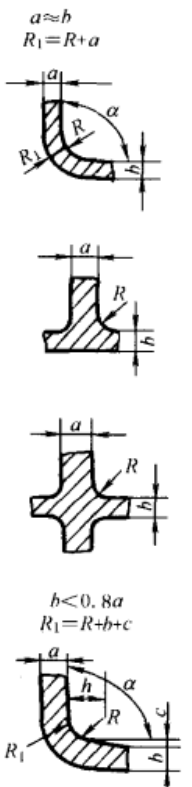
材料	孔壁厚度	<25	26~50	51~75	76~100	101~150	151~200	201~300	≥301								
	孔的深度	最 小 孔 径															
		加工后	不加工	加工后	不加工	加工后	不加工	加工后	不加工	加工后	不加工	加工后	不加工	加工后	不加工	加工后	不加工
碳钢与一般合金钢	≤100	75	55	75	55	90	70	100	80	120	100	140	120	160	140	180	160
	101~200	75	55	90	70	100	80	110	90	140	120	160	140	180	160	210	190
	201~400	105	80	115	90	125	100	135	110	165	140	195	170	215	190	255	230
	401~600	125	100	135	110	145	120	165	140	195	170	225	200	255	230	295	270
	601~1000	150	120	160	130	180	150	200	170	230	200	260	230	300	270	340	310
高锰钢	孔壁厚度	<50			51~100				≥101								
	最小孔径	20			30				40								
灰铸铁	大量生产:12~15。成批生产:15~30。小批、单件生产:30~50																

注: 1. 不透圆孔最小允许铸造孔直径应比表中值大 20%, 矩形或方形孔其短边要大于表中值的 20%, 而不透矩形或方形孔则要大 40%。

2. 难加工的金属, 如高锰钢铸件等的孔应尽量铸出, 而其中需要加工的孔, 常用镶铸碳素钢的办法, 待铸出后, 再对镶铸的碳素钢部分进行加工。

铸造内圆角及过渡尺寸 (JB/ZQ 4255—1997)

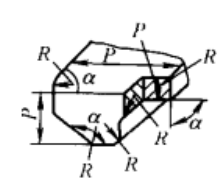
表 1-2-10

 $a \approx b$ $R_1 = R + a$ $h < 0.8a$ $R_1 = R + b + c$	$\frac{a+b}{2}$	内圆角 $\alpha$											
		<50°		51°~75°		76°~105°		106°~135°		136°~165°		>165°	
		钢	铁	钢	铁	钢	铁	钢	铁	钢	铁	钢	铁
过渡尺寸 R/mm													
$\leq 8$	4	4	4	4	6	4	8	6	16	10	20	16	
9~12	4	4	4	4	6	6	10	8	16	12	25	20	
13~16	4	4	6	4	8	6	12	10	20	16	30	25	
17~20	6	4	8	6	10	8	16	12	25	20	40	30	
21~27	6	6	10	8	12	10	20	16	30	25	50	40	
28~35	8	6	12	10	16	12	25	20	40	30	60	50	
36~45	10	8	16	12	20	16	30	25	50	40	80	60	
46~60	12	10	20	16	25	20	35	30	60	50	100	80	
61~80	16	12	25	20	30	25	40	35	80	60	120	100	
81~110	20	16	25	20	35	30	50	40	100	80	160	120	
111~150	20	16	30	25	40	35	60	50	100	80	160	120	
151~200	25	20	40	30	50	40	80	60	120	100	200	160	
201~250	30	25	50	40	60	50	100	80	160	120	250	200	
251~300	40	30	60	50	80	60	120	100	200	160	300	250	
>300	50	40	80	60	100	80	160	120	250	200	400	300	
c 和 h 值 /mm	$b/a$		<0.4		0.5~0.65		0.66~0.8		>0.8				
	c $\approx$		0.7(a-b)		0.8(a-b)		a-b						
	h $\approx$		钢				8c						
		铁				9c							

注：对于锰钢件应比表中数值增大 1.5 倍。

铸造外圆角 (JB/ZQ 4256—1997)

表 1-2-11

 表面的最小边尺寸 $P/mm$	过渡尺寸 R/mm					
	外圆角 $\alpha$					
	<50°	51°~75°	76°~105°	106°~135°	136°~165°	>165°
$\leq 25$	2	2	2	4	6	8
>25~60	2	4	4	6	10	16
>60~160	4	4	6	8	16	25
>160~250	4	6	8	12	20	30
>250~400	6	8	10	16	25	40
>400~600	6	8	12	20	30	50
>600~1000	8	12	16	25	40	60
>1000~1600	10	16	20	30	50	80
>1600~2500	12	20	25	40	60	100
>2500	16	25	30	50	80	120

注：如果铸件按上表可选出许多不同的圆角“R”时，应尽量减少或只取一适当的“R”值以求统一。

铸造斜度

法兰铸造过渡斜度 (JB/ZQ 4254—1997)

表 1-2-12

斜度 $b:h$	角度 $\beta$	使用范围
1:5	11°30'	$h < 25\text{mm}$ 时 钢和铁的铸件
1:10 1:20	5°30' 3°	$h$ 在 25 ~ 500mm 时钢和 铁的铸件
1:50	1°	$h > 500\text{mm}$ 时 钢和铁的铸件
1:100	30'	有色金属铸件

注：当设计不同壁厚的铸件时，在转折点处的斜角最大增到 30°~45°（参见表中下图）。

表 1-2-13

铸铁和铸 钢件的壁 厚 $\delta$	K	h	R
10 ~ 15	3	15	5
>15 ~ 20	4	20	5
>20 ~ 25	5	25	5
>25 ~ 30	6	30	8
>30 ~ 35	7	35	8
>35 ~ 40	8	40	10
>40 ~ 45	9	45	10
>45 ~ 50	10	50	10
>50 ~ 55	11	55	10
>55 ~ 60	12	60	15
>60 ~ 65	13	65	15
>65 ~ 70	14	70	15
>70 ~ 75	15	75	15

适用于减速器、机盖连接管、汽缸及其他各种机件连接法兰等铸件的过渡部分尺寸

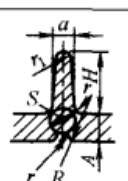
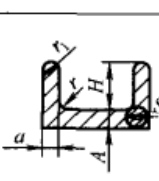
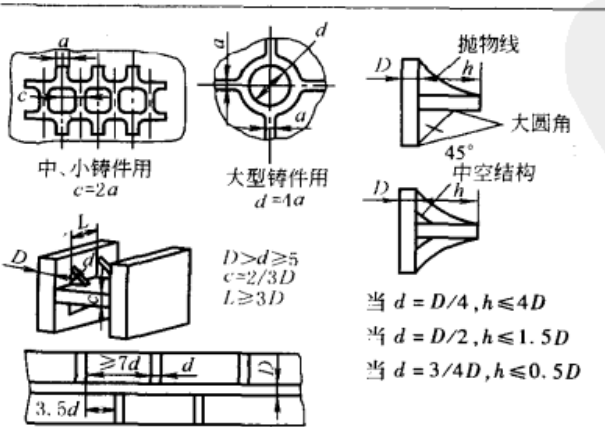
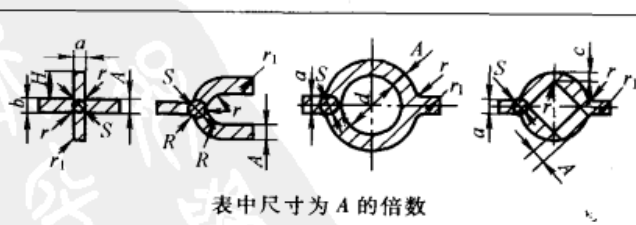
凸出部分最小尺寸 (JB/ZQ 4169—1997)

表 1-2-14

公称尺寸(壁厚) $\delta$	mm					
	$\leq 180$	$> 180 \sim 500$	$> 500 \sim 1250$	$> 1250 \sim 2500$	$> 2500$	
a (凸台)	铸钢	5	8	12	16	20
	灰铸铁	4	6	10	13	17
	球墨铸铁					

加强筋

表 1-2-15

中部的筋	两边的筋																																													
 <p> <math>H \leq 5A</math>  <math>a = 0.8A</math>                      (铸件内部的筋与外壁厚应为 <math>a \approx 0.6A</math>)  <math>S = 1.25A</math>  <math>r = 0.5A</math>  <math>r_1 = 0.25A</math>  <math>R = 1.5A</math> </p>	 <p> <math>H \leq 5A</math>  <math>a = A</math>  <math>S = 1.25A</math>  <math>r = 0.3A</math>  <math>r_1 = 0.25A</math> </p>																																													
筋的布置与形状	带有筋的截面的铸件尺寸比例																																													
 <p>                     中、小铸件用 <math>c=2a</math>                      大型铸件用 <math>d=4a</math>  <math>D &gt; d \geq 5</math>  <math>c \geq 2/3D</math>  <math>l \geq 3D</math>                      抛物线                      大圆角                      45°                      中空结构                      当 <math>d = D/4, h \leq 4D</math>                      当 <math>d = D/2, h \leq 1.5D</math>                      当 <math>d = 3/4D, h \leq 0.5D</math> </p>	 <p>表中尺寸为 A 的倍数</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>断面</th> <th>H</th> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>R</th> <th>r</th> <th>r<sub>1</sub></th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>十字形</td> <td>3</td> <td>0.6</td> <td>0.6</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>0.3</td> <td>0.25</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>叉形</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>1.5</td> <td>0.5</td> <td>0.25</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>环形附筋</td> <td>—</td> <td>0.8</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>0.5</td> <td>0.25</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>同上,但为方孔</td> <td>—</td> <td>1.0</td> <td>—</td> <td>0.5</td> <td>—</td> <td>0.25</td> <td>0.25</td> <td>1.25</td> </tr> </tbody> </table>	断面	H	a	b	c	R	r	r <sub>1</sub>	S	十字形	3	0.6	0.6	—	—	0.3	0.25	1.25	叉形	—	—	—	—	1.5	0.5	0.25	1.25	环形附筋	—	0.8	—	—	—	0.5	0.25	1.25	同上,但为方孔	—	1.0	—	0.5	—	0.25	0.25	1.25
断面	H	a	b	c	R	r	r <sub>1</sub>	S																																						
十字形	3	0.6	0.6	—	—	0.3	0.25	1.25																																						
叉形	—	—	—	—	1.5	0.5	0.25	1.25																																						
环形附筋	—	0.8	—	—	—	0.5	0.25	1.25																																						
同上,但为方孔	—	1.0	—	0.5	—	0.25	0.25	1.25																																						



孔边凸台

内腔

表 1-2-16

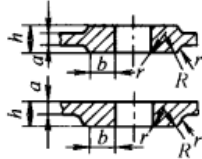
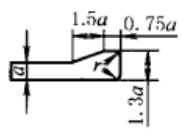
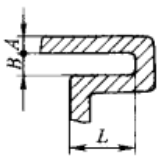
铸孔边缘凸台		$r = 0.25a$ $R = 0.75a$ $h = 2a$ $b = 1.5a$
壁中窗口凸边		$r = 0.25a$

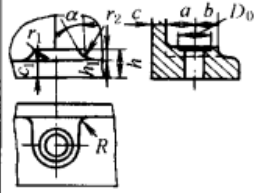
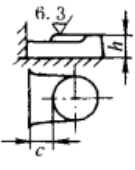
表 1-2-17

mm

 内腔最小尺寸与零件的尺寸及造型方法等有关,大致比例是: $B > A$ $L \leq 3B$	不用型芯所能铸出的凹腔尺寸		
	造型方法	H/d	h/d
	机器造型	1	0.25 ~ 0.3
	手工造型	0.5	0.2

凸座

表 1-2-18

凸座尺寸	 $c_1 = 1.5c$ $h_1 = (0.75 \sim 1)c$ $r_1 = 0.25c, r_2 = c_1$ $\alpha = 30^\circ \sim 45^\circ$ $a, b$ 随螺栓大小而定		凸座与壁距离很近时最好使其连接起来, c 的最小尺寸如下:				
			h /mm	< 10	10 ~ 18	18 ~ 30	30 ~ 50
		$c_{\text{最小}}$ /mm	20	25	30	40	50

4 铸造公差 (摘自 GB/T 6414—1999)

表 1-2-19

铸铁件、铸钢件、有色金属铸件尺寸公差

mm

铸件毛坯基本尺寸		公差等级									
>	≤	CT8	CT9	CT10	CT11	CT12	CT13	CT14	CT15	CT16	
—	10	1.0	1.5	2.0	2.8	4.2	—	—	—	—	
10	16	1.1	1.6	2.2	3.0	4.4	—	—	—	—	
16	25	1.2	1.7	2.4	3.2	4.6	6	8	10	12	
25	40	1.3	1.8	2.6	3.6	5.0	7	9	11	14	
40	63	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8	10	12	16	
63	100	1.6	2.2	3.2	4.4	6.0	9	11	14	18	
100	160	1.8	2.5	3.6	5.0	7.0	10	12	16	20	
160	250	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	11	14	18	22	
250	400	2.2	3.2	4.4	6.2	9.0	12	16	20	25	
400	630	2.6	3.6	5.0	7.0	10.0	14	18	22	28	
630	1000	2.8	4.0	6.0	8.0	11.0	16	20	25	32	
1000	1600	3.2	4.6	7.0	9.0	13.0	18	23	29	37	
1600	2500	3.8	5.4	8.0	10.0	15.0	21	26	33	42	
2500	4000	4.4	6.2	9.0	12.0	17.0	24	30	38	49	
4000	6300	—	7.0	10.0	14.0	20.0	28	35	44	56	
6300	10000	—	—	11.0	16.0	23.0	32	40	50	64	

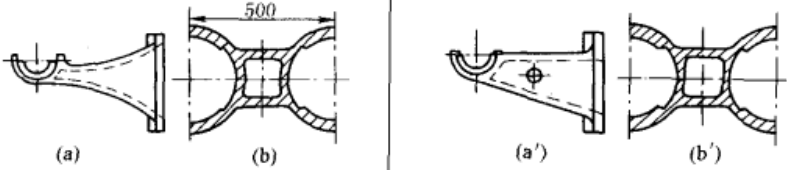

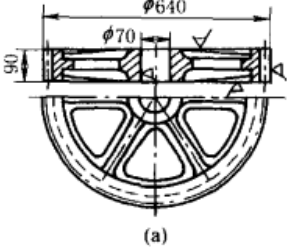
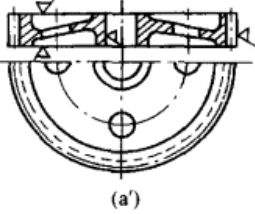

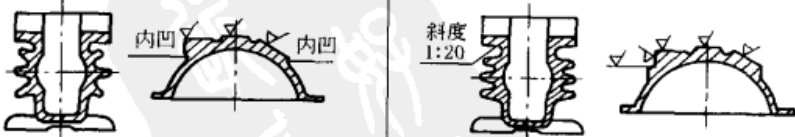

注: 1. 铸件尺寸公差包括拔模斜度。

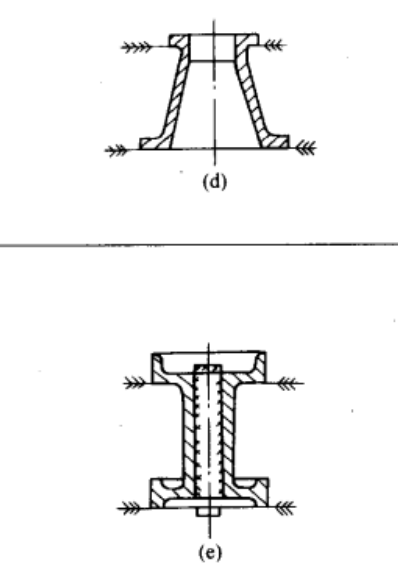
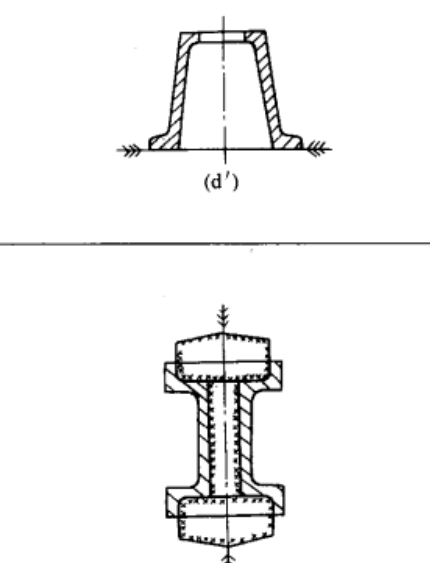
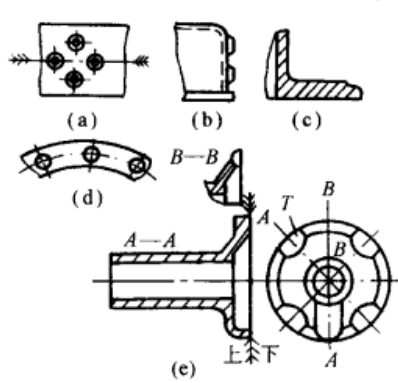
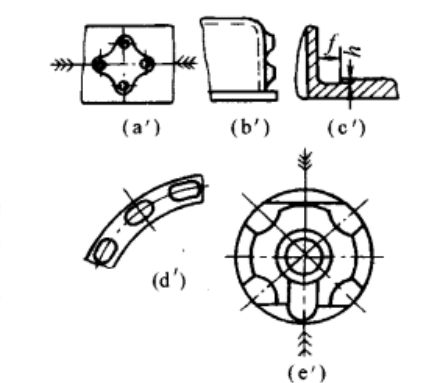
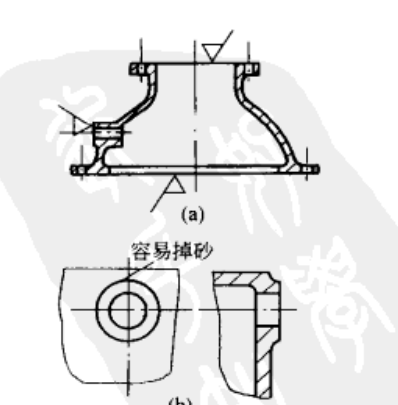
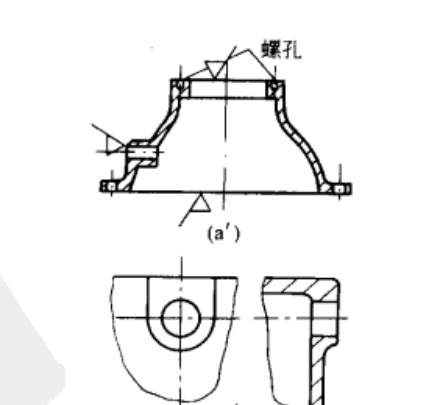
2. 凡图样及技术文件未作规定时, 对铸铁件、有色金属铸件小批和单件生产铸件的尺寸公差等级按框内推荐的等级选取 (黑线框内为铸铁件; 点划线框内为铸钢件; 虚线框内为有色金属铸件); 成批和大量生产比单件、小批生产相应提高两级选取公差等级。

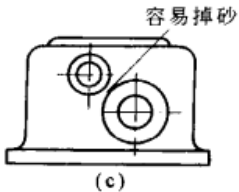
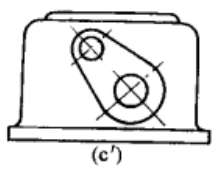
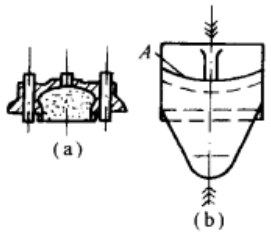
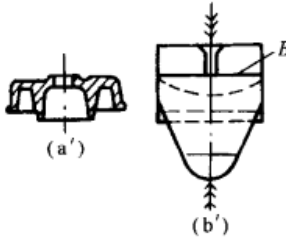
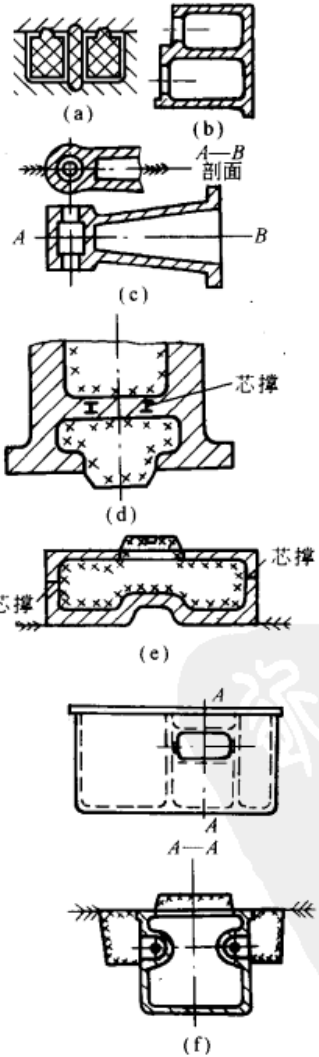
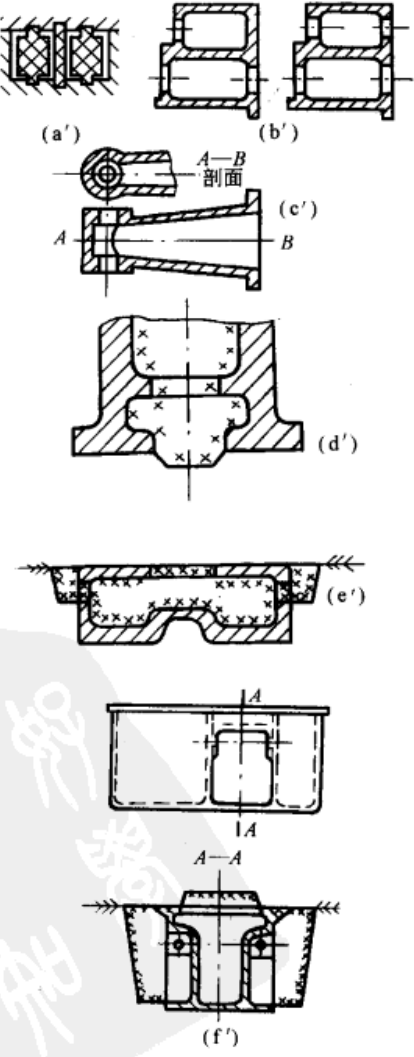
3. 对铸钢件、毛坯铸件基本尺寸不大于 16mm 的 CT13 ~ CT15 级, 其公差值均按 CT12 级选取; 毛坯铸件基本尺寸大于 16 ~ 25mm 的 CT13 ~ CT15 级, 其公差等级提高一级。

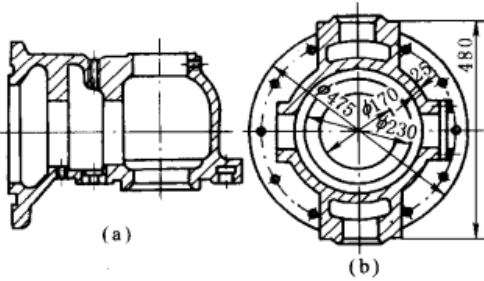
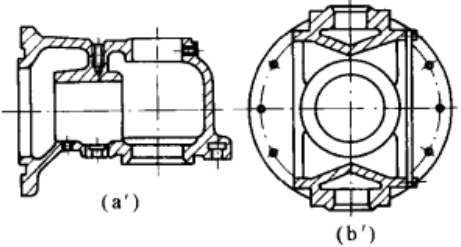
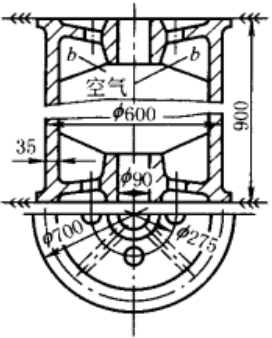
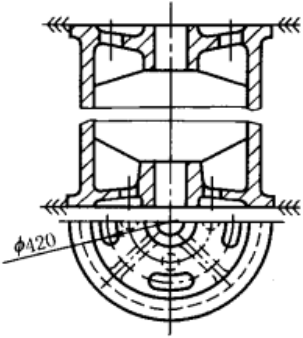
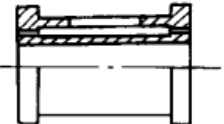
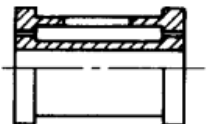


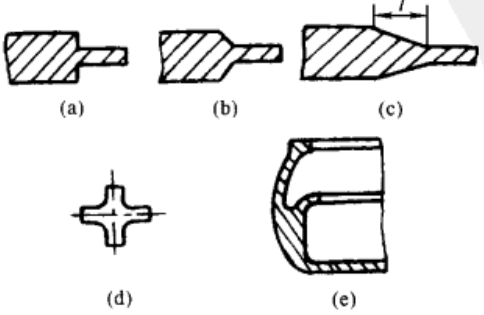
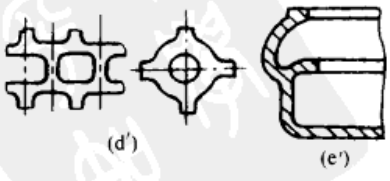
## 5 铸件设计的一般注意事项 (摘自 JB/ZQ 4169—1997) [23]

表 1-2-20

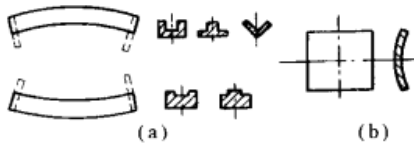
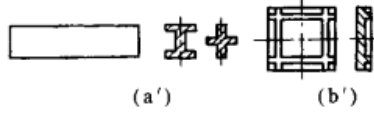
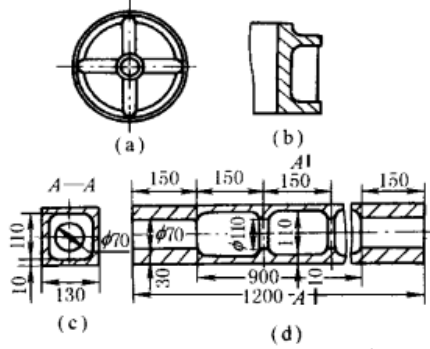
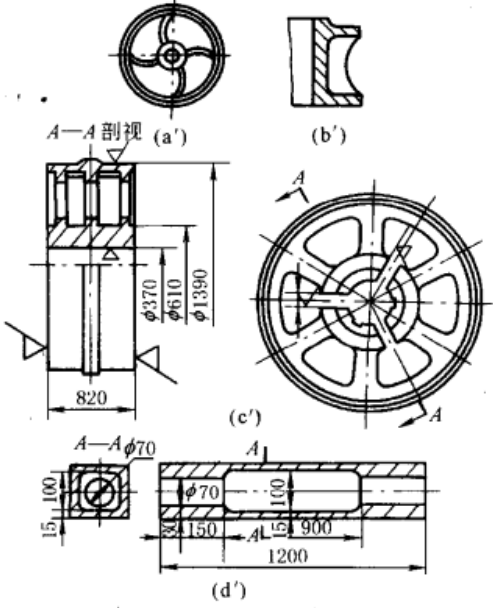
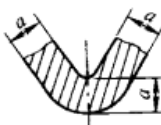
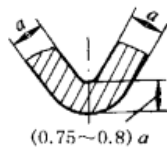
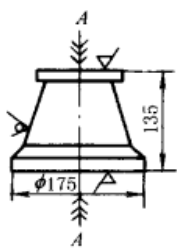

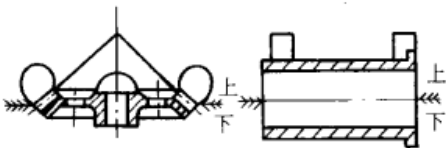
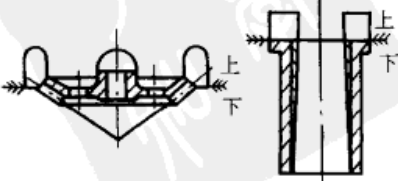
注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>一、必须针对不同的铸造材料的性能、铸造方法等考虑合理的结构</p> <p>二、铸件的壁厚变化对金属的力学性能均有影响,查阅手册时必须注意它随壁厚变化的指标。一般在壁厚增加时,铸铁的抗弯强度和硬度下降,壁厚太薄又会发生白口;锡青铜的强度和韧性均下降;铝合金则强度下降,塑性提高</p> <p>三、铸件的最小壁厚必须结合零件的复杂程度、尺寸大小、材料以及制造工艺来确定</p> <p>四、简化模型设计</p>		
<p>1. 铸件结构或泥心形状力求简单,在可能情况下尽量采用直线形的轮廓</p> <p>图 a 的外形及泥心的形状与泥心的支承、造型都比图 a' 困难</p> <p>图 b 是有曲面的泥心,制造比改成平面的 b' 图要贵</p>		
<p>2. 在满足使用要求前提下,应尽可能缩小轮廓尺寸,这样既可以降低制造工作量和造型费用,又可以使结构更加紧凑</p>		
<p>3. 在使用和制造许可条件下,应考虑用刮板造型代替砂模</p> <p>图 a 垂直方向的撑筋必须用撑筋模型,而且三角形孔的泥心必须用特别的木框做成,对小而窄的轮子可用图 a' 代替,采用刮板造型</p>		
<p>五、易于造型及合理确定分型面</p>		
<p>1. 拔模方向应留适当的结构斜度和圆角,便于拔模,保证砂型质量,提高劳动生产率</p>		
<p>2. 避免出现使造型发生困难的死角(如内凹)</p> <p>左边两图都存在内凹,容易发生撞砂,砂型质量无法保证,难于造型</p>		
<p>3. 分型面形状力求简单,数目力求减少</p> <p>图 a 需要复杂的分型面,图 b 则需要有特制的型芯或可拆卸的模子,而图 a'、图 b' 只需一个分型面,简化了造型。图 c' 适当改变外形,方便了分型</p>		

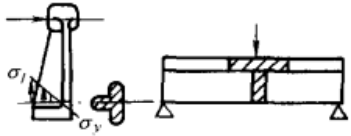

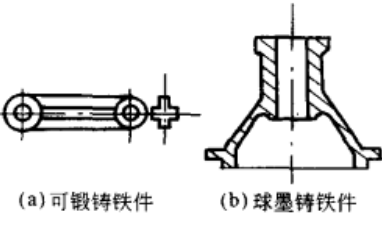
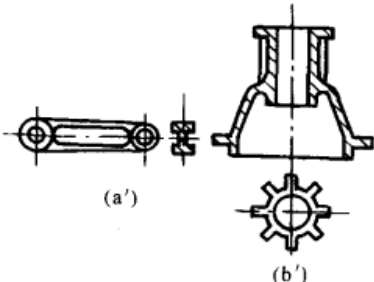
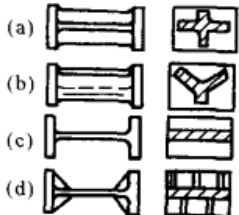
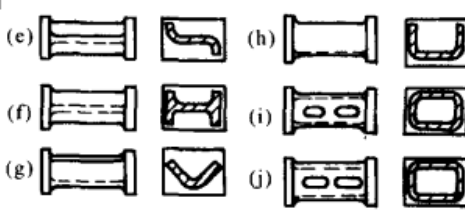
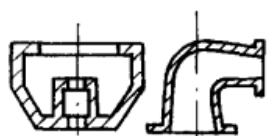
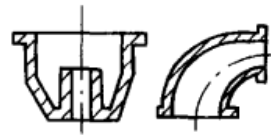
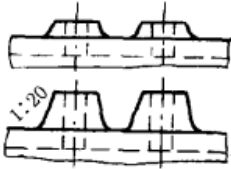

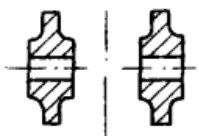
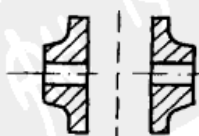
注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>图 d、e 需两个分型面,改成图 d'、e'后只需一个分型面</p>		
<p>4. 合理设置凸台和圆座,以利于造型和加工,并可使铸造偏差不影响结构的性能要求</p> <p>图 a'不需设活块造型,图 b'使凸台在同一平面,图 c'侧壁留有 <math>\frac{f}{h} \geq 3</math> 的沟槽,便于加工,图 d'可防止因铸造偏差影响使用,图 e 因为四个凸台(T)的局部阻碍沿 B-A 分模造型,而只能采用图示分型面,使得上箱很高,造型和落砂都费劲,改成图 e'后,将四凸台局部削薄,而能采用图示分型面,从而大大简化了造型和减少了落砂劳动量</p>		
<p>5. 增加砂型强度</p> <p>图 a'将小头法兰改成内法兰,大头法兰改成外法兰,并适当增加法兰厚度</p> <p>图 b 凸台离侧边太近,砂型不牢,改为图 b'较好</p>		

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>图 c 两凸台相距太近, 容易掉砂, 可改为图 c' 型式</p>		
<p>6. 尽量避免或减少采用型芯 图 a' 取消了穿透的细长孔和中间空腔的内凹部分, 便可以不用型芯了。图 b 是左右上托板的原设计, 由于外形有圆弧曲面 A, 因此需采用两块型芯, 改成图 b' 后, 将曲面改为平面 B, 省去两个型芯</p>		
<p>7. 保证型芯能牢固地安置在铸型里。一般用型芯头定位, 尽量不用型芯撑或吊挂型芯的方法。采用型芯撑如图 a 易使铸件不紧密, 并发生硬块, 对受压、耐火和耐腐蚀的铸件, 以及在滑动的平面上, 都不能使用。图 b 采用两个孤悬的型芯, 很不容易安设; 改为图 b', 采用一个型芯或两个型芯、两端分别设置型芯头的方法, 安设就很方便。图 d 改为图 d', 减少了型芯, 不用芯撑。图 e 改为图 e', 可不用吊芯和芯撑。图 f 下芯十分不便, 需先放入中间芯, 放芯撑固定后, 再从侧面放入两边型芯, 芯头处需用干砂填实; 改为图 f' 后两边型芯可先放入, 不妨碍中间型芯的安放; 图 c' 在铸件内部增加一个工艺孔, 不影响使用性能, 但改善了型芯的固定, 并使型芯中的气体易于排出, 也有利于出砂</p>		

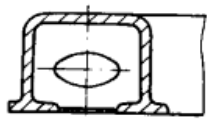
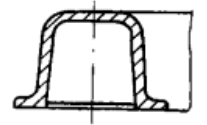
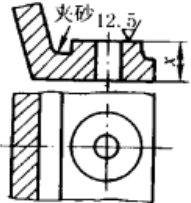
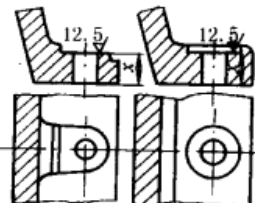
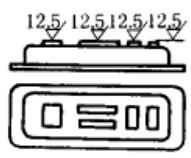
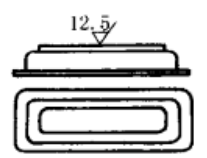
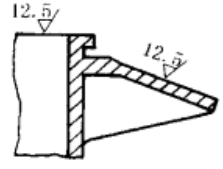
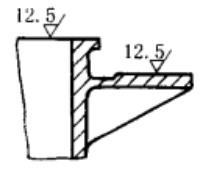
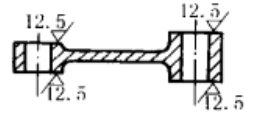
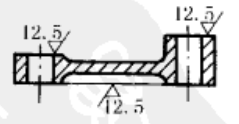
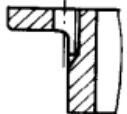

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>8. 型芯形状要简单, 出砂要方便</p> <p>图 a 是 XC624 万能铣头本体原设计, 需要四个型芯, 改进成图 a' 后, 只要一个型芯。图 b 有一厚度仅 25mm 且有双曲面的型芯, 制造困难, 费用很大, 由于这是没有特别大压力的冷却夹层, 故可改用图 b' 的结构, 既简化了型芯, 也便于支撑和出砂</p>		
<p>9. 型芯的透气性要好。左图透气孔未设在最上端, 使型芯中逸出的气体, 都向上集中在空间 b 内, 渗入铁液中, 而形成铸件的气孔, 而且出砂比较困难; 改成右图后, 将透气孔移至最上端便克服了这些缺点</p>		
<p>10. 铸件两壁之间的型芯厚度, 一般应不小于两边壁厚的总和, 以免两壁熔接在一起</p>		
<p>六、考虑浇铸的特点</p>		
<p>1. 避免水平设置较大的薄壁平面, 以利于气体和熔渣等的排出, 并防止冷却时造成冷隔</p>		
<p>2. 壁厚应尽可能均匀, 避免金属局部积聚和厚度的突变, 否则容易产生缩孔、缩松和裂纹</p> <p>图 a、b、c 由于处理过渡不同, 应力顺序依次减少, 强度依次增加; 图 d'、e' 减少了金属过多积聚</p>		

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计										
<p>在交叉区内的最大圆的直径不应大于 <math>1.5S</math> (壁厚), 两交叉区应逐渐过渡, 图 f、g 应改为图 f'、g'</p> <p>过渡圆太大, 如图 h, 也会产生缩孔, 应改成图 h'</p> <p>筋的配置和厚度不当, 也会产生缩孔、缩松等, 如图 i、j、k, 应改为图 i'、j'、k'</p> <p>筋厚 <math>S_R = (0.6 \sim 0.8) S, r = (\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}) S_R</math></p>	<p>(f) 缩孔</p> <p>(g)</p> <p>(h)</p> <p>(i)</p> <p>(j)</p> <p>(k)</p>	<p>(f')</p> <p>(g')</p> <p>(h')</p> <p>(i')</p> <p>(j')</p> <p>(k')</p>										
<p>3. 内部壁厚比外壁应当减薄, 使整个铸件能均匀冷却, 防止产生内应力和裂纹, 如图 a'</p> <p>断面要逐渐过渡, 并要有适当的过渡圆弧, 如图 b'</p> <p>图 c 会因轮圈收缩, 使两孔之间产生裂纹, 可如图 c' 所示通过增加孔圆周凸缘束避免, 相关尺寸, 如表所示</p> <table border="1" data-bbox="114 1467 454 1608"> <tr> <td><math>S</math> /mm</td> <td>5~8</td> <td>&gt;8~12</td> <td>&gt;12~20</td> <td>&gt;20</td> </tr> <tr> <td><math>r_{min}</math> /mm</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> </tr> </table> <p><math>b - h = (0.5 \sim 0.6) S</math></p>	$S$ /mm	5~8	>8~12	>12~20	>20	$r_{min}$ /mm	4	6	8	10	<p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p>	<p>(a')</p> <p>(b')</p> <p>(c')</p>
$S$ /mm	5~8	>8~12	>12~20	>20								
$r_{min}$ /mm	4	6	8	10								
<p>4. 在条件允许时, 可改变铸件的结构或设置防裂筋来增加铸件过热处的强度, 以防止热裂。右图两截面交接处, 由直角形转弯改成圆弧形, 以减少应力集中, 防止热裂</p>	<p>970</p> <p>直角形</p>	<p>圆弧形</p>										

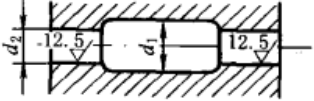
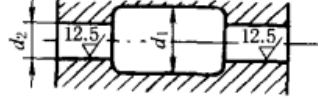
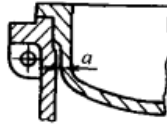
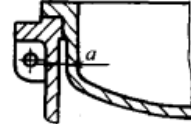
注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>5. 细长件和大平板应正确选择截面形状,如采用对称截面,或合理设置加固筋,细长件如图 a'所示,大平板如图 b'所示,以防止翘曲,重要铸件必须经时效处理</p>		
<p>6. 应使铸件在冷却时能自由收缩,特别要使受力最大的部位冷却时能不受阻变形:通常皮带轮和飞轮铸件内应力很大,可用曲线轮廓,如图 a',以及采用曲线轮廓的加固筋,如图 b';对于大型轮类铸钢件的轮毂部分,可作出缝隙,这对防止辐板裂纹和对装配均有利,如图 c</p> <p>图 d 为内部设筋的框架形内腔铸件,不能自由收缩,图 d' 取消了加固筋后,可克服这一缺点</p>		
<p>7. 铸件角部设计也应考虑均匀冷却,所以应将角顶壁厚减少 20% ~ 25%,使角的内部不致因为迟滞不能凝结而造成热裂纹</p>		
<p>8. 铸件的结构应使分型面便于安置在加工面或加工面的边缘上</p> <p>左图锥体表面不加工,但需保持光洁的外观,按结构分型面放在 A-A 上最简单,但易错箱产生裂缝破坏外观,清除很费劲,不改结构要克服此缺点便要增加砂箱,提高了成本,因此最好改成右图结构</p>		
<p>9. 结构应便于将铸件上质量要求高的部分或加工面放在铸型内的下面,以利用液态金属静压补缩</p> <p>例如圆锥齿轮及套筒就应如右图所示位置浇铸</p>		

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
七、充分发挥材料的特性和考虑材料的不同特性		
<p>1. 充分利用铸铁的抗压强度,将加固筋布置在受压的部位,或采用非对称形的截面</p>		
<p>2. 可锻铸铁体积收缩很大,在结构的厚大部分容易产生缩孔,因此,要避免十字形截面,如图 a</p> <p>球墨铸铁线收缩率与灰铸铁相似,但体积收缩率很大,和铸钢相似,因此结构中壁厚尽量均匀,如图 b'</p>	 <p style="text-align: center;">(a) 可锻铸铁件      (b) 球墨铸铁件</p>	 <p style="text-align: center;">(a')      (b')</p>
<p>3. 合理选用筋的截面形状。在要求高刚性、抗弯和抗扭强度的零件内,可应用壁上有尽量多的窗口的封闭截面,如图 j</p>		
八、考虑铸造方法的影响		
<p>铸造方法改变,铸件设计必须随着作相应的改变,如由砂型铸造改为压力铸造就必须采用更圆滑的铸件形状,既便于液态金属在铸型内流动,又便于出砂</p>	 <p style="text-align: center;">砂型铸造</p>	 <p style="text-align: center;">压力铸造</p>
九、铸件结构形状在满足功能要求同时力求简化,以方便制作和加工,降低成本,并避免废品		
<p>1. 相邻孔的凸台较小时,可铸成一个,如尺寸较大,则可用一根辅筋将其连接起来。浇铸斜度 1:20,不必标出</p>		
<p>2. 为简化铸造工艺,加固凸台应布置在臂的外侧</p>		



注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>3. 左图设有筋的预留孔,提高了型芯箱的费用</p>		
<p>4. 为避免夹砂,对于支承面采用铤孔或刮平,以保证夹紧长度 <math>x</math> 尺寸</p>		
<p>5. 并排的数个凸台、板块或平面应尽量组合在一个平面上</p>		
<p>6. 需加工的平面,应平行或垂直地放置在定位平面上</p>		
<p>7. 平行布置的加工面,应尽可能在一个平面内</p>		
<p>8. 防止钻头断裂,钻孔不能布置在交接处,必要时应扩大法兰或配置加固凸台</p>		

续表

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
9. 当型芯直径减小时,只有在 $d_2 > 50\text{mm}$ , $d_1 \geq d_2 + 30\text{mm}$ 时,才能采用图示结构,否则应做成直通孔		
10. 圆形铸件的加工面必须与不加工处留有充分的间隙 $a$ ,以提高铸件的圆度		

## 6 铸铁件 (摘自 JB/T 5000.4—1998)、铸钢件 (摘自 JB/T 5000.6—1998)、有色金属铸件 (摘自 JB/T 5000.5—1998) 等铸件通用技术条件

1) 灰铸铁件应符合 GB/T 9439—1988 的规定; 球墨铸铁件应符合 GB/T 1348—1988 的规定; 耐热铸铁件应符合 GB/T 9437—1988 的规定; 耐磨铸铁应符合 JB/ZQ 4304—1997 的规定; 可锻铸铁件应符合 GB/T 9440—1988 的规定。

2) 一般工程用铸造碳钢件应符合 GB/T 11352—1989 的规定; 大型低合金钢铸件应符合 JB/T 6402—1992 的规定; 耐热钢铸件应符合 GB/T 8492—1987 的规定; 高锰钢铸件应符合 GB/T 5680—1998 的规定; 焊接结构用碳素钢铸件应符合 GB/T 7659—1987 的规定; 大型不锈钢铸件应符合 JB/T 6405—1992 的规定。

3) 铝合金铸件应符合 GB/T 1173—1995 的规定; 锌合金铸件应符合 GB/T 1175—1997 的规定; 铜合金铸件应符合 GB 1176—1987 的规定。

4) 铸件尺寸公差按 GB/T 6414—1999, 常用等级代号与公差见表 1-2-19。同一铸件应选用同一种公差等级, 公差等级按铸件毛坯最大尺寸选取。公差带应对称于铸件毛坯基本尺寸配置, 即公差的一半位于正侧, 另一半位于负侧。有特殊要求时, 公差带也可非对称配置, 但应在图样上标注。斜面公差带应沿斜面对称配置。

5) 铸铁件和有色金属铸件的非机械加工铸造内、外圆角或圆弧, 其最小极限尺寸为图样标注尺寸, 最大极限尺寸为图样标注尺寸加公差值, 壁厚尺寸公差等级可降一级选用。如果图样上一般尺寸公差为 CT12, 则壁厚尺寸公差为 CT13。

6) 铸件尺寸公差在图样上标注时采用公差等级代号标注, 如 GB/T 6414—1999CT10。有特殊要求时, 公差应直接在铸件基本尺寸的后面标注, 如  $95 \pm 1$ 。

7) 铸件表面上的粘砂、夹砂、飞边、毛刺、浇冒口和氧化皮等应清除干净。不允许有影响铸件使用性能的裂纹、冷隔、缩孔、夹渣、穿透性气孔等。允许存在的缺陷种类、范围、数量以及缺陷的修补技术条件由供需双方商定, 并注明。

8) 铸件非加工表面粗糙度

铸铁件: 手工干型和机器干型  $R_a \leq 50\mu\text{m}$ , 湿型  $R_a \leq 100\mu\text{m}$ 。有色金属件: 砂型  $R_a \leq 50\mu\text{m}$ ; 金属型和离心铸造  $R_a \leq 25\mu\text{m}$ 。

铸钢件 (表面喷丸处理后): 铸件重  $\leq 5000\text{kg}$ ,  $R_a \leq 100\mu\text{m}$ ; 铸件重  $> 5000\text{kg}$ ,  $R_a \leq 800\mu\text{m}$ 。

9) 对化学成分、热处理有要求时, 由供需双方协商确定, 并注明。

10) 铸件在保证使用性能和外观质量的情况下, 经技术检验部门同意及需方认可才能进行补焊。对于铸钢件, 补焊应按 JB/T 5000.7 (铸钢件补焊通用技术条件) 的规定执行。在补焊后应进行消除应力的热处理 (对铸件冷加工后发现的缺陷采用铸 308 焊条补焊的除外)。

11) 对磁粉探伤、超声波检验、射线检验等有要求时, 应注明。

铸钢件无损探伤标准为 JB/T 5000.14—1998。

# 第 3 章

## 锻造和冲压设计的工艺性及结构要素

### 1 锻 造

#### 1.1 金属材料的可锻性

金属材料的可锻性是指金属材料在锻造过程中经受塑性变形而不开裂的能力。一般随着钢的含碳量和某些降低金属塑性等因素的合金元素的增加而变坏，并与其内部组织和锻压规范有很大关系。

碳钢一般均能锻造。低碳钢可锻性最好，锻后一般不需热处理，中碳钢次之；高碳钢则较差，锻后常需热处理，当含碳量达 2.2% 时，就很难锻造了。低合金钢的锻造性能，近似于中碳钢。

高合金钢锻造比碳钢困难，对比碳钢，其锻造性能有如下特点：①热导率低，特别是含铬及镍较多的高合金钢的热导率比碳钢要低得多；②锻造温度范围窄，一般碳钢的锻造温度范围为 350 ~ 400℃，而高合金钢有些只有 100 ~ 200℃；③变形抗力大，硬化倾向性大，高合金钢在锻造温度下的变形抗力较碳钢甚至普通合金结构钢高好几倍，高温合金可高达 5 ~ 8 倍；④塑性低，某些耐热钢允许的墩粗变形量为 60%，而有些高温合金仅允许 40%。

铝合金：低碳钢能锻出的各种形状的锻件，都可以用铝合金锻出来，可以自由锻、模锻、顶锻、滚锻和扩孔，但是，一般说来，铝合金锻造时，需用比低碳钢大 30% 的能量，它在锻造温度下的塑性比钢的低，而且模锻时的流动性比较差，锻造温度范围较窄，一般都在 150℃ 范围内，甚至某些高强度铝合金小于 100℃。

锻造铝合金有以下几种：① Al-Mg-Si 系合金，如 LD2 具有高的塑性和耐腐蚀性，易锻造，但强度较低；② Al-Mg-Si-Cu 系合金，如 LD5、LD6、LD10，由于加入了铜提高了强度，但工艺性有些变差，LD5 与 LD6 合金可以通用，两者的区别在于后者加入了微量的铬与钛，LD10 由于含有较多的铜，故强度较高，但热态下塑性不如 LD5，故只用作高载荷而形状简单的锻件，又由于它具有晶间腐蚀与应力腐蚀倾向，故不宜作薄壁零件；③ Al-Cu-Mg-Fe-Ni 系合金，如 LD7、LD8，这类合金含有较多的铁和镍，故有较高的抗热性，常称为耐热铝，用于制造活塞、叶片、导轮及其他高温零件。LD7 比 LD8 有较高的力学性能和冲压工艺性，特别是高温塑性较好。

铜合金的锻造性能一般较好。尤其是锻造黄铜（60Cu-38Zn-2Pb）、锡黄铜（60Cu-39.25Zn-0.75Sn，又称海军黄铜）和锰黄铜（58.5Cu-39Zn-1.4Fe-1Sn-0.1Mn）的锻造性更好。与碳钢相比，铜合金的始锻温度较低，锻造温度范围窄，只有 100 ~ 200℃，在 250 ~ 650℃ 还有脆性区，但需要锻造的能力比普通碳钢低，铜及黄铜在 20 ~ 200℃ 的低温和 650 ~ 900℃ 的高温下，都有很高的塑性，即在热态和冷态下都可锻造，某些特殊黄铜（如铅黄铜和青铜）塑性很低，很难锻造。含 Sn < 10% 的锡青铜，含 P 0.1% ~ 0.4%、含 Sn < 7% 的锡磷青铜和锰青铜都可以进行压力加工，含 Al 5% ~ 7% 的铝青铜冷热压力加工均可，但当含 Al > 9% 时很脆，只能在热态下挤压加工，含 Sn > 10% 的锡青铜则不能压力加工。铍青铜塑性很差，就是热压力加工也是比较困难的。

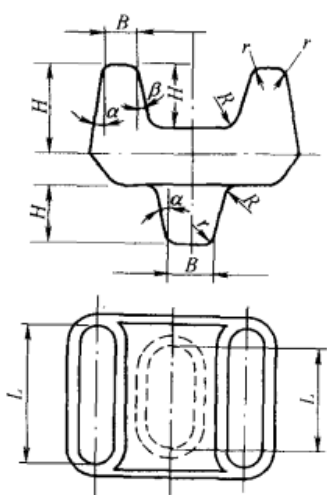
钛合金与不锈钢类似，锻造性能不好。它在锻造温度下变形抗力比钢高很多，并随温度的降低而急剧升高，比钢也快得多，变形速度对钛合金的变形抗力的影响也较大，流动性差，模锻时粘模现象比其他金属严重。而且因为钛合金受热后会生成摩擦性氧化皮，对模具磨蚀较大，也增加了钛合金锻造的困难。

## 1.2 锻造零件的结构要素 (摘自 GB/T 12361—2003、JB/T 9177—1999)

### 模锻斜度 (摘自 GB/T 12361—2003)

为了便于模具制造时采用标准刀具, 模锻斜度可按下列数值选用:  $0^{\circ}15'$ ,  $0^{\circ}30'$ ,  $1^{\circ}00'$ ,  $1^{\circ}30'$ ,  $3^{\circ}00'$ ,  $5^{\circ}00'$ ,  $7^{\circ}00'$ ,  $10^{\circ}00'$ ,  $12^{\circ}00'$ ,  $15^{\circ}00'$ 。

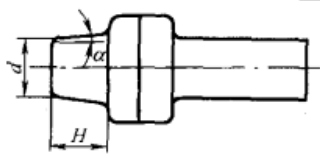
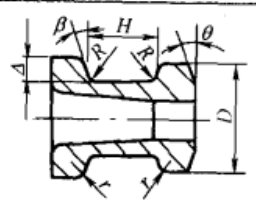
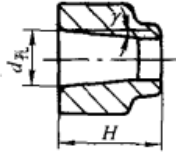
表 1-3-1 模锻锤、热模锻压力机、螺旋压力机锻件外模锻斜度  $\alpha$  数值

	$\frac{L}{B}$	$\leq 1.5$	$> 1.5$
	$\frac{H}{B}$	$\leq 1$	$5^{\circ}00'$
$> 1 \sim 3$		$7^{\circ}00'$	$5^{\circ}00'$
$> 3 \sim 4.5$		$10^{\circ}00'$	$7^{\circ}00'$
$> 4.5 \sim 6.5$		$12^{\circ}00'$	$10^{\circ}00'$
$> 6.5$		$15^{\circ}00'$	$12^{\circ}00'$

注: 1. 内模锻斜度  $\beta$  的确定, 可按表中数值加大  $2^{\circ}$  或  $3^{\circ}$  ( $15^{\circ}$  除外)。

2. 当模锻设备具有顶料机构时, 外模锻斜度可比表中数值减小  $2^{\circ}$  或  $3^{\circ}$ , 但一般不宜小于  $3^{\circ}$ ; 不使用顶料机构时, 则按上表确定。

表 1-3-2 平锻件各种模锻斜度数值

冲头内成形 模锻斜度 $\alpha$		$\frac{H}{d}$	$\leq 1$	$> 1 \sim 3$	$> 3 \sim 5$
		$\alpha$	$0^{\circ}15'$	$3^{\circ}00'$	$1^{\circ}00'$
凹模成形内 模锻斜度 $\beta$		$\Delta$	$\leq 10$	$> 10 \sim 20$	$> 20 \sim 30$
		$\beta$	$5^{\circ} \sim 7^{\circ}$	$7^{\circ} \sim 10^{\circ}$	$10^{\circ} \sim 12^{\circ}$
		$\theta$	$3^{\circ} \sim 5^{\circ}$	$3^{\circ} \sim 5^{\circ}$	$3^{\circ} \sim 5^{\circ}$
内孔模锻斜度 $\gamma$		$\frac{H}{d_n}$	$\leq 1$	$< 1 \sim 3$	$> 3 \sim 5$
		$\gamma$	$0^{\circ}30'$	$0^{\circ}30' \sim 1^{\circ}$	$1^{\circ}30'$

### 圆角半径 (摘自 GB/T 12361—2003、JB/T 9177—1999)

圆角半径系列: 锻件外圆角半径  $r$ 、内圆角半径  $R$  按下列圆角半径数值选用: (1.0), (1.5), 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 16.0, 20.0, 25.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0, 80.0, 100.0。当圆角半径值超过 100mm 时, 按 GB/T 321。括号内数值尽量少用。

截面形状变化部位外圆角半径值 (a) 和内圆角半径值 (b) (摘自 GB/T 12361—2003)

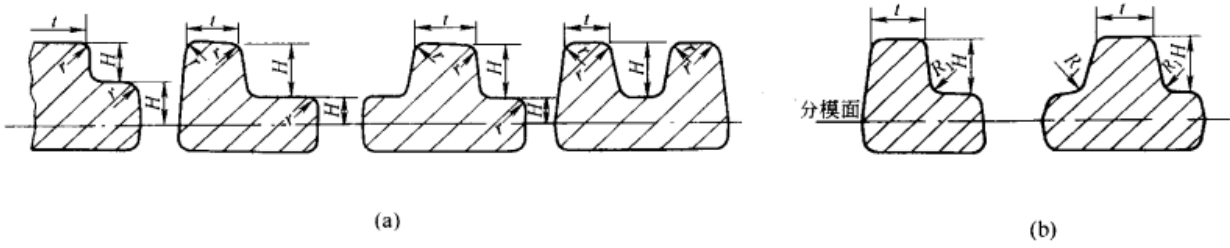


表 1-3-3

mm

(a)	$\frac{l}{H}$	阶 梯 高 度 $H$						
		$\leq 10$	$> 10 \sim 16$	$> 16 \sim 25$	$> 25 \sim 40$	$> 40 \sim 63$	$> 63 \sim 100$	$> 100 \sim 160$
	$> 0.5 \sim 1$	2.5	2.5	3	4	5	8	12
	$> 1$	2	2	2.5	3	4	6	10
(b)	$\frac{l}{H}$	阶 梯 高 度 $H$						
		$\leq 10$	$> 10 \sim 16$	$> 16 \sim 25$	$> 25 \sim 40$	$> 40 \sim 63$	$> 63 \sim 100$	$> 100 \sim 160$
	$> 0.5 \sim 1$	4	5	6	8	10	16	25
	$> 1$	3	4	5	6	8	12	20

收缩截面、多台阶截面、齿轮轮辐、曲轴的凹槽圆角半径 (摘自 JB/T 9177—1999)

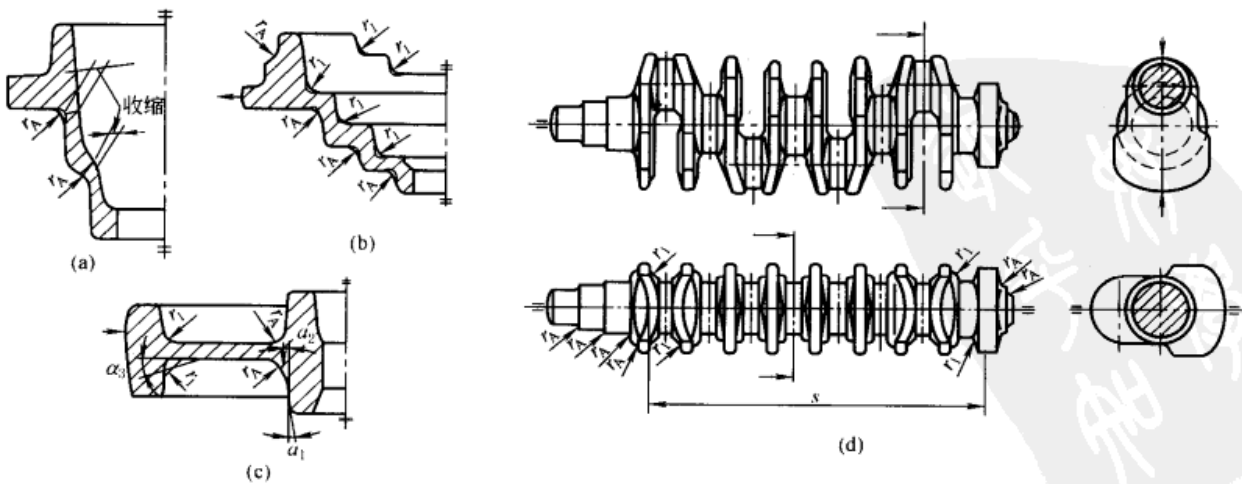


表 1-3-4

mm

所在的凸肩高度		锻件的最大直径或高度							
大于	至	≤25	>25 ~40	>40 ~63	>63 ~100	>100 ~160	>160 ~250	>250 ~400	>400 ~630
内凹槽圆角 $r_A$	16	3(1.5)	4(2)	5(2)	6(3)	8(4)	10(5)	12(6)	14(8)
	16	40	4(2)	5(2)	6(3)	8(4)	10(5)	12(6)	14(8)
	40	63	—	6(3)	8(4)	10(5)	12(6)	14(8)	16(10)
	63	100	—	—	12(6)	14(8)	16(10)	18(12)	20(14)
	100	160	—	—	—	18(10)	20(12)	22(14)	25(16)
	160	250	—	—	—	—	25(14)	28(16)	32(18)
外凹槽圆角 $r_1$	16	4(2)	5(2)	6(3)	8(3)	10(4)	12(5)	14(6)	16(8)
	16	40	6(3)	8(3)	10(4)	12(5)	14(6)	16(8)	18(10)
	40	63	—	12(5)	14(6)	16(8)	18(10)	20(12)	22(14)
	63	100	—	—	18(10)	20(12)	22(14)	25(16)	28(18)
	100	160	—	—	—	25(16)	28(18)	32(20)	36(22)
	160	250	—	—	—	—	36(22)	40(25)	50(28)

注：1. 括号内的数据因技术费用较高而尽可能不用。

2. 指向锻件中心的锻件内圆角半径称为内凹槽圆角  $r_A$ ；指向飞边的锻件内圆角半径，称为外凹槽圆角  $r_1$ 。

### 最小底厚 (摘自 JB/T 9177—1999)

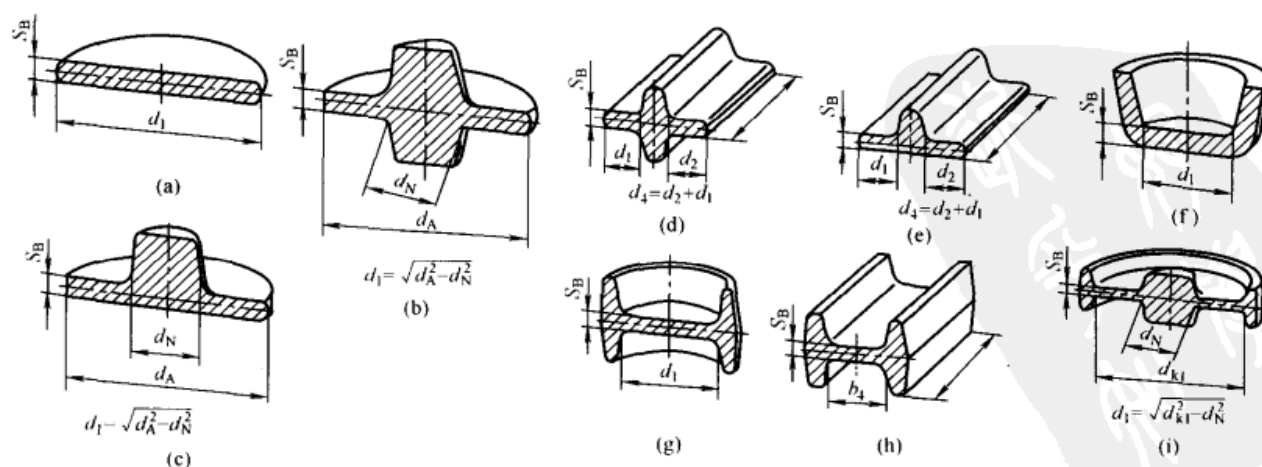


表 1-3-5

mm

旋转对称的			非旋转对称的										备注：括号内的数据因技术费用较高而尽可能不用
直径 $d_1$		底厚 $S_B$	宽度 $b_4$		长度 $l$								
大于	至		大于	至	$\leq 25$	$>25$ ~40	$>40$ ~63	$>63$ ~100	$>100$ ~160	$>160$ ~250	$>250$ ~400	$>400$ ~630	
	20	2(1.5)		16	2(1.5)	2.5(1.5)	2.5(1.5)	3(2)	3(2)	—	—	—	
20	50	4(2)	16	40	—	4(2)	4(2)	4(2)	5(2.5)	5(3)	7(4)	7(5)	
50	80	5(3)	40	63	—	—	5(3)	5(3)	6(4)	7(5)	8(5)	10(7)	
80	125	7(5)	63	100	—	—	—	7(5)	8(5)	10(7)	10(7)	13(9)	
125	200	11(7)	100	160	—	—	—	—	11(7)	11(7)	13(9)	16(11)	
200	315	16(11)	160	250	—	—	—	—	—	16(11)	18(13)	22(16)	
315	500	22(16)	250	400	—	—	—	—	—	—	22(16)	25(18)	
500	800	32(22)	400	630	—	—	—	—	—	—	—	32(22)	

最小壁厚、筋宽及筋端圆角半径 (摘自 JB/T 9177—1999)

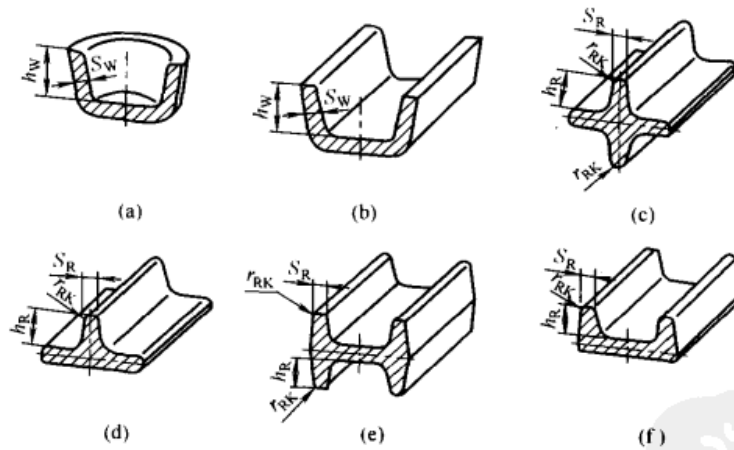


表 1-3-6

壁高或筋高 ( $h_w$ 或 $h_R$ )		壁厚 $S_w$	筋宽 $S_R$	筋端圆角半径 $r_{RK}$
大于	至			
	16	4(2)	4(2)	2(1)
16	40	8(4)	8(4)	4(2)
40	63	12(8)	12(8)	6(4)
63	100	20(12)	20(12)	10(6)
100	160	32(20)		

腹板最小厚度 (摘自 JB/T 9177—1999)

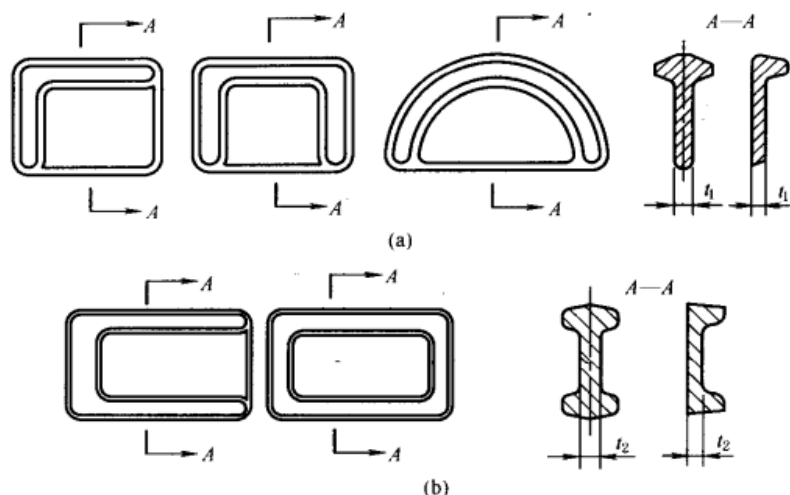


表 1-3-7

mm

锻件在分模面上的 投影面积/cm <sup>2</sup>	无限制腹板 $t_1$	有限制腹板 $t_2$	锻件在分模面上的 投影面积/cm <sup>2</sup>	无限制腹板 $t_1$	有限制腹板 $t_2$
≤25	3	4	>800 ~ 1000	12	14
>25 ~ 50	4	5	>1000 ~ 1250	14	16
>50 ~ 100	5	6	>1250 ~ 1600	16	18
>100 ~ 200	6	8	>1600 ~ 2000	18	20
>200 ~ 400	8	10	>2000 ~ 2500	20	22
>400 ~ 800	10	12			

注: 1.  $t_1$  和  $t_2$  允许根据设备、工艺条件协商变动。

2. 无限制腹板 (开式腹板): 金属在锻造过程中能较自由地流向飞边的腹板, 称为无限制腹板 (图 a)。

3. 有限制腹板 (闭式腹板): 被筋完全包围, 或虽未被完全包围, 但开口较小的腹板, 称为有限制腹板 (图 b)。

最小冲孔直径、盲孔和连皮厚度 (摘自 JB/T 9177—1999)

- 1) 锻件最小冲孔直径为  $\phi 20\text{mm}$  (图 1-3-1a)。
- 2) 单向盲孔深度: 当  $L=B$  时,  $\frac{H}{B} \leq 0.7$ ; 当  $L>B$  时,  $\frac{H}{B} \leq 1.0$  (图 1-3-1b)。
- 3) 双向盲孔深度: 分别按单向盲孔确定 (图 1-3-1c)。
- 4) 连皮厚度应不小于腹板的最小厚度  $t_2$ , 见表 1-3-6 和图 1-3-1d。

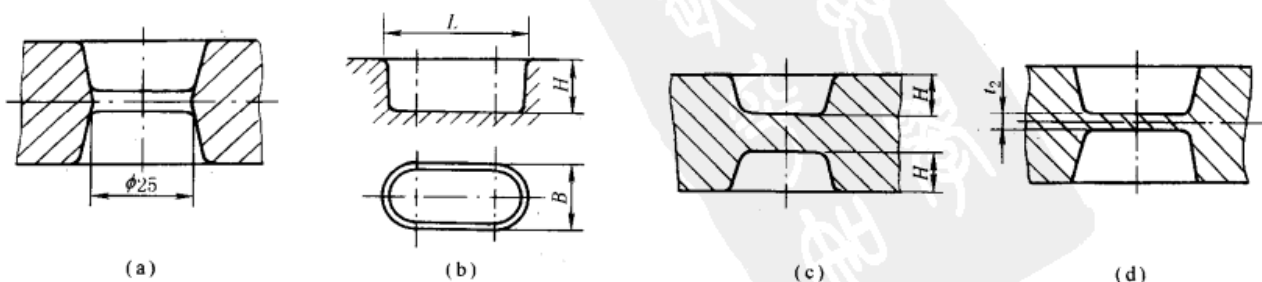


图 1-3-1 最小冲孔直径、盲孔和连皮厚度



扁钢辗成圆柱形端尺寸

表 1-3-8

mm

	$d$	$t$	$b$
	8	3~4	25~20
	10	4~5	30~25
	12	4~6	35~25
	16	6~8	45~25

注：若使用直径在 16mm 以上的圆杆，则它的横截面面积应不大于扁钢的横截面面积的 70%。

圆钢锤扁尺寸

表 1-3-9

mm

	I 型				II 型				
	$D$	$D_1$	$t$	$d$	$D^{①}$	$B$	$t$	$d$	$R$
				<				<	
	8	20	5	10	8	15	3	8	15
	10	25	6	13	10	20	4	10	15
	12	30	6	15	12	22	5	12	25
	16	35	10	18	14	26	6	13	25
	18	40	10	20	16	28	7	14	25

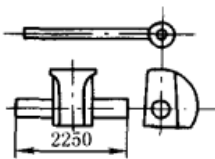
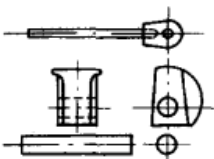
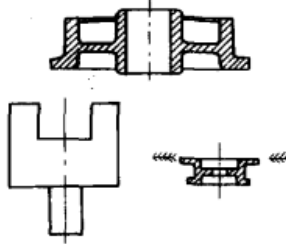
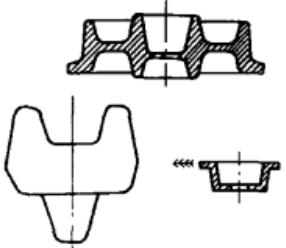
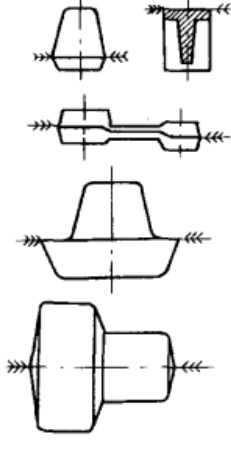
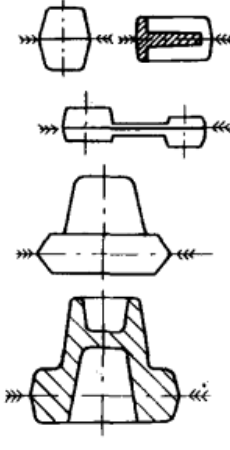
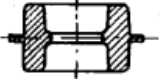
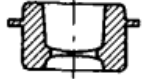

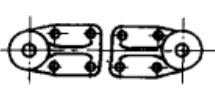
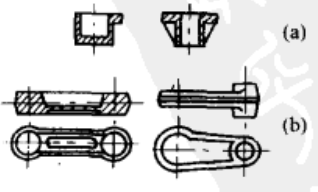
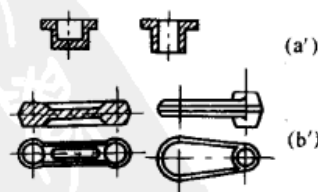


① 若有必要将直径大于 16mm 的棒料锤扁时，锤扁的横截面应大于棒料横截面的 10%。

1.3 锻件设计注意事项

表 1-3-10

类别	注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
自由锻	尽量简化锻件外形,应避免锥形和楔形表面		
	避免两个圆柱形表面或一个圆柱形表面与棱柱形表面交接		
	不允许有加固筋。在多数情况下,必须设置数量才能锻出加固筋		
	不允许在基体上或在叉形件内部有凸台		

续表

类别	注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
自由 锻 造	当零件具有骤变的横截面尺寸或复杂的形状或长柄时,必须设法改用几个较简单的部分组合或焊接而成		
	应有规定的拔模斜度,并避免下部横截		
冲 模 锻 造	<p>合理设计分模面</p> <p>尽量使分模面位于高度一半处左右,并与最小高度相垂直</p> <p>避免分模面曲折(飞边),便于检查上下模的相对错移</p> <p>节约金属材料便于模具加工</p>		
	较深盘状部分与分模面错开		
	两个形状对称的零件,应尽量设计成一种零件		
	力求采用简单的、尽可能回转对称的零件(如 a'图)或对称形状的零件(如 b'图),避免有突出部分,如 a 图		
	避免过薄的辐板或底板		

类别	注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
冲 模 锻 造	采用较大圆角(DIN 7523), 避免过窄筋片、内槽与过小冲孔		
	避免急剧的断面过渡以及向冲模内过深突出的断面形状		
	加工表面应凸起		

## 2 冲 压

### 2.1 冷冲压零件推荐用钢

冷冲压零件所用的材料, 不仅要适合零件在机器中的工作条件, 而且要适合冲压过程中材料变形特点及变形程度所决定的制造工艺要求。满足这种要求的材料应具有足够的强度及较高的可塑性, 前者决定于强度极限  $\sigma_b$ , 后者决定于伸长率  $\delta$  及拉伸时的收缩率  $\psi$ ; 可塑性也可由强度极限及屈服点确定。

各类冲压件对材料的要求: 在一般情况下, 不同结构类型的冲压件对材料力学性能的要求见下表。对于有复杂变形工序的冲压件, 则对材料有更多的要求, 如对加工硬化指数  $n$  值、塑性应变比  $\gamma$  值和凸耳参数  $\Delta\gamma$  值的要求等。

表 1-3-11 一般冲压件对材料的要求 (摘自 JB/T 4378.2—1999)

冲 压 件 类 别	最大抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta$ /%	硬度 HRB
冲裁件	650	1~5	84~96
以圆角半径 $r > 2t$ 作 $90^\circ$ 垂直于板料轧制方向的简单弯曲 ( $t$ 为材料厚度)	500	4~14	75~85
浅拉深和成形 以圆角半径 $r \geq 0.5t$ 作 $180^\circ$ 垂直于板料轧制方向的弯曲或作 $90^\circ$ 平行于轧制方向的弯曲	430	13~27	64~74
拉深成形 以圆角半径 $r < 0.5t$ 作任何方向的 $180^\circ$ 弯曲	380	24~36	52~64
深拉深成形	340	33~45	48~52

在选择深延伸用金属时, 可塑性更加重要, 推荐采用  $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} < 0.75$  的金属。根据不同的冲压方法, 冷冲压零件推荐用的材料可参见表 1-3-12。

表 1-3-12

材料牌号	冲压方法			材料牌号	冲压方法		
	剪裁、落料、冲孔	弯曲	压延(延伸)		剪裁、落料、冲孔	弯曲	压延(延伸)
Q195,08,10,15		+	+	40,45	+	+	
Q215,Q235,15,20,30	+	+	+	65Mn,70Mn	+	+	

## 2.2 冷冲压件的结构要素

冲裁件的结构要素 (摘自 JB/T 4378.1—1999)

表 1-3-13

圆角半径		凸出和凹入尺寸		孔边距和孔间距	
	用模具一次冲制完成时,一般圆角半径 $R$ 应大于或等于板厚 $t$ 的一半,即 $R \geq 0.5t$		对一般钢材: $B \geq 1.5t$ 对高碳钢、合金钢: $B$ 应增加 30% ~ 50% 对黄铜、铝: $B$ 应减少 20% ~ 25% $t$ 为板厚		孔边距 $A \geq 1.5t, A_{min} \geq 0.8mm$ 孔间距 $B \geq 1.5t, B_{min} \geq 0.8mm$ $t$ 为板厚
冲孔尺寸(优先选用圆形)	材料				
	钢 ( $\sigma_b > 690MPa$ )	$d \geq 1.5t$	$a \geq 1.35t$	$a \geq 1.2t$	$a \geq 1.1t$
	钢 ( $\sigma_b > 490 \sim 690MPa$ )	$d \geq 1.3t$	$a \geq 1.2t$	$a \geq 1.0t$	$a \geq 0.9t$
	钢 ( $\sigma_b \leq 490MPa$ )	$d \geq 1.0t$	$a \geq 0.9t$	$a \geq 0.8t$	$a \geq 0.7t$
	黄铜、铜	$d \geq 0.9t$	$a \geq 0.8t$	$a \geq 0.7t$	$a \geq 0.6t$
	铝、锌	$d \geq 0.8t$	$a \geq 0.7t$	$a \geq 0.6t$	$a \geq 0.5t$
	胶纸板、胶布板 纸板	$d \geq 0.7t$ $d \geq 0.6t$	$a \geq 0.6t$ $a \geq 0.5t$	$a \geq 0.5t$ $a \geq 0.4t$	$a \geq 0.4t$ $a \geq 0.3t$
端头圆弧尺寸	<p>正确的                      错误的</p>		用条料冲制端头带圆弧的工件,其圆弧半径 $R$ 应大于斜条宽度的一半,即 $R > \frac{B}{2}$		

弯曲件的结构要素 (摘自 JB/T 4378.1—1999)

弯曲半径: 标准建议取 0.1、0.2、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、4.0、5.0、6.0、8.0、10、12、15、20、25、30、35、40、45、50、63、80、100 (单位为 mm)。

表 1-3-14

最小弯曲半径 ( $t$  为工件厚度)

材料	退火或正火		冷作硬化		材料	退火或正火		冷作硬化	
	弯 曲 线 位 置					弯 曲 线 位 置			
	与轧纹垂直	与轧纹平行	与轧纹垂直	与轧纹平行		与轧纹垂直	与轧纹平行	与轧纹垂直	与轧纹平行
08,10 钢	$0.5t$	$1.0t$	$1.0t$	$1.5t$	软杜拉铝	$1.3t$	$2.0t$	$2.0t$	$3.0t$
20,30,45 钢	$0.8t$	$1.5t$	$1.5t$	$2.5t$	硬杜拉铝	$2.5t$	$3.5t$	$3.5t$	$5.0t$
60,65Mn,T <sub>7</sub>	$1.0t$	$2.0t$	$2.0t$	$3.0t$	黄铜、铝	$0.3t$	$0.45t$	$0.5t$	$1.0t$

注: 板料最小压弯半径见标准 JB/T 5109—2001。

表 1-3-15 弯曲件直边高度及孔边距离

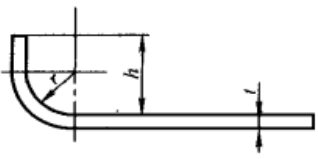
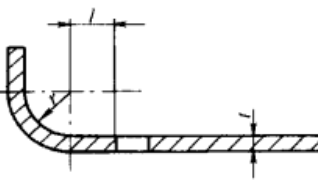
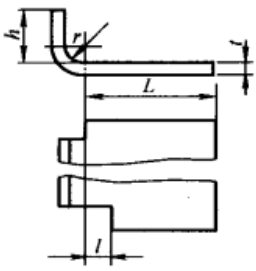
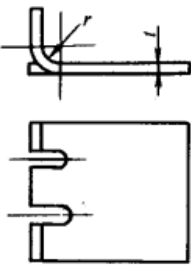
	最小直边弯曲高度 $h$ 应大于弯曲半径 $r$ 加上板厚 $t$ 的 2 倍即 $h > r + 2t$
	孔边离弯曲半径 $r$ 中心的距离 $l$ 应大于或等于板厚 $t$ 的 2 倍即 $l \geq 2t$

表 1-3-16 弯曲线的位置

	
弯曲件的弯曲线不应在尺寸突变的位置, 离突变处的距离 $l$ 应大于弯曲半径 $r$ , 即 $l > r$ ; 或切槽或冲工艺孔, 将变形区与不变形区分开	

拉深件和翻孔件的结构要素

表 1-3-17 拉深件圆角半径 (摘自 JB/T 4378.1—1999)

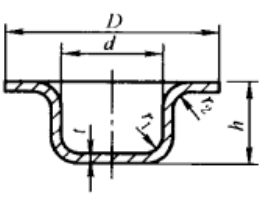
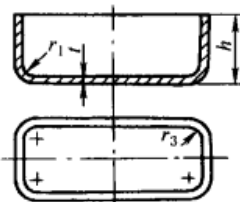
	底部圆角半径 $r_1 \approx (3 \sim 5)t$ $r_{1 \min} \geq t$	凸缘宽度 $D \leq 3d$ $h \leq 2d$ (摘自 JB/T 6959—1993)		矩形拉深件的壁部圆角半径 $r_3 \geq 6.3t$ $r_{3 \min} \geq 3t$ 便于一次拉深成形, 要求 $r_3 > 0.15h$
	凸缘圆角半径 $r_2 \approx (5 \sim 8)t$ $r_{2 \min} \geq 2t$			

表 1-3-18 圆形无凸缘拉深件

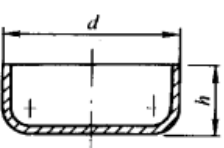
	圆形无凸缘拉深件一次成形时, 高度 $h$ 和直径 $d$ 之比应小于或等于 0.4, 即 $\frac{h}{d} \leq 0.4$ 端部允许形成凸耳
---	--

表 1-3-19 翻孔件结构要素 (摘自 JB/T 4378.1—1999)

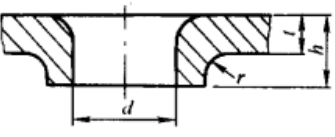
	螺纹预翻孔的高度 $h = (2 \sim 2.5)t$ 螺纹预翻孔的外径 $d_1 = d + 1.3t$
--	---

表 1-3-20 圆形拉深件的孔径和孔距及毛坯直径  $D$  的计算 (摘自 JB/T 6959—1993)

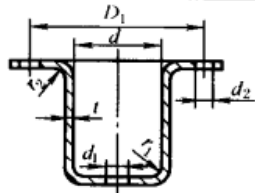
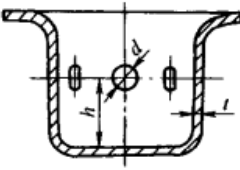
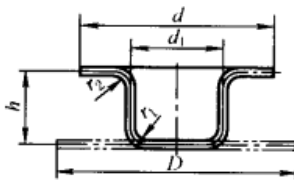
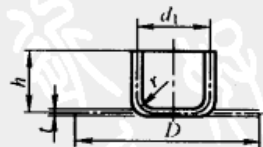
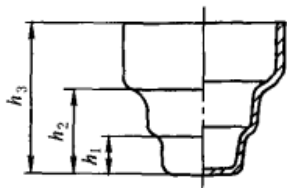
	底部孔径 $d_1$ $d_1 \leq d - 2r_1 - t$ 孔距 $D_1$ $D_1 \geq d + 3t + 2r_2 + d_2$		壁上的冲孔中心与底部或凸缘边的距离 $h$ $h \geq 2d + t$
有凸缘圆筒拉深毛坯直径 $D$		无凸缘圆筒拉深毛坯直径 $D$	
			
$D = \sqrt{d^2 - 1.72d_1(r_1^2 + r_2^2) - 0.56(r_1 - r_2) + 4d_1h}$		$D = \sqrt{d_1^2 - 1.72d_1r - 0.56r^2 + 4d_1h}$	
式中 $D$ ——毛坯直径, mm $d$ ——凸缘直径, mm $d_1$ ——拉深直径, mm $r_1, r_2$ ——圆角半径, mm $h$ ——拉深高度, mm		式中 $D$ ——毛坯直径, mm $d_1$ ——工件直径(按料厚中心计), mm $r$ ——工件圆角半径(按料厚中心计), mm $h$ ——工件高度(加上修边余量 $\delta$ ), mm	

表 1-3-21

拉深件的尺寸注法 (摘自 JB/T 6959—1993)



在拉深件图样上应注明必须保证的外部尺寸,或是内腔尺寸,不能同时标注内外形尺寸。有台阶的拉深件,其高度尺寸应以底部为基准标注

## 铁皮咬口类型、用途和余量

表 1-3-22

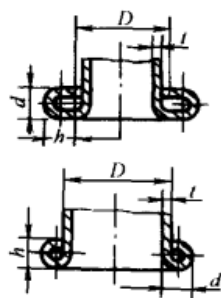
咬口类型		用途					
I型 光面咬口 普通咬口		圆柱形、圆锥形和长方形管子连接时,采用 I 型咬口,咬口需附着在平面上或需要有气密性时使用光面咬口,需要咬口具有强度时才使用普通咬口。连接长度不同时,尺寸 B 可根据长的零件选择,但两个零件的尺寸 B 应相同					
II型 折角咬口		折角咬口(II型)在制造折角联合肘管时使用					
III型 过渡咬口		过渡咬口(III型)在连接接管、肘管和从圆过渡到另一些截面肘时,用作各种过渡连接					
钢板强度/ $N \cdot m^{-2}$		30 ~ 40		45 ~ 60		65 ~ 80	90 ~ 100
零件极限 尺寸/mm	直径或方形边 D	< 200	> 200	< 600	> 600	> 600	在一切情况下
	长度 L	< 200	> 200	< 800	> 800	> 800	在一切情况下
接头长度 B/mm		5	7	7	10	10	14
咬口裕量 $3B$ /mm		15	21	21	30	30	42

## 卷边直径

表 1-3-23

mm

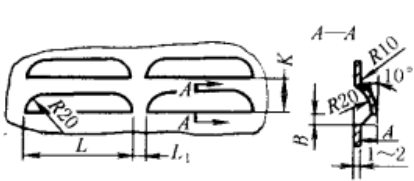
工作直径 D	材料厚度 t				
	0.3	0.5	0.8	1.0	2.0
$\leq 50$	2.5	3.0	—	—	—
> 50 ~ 100	3.0	4.0	5.0	—	—
> 100 ~ 200	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
> 200	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0


 $d > 1.4t$ 

d 为卷边直径

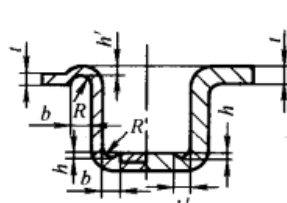
通风罩冲孔 (摘自 JB/ZQ 4262—1997)

表 1-3-24

		mm				
		A	B	K	L	L <sub>1</sub>
	通风罩冲孔可以单排或多排使用,每排孔数自行决定,但每排间距不得小于 L <sub>1</sub>	8	4	35	$\frac{100}{150}$	20
		10	8	40	$\frac{200}{250}$	25

零件弯角处必须容纳另一个直角零件的做法

表 1-3-25

	当 $t > 2\text{mm}$ 时 $h' = (0.1 \sim 0.3)t$ $b' = 2 \sim 5\text{mm}$	当 $t < 2\text{mm}$ 时 $R \geq t$ (但必须 $R \geq 1\text{mm}$ ) $b \geq 2t$ (但必须 $b > 2R$ ) $h \geq t$ (但必须 $h \geq 1\text{mm}$ )
--	--	---

最小可冲孔眼的尺寸 (为板厚的倍数)

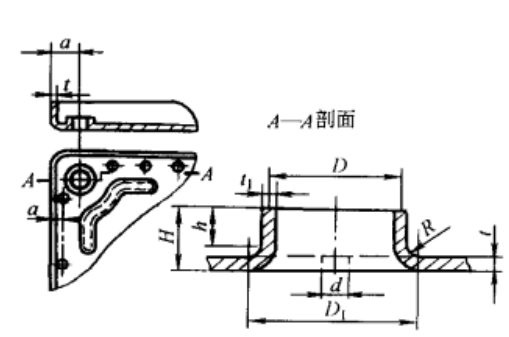
表 1-3-26

材 料	圆 孔	方 孔	长方孔	长圆孔
	直 径	边 长	短 边	边 长
钢 ( $\sigma_b > 700\text{MPa}$ )	1.5	1.3	1.2	1.1
钢 ( $500\text{MPa} < \sigma_b \leq 700\text{MPa}$ )	1.3	1.2	1	0.9
钢 ( $\sigma_b \leq 500\text{MPa}$ )	1	0.9	0.8	0.7
黄铜、铜	0.9	0.8	0.7	0.6
铝、锌	0.8	0.7	0.6	0.5
胶木、胶布板	0.7	0.6	0.5	0.4
纸板	0.6	0.5	0.4	0.3

注: 当板厚  $\leq 4\text{mm}$  时, 可以冲出垂直孔; 当板厚  $> 4 \sim 5\text{mm}$  时, 孔的每边必须做出  $6^\circ \sim 10^\circ$  的斜度。

翻孔尺寸及其距离边缘的最小距离

表 1-3-27

	翻孔的圆角半径	$t \leq 2$ 时, $R = (4 \sim 5)t$ ; $t > 2$ 时, $R = (2 \sim 3)t$		
	翻孔边缘的最小厚度	$t_1 = t\sqrt{K}$		
	翻边高度	$H = \frac{D-d}{2} + 0.43R + 0.72t$		
	翻边前孔的直径	$d = D_1 - \left[ \pi \left( R + \frac{t}{2} \right) + 2h \right]$		
	翻孔的适宜板厚	$t = 0.25 \sim 0.30$	翻孔离边缘的距离	$a$ 一般不宜小于 $(7 \sim 8)t$
	凸缘的最大允许直径	(根据中线) $D = d/K$		

K——翻边时材料(退火的)变薄的最大允许范围系数: 白铁皮为 0.7; 黄铜 H62 ( $t = 0.5 \sim 5$ ) 为 0.68; 酸洗钢板为 0.72; 软铝为 0.76; 硬铝为 0.89

加固筋的形状、尺寸及间距

表 1-3-28

半圆形筋		尺寸	$h$	$B$	$r$	$R_1$	$R_2$
		最小允许	$2t$	$7t$	$t$	$3t$	$5t$
		一般	$3t$	$10t$	$2t$	$4t$	$6t$
梯形筋		尺寸	$h$	$B$	$r$	$r_1$	$R_2$
		最小允许	$2t$	$20t$	$t$	$4t$	$24t$
		一般	$3t$	$30t$	$2t$	$5t$	$32t$
加固筋之间及加固筋与边缘之间的适宜距离 			$l \geq 3B$		$K \geq (3 \sim 5)t$		

弯曲件尾部弯出长度

表 1-3-29

	$H_1 > 2t$ (弯出零件圆角中心以上的长度) $H < 2t$ $b > t, a > t$ $C = 3 \sim 6\text{mm}$ $h = (0.1 \sim 0.3)t$ 且不小于 3mm
--	---

冲出凸部的高度

表 1-3-30

	$h = (0.25 \sim 0.35)t$ 超出这个范围, 凸部容易脱落
--	---

箱形零件的圆角半径、法兰边宽度和工件高度

表 1-3-31

	材料	圆角半径	材料厚度 $t$			$H/R_0$	材料	当 $R_0 > 0.14B, R_1 \geq 1$	
			$\leq 0.5$	$> 0.5 \sim 3$	$> 3 \sim 5$		酸洗钢	4.0 ~ 4.5	
	软钢	$R_1$	$(5 \sim 7)t$	$(3 \sim 4)t$	$(2 \sim 3)t$		冷拉钢、铝、黄铜、铜	5.5 ~ 6.5	当 $H/R_0$ 需大于左列数值时, 则应采用多次拉伸工序
		$R_2$	$(5 \sim 10)t$	$(4 \sim 6)t$	$(2 \sim 4)t$				
黄铜	$R_1$	$(3 \sim 5)t$	$(2 \sim 3)t$	$(1.5 \sim 2.0)t$	$B$	$\leq R_2 + (3 \sim 5)t$			
	$R_2$	$(5 \sim 7)t$	$(3 \sim 5)t$	$(2 \sim 4)t$	$R_3$	$\geq R_0 + B$			

冲裁件最小许可宽度与材料的关系

表 1-3-32

	材料	最小值		
		$B_1$	$B_2$	$B_3$
	中等硬度的钢	$1.25t$	$0.8t$	$1.5t$
高碳钢、合金钢	$1.65t$	$1.1t$	$2t$	
有色合金	$t$	$0.6t$	$1.2t$	

箍压时直径缩小的合理比例

表 1-3-33

	$D/t \leq 10$ 时, $d \geq 0.7D$ $D/t > 10$ 时, $d = (1 - K)D$ 钢制件: $K = 0.1 \sim 0.15$ 铝制件: $K = 0.15 \sim 0.2$ 箍压部分壁厚将增加到 $t_1 = t \sqrt{\frac{D}{d}}$
--	---



## 2.3 冲压件的尺寸和角度公差、形状和位置未注公差（摘自 GB/T 13914、13915、13916—2002）、未注公差尺寸的极限偏差（摘自 GB/T 15055—1994）

四个标准均适用于金属材料冲压件，非金属材料冲压件可参照执行。

### 平冲压件和成形冲压件尺寸公差

表 1-3-34

mm

项目	平冲压件尺寸公差(摘自 GB/T 13914—2002)											成形冲压件尺寸公差(摘自 GB/T 13914—2002)										
	材料 厚度	公差等级										公差等级										
		ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	ST10	ST11	FT1	FT2	FT3	FT4	FT5	FT6	FT7	FT8	FT9	FT10
>0~1	0.5	0.008	0.010	0.015	0.020	0.03	0.04	0.06	0.08	0.12	0.16	—	0.010	0.016	0.026	0.04	0.06	0.10	0.16	0.26	0.40	0.60
	>0.5 ~1	0.010	0.015	0.020	0.03	0.04	0.06	0.08	0.12	0.16	0.24	—	0.014	0.022	0.034	0.05	0.09	0.14	0.22	0.34	0.50	0.90
	>1 ~1.5	0.015	0.020	0.03	0.04	0.06	0.08	0.12	0.16	0.24	0.34	—	0.020	0.030	0.05	0.08	0.12	0.20	0.32	0.50	0.90	1.40
>1~3	0.5	0.012	0.018	0.026	0.036	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.016	0.026	0.040	0.07	0.11	0.18	0.28	0.44	0.70	1.00
	>0.5 ~1	0.018	0.026	0.036	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.022	0.036	0.06	0.09	0.14	0.24	0.38	0.60	0.90	1.40
	>1 ~3	0.026	0.036	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	0.032	0.05	0.08	0.12	0.20	0.34	0.54	0.86	1.20	2.00
	>3 ~4	0.034	0.05	0.07	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	0.98	0.04	0.07	0.11	0.18	0.28	0.44	0.70	1.10	1.80	2.80
>3~10	0.5	0.018	0.026	0.036	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.022	0.036	0.06	0.09	0.14	0.24	0.38	0.60	0.96	1.40
	>0.5 ~1	0.026	0.036	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	0.032	0.05	0.08	0.12	0.20	0.34	0.54	0.86	1.40	2.20
	>1 ~3	0.036	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.10	0.05	0.07	0.11	0.18	0.30	0.48	0.76	1.20	2.00	3.20
	>3 ~6	0.046	0.06	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.48	0.68	0.98	1.40	0.06	0.09	0.14	0.24	0.38	0.60	1.00	1.60	2.60	4.00
	>6	0.06	0.08	0.11	0.16	0.22	0.30	0.42	0.60	0.84	1.20	1.60	0.07	0.11	0.18	0.28	0.44	0.70	1.10	1.80	2.80	4.40
>10~25	0.5	0.026	0.036	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	0.030	0.05	0.08	0.12	0.20	0.32	0.50	0.80	1.20	2.00
	>0.5 ~1	0.036	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.10	0.04	0.07	0.11	0.18	0.28	0.46	0.72	1.10	1.80	2.80
	>1 ~3	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.10	1.50	0.06	0.10	0.16	0.26	0.40	0.64	1.00	1.60	2.60	4.00
	>3 ~6	0.06	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	1.00	1.40	2.00	0.08	0.12	0.20	0.32	0.50	0.80	1.20	2.00	3.20	5.00
	>6	0.08	0.12	0.16	0.22	0.32	0.44	0.60	0.88	1.20	1.60	2.40	0.10	0.14	0.24	0.40	0.62	1.00	1.60	2.60	4.00	6.40
>25~63	0.5	0.036	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.10	0.04	0.06	0.10	0.16	0.26	0.40	0.64	1.00	1.60	2.60
	>0.5 ~1	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.10	1.50	0.06	0.09	0.14	0.22	0.36	0.58	0.90	1.40	2.20	3.60
	>1 ~3	0.07	0.10	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.10	1.50	2.10	0.08	0.12	0.20	0.32	0.50	0.80	1.20	2.00	3.20	5.00
	>3 ~6	0.09	0.12	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	0.98	1.40	2.00	2.80	0.10	0.16	0.26	0.40	0.66	1.00	1.60	2.60	4.00	6.40
	>6	0.11	0.16	0.22	0.30	0.44	0.60	0.86	1.20	1.60	2.20	3.00	0.11	0.18	0.28	0.46	0.76	1.20	2.00	3.20	5.00	8.00

续表

基本尺寸	材料厚度	平冲压件尺寸公差(摘自 GB/T 13914—2002)											成形冲压件尺寸公差(摘自 GB/T 13914—2002)									
		公差等级											公差等级									
		ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	ST10	ST11	FT1	FT2	FT3	FT4	FT5	FT6	FT7	FT8	FT9	FT10
>63~160	0.5	0.04	0.06	0.09	0.12	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	0.98	1.40	0.05	0.08	0.14	0.22	0.36	0.56	0.90	1.40	2.20	3.60
	>0.5 ~1	0.06	0.09	0.12	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	0.98	1.40	2.00	0.07	0.12	0.19	0.30	0.48	0.78	1.20	2.00	3.20	5.00
	>1 ~3	0.09	0.12	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	0.98	1.40	2.00	2.80	0.10	0.16	0.26	0.42	0.68	1.10	1.80	2.80	4.40	7.00
	>3 ~6	0.12	0.16	0.24	0.32	0.46	0.64	0.90	1.30	1.80	2.60	3.60	0.14	0.22	0.34	0.54	0.88	1.40	2.20	3.40	5.60	9.00
	>6	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.10	1.50	2.10	2.90	4.20	0.15	0.24	0.38	0.62	1.00	1.60	2.60	4.00	6.60	10.00
>160~400	0.5	0.06	0.09	0.12	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	0.98	1.40	2.00	—	0.10	0.16	0.26	0.42	0.70	1.10	1.80	2.80	4.40
	>0.5 ~1	0.09	0.12	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	1.00	1.40	2.00	2.80	—	0.14	0.24	0.38	0.62	1.00	1.60	2.60	4.00	6.40
	>1 ~3	0.12	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	1.00	1.40	2.00	2.80	4.00	—	0.22	0.34	0.54	0.88	1.40	2.20	3.40	5.60	9.00
	>3 ~6	0.16	0.24	0.32	0.46	0.64	0.90	1.30	1.80	2.60	3.60	4.80	—	0.28	0.44	0.70	1.10	1.80	2.80	4.40	7.00	11.00
	>6	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.10	1.50	2.10	2.90	4.20	5.80	—	0.34	0.54	0.88	1.40	2.20	3.40	5.60	9.00	14.00
>400~1000	0.5	0.09	0.12	0.18	0.24	0.34	0.48	0.66	0.94	1.30	1.80	2.60	—	—	0.24	0.38	0.62	1.00	1.60	2.60	4.00	6.60
	>0.5 ~1	—	0.18	0.24	0.34	0.48	0.66	0.94	1.30	1.80	2.60	3.60	—	—	0.34	0.54	0.88	1.40	2.20	3.40	5.60	9.00
	>1 ~3	—	0.24	0.34	0.48	0.66	0.94	1.30	1.80	2.60	3.60	5.00	—	—	0.44	0.70	1.10	1.80	2.80	4.40	7.00	11.00
	>3 ~6	—	0.32	0.45	0.62	0.88	1.20	1.60	2.40	3.40	4.60	6.60	—	—	0.56	0.90	1.40	2.20	3.40	5.60	9.00	14.00
	>6	—	0.34	0.48	0.70	1.00	1.40	2.00	2.80	4.00	5.60	7.80	—	—	0.62	1.00	1.60	2.60	4.00	6.40	10.00	16.00
>1000~6300	0.5	—	—	0.26	0.36	0.50	0.70	0.98	1.40	2.00	2.80	4.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	>0.5 ~1	—	—	0.36	0.50	0.70	1.00	1.40	2.00	2.80	4.00	5.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	>1 ~3	—	—	0.50	0.70	1.00	1.40	2.00	2.80	4.00	5.60	7.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	>3 ~6	—	—	—	0.90	1.20	1.60	2.20	3.20	4.40	6.20	8.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	>6	—	—	—	1.00	1.40	2.00	2.60	3.60	5.20	7.20	10.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注: 1. 平冲压件是经平面冲裁工序加工而成的冲压件。

成形冲压件是经弯曲、拉深及其他成形方法加工而成的冲压件。

2. 平冲压件尺寸公差适用于平冲压件,也适用于成形冲压件上经冲裁工序加工而成的尺寸。

3. 平冲压件、成形冲压件的极限偏差按下述规定选取。

① 孔(内形)尺寸公差: 取表中给出的公差数值,冠以“+”作为上偏差,下偏差为0。

② 轴(外形)尺寸公差: 取表中给出的公差数值,冠以“-”号作为下偏差,上偏差为0。

③ 孔中心距、孔间距、孔与孔、孔与轴、拉深与其他成形方法而成的长度、高度及未注公差尺寸的极限偏差,取表中给出的公差值的一半,冠以“±”号分别作为上、下偏差。

表 1-3-35

未注公差（冲裁、成形）尺寸的极限偏差

mm

项 目		未注公差冲裁尺寸的极限偏差				未注公差成形尺寸的极限偏差			
基本尺寸	材料厚度	公差等级				公差等级			
		f	m	c	v	f	m	c	v
>0.5~3	1	±0.05	±0.10	±0.15	±0.20	±0.15	±0.20	±0.35	±0.50
	>1~3	±0.15	±0.20	±0.30	±0.40	±0.30	±0.45	±0.60	±1.00
>3~6	1	±0.10	±0.15	±0.20	±0.30	±0.20	±0.30	±0.50	±0.70
	>1~4	±0.20	±0.30	±0.40	±0.55	±0.40	±0.60	±1.00	±1.60
	>4	±0.30	±0.40	±0.60	±0.80	±0.55	±0.90	±1.40	±2.20
>6~30	1	±0.15	±0.20	±0.30	±0.40	±0.25	±0.40	±0.60	±1.00
	>1~4	±0.30	±0.40	±0.55	±0.75	±0.50	±0.80	±1.30	±2.00
	>4	±0.45	±0.60	±0.80	±1.20	±0.80	±1.30	±2.00	±3.20
>30~120	1	±0.20	±0.30	±0.40	±0.55	±0.30	±0.50	±0.80	±1.30
	>1~4	±0.40	±0.55	±0.75	±1.05	±0.60	±1.00	±1.60	±2.50
	>4	±0.60	±0.80	±1.10	±1.50	±1.00	±1.60	±2.50	±4.00
>120~400	1	±0.25	±0.35	±0.50	±0.70	±0.45	±0.70	±1.10	±1.80
	>1~4	±0.50	±0.70	±1.00	±1.40	±0.90	±1.40	±2.20	±3.50
	>4	±0.75	±1.05	±1.45	±2.10	±1.30	±2.00	±3.30	±5.00
>400~1000	1	±0.35	±0.50	±0.70	±1.00	±0.55	±0.90	±1.40	±2.20
	>1~4	±0.70	±1.00	±1.40	±2.00	±1.10	±1.70	±2.80	±4.50
	>4	±1.05	±1.45	±2.10	±2.90	±1.70	±2.80	±4.50	±7.00
>1000~2000	1	±0.45	±0.65	±0.90	±1.30	±0.80	±1.30	±2.00	±3.30
	>1~4	±0.90	±1.30	±1.80	±2.50	±1.40	±2.20	±3.50	±5.50
	>4	±1.40	±2.00	±2.80	±3.90	±2.00	±3.20	±5.00	±8.00
>2000~4000	1	±0.70	±1.00	±1.40	±2.00	注：对于0.5mm及0.5mm以下的尺寸应标公差。			
	>1~4	±1.40	±2.00	±2.80	±3.90				
	>4	±1.80	±2.60	±3.60	±5.00				

表 1-3-36

未注公差（冲裁、成形）圆角半径的极限偏差（摘自 GB/T 15055—1994）

mm

基本尺寸	材料厚度	冲裁圆角半径的极限偏差				成形圆角半径	
		公差等级				基本尺寸	极限偏差
		f	m	c	v		
>0.5~3	≤1	±0.15		±0.20		≤3	+1.00 -0.30
	>1~4	±0.30		±0.40			
>3~6	≤4	±0.40		±0.60		>3~6	+1.50 -0.50
	>4	±0.60		±1.00			
>6~30	≤4	±0.60		±0.80		>6~10	+2.50 -0.80
	>4	±1.00		±1.40			



表 1-3-38

角度公差 (摘自 GB/T 13915—2002)

冲压件	公差等级	短边尺寸/mm						
		≤10	>10~25	>25~63	>63~160	>160~400	>400~1000	>1000~2500
冲裁 角度 公差	AT1	0°40′	0°30′	0°20′	0°12′	0°6′	0°4′	—
	AT2	1°	0°40′	0°30′	0°20′	0°12′	0°6′	0°4′
	AT3	1°20′	1°	0°40′	0°30′	0°20′	0°12′	0°6′
	AT4	2°	1°20′	1°	0°40′	0°30′	0°20′	0°12′
	AT5	3°	2°	1°20′	1°	0°40′	0°30′	0°20′
	AT6	4°	3°	2°	1°20′	1°	0°40′	0°30′
冲压件	公差等级	短边尺寸/mm						
		≤10	>10~25	>25~63	>63~160	>160~400	>400~1000	>1000
弯曲 角度 公差	BT1	1°	0°40′	0°30′	0°16′	0°12′	0°10′	0°8′
	BT2	1°30′	1°	0°40′	0°20′	0°16′	0°12′	0°10′
	BT3	2°30′	2°	1°30′	1°15′	1°	0°45′	0°30′
	BT4	4°	3°	2°	1°30′	1°15′	1°	0°45′
	BT5	6°	4°	3°	2°30′	2°	1°30′	1°

注: 1. 冲压件冲裁角度: 在平冲压件或成形冲压件的平面部分, 经冲裁工序加工而成的角度。

2. 冲压件弯曲角度: 经弯曲工序加工而成的冲压件的角度。

3. 冲压件冲裁角度与弯曲角度的极限偏差按下述规定选取。

① 依据使用的需要选用单向偏差。

② 未注公差的角度极限偏差, 取表中给出的公差值的一半, 冠以“±”号分别作为上、下偏差。

表 1-3-39

未注公差 (冲裁、弯曲) 角度的极限偏差 (摘自 GB/T 15055—1994)

mm

冲裁	公差等级	短边长度						
		≤10	>10~25	>25~63	>63~160	>160~400	>400~1000	>1000~2500
f		±1°00′	±0°40′	±0°30′	±0°20′	±0°15′	±0°10′	±0°06′
m		±1°30′	±1°00′	±0°45′	±0°30′	±0°20′	±0°15′	±0°10′
c		±2°00′	±1°30′	±1°00′	±0°45′	±0°30′	±0°20′	±0°15′
v								
弯曲	公差等级	短边长度						
		≤10	>10~25	>25~63	>63~160	>160		
f		±1°15′	±1°00′	±0°45′	±0°30′	±0°15′		
m		±2°00′	±1°30′	±1°00′	±0°45′	±0°30′		
c		±3°00′	±2°00′	±1°30′	±1°15′	±1°00′		
v								

表 1-3-40

角度公差等级选用 (摘自 GB/T 13915—2002)

冲压件冲裁角度	材料厚度/mm	公差等级					
		AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6
≤3							
>3							

冲压件弯曲角度	材料厚度/mm	公差等级				
		BT1	BT2	BT3	BT4	BT5
≤3						
>3						

冲压件形状和位置未注公差 (摘自 GB/T 13916—2002)

本标准适用于金属材料冲压件, 非金属材料冲压件可参照执行。

## 直线度、平面度未注公差

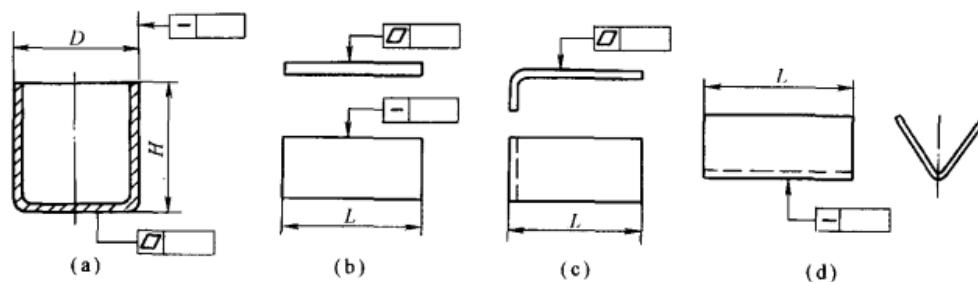


表 1-3-41

mm

公差等级	主参数(L, H, D)						
	≤10	>10 ~ 25	>25 ~ 63	>63 ~ 160	>160 ~ 400	>400 ~ 1000	>1000
1	0.06	0.10	0.15	0.25	0.40	0.60	0.90
2	0.12	0.20	0.30	0.50	0.80	1.20	1.80
3	0.25	0.40	0.60	1.00	1.60	2.50	4.00
4	0.50	0.80	1.20	2.00	3.20	5.00	8.00
5	1.00	1.60	2.50	4.00	6.50	10.00	16.00

## 同轴度、对称度未注公差

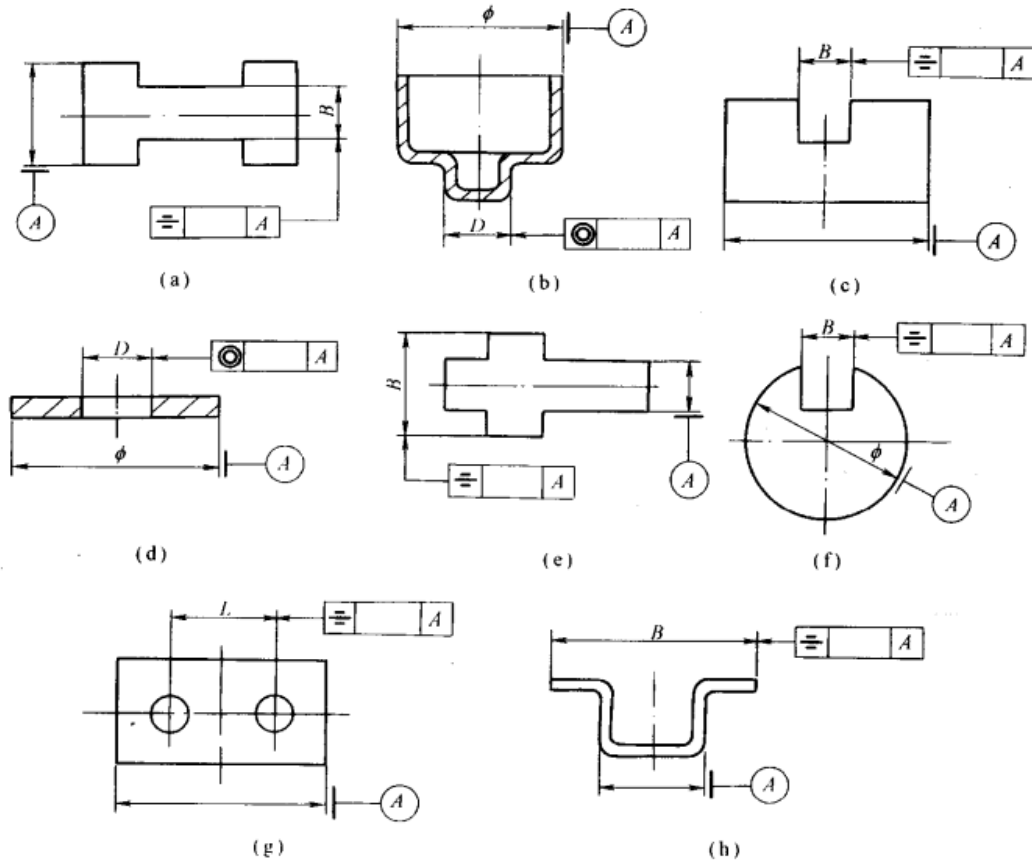


表 1-3-42

mm

公差等级	主参数( $B$ 、 $D$ 、 $L$ )							
	$\leq 3$	$> 3 \sim 10$	$> 10 \sim 25$	$> 25 \sim 63$	$> 63 \sim 160$	$> 160 \sim 400$	$> 400 \sim 1000$	$> 1000$
1	0.12	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
2	0.25	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.60	2.00
3	0.50	0.80	1.20	1.60	2.00	2.50	3.20	4.00
4	1.00	1.60	2.50	3.20	4.00	5.00	6.50	8.00

## 圆度、圆柱度、平行度、垂直度、倾斜度未注公差

圆度未注公差值应不大于相应尺寸公差值。

圆柱度未注公差由其圆度、素线的直线度未注公差值和要素的尺寸公差分别控制。

平行度未注公差由平行要素的平面度或直线度的未注公差值和平行要素间的尺寸公差分别控制。

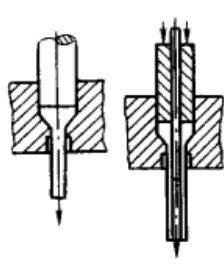
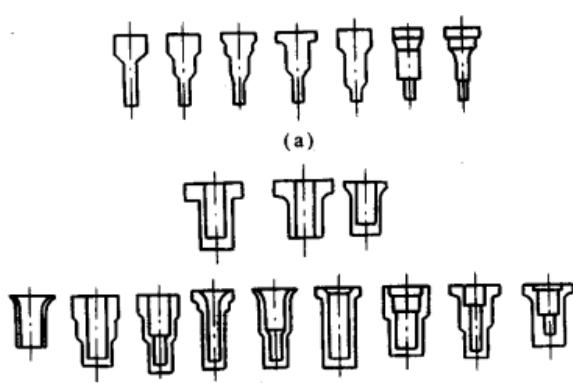
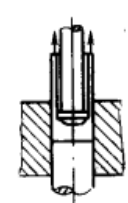
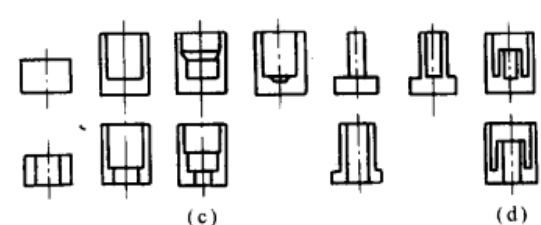
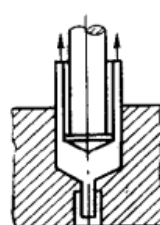
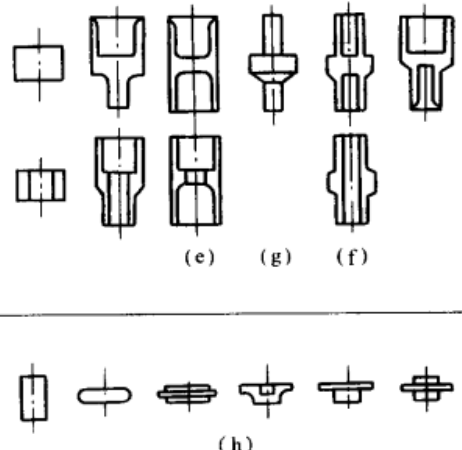
垂直度、倾斜度未注公差由角度公差和直线度公差值分别控制。

## 2.4 冷挤压件结构要素

挤压是坯料在封闭模腔内受三向不均匀压应力作用，从模具的孔口或缝隙挤出，使其横截面积减小，成为所需制品的加工方法。在室温下进行的挤压加工，简称冷挤。

## 冷挤压件的分类

表 1-3-43

类别	名称与特点	工艺简图	制品举例
按形状分	(1) 旋转对称形 (2) 简单的轴对称和非对称 (3) 具有沟纹、齿形等形状的型材	 <p>(a) (b)</p> <p>实心(a)、空心(b)件正挤压</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p>
按工艺分	(1) 正挤压: 坯料从模孔中流出部分的运动方向与凸模运动方向相同的挤压 (2) 反挤压: 二者运动方向相反的挤压。又分杯形件反挤压(c图)与杯-杆件反挤压(d图)	 <p>杯形件反挤压(c)</p>	 <p>(c) (d)</p>
	(3) 复合挤压: 同时兼有正、反挤时金属流动特征的挤压, 又分杯-杯件(e图)、杯-杆件(f图)、杆-杆件复合挤压(g图) (4) 墩挤: 墩粗、挤压复合组成(h图)	 <p>杯-杆件复合挤压(f)</p>	 <p>(e) (g) (f)</p> <p>(h)</p>

## 确定结构要素的一般原则

- 1) 冷挤压件结构必须利用冷挤压工艺的变形特性, 尽量达到少或无切削加工。
- 2) 冷挤压件结构要考虑冷挤压工艺变形特性所产生的物理和力学性能变化。
- 3) 冷挤压件结构必须保证足够的模具寿命。
- 4) 冷挤压件结构在保证成形和模具寿命的条件下, 应尽量减少成形工步。
- 5) 冷挤压件结构要考虑材料及其后续热处理工序的影响因素。
- 6) 非对称形状的冷挤压件可合并为对称形状进行挤压。



冷挤压件结构要素

表 1-3-44

	杯形反挤压件内孔	纯铝	紫铜	铜合金	钢	
	长径比 $L_1/d_1$	$\leq 7$	$\leq 5$	$\leq 3$	$\leq 2.5$	
	底厚和壁厚比 $h/t$	$> 0.5$		铜及其合金 $> 1.0$	$> 1.2$	
	正挤压凹模入口角 $2\alpha$	$90^\circ \sim 120^\circ$ (图 a)				
	反挤压凸模锥顶角 $\beta$	$7^\circ \sim 9^\circ$ (图 b)				
	特殊情况下可为平底凸模,其交界面应有圆角					
	正挤压件的圆角半径 $R_1$	3 ~ 10mm (图 a)				
	$R_2$	0.5 ~ 1.5mm				
	反挤压件外圆角半径 $R_1$	一般与零件的圆角				
	内圆角半径 $R_2$	半径相同 (图 b)				
特殊情况下,为了有利于金属流动可适当加大 (图 b)。应注意两圆角之间的距离不能小于壁厚						
复合挤压件连皮位置及厚度 $t_1$ : 一般情况下杯-杯形挤压件连皮位置应放在中间 (图 d); 扁平类挤压件连皮位置应设在大端 (图 c); 连皮厚度 $t_1$ 大于或等于壁厚 $t$						
凹穴的尺寸和位置: 凹穴的深度 $l_1$ 应小于直径 $d$ , 一个凹穴时, 其位置应设在制件的对称中心 (图 e)						

2.5 冷冲压、冷挤压零件的设计注意事项

表 1-3-45



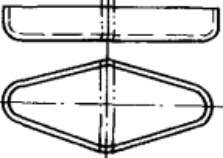
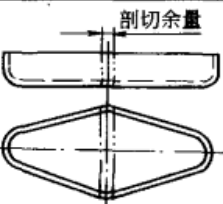
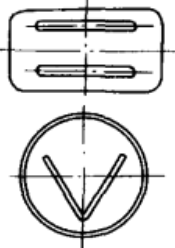
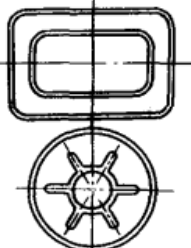

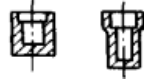

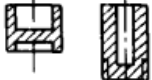




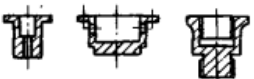
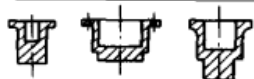
类别	注意事项	不好的设计	改进后的设计
冲	工件的形状必须使工件能在板料上紧密排列。可节约金属		
裁	轮廓应避免出现尖(锐)角,以免产生毛刺或塌角,并避免过紧公差		
	优先采用在连续切割时不易产生错位的工具形状		

续表

类别	注意事项	不好的设计	改进后的设计
冲 裁	避免太小的孔间距		
	尽量采用相同的冲剪形状		
	避免复杂轮廓		
	避免过薄的冲模结构		
	形状尽量简单, 优先采用斜切角, 避免圆角		
	切口处应有适当斜度, 以免工件从凹模中退出时舌部与凹模内壁摩擦		
弯 曲	考虑材料的弹性变形。图 a 必须附加整形工序才能实现, 图 a' 弯曲后不需整形	<p>(a) 角度偏差要求严格 (在 10' ~ 30' 之内)</p>	<p>(a') 角度偏差考虑了 材料的弹性变形 (允差 2° ~ 3°)</p>
	弯曲件的形状最好对称 图 a 弯曲时必须用较大的力压紧, 而且还可能达不到要求的尺寸	<p>(a)</p>	<p>(a')</p>
	窄料小半径弯曲件且宽度有严格要求时, 应在弯曲处留切口		
	在折角处采用缺口以便于折边		
对需要局部弯曲的工件, 应预冲防裂槽或外移弯曲线, 以免在交界处产生撕裂			

类别	注意事项	不好的设计	改进后的设计
	<p>正确选择弯边最小高度和最小弯曲半径</p> <p>弯边最小高度 <math>H &gt; 2t</math></p> <p>最小曲率半径</p> $R \geq \begin{cases} (0.1 \sim 1.3)t & \text{弯曲线垂直轧制方向} \\ (0.4 \sim 2.0)t & \text{弯曲线平行轧制方向} \end{cases}$	<p><math>a=f(t, R, \text{材料})</math></p>	<p><math>R=f(t, \text{材料})</math></p>
	<p>当在折角附近有冲孔时,注意其与折边的最小距离</p>		<p><math>x \geq r + 1.5t</math></p>
	<p>倘若最小距离不能实现,则力求断口和切槽通过折边</p>		
	<p>在折边区域,避免倾斜变化和缩小的外边缘</p>		
弯	<p>规定足够宽度的卷边</p>		
曲	<p>在薄板边缘进行加固</p>		
	<p>对空心件和背向弯曲件尽量采用大的保留开口宽度</p>		
	<p>采用图 a' 方式,先打出一孔 A,再用切口、弯曲的方法代替图 a 所示结构,可节省很大劳动量</p>	<p>(a)</p>	<p>(a')</p>
	<p>避免复杂的弯曲件(下料复杂),最好是分开后连接起来</p>		
拉深	<p>各部分尺寸的比例关系要恰当</p> <p>图 a 结构不仅拉深困难,且需增加工序,放宽切边余量,金属浪费大</p> <p>图 b 结构要用四五道拉深工序,并需中间退火,制造困难,图 b' 仅用一二道工序即可完成,且不需中间退火</p>	<p>(a)</p> <p><math>D &gt; 2.5d</math></p> <p>(b)</p>	<p>(a')</p> <p><math>D &lt; 1.5d</math></p> <p>(b')</p>

续表

类别	注意事项	不好的设计	改进后的设计
拉深	拉深件形状应尽量简单、对称,以减少加工难度		
	对于半敞开及非对称的空心件,应考虑设计成成对的拉深件(组合式),以改善拉深时的受力状况(见右图),待拉深后,再将其剖切成两个或更多个零件		
成形	压肋的形状应力求与零件外形相近或对称,以免因加工时变形不均匀而产生翘曲		
冷挤压	避免下部横截		
	避免边缘倾斜及小的直径差		
	规定回转对称,无材料堆积,否则将工件分开,然后连接起来		
	避免断面突然变化、尖锐的棱边和内槽		
	避免细、长或侧向的孔及螺纹		

### 3 锻件通用技术条件 (碳素钢和合金结构钢)

(摘自 JB/T 5000.8—1998)

1) 锻件表面不允许有裂纹、折叠、夹层和其他影响使用的外观缺陷。加工面上的缺陷可以清除,但清理深度不得超过该面加工余量的 75%,锻件非加工面上的缺陷应清理干净并圆滑过渡,清理深度不得超过生产厂规定的锻件尺寸偏差。对超过加工余量和锻件尺寸偏差的缺陷,在征得需方同意后方可清除并补焊。锻件不允许存在白点、内部裂纹和残余缩孔。

2) 白点用超声波或低倍试验检查并应符合 GB/T 6402、GB 226 及 GB 1979 的规定。

3) 锻件的力学性能、化学成分应符合订货合同或图样的规定。

4) 当需方有超声波探伤、高温强度、低温韧性、晶粒度、夹杂物、金相组织及其他补充要求时,其检验方法和验收标准由供需双方协商确定。

5) 锻件的验收规则和试验方法按本标准要求执行。

# 第 4 章 焊接和铆接设计工艺性

## 1 焊 接

### 1.1 金属常用焊接方法分类、特点及应用<sup>[8, 23]</sup>

表 1-4-1

焊接方法分类	原 理	特 点	应用范围	板厚/mm			设备费	焊接费	
				<3	3~50	>50			
气 焊	利用可燃气体与氧气混合燃烧的火焰所产生的高热(3000℃)熔化焊件和焊丝进行焊接	火焰温度和性质可以调节,与弧焊热源相比,热影响区宽,热量不如电弧集中,生产率比较低	应用于薄壁结构和小件的焊接,可焊钢、铸铁、铝、铜及其合金、硬质合金等	最适用	适用	不适用	少	中	
电 弧 焊	手 弧 焊	以涂料焊条与工件为电极,利用电弧放电产生的高热(6000~7000℃)熔化焊条和焊件,用手工操纵焊条进行焊接为手弧焊	具有灵活、机动,适用性广泛,可进行全位置焊接,所用设备简单、耐用性好、维护费用低等优点。但劳动强度大,质量不够稳定,决定于操作者水平	在单件、小批、零星、修配中广泛应用,适于焊接3mm以上的碳钢、低合金钢、不锈钢和铜、铝等非铁合金	适用	常用 3~20	少	少	
	埋 弧 焊	利用焊丝与焊件间产生的电弧将焊剂熔化,使电弧与外界隔绝,电弧继续燃烧,焊丝不断熔化,与被熔化的焊件液态金属混合形成熔池,冷却凝固形成焊缝	生产率比手工电弧焊提高5~10倍,焊接质量高且稳定,节省金属材料,改善劳动条件	在大量生产中适用于长直、环形或垂直位置的横焊缝,能焊接碳钢、合金钢以及某些铜合金等中、厚壁结构	不适用	最适用	中	少	
	气 体 保 护 焊 (气 电 焊)	非熔化极(钨极氩弧焊)	用外加气体作为电弧介质并保护电弧和焊接区的电弧焊	气体保护充分、热量集中,熔池较小,焊接速度快,热影响区较窄,焊接变形小,电弧稳定,飞溅小,焊缝致密,表面无熔渣,成形美观,明弧便于操作,易实现自动化,限于室内焊接	最适用	适用	不适用	少	中
		熔化极(金属极氩弧焊)	使用纯钨或活化钨电极的惰性气体保护焊为钨极惰性气体保护焊 使用熔化电极的惰性气体保护焊		不适用	最适用	中	中	
CO <sub>2</sub> 气体保护焊		利用 CO <sub>2</sub> 作保护气体的气体保护焊简称 CO <sub>2</sub> 焊	成本低,为埋弧和手工弧焊的40%左右,质量较好,生产率高,操作性能好,大电流时飞溅较大,成形不够美观,设备较复杂	广泛应用	最适用	适用	中	少	
窄间隙气体保护电弧焊	以很高的熔焊率在窄小的间隙内完成焊缝的高效熔极气体保护焊	高效率的熔极电弧焊,节省金属,限于垂直位置焊缝	应用于碳钢、低合金钢、不锈钢,耐热钢、低温钢等厚壁结构						

续表

焊接方法分类		原 理	特 点	应用范围	板厚/mm			设备费	焊接费
					<3	3~50	>50		
熔 化 焊	电 弧 焊	等 离 子 弧 焊 借助水冷喷嘴对电弧的约束作用,获得较高能量密度的等离子弧进行焊接的方法 能量密度大,电弧温度高(8000~24000℃)	除具有氩弧焊特点外,等离子弧能量密度大,弧柱温度高,穿透能力强,能一次焊透双面成形;电流小到0.1A时,电弧仍能稳定燃烧,并保持良好的挺度和方向性	广泛应用于铜合金、合金钢、钨、钼、钴、钛等金属,如钛合金的导弹壳体、波纹管及膜盒,微型电容器、电容器的外壳封接以及飞机和航天装置上的一些薄壁容器的焊接					
	电 渣 焊	利用电流通过熔渣而产生的电阻热来熔化金属进行焊接	生产率高,任何厚度不开坡口,一次焊成,焊缝金属比较纯净,热影响区比其他焊法都宽,晶粒粗大,易产生过热组织,焊后必须进行正火处理以改善其性能	应用于碳钢、合金钢,大型和重型结构如水轮机、水压机、轧钢机等全焊或组合结构的制造	不适用	0~100 常用 35~400		大 少	
	电 子 束 焊	利用加速和聚焦的电子束轰击置于真空或非真空中的焊件所产生的热能进行焊接	在真空中焊无金属电极沾污,保证焊缝金属的高纯度,表面平滑无缺陷,热源能量密度大,熔深大,焊速快,焊缝深窄,能单道焊厚件,热影响区小,不产生变形,可防止难熔金属焊接时产生裂纹和泄漏,焊接时一般不添加金属,参数可在较宽范围内调节,控制灵活	用于从微型电子线路组件、真空膜盒、铝箔蜂窝结构、原子能燃料元件到大型的导弹外壳,以及异种金属、复合结构件的焊接等,由于设备复杂,造价高,使用维护技术要求高,焊件尺寸受限制等,其应用范围受一定限制	最适用	几十毫米		大 中	
	激 光 焊	以聚焦的激光束作为能源轰击焊件所产生的热量进行焊接 按工作方式分为脉冲激光点焊和二氧化碳连续激光焊	辐射能量释放迅速,生产率高,可在大气中焊接,不需真空环境和保护气体;能量密度很高,热量集中、时间短,热影响区小;焊接不需与工件接触;焊接异种材料比较容易。但设备有效系数低、功率较小,焊接厚度受限	特别适用于焊接微型精密、排列非常密集、对受热敏感的焊件,除焊接一般薄壁搭接外,还可焊接细的金属线材以及导线和金属薄板的搭接,如集成电路内外引线、仪表游丝等的焊接,特别是能焊接一些难熔金属和异种金属					
压 电 阻 焊	点 缝 焊	焊件组合后通过电极施加压力,利用电流通过接头的接触面及邻近区域产生的电阻热进行焊接的方法称电阻焊 点焊是将焊件装配成搭接接头,并压紧在两电极之间,利用电阻热熔化母材金属,形成焊点的电阻焊接方法	低电压大电流,生产率高,变形小,限于搭接。不需添加焊接材料,易于实现自动化,设备较一般熔化焊复杂,耗电量大,缝焊过程中分流现象较严重	点焊主要适用于焊接各种薄板冲压结构及钢筋,目前广泛用于汽车制造、飞机、车厢等轻型结构,利用悬挂式点焊枪可进行全位焊接。缝焊主要用于制造油箱等要求密封的薄壁结构	最适用	稍适用	不适用	大 中 大 中	

焊接方法分类		原 理	特 点	应用范围	板厚/mm			设备费	焊接费
					<3	3~50	>50		
电 阻 焊	接触对焊 闪光对焊	闪光对焊是利用电阻热加热焊件接头,使接触点产生闪光,使焊件端面金属熔化,直至端面在一定深度范围内达到预定温度时,迅速施加顶锻力完成焊接的方法。它又分为连续闪光焊和预热闪光焊	接触(电阻)对焊,焊前对被焊工件表面清理工作要求较高,一般仅用于断面简单、直径小于20 mm和强度要求不高的工件,而闪光焊对工件表面焊前无需加工,但金属损耗多	闪光对焊用于重要工件的焊接,可焊异种金属(铝-钢、铝-铜等),从直径0.01 mm的金属丝到约20000 mm <sup>2</sup> 的金属棒。如刀具、钢筋、钢轨等	稍适用	最适用	稍适用	大	少
	摩擦焊	利用焊件摩擦产生的热量将工件加热到塑性状态,加压焊接。分为连续驱动摩擦焊和惯性摩擦焊	接头组织致密,表面不易氧化,质量好且稳定,可焊金属范围较广,可焊异种金属,焊接操作简单、不需添加焊接材料,易实现自动控制,生产率高,设备简单,电能消耗少	广泛用于圆形工件及管子的对接,如大直径铜铝导线的连接、管-板的连接					
	气压焊	将金属局部加热到熔化状态,加外力使其焊接	利用火焰将金属加热到熔化状态后加外力使其连接在一起	用于连接圆形、长方形截面的杆件与管子	稍适用	最适用	稍适用	中	少
	扩散焊	焊件紧密贴合,在真空或保护气氛中,在一定温度和压力下保持一段时间,使接触面之间的原子相互扩散完成焊接的一种压焊方法	接头力学性能高;可焊接性能差别大的异种金属,可用来制造双层和多层复合材料;可焊形状复杂的互接触的面与面,代替整锻;焊接变形小						
	高频焊	用高频(高于100 kHz)电流使焊件边缘表层加热至熔化或接近熔化的塑性状态;随后加压,使金属焊接。实质是塑态压焊	热能高度集中,生产率高,成本低;焊缝质量稳定,焊件变形小;适于连续性高速生产	适于生产有缝金属管;可焊低碳钢、工具钢、铜、铝、钛、镍、异种金属等					
	爆炸焊	应用炸药在爆炸瞬间释放的化学能量产生的高温高压爆震波,使焊件以极高的速度相互碰撞,实现焊接的一种压焊方法	爆炸焊接好的双金属或多种金属材料,结合强度高,工艺性好,焊后可经冷热加工。操作简单,成本低	适于各种可塑性金属的焊接					
钎 焊	软钎焊	利用熔融钎焊材料的黏着力或熔合力使焊件表面黏合的办法。钎料熔点比焊件低,焊时焊件本身不熔化。分软钎焊(低温钎焊,钎料熔点低于450℃)和硬钎焊(高温钎焊,钎料熔点高于450℃)	焊件加热温度低、组织和力学性能变化很小,变形也小,接头平整光滑,工件尺寸精确。软钎焊接头强度较低,硬钎焊接头强度较高。焊前工件需清洗、装配要求较严	广泛应用于机械、仪表、航空、空间技术所用装配中,如电真空器件、导线、蜂窝和夹层结构、硬质合金刀具等	最适用	适用	不适用	少	中
	硬钎焊								

续表

两材料结合时状态		液 相				固 相		固相兼液相		
焊接过程中手段		熔化不加压力		熔化加压力		加压不熔化	加压熔化			
热源类型 (其强度由上向下减)		焊接方法类型								
		基本型	变型应用	基本型	变型应用			基本型钎焊	变型热喷涂	
高能束	电子束	电子束焊						电子束钎焊		
	激光束	激光焊								
电 弧	涂料 (焊剂) 保护	焊条电弧焊	手弧堆焊							
		埋弧焊	埋弧堆焊							
			水下电弧埋		电能储能焊					
			电弧点焊		电弧螺柱焊					
			碳弧气割							
热	气体 保护	钨极氩弧焊	钨极氩 弧堆焊							
		等离子弧焊	等离子弧 堆焊						等离子喷涂	
		熔化极气 体保护焊	管状焊丝 电弧堆焊							
电 阻	熔渣电阻		电渣焊							
	固 体	工 频	接触式		点焊	电阻对焊	闪光对焊	电阻钎焊		
					缝焊					
					凸焊	电阻扩散焊				
	热 阻	高 频	感应式		感应电阻焊					
			接触式			接触高频对焊				
				电阻对焊	闪光对焊					
		感应式		感应高频对焊		电阻对焊	闪光对焊	高频感应 钎焊		
化学 反应热	火焰	气焊气割	火焰堆焊			气压焊		火焰钎焊	钎接焊火焰 喷焊	
	热剂	热剂焊								
	炸药					爆炸焊				
机 械 热						摩擦焊				
						超声波焊				
						冷压焊				
间 接 加 热	传 热 介 质	气体				扩散焊		炉中钎焊	扩散钎焊	
		液体						浸沾钎焊		
		固体								
不同焊接热源的主要特点	热源	最小加热 面积/m <sup>2</sup>	最大功率密度 /kW·cm <sup>-2</sup>	正常焊接 条件下温度/K	热源	最小加热 面积/m <sup>2</sup>	最大功率密度 /kW·cm <sup>-2</sup>	正常焊接条 件下温度/K		
	氧-乙炔火焰	10 <sup>-6</sup>	2 × 10 <sup>4</sup>	3473	熔化极氩弧 和 CO <sub>2</sub> 气体 保护焊	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>5</sup> ~ 10 <sup>6</sup>			
	金属极电弧	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>5</sup>	6000						
	钨极氩弧	10 <sup>-7</sup>	1.5 × 10 <sup>5</sup>	8000	等离子弧	10 <sup>-9</sup>	1.5 × 10 <sup>6</sup>	18000 ~ 24000		
	埋弧焊	10 <sup>-7</sup>	2 × 10 <sup>5</sup>	6400	电子束	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>8</sup> ~ 10 <sup>10</sup>			
	电渣焊	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>5</sup>	2300	激光束	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>8</sup> ~ 10 <sup>10</sup>			
不同焊接方法的 电弧热效率 η	焊接 方法	碳弧焊	厚皮焊条 手工电弧焊	自动埋弧焊	电渣焊	电子束及 激光束焊	钨极氩弧焊		熔化氩弧焊	
	η	0.5 ~ 0.65	0.77 ~ 0.87	0.77 ~ 0.90	0.83	> 0.9	交流	直流	钢	铝
							0.68 ~ 0.85	0.78 ~ 0.85	0.66 ~ 0.69	0.7 ~ 0.85



表 1-4-2

常用金属材料适用的焊接方法

焊接方法	铁		碳 钢			铸 钢		铸 铁		低 合 金 钢										不 锈 钢		耐 热 合 金		轻 金 属						铜 合 金				铝							
	纯铁	低碳钢	中碳钢	高碳钢	工具钢	合金铸钢	高锰钢	灰铸铁	可锻铸铁	合金铸铁	镍钢	镍铜钢	锰铜钢	碳素钢	镍铬钢	铬镍钢	镍铬钢	镍铬钢	铬钢	铬镍钢	锰钢	铬钢M型	铬钢F型	铬镍钢A型	耐热合金	高镍合金	纯铝	铝合金①	铝合金②	纯镁	钛合金	钛合金①	钛合金②		纯铜	黄铜	磷青铜	铝青铜	镍青铜		
手弧焊	A	A	A	A	B	A	A	B	B	B	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	D	D	D	D	D	D	B	B	B	B	B	D
埋弧焊	A	A	A	B	B	A	A	B	D	D	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	D	D	D	D	D	D	D	D	C	D	C	D	D	D	
CO <sub>2</sub> 焊	B	A	A	C	D	C	A	B	D	D	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	B	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	C	C	C	C	C	D	
氩弧焊	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	—	—	—	—	B	B	A	—	—	B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
电渣焊	A	A	A	B	C	A	A	A	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	B	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
气电焊	A	A	A	B	C	A	A	A	B	B	D	D	B	B	D	D	D	D	D	D	B	B	B	B	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
氧-乙炔焊	A	A	A	B	A	A	A	B	A	B	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	A	B	B	B	D	D	D	D	B	B	C	C	C	D	
气压焊	A	A	A	A	A	A	B	D	D	D	A	A	B	B	A	A	A	B	A	A	B	B	B	A	B	B	C	C	C	C	C	D	D	D	C	C	C	C	C	D	
点缝焊	A	A	B	D	D	A	B	D	D	D	A	A	A	—	D	D	D	D	D	D	D	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	C	C	C	C	C	C	B	
闪光焊	A	A	A	A	B	A	A	B	D	D	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	D	D	D	C	C	C	C	C	D	
铝热焊	A	A	A	A	B	B	A	B	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
电子束焊	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	
钎 焊	A	A	B	B	B	B	B	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	B	C	B	B	B	C	B	C	C	D	D	B	B	B	B	B	C	

注：1. 表中①铝、钛合金为非热处理型；②铝、钛合金为热处理型。

2. A—最适用；B—适用；C—稍适用；D—不适用。

## 1.2 金属的可焊性

金属的可焊性，是指金属在某种焊接方法和工艺参数等条件下，获得优质焊接接头的难易程度。同一金属，采用不同焊接方法或工艺参数等，其可焊性可能有很大差别。

在设计时，必须注意焊件结构形状、刚度、焊接方法、焊接材料及焊接工艺条件，考虑工件材料的可焊性。设计重要焊件，必须依据可焊性试验，选择焊接母材。

### 钢的可焊性

可通过碳当量公式的估算或可焊性试验对钢的可焊性进行评价。

碳当量法是根据化学成分对钢材焊接热影响区淬硬性的影响程度粗略地评价焊接时产生冷裂纹倾向及脆化倾向的一种估算方法。

碳钢及低合金结构钢常用的碳当量公式（国际焊接学会推荐的）如下：

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

对合金成分为  $C \leq 0.5\%$ 、 $Mn \leq 1.6\%$ 、 $Cr \leq 1\%$ 、 $Ni \leq 3.5\%$ 、 $Mo \leq 0.6\%$ 、 $Cu \leq 1\%$  的合金钢，其碳当量公式推荐如下：

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo + Si}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}$$

根据经验：

1) 当  $C_E < 0.4\%$  时，钢材的淬硬倾向不明显，可焊性优良，焊接时不必预热。

2) 当  $C_E = 0.4\% \sim 0.6\%$  时, 钢材的淬硬倾向逐渐明显, 需要采取适当预热、控制线能量等工艺措施;

3) 当  $C_E > 0.6\%$  时, 淬硬倾向强, 属于较难焊的钢材, 需采取较高的预热温度和严格的工艺措施。

表 1-4-3 常用钢材的可焊性

可焊性	钢种	评定可焊性的概略指标/%		常用钢号	特点
		合金元素含量	含碳量		
(I) 良好	低碳钢	—	<0.25	Q195, Q215, Q235, ZG200-400, ZG230-450, 08, 10, 15, 20, 15Mn, 20Mn	在普通条件下可焊接, 环境温度低于 $-5^{\circ}\text{C}$ 时需预热。板厚大于 20 mm, 结构刚度大时, 需预热并在焊后进行消除应力热处理
	低合金钢	1~3	<0.20	Q295, Q345, Q390, Q420, Q460 (相关旧牌号有 09MnV, 09MnNb, 12Mn, 18Nb, 09MnCuPTi, 10MnSiCu, 12MnV, 12MnPRE, 14MnNb, 16Mn, 16MnRE, 10MnPNbRE, 15MnV, 15MnTi, 16MnNb, 14MnVTiRE, 15MnVN)	沸腾钢是在不完全脱氧情况下获得的, 含氧量较高, 硫磷等杂质分布很不均匀, 时效敏感性及冷脆倾向大, 焊接时热裂倾向大, 一般不宜用于承受动载或严寒下 ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) 工作的重要焊接结构。镇静钢的杂质分布很均匀, 含氧量较低, 用于制造承受动载或低温条件下 ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) 工作的重要焊接结构
	不锈钢	>3	<0.18	0Cr13, 0Cr18Ni9, 1Cr18Ni9, 1Cr18Ni12, 0Cr17Ni12Mo2, 0Cr18Ni10Ti, 1Cr18Ni9Ti, 0Cr18Ni12Mo2Ti, 1Cr18Ni12Mo2Ti, 0Cr18Ni12Mo3Ti, 1Cr18Ni12Mo3Ti	
(II) 一般	中碳钢	<1	0.25 ~ 0.35	Q275, 30, 30Mn, ZG270-500	形成冷裂倾向小, 采用适当的焊接规范, 可以得到满意的结果。在结构复杂或零件较厚时, 必须预热 $150^{\circ}\text{C}$ 以上, 并在焊后进行热处理以消除应力
	合金结构钢	<3	<0.3	12CrMo, 15CrMo, 20CrMo, 12Cr1MoV, 30Cr, 20CrV, 20CrMnSi, 20CrNiMo	
	不锈钢	13~25	$\leq 0.18$	1Cr13, Cr25Ti	
(III) 较差	中碳钢	<1	0.35 ~ 0.45	35, 40, 45, 45Mn	一般情况下, 有形成裂纹的倾向, 焊前应预热, 焊后进行消除应力热处理
	合金结构钢	1~3	0.30 ~ 0.40	30CrMo, 35CrMo, 35CrMoV, 25Cr2MoVA; 40CrNiMoA; 30CrMnSi; 30Mn2, 40Mn2, 40Cr	
	不锈钢	13	0.2	2Cr13	
(IV) 不好	中、高碳钢	<1	>0.45	50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 50Mn, 60Mn	极易形成裂纹, 在采用预热条件下能焊接, 焊后必须进行消除应力热处理
	合金结构钢	1~3	>0.40	45Mn2, 50Mn2; 50Cr; 38CrSi; 38CrMoAlA	
	不锈钢	13	0.3 ~ 0.4	3Cr13, 4Cr13	

### 铸铁的可焊性

铸铁的焊接, 主要用于修补铸件缺陷 (如气孔、缩孔、砂眼、裂纹等) 和损坏的铸铁零件。要求焊后变形小、不脆裂、不产生白口化、易于加工, 同时补焊处应无裂纹及气孔, 密封性好。

铸铁焊接特点:

1) 由于它的脆性大, 焊接时不均匀加热和冷却都能促使铸铁白口化和产生裂纹;

- 2) 熔化后的铸铁冷却时, 焊缝中容易出现气孔;  
3) 铸铁仅适合平焊, 它比低碳钢焊接要困难得多。

表 1-4-4

铸铁的可焊性

铸铁类别	可 焊 性		焊 接 说 明
	与同类材料比较	与低碳钢比较	
灰 铸 铁	—	很 困 难	电弧焊法 (1) 低碳钢焊条: 焊缝不经热处理不能用一般加工方法加工, 只能用砂轮打磨, 焊缝极易出现裂纹。只适用于不需机加工的不重要工件缺陷的焊补。焊缝处只能承受较小的静载荷 (2) 铸铁焊条: 焊接接头加工性能一般, 焊缝易出现裂纹。只适用于中、小型零件待加工面和已加工面的较小缺陷的焊补, 如小砂眼、小缩孔及小裂缝等 (3) 铜焊条: 加工性能较差, 焊缝抗裂性能较好, 强度较高, 能承受较大静载荷及一定的动载荷, 能基本满足紧密性要求。对复杂的、刚度大的工件不宜采用 气焊法 铸铁焊条: 加工性能良好, 接头具有与母材相近的力学性能与颜色, 焊补处刚度大, 结构复杂时, 易出现裂纹。适用于焊补刚度不大、结构不复杂、待加工尺寸不大的缺陷 热焊法及半热焊法 铸铁焊条: 加工性能、紧密性都好, 内应力小, 不易出现裂纹, 接头具有与母材相近的强度。适用于焊后必须加工, 要承受较大静载荷、动载荷, 要求紧密性等的复杂结构。大的缺陷且工件壁较厚时用电弧焊, 中小缺陷且工件较薄时用气焊
可锻铸铁			复杂铸件应整体加热, 简单零件用焊具局部加热即可。重熔部分易产生白口
球 墨 铸 铁	较 差		手工电弧焊 (1) 低碳钢焊条: 焊缝极易出现裂纹, 加工性能极坏, 只用于焊补很不重要的工件 (2) 铁镍焊条: 加工性能良好, 接头力学性能基本可达到与母材相差不大 气焊 焊后不热处理, 焊接接头加工性好。适用于接头质量要求较高的中小型缺陷的修补。焊条成分以 C3% ~ 3.5%, Si3% ~ 3.6%, Mn < 0.45%, S < 0.015%, P < 0.07%, Mg 0.07% ~ 0.12% 较为合适
白口铸铁	不 好		硬度高、脆性大、容易产生裂纹、不宜进行焊接

注: 半热焊一般预热 400℃ 左右, 并在焊后保温缓冷。热焊预热 500 ~ 650℃, 并保持工件温度在焊接过程中不低于 400℃, 焊后 600 ~ 650℃ 保温退火消除应力。

有色金属的可焊性

表 1-4-5

	焊接方法	材 料 牌 号					适用的厚度范围 /mm
		1060、1050A 1035、8A06	3A21	5A05、5A06	5A02、5A03	2A11、2A12 2A16	
可 焊 性							
铝 及 铝 合 金	钨极氩弧焊	良好	良好	良好	良好	不好	1 ~ 10
	熔化极氩弧焊	良好	良好	良好	良好	较差	≥ 3
	熔化极脉冲氩弧焊	良好	良好	良好	良好	较差	≥ 0.8
	电阻焊(点焊、缝焊)	一般	一般	良好	良好	一般	≤ 4
	气 焊	良好	良好	不好	较差	不好	0.5 ~ 10
	碳弧焊	一般	一般	不好	不好	不好	1 ~ 10
	手工电弧焊	一般	一般	不好	不好	不好	3 ~ 8
	电子束焊	良好	良好	良好	良好	一般	3 ~ 75
	等离子弧焊	良好	良好	良好	良好	较差	1 ~ 10

续表

铜及铜合金	焊接方法	材 料 牌 号				适用的厚度范围 /mm
		紫 铜	黄 铜	青 铜	镍白铜	
		可 焊 性				
钨极氩弧焊	良好	一般	一般	良好	1~12	
熔化极自动氩弧焊	良好	一般	一般	良好	4~50	
气 焊	不好	一般	不好	—	0.5~10	
碳弧焊	较差	较差	一般	—	2~20	
手工电弧焊	不好	不好	较差	一般	2~10	
埋弧自动焊	一般	较差	一般	—	6~30	
等离子弧焊	一般	一般	一般	良好	1~16	

镁合金	类 别	牌 号	相对焊接性	类 别	牌 号	相对焊接性
	铸造镁合金	ZM1	差	变形镁合金	MB1	良
	ZM2	一般	MB2		良	
	ZM3	良	MB3		良	
	ZM5	良	MB5		一般	
			MB6		差	
				MB7	一般	
				MB8	良	
				MB15	差	

常用异种金属间的可焊性

表 1-4-6

金属名称	铬钢	镀锡铁皮	镀锌铁皮	锌	镉	锡	铅	铋	镁	铝	紫铜	青铜	黄铜	镍铜合金	镍铬合金	镍	不锈钢	碳钢
碳 钢	·	·	·					·		·	·	·	·	·	·	·	·	·
不 锈 钢	·	·	·	⊕	⊕	⊕		·		×	·	·	·	·	·	·	·	·
镍	·	·	·	⊕	×	×		·		○	·	·	·	·	·	·	·	·
镍铬合金	·	·	·	○	·	·	⊕	·		⊕	·	·	·	·	·	·	·	·
镍铜合金	⊕	·	·	○	·	·	×	×		○	·	·	·	·	·	·	·	·
黄 铜	⊕	·	·	○	·	·	×	×	⊕	⊕	·	·	·	·	·	·	·	·
青 铜	·	·	·	○	·	·		×		○	·	·	·	·	·	·	·	·
紫 铜	×	·	⊕	·	×	×		⊕	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
铝									·	·								
镁									·									
铋		·	⊕	⊕	·	·		⊕										
铅		·	·	⊕	·	·	·											
锡		·	·	⊕	·	·												
镉		⊕	⊕	○	·													
锌	·	·	·	·														
镀锌铁皮	·	·	·															
镀锡铁皮	·	·																
铬钢	·																	

符 号 说 明  
 ·——可焊性好  
 ○——可焊性尚好,但焊缝脆弱  
 ⊕——可焊性不好  
 ×——不能焊接  
 空白——未经试焊





### 1.3 焊接材料及其选择

不同焊接方法采用的焊接材料及其作用<sup>[53,54]</sup>

焊接方法	焊接材料	焊接材料应有作用
手工电弧焊	电焊条(普通焊条、专用焊条、自动盘状焊条)	(1) 保证电弧稳定燃烧和焊接熔滴金属容易过渡 (2) 在焊接电弧的周围造成一种还原性或中性的气氛,保护液态熔池金属,以防止空气中氧、氮等侵入熔敷金属 (3) 进行冶金反应和过渡合金元素,调整和控制焊缝金属的成分与性能 (4) 生成的熔渣均匀地覆盖在焊缝金属表面,防止气孔、裂纹等焊接缺陷的产生,并获得良好的焊缝外形 (5) 改善焊接工艺性能,在保证焊接质量的前提下尽可能提高焊接效率 此外,在焊条药皮、焊剂中加入一定量的铁粉,可以改善焊接工艺性能,或提高熔敷效率
气焊	气焊溶剂(焊粉)	
气体保护焊	焊丝(实芯焊丝、药芯焊丝)+保护气体(活性气体、惰性气体、混合气体)	
埋弧焊、电渣焊	焊丝、带极+焊剂(熔炼焊剂、非熔炼焊剂)	
钎焊	钎剂、钎料	
堆焊	焊条、焊丝、带极、焊剂	
热喷涂	丝极、带极、合金粉末(打底面粉末、工作面粉末)	
其他	保护气体、衬垫、熔嘴	

表 1-4-9 焊接材料在焊接过程中的作用

材料	作用
焊芯焊丝	(1) 传导电流 (2) 作为焊件产生电弧的一个电极 (3) 在焊接热源(电阻热、电弧热和化学热)的作用下,焊芯或焊丝作为填充材料受热熔化,以熔滴形式进入熔池,并与熔化了了的母材共同组成焊缝,其化学成分和性能对焊缝金属的质量有直接影响
药皮	(1) 保护作用 由于电弧的热作用使药皮熔化形成熔渣,在焊接冶金过程中又会产生某些气体。熔渣和电弧气氛起着保护熔滴、熔池和焊接区,隔离空气的作用,防止氮气等有害气体侵入焊缝 (2) 冶金作用 在焊接过程中,由于药皮的组成物质进行冶金反应,其作用是去除有害杂质(例如 O、N、H、S、P 等),并保护或添加有益合金元素,保证焊缝的抗气孔性及抗裂性能良好,使焊缝金属满足各种性能要求 (3) 使焊条具有良好的工艺性能 焊条药皮的作用可以使电弧容易引燃,并能稳定地连续燃烧;焊接飞溅小;焊缝成形美观;易于脱渣以及可适用于各种空间位置的施焊
药皮材料	(1) 稳弧 一般含低电离电位元素的物质都有稳弧作用。主要作用是改善焊条的引弧性能和提高电弧燃烧的稳定性。这种药皮原材料,通常称为稳弧剂。常用的稳弧剂有碳酸钾、大理石、水玻璃、长石、金红石等 (2) 造渣 药皮中某些原材料受焊接热源的作用而熔化,形成具有一定物理、化学性能的熔渣,从而保护熔滴金属和焊接熔池,并能改善焊缝成形。这种原材料被称为造渣剂。它们是焊条药皮中最基本的组成物。常用的造渣剂有:钛铁矿、金红石、大理石、石英砂、长石、云母、萤石等 (3) 造气 药皮中的有机物和碳酸盐在焊接时产生气体,从而起到隔离空气、保护焊接区的作用。这类物质被称为造气剂。如木粉、淀粉、大理石、菱苦土等 (4) 脱氧 降低药皮或熔渣的氧化性和脱除金属中的氧,该原材料称为脱氧剂。在焊接钢时,对氧亲和力比铁大的金属及其合金都可作为脱氧剂。常用的有锰铁、硅铁、钛铁、铝粉等 (5) 合金化 其作用就是补偿焊缝金属中有益元素的烧损和获得必要的合金成分。合金剂通常采用铁合金或金属粉,如锰铁、硅铁、钼铁等 (6) 黏结 为了把药皮材料涂敷到焊芯上,并使焊条药皮具有一定的强度,必须在药皮中加入黏结力强的物质。常用的黏结剂是钠水玻璃、钾钠水玻璃等 (7) 成形 加入某些物质使药皮具有一定的塑性、弹性及流动性,以便于焊条的压制,使焊条表面光滑而不开裂。常用的成形剂有白泥、云母、钛白粉、糊精等

续表

材料	作用												
	材料	主要成分	造气	造渣	脱氧	合金化	稳弧	黏结	成形	增氢	增硫	增磷	氧化
药 皮 材 料	金红石	TiO <sub>2</sub>		A			B						
	钛白粉	TiO <sub>2</sub>		A			B		A				
	钛铁矿	TiO <sub>2</sub> , FeO		A			B						B
	赤铁矿	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		A			B				B	B	B
	锰矿	MnO <sub>2</sub>		A								B	B
	大理石	CaCO <sub>3</sub>	A	A			B						B
	菱苦土	MgCO <sub>3</sub>	A	A			B						B
	白云石	CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub>	A	A			B						B
	石英砂	SiO <sub>2</sub>		A									
	长石	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O		A			B						
	白泥	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O		A					A	B			
	云母	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O		A			B		A	B			
	滑石	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO		A					B				
	萤石	CaF <sub>2</sub>		A									
	碳酸钠	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		B			B		A				
	碳酸钾	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		B			A						
	锰铁	Mn-Fe			B	A	A						B
	硅铁	Si-Fe			B	A	A						
	钛铁	Ti-Fe			B	A	B						
	铝粉	Al			B	A							
	钼铁	Mo-Fe			B	B	A						
	木粉		A		B		B		B	B			
	淀粉		A		B		B		B	B			
	糊精		A		B		B		B	B			
	水玻璃	K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O, SiO <sub>2</sub>			B			A	A				
	焊 剂	<p>焊剂的作用相当于焊条的药皮</p> <p>在焊接过程中起隔离空气,保护焊接区金属使其不受空气的侵害,以及进行冶金处理作用。因此,焊剂与焊丝的正确配合使用是决定焊缝金属化学成分和力学性能的重要因素</p>											

注: A—主要作用; B—附带作用。



表 1-4-10 制造电焊条用焊芯 (摘自 GB 3429—1982、GB 4241—1984)

类别	牌 号	化学成分(质量分数)/%											其他	
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	其他				
碳素钢	H08A	<0.10	<0.030	0.30~0.55	≤0.030	≤0.03	≤0.30	≤0.20	—	—	—	—	—	Cu<0.20
	H08E	<0.10	<0.030	0.30~0.55	≤0.020	≤0.020	≤0.30	≤0.20	—	—	—	—	—	Cu<0.20
奥氏体	H0Cr21Ni10	≤0.06	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	9.00~11.00	19.50~22.00	—	—	—	—	—	—
	H00Cr21Ni10	≤0.03	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	9.00~11.00	19.50~22.00	—	—	—	—	—	—
	H1Cr24Ni13	≤0.12	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	12.00~14.00	23.00~25.00	—	—	—	—	—	—
	H1Cr24Ni13Mo2	≤0.12	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	12.00~14.00	23.00~25.00	2.00~3.00	—	—	—	—	—
	H1Cr26Ni21	≤0.15	0.2~0.59	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	20.00~22.30	25.00~28.00	—	—	—	—	—	—
	H0Cr26Ni21	≤0.08	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	20.00~22.00	25.00~28.00	—	—	—	—	—	—
	H0Cr19Ni12Mo2	≤0.08	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	11.00~14.00	18.00~20.00	2.00~3.00	—	—	—	—	—
	H00Cr19Ni12Mo2	≤0.03	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	11.00~14.00	18.00~20.00	2.00~3.00	—	—	—	—	—
	H00Cr19Ni12Mo2Cu2	≤0.03	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	11.00~14.00	18.00~20.00	2.00~3.00	—	—	—	—	Cu:1.00~2.50
	H0Cr20Ni14Mo3	≤0.06	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	13.00~15.00	18.50~20.50	3.00~4.00	—	—	—	—	—
	H0Cr20Ni10Ti	≤0.06	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	9.00~10.50	18.50~20.50	—	—	—	—	—	Ti:9×C~1.00
	H0Cr20Ni10Nb	≤0.08	≤0.60	1.00~2.50	≤0.030	≤0.020	9.00~11.00	19.00~21.50	—	—	—	—	—	Nb:10×C~1.00
H1Cr21Ni10Mn6	≤0.10	0.20~0.60	5.00~7.00	≤0.030	≤0.020	9.00~11.00	20.00~22.00	—	—	—	—	—	—	
铁素体	H0Cr14	<0.06	0.30~0.70	0.30~0.70	<0.030	≤0.030	≤0.60	13.00~15.00	—	—	—	—	—	—
	H1Cr17	≤0.10	≤0.50	≤0.60	<0.030	≤0.030	—	15.50~17.00	—	—	—	—	—	—
马氏体	H1Cr13	≤0.12	≤0.50	≤0.60	≤0.030	≤0.030	—	11.50~13.50	—	—	—	—	—	—
	H1Cr5Mo	≤0.12	0.15~0.35	0.40~0.70	≤0.030	≤0.030	≤0.30	4.00~6.00	0.40~0.60	—	—	—	—	

焊条、焊丝及焊剂的分类、特点和应用<sup>[54]</sup>

表 1-4-11

焊条的分类、特点和应用

按药皮厚度分类	电焊条是在金属丝(即焊芯)表面涂上适当厚度药皮的手弧焊用的熔化电极。它由焊芯和涂料药皮两部分组成,因而也称药皮焊条。焊条的药皮都有一定的厚度,用“药皮重量系数K”表示药皮与焊芯的相对重量比,即: $K = (\text{药皮重量} / \text{相同部分的焊芯重量}) \times 100\%$ K = 30% ~ 50% 为厚药皮焊条 K = 1% ~ 2% 为薄药皮焊条					
	焊条型号		焊条牌号		应用	
按用途分类	焊条分类	代号	国家标准	焊条分类、代号汉字(字母)		主要用于焊接
	碳钢焊条	E	GB/T 5117—1995	结构钢焊条	结(J)	碳钢或低合金高强度
	低合金钢焊条	E	GB/T 5118—1995	钎及钎耐热钢焊条	热(R)	珠光体耐热钢和马氏体耐热钢
				低温钢焊条	温(W)	在低温下工作的结构
	不锈钢焊条	E	GB/T 983—1995	不锈钢焊条 (1) 铬不锈钢焊条 (2) 铬镍不锈钢焊条	铬(G) 奥(A)	不锈钢和热强钢
	堆焊焊条	ED	GB 984—2001	堆焊焊条	堆(D)	以获得热硬性、耐磨、耐蚀的堆焊层
	铸铁焊条	EZ	GB 10044—2006	铸铁焊条	铸(Z)	焊补铸铁构件
	镍及镍合金焊条	ENi	GB/T 13814—1992	镍及镍合金焊条	镍(Ni)	镍及高镍合金,也可用异种金属及堆焊
	铜及铜合金焊条	TCu	GB 3670—1995	铜及铜合金焊条	铜(T)	铜及铜合金
	铝及铝合金焊条	TAI	GB 3669—2001	铝及铝合金焊条	铝(L)	铝及铝合金
—	—		特殊用途焊条	特(TS)	水下焊接、水下切割等特殊工艺	
按药皮主要成分分类	药皮类型	电源种类	主要特点和应用			
	不属于规定的类型	不规定	在某些焊条中采用氧化铬、金红石碱性型等,这些新渣系目前尚未形成系列			
	氧化钛型	直流或交流	含多量氧化钛,焊条工艺性能良好,电弧稳定,再引弧方便,飞溅很小,熔深较浅,熔渣覆盖性良好,脱渣容易,焊缝波纹特别美观,可全位置焊接,尤宜于薄板焊接,但焊缝塑性和抗裂性稍差。随药皮中钾、钠及铁粉等用量的变化,分为高钛钾型、高钛钠型及铁粉钛型等			
	钛钙型	直流或交流	药皮中含氧化钛 30% 以上,钙、镁的碳酸盐 20% 以下,焊条工艺性能良好,熔渣流动性好,熔深一般,电弧稳定,焊缝美观,脱渣方便,适用于全位置焊接,如 J422 即属此类型,是目前碳钢焊条中使用最广泛的一种焊条			
	钛铁矿型	直流或交流	药皮中含钛铁矿 ≥ 30%,焊条熔化速度快,熔渣流动性好,熔深较深,脱渣容易,焊波整齐,电弧稳定,平焊、平角焊工艺性能较好,立焊稍次,焊缝有较好的抗裂性			
	氧化铁型	直流或交流	药皮中含多量氧化铁和较多的锰铁脱氧剂,熔深大,熔化速度快,焊接生产率较高,电弧稳定,再引弧方便,立焊、仰焊较困难,飞溅稍大,焊缝抗热裂性能较好,适用于中厚板焊接。由于电弧吹力大,适于野外操作。若药皮中加入一定量的铁粉,则为铁粉氧化钛型			
	纤维素型	直流或交流	药皮中含 15% 以上的有机物,30% 左右的氧化钛,焊接工艺性能良好,电弧稳定,电弧吹力大,熔深大,熔渣少,脱渣容易。可作立向下焊、深熔焊或单面焊双面成形焊接。立、仰焊工艺性好。适用于薄板结构、油箱管道、车辆壳体等焊接。随药皮中稳弧剂、黏结剂含量变化,分为高纤维素钠型(采用直流反接)、高纤维素钾型两类			
	低氢钾型	直流或交流	药皮组分以碳酸盐和萤石为主。焊条使用前必须经 300 ~ 400℃ 烘焙。短弧操作,焊接工艺性一般,可全位置焊接。焊缝有良好的抗裂性和综合力学性能。适于焊接重要的焊接结构。按照药皮中稳弧剂量、铁粉量和黏结剂不同,分为低氢钠型、低氢钾型和铁粉低氢型等			
	低氢钠型	直流				
	石墨型	直流或交流	药皮中含有多量石墨,通常用于铸铁或堆焊焊条。采用低碳钢焊芯时,焊接工艺性能较差,飞溅较多,烟雾较大,熔渣少,适于平焊。采用有色金属焊芯时,能改善其工艺性能,但电流不易过大			
盐基型	直流	药皮中含多量氯化物和氟化物,主要用于铝及铝合金焊条。吸潮性强,焊前要烘干。药皮熔点低,熔化速度快。采用直流电源,焊接工艺性较差,短弧操作,熔渣有腐蚀性,焊后需用热水清洗				

分类	特点和应用
主要是根据焊接熔渣的碱度,即按熔渣中碱性氧化物与酸性氧化物的比例来划分	
按熔渣的酸碱性分类	<p><b>酸性焊条</b> 药皮中含有大量的 TiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub> 等酸性造渣物及一定数量的碳酸盐等,熔渣氧化性强,熔渣碱度系数小于 1。酸性焊条焊接工艺性好,电弧稳定,可交、直流两用,飞溅小、熔渣流动性和脱渣性好,熔渣多呈玻璃状,较疏松,脱渣性能好,焊缝外表美观。酸性焊条的药皮中含有较多的二氧化硅、氧化铁及氧化钛,氧化性较强,焊缝金属中的氧含量较高,合金元素烧损较多,合金过渡系数较小,熔敷金属中含氢量也较高,因而焊缝金属塑性和韧性较低</p> <p><b>碱性(低氢型)焊条</b> 药皮中含有大量的碱性造渣物(大理石、萤石等),并含有一定数量的脱氧剂和渗合金剂。碱性焊条主要靠碳酸盐(如 CaCO<sub>3</sub> 等)分解出 CO<sub>2</sub> 作保护气体,弧柱气氛中的氢分压较低,而且萤石中的氟化钙在高温时与氢结合成氟化氢(HF),降低了焊缝中的含氢量,故碱性焊条又称为低氢型焊条。采用甘油法测定时,每 100g 熔敷金属中的扩散氢含量,碱性焊条为 1~8mL,酸性焊条为 17~50mL 碱性渣中 CaO 数量多,熔渣脱硫的能力强,熔敷金属的抗热裂纹的能力较强。而且,碱性焊条由于焊缝金属中氧和氢含量低,非金属夹杂物较少,具有较高的塑性和冲击韧性。碱性焊条由于药皮中含有较多的萤石,电弧稳定性差,一般多采用直流反接,只有当药皮中含有较多量的稳弧剂时,才可以交、直流两用。碱性焊条一般用于较重要的焊接结构,如承受动载荷或刚性较大的结构</p>
按焊条性能分类	按性能分类的焊条,都是根据其特殊使用性能而制造的专用焊条,如超低氢焊条、低尘低毒焊条、立向下焊条、躺焊焊条、打底层焊条、高效铁粉焊条、防潮焊条、水下焊条、重力焊条等
其他	<p>各大类焊条按主要性能的不同还可分为若干小类,如低合金钢焊条,又可分为低合金高强钢焊条、低温钢焊条、耐热钢焊条、耐海水腐蚀用焊条等。有些焊条同时可以有多种用途</p> <p>对于药皮中含有多量铁粉的焊条,可以称为铁粉焊条。这时,按照相应焊条药皮的主要成分,又可分为铁粉钛型、铁粉钙钛型、铁粉铁钛型、铁粉氧化铁型、铁粉低氢型等,构成了铁粉焊条系列</p>

表 1-4-12 焊丝的分类、特点和应用

实芯焊丝是由热轧线材经拉拔加工而成。为了防止焊丝生锈,必须对焊丝(除不锈钢焊丝外)表面进行特殊处理。目前主要是镀铜处理,包括电镀、浸铜及化学镀铜处理等方法。是目前最常用的焊丝。										
实芯焊丝包括埋弧焊、电渣焊、CO <sub>2</sub> 气体保护焊、氩弧焊、气焊以及堆焊用的焊丝										
分 类	特 点 和 应 用									
实 芯 焊 丝	埋弧焊和电渣焊时焊剂对焊缝金属起保护和冶金处理作用,焊丝主要作为填充金属,同时向焊缝添加合金元素,二者直接参与焊接过程中的冶金反应,焊缝成分和性能是由焊丝和焊剂共同决定的									
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="5">按被焊材料分类</td> <td>低碳钢用焊丝</td> <td rowspan="5">埋弧焊、电渣焊时电流大,要采用粗焊丝,焊丝直径 3.2~6.4mm</td> </tr> <tr> <td>低合金高强钢用焊丝</td> </tr> <tr> <td>Cr-Mo 耐热钢用焊丝</td> </tr> <tr> <td>低温钢用焊丝</td> </tr> <tr> <td>不锈钢用焊丝</td> </tr> <tr> <td>表面堆焊用焊丝</td> <td>焊丝因含碳或合金元素较多,难于加工制造,目前主要采用液态连铸拉丝方法进行小批量生产</td> </tr> </table>	按被焊材料分类	低碳钢用焊丝	埋弧焊、电渣焊时电流大,要采用粗焊丝,焊丝直径 3.2~6.4mm	低合金高强钢用焊丝	Cr-Mo 耐热钢用焊丝	低温钢用焊丝	不锈钢用焊丝	表面堆焊用焊丝	焊丝因含碳或合金元素较多,难于加工制造,目前主要采用液态连铸拉丝方法进行小批量生产
	按被焊材料分类		低碳钢用焊丝		埋弧焊、电渣焊时电流大,要采用粗焊丝,焊丝直径 3.2~6.4mm					
			低合金高强钢用焊丝							
			Cr-Mo 耐热钢用焊丝							
低温钢用焊丝										
不锈钢用焊丝										
表面堆焊用焊丝	焊丝因含碳或合金元素较多,难于加工制造,目前主要采用液态连铸拉丝方法进行小批量生产									
气 体 保 护 焊 丝	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">按焊接方法分类</td> <td>TIG 焊用焊丝</td> <td>一般不加填充焊丝,有时加填充焊丝。手工填丝为切成一定长度的焊丝,自动填丝时采用盘式焊丝</td> <td rowspan="3">气体保护焊分为惰性气体保护焊(TIG, MIG)和活性气体保护焊(MAG)。惰性气体主要采用 Ar 气,活性气体主要采用 CO<sub>2</sub> 气体。MIG 采用 Ar+2% O<sub>2</sub> 或 Ar+5% CO<sub>2</sub>; MAG 采用 CO<sub>2</sub>、Ar+CO<sub>2</sub> 或 Ar+O<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td>MIG、MAG 焊用焊丝</td> <td>主要用于焊接低合金钢、不锈钢等</td> </tr> <tr> <td>CO<sub>2</sub> 焊用焊丝</td> <td>焊丝成分中应有足够数量的脱氧剂,如 Si、Mn、Ti 等。如果合金含量不足,脱氧不充分,将导致焊缝中产生气孔;焊缝力学性能(特别是韧性)将明显下降</td> </tr> </table>	按焊接方法分类	TIG 焊用焊丝	一般不加填充焊丝,有时加填充焊丝。手工填丝为切成一定长度的焊丝,自动填丝时采用盘式焊丝	气体保护焊分为惰性气体保护焊(TIG, MIG)和活性气体保护焊(MAG)。惰性气体主要采用 Ar 气,活性气体主要采用 CO <sub>2</sub> 气体。MIG 采用 Ar+2% O <sub>2</sub> 或 Ar+5% CO <sub>2</sub> ; MAG 采用 CO <sub>2</sub> 、Ar+CO <sub>2</sub> 或 Ar+O <sub>2</sub>	MIG、MAG 焊用焊丝	主要用于焊接低合金钢、不锈钢等	CO <sub>2</sub> 焊用焊丝	焊丝成分中应有足够数量的脱氧剂,如 Si、Mn、Ti 等。如果合金含量不足,脱氧不充分,将导致焊缝中产生气孔;焊缝力学性能(特别是韧性)将明显下降	
	按焊接方法分类		TIG 焊用焊丝	一般不加填充焊丝,有时加填充焊丝。手工填丝为切成一定长度的焊丝,自动填丝时采用盘式焊丝		气体保护焊分为惰性气体保护焊(TIG, MIG)和活性气体保护焊(MAG)。惰性气体主要采用 Ar 气,活性气体主要采用 CO <sub>2</sub> 气体。MIG 采用 Ar+2% O <sub>2</sub> 或 Ar+5% CO <sub>2</sub> ; MAG 采用 CO <sub>2</sub> 、Ar+CO <sub>2</sub> 或 Ar+O <sub>2</sub>				
			MIG、MAG 焊用焊丝	主要用于焊接低合金钢、不锈钢等						
CO <sub>2</sub> 焊用焊丝		焊丝成分中应有足够数量的脱氧剂,如 Si、Mn、Ti 等。如果合金含量不足,脱氧不充分,将导致焊缝中产生气孔;焊缝力学性能(特别是韧性)将明显下降								
自保护焊用焊丝	利用焊丝中所含有的合金元素在焊接过程中进行脱氧、脱氮,以消除从空气中进入焊接熔池的氧和氮的不良影响,为此,除提高焊丝中的 C、Si、Mn 含量外,还要加入强脱氧元素 Ti、Zr、Al、Ce 等									

续表

		药芯焊丝是将药粉包在薄钢带内卷成不同的截面形状经轧拔加工制成的焊丝。也称为粉芯焊丝、管状焊丝或折叠焊丝，用于气体保护焊、埋弧焊和自保护焊，是一种很有发展前途的焊接材料。它可以制成盘状供应，易于实现机械化焊接。根据焊丝结构，药芯焊丝可分为有缝焊丝和无缝焊丝两种。无缝焊丝可以镀铜，性能好、成本低，已成为今后发展的方向	
		分 类	特 点 和 应 用
按是否使用外加保护气体分类	药芯焊丝可作为熔化极(MIG、MAG)或非熔化极(TIG)气体保护焊的焊接材料 TIG焊接时，大部分使用实芯焊丝作填充材料。焊丝内含有特殊性能的造渣剂，底层焊接时不需充氩保护，芯内粉剂会渗透到熔池背面，形成一层致密的熔渣保护层，使焊道背面不受氧化，冷却后该熔渣很易脱落。MAG焊接是CO <sub>2</sub> 焊和Ar加超过5%的CO <sub>2</sub> 或超过2%的O <sub>2</sub> 等混合气体保护焊的总称。由于加入了一定量的CO <sub>2</sub> 或O <sub>2</sub> ，氧化性较强。MIG焊接是纯Ar或在Ar中加入少量活性气体(≤2%的O <sub>2</sub> 或≤5%的CO <sub>2</sub> )		
	气体保护焊丝 (有外加保护气)	工艺性能和熔敷金属冲击性能比自保护的好	
	自保护焊丝 (无外加保护气)	具有抗风性，更适合室外或高层结构现场使用	
	气电立焊用药芯焊丝	是专用于气体保护强制成形焊接方法的一种焊丝。为了向上立焊，熔渣不能太多，故该焊丝中造渣剂的比例约为5%~10%，同时含有大量的铁粉和适量的脱氧剂、合金剂和稳弧剂，以提高熔敷效率和改善焊缝性能	
药芯焊丝	药芯焊丝的截面形状对焊接工艺性能与冶金性能有很大影响		
	分为简单断面的O形和复杂断面的折叠形两类，折叠形又可分为梅花形、T形、E形和中间填丝形等		
	一般地说，药芯焊丝的截面形状越复杂越对称，电弧越稳定，药芯的冶金反应和保护作用越充分。但是随着焊丝直径的减小，这种差别逐渐缩小，当焊丝直径小于2mm时，截面形状的影响已不明显了。目前，小直径(不大于2.0mm)药芯焊丝一般采用O形截面，大直径(≥2.4mm)药芯焊丝多采用E形、T形等折叠形复杂截面		
按药皮中有无造渣剂分类	药芯焊丝芯部粉剂的成分与焊条药皮相类似		
	熔渣型 (有造渣剂)	在熔渣型药芯焊丝中加入粉剂，主要是为了改善焊缝金属的力学性能、抗裂性及焊接工艺性能。这些粉剂有脱氧剂(硅铁、锰铁)、造渣剂(金红石、石英等)、稳弧剂(钾、钠等)、合金剂(Ni、Cr、Mo等)及铁粉等	
	按造渣剂种类及渣的碱度细分	钛型	钛型渣系药芯焊丝的焊道成形美观，全位置焊接工艺性能优良，电弧稳定，飞溅小，但焊缝金属的韧性和抗裂性稍差(钛型又称金红石型、酸性渣)
		钙型	钙型渣系药芯焊丝焊缝金属的韧性和抗裂性优良，但焊道成形和焊接工艺性稍差(钙型又称碱性渣)
	钛钙型	钛钙型渣系介于上述二者之间(又称金红石碱性、中性或弱碱性渣)	
	金属粉型 (无造渣剂)	金属粉型药芯焊丝几乎不含造渣剂，焊接工艺性能类似于实芯焊丝，但电流密度更大。具有熔敷效率高、熔渣少的特点，抗裂性能优于熔渣型药芯焊丝。这种焊丝粉芯中大部分是金属粉(铁粉、脱氧剂等)，其造渣量仅为熔渣型药芯焊丝的1/3，多层焊可不清渣，使焊接生产率进一步提高。此外，还加入了特殊的稳弧剂，飞溅小，电弧稳定，而且焊缝扩散氢含量低，抗裂性能得到改善	
两丝比较	药芯焊丝与实芯焊丝相同点		与实芯焊丝相比，药芯焊丝的特点：
	a. 与手工电弧焊焊条相比，可能实现高效焊接 b. 容易实现自动化、机械化焊接 c. 能直接观察到电弧，容易控制焊接状态 d. 抗风能力较弱，存在保护不良的危险	a. 药芯焊丝具有比实芯焊丝更高的熔敷速度，特别是在全位置焊接场合，可使用大电流，提高了焊接效率 b. 电弧柔软，飞溅很少 c. 焊道外观平坦、美观 d. 烟尘发生量较多 e. 当产生焊渣时，必须清除	
近几年来全位置焊接采用细直径药芯焊丝的用量急剧增加，这类焊丝多为钛型渣系，具有十分优异的焊接工艺性能。过去实芯焊丝难以解决的诸多问题，如飞溅大、成形差、电弧硬等，采用细直径药芯焊丝焊接就解决了			

表 1-4-13

焊剂的分类、特点和应用

分 类		特 点 和 应 用	
含 义	焊剂是焊接时能够熔化形成熔渣和气体,对熔化金属起保护、冶金处理作用并改善焊接工艺性能,具有一定粒度的颗粒状物质。烧结焊剂还具有渗合金作用。焊剂与焊丝的正确配合使用是决定焊缝金属化学成分和力学性能的重要因素		
按 用 途 分 类	(1) 按使用用途分类	有埋弧焊焊剂、电渣焊焊剂、堆焊焊剂	
	(2) 按所焊材料分类	有低碳钢用焊剂、低合金钢用焊剂、不锈钢用焊剂、镍及镍合金用焊剂、钛及钛合金用焊剂、有色金属用焊剂	
	(3) 按焊接工艺特点分类	① 单道焊或多道焊焊剂,仅适用于单面单道焊、双面单道焊 ② 高速焊焊剂,用于焊接速度大于 60m/h 的焊接场合 ③ 超低氢焊剂,熔敷金属中的扩散氢小于或等于 2mL/100g,有利于消除焊接延迟裂纹 ④ 抗锈焊剂,对铁锈不敏感,有良好的抗气孔性能 ⑤ 高韧性焊剂,焊缝金属的韧性高,适于焊接低温下工作的压力容器 ⑥ 单面焊双面成形焊剂,使焊缝背面根部成形满足需要,主要在造船业使用	
按 制 造 方 法 分 类	(1) 熔炼焊剂	将各种矿物性原料,主要有锰矿、硅砂、铝矾土、镁矿、萤石、生石灰、钛铁矿等及冰晶石、硼砂等化工产品,按配方比例混合配成炉料,然后在电炉或火焰炉中加热到 1300℃ 以上熔化均匀后,出炉经过水冷粒化、烘干筛选得到的焊剂称为熔炼焊剂	
	(2) 非熔炼焊剂	将各种粉料按配方混合后加入黏结剂,制成一定粒度的小颗粒,经烘焙或烧结后得到的焊剂,称为非熔炼焊剂 根据烘焙温度的不同,非熔炼焊剂又分为:黏结焊剂和烧结焊剂 ① 黏结焊剂 又称陶质焊剂或低温烧结焊剂,通常以水玻璃作黏结剂,经 350 ~ 500℃ 低温烘焙或烧结得到的焊剂。由于烧结温度低,黏结焊剂有吸潮倾向大,颗粒强度低等缺点。目前国内产品供应量不多 ② 烧结焊剂 通常在较高的温度(700 ~ 1000℃)烧结,烧结后,粉碎成一定尺寸的颗粒即可使用。经高温烧结后,颗粒强度明显提高,吸潮性大大降低。与熔炼焊剂相比,烧结焊剂熔点较高,松装密度较小,故这类焊剂适于大线能量焊接。烧结焊剂的碱度可以在较大范围内调节,能保持良好的工艺性能,可以根据施焊钢种的需要通过焊剂向焊缝过渡合金元素,烧结焊剂适用性强,制造简便,近年来发展很快	
按 焊 剂 的 化 学 成 分 或 渣 系 分 类	(1) 按焊剂主要成分分类	① 按 SiO <sub>2</sub> 含量分类	有高硅焊剂(SiO <sub>2</sub> > 30%)、中硅焊剂(SiO <sub>2</sub> = 10% ~ 30%)、低硅焊剂(SiO <sub>2</sub> < 10%)、无硅焊剂
		② 按 MnO 含量分类	有高锰焊剂(MnO > 30%)、中锰焊剂(MnO = 15% ~ 30%)、低锰焊剂(MnO = 2% ~ 15%)、无锰焊剂(MnO < 2%)
		③ 按 CaF <sub>2</sub> 含量分类	有高氟焊剂(CaF <sub>2</sub> > 30%)、中氟焊剂(CaF <sub>2</sub> = 10% ~ 30%)、低氟焊剂(CaF <sub>2</sub> < 10%)
		④ 按 MnO、SiO <sub>2</sub> 、CaF <sub>2</sub> 含量组合分类	高锰高硅低氟焊剂,是酸性焊剂,焊接工艺性能好,适于交直流电源,主要用于焊接低碳钢及对韧性要求不高的低合金钢 中锰中硅中氟焊剂,是中性焊剂,焊接工艺性和焊缝韧性均可,多用于低合金钢焊接 低锰中硅中氟焊剂,是碱性焊剂,焊接工艺性较差,仅适用于直流电源,焊剂氧化性小,焊缝韧性好,可焊接不锈钢等高合金钢

续表

分 类		特 点 和 应 用														
按焊剂的化学成分或渣系分类	⑤按焊剂的主要成分与特点分类	是国际焊接学会推荐的焊剂分类方法,我国的烧结焊剂采用此法。此方法直观性强,易于分辨焊剂的主要成分为特性														
	焊剂类型	焊剂类型代号	主 要 成 分							焊 剂 特 点						
	锰-硅型	MS	(MnO + SiO <sub>2</sub> ) > 50%							与含锰量少的焊丝配合,可以向焊缝过渡适量的锰与硅						
	钙-硅型	CS	(CaO + MgO + SiO <sub>2</sub> ) > 60%							由于焊剂中含有较多的SiO <sub>2</sub> ,即使采用含硅量低的焊丝仍可得到含硅量较高的焊缝金属,适于大电流焊接						
	铝-钛型	AR	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub> ) > 45%							适于多丝焊接和高速焊接						
	氟-碱型	FB	(CaO + MgO + MnO + CaF <sub>2</sub> ) > 50%, 其中 SiO <sub>2</sub> ≤ 20%, CaF <sub>2</sub> ≥ 15%							SiO <sub>2</sub> 含量低,减少了硅的过渡,可得到高冲击韧性的焊缝金属						
	铝-碱型	AB	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CaO + MgO) > 45% 其中 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ≈ 20%							性能介于铝-钛型和氟-碱型焊剂之间						
	特殊型	ST	不规定							—						
	(2)按焊剂的渣系分类	①硅酸盐型	氧化锰-二氧化硅型 (MnO + SiO <sub>2</sub> ) > 50%、氧化钙-二氧化硅型 (CaO + MgO + SiO <sub>2</sub> ) > 60%、氧化铅-二氧化硅型 (ZrO <sub>2</sub> + SiO <sub>2</sub> ) > 35%													
		②铝酸盐型	氧化铝-二氧化钛型 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub> ) > 45%、碱性铝酸盐型 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CaO + MgO) > 45%, 其中 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ≥ 20%													
③碱性氟化物型		如氟化物的焊剂 (CaO + MgO + MnO + CaF <sub>2</sub> ) > 50%, 其中 SiO <sub>2</sub> ≤ 20%, CaF <sub>2</sub> > 15%														
按焊剂的化学性质分类	①氧化性焊剂	焊剂对焊缝金属有较强的氧化作用。一种是含有大量 SiO <sub>2</sub> 、MnO 的焊剂,另一种是含有 FeO 较多的焊剂														
	②弱氧化性焊剂	焊剂含 SiO <sub>2</sub> 、MnO、FeO 等活性氧化物等较少。焊剂对焊缝金属有较弱的氧化作用,焊缝金属含氧量较低														
	③惰性焊剂	又称中性焊剂,焊剂里基本不含 SiO <sub>2</sub> 、MnO、FeO 等氧化物。焊剂对焊缝金属基本没有氧化作用;焊剂由 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、CaO、MgO 及 CaF <sub>2</sub> 等组成														
按熔渣的碱度分类	<p>碱度是熔渣的最重要的冶金特征之一,对熔渣-金属相界面处冶金反应、焊接工艺性能和焊缝金属的力学性能有很大影响。目前,有关焊剂碱度的计算公式应用较广泛的是国际焊接学会 (IIW) 推荐的公式,即</p> $B = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaF}_2 + 0.5(\text{MnO} + \text{FeO})}{\text{SiO}_2 + 0.5(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2)}$ <p>式中,各组分的含量按质量分数计算,根据计算结果分类如下:</p>															
	①酸性焊剂	碱度 B < 1.0,具有良好的焊接工艺性能,焊缝成形美观,但可使焊缝金属增硅,焊缝金属含氧量高,低温冲击韧性低														
	②中性焊剂	碱度 B = 1.0 ~ 1.5,熔敷金属的化学成分与焊丝的化学成分相近,焊缝含氧量有所降低														
	③碱性焊剂	碱度 B > 1.5,采用碱性焊剂得到的熔敷金属含氧量低,可以获得较高的焊缝冲击韧性,抗裂性好,但焊接工艺性能较差。B > 2.0 的焊剂为高碱度焊剂,有除硫及降硅的作用,焊缝金属的氧含量很低,低温冲击韧性值高,但是,随着碱度的提高,焊道形状变得窄而高,并容易产生咬边、夹渣等缺陷。部分国产焊剂的碱度值(按上式算得)如下														
	焊剂牌号	130	131	150	172	230	250	251	260	330	350	360	430	431	433	
碱度值	0.78	1.40	1.30	2.68	0.80	1.75	1.68	1.11	0.81	1.0	0.94	0.78	0.79	0.67		

比较

特点和应用

熔炼焊剂的化学成分见表1。熔炼焊剂可以分为以下三类：  
 (1) 高硅焊剂 是以硅酸盐为主的焊剂，焊剂中  $w(\text{SiO}_2) > 30\%$ 。由于  $\text{SiO}_2$  含量高，焊剂有向焊缝中过渡硅的作用。根据焊剂含  $\text{MnO}$  数量的不同，高硅焊剂又可分为：高硅高锰焊剂、高硅中锰焊剂、高硅低锰焊剂和高硅无锰焊剂四种。使用高硅焊剂焊接，由于通过焊剂向焊缝中过渡硅，所以焊丝就不必再特意加硅。高硅焊剂应按下列配合方式焊接低碳钢或某些合金钢：  
 ① 高硅无锰或低锰焊剂应配合高锰焊丝 [ $w(\text{Mn}) = 1.5\% \sim 2.9\%$ ]  
 ② 高硅中锰焊剂应配合含锰焊丝 [ $w(\text{Mn}) = 0.8\% \sim 1.1\%$ ]  
 ③ 高硅高锰焊剂应配合低碳钢焊丝或含锰焊丝。这是国内目前应用最广泛的一种配合方式，多用于焊接低碳钢或某些低合金钢。由于采用高硅高锰焊剂的焊缝金属含氧量及含磷量较高，韧脆转变温度高，不宜用于焊接对于低温韧性要求较高的结构  
 (2) 中硅焊剂 由于焊剂中含  $\text{SiO}_2$  的数量较少，碱性氧化物  $\text{CaO}$  或  $\text{MgO}$  的含量较多，所以焊剂的碱度较高。大多数中硅焊剂属于弱氧化性焊剂，焊缝金属含氧量较低，所以焊缝的韧性更高一些。因此，这类焊剂配合适当的焊丝可用于焊接合金结构钢。但是中硅焊剂的焊缝金属含氢量较高，对于提高焊缝金属抗冷裂纹的能力是很不利的。在中硅焊剂中，如加入相当数量的  $\text{FeO}$ ，由于提高了焊剂的氧化性就能减少焊缝金属的含氢量。这种焊剂属于中硅氧化性焊剂，是焊接高强度钢的一种新型焊剂  
 (3) 低硅焊剂 这类焊剂由  $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaF}_2$  等组成。焊剂对于金属基本上没有氧化作用。HJ172 属于这种类型的焊剂，配合相应焊丝可用于焊接高合金钢，如不锈钢、热强钢等  
 熔炼焊剂的配用焊丝及用途列于表2，可供选用埋弧焊焊接材料时参考

表1 熔炼焊剂的化学成分(质量分数) %

焊剂类型	焊剂牌号	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	NaF	ZrO <sub>2</sub>	FeO	S	P	R <sub>2</sub> O
无锰高硅低氟	HJ130	35~40	12~16	—	10~18	14~19	7~11	4~7	—	—	2	≤0.05	≤0.05	—
无锰高硅低氟	HJ131	34~38	6~9	—	48~55	—	—	2~5	—	—	≤1	≤0.05	≤0.08	≤3
无锰中硅中氟	HJ150	21~23	28~32	—	3~7	9~13	—	25~33	—	—	≤1	≤0.08	≤0.08	≤3
无锰低硅高氟	HJ172	3~6	28~35	1~2	2~5	—	—	45~55	2~3	2~4	≤0.8	≤0.05	≤0.05	≤3
低锰高硅低氟	HJ230	40~46	10~17	5~10	8~14	10~14	—	7~11	—	—	≤1.5	≤0.05	≤0.05	—
低锰中硅中氟	HJ250	18~22	18~23	5~8	4~8	12~16	—	23~30	—	—	≤1.5	≤0.05	≤0.05	≤3
低锰中硅中氟	HJ251	18~22	18~23	7~10	3~6	14~17	—	23~30	—	—	≤1.0	≤0.08	≤0.05	—
低锰高硅中氟	HJ260	29~34	19~24	2~4	4~7	15~18	—	20~25	—	—	≤1.0	≤0.07	≤0.07	—
中锰高硅低氟	HJ330	44~48	≤4	22~26	≤3	16~20	—	3~6	—	—	≤1.5	≤0.08	≤0.08	≤1
中锰中硅中氟	HJ350	30~35	13~18	14~19	10~18	—	—	14~20	—	—	—	≤0.06	≤0.07	—
中锰高硅中氟	HJ360	33~37	11~15	20~26	4~7	5~9	—	10~19	—	—	≤1.5	≤0.10	≤0.10	—
高锰高硅低氟	HJ430	38~45	≤5	38~47	≤6	—	—	5~9	—	—	≤1.8	≤0.10	≤0.10	—
高锰高硅低氟	HJ431	40~44	≤4	34~38	≤6	5~8	—	3~7	—	—	≤1.8	≤0.10	≤0.10	—
高锰高硅低氟	HJ433	42~45	≤3	44~47	≤4	—	—	2~4	—	—	≤1.8	≤0.15	≤0.10	≤0.5

熔炼焊剂

表2 国产焊剂配用焊丝及用途

焊剂牌号	焊剂类型	配用焊丝	焊剂用途
HJ130	无锰高硅低氟	H10Mn2	焊接低碳结构钢、低合金钢，如16Mn等
HJ131	无锰高硅低氟	配Ni基焊丝	焊接镍基合金薄板结构
HJ230	低锰高硅低氟	H08MnA, H10Mn2	焊接低碳结构钢及低合金结构钢
HJ260	低锰高硅中氟	Cr19Ni9型焊丝	焊接不锈钢及轧辊堆焊
HJ330	中锰高硅低氟	H08MnA, H08Mn2, H08MnSi	焊接重要的低碳钢结构和低合金钢，如Q235A、15g、20g、16Mn、15MnVTi等
HJ430	高锰高硅低氟	H08A, H10Mn2A, H10MnSiA	焊接低碳结构钢及低合金钢
HJ431	高锰高硅低氟	H08A, H08MnA, H10MnSiA	焊接低碳结构钢及低合金钢
HJ433	高锰高硅低氟	H08A	焊接低碳结构钢
HJ150	无锰中硅中氟	配2Cr13或3Cr2W8、配铜焊丝	堆焊轧辊，焊铜
HJ250	低锰中硅中氟	H08MnMoA, H08Mn2MoA, H08Mn2MoVA	焊接15MnV、14MnMoV、18MnMoNb等
HJ350	中锰中硅中氟	配相应焊丝	焊接锰钼、锰硅及含镍低合金高强度钢
HJ172	无锰低硅高氟	配相应焊丝	焊接高铬铁素体热强钢(15Cr11CuNiWV)或其他高合金钢



比较	特点和应用																																					
烧 结 焊 剂	<p>烧结焊剂是继熔炼焊剂之后发展起来的新型焊剂。国外已广泛采用烧结焊剂焊接碳钢、高强度钢和高合金钢。黏结焊剂与烧结焊剂都属于非熔炼焊剂。黏结焊剂又称为低温烧结焊剂,烧结焊剂又称为高温烧结焊剂。由于黏结焊剂与烧结焊剂并无本质不同,因此可以将它们归为一类。</p> <p>烧结焊剂的主要优点是可以灵活地调整焊剂的合金成分。其特点如下:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)可以连续生产,劳动条件较好。成本低,一般为熔炼焊剂的1/3~1/2</li> <li>(2)焊剂碱度可在较大范围内调节。熔炼焊剂的碱度最高为2.5左右。烧结焊剂当其碱度高达3.5时,仍具有良好的稳弧性及脱渣性,并可交直流两用,烟尘量也很小。目前各国研究与开发的窄间隙埋弧焊接都是采用高碱度烧结焊剂</li> <li>(3)由于烧结焊剂碱度高,冶金效果好,所以能获得较好的强度、塑性和韧性的配合</li> <li>(4)焊剂中可加入脱氧剂及其他合金成分,具有比熔炼焊剂更好的抗锈能力</li> <li>(5)焊剂的松装密度较小,一般为0.9~1.2g/cm<sup>3</sup>,焊接时焊剂的消耗量较少。可以采用大的焊接电流值(可达2000A),焊接速度可高达150m/h,适用于多丝大电流高速自动埋弧焊工艺</li> <li>(6)烧结焊剂颗粒圆滑,在管道中输送和回收焊剂时阻力较小</li> <li>(7)缺点是吸潮性较大。焊缝成分易随焊接工艺参数变化而波动</li> </ol> <p>国产的烧结焊剂有以下几种:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)SJ101 是氟碱型烧结焊剂,属于碱性焊剂。为灰色圆形颗粒状。焊剂成分为:<math>w(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2) = 25\%</math>, <math>w(\text{CaO} + \text{MgO}) = 30\%</math>, <math>w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) = 25\%</math>, <math>w(\text{CaF}_2) = 20\%</math>。配合H08MnA、H08MnMoA、H08Mn2MoA、H10Mn2等焊丝可焊接多种低合金结构钢。焊接产品为锅炉、压力容器以及管道等重要结构,其焊缝金属具有较高的低温冲击韧度。它可用于多丝埋弧焊,特别适用于大直径容器的双面单道焊</li> <li>(2)SJ301 是硅钙型烧结焊剂,属于中性焊剂,呈黑色圆形颗粒状。焊剂成分(质量分数)为:<math>w(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2) = 40\%</math>, <math>w(\text{CaO} + \text{MgO}) = 25\%</math>, <math>w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) = 25\%</math>, <math>w(\text{CaF}_2) = 10\%</math>。配合H08MnA、H08MnMoA、H10Mn2等焊丝可焊接普通结构钢、锅炉钢及管线钢等。这种焊丝可用于多丝快速焊接,特别适用于双面单道焊。由于它属于短渣,可以焊接小直径的管线</li> <li>(3)SJ401 是硅锰型烧结焊剂,属于酸性焊剂,为灰褐色到黑色圆形颗粒状。焊剂成分(质量分数)为:<math>w(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2) = 25\%</math>, <math>w(\text{CaO} + \text{MgO}) = 10\%</math>, <math>w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) = 40\%</math>。配合H08A焊丝可以焊接低碳钢及某些低合金钢,多应用于矿山机械及机车车辆等金属结构的焊接。其焊接工艺性能良好,具有较高的抗气孔性能</li> <li>(4)SJ501 是铝钛型烧结焊剂,属于酸性焊剂,为深褐色圆形颗粒。焊剂成分(质量分数)为:<math>w(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2) = 30\%</math>, <math>w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) = 55\%</math>, <math>w(\text{CaF}_2) = 5\%</math>。配合H08A、H08MnA等焊丝可焊接低碳钢及Q345(16Mn)、Q390(15MnV)等低合金钢,多应用于船舶、锅炉、压力容器的焊接施工中。该焊剂具有较强的抗气孔能力,对少量铁锈及高温氧化膜不敏感</li> <li>(5)SJ502 是铝钛型烧结焊剂,属于酸性焊剂,为灰褐色圆形颗粒状。焊剂成分(质量分数)为:<math>w(\text{MnO} + \text{Al}_2\text{O}_3) = 30\%</math>, <math>w(\text{TiO}_2 + \text{SiO}_2) = 45\%</math>, <math>w(\text{CaO} + \text{MgO}) = 10\%</math>, <math>w(\text{CaF}_2) = 5\%</math>。配合H08A焊丝可以焊接重要的低碳钢及某些低合金钢的重要结构,例如锅炉、压力容器等。当焊接锅炉膜式水冷壁时,焊接速度可达70m/h以上,焊接质量良好</li> </ol> <p>总之,烧结焊剂由于具有松装密度比较小,熔点较高等特点,适用于大热量输入焊接。此外,烧结焊剂较容易向焊缝中过渡合金元素。因此,在焊接特殊钢种时宜选用烧结焊剂。熔炼焊剂与烧结焊剂的比较列于表3,可供选择焊剂时参考</p>																																					
	熔 炼 焊 剂 与 烧 结 焊 剂 的 特 点 比 较	<p><b>表 3</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">比较项目</th> <th>熔炼焊剂</th> <th>烧结焊剂</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">一般特点</td> <td>熔点较低,松装密度较大,颗粒不规则,但强度较高。焊剂的生产中耗电量较大,成本较高</td> <td>熔点较高,松装密度较小,颗粒圆滑较规则,但强度低,可连续生产,成本较低</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">焊接工艺性能</td> <td>高速焊接性能</td> <td>焊道均匀,不易产生气孔和夹渣</td> <td>焊道无光泽,易产生气孔、夹渣</td> </tr> <tr> <td>大规范焊接性能</td> <td>焊道凸凹显著,易粘渣</td> <td>焊道均匀,容易脱渣</td> </tr> <tr> <td>吸潮性能</td> <td>比较小,可不必再烘干</td> <td>比较大,必须烘干</td> </tr> <tr> <td>抗锈性能</td> <td>比较敏感</td> <td>不敏感</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">焊缝性能</td> <td>韧性</td> <td>受焊丝成分和焊剂碱度影响大</td> <td>比较容易得到高韧性</td> </tr> <tr> <td>成分波动</td> <td>焊接规范变化时成分波动较小</td> <td>成分波动较大</td> </tr> <tr> <td>多层焊性能</td> <td>焊缝金属的成分变动小</td> <td>焊缝成分变动较大</td> </tr> <tr> <td>脱氧性能</td> <td>较差</td> <td>较好</td> </tr> <tr> <td>合金剂的添加</td> <td>十分困难</td> <td>可以添加</td> </tr> </tbody> </table>	比较项目		熔炼焊剂	烧结焊剂	一般特点		熔点较低,松装密度较大,颗粒不规则,但强度较高。焊剂的生产中耗电量较大,成本较高	熔点较高,松装密度较小,颗粒圆滑较规则,但强度低,可连续生产,成本较低	焊接工艺性能	高速焊接性能	焊道均匀,不易产生气孔和夹渣	焊道无光泽,易产生气孔、夹渣	大规范焊接性能	焊道凸凹显著,易粘渣	焊道均匀,容易脱渣	吸潮性能	比较小,可不必再烘干	比较大,必须烘干	抗锈性能	比较敏感	不敏感	焊缝性能	韧性	受焊丝成分和焊剂碱度影响大	比较容易得到高韧性	成分波动	焊接规范变化时成分波动较小	成分波动较大	多层焊性能	焊缝金属的成分变动小	焊缝成分变动较大	脱氧性能	较差	较好	合金剂的添加	十分困难
比较项目		熔炼焊剂	烧结焊剂																																			
一般特点		熔点较低,松装密度较大,颗粒不规则,但强度较高。焊剂的生产中耗电量较大,成本较高	熔点较高,松装密度较小,颗粒圆滑较规则,但强度低,可连续生产,成本较低																																			
焊接工艺性能	高速焊接性能	焊道均匀,不易产生气孔和夹渣	焊道无光泽,易产生气孔、夹渣																																			
	大规范焊接性能	焊道凸凹显著,易粘渣	焊道均匀,容易脱渣																																			
	吸潮性能	比较小,可不必再烘干	比较大,必须烘干																																			
	抗锈性能	比较敏感	不敏感																																			
焊缝性能	韧性	受焊丝成分和焊剂碱度影响大	比较容易得到高韧性																																			
	成分波动	焊接规范变化时成分波动较小	成分波动较大																																			
	多层焊性能	焊缝金属的成分变动小	焊缝成分变动较大																																			
	脱氧性能	较差	较好																																			
	合金剂的添加	十分困难	可以添加																																			



## 对焊条、焊丝及焊剂工艺性能的要求

表 1-4-14

对焊条工艺性能的要求<sup>[53]</sup>

项目	含 义、 要 求、 影 响																																												
焊条的工艺性能是指焊条在焊接操作中的性能,它是衡量焊条质量的重要指标之一																																													
电弧稳定性	电弧稳定性是指电弧容易引燃,并且保持稳定燃烧(不产生断弧、飘移和磁偏吹等)的程度。它直接影响着焊接过程的连续性及焊接质量。焊接电源的特性、焊接工艺参数、焊条药皮类型及组成物等许多因素都影响着电弧的稳定性。焊条药皮中加入电离电位低的物质,可以降低电弧气氛的电离电位,因而就能提高电弧稳定性。由于造渣及压涂工艺的需要,一般在焊条药皮中都含有云母、长石、钛白粉或金红石等成分,所以,电弧稳定性都比较好。然而,低氢焊条由于药皮中萤石的反电离作用,在用交流电源焊接时电弧不能稳定燃烧,只有采用直流电源才能维持电弧连续稳定地燃烧。但在其药皮中加入稳弧剂(例如碳酸钾等)时,也可以在采用交流电源焊接时保持电弧的稳定性。当药皮的熔点过高或药皮太厚时,就容易在焊条端部形成较长的套筒,致使电弧易于熄灭																																												
焊缝成形	良好的焊缝成形要求表面光滑,波纹细密美观,焊缝的几何形状及尺寸正确。焊缝应圆滑地向母材过渡,余高符合标准,无咬边等缺陷。表面成形不仅影响美观,更重要的是影响焊接接头的力学性能。成形不好的焊缝会造成应力集中,引起焊接部件的早期破坏 焊缝成形的影响因素除操作原因以外,主要是熔渣凝固温度、高温熔渣的黏度、表面张力以及密度等。熔渣凝固温度是指由焊条药皮熔化的液态熔渣转变为固态时的温度。熔渣的凝固温度过高,就会产生压铁水的现象,严重影响焊缝成形,甚至产生气孔。凝固温度过低又使熔渣不能均匀地覆盖在焊缝表面,也会造成表面成形很差 高温时熔渣的黏度过大,将使焊接冶金反应缓慢,焊缝表面成形不良,并易产生气孔、夹杂等缺陷。如果熔渣黏度过小,将会造成熔渣对焊缝覆盖不均匀,失去应有的保护作用 液态熔渣的表面张力对于焊缝成形也有很大的影响,一般地,0.3~0.4N/m即可使熔化状态的熔渣均匀覆盖在焊缝表面上。当熔池结晶时,表面张力急剧增加,使焊缝具有良好的成形																																												
各种位置焊接的适应性	工艺性能良好的焊条能适应空间全位置焊接。不同类型的焊条在各种位置上焊接的适应性是不同的。几乎所有的焊条都能进行平焊,而横焊、立焊、仰焊就不是所有焊条都能胜任的。它的主要困难是:在重力的作用下熔滴不易向熔池过渡;熔池金属和熔渣向下滴以致不能形成正常的焊缝。因此,需适当增加电弧和气流吹力,以便把熔滴送向熔池并阻止金属和熔渣下滴。调节熔渣的熔点、黏度及表面张力也是解决焊条全位置焊接的技术措施。因为这不仅可以阻止熔渣及铁水的下滴,而且还能使高温熔渣尽快地凝固																																												
飞溅	焊接过程中由熔滴或熔池中飞出金属颗粒称为飞溅。飞溅不仅弄脏焊缝及其附近的部位,增加清理工作量,而且过多的飞溅还会破坏正常的焊接过程,降低焊条的熔敷效率。熔渣的黏度较大或焊条含水量过多,焊条偏心率过大等都会造成较大飞溅。增大焊接电流及电弧长度,飞溅也随之增加。此外,电源类型、熔滴过渡形态对于飞溅也有一定的影响。一般钛钙型焊条,电弧燃烧稳定,熔滴为细颗粒过渡,飞溅较小。低氢型焊条的电弧稳定性较差,熔滴多为大颗粒短路过渡,飞溅较大																																												
脱渣性	脱渣性是指焊后从焊缝表面清除渣壳的难易程度。它的影响因素有以下几方面: (1)熔渣的线胀系数 熔渣与焊缝金属的线胀系数相差越大,冷却时熔渣越容易与焊缝金属脱离。不同类型焊条的熔渣具有不同的线胀系数,钛型焊条 E4313(J421)熔渣与低碳钢的线胀系数相差最大,脱渣性最好。低氢型焊条 E4315(J427)熔渣与低碳钢的线胀系数相差较小,脱渣性较差 (2)熔渣的氧化性 在焊缝金属冷却结晶的开始阶段,尚未凝固的液体熔渣与处于高温状态的焊缝金属间,仍会发生一定的冶金反应。如果熔渣的氧化性很强就会使焊缝表面氧化,生成一层氧化膜,其主要成分是氧化铁(FeO),它的晶格结构是体心立方晶格。搭建在焊缝金属的 $\alpha$ -Fe体心立方晶格上,牢固地粘在焊缝金属表面上,导致脱渣困难 如果熔渣中含有能形成尖晶石型化合物的二价和三价金属氧化物(如 $Al_2O_3$ 、 $V_2O_5$ 、 $Cr_2O_3$ 等),可以与渣中的FeO、MnO、CaO、MgO等形成体心立方晶格的尖晶石型化合物 $MeO \cdot Me_2O_3$ 。尖晶石晶格常数与FeO的晶格常数相差不大,它们可以互相联成共同晶格。这样,熔渣与焊缝金属通过FeO薄膜的中介而牢固地联系起来,于是脱渣性恶化,焊缝金属表面出现粘渣现象。因此,含V、Al、Cr的合金钢焊接时脱渣性不好的原因就是这些合金元素在焊接过程中形成了氧化物。加强焊条的脱氧能力就可以明显地改善脱渣性 (3)熔渣的酥脆性 熔渣越酥脆就越容易清除。在平板表面堆焊时,一般脱渣都比较容易。然而,在角焊缝和深坡口底层焊接时,由于熔渣夹在钢板之间而使脱渣造成困难。钛型焊条熔渣的结构比较密实坚硬,在坡口中的脱渣性较差。低氢型焊条的脱渣性最不理想																																												
焊条熔化速度	焊条熔化速度反映着焊接生产率的高低,它可以用焊条的熔化系数 $\alpha_p$ 来表示。考虑到飞溅造成的损失,真正反映焊接生产的指标是焊条的熔敷系数 $\alpha_H$ ,即单位时间内单位电流所能熔敷在焊件上的金属质量。 $\alpha_p$ 与 $\alpha_H$ 的关系是: $\alpha_H = \alpha_p(1 - \psi)$ 式中, $\psi$ 为损失系数 表1是几种焊条熔化系数与熔敷系数的实测数据。不同类型焊条的熔化系数是不同的,造成这个差别的主要原因是它们的药皮组成不同。药皮成分影响电弧电压,电弧气氛的电离电位越低,电弧电压就越低,电弧的热量也就越少,因此焊条的熔化系数就越小。药皮成分影响熔滴过渡形态,调整药皮成分可以使熔滴由短路过渡变为颗粒过渡,从而提高了焊条的熔化系数;药皮中含有进行放热反应的物质时,由于化学反应热加速焊条熔化,也提高了焊条的熔化系数,此外,药皮中加入铁粉,可以提高焊条的熔化系数																																												
药皮发红	药皮发红是指焊条在使用到后半段时,由于药皮温升过高而发红、开裂或药皮脱落的现象。这时药皮就失去保护作用及冶金作用。药皮发红引起焊接工艺性能恶化,严重影响焊接质量,也造成了材料的浪费。解决药皮发红的技术关键就是调整焊条药皮配方,改善熔滴过渡形态、提高焊条的熔化系数、减少电阻热以降低焊条的表面温升																																												
焊接烟尘	在焊接电弧的高温作用下,焊条端部的液态金属和熔渣激烈蒸发。同时,在熔滴和熔池的表面上也发生蒸发。由于蒸发而产生的高温蒸气从电弧区被吹出后迅速被氧化和冷凝,变为细小的固态粒子。分散飘浮于空气中,弥散于电弧周围,就形成了焊接烟尘。低碳钢和低合金钢焊条一般均采用低碳钢焊芯,因此焊接烟尘主要取决于药皮成分。不同药皮类型焊条的发尘速度及发尘量范围如表2所示。低氢型焊条的发尘速度和发尘量均高于其他类型的焊条。烟尘中含有各种致毒物质,污染环境,危害焊工健康																																												
几种焊条的 $\alpha_p$ 与 $\alpha_H$	表 1																																												
	表 2																																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>焊条型号</th> <th>焊条牌号</th> <th><math>\alpha_p/g \cdot (A \cdot h)^{-1}</math></th> <th><math>\alpha_H/g \cdot (A \cdot h)^{-1}</math></th> <th rowspan="2">发尘速度 和发尘量</th> <th rowspan="2">焊条类别</th> <th rowspan="2">发尘速度/<math>mg \cdot min^{-1}</math></th> <th rowspan="2">发尘量/<math>g \cdot kg^{-1}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E4303</td> <td>J422</td> <td>9.16</td> <td>8.25</td> <td rowspan="5">钛钙型焊条</td> <td rowspan="5">200~280</td> <td rowspan="5">6~8</td> </tr> <tr> <td>E4301</td> <td>J423</td> <td>10.1</td> <td>9.7</td> </tr> <tr> <td>E4320</td> <td>J424</td> <td>9.1</td> <td>8.2</td> <td rowspan="2">高钛型焊条</td> <td rowspan="2">280~320</td> <td rowspan="2">7~9</td> </tr> <tr> <td>E4315</td> <td>J427</td> <td>9.5</td> <td>9.0</td> </tr> <tr> <td>E5015</td> <td>J507</td> <td>9.06</td> <td>8.49</td> <td>钛铁钼型焊条</td> <td>300~360</td> <td>8~10</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>低氢型焊条</td> <td>360~450</td> <td>10~20</td> </tr> </tbody> </table>	焊条型号	焊条牌号	$\alpha_p/g \cdot (A \cdot h)^{-1}$	$\alpha_H/g \cdot (A \cdot h)^{-1}$	发尘速度 和发尘量	焊条类别	发尘速度/ $mg \cdot min^{-1}$	发尘量/ $g \cdot kg^{-1}$	E4303	J422	9.16	8.25	钛钙型焊条	200~280	6~8	E4301	J423	10.1	9.7	E4320	J424	9.1	8.2	高钛型焊条	280~320	7~9	E4315	J427	9.5	9.0	E5015	J507	9.06	8.49	钛铁钼型焊条	300~360	8~10					低氢型焊条	360~450	10~20
焊条型号	焊条牌号	$\alpha_p/g \cdot (A \cdot h)^{-1}$	$\alpha_H/g \cdot (A \cdot h)^{-1}$	发尘速度 和发尘量	焊条类别					发尘速度/ $mg \cdot min^{-1}$	发尘量/ $g \cdot kg^{-1}$																																		
E4303	J422	9.16	8.25			钛钙型焊条	200~280	6~8																																					
E4301	J423	10.1	9.7																																										
E4320	J424	9.1	8.2	高钛型焊条	280~320				7~9																																				
E4315	J427	9.5	9.0																																										
E5015	J507	9.06	8.49	钛铁钼型焊条	300~360				8~10																																				
				低氢型焊条	360~450	10~20																																							

表 1-4-15

对焊剂工艺性能及质量的要求<sup>[54]</sup>

项 目	要 求
良好的冶金性能	焊接时配以适当的焊丝和合理的焊接工艺,焊缝金属能得到适宜的化学成分、良好的力学性能(与母材相适应的强度和较高的塑性、韧性)和较强的抗冷裂纹和热裂纹的能力
良好的工艺性	电弧燃烧稳定,熔渣具有适宜的熔点、黏度和表面张力。焊道与焊道间及焊道与母材间充分熔合,过渡平滑,没有明显咬边,脱渣容易,焊缝表面成形良好,以及焊接过程中产生的有害气体少
一定的颗粒度和颗粒强度	多次回收使用。焊剂的颗粒度分两种:普通颗粒度为 2.5~0.45mm(8~40 目),用于普通埋弧焊和电渣焊;细颗粒度为 1.25~0.28mm(14~60 目),适用于半自动或细丝埋弧焊。其中小于规定粒度 60 目以下的细颗粒不大于 5%,规定粒度 14 目以上的粗颗粒不大于 2%
较低的含水量、良好的抗潮性	出厂焊剂含水量的质量分数不得大于 0.10%。焊接在温度 25℃、相对湿度 70% 的环境条件下,放置 24 h,其吸潮率不应大于 0.15%
S、P 含量较低	一般为 $S \leq 0.06\%$ , $P \leq 0.08\%$
机械夹杂物(碳粒、生料、铁合金凝珠及其他杂质)的含量	不得大于焊剂质量分数的 0.30%
电渣焊用焊剂的要求	熔渣电导率应适宜 若电导率过低,焊接无法进行;若电导率过高,电阻热过低,影响电渣焊过程的顺利进行
	熔渣黏度适宜 黏度过小,流动性过大,易造成熔渣和金属流失,使焊接过程中断 黏度过大、熔点过高,易形成咬边和夹渣
	熔渣开始蒸发温度适宜 熔渣开始蒸发的温度取决于熔渣中最易蒸发的成分,例如氟化物的沸点低,使熔渣的开始蒸发温度降低,易产生电弧,导致电渣焊过程的稳定性降低,并易产生飞溅
其他要求和说明	<p>通常情况下,焊剂中的 <math>\text{SiO}_2</math> 含量增多时,电导率降低,黏度增大;氟化物和 <math>\text{TiO}_2</math> 增多时,电导率增大,黏度降低</p> <p>要获得高质量的焊接接头,焊剂除符合以上要求外,还必须针对不同的钢种选用合适牌号的焊剂及配用焊丝。通常主要根据被焊钢材的类别及对焊接接头性能的要求来选择焊丝,并选择适当的焊剂相配合。一般情况下,对低碳钢、低合金高强钢的焊接,应选用与母材强度相匹配的焊丝;对耐热钢、不锈钢的焊接,应选用与母材成分相匹配的焊丝;堆焊时应根据对堆焊层的技术要求、使用性能等,选择合金系统及相近成分的焊丝,并选用合适的焊剂</p> <p>还应根据所焊产品的技术要求(如坡口和接头形式、焊后加工工艺等)和生产条件,选择合适的焊剂与焊丝的组合,必要时应进行焊接工艺评定,检测焊缝金属的力学性能、耐腐蚀性、抗裂性以及焊剂的工艺性能,以考核所选焊接材料是否合适</p> <p>焊剂的焊接工艺性能和化学冶金性能是决定焊缝金属化学成分和性能的主要因素之一,采用同样的焊丝和同样的焊接参数,而配用的焊剂不同,所得焊缝的性能将有很大的差别。一种焊丝可与多种焊剂合理组合,无论是在低碳钢还是在低合金钢上都有这种合理的组合</p>

不同药皮类型焊条工艺性等比较<sup>[53]</sup>

表 1-4-16

酸性焊条与碱性焊条性能对比

酸性焊条	碱性焊条
药皮成分氧化性强	药皮成分还原性强
对水、锈产生气孔的敏感性不大,焊条在使用前经 150 ~ 200℃ 烘焙 1h,若不受潮,也可不烘	对水、锈产生气孔的敏感性较大,要求焊条使用前经 300 ~ 400℃ 烘焙 1 ~ 2h
电弧稳定,可用交流或直流焊接	由于药皮中含有氟化物使电弧稳定性变坏,必须采用直流焊接,只有当药皮中加稳弧剂后才可交直流两用
焊接电流较大	焊接电流较小,较同规格的酸性焊条小 10% 左右
可长弧操作	必须短弧操作,否则容易引起气孔
合金元素过渡效果差	合金元素过渡效果好
焊缝成形较好,除氧化铁型外,熔深较小	焊缝成形尚好,容易堆高,熔深较大
熔渣结构呈玻璃状	熔渣结构呈结晶状
脱渣较容易	坡口内第一层脱渣较困难,以后各层脱渣较容易
焊缝常、低温冲击性能一般	焊缝常、低温冲击韧度较高
除氧化铁型外,抗裂性能较差	抗裂性能好
熔敷金属中的含氢量高,容易产生白点,影响塑性	熔敷金属中含氢量低
焊接时烟尘较少	焊接时烟尘较多

表 1-4-17

各种药皮类型的结构钢焊条工艺性能

焊条牌号	J × × 1	J × × 2	J × × 3	J × × 4	J × × 5	J × × 6	J × × 7
药皮 主要成分	TiO <sub>2</sub> 45% ~ 60%、硅酸盐、 锰铁、有机物	TiO <sub>2</sub> 30% ~ 45%、硅酸盐、 锰铁	钛铁矿 > 30%、硅酸盐、 锰铁、有机物	氧化铁 > 30%、硅酸盐、 锰铁、有机物	有机物 > 15%、TiO <sub>2</sub> 、硅 酸盐	碳酸盐 > 30%、萤石、铁 合金、稳弧剂	碳酸盐 > 30%、萤石、铁合 金,不加稳弧剂
熔渣特性	酸性、短渣		酸性、较短渣	酸性、长渣	酸性、短渣	碱性、短渣	
电弧稳定性	柔和、稳定	稳定				较差,交、直流	较差,直流
电弧吹力	大		稍大		很大	稍大	
飞溅	少		中		多	较多	
焊缝外观	纹细、美观	美观			粗	稍粗	
熔深	小	中		稍大	大	中	
咬边	小		中	小		小	
焊脚形状	凸	平	平或稍凸	平		平或凹	
脱渣性	好					较差	
熔化系数	中		稍大	大		中	
尘	少		稍多	多	少	多	
平焊	易						
立向上焊	易			不可	极易	易	
立向下焊	易		困难		易		
仰焊	稍易		易		极易	稍难	

表 1-4-18

各种药皮类型结构钢焊条的冶金性能

焊条 类型 (牌号)	所属渣系	熔渣 碱度 $B_1$	焊缝金属化学成分(质量分数)/%					焊缝金属力学性能			
			C	Si	Mn	S	P	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$A_{KV}$ /J
E4313 (J421)	钛型 $TiO_2$ $SiO_2-CaO-Al_2O_3$	0.40 ~ 0.50	0.07 ~ 0.10	0.15 ~ 0.20	0.25 ~ 0.35	0.018 ~ 0.030	0.02 ~ 0.032	430 ~ 490	20 ~ 28	60 ~ 65	常温, 50 ~ 750℃ $\geq$ 47
E4303 (J422)	钛钙型 $TiO_2-CaO-SiO_2$	0.65 ~ 0.76	0.07 ~ 0.08	0.10 ~ 0.15	0.35 ~ 0.5	0.015 ~ 0.025	0.02 ~ 0.030	430 ~ 490	22 ~ 30	60 ~ 70	0℃ - 20℃ 70 ~ 115 $\geq$ 47
E4301 (J423)	、钛铁矿型 $TiO_2-FeO-MnO-SiO_2$	1.06 ~ 1.30	0.07 ~ 0.10	<0.10	0.4 ~ 0.50	0.016 ~ 0.028	0.022 ~ 0.035	420 ~ 480	20 ~ 30	60 ~ 68	0℃ 60 ~ 110
E4320 (J424)	氧化铁型 $FeO-MnO-SiO_2$	1.02 ~ 1.40	0.08 ~ 0.10	约 0.10	0.52 ~ 0.8	0.018 ~ 0.025	0.030 ~ 0.05	430 ~ 470	25 ~ 30	60 ~ 68	常温 60 ~ 110
E4311 (J425)	纤维素型 $FeO-MnO-SiO_2$	1.10 ~ 1.34	0.08 ~ 0.10	0.06 ~ 0.10	0.25 ~ 0.40	0.016 ~ 0.022	0.025 ~ 0.035	430 ~ 490	20 ~ 28	60 ~ 65	-30℃ 100 ~ 130
E4316 (J426)	低氢碱性 $CaO-CaF_2-SiO_2$	1.60 ~ 1.80	0.07 ~ 0.10	0.35 ~ 0.45	0.70 ~ 1.10	0.015 ~ 0.025	0.025 ~ 0.028	470 ~ 540	22 ~ 30	68 ~ 72	-30℃ 80 ~ 180
E4315 (J427)	低氢碱性 $CaO-CaF_2-SiO_2$	1.60 ~ 1.80	0.07 ~ 0.10	0.35 ~ 0.45	0.70 ~ 1.1	0.012 ~ 0.025	0.020 ~ 0.025	470 ~ 540	24 ~ 35	70 ~ 75	-20℃ - 30℃ 80 ~ 230 80 ~ 180
焊条 类型 (牌号)	焊缝中气体			Mn/S	Mn/Si	氧化物- 硅酸盐 夹杂总 含量/%	抗热 裂性	抗气孔性	备注		
	$\varphi(N)$ /%	$\varphi(O)$ /%	$[H]$ /mL $\cdot (100g^{-1})$								
E4313 (J421)	0.025 ~ 0.03	0.06 ~ 0.08	25 ~ 30	8 ~ 12	1.5 ~ 1.8		一般	大电流或焊接含硫、含硅较高的钢时, 气孔敏感性强。对铁锈、水分不太敏感	以 Mn 脱氧 为主		
E4303 (J422)	0.024 ~ 0.030	0.06 ~ 0.1	25 ~ 30	13 ~ 16	2.5 ~ 3.0	0.109 ~ 0.131	尚好	大电流或焊接含硫、含硅较高的钢时, 气孔敏感性强。对铁锈、水分不太 敏感。药皮氧化性强,易出现 CO 气 孔,脱氧性增强,易出现氢气孔			
E4301 (J423)	0.025 ~ 0.030	0.08 ~ 0.11	24 ~ 30	12 ~ 18	4 ~ 5	0.134 ~ 0.203	尚好	一般,与 E4303 差不多	氧化性较 强、合金过渡 系数较低		
E4320 (J424)	0.02 ~ 0.025	0.10 ~ 0.12	26 ~ 30	14 ~ 28	6 ~ 8		较好	较好,对铁锈、水分不敏感			
E4311 (J425)	0.01 ~ 0.020	0.06 ~ 0.09	30 ~ 40	8 ~ 14	3.5 ~ 4.0	约 0.10	一般	氢白点敏感性强,对铁锈、水分等不 太敏感	属于造气 保护		
E4316 (J426)	0.01 ~ 0.022	0.025 ~ 0.035	8 ~ 10	30 ~ 38	2 ~ 2.5	0.028 ~ 0.090	良好	对铁锈、水分很敏感,有铁锈时易产 生 CO 气孔;有水锈时易出现氢气孔。 长弧焊时易出现气孔	正接或交流 电源时易出现 气孔		
E4315 (J427)	0.007 ~ 0.020	0.025 ~ 0.035	6 ~ 8	30 ~ 38	2 ~ 2.5				正接时易出 现气孔		

## 选择焊条的基本原则

表 1-4-19

同类钢材焊接时选择焊条原则

考 虑 因 素	选 择 原 则
焊件的力学性能和化学成分	<p>(1) 根据等强度的观点,选择满足母材力学性能的焊条,或结合母材的可焊性,改用非等强度而焊接性好的焊条,但考虑焊缝结构型式,以满足等强度、等刚度要求</p> <p>(2) 使其合金成分符合或接近母材</p> <p>(3) 母材含碳、硫、磷有害杂质较高时,应选择抗裂性和抗气孔性能较好的焊条。建议选用氧化钛钙型、钛铁矿型焊条。如果尚不能解决,可选用低氢型焊条</p>
焊件的工作条件和使用性能	<p>(1) 在承受动载荷和冲击载荷情况下,除保证强度外,对冲击韧性、伸长率均有较高要求,应依次选用低氢型、钛钙型和氧化铁型焊条</p> <p>(2) 接触腐蚀介质的,必须根据介质种类、浓度、工作温度以及区分是一般腐蚀还是晶间腐蚀等,选择合适的不锈钢焊条</p> <p>(3) 在磨损条件下工作时,应区分是一般还是受冲击磨损,是常温还是在高温下磨损等</p> <p>(4) 非常温条件下工作时,应选择相应的保证低温或高温力学性能的焊条</p>
焊件的结构特点和受力状态	<p>(1) 形状复杂、刚性大或大厚度的焊件,焊缝金属在冷却时收缩应力大,容易产生裂缝,必须选用抗裂性强的焊条,如低氢型焊条、高韧性焊条或氧化铁型焊条</p> <p>(2) 受条件限制不能翻转的焊件,有些焊缝处于非平焊位置必须选用能全位置焊接的焊条</p> <p>(3) 焊接部位难以清理的焊件,选用氧化性强、对铁锈、氧化皮和油污不敏感的酸性焊条</p>
施焊条件及设备	<p>在没有直流焊机的地方,不宜选用限用直流电源的焊条,而应选用用于交直流电源的焊条。某些钢材(如珠光体耐热钢)需焊后进行消除应力热处理,但受设备条件限制(或本身结构限制)不能进行热处理时,应改用非母体金属材料焊条(如奥氏体不锈钢焊条),可不必焊后热处理</p> <p>在狭小或通风条件差的场合,选用酸性焊条或低尘焊条;对焊接工作量大的结构,有条件时应尽量采用高效率焊条,如铁粉焊条,高效率重力焊条等,或选用底层焊条、立向下焊条之类的专用焊条</p>
改善焊接工艺和保护工人身体健康	在酸性焊条和碱性焊条都可以满足要求的地方,应尽量采用工艺性能好的酸性焊条
劳动生产率和经济合理性	在使用性能相同的情况下,应尽量选择价格较低的酸性焊条,而不用碱性焊条,在酸性焊条中又以钛型、钛钙型为贵,根据我国矿藏资源情况,应大力推广钛铁矿型药皮的焊条

表 1-4-20

异种钢、复合钢板焊接时选择焊条原则

焊 接 材 料	原 则
一般碳钢和低合金钢的焊接	<p>(1) 应使焊接接头的强度大于被焊钢材中最低的强度</p> <p>(2) 应使焊接接头的塑性和冲击韧性不低于被焊钢材</p> <p>(3) 为防止焊接裂缝,应根据焊接性较差的母材选取焊接工艺</p>
低合金钢和奥氏体不锈钢的焊接	<p>(1) 一般选用含铬镍比母材高,塑性、抗裂性较好的奥氏体不锈钢焊条</p> <p>(2) 对于不重要的焊件,可选用与不锈钢相应的焊条</p>
不锈钢复合钢板的焊接	<p>(1) 推荐使用基层、过渡层、复合层三种不同性能的焊条</p> <p>(2) 一般情况下,复合钢板的基层与腐蚀性介质不直接接触,常用碳钢、低合金钢等结构钢,所以基层的焊接可选用相应等级的结构钢焊条</p> <p>(3) 过渡层处于两种不同材料的交界处,应选用含铬镍比复合钢板高的塑性、抗裂性较好的奥氏体不锈钢焊条</p> <p>(4) 复合层直接与腐蚀性介质接触,可选用相应的奥氏体不锈钢焊条</p>

表 1-4-21

焊丝选用要点

考虑因素	说 明
总的要求	焊丝的选择要根据被焊钢材种类、焊接部件的质量要求、焊接施工条件(板厚、坡口形状、焊接位置、焊接条件、焊后热处理及焊接操作等)、成本等综合考虑
根据被焊结构的钢种	对于碳钢及低合金高强钢,主要是按“等强匹配”的原则,选择满足力学性能要求的焊丝 对于耐热钢的耐候钢,主要是侧重考虑焊缝金属与母材化学成分的一致或相似,以满足对耐热性和耐腐蚀性等方面的要求
根据被焊部件的质量要求	选择焊丝与焊接条件、坡口形状、保护气体混合比等工艺条件有关,要在确保焊接接头性能(特别是冲击韧性)的前提下,选择达到最大焊接效率及降低焊接成本的焊接材料
根据现场焊接位置	对应于被焊工件的板厚选择所使用的焊丝直径,确定所使用的电流值,参考各生产厂的产品介绍资料及使用经验,选择适合于焊接位置及使用电流的焊丝牌号
根据焊接工艺性能	对于碳钢及低合金钢的焊接(特别是半自动焊),主要是根据焊接工艺性能来选择焊接方法及焊接材料。焊接工艺性包括电弧稳定性、飞溅颗粒大小及数量、脱渣性、焊缝外观与形状等

实芯焊丝 和药芯焊丝 气体保护焊 的焊接工艺 性的对比	焊接工艺性能			实芯焊丝		CO <sub>2</sub> 焊接,药芯焊丝	
				CO <sub>2</sub> 焊接	Ar + CO <sub>2</sub> 焊接	熔渣型	金属粉型
	操作难易	平焊	超薄板( $\delta \leq 2\text{mm}$ ) 薄板( $\delta < 6\text{mm}$ ) 中板( $\delta > 6\text{mm}$ ) 厚板( $\delta > 25\text{mm}$ )	稍差 一般 良好 良好	优 优 良好 良好	稍差 优 良好 良好	稍差 优 良好 良好
	横角焊	单层 多层	一般 一般	良好 良好	优 优	良好 良好	
	立焊	向下 向下	良好 良好	优 良好	优 优	稍差 稍差	
	焊缝外观	平焊 横角焊 立焊 仰焊	一般 稍差 一般 稍差	优 优 优 良好	优 优 优 优	良好 良好 一般 稍差	
	其他	电弧稳定性 熔深 飞溅 脱渣性 咬边	一般 优 稍差 — 优	优 优 优 — 优	优 优 优 优 优	优 优 优 稍差 优	

几种常用钢材的焊条选择举例<sup>[54]</sup>

表 1-4-22

钢种	选 用 说 明
低碳钢	<p>碳钢的焊接性与钢中含碳量多少密切相关,含碳量越高,钢的焊接性越差。用于焊接的碳钢,含碳量不超过 0.9%。几乎所有的焊接方法都可以用于碳钢结构的焊接,其中以手弧焊、埋弧焊和 CO<sub>2</sub> 气体保护焊应用最为广泛</p> <p>碳钢焊条的焊缝强度通常小于 540MPa(55kgf/mm<sup>2</sup>),我国碳钢焊条国家标准 GB/T 5117—1995 中只有 E43 × × 系列及 E50 × × 系列两种型号,即抗拉强度只有 420MPa(43kgf/mm<sup>2</sup>)和 490MPa(50kgf/mm<sup>2</sup>)两个强度级别。目前焊接中大量使用的是 490MPa 级以下的焊条。焊接低碳钢(碳含量小于 0.25%)时大多使用 E43 × × (J42 ×) 系列的焊条</p> <p>常用低碳钢焊接时焊接材料的选择如下。其中,一般焊接结构可选用酸性焊条,承受动载荷或复杂的厚壁结构及低温使用时选用碱性焊条</p>

钢种		选 用 说 明										
常用低碳钢的焊接材料选择	钢号	手工电弧焊			埋弧焊	CO <sub>2</sub> 气体保护焊	电渣焊					
		焊条牌号	焊条型号									
	Q235	J421, J422, J423	E4313, E4303, E4301		H08A, H08MnA + HJ431, HJ430	H08MnSi H08Mn2Si H08MnSiA H08Mn2SiA	H10MnSiA H10Mn2A H10Mn2MoA + HJ350					
	Q255	J424, J426, J427	E4320, E4316, E4315									
	Q275	J426, J427, J506, J507	E4316, E4315, E5016, E5015									
	08, 10	J422, J423, J424	E4303, E4301, E4320									
	15, 20	J426, J427, J507	E4316, E4315, E5015									
	20g	J422, J426, J427	E4303, E4316, E4315									
	22g	J506, J507	E5016, E5015									
25	J426, J427	E4316, E4315										
ZG230-450	J506, J507	E5016, E5015										
各类低碳钢焊条工艺性能的比较	牌号	型号	药皮类型	熔渣特性	焊条工艺性能							
					电弧稳定性	焊缝成形	脱渣性	焊接位置	熔敷系数	飞溅	熔深	发尘量 /g·kg <sup>-1</sup>
	J421	E4313	高钛钾型	酸性短渣	好	美观	好	全位置	一般	少	较浅	5~8
	J422	E4303	钛钙型	酸性短渣	较好	美观	好	全位置	一般	少	较浅	5~8
	J423	E4301	钛铁矿型	酸性(介于长短渣之间)	较好	整齐	一般	全位置	较高	一般	一般	6~9
	J424	E4320	氧化铁型	酸性长渣	一般	整齐	一般	平焊	高	较多	较深	8~12
	J425	E4310	纤维素型	酸性短渣	一般	波纹粗	好	全位置	高	较多	较深	—
	J426	E4316	低氢钾型	碱性短渣	较差	波纹粗	较差	全位置	一般	一般	稍深	14~20
J427	E4315	低氢钠型	碱性短渣	一般	波纹粗	较差	全位置	一般	一般	稍深	11~17	
各类低碳钢焊条冶金性能综合比较	牌号	型号	药皮类型	熔敷金属力学性能			抗裂性	抗气孔性	氧化物-硫化物夹杂总量/%			
				抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta$ /%	冲击功 $A_{KV}$ /J						
	J421	E4313	钛型	440~490	20~28	98~147	较差	大电流或焊接含Si、S较高的钢材时,气孔敏感性较强,对铁锈、水分不太敏感	0.109~0.131			
	J422	E4303	钛钙型	440~490	20~30	123~196	尚好					
	J423	E4301	钛铁矿型	420~480	20~30	123~196	尚好					
	J424	E4320	氧化铁型	430~470	25~30	110~160	较好	较好,对铁锈、水分不敏感	0.134~0.203			
	J425	E4310	纤维素型	430~490	20~28	98~147	较好	氢白点敏感性较强,对铁锈、水分不太敏感	0.10			
	J426	E4316	低氢钾型	460~510	22~32	245~368	良好	对铁锈、水分很敏感,引弧处及长弧焊时易出气孔,直流正接焊时也易出气孔	0.028~0.090			
J427	E4315	低氢钠型	460~510	24~35	270~390	良好						



续表

钢种	选用说明					
中碳钢、高碳钢	<p>焊接中碳钢(C=0.25%~0.60%)和高碳钢(C&gt;0.60%)时,应选用杂质含量较低且具有一定脱硫能力的碱性低氢型焊条。在个别情况下,也可采用钛铁矿型或钛钙型焊条,但要有严格的工艺措施配合。中碳钢焊接时焊条的选择如下</p> <p>中碳钢焊接,由于钢材含碳量较高,焊接裂纹倾向增大,可选用低氢型焊条或焊缝金属具有较高塑、韧性的焊条,而且大多数情况需要预热和缓冷处理。高碳钢焊接则必须采取严格的预热、后热措施,以防止产生焊接裂纹</p> <p>高碳钢焊接时焊缝与母材性能完全相同比较困难,高碳钢的抗拉强度大多在675MPa(69kgf/mm<sup>2</sup>)以上,焊接材料的选用应视产品设计要求而定。强度要求高时,可用E7015(J707)或E6015(J607)焊条;强度要求不高时,可用E5016(J506)或E5015(J507)焊条;或者分别选用与以上强度等级相当的低合金钢焊条。所有焊接材料都应当是低氢型的</p> <p>在我国,焊接低碳钢用的钛钙型焊条E4303(J422)的消耗量最大,约占全部焊条产量的80%以上</p>					
	中碳钢焊接时焊条的选择	钢号	含碳量/%	焊接性	焊条型号(牌号)	
					不要求等强度	要求等强度
		35	0.32~0.40	较好	E4303, E4301(J422, J423)	E5016, E5015
		ZG270-500	0.31~0.40	较好	E4316, E4315(J426, J427)	(J506, J507)
		45	0.42~0.50	较差	E4303, E4301, E4316(J422, J423, J426)	E5516, E5515
		ZG310-570	0.41~0.50	较差	E4315, E5016, E5015(J427, J506, J507)	(J556, J557)
55	0.52~0.60	较差		E6016, E6015		
ZG340-640	0.51~0.60	较差		(J606, J607)		
低合金高强度钢	<p>低合金高强度钢根据强度级别及热处理状态,又可分为热轧及正火钢、低碳调质钢、中碳调质钢等。低合金钢一般依钢材的强度等级来选用相应的焊条,同时,还需根据母材焊接性、焊接结构尺寸、坡口形状和受力情况等的影响,进行综合考虑。在冷却速度较大,使焊缝强度增高、焊接接头容易产生裂纹的不利情况下,可选用比母材强度低一级的焊条</p> <p>焊接热轧及正火钢时,选择焊接材料的主要依据是保证焊缝金属的强度、塑性和冲击韧性等力学性能与母材相匹配,不必考虑焊缝金属的化学成分与母材的一致性。焊接厚大构件时,为了防止出现焊接冷裂纹,可选用焊缝金属强度低于母材强度的焊接材料。焊缝强度过高,将导致焊缝金属塑、韧性及抗裂性能的降低</p> <p>低碳调质钢产生冷裂纹的倾向较大,因此严格控制焊接材料中的氢是十分重要的。用于低碳调质钢的焊条应是低氢型或超低氢型焊条。中碳调质钢焊接为确保焊缝金属的塑、韧性和强度,提高焊缝的抗裂性,应采用低碳合金系统,尽量降低焊缝金属的硫、磷杂质含量。对于需焊后热处理的构件,还应考虑焊缝金属合金成分应与母材相近</p>					
	低合金耐热钢	<p>低合金耐热钢要在高温下长期工作,为了保证耐热钢的高温性能,必须向钢中加入较多的合金元素(如Cr、Mo、V、Nb等)。在选择焊接材料时,首先要保证焊缝性能与母材匹配,具有必要的热强性,因此要求焊缝金属的化学成分应尽量与母材一致。如果焊缝金属与母材化学成分相差太大,高温长期使用后,接头区域某些元素发生扩散现象(如碳元素在熔合线附近的扩散),使接头高温性能下降</p> <p>耐热钢焊条一般可按钢种和构件的工作温度来选用。选配耐热钢焊接材料的原则是焊缝金属的合金成分和性能与母材相应指标一致,或应达到产品技术条件提出的最低性能指标。为了提高焊缝金属的抗热裂能力,焊缝中的碳含量应略低于母材的碳含量,一般应控制在0.07%~0.15%之间。由于钢中碳和合金元素的共同作用,耐热钢焊接时极易形成淬硬组织,焊接性较差。为此耐热钢一般焊前预热,焊后进行回火处理</p> <p>近年来,在薄壁管焊接中普遍采用了氩弧焊打底,酸性焊条手弧焊盖面的工艺,大大提高了焊接质量。但这类焊条抗裂性次于低氢型焊条,在单独使用或用于厚壁管焊接时,应选择低氢型耐热钢焊条</p>				
低温钢		<p>低温钢是在-40~-196℃的低温范围工作的低合金专用钢材。按化学成分来划分,低温钢主要有含镍钢和无镍钢两类。国外一般使用含镍低温钢,如3.5Ni钢、5Ni钢和9Ni钢等;我国多使用无镍低温钢</p> <p>选择低温钢焊接材料首先应考虑接头使用温度、韧性要求以及是否要进行焊后热处理等,尽量使焊缝金属的化学成分和力学性能(尤其是冲击韧性)与母材一致。经焊后热处理后,焊缝仍应具有较高的低温韧性。由于对焊缝金属的低温韧性提出了严格的要求,低温钢焊条药皮均采用低氢型。焊接时要求尽量采用小的焊接线能量,避免焊缝金属及近缝区形成粗晶组织而降低低温韧性。含镍低温钢除手弧焊外,主要采用氩弧焊进行焊接,采用与母材相同成分的焊丝,保护气体为Ar或在Ar中加入2%的O<sub>2</sub>或5%~10%的CO<sub>2</sub>,以改善焊缝成形</p>				



钢种	选 用 说 明
不 锈 钢	<p>奥氏体不锈钢含 Cr14% ~ 25% , 含 Ni8% ~ 25% , 以 Cr18Ni8 为代表的系列主要用于耐蚀条件, 以 Cr25Ni20 为代表的系列则主要用于耐高温场合。选择奥氏体不锈钢焊接材料时, 首先要保证焊缝金属具有与母材一致的耐蚀性能, 即焊缝金属主要化学成分要尽量接近母材, 其次还应保证焊缝具有良好的抗裂性和综合力学性能</p> <p>Cr13 系列及以 Cr12 为基的多元合金化的钢属马氏体不锈钢, 这类钢具有较大的淬硬倾向。马氏体不锈钢焊接时出现的问题主要是冷裂纹及近缝区淬硬脆化。马氏体不锈钢焊接材料的选择有两条途径: 一是为了满足使用性能要求, 保证焊缝金属与母材的化学成分一致, 使焊后热处理后二者力学性能及使用性能(如耐蚀性)相接近, 这时必须采用同质填充材料; 二是在无法采用预热或焊后热处理的情况下, 为了防止裂纹, 采用奥氏体型焊接材料, 使焊缝成为奥氏体组织, 这种情况下焊缝强度难以与母材匹配</p> <p>含 Cr17% ~ 28% 的高铬钢属铁素体不锈钢, 主要用作热稳定钢。铁素体不锈钢在焊接加热和冷却过程中不发生相变, 焊后即使快速冷却也不会产生淬硬组织。铁素体不锈钢焊接时出现的问题主要是近缝区晶粒易于长大, 形成粗大铁素体, 热影响区韧性下降导致脆化。铁素体不锈钢焊接应选择杂质(C、N、S、P 等)含量低的焊接材料, 同时对焊缝进行合理的合金化, 以便改善其焊接性和韧性。根据对焊接接头性能的要求, 铁素体不锈钢焊接时采用的焊接材料可以是与母材成分相近的高铬铁素体焊条或焊丝, 也可以是铬镍奥氏体焊条或焊丝。采用奥氏体焊接材料时焊前不预热, 也不进行焊后热处理</p>
铸 铁	<p>根据碳的存在形态, 铸铁可分类为白口铸铁、灰口铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁和球墨铸铁五种。铸铁的特点是碳与硫、磷杂质含量高, 组织不均匀, 塑性低, 属于焊接性不良的材料。铸铁焊接时出现的主要问题, 一是焊接接头区域易出现白口及淬硬组织, 二是易出现裂纹</p> <p>铸铁焊接(或焊补)大致分为冷焊、半热焊和热焊三种, 焊接材料的选择分为同质焊缝和异质焊缝两类</p> <p>对焊后需要为灰口铸铁焊缝的, 可选用 Z208、Z248 焊条, 对焊缝表面需经加工的, 可选用 Z308、Z408、Z418、Z508 焊条, 其中 Z308 最易加工; 对焊缝表面不需加工的, 可选用 Z100、Z116、Z117、Z607、Z612 焊条; 对球墨铸铁和高强度铸铁, 可选用 Z408、Z418、Z258 焊条。铸铁焊补除了合理选用焊接材料外, 还必须根据工件要求采取适当的工艺措施, 如预热、分段焊、大(小)电流、瞬时点焊、锤击、后热等, 才能取得满意的效果</p>
堆 焊	<p>堆焊金属类型很多, 反映出堆焊金属化学成分、显微组织及性能的很大差异。堆焊工件及工作条件十分复杂, 堆焊时必须根据不同要求选用合适的焊条。不同的堆焊工件和堆焊焊条要采用不同的堆焊工艺, 才能获得满意的堆焊效果, 堆焊中最常碰到的问题是裂纹, 防止开裂的方法主要是焊前预热、焊后缓冷, 焊接过程中还可采用锤击等方法消除焊接应力。堆焊金属的硬度和化学成分, 一般是指堆焊三层以上的堆焊金属而言</p> <p>堆焊焊条的药皮类型一般有钛钙型、低氢钠型、低氢钾型和石墨型。为了使堆焊金属具有良好的抗裂性及减少焊条中合金元素的烧损, 大多数堆焊焊条采用低氢型药皮</p> <p>低氢钠型药皮主要组成物是钙或镁的碳酸盐矿石和氟化物。熔渣为碱性, 流动性好, 焊接工艺性能一般, 应短弧操作。焊接时要求焊条药皮很干燥。该类型焊条具有良好的抗裂性能和力学性能。适用于直流焊接。低氢钾型具备低氢钠型焊条的各种特性并可交流施焊。为了用于交流, 在药皮中加入稳弧组成物, 还增加硅酸钾作黏合剂</p>
有 色 金 属	<p>有色金属焊条主要指的是镍及镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条和镁及镁合金焊条等。</p> <p>镍及镍合金焊条主要用于焊接镍及高镍合金, 也可用于异种金属的焊接及堆焊, 焊接接头的坡口尺寸及焊接工艺接近铬镍奥氏体不锈钢焊接工艺。镍及镍合金的导热性差, 焊接时容易过热引起晶粒长大和热裂纹, 而且气孔敏感性很强。因此焊条中应含有适量的 Al、Ti、Mn、Mg 等脱氧剂, 焊接操作时选用小电流, 控制弧长, 收弧时注意填满弧坑, 保持较低的层间温度</p> <p>铜及铜合金焊条用途较广, 除了用紫铜焊条焊接紫铜外, 目前采用较多的是用青铜焊条焊接各种铜及铜合金、铜与钢等。同时, 由于铜及铜合金具有良好的耐蚀性、耐磨性等, 因此也常用于堆焊轴承等承受金属磨损的零件和耐腐蚀(如耐海水腐蚀)的零件, 铜及铜合金焊条也可用来焊补铸铁</p>

钢种	选用说明				
	镁及镁合金焊接时一般可选用与母材化学成分相同的焊丝,有时为了防止在近缝区沿晶界析出低熔点共晶体,增大金属流动性,减少裂纹倾向,也可采用与母材不同的焊丝,如焊接 MB8 时,选用 MB3 焊丝。下面列出了国产常用镁合金的焊接材料				
	合金牌号	适用焊丝	合金牌号	适用焊丝	
	MB1	MB1	MB7	MB7	
	MB2	MB2	MB8	MB3	
	MB3	MB3	MB15	MB15	
	MB5	MB5	ZM5	ZM5	
	MB6	MB6			
常用镁合金的焊接性及适用焊丝	合金牌号	结晶区间/℃	焊接性	适用焊丝	
	M2M	646~649	良	M2M	
	AZ40M	565~630	良	AZ40M	
	AZ41M	545~620	良	AZ41M	
	AZ61M	510~615	可	AZ61M	
	AZ62M	454~613	—	—	
	AZ80M	430~605	可	AZ80M	
	ME20M	646~649	良	ME20M	
ZK61K	515~635	尚可	ZK61M		
焊接时坡口形式 <sup>[53]</sup>					
有色金属 [48.53]	接头名称	坡口形式	适用厚度 $T/\text{mm}$	几何尺寸/mm $a$ $c$ $b$ $p$ $\alpha/(\text{°})$	焊接方法
	不开坡口对称		$\leq 3.0$	$0 \sim 0.2T$ —   —   —   —	钨极手工或自动氩弧焊
	外角接		$> 1.0$	— $0.2T$ —   —   —	钨极手工或自动氩弧焊(加填充焊丝)
	搭拉		$> 1.0$	—   — $3 \sim 4T$ —   —	钨极手工或自动氩弧焊
	V形坡口对称		$3 \sim 8$	$0.5 \sim 2.0$ —   — $0.5 \sim 1.5$ $50 \sim 70$	用可折垫板加填充焊丝的钨极手工或自动氩弧焊
	X形坡口对称		$\geq 20$	$1.0 \sim 2.0$ —   — $0.8 \sim 1.2$ $60$	加填充焊丝的钨极手工或自动氩弧焊
说明:1. 不开坡口的对接接头,如仅在一面施焊时,应在其背面加工坡口,以防止产生不熔合或夹渣缺陷,坡口尺寸见右图 2. 附图中 $p = T/3, \alpha = 10^\circ \sim 30^\circ$					
补焊坡口形式 补焊时,先将缺陷清除干净,然后加工成坡口,一般形式如下: 					

镁及镁合金的焊接方法有气焊、钨极氩弧焊、熔化、极氩弧焊、真空电子束焊、激光焊、电阻焊、钎焊、搅拌摩擦焊和螺柱焊

氩弧焊是镁合金最常用的焊接方法,热影响区尺寸和变形比气焊小,焊缝的力学性能和耐蚀性能比气焊高

氩弧焊一般用交流电源,焊接电流的选择主要决定于合金成分、板料厚度和反面有无垫板等,如 MB8 比 MB3 具有较高熔点,MB8 比 MB3 的焊接电流大  $1/6 \sim 1/7$ ,为了减小过热,防止烧穿,焊接镁合金时,应尽可能实施快速焊接,如焊接镁合金 MB8,当板厚 5mm, V 形坡口,反面用不锈钢成形垫板时,焊速可达  $35 \sim 45\text{cm}/\text{min}$  以上。

镁及镁合金焊接和补焊时,坡口设计极为重要,下表列出了相应的坡口形式

几种常用钢材埋弧焊焊剂与焊丝的选配举例<sup>[54]</sup>

表 1-4-23

钢号	烧结焊剂与配用焊丝		说明	熔炼焊剂与配用焊丝		说明
	烧结焊剂	配用焊丝		熔炼焊剂	配用焊丝	
Q235 (A3)	SJ401, SJ403, SJ402 (薄板、中厚板)	H08A, H08E	SJ401 抗气孔能力强, SJ402 抗锈能力强, 适于薄板和中厚板的焊接; 其中 SJ402 更适于薄板的高速焊接	HJ431, HJ430	H08A, H08MnA	选用高锰高硅低氟焊剂时, 目前常用 H08A + HJ431 (HJ430、HJ433、HJ434) 组合。焊剂中的 MnO 和 SiO <sub>2</sub> 在高温下与 Fe 反应, Mn 和 Si 得以还原, 过渡到焊接熔池中, 冷却时起脱氧剂和合金剂的作用, 保证焊缝金属的力学性能。HJ431 与 HJ430 相比, 电弧稳定性改善, 但抗锈能力和抗气孔能力降低; HJ433 含 CaF 较低, SiO <sub>2</sub> 较高, 有较高的熔化温度及黏度, 焊缝成形好, 适宜薄板的快速焊接; HJ434 由于加入了 TiO <sub>2</sub> , 且 CaO 和 CaF <sub>2</sub> 含量略高, 其抗锈能力、脱渣性更好
Q255 (A4)						
Q275 (A5)						
15, 20	SJ301, SJ302, SJ502, SJ501, SJ503 (中厚度板)	H08A, H08E, H08MnA	(H08A、H08E)+(SJ301、SJ302) 焊接工艺性能良好, 熔渣属“短渣”性质, 焊接时不下淌, 适于环境的焊接, 其中 SJ302 的脱渣性、抗吸潮性和抗裂性更好, 焊剂的消耗量低	HJ430	H08MnA, H10Mn2	选用中锰、低锰或无锰的高硅低氟焊剂时, 应选配含锰较高的焊丝, 才能保证在焊接过程中有足够数量的锰、硅过渡到熔池, 保证焊缝的脱氧和力学性能。常用的焊丝与焊剂的组合有: (H08MnA、H08Mn2、H10Mn2Si、H10Mn2) + (HJ330、HJ230、HJ130)
25, 30						
20g, 22g						
20R						
常用低碳钢						
常用热 低合金钢	屈服强度 /MPa	焊剂	配用焊丝	说明	低合金钢埋弧焊焊剂与焊丝选配	
09Mn2, 09Mn2Si, 09Mn	294	HJ430, HJ431, SJ301	H08A, H08MnA	①用于薄板 ②用于不开坡口对接 ③用于中板开坡口对接 ④用于厚板深坡口	(1) 低合金高强度焊剂与焊丝的选配 埋弧焊焊接低合金钢时, 主要用于热轧正火钢。选用焊剂与焊丝时应保证焊缝金属的力学性能, 应选用与母材强度相当的焊接材料, 并综合考虑焊缝金属的冲击韧性、塑性及焊接接头的抗裂性。焊缝金属的强度不宜过高, 通常控制不低于或略高于母材强度, 过高会导致焊缝金属的冲击韧性、塑性及焊接接头的抗裂性降低 对调质钢, 为避免热影响区韧性和塑性的降低, 一般不采用粗丝、大电流、多丝埋弧焊, 采用陶质焊剂 572F-6 + HJ350 的混合焊剂 (其中 HJ350 占 80% ~ 82%), 配合 H18CrMoA 焊丝可实现 30CrMnSiNi2A 的埋弧焊接	
16Mn, 16MnCu, 14MnNb	343	SJ501, SJ502	H08Mn, H08MnA <sup>①</sup>			
		HJ430, HJ431, SJ301	H08A <sup>②</sup>			
		HJ430, HJ431, SJ301	H08MnA, H10Mn2 <sup>③</sup>			
		HJ350	H10Mn2, H08MnMoA <sup>④</sup>			

续表

说明

(2) 耐热钢焊剂与焊丝的选配  
耐热钢按其合金成分的含量可分为低合金、中合金、高合金耐热钢。

1) 低合金耐热钢焊剂与焊丝的选配

低合金耐热钢埋弧焊在锅炉、压力容器、管道及汽轮机转子等耐高温工件的焊接生产上应用广泛。焊剂与焊丝组合的基本原则是焊缝金属的合金成分、力学性能与母材基本一致或达到产品所要求的性能；为提高焊缝金属的抗热裂性能，应控制焊接材料的含碳量略低于母材

Cr-Mo 耐热钢焊缝金属如果含碳过低，长时间的焊后热处理会使铁素体形成，使韧性下降。Cr-Mo 耐热钢的碳含量一般控制在 0.08% ~ 0.12% 范围内，在 Cr-Mo 较低时，碳含量最好控制在 0.08% 左右；Cr-Mo 较高时，碳含量最好控制在 0.10% 左右。这样焊缝金属具有较高的冲击韧性和与母材相当的蠕变强度。焊缝金属的含硅量也应合理控制，过高的硅含量会增大回火脆性。Cr-Mo 较低时，硅含量宜在 0.1%；Cr-Mo 较高时，硅含量最好控制在 0.15% ~ 0.35%。磷含量应严格控制，在 0.012% 以下

2) 中合金耐热钢焊剂与焊丝的选配

中合金耐热钢(如 5Cr-0.5Mo, 9Cr-1Mo, 9Cr-2Mo 等)比低合金耐热钢具有更大的淬硬倾向，对焊接冷裂纹更为敏感，因此焊剂、焊丝的选用原则为：在保证焊接接头与母材具有相同的高温蠕变强度和抗氧化性的前提下，提高其抗冷裂性。厚壁工件的窄间隙焊接时应选用低氢型碱性焊剂，或采用高碱度的烧结焊剂，如 SJ601、SJ605、SJ103 和 SJ104 等。焊丝的选用有两种方案，一种是选用高 Cr-Ni 奥氏体钢焊丝，能有效地防止焊接接头热影响区裂纹；另一种是选用与母材成分基本相同的焊丝，可得到同质焊缝金属的接头，容易满足使用要求

(3) 低温钢埋弧焊焊剂与焊丝的选配

低温钢要求在较低的使用温度下具有足够的韧性及抗脆性破坏的能力。为此，应选用碱性焊剂，焊丝应严格控制其含碳量，S、P 含量应尽量低。目前常选用烧结焊剂配合 Mn-Mo 或含 Ni 焊丝；如 Cr-Mo 焊丝，配合非熔炼焊剂，通过焊剂向焊缝过渡微量 Ti、B 合金元素，以保证焊缝金属的低温韧性。焊接时采用较小的线能量，一般在 28 ~ 45 kJ/cm，其目的在于控制焊缝及近缝区粗晶组织的形成，从而提高焊接接头的低温韧性

钢号	屈服强度 /MPa	焊剂	配用焊丝	
常用热轧、正火低合金钢	392	HJ430, HJ431	H08MnA <sup>⑤</sup>	
		HJ430, HJ431	H10Mn2, H10MnSi <sup>⑥</sup>	
		HJ250, HJ350, SJ101	H08MnMoA <sup>⑦</sup>	
		HJ431	H10Mn2	
低合金管钱钢	414	HJ350, HJ250, HJ252, SJ101	H08MnMoA, H08Mn2MoA	
		SJ102	H08MnMoA	
		HJ250, HJ252, HJ350, SJ101	H08Mn2MoA, H08Mn2MoVA, H08Mn2NiMo	
		HJ431	H08Mn2MoA	
低合金管钱钢	414	SJ101	H08MnMoA	
		SJ102	H10Mn2	
		SJ102, SJ301	H08MnMoA	
		SJ101	H08Mn2MoA	
低合金耐热钢	0.5Cr-0.5Mo	—	配用焊丝	
		HJ350	H08MnMoA	
	1Cr-0.5Mo, 1.25Cr-0.5Mo	12CrMo	HJ350, SJ103	H08CrMoA, H10CrMoA
		15CrMo	HJ350, SJ103	H08CrMoA, H10CrMoA, H13CrMoA
	1Cr-0.5MoV	12CrMoV	HJ350, HJ250, SJ103	H08CrMoV
		Cr2Mo	HJ350, SJ103, SJ104	H08Cr3MoMnA, H13Cr2Mo1A
	2Cr-MoWVTiB	12Cr2MoWVTiB	HJ250	H08Cr2MoWVNbB
		14MnMoV, 18MnMoNb	HJ350, SJ603, SJ101	H08Mn2MoA
	Mn-Ni-Mo	13MnNiMoNb	HJ350, SJ603, SJ101	H08Mn2NiMo

低合金钢

续表

		工作温度 /℃	焊剂	配用焊丝	说明
低合金钢	常用	16MnDR	SJ101, SJ603	H10MnNiMoA, H06MnNiMoA	
	低温	DC50	SJ603	H10Mn2Ni2MoA	
		09MnTiCuREDR	SJ102, SJ603	H08MnA, H08Mn2	
		09Mn2VDR, 2.5Ni 钢	SJ603	H08Mn2Ni2A	
		3.5Ni 钢	SJ603	H05Ni3A	
不锈钢	高铬铁素体不锈钢	钢号	焊剂	配用焊丝	<p>不锈钢埋弧焊剂与焊丝的选配</p> <p>不锈钢按其金相组织通常分为马氏体不锈钢、铁素体不锈钢、奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体双相不锈钢、沉淀硬化型不锈钢五类,焊接性能差别很大。其中奥氏体-铁素体双相不锈钢和沉淀硬化型不锈钢很少采用埋弧焊进行焊接。</p> <p>采用埋弧焊对不锈钢进行焊接时,焊剂与匹配焊丝的选配如下。</p> <p>(1) 马氏体不锈钢焊剂与焊丝的选配</p> <p>马氏体耐热钢淬硬倾向大,防止冷裂纹是焊接中的首要问题。应选用 Cr 含量与母材相同的同质焊丝,以保证高温使用性能,并选用高碱度低氢型焊剂。对于常用的马氏体耐热钢(如 1Cr13、2Cr13 等),采用的焊丝与焊剂组合为:(H1Cr13、H0Cr14) + (SJ601、SJ605、SJ608)</p> <p>马氏体耐热钢焊缝和热影响区焊后状态为硬而脆的马氏体组织,在焊接应力的作用下易产生冷裂纹,因此常采用预热、后热和焊后立即高温回火等工艺措施;由于马氏体不锈钢的导热性低,易过热,在热影响区产生淬硬组织,降低焊接接头的性能,一般不采用埋弧焊。如采用埋弧焊,应选用碱性焊剂以降低焊缝中的含氢量,降低产生冷裂纹的倾向。例如,1Cr13 不锈钢可采用(HJ151、SJ601) + (H1Cr13、H0Cr14、H0Cr21Ni10、H1Cr24Ni13、H0Cr26Ni21)等焊丝</p> <p>(2) 铁素体不锈钢焊剂与焊丝的选配</p> <p>铁素体不锈钢(如 0Cr11Ti、00Cr12、0Cr13Al、1Cr17 等)由于对过热较敏感,一般采用低热量输入的焊接方法,不宜采用大焊接线能量的埋弧焊</p> <p>焊接高铬铁素体不锈钢应注意的主要问题是晶间裂纹和脆性问题。由于在焊接热循环的作用下引起的热影响区晶粒长大和碳、氮化物在晶界的聚集,焊接区的塑性和韧性都很低,采用同成分的焊接材料,易产生裂纹,焊前需预热。采用奥氏体焊缝,可与铁素体母体等强,且塑性较好,但焊前不预热和焊后不进行热处理</p>
		1Cr17, 1Cr17Ti, 1Cr17Mo	SJ601, SJ701, SJ608, HJ171, HJ151	H1Cr17, H0Cr21Ni10, H1Cr24Ni13, H0Cr26Ni21	
		1Cr25Ti, 1Cr28		H0Cr26Ni21, H1Cr26Ni21, H1Cr24Ni13	
		00Cr18Ni10N		H00Cr21Ni10	
		0Cr18Ni9, 1Cr18Ni9		H0Cr19Ni9, H0Cr21Ni10, H1Cr19Ni10Nb	
	常用奥氏体不锈钢	0Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni9Ti	SJ601, SJ605, SJ608, SJ701, HJ107, HJ151, HJ172, HJ260	H1Cr19Ni10Nb, H0Cr21Ni10Ti, H0Cr21Ni10Nb	
		0Cr18Ni11Nb		H0Cr19Ni10Nb	
		1Cr18Ni12Mo2Ti		H0Cr19Ni12Mo2	
		00Cr17Ni14Mo2		H00Cr19Ni12Mo2	
		0Cr17Ni12Mo2		H00Cr18Ni14Mo2	
0Cr18Ni14MoCu2		H0Cr19Ni11Mo3, H00Cr19Ni12Mo2Cu2			

续表

钢号	焊剂	配用焊丝	说明
常用奥氏体不锈钢			
0Cr18Ni13Si4	SJ601, SJ605 SJ608, SJ701, HJ107, HJ151, HJ172, HJ260	H0Cr19Ni11Mo3	<p>(3) 奥氏体不锈钢焊剂与焊丝的选配</p> <p>奥氏体不锈钢较马氏体、铁素体不锈钢容易焊接,埋弧焊方法通常适用于中厚板的焊接,有时也用于薄板。在焊接过程中 Cr、Ni 元素的烧损可通过焊剂或焊丝中合金元素的过渡来补充。由于埋弧焊熔深大,应注意防止焊缝中心区热裂纹的产生和热影响区耐腐蚀性的降低</p> <p>奥氏体不锈钢热裂纹敏感性大,这就要求其焊缝成分大致与母材成分匹配。同时应控制焊缝金属中的铁素体含量,对长期在高温下工作的焊件,焊缝中的铁素体含量应不大于 5%。大多数奥氏体耐热钢都可采用埋弧焊,应选用低硅、低硫、低磷、成分与母材相近的焊丝;对 Cr、Ni 含量大于 20% 的奥氏体钢,为提高抗裂性能,可选用高 Mn(6%~8%) 焊丝。焊剂应选用碱性或中性焊剂,以防止向焊缝增硅。奥氏体不锈钢专用焊剂增硅极少,还可过渡合金、补偿元素烧损,可以满足焊缝性能和化学成分的要求,如 SJ601、SJ601Cr 等</p> <p>常用奥氏体不锈钢埋弧焊焊接时应选择细焊丝和较小的焊接线能量</p> <p>弥散硬化耐热钢是通过热处理获得高强度的高合金钢,这类钢不仅具有耐热性和抗氧化性,而且具有较高的塑性和断裂韧性。埋弧焊可用焊接厚度小于 13mm 的弥散硬化耐热钢。如不要求焊缝金属与母材等强,可使用 Cr-Ni 奥氏体钢焊丝,否则必须使用特种焊丝和焊剂。特别</p> <p>是含 Al、Ti 等元素的钢,焊接时应采用无氧化性的焊剂,以保证焊丝和母材中的铝大部分过渡到焊缝金属中</p>
0Cr19Ni13Mo3		H0Cr25Ni13Mo3	
1Cr20Ni14Si2		H1Cr25Ni13	
0Cr23Ni13		H1Cr25Ni13	
0Cr25Ni20		H1Cr25Ni20	
SI7400(17-4PH), SI5500(15-5PH)	SJ601, SJ605, SJ608	H0Cr19Ni9	<p>焊缝金属中</p>
1Cr17Ni7Al, X17H5M3, S3500(AM350)		H1Cr25Ni20, ERNiCr-3, AWS5774B	
0Cr15Ni25Ti2Mo- A1VB, A-286,		H1Cr25Ni13Mo3, H1Cr25Ni20, ERNiCr-Fe-6	
1Cr22Ni20Co20- Mo3W3NbN			
不锈 钢			

(1) 马氏体时效钢焊剂与焊丝的选配

马氏体时效钢指以铁、镍为基础,含碳 ≤ 0.03%、镍 18%~25%,并含有能产生时效强化的合金元素,具有高屈服强度、高断裂韧性以及良好的工艺性能,主要用于航空、航天等构件,有 Ni18%、Ni20%、Ni25% 三种类型。焊接时应注意焊接热影响区的软化、焊缝金属的强度、韧性、热裂纹以及应力腐蚀等问题。采用与母材化学成分相同的填充金属,其焊缝金属为低碳马氏体,时效后可得到硬化;但是焊丝中应含有较高的 Ti。应采用不含硅酸盐的碱性焊剂,普通焊剂不宜用来焊接马氏体时效钢。常用碱性焊剂的化学组分举例如下: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 37%, CaCO<sub>3</sub> 28%, CaF<sub>2</sub> 15%, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14%, Ti-Fe6%

(2) 高锰钢焊剂与焊丝的选配

高锰钢是指含碳 0.9%~1.3% 和含锰 11%~14% 的奥氏体铸钢,焊接性差,焊接时会在热影响区析出碳化物引起脆化和在焊缝上产生热裂纹,特别是在热影响区产生液化裂纹。焊接时采用冷焊并使用小的焊接线能量,一般不用埋弧焊,但有时采用埋弧焊焊接道岔,常用焊丝与焊剂组合为: H0Cr16Mn16 + (HJ107、HJ151)

其他高合金钢

母材类别及牌号	焊剂	焊丝	说明
常用耐腐蚀合金	HJ131	镍基合金焊丝	焊接相应镍基合金的薄板
	InconFlux4号	因康镍 62	用于因康镍 600 合金焊接
		因康镍 82	因康镍 600、因康洛依 800 以及几种合金间的异种钢焊接,还适于这几合金与不锈钢、碳钢间的异种钢焊接
		因康镍 625	适于因康镍 601、625、因康洛依 825 的对接接头的焊接或在钢上堆焊,也可用于 9Ni 的对接埋弧焊
有色金属	InconFlux5号	蒙乃尔 60	适于蒙乃尔 400、404 的堆焊与对接焊,也适于这两种合金间的焊接及其对钢的异种金属的焊接
	InconFlux6号	蒙乃尔 67	用于铜镍合金的对接接头
		镍 61	用于镍 200、镍 201 的对接接头的同质和异质埋弧焊及钢上的堆焊
纯铜	HJ430	HSCu	可用于因康镍 600、601 和因康洛依 800 合金的焊接及其相互间的异种钢焊接及在钢上的堆焊,大于三层的堆焊需用 InconFlux4 号焊剂
黄铜	HJ431, HJ260, HJ150, SJ570, SJ671	HSCuZn-3, HSCuSi, HSCuSn	(1) 镍基合金焊剂与焊丝的选配 镍及镍基耐腐蚀合金是化学、石油、有色冶金、航空航天、核能工业中耐高温、高压、高浓度或混有氧化物等各种苛刻腐蚀环境的比较理想的金属结构材料。镍基耐腐蚀合金按合金中主要元素 Ni、Cu、Cr、Fe 及 Mo 含量进行划分,通常分为 Ni-Ni-Cu(蒙乃尔)、Ni-Mo-(Fe)(哈斯特洛依)、Ni-Cr-Fe(因康镍)、Ni-Cr-Mo、Ni-Cr-Mo-Cu 与 Ni-Fe-Cr(因康洛依)等合金系列。其中的固溶强化镍基耐腐蚀合金适于埋弧焊,特别是对于厚大板材,焊接稀释率较高、电弧稳定、焊缝表面光滑。普通焊剂不适用于焊接镍基耐腐蚀合金,需采用专用焊剂。
青铜	QS16.5-0.4, QA19-2, QS13-1	HSCuSn, HSCuAl, HSCuSi	(2) 铜及其合金焊剂与焊丝的选配 埋弧焊可用于纯铜、锡青铜、铝青铜、硅青铜的焊接,也可用于黄铜及铜-钢的焊接。采用直流反接,适于厚度 6~30mm 的中、厚板长焊缝的焊接,厚度 20mm 以下的工件可在不预热和不开坡口的工艺下获得优良的接头。针对焊接时易出现焊道成形差、焊缝和热影响区热裂倾向大、气孔倾向严重及接头性能下降的问题,无论是单面焊还是双面焊,反面均需采用各种形式的垫板、铜引弧板和收弧板等
铜-钢	HJ431, HJ260, HJ150, SJ570, SJ671	HSCu, HSCuSi	焊剂常采用 HJ430、HJ431、HJ260、HJ150、SJ570、SJ671 等,其中 HJ431、HJ430 焊接工艺性好,但氧化性较强,易向焊缝过渡 Si、Mn 等元素,造成焊接接头导电性、耐腐蚀性及塑性降低。HJ260、HJ150 氧化性较弱,增 Si、增 Mn 倾向小,与普通紫铜焊丝配合,焊缝金属的伸长率达 38%~45%,适于接头性能要求高的焊件。SJ570 适于厚度 20mm 以下铜板的焊接, SJ671 适于厚度 20~40mm 无氧铜板的焊接



焊条的型号和牌号

表 1-4-24

国标焊条类型及型号

类别	型号	型号 1,2 位数字	型号 3,4 位数字			型号 3,4 位数字组合	型号意义及示例
		熔敷金属抗拉强度 /MPa(kgf/mm <sup>2</sup> )	药皮及电源类型				
			数字	药皮	电源		
碳钢焊条 (摘自GB/T 5117—1995)	E43 × ×	≥420 (43)	00	特殊型		1,4,5	
			01	钛铁矿型	交流或直流正、反接	1,2	
	E50 × ×	≥490 (50)	03	钛钙型		1,2,3,4	
			10	高纤维钠型	直流反接	1,2,3,4,5,6	
低合金钢焊条 (摘自GB/T 5118—1995)	E50 × × - ×	≥490 (50)	11	高纤维钾型	交流或直流反接	1,2,3,4,5,6	
			12	高钛钠型	直流正接	1	
	E55 × × - ×	≥540 (55)	13	高钛钾型	交流或直流正、反接	1,4,5,6	
			14	铁粉钛型		2	
	E60 × × - ×	≥590 (60)	15	低氢钠型	直流反接	1,2,3,4,10,5,6,7,8,9,11	
			16	低氢钾型		1,2,3,4,10,5,6,7,8,9,11	
	E70 × × - ×	≥690 (70)	18	铁粉低氢钾型	交流或直流反接	2,3,4,5,7,8,9,10,11	
					直流反接		
	E75 × × - ×	≥740 (75)	18M	铁粉低氢型	直流反接	2	
			20	氧化钛型	交流或直流正、反接	1,3	
	22				直流正接	1	
	E85 × × - ×	≥830 (85)	23	铁粉钛钙型	交流或直流正、反接	1,2	
			24	铁粉钛型		1,2	
	E90 × × - ×	≥880 (90)	27	铁粉氧化铁型	交流或直流正接	1,2,3	
直流反接							
E100 × × - ×	≥980 (100)	28	铁粉	交流或直流反接	1,2		
		48	低氢型		2		

说明: 1. 第三位数字表示焊条的焊接位置,“0”及“1”表示焊条适用于全位置焊接(即可平、立、仰、横焊),“2”表示焊条适用于平焊及平角焊,“4”表示焊条适用于向下立焊;在第四位数字后附加字母表示有特殊规定的焊条,如“R”表示耐吸潮焊条;附加“-1”表示冲击性能有特殊规定的焊条  
 2. 低合金钢焊条的后缀字母为熔敷金属化学成分的分类代号,并以短划“-”与前面数字分开。如还有附加化学成分时,附加化学成分直接用元素符号表示,并以短划“-”与前面后缀字母分开,表示如表中示例



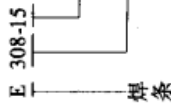
类别	型号	ED后的元素符号为熔敷金属化学成分	短划线下二位数字表示			碳化钨管状焊条型号说明	型号意义及示例
			药皮及电源类型				
			数字	药皮	电源		
堆焊焊条(摘自GB/T 984-2001)	EDP × × - × ×	普通低合金钢	00	特殊型	交流或直流	(1) E—焊条, D—表示用于表面耐磨堆焊; ED字母后的字母“G”和元素符号“WC”表示碳化钨管状焊条, 其后用数字1, 2, 3表示芯部碳化钨粉化学成分分类代号, 见下表A, 短划“-”后面为碳化钨粉粒度代号, 用通过筛网和不通过筛网的两个目数表示, 以斜线“/”相隔, 或只是通过筛网的一个目数表示 (2) 下面表中B碳化钨粉的粒度 ① 型号中的“×”代表“1”或“2”或“3” ② 允许通过(-)筛网的 ≤ 5%, 不通过(+)筛网的 ≤ 20%	E D PCrMo - Al - 03 药皮类型为钛钙型, 采用交流或直流焊接 细分代号 普通低合金钢类型, 含铬钼合金元素用于表面耐磨堆焊 焊条 E D GWC - 1 - 12/13 碳化钨粉粒度分布为 1.70mm ~ 600μm (-12 ~ +30目) 碳化钨粉化学成分分类代号 管状焊条芯部填充碳化钨粉 表面耐磨堆焊 焊条 药皮类型和焊接电流种类不要求限时, 型号可以简化, 如 EDPCrMo-Al-03 可简化成 EDPCrMo-Al
	EDR × × - × ×	热强合金钢					
	EDCr × × - × ×	高铬钢					
	EDMn × × - × ×	高锰钢					
	EDCrMn × × - × ×	高铬锰钢					
	EDCrNi × × - × ×	高铬镍钢					
	EDD × × - × ×	高速钢	15	低氢钠型	直流		
	EDZ × × - × ×	合金铸铁					
	EDZCr × × - × ×	高铬铸铁	16	低氢钾型	交流或直流		
	EDCoCr × × - × ×	钴基合金					
	EDW × × - × ×	碳化钨	08	石墨型			
	EDT × × - × ×	特殊型					
EDNi × × - × ×	镍基合金						

A 碳化钨粉的化学成分	型号	C	Si	Ni	Mo	Co	W	Fe	Th
	EDGWC1-××	3.6~4.2	≤0.3	≤0.6	≤0.3	≥94.0	≤1.0	≤0.01	
EDGWC2-××	6.0~6.2	≤0.3	≤0.6	≤0.3	≥91.5	≤0.5	≤0.01		
EDGWC3-××	由供需双方商定								
B 碳化钨粉的粒度	型号	粒度分布							
	EDGWC×-12/30	1.70mm~600μm(-12~+30目)							
	EDGWC×-20/30	650~600μm(-20~+30目)							
	EDGWC×-30/40	600~425μm(-30~+40目)							
	EDGWC×-40	<425μm(-40目)							
EDGWC×-40/120	425~125μm(-40~+120目)								

EDGWC型为碳化钨管状堆焊焊条。WC1型粉是WC和W<sub>2</sub>C的混合物。WC2型粉是WC结晶体。焊缝的硬度一般在30~60HRC, 耐磨性能极为优良, 适用于低冲击的耐磨场合, 如钻井机、挖掘机等。某些工具也用这类焊条进行表面堆焊, 如油井钻头、农用工具等

不锈钢焊条型号表示

(1) GB/T 983—1995 表示法



表示碱性药皮，适于全位置，直流反极性焊接  
 表示熔敷金属化学成分代号（为焊条型号），如有特殊要求的化学成分，该化学成分用化学元素符号表示，放在数字的后面，其后若有字母 L 表示含碳量较低，H 表示含碳量较高，R 表示含磷、硅含量较低

碱性或其他类型药皮，适于平焊和横焊位置，交流或直流反极性焊接  
 熔敷金属中 Ni 和 Mo 的含量有特殊要求  
 熔敷金属化学成分分类代号

(2) GB 983—1985 表示法

表 1-4-25

类别	型号	熔敷金属化学成分		型号意义	药皮及电源类型	
		熔敷金属中含碳量的近似值	含碳量/%		数字	药皮
不锈钢焊条 (按 GB/T 983—1995)	E00-19-10Mo 2-X X	00	≤0.04	E X -X X -X X X X ... -X X 药皮类型及焊接电源 元素符号，表示熔敷金属中含其他元素的近似值。元素平均含量低于 1.5% 时，不标注其含量；当其等于或大于 1.5%、2.5%、3.5%、... 时，一般在元素符号后面相应标注 2、3、4、... 等数字 熔敷金属中含镍量的近似值的百分之几 熔敷金属中含铬量的近似值的百分之几 熔敷金属中含碳量的近似值的百分之几 焊条	铁粉低氢型	交流或直流反接 (堆焊条为交流或直流)
		0	≤0.10			
	E0-5Mo-X X	1	≤0.15		高纤维钾型	交流或直流反接
		2	≤0.20			
	E1-13-X X	3	≤0.45		高纤维钠型	直流反接 (堆焊条 15 为直流)
		其他重要合金元素				
	E2-11 MoVNi W-X X	数字	平均含量/%		低氢钠型 (不锈钢为碱性药皮)	交流或直流
		不标注	<1.5			
	E3-16-35-X X	2	≥1.5		石墨型	
		3	≥2.5			
4		≥3.5				
	:	:				

注：不锈钢焊条新的型号表示方法是将不锈钢焊条型号与不锈钢钢材代号相一致，这样有利于焊条的选择和使用，也便于进行国际交流；原来型号则是直接以熔敷金属中的碳、铬、镍平均含量来表示。

(3) 不锈钢焊条新旧型号对照

表 1-4-26

产品牌号	GB/T 983—1995	GB 983—1985	产品牌号	GB/T 983—1995	GB 983—1985	产品牌号	GB/T 983—1995	GB 983—1985
	E307	E1-19-9MoMn-4		E310Mo	E1-26-21Mo2		E347	E0-19-10Nb
A107	E308	E0-19-10	A412	E310Mo-16	E1-26-21Mo2-16	A132	E347-16	E0-19-10Nb-16
A102	E308-15	E0-19-10-15		E312	E1-30-9	A137	E347-15	E0-19-10Nb-15
A102A	E308-16	E0-19-10-16	A202A	E316	E0-18-12Mo2		E349	E1-19-9MoW2Nb
A102Fe	E308-17	E0-19-10-16	A202	E316-17	E0-18-12Mo2-16		E410	E1-13
	E308-26	E0-19-10-16	A207	E316-16	E0-18-12Mo2-16	G202	E410-16	E0-13-5Mo
A002	E308L	E00-19-10		E316-15	E0-18-12Mo2-15	G207	E410-15	E1-13-16
	E308L-16	E00-19-10-15	A022	E316L	E00-18-12Mo2		E430	E0-17
	E308Mo	E0-19-10Mo2		E316L-16	E00-19-12-Mo2-16	G302	E430-16	E0-17-16
A302	E308MoL	E00-19-10Mo2	A242	E317	E0-19-13Mo3	G307	E430-15	E0-17-15
A307	E309	E1-23-13		E317L	E00-19-13Mo3		E502	E0-5Mo
	E309-16	E1-23-13-16		E317MoCu	E0-19-13Mo2Cu2		E505	E0-9Mo
	E309-15	E1-23-13-15	A222	E317MoCu-16	E0-19-13Mo2Cu2-16		E630	E0-16-5MoCu4Nb
	E309L	E00-23-13		E317MoCuL	E00-19-13Mo2Cu2		E16-8-2	E1-16-8Mo2
	E309Nb	E1-23-13Nb	A032	E317MoCuL-16	E00-19-13-Mo2Cu2-16		E16-25MoN	E1-16-25Mo6N
	E309Mo	E1-23-13Mo2		E318	E0-18-12Mo2Nb		E7Cr	E0-7Mo
	E309MoL	E00-23-13Mo2		E318-16	E0-18-12Mo2Nb-16		E5MoV	E1-5MoV
A042	E309MoL-16	E00-23-15Mo2-16	A212	E318V	E0-18-12Mo2V		E9Mo	E1-9Mo
A062	E309L-16	E00-23-13-16	A232	E318V-16	E0-18-12Mo2V-16		E11MoVNi	E1-11MoVNi
A312	E309Mo-16	E1-23-13Mo2-16	A237	E318V-15	E0-18-12Mo2V-15		E11MoVNbW	E2-11MoVNbW
	E310	E2-26-21		E320	E0-20-34Mo3Cu4Nb		GB/T 5118—1995	GB 5118—1985
A402	E310-16	E2-26-21-16		E330	E2-16-35	W707	—	—
A407	E310-15	E2-26-21-15		E330H	E3-16-35	W707Ni	E5515-C1	E5515-C1
	E310H	E3-26-21		E330MoMnWNb	E2-16-35Mo3Mn4W3Nb	W907Ni	E5515-C2	E5515-C2
A432	E310H-16	E3-26-21-16	A607	E330MoMnW3Nb-15	E2-16-35Mo3Mn4W3			
	E310Nb	E1-26-21Nb						

《焊接材料产品样本》中焊条分类与牌号 (1987)

类别	牌号	焊缝金属抗拉强度 /MPa (kg/mm <sup>2</sup> )	牌号意义	类别	牌号	主要化学成分等级约含量/%	牌号意义	
结构钢焊条	J42 x	420 (43)	<p>J 42 x 焊条类别</p> <p>药皮及电源种类</p> <p>焊缝金属抗拉强度</p> <p>J42 x Fe 末尾加注 Fe, 表示药皮中加铁粉名 义熔敷率 &gt; 105%, 此时药皮及电源种类前加 “铁粉” X 型, 如 Fe 前为 6, 则称为铁粉低 氢型交直流两用</p>	不锈钢焊条	G2 x x	Cr	<p>G 2 x x</p> <p>药皮及电源种类</p> <p>同一焊缝金属主要化学成分 组成等级中的不同牌号, 对 同一药皮类型焊条, 有十个 牌号, 按 0、1、2、...、9 顺 序排列</p> <p>焊缝金属主要化学成分等级 焊条类别</p>	
	J50 x	490 (50)			G3 x x	Ni		
	J55 x	540 (55)			A0 x x	含 C 量 ≤ 0.04 超低碳		
	J60 x	590 (60)			A1 x x	18		8
	J70 x	690 (70)			A2 x x	18		12
	J80 x	740 (75)			A3 x x	25		13
	J85 x	830 (85)			A4 x x	25		20
	J10 x	980 (100)			A5 x x	16		25
					A6 x x	15		35
					A7 x x	不锈钢		
铝和铝合金耐热钢焊条	R1 x x	Cr	<p>R 1 x x</p> <p>焊条类别</p> <p>药皮及电源种类</p> <p>同一焊缝金属主要化学 成分组成等级中的不同 牌号, 对同一药皮类型 焊条, 有十个牌号, 按 0、1、2、...、9 顺序 排列</p> <p>焊缝金属主要化学成分 等级</p>	低温钢焊条	牌号	工作温度/°C		
	R2 x x	0.5			Mo	W70 x	-70	
	R3 x x	0.5			0.5	W90 x	-90	
	R4 x x	1~2			0.5~1	W10 x	-100	
	R5 x x	2.5			1	W19 x	-196	
	R6 x x	5			0.5	W25 x	-253	
	R7 x x	7			1			
	R8 x x	9			1			

表 1-4-27

续表

类别	牌号	焊缝金属化学成分组成类型	牌号意义			类别	牌号	焊缝金属化学成分组成类型	牌号意义			类别	牌号	焊缝金属化学成分组成类型	牌号意义			
			数字	药皮	电流				数字	药皮	电流				数字	药皮	电流	
堆焊焊条	D0 x x	不规定	D 3 x x └─┬─┘ 焊条类别	药皮及电源种类 同一用途、组织或焊缝金属主要成分中的不同牌号。对同一药皮类型的堆焊焊条，按0、1、2、...、9顺序排列	用途、组织或焊缝金属主要成分	镍及镍合金焊条	Ni1 x x	纯镍	Ni或T └─┬─┘ 焊条类别	药皮及电源种类 同一焊缝金属主要化学成分组成类型中的不同牌号，对同一药皮类型焊条，可按0、1、2、...、9顺序排列	焊缝金属主要化学成分组成类型	镍及镍合金焊条	Ni2 x x	镍铜	纤维素型	5	直流或交流	
	D1 x x	普通常用					Ni3 x x	因康镍合金					低氢钾型	6				
	D2 x x	普通常用及高温用高锰钢					Ni4 x x	待发展										
	D3 x x	刀具及工具用					T1 x x	纯铜					低氢钢型	7				
	D4 x x	工具用					T2 x x	青铜										
	D5 x x	阀门用					T3 x x	白铜										
	D6 x x	合金铸铁用					T4 x x	待发展					石墨型	8				
	D7 x x	碳化钨型					L1 x x	纯铝										
	D8 x x	钴基合金					L2 x x	铝硅合金										
	D9 x x	待发展					L3 x x	铝锰合金					盐基型	9				
铸铁焊条	牌号	焊缝金属主要化学成分组成类型	Z 4 x x └─┬─┘ 焊条类别	药皮及电源种类 同一焊缝金属主要化学成分组成类型中的不同牌号，对同一药皮类型焊条，可按0、1、2、...、9顺序排列	焊缝金属主要化学成分组成类型	铝及铝合金焊条	L4 x x	待发展	用途或焊缝金属主要成分	TS 6 x x └─┬─┘ 焊条类别	焊缝金属主要化学成分组成类型	特殊用途焊条			牌号	用途或焊缝金属主要成分	直流或交流	
							Z1 x x	碳钢或高碳钢										水下焊接用
							Z2 x x	铸铁（包括球墨铸铁）					水下切割用	TS3 x x				
							Z3 x x	纯镍										铸铁件焊补前开坡口用
							Z4 x x	镍铁					电渣焊用管状焊条	TS5 x x				
							Z5 x x	镍铜										铁锰铝焊条
							Z6 x x	铜铁					高硫堆焊条	TS7 x x				
Z7 x x	待发展																	

表 1-4-28

焊丝类别及型号意义

类别	型号意义
碳钢药芯焊丝 (摘自GB/T 10045—2001)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>E 50 1 T -1 M L</p> <p>表示焊丝</p> </div> <div> <p>焊丝熔敷金属 V 形缺口冲击功在 <math>-40^{\circ}\text{C}</math> 下不小于 27J</p> <p>表示保护气体为 75% ~ 80% Ar + CO<sub>2</sub></p> <p>焊丝类别特点: 外加保护气, 直流电源, 焊丝接正极</p> <p>表示药芯焊丝用于单道和多道焊</p> <p>表示焊接位置为全位置</p> <p>熔敷金属抗拉强度不小于 480MPa</p> </div> </div>
气体保护电弧焊 用碳钢、低合金钢焊丝 (摘自GB/T 8110—1995)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>ER xx-x-x</p> <p>焊丝</p> </div> <div> <p>还附加其他化学成分时, 直接用元素符号表示</p> <p>字母或数字表示焊丝化学成分分类代号</p> <p>两位数字表示熔敷金属的最低抗拉强度</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>ER 55-B<sub>2</sub>-Mn</p> <p>焊丝</p> </div> <div> <p>表示焊丝中含有锰元素</p> <p>表示焊丝化学成分分类代号</p> <p>表示熔敷金属抗拉强度最低值为 550MPa</p> </div> </div>
镍及镍合金焊丝 (摘自GB/T 15620—1995)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>ER Ni xx-x</p> <p>焊丝</p> </div> <div> <p>数字表示焊丝化学成分分类代号</p> <p>Ni 后化学符号表示焊丝中其他主要合金元素</p> <p>表示为镍及镍合金焊丝</p> </div> </div>
铜及铜合金焊丝 (摘自GB/T 9460—1988)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>HS xx-x</p> <p>焊丝</p> </div> <div> <p>数字表示顺序号</p> <p>化学元素符号表示焊丝的主要组成元素</p> </div> </div>
铝及铝合金焊丝 (摘自GB/T 10858—1989)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>S Al-1</p> <p>焊丝</p> </div> <div> <p>数字表示同类焊丝的不同品种</p> <p>S 后面用化学元素符号表示焊丝的主要合金组成</p> </div> </div>

类别	型号意义
<p>填充焊丝</p>	<div style="text-align: center;"> <p>R Z x x</p> <p>焊丝中含有的主要化学元素符号 焊丝的熔敷金属类型代号 表示用于铸铁焊接 表示填充焊丝</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>R Z C H</p> <p>填充焊丝 焊丝中含有合金化元素 焊丝的熔敷金属类型为铸铁 填充焊丝用于铸铁焊接</p> </div>
<p>气体保护焊焊丝 铸铁焊丝</p>	<div style="text-align: center;"> <p>ER Z Ni</p> <p>气体保护焊焊丝 焊丝中主要元素为镍 焊丝用于铸铁焊接</p> </div>
<p>药芯焊丝</p>	<div style="text-align: center;"> <p>ET x Z xx</p> <p>焊丝熔敷金属的主要化学元素符号或金属类型代号 表示用于铸铁焊接 为数字,“3”表示药芯焊丝为自保护类型 表示药芯焊丝</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>ET 3 Z NiFe</p> <p>药芯焊丝 熔敷金属中主要元素为镍、铁 焊丝用于铸铁焊接 药芯焊丝为自保护类型</p> </div>

摘自GB/T 10044—2006  
摘自GB/T 10044—1988

焊剂的类别及型号意义

类别	型号意义	型号中数字意义	类别	型号意义	型号中数字意义																																																																															
碳素钢埋弧焊用焊剂	<p>HJ x<sub>1</sub> x<sub>2</sub> x<sub>3</sub>-H x x x</p> <p>埋弧焊用焊剂</p> <p>焊缝金属的拉伸力学性能</p> <p>拉伸试样和冲击试样的状态</p> <p>焊缝金属冲击值</p> <p>焊丝牌号</p>	<table border="1"> <tr> <td>x<sub>2</sub></td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>试验温度/°C</td> <td>—</td> <td>0</td> <td>-20</td> <td>-30</td> <td>-40</td> <td>-50</td> <td>-60</td> </tr> <tr> <td>冲击值/kgf·m·cm<sup>-2</sup></td> <td>无要求</td> <td colspan="6">≥3.5</td> </tr> </table> <p>x<sub>3</sub>: 0——焊态</p> <p>1——焊后热处理状态, 装焊时温升不得高于 300°C; 温升速度不得大于 220°C/h; 620°C ± 15°C 保温 1h; 炉冷至 300°C, 炉冷速度不大于 175°C/h; 300°C 以下时, 炉冷或空冷均可</p> <table border="1"> <tr> <td rowspan="2">x<sub>1</sub></td> <td>抗拉强度 /N·mm<sup>-2</sup></td> <td>屈服强度 /N·mm<sup>-2</sup></td> <td>伸长率/%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>420~560</td> <td>≥310</td> <td rowspan="2">≥22.0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>≥336</td> <td>≥406</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>490~660</td> <td>≥406</td> <td></td> </tr> </table>	x <sub>2</sub>	0	1	2	3	4	5	6	试验温度/°C	—	0	-20	-30	-40	-50	-60	冲击值/kgf·m·cm <sup>-2</sup>	无要求	≥3.5						x <sub>1</sub>	抗拉强度 /N·mm <sup>-2</sup>	屈服强度 /N·mm <sup>-2</sup>	伸长率/%	3	420~560	≥310	≥22.0	4	≥336	≥406	5	490~660	≥406		埋弧焊及电渣焊用焊剂	<p>HJ x x x</p> <p>同一类型焊剂不同牌号按 0.1, 2, ..., 9 顺序排列, 同一牌号生产两种粒度时, 牌号后加“x”表示细颗粒</p> <p>② 二氧化硅、氟化钙的含量</p> <p>① 氧化锰含量</p> <p>埋弧焊及电渣焊用熔炼焊剂</p>	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">x</td> <td rowspan="2">②</td> <td>焊剂类型</td> <td>SiO<sub>2</sub> /%</td> <td>CaF<sub>2</sub> /%</td> </tr> <tr> <td>1 低硅低氟</td> <td>&lt;10</td> <td>&lt;10</td> </tr> <tr> <td>2 中硅低氟</td> <td>10~30</td> <td>&lt;10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 高硅低氟</td> <td>&gt;30</td> <td>&lt;10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 低硅中氟</td> <td>&lt;10</td> <td>&lt;10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 中硅中氟</td> <td>10~30</td> <td>&lt;10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 高硅中氟</td> <td>&gt;30</td> <td>&lt;10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7 低硅高氟</td> <td>&lt;10</td> <td>&lt;10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8 中硅高氟</td> <td>10~30</td> <td>&lt;10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9 其他</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	x	②	焊剂类型	SiO <sub>2</sub> /%	CaF <sub>2</sub> /%	1 低硅低氟	<10	<10	2 中硅低氟	10~30	<10		3 高硅低氟	>30	<10		4 低硅中氟	<10	<10		5 中硅中氟	10~30	<10		6 高硅中氟	>30	<10		7 低硅高氟	<10	<10		8 中硅高氟	10~30	<10		9 其他			
x <sub>2</sub>	0	1	2	3	4	5	6																																																																													
试验温度/°C	—	0	-20	-30	-40	-50	-60																																																																													
冲击值/kgf·m·cm <sup>-2</sup>	无要求	≥3.5																																																																																		
x <sub>1</sub>	抗拉强度 /N·mm <sup>-2</sup>	屈服强度 /N·mm <sup>-2</sup>	伸长率/%																																																																																	
	3	420~560	≥310	≥22.0																																																																																
4	≥336	≥406																																																																																		
5	490~660	≥406																																																																																		
x	②	焊剂类型	SiO <sub>2</sub> /%	CaF <sub>2</sub> /%																																																																																
		1 低硅低氟	<10	<10																																																																																
2 中硅低氟	10~30	<10																																																																																		
3 高硅低氟	>30	<10																																																																																		
4 低硅中氟	<10	<10																																																																																		
5 中硅中氟	10~30	<10																																																																																		
6 高硅中氟	>30	<10																																																																																		
7 低硅高氟	<10	<10																																																																																		
8 中硅高氟	10~30	<10																																																																																		
9 其他																																																																																				
烧结焊剂	<p>SJ x x x</p> <p>同一液系类型焊剂中的不同牌号焊剂, 按 01、02, ..., 09 顺序排列</p> <p>① 焊剂熔渣的渣系</p> <p>埋弧焊用烧结焊剂</p>	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">x</td> <td rowspan="2">①</td> <td>焊剂熔渣渣系类型</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>氟碱型</td> <td>高铝型</td> <td>硅钙型</td> <td>硅锰型</td> <td>铝钛型</td> <td>其他型</td> </tr> </table>	x	①	焊剂熔渣渣系类型	1	2	3	4	5	6	氟碱型	高铝型	硅钙型	硅锰型	铝钛型	其他型	气焊熔剂	<p>CJ x x x</p> <p>同一类型气焊熔剂的不同牌号</p> <p>① 气焊熔剂的用途类型</p> <p>气焊熔剂</p>	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">x</td> <td rowspan="2">①</td> <td>熔剂用途</td> <td>MnO/%</td> </tr> <tr> <td>1 无锰</td> <td>&lt;2</td> </tr> <tr> <td>2 低锰</td> <td>2~15</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 中锰</td> <td>15~30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 高锰</td> <td>&gt;30</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	x	①	熔剂用途	MnO/%	1 无锰	<2	2 低锰	2~15			3 中锰	15~30			4 高锰	>30																																																
x	①	焊剂熔渣渣系类型			1	2	3	4	5	6																																																																										
		氟碱型	高铝型	硅钙型	硅锰型	铝钛型	其他型																																																																													
x	①	熔剂用途	MnO/%																																																																																	
		1 无锰	<2																																																																																	
2 低锰	2~15																																																																																			
3 中锰	15~30																																																																																			
4 高锰	>30																																																																																			

表 1-4-29



焊条、焊丝和焊剂

表 1-4-30 焊条的性能和用途

类型	国标型号	产品牌号	熔敷金属化学成分/%										熔敷金属力学性能 ≥		用途	
			Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	S	P	$\sigma_b$ /MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%			
碳钢	E4300	J420G												22		(1) E4301, E5001 熔渣流动性良好, 电弧稍强, 熔深较深, 渣覆盖良好, 脱渣容易, 飞溅一般, 焊缝整齐。这类焊条适用于全位置焊接, 主要焊接重要的低碳钢结构
	E4301	J423														(2) E4303, E5003 熔渣流动性良好, 脱渣容易, 电弧稳定, 熔深适中, 飞溅少, 焊缝整齐, 适用于全位置焊接。主要焊接重要的低碳钢结构
	E4303	J422 J422GM J422CrCu														(3) E4323 熔敷效率高, 适用于平焊、平角焊, 药皮类型及工艺性能与 E4303 基本相似。主要焊接重要的低碳钢结构
	E4311	J425														(4) E4310 焊接时有机物在电弧区分解产生大量的气体, 保护熔敷金属。电弧吹力大, 熔深较深, 熔化速度快, 熔渣少, 脱渣容易, 飞溅一般, 通常限制采用大电流焊接。适用于全位置焊接, 主要焊接一般的低碳钢结构, 如管道的焊接等, 也可用于打底焊接
	E4313	J421 J421x J421Fe												17		(5) E4311, E5011 电弧稳定。当采用直流反接焊接时, 熔深浅, 其他工艺性能与 E4310 相似, 适用于全位置焊接, 主要焊接一般的低碳钢结构
	E4315 <sup>①</sup>	J427 J427Ni	1.25	0.9	0.3	0.2	0.3	0.08					420 (43)	330 (34)		(6) E4312 电弧稳定, 再引弧容易, 熔深较浅, 渣覆盖良好, 脱渣容易, 焊缝整齐, 适用于全位置焊接, 熔敷金属塑性及抗裂性能较差, 主要焊接一般的低碳钢结构、薄板结构, 也可用于盖面焊
	E4316 <sup>①</sup>	J426														(7) E4313 电弧比 E4312 稳定, 工艺性能、焊缝成形比 E4312 好。适用于全位置焊接。主要焊接一般的低碳钢结构、薄板结构, 也可用于盖面焊
	E4320	J424									0.035	0.040				(8) E5014 熔敷效率较高, 焊缝表面光滑, 熔波整齐, 脱渣性好, 角焊缝略凸, 适用于全位置焊接。主要焊接一般的低碳钢结构
	E4323	J422Fe13 J422Fe16 J422Z13														(9) E4324, E5024 熔敷效率高, 飞溅少, 熔深浅, 焊缝表面光滑, 适用于平焊和平角焊。主要焊接一般的低碳钢结构
	E4324	J421Fe13														(10) E4320 电弧吹力大, 熔深较深, 电弧稳定, 再引弧容易, 熔化速度快, 渣覆盖好, 脱渣性好, 焊缝致密, 略带凹度, 飞溅稍大。这类焊条不宜焊薄板, 适用于平焊及平角焊。主要焊接重要的低碳钢结构
E4327	J424Fe14															
E5001	J503 J503Z															
E5003	J502											490 (50)	400 (41)	20		
E5011	J505 J505MoD															

碳钢焊条摘自GB/T 5117—1995

续表

类型	国标型号	产品牌号	熔敷金属化学成分/%								熔敷金属力学性能 ≥			用途
			Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	S	P	$\sigma_b$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (MPa)	$\delta_5$ /%	
	E5014 <sup>①</sup>	J502Fe	1.25	0.90	0.30	0.20	0.30	0.08				17		(11) E4322 工艺性能基本上与 E4320 相似,但焊缝较凸,不均匀,适用于高速焊、单道焊,主要焊接低碳钢的薄板结构
	E5015 <sup>②</sup>	J507DF、 J507 J507XG J507X J507H												(12) E4327, E5027 熔敷效率很高,电弧吹力大,焊缝表面光滑,飞溅少,脱渣好,焊缝稍凸,适于平焊、平角焊,可采用大电流焊接。主要焊接较重要的低碳钢结构
	E5016 <sup>②</sup>	J506i J506 J506CM J506X J506DF	1.60	0.75	0.30	0.20	0.30	0.08				22	(13) E4315, E5015 熔渣流动性好,焊接工艺性一般,焊缝较粗,角焊缝略凸,熔深适中,脱渣性较好,焊接时要求焊条干燥,并采用短弧焊。适于全位置焊接,这类焊条的熔敷金属具有良好的抗裂性和力学性能,主要焊接重要的低碳钢结构,也可焊接与焊条强度相当的低碳合金钢结构	
	E5018 <sup>②</sup>	J506Fe J507Fe J506LMA	1.60	0.90	0.30	0.20	0.30	0.08	0.035	0.040	490 (50)	400 (41)	(14) E4316, E5016 电弧稳定,工艺性能、焊接位置与 E4315 和 E5015 型焊条相似,这类焊条的熔敷金属具有良好的抗裂性能和力学性能,主要焊接重要的低碳钢结构,也可焊接与焊条强度相当的低碳合金钢结构	
	E5024 <sup>①</sup>	J501Fe15 J501Fe18 J501Z18	1.25	0.90	0.30	0.20	0.30	0.08				17	(15) E5018 焊接时应采用短弧,适于全位置焊接,但角焊缝较凸,焊缝表面平滑,飞溅较少,熔深适中,熔敷效率较高,主要焊接重要的低碳钢结构,也可焊接与焊条强度相当的低碳合金钢结构	
	E5027 <sup>②</sup>	J504Fe J504Fe14	1.60	0.75	0.30	0.20	0.30	0.08				22	(16) E5048 具有良好的向下立焊性能。其他方面与 E5018 型焊条一样	
	E5028 <sup>②</sup>	J506Fe16 J506Fe18 J507Fe16	1.25	0.90	0.30	0.20	0.30	0.08				17	(17) E4328, E5028 熔敷效率很高,只适用于平焊、平角焊。主要焊接重要的低碳钢结构,也可焊接与焊条强度相当的低碳合金钢结构	

碳钢焊条(摘自GB/T 5117—1995)

续表

类型	国标型号	产品牌号	熔敷金属化学成分/%											熔敷金属力学性能																							
			C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Nb	W	B	Cu	$\sigma_b$ /MPa (kgf/ mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{0.2}$ /MPa (kgf/ mm <sup>2</sup> )	$\delta_5$ /%	夏比V 形缺口 冲击功 /J	试验 温度 /℃	用途																
碳 钼 钢 焊 条																																					
E5015-A <sub>1</sub>		R107	0.12	0.90	0.035	0.035	0.60					0.40~ 0.65									490 (50)	390 (40)	22	无要求													
铬 钼 钢 焊 条																																					
E5500-B <sub>1</sub>		R200																					16														
E5515-B <sub>1</sub>		R207																																			
E5516-B <sub>1</sub>		R307																																			
E5515-B <sub>2</sub>			0.90		0.035	0.035	0.60					0.40~ 0.65																									
E5500-B <sub>2</sub> -V		R310																																			
F5515-B <sub>2</sub> -V		R317	0.05~ 0.12		0.035	0.035	0.60					0.8~ 1.50																									
E5515-B <sub>2</sub> -VNb		R337																																			
E5515-B <sub>2</sub> -VW		R327	0.07~ 1.10																																		
E5515-B <sub>3</sub> -VWB		R347	1.00																																		
E6000-B <sub>3</sub>		R400																																			
E6015-B <sub>3</sub>		R407	0.90																																		
锰 钼 钢 焊 条																																					
E6015-D <sub>1</sub>		J607	0.12	1.25~ 1.75	0.035	0.035	0.60																														
E6016-D <sub>1</sub>		J606			0.035	0.035	0.60																														
E7015-D <sub>2</sub>		J707	0.15	1.65~ 2.00																																	
所有其他低合金钢焊条																																					
E X X 15-C		J507D、J507R、J507Cr- Ni、J507GR、J507RH																																			
E X X 16-C		J506NiCu、J506G、 J506Wcu、J506RH																																			
E X X 18-C		J507FeNi																																			

低合金钢焊条摘自GB/T 5118—1995)

续表

类型	国标型号	熔敷金属化学成分/%											熔敷金属力学性能 ≥			用途
		C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu	其他	$\sigma_s$ /MPa (kgf/ mm <sup>2</sup> )	$\delta_s$ /%	热处理		
	E209-X X	20.5~ 24.0	9.5~ 12.0	1.5~ 3.0	4.0~ 7.0	0.90							690		E209、E219、E240 通常用于焊接相同类型的不锈钢,也可以用于异种钢的焊接,如低碳钢和不锈钢,或在低碳钢上堆焊以防腐蚀,E240还可耐磨损	
	E219-X X	19.0~ 21.5	5.5~ 7.0	0.75	8.0~ 10.0	1.00							620	15	E307 通常用于异种钢的焊接,如奥氏体锰钢与碳钢工件或铸件的焊接。焊缝强度中等,具有良好的抗裂性	
	E240-X X	17.0~ 19.0	4.0~ 6.0		10.5~ 13.5								690		E308 通常用于焊接相同类型的不锈钢。E308H 由于含碳量高,在高温下具有较高的抗拉强度和蠕变强度。E308L 由于含碳量低,在不含钨、钽等稳定剂时,也能抵抗因碳化物析出而产生的晶间腐蚀。但与钨稳定化的焊缝相比,其高温强度较低。E308Mo、E308MoL 通常用于焊接相同类型的不锈钢。当希望熔敷金属中的铁素体含量超过 E316 型焊条时,也可以用于 Cr18Ni12Mo 型不锈钢工件的焊接	
	E307-X X	18.0~ 21.5	9.0~ 10.7	0.5~ 1.5	3.30~ 4.75								590	30	E309 通常用于焊接相同类型的不锈钢,也可用于焊接在强腐蚀介质中使用的要求焊缝合金元素含量较高的不锈钢或用于异种钢的焊接(如 Cr18Ni9 型不锈钢与碳钢)	
	E308-X X	0.04~ 0.14	0.08										550		E309L 由于含碳量低,因此在不含钨、钽等稳定剂时,也能抵抗因碳化物析出而产生的晶间腐蚀。但与钨稳定化的焊缝相比,其高温强度较低。E309Nb 的钨使焊缝金属的抗晶间腐蚀能力 and 高温强度提高。通常用于 0Cr18Ni11Nb 型复合钢板的焊接或在碳钢上堆焊。E309Mo 通常用于 0Cr17Ni12Mo2 型复合钢板的焊接或在碳钢上堆焊。E309MoL 熔敷金属含碳量低,因此焊缝抗晶间腐蚀能力较强	
	E308H-X X	0.04~ 0.08	9.0~ 11.0	0.75									550			
	E308L-X X	0.04	18.0~ 21.0		0.5~ 2.5	0.90	0.040	0.030	0.75				520	35		
	E308Mo-X X	0.08	9.0~ 12.0	2.0~ 3.0									550			
	E308MoL-X X	0.04	22.0~ 25.0	12.0~ 14.0	0.75								520			
	E309-X X	0.15											550			
	E309L-X X	0.04											520			
	E309Nb-X X	0.12											550	25		
	E309Mo-X X				2.0~ 3.0								540			
	E309MoL-X X	0.04														

不锈钢焊条摘自GB/T 983—1995)

类型	国标型号	熔敷金属化学成分/%											熔敷金属力学性能 ≥			用途
		C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu	其他	$\sigma_b$ /MPa (kgf/ mm <sup>2</sup> )	$\delta_5$ /%	热处理		
不锈钢焊条(摘自GB/T 983—1995)	E310-X X	0.08~ 0.20		20.0~ 22.5	0.75									550	25	E310 通常用于焊接相同类型的不锈钢,如0Cr25Ni20型不锈钢。E310H 通常用于相同类型的耐热、耐腐蚀不锈钢铸件的焊接和补焊。不宜在高硫气氛中或者有剧烈热冲击条件下使用。E310Nb 用于焊接耐热的铸件、0Cr18Ni11Nb 型复合钢板或在碳钢上堆焊。E310Mo 用于耐热铸件、0Cr17Ni12Mo2 型复合钢板的焊接,或在碳钢上堆焊 E312 通常用于高镍合金与其他金属的焊接。焊缝金属为双相组织,因此具有较高的抗裂能力。不宜在420℃以下温度使用,以避免二次脆化相的形成 E316 用于焊接0Cr17Ni12Mo2 型不锈钢及相类似的合金,也可用于焊接在较高温度下使用的耐热不锈钢。E316H 由于含碳量较高,在高温下具有较高的抗拉强度和蠕变强度。 E316L 通常用于焊接低碳含钼奥氏体钢 E317 通常用于焊接相同类型的不锈钢,可在强腐蚀条件下使用。E317L 由于含碳量低,因此在不含钼、钽等稳定剂时,也能抵抗因碳化物析出而产生的晶间腐蚀,焊缝强度不如E317 型焊条。E317MoCu 含铜量较高,因此具有较高的耐腐蚀性能。通常用于焊接相同类型的含铜不锈钢 E317MoCuL 用于焊接在稀、中浓度硫酸介质中工作的同类超低碳不锈钢 E318 加钒提高了焊缝金属抗晶间腐蚀能力。通常用于焊接相同类型的不锈钢。E318V 加钒提高了焊缝金属强度和耐腐蚀能力。通常用于焊接相同类型含钒不锈钢 E320 加钒后,提高了抗晶间腐蚀能力,用于焊接在硫酸、亚硫酸及其盐类等强腐蚀介质中工作的相同类型的不锈钢。也可用于焊接不进行热处理的不锈钢铸件的补焊。不含钒时,可用于含钼的不锈钢铸件的补焊,但焊后必须进行固溶处理。E320LR 用于为获得含有铁素体的奥氏体不锈钢的焊接。焊缝强度比E320 型焊条低
	E310Nb-X X	0.35~ 0.45	25.0~ 28.0	20.0~ 22.0	0.75	1.0~ 2.5	0.030				Nb:0.70~1.00	620	10			
	E310Mo-X X	0.12		20.0~ 22.0	2.0~ 3.0		0.75	0.030				550	25			
	E312-X X	0.15	28.0~ 32.0	8.0~ 10.5	0.75				0.75			660	22			
	E316-X X	0.08														
	E316H-X X	0.04~ 0.08	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 3.0		0.040					520	30			
	E316L-X X	0.04					0.040	0.030				490				
	E317-X X	0.08										550				
	E317L-X X	0.04	18.0~ 21.0	12.0~ 14.0	3.0~ 4.0	0.5~2.5	0.90					520				
	E317MoCu-X X	0.08							2			540	25			
	E317MoCuL-X X	0.04														
	E318-X X	0.08	17.0~ 20.0	11.0~ 14.0	2.0~ 3.0		0.040		0.75		Nb:6×C~1.00	550				
	E318V-X X	0.08					0.035		0.5		V:0.30~0.70	540				
	E320-X X	0.07	19.0~ 21.0	32.0~ 36.0	2.0~ 3.0		0.040		3.0~ 4.0		Nb:8×C~1.00	550	30			
	E320LR-X X	0.03				1.5~ 2.5	0.30	0.015			Nb:8×C~0.40	520				

续表

类型	国标型号	熔敷金属化学成分/%											熔敷金属力学性能 ≥			用途
		C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu	其他	$\sigma_b$ /MPa (kgf/ mm <sup>2</sup> )	$\delta_5$ /%	热处理		
E330-X X		0.18 ~ 0.25	14.0 ~ 17.0	33.0 ~ 37.0	0.75	1.0 ~ 2.5	0.90	0.040					520	25	E330 用于焊接在980℃以上工作的、要求具有耐热性能的设备以及铸造合金与锻造合金, 相同类型的不锈钢铸件的补焊。E330H 用于相同类型的耐热及耐腐蚀高合金铸件的焊接和补焊。E330MoMnWNb 用于在 850 ~ 950℃ 高温下工作的耐热及耐腐蚀高合金钢, 如 Cr20Ni30 和 Cr18Ni37 型不锈钢等的焊接和补焊	
		0.35 ~ 0.45							0.75				620	10		
E330MoMnWNb-X X		0.20	15.0 ~ 17.0		2.0 ~ 3.0	3.5	0.70	0.035		0.030			590			
E347-X X		0.08		9.0 ~ 11.0	0.75								520	25	E347 用于焊接以钨或钽作稳定剂成分相近的铬镍合金	
E349-X X		0.13	18.0 ~ 21.0	8.0 ~ 10.0	0.35 ~ 0.65	0.5 ~ 2.5	0.90	0.040		0.75			690		E349 常用于焊接相同类型的不锈钢 E383 用于焊接与其成分相近的母材和其他类型不锈钢 E385 用于焊接在硫酸和一些含有氯化物介质中使用的 不锈钢, 也可用于焊接 00Cr19Ni13Mo3 型不锈钢	
E383-X X			26.5 ~ 29.0	30.0 ~ 33.0	3.2 ~ 4.2			0.020		0.6 ~ 1.5			520	30	E410 焊接接头属于空气淬硬型材料, 焊接时必须进行预热和后热处理, 用于焊接相同类型的不锈钢或在碳钢上堆焊, 以提高抗腐蚀和擦伤的能力。E410NiMo 焊后热处理温度不应超过 620℃, 温度过高时, 可能使焊缝组织中未回火的马氏体在冷却到室温后重新淬硬	
E385-X X			19.5 ~ 21.5	24.0 ~ 26.0	4.2 ~ 5.2	1.0 ~ 2.5	0.75	0.030		1.2 ~ 2.0			450	20	E430 焊接时, 通常需要进行预热和后热处理, 才能获得理想的力学性能和抗腐蚀能力	
E410-X X		0.12	11.0 ~ 13.5	0.7	0.75								450	20		
E410NiMo-X X		0.06	11.0 ~ 12.5	4.0 ~ 5.0	0.40 ~ 0.70	1.0	0.90	0.040	0.030	0.75			760	15		
E430-X X		0.10	15.0 ~ 18.0	0.6	0.75								450	20		

不锈钢焊条摘自GB/T 983—1995)

续表

类型	国标型号	熔敷金属化学成分/%											熔敷金属力学性能 ≥			用途	
		C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu	其他	$\sigma_b$ /MPa (kgf/ mm <sup>2</sup> )	$\delta_5$ /%	热处理			
不锈钢焊条 摘自GB/T 983—1995)	E502-X X	0.10	4.0~6.0	0.4	0.45~0.65	1.0	0.90	0.040						420	20	d	E502、E505 用于焊接相同类型的不锈钢管 材。焊接接头属于空冷淬硬型材料。焊接时， 通常需要进行预热和后热处理
	E505-X X	0.10	8.0~10.5	0.4	0.85~1.20	0.75	0.90	0.040						420	20	d	E630 用于焊接 Cr16Ni4 型沉淀硬化不锈钢 E16-8-2 通常用于焊接高温、高压不锈 钢管路
	E630-X X	0.05	16.00~16.75	4.5~5.0	0.75	0.25~0.75	0.75							930	7	e	E16-25MoN 用于焊接淬火状态下的低合金 钢、中合金钢、刚性较大的结构件及相同类型 的耐热钢等，如用于淬火状态下的 30CrMnSi 钢。也可用于异种金属的焊接，如不锈钢与碳 钢的焊接
	E16-8-2-X X	0.10	14.5~16.5	7.5~9.5	1.0~2.0	0.5~2.5	0.60	0.030						550	35	—	
	E16-25MoN-X X	0.12	14.0~18.0	22.0~27.0	5.0~7.0	0.90	0.035	0.040						610	30	—	
	E7Cr-X X	0.10	6.0~8.0	0.40	0.45~0.65	1.0	0.040							420	20	d	E7Cr、E9Mo 用于焊接相同类型管材或铸 件。焊接接头属于空冷淬硬型材料。焊接时， 通常需要进行预热和后热处理
	E5MoV-X X	0.12	4.5~6.0	—	0.40~0.70	0.5~0.9	0.030							540	14	f	E5MoV 用于焊接 Cr5Mo 型珠光体耐热钢， 如在 400℃ 以下工作的高温抗氢腐蚀管道等。 焊缝金属具有良好的高温抗氢腐蚀能力。焊 接时，通常需要进行预热和后热处理
	E9Mo-X X	0.15	8.5~10.0	—	0.70~1.00	1.0	0.035							590	16	—	
	E11MoVNi-X X	0.19	9.5~11.5	0.60~0.90	0.60~0.90	0.5~1.0	0.50	0.035						730	15	g	E11MoVNi 用于焊接工作温度在 565℃ 以下 的 Cr11MoV 型耐热钢结构件，如高压汽轮机 的复速级叶片等。焊接时，通常要求进行预热 和后热处理
	E11MoVNW-X X	0.19	9.5~12.0	0.40~1.10	0.80~1.00	—	—	—						690	20	—	
	E2209-X X	0.04	21.5~23.5	8.5~10.5	2.5~3.5	0.5~2.0	0.90	0.040						760	15	—	
	E2553-X X	0.06	24.0~27.0	6.5~8.5	2.9~3.9	0.5~1.5	1.0	—						690	20	—	

说明：热处理列中，a、b、d、e、f、g……为淬火冷却介质代号，参见本篇第 6 章 1.4 节的金属热处理工艺分类及代号的表示方法

续表

类型	焊条型号	熔敷金属化学成分/%													熔敷金属硬度 HRC (HB)	用途			
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	Co	Fe	B	S			P	其他元素总量	
堆焊焊条(摘自GB/T 984—2001)	EDPMn2-X X	0.2	3.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(220)	EDPMn、EDPCrMo、EDPCrMnSi、EDPCrMoV、EDPCrSi型为普通低合金钢堆焊焊条。一般用于常温及非腐蚀条件下工作的零部件的堆焊。含碳量低的硬度较低,韧性较好,适用于在激烈冲击载荷下工作的部件,如车轮、车钩、轴、齿轮、铁轨等磨损部位的堆焊。含碳量高的硬度高,韧性较差,适用于带有磨料磨损的冲击载荷条件下工作的零件,如推土机刀板、挖泥斗牙、混凝土搅拌机叶牙、水力机械及矿山机械零件等的堆焊	
	EDPMn4-X X	0.2	4.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.00	30		
	EDPMn5-X X	0.45	5.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40		
	EDPMn6-X X	0.45	6.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50		
	EDPCrMo-A0-X X	0.04~0.20	0.50~2.00	1.00	0.50~3.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.035	0.035	1.00		—
	EDPCrMo-A1-X X	0.25	—	—	2.00	—	1.50	—	—	—	—	—	—	—	—	2.00	2.00		(200)
	EDPCrMo-A2-X X	0.50	—	—	3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		30
	EDPCrMo-A3-X X	0.50	—	—	2.50	—	2.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		40
	EDPCrMo-A4-X X	0.30~0.60	—	—	5.00	—	4.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		50
	EDPCrMo-A5-X X	0.50~0.80	0.50~1.50	—	4.00~8.00	—	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
	EDPCrMnSi-A1-X X	0.30~1.00	2.50	1.00	3.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.035	0.035	1.00		50
	EDPCrMnSi-A2-X X	1.00~2.00	0.50~2.00	—	3.00~5.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
	EDPCrMoV-A0-X X	0.10~0.30	—	—	1.80~3.80	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
	EDPCrMoV-A1-X X	0.30~0.60	—	—	8.00~10.00	—	3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		50
	EDPCrMoV-A2-X X	0.45~0.65	—	—	4.00~5.00	—	2.00~3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		55
	EDPCrSi-A-X X	0.35	—	1.80	6.50~8.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		45
EDPCrSi-B-X X	1.00	0.80	1.50~3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.03	—	60		

堆焊焊条(摘自GB/T 984—2001)



续表

类型	焊条型号	熔敷金属化学成分/%													熔敷金属硬度 HRC (HB)	用途			
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	Co	Fe	B	S			P	其他元素总量	
堆焊焊条(摘自GB/T 984—2001)	EDRCrMnMo-X X	0.60	2.50	1.00	2.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40、45 <sup>③</sup>	EDRCrMnMo、EDRCrW、EDRCrMoWV型为热强合金钢堆焊焊条。熔敷金属除Cr外还含有Mo、W、V或Ni等其他合金元素,在高温中能保持足够的硬度和抗疲劳性能,主要用于锻模、冲模、热剪切机刀、轧辊等堆焊 EDRCrMoWCo型适用于工作条件差的热模具,如敏粗、拉伸、冲孔等模具的堆焊,也可用于金属切削刀具的堆焊 EDCr型为高铬钢堆焊焊条。堆焊层具有空淬特性,有较高的中温硬度,耐腐蚀性好。常用于金属间磨损及在水蒸气、弱酸、汽蚀等作用下的部件,如阀门密封面、轴、搅拌机桨、螺旋输送机叶片等的堆焊 EDMn型为高锰钢堆焊焊条。该类焊条堆焊后硬度不高,但经加工硬化后可达450~500HB。适用于严重冲击载荷和金属间磨损条件下工作的零部件,如破碎机颧板、铁轨道岔等的堆焊
	EDRCrW-X X	0.25~0.55	—	—	2.00~3.50	—	—	7.00~10.00	—	—	—	—	—	—	—	1.00	—	48	
	EDRCrMoWV-A1-X X	0.50	—	—	5.00	—	2.50	1.00	—	—	—	—	—	—	0.035	0.04	—	55	
	EDRCrMoWV-A2-X X	0.30~0.50	—	—	5.00~6.50	—	2.00~3.00	1.00~3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	1.50	50	
	EDRCrMoWV-A3-X X	0.70~1.00	—	—	3.00~4.00	—	3.00~5.00	1.50~3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	
	EDRCrMoWCo-A-X X	0.08~0.12	0.30~0.70	0.80~1.60	2.00~4.20	—	3.80~6.20	0.50~1.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	52~58 <sup>③</sup>	
	EDRCrMoWCo-B-X X	0.08~0.12	0.30~0.70	0.80~1.60	1.80~3.20	—	7.80~11.20	0.40~0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	62~65 <sup>③</sup>	
	EDCr-A1-X X	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	
	EDCr-A2-X X	0.20	—	—	10.00~16.00	6.00	2.50	2.00	—	—	—	—	—	—	—	2.50	—	37	
	EDCr-B-X X	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	45	
	EDMn-A-X X	1.10	11.00~16.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(170)	
	EDMn-B-X X	—	11.00~18.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	EDMn-C-X X	—	12.00~16.00	1.30	2.50~5.00	2.50~5.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	EDMn-D-X X	0.50~1.00	15.00~20.00	—	4.50~7.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	EDMn-E-X X	—	—	—	3.00~6.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	EDMn-F-X X	0.80~1.20	17.00~21.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	



类型	焊条型号	熔敷金属化学成分/%														熔敷金属硬度 HRC (HB)	用途		
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	Co	Fe	B	S	P			其他元素总量	
堆焊焊条(摘自GB/T 984—2001)	EDZ-A2-X X	3.00~4.50	1.50	2.50	26.00~34.00		2.00~3.00									3.00	60	EDZ型为合金铸铁堆焊焊条。熔敷金属含有少量Cr、Ni、Mo或W等合金元素,除提高耐磨性能力外,也改善耐热、耐蚀及抗氧化性能。常用于混砂机、搅拌机、高速混砂机、螺旋送料机等主要受磨料磨损零件的堆焊。 EDZCr型为高铬铸铁堆焊焊条。熔敷金属具有优良的抗氧化和耐汽蚀性能,硬度高,耐磨料磨损性能好。常用于工作温度不超过500℃的高炉料钟、矿石破碎机、煤孔挖掘机等耐磨耐蚀件的堆焊。	
	EDZ-A3-X X	4.80~6.00			35.00~40.00		4.20~5.80									—	—		
	EDZ-B1-X X	1.50~2.20														1.00	50		
	EDZ-B2-X X	3.00			4.00~6.00		—									3.00	60		
	EDZ-E1-X X	5.00~6.50	2.00~3.00	0.80~1.50	12.00~16.00														
	EDZ-E2-X X	4.00~6.00	0.50~1.50	1.50	11.00~20.00														
	EDZ-E3-X X	5.00~7.00	0.50~2.00	0.50~2.00	18.00~28.00														
	EDZ-E4-X X	4.00~6.00	0.50~1.50	1.00	20.00~30.00														
	EDZCr-A-X X	1.50~3.50	1.50~3.00	1.50	28.00~32.00	5.00~8.00													
	EDZCr-B-X X	3.50	1.00	—	22.00~32.00	—													
	EDZCr-C-X X	2.50~5.00	8.00	1.00~4.80	25.00~32.00	3.00~5.00													
	EDZCr-D-X X	3.00~4.00	1.50~3.50	3.00	22.00~32.00														
	EDZCr-A1A-X X	3.50~4.50	4.00~6.00	0.50~2.00	20.00~25.00														
	EDZCr-A2-X X	2.50~3.50	0.50~1.50	0.50~1.50	7.50~9.00														

堆焊焊条(摘自GB/T 984—2001)

续表

类型	焊条型号	熔敷金属化学成分/%													熔敷金属硬度 HRC (HB)	其他元素 总量	用途												
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	Co	Fe	B	S				P											
堆焊焊条 摘自GB/T 984—2001)	EDZCr-A3-X X	2.50~4.50	0.50~2.00	1.00~2.50	14.00~20.00	—	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	EDCoCr 型为钴基合金堆焊焊条。熔敷金属具有综合耐热性、耐腐蚀性及抗氧化性能,在600℃以上的高温中能保持较高的硬度。调整C和W的含量可改变其硬度和韧性,以适应不同用途的要求。含碳量愈低,韧性愈好,而且能够承受冷热条件下的冲击,适用于高温高压阀门、热锻模、热剪切机刀刃等的堆焊。含碳量高,硬度高,耐磨性能好,但抗冲击能力弱,且不易加工,常用于牙轮钻头轴承、锅炉旋转叶轮、粉碎机刀口、螺旋送料机等部件的堆焊 EDW 型为碳化钨堆焊焊条。熔敷金属的基体组织弥散地分布着碳化钨颗粒,硬度很高,抗高、低应力磨料磨损的能力较强,可在650℃以下工作,但耐冲击能力低,裂缝倾向大。适用于受岩石强烈磨损的机械零件,如混凝土搅拌机叶片、推土机、挖泥机叶片、高速混砂机箱等表面的堆焊 EDTV 型为特殊型堆焊焊条。用于铸铁压延模、成形模以及其他铸铁模具的堆焊 EDNi 型为镍基合金堆焊焊条。熔敷金属具有综合耐热性、耐腐蚀性,由于含有大量的碳化物,对应力开裂较敏感。主要用于低应力磨损场合,如泥浆泵、活塞泵套筒、螺旋送料机、挤压机螺杆、搅拌机等部件的堆焊				
	EDZCr-A4-X X	3.50~4.50	1.50~3.50	1.50~2.90	23.00~29.00	—	1.00~3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—		
	EDZCr-A5-X X	1.50~2.50	—	2.0	24.00~32.00	4.00	4.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	
	EDZCr-A6-X X	2.50~3.50	0.50~1.50	1.00~2.50	24.00~30.00	—	0.50~2.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	
	EDZCr-A7-X X	3.50~5.00	1.50	0.50~2.50	23.00~30.00	—	2.00~4.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	
	EDZCr-A8-X X	2.50~4.50	—	1.50	30.00~40.00	—	2.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	
	EDCoCr-A-X X	0.70~1.40	—	—	25.00~32.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	
	EDCoCr-B-X X	1.00~1.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	
	EDCoCr-C-X X	1.70~3.00	2.00	—	25.00~33.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	
	EDCoCr-D-X X	0.20~0.50	—	—	23.00~32.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—
	EDCoCr-E-X X	0.15~0.40	—	—	24.00~29.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—
	EDW-A-X X	1.50~3.00	1.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—
	EDW-B-X X	1.50~4.00	2.00	4.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—
	EDTV-X X	0.25	2.00~3.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—
	EDNiCr-C	0.50~1.00	—	3.50~5.50	12.00~18.00	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—
	EDNiCrFeCo	2.20~3.00	1.00	0.60~1.50	25.00~30.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—

说明:1. 若存在其他元素,也应进行分析,以确定是否符合“其他元素总量”一栏的规定  
2. 化学成分的单值均为最大值。硬度的单值均为最小平均值

类型	熔敷金属													力学性能	用途	
	国标型号	化学成分/%														
		Cu	Si	Mn	Fe	Al	Sn	Ni	P	Pb	Zn	f成分合计	$\sigma_b$ /MPa			$\delta_5$ /%
铜及铜合金焊条摘自GB/T 3670—1995)	ECu	>95.0	0.5	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	170	20	ECu可用于脱氧铜、无氧铜及铜性(电解)铜的焊接修补以及碳钢和铸铁上堆焊。ECuSi主要用于焊接铜-硅合金,偶尔用于铜、异种金属和某些铁基金属的焊接,常用在腐蚀性区域的堆焊,很少用作堆焊承载面。ECuSn用于焊接类似成分的磷青铜、黄铜,在某些场合下,用于黄铜与铸铁和碳钢的焊接。ECuSn-A主要用于焊接类似成分的板材。ECuSn-B焊条具有较高的锡含量,因而焊缝金属比ECuSn-A焊缝金属具有更高的硬度、拉伸和屈服强度。ECuAl-A2焊条用在连接类似成分的铝青铜、高强度铜-锌合金、硅青铜、锰青铜、某些镍基合金、多数黑色金属与合金及异种金属的连接,也适合作耐磨和耐腐蚀表面的堆焊。ECuAl-B用于修补铝青铜和其他铜合金铸件,也用于高强度耐磨和耐腐蚀的或铸造的70/30、80/20和90/10铜镍合金的焊接,也用于焊接铜-镍包覆钢的包覆层。通常不需预热。ECuAlNi焊条用于铸造和锻造的镍-铝青铜材料的连接或修补。也可用于在盐和酸水中需高耐腐蚀、耐侵蚀或汽蚀的应用中。ECuMnAlNi焊条用于铸造或锻造的锰-镍铝青铜材料的连接或修补。
	ECuSi-A	>93.0	1.0~2.0	3.0	—	f	—	—	—	—	—	—	—	250	22	
	ECuSi-B	>92.0	2.5~4.0	—	—	f	—	—	—	—	—	—	—	270	20	
	ECuSn-A	—	f	f	f	f	5.0~7.0	f	0.03	0.02	—	—	—	250	15	
	ECuSn-B	—	f	f	f	f	7.0~9.0	f	—	—	—	—	—	270	12	
	ECuAl-A2	—	—	f	0.5~5.0	6.5~9.0	—	—	—	—	—	—	—	410	20	
	ECuAl-B	—	1.5	—	2.5~5.0	7.5~10.0	f	—	—	—	—	—	—	450	10	
	ECuAl-C	—	1.0	2.0	1.5	6.5~10.0	—	0.5	—	—	—	—	—	390	15	
	ECuNi-A	—	0.5	2.5	2.5	Ti0.5	—	9.0~11.0	0.020	0.02	—	—	—	270	20	
	ECuNi-B	—	—	—	—	—	—	29.0~33.0	—	f	—	—	—	350	20	
	ECuAlNi	—	1.0	2.0	2.0	7.0~10.0	—	2.0	—	—	—	—	—	490	13	
ECuMnAlNi	—	—	13.0	6.0	5.0~7.5	f	1.0~2.5	—	0.02	—	—	—	520	15		
铝及铝合金焊条摘自GB/T 3669—2001)	焊条型号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Be	其他		焊接接头				
		Si + Fe	—	—	—	—	—	—	—	单个	合计	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa				
	E1100	0.95	0.05~0.20	0.05	0.05	—	—	—	—	≥99.00	—	≥80	Al			
	E3003	0.6	0.7	0.20	1.0~1.5	—	0.10	—	0.0008	0.05	0.15	—	余量			
E4043	4.5~6.0	0.8	0.30	0.05	0.05	—	—	—	—	—	—	≥95				

说明:表中单值除规定外,其他均为最大值

续表

类型	国标型号	焊条和药芯焊丝熔敷金属化学成分/%											其他元素总量			
		C	Si	Mn	S	P	Fe	Ni	Cu	Al	V	球化剂				
铸铁	EZC	2.00~4.00	2.5~6.5	≤0.75	≤0.10	≤0.15	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	EZC型是钢芯或铸铁芯、强石墨化型药皮铸铁焊条,可交流、直流两用
	EZCQ	3.20~4.20	3.20~4.00	≤0.80	—	—	—	—	—	—	0.04~0.15	—	—	—	—	EZCQ型是钢芯或铸铁芯、强石墨化型药皮的球墨铸铁焊条。焊缝可承受较高的残余应力而不产生裂纹。重要的铸件可以焊后进行热处理得到所需要的性能和组织
球墨铸铁	EZNi-1	—	≤2.50	≤1.0	—	—	≥90	—	—	—	—	—	—	—	—	EZNi型是纯镍芯、强石墨化型药皮的铸铁焊条,可交流、直流两用,可进行全位置焊接。广泛用于铸铁薄件及加工面的补焊
	EZNi-2	—	—	—	—	≤8.0	—	—	≤1.0	—	—	—	—	—	—	EZNiFe型是镍铁芯、强石墨化型药皮的铸铁焊条。可交流、直流两用,进行全位置焊接。可用于重要灰口铸铁及球墨铸铁的补焊
灰口铸铁	EZNi-3	—	—	—	—	—	≥85	—	1.0~3.0	—	—	—	—	—	—	EZNiCu型是镍铜合金焊芯、强石墨化药皮的铸铁焊条,可交流、直流两用,可进行全位置焊接。由于收缩率较大,焊缝金属抗拉强度较低,不宜用于刚度大的铸件补焊。可在常温或低温预热至300℃左右焊接。用于强度要求不高,塑性要求好的灰口铸件的补焊
	EZNiFe-1	—	—	—	—	—	45~60	—	≤1.0	—	—	—	—	—	—	EZNiFeCu型是镍铁铜合金芯或镍铜镍铁芯、强石墨化药皮的铸铁焊条。可交流、直流两用,进行全位置焊接。强度高,塑性较好,抗裂性优良,与母材熔合好。可用于重要灰口铸铁及球墨铸铁的补焊
球墨铸铁	EZNiFe-2	—	—	—	—	—	35~45	—	1.0~3.0	—	—	—	—	—	—	EZFe-1型是纯铁芯药皮焊条。焊缝金属具有好的塑性和抗裂性能,但熔合区白口较严重。加工性能较差。适于补焊铸铁非加工面
	EZNiFeMn	—	—	—	—	—	60~70	—	≤1.0	—	—	—	—	—	—	EZFe-2型是低碳镍芯、低熔点药皮的低氢型碳钢焊条。焊缝与母材的结合较好,有一定强度,但熔合区白口较严重,加工困难,用于补焊铸铁非加工面
碳钢	EZNiCu-1	0.35~0.55	≤0.75	≤2.3	≤0.025	—	3.0~6.0	25~35	—	—	—	—	—	—	—	EZV型高钒焊条是低碳镍芯、低氢型药皮焊条。焊缝致密性好,强度较高,但熔合区白口较严重,加工困难。适用于补焊高强度灰口铸铁及球墨铸铁
	EZNiCu-2	—	—	—	—	—	—	35~45	—	—	—	—	—	—	—	EZV型高钒焊条是低碳镍芯、低氢型药皮焊条。焊缝致密性好,强度较高,但熔合区白口较严重,加工困难。适用于补焊高强度灰口铸铁及球墨铸铁
低合金钢	EZNiFeCu	≤2.0	≤2.0	≤1.5	≤0.03	—	余量	45~60	—	—	—	—	—	—	—	EZV型高钒焊条是低碳镍芯、低氢型药皮焊条。焊缝致密性好,强度较高,但熔合区白口较严重,加工困难。适用于补焊高强度灰口铸铁及球墨铸铁
	EZV	≤0.25	≤0.70	≤1.50	≤0.04	≤0.04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	EZV型高钒焊条是低碳镍芯、低氢型药皮焊条。焊缝致密性好,强度较高,但熔合区白口较严重,加工困难。适用于补焊高强度灰口铸铁及球墨铸铁
纯铁及碳钢焊条化学成分/%												—				
	EZFe-1	≤0.04	≤0.10	≤0.60	≤0.010	≤0.015	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	EZFe-2	≤0.10	≤0.03	≤0.60	≤0.030	≤0.030	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	—

铸铁焊条摘自GB/T 10044—2006)

①MnNiCrMoV总量1.5%。②MnNiCrMoV总量1.75%。③为经热处理的硬度值,热处理规范在说明书中规定。

注:1. 不锈钢焊条、铜及铜合金焊条表中单值均为最大值。

2. 铜及铜合金焊条: ECuNi-A和ECuNi-B类S含量应控制在0.015%以下;字母f表示微量元素;Cu元素中允许含Ag。

3. 当对不锈钢焊条表中给出的元素进行化学分析时,这些元素的总量不得超过0.5% (铁除外)。

表 1-4-31 焊丝类型、性能和用途

类别	型号	型号分 类依据	熔敷金属力学性能要求 <sup>①</sup>			V形缺口冲击功		熔敷金属化学成分 <sup>①、②</sup>				
			抗拉强 度 $\sigma_b$ /MPa	屈服强 度 $\sigma_s$ 或 $\sigma_{0.2}$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%	试验温 度/°C	冲击功 /J	型号	E50XT-1 E50XT-1M E50XT-5 E50XT-5M E50XT-9 E50XT-9M	E50XT-4 E50XT-6 E50XT-7 E50XT-8 E50XT-11	E50XT-12 E50XT-12M	
	E50XT-1			400	22	-20	27					
	E50XT-1M <sup>②</sup>											
	E50XT-2											
	E50XT-2M <sup>③</sup>											
	E50XT-3 <sup>③</sup>											
	E50XT-4											
	E50XT-5					-30	27					
	E50XT-5M <sup>②</sup>		480		22	-30	27					
	E50XT-6 <sup>②</sup>											
	E50XT-7											
	E50XT-8 <sup>②</sup>					-30	27					
	E50XT-9											
	E50XT-9M <sup>②</sup>					-30	27					
	E50XT-10 <sup>③</sup>											
	E50XT-11			400	20							
	E50XT-12		480~	400	22	-30	27					
	E50XT-12M <sup>②</sup>		620									
	E43XT-13 <sup>③</sup>		415									
	E50XT-13 <sup>③</sup>		480									
	E50XT-14 <sup>③</sup>		480									
	E43XT-G		415	330	22							
	E50XT-G		480	400	22							
	E43XT-GS <sup>③</sup>		415									
	E50XT-GS <sup>③</sup>		480									
	<sup>①</sup> 表中所有单值均为最小值 <sup>②</sup> 型号带有字母“L”的焊丝,其熔敷金属冲击性能应满足以下要求(无字母“L”时,如上面所示) <sup>③</sup> 这些型号主要用于单道焊接而不适用于多道焊接。因为只规定了抗拉强度,所以只要求做纵向拉伸和纵向扭转弯曲(缠绕式导向弯曲)试验							型号 E50XT-2 E50XT-3 E50XT-13 E50XT-10 E50XT-14 E43XT-13 E43XT-CS				
	C、Mn、Si、 S、P、Cr <sup>③</sup> Ni <sup>③</sup> 、Mo <sup>③</sup> V <sup>③</sup> 、Al <sup>③④</sup> 、 Cu <sup>⑤</sup>							无规定				
	①应分析表中列出值的特定元素 ②单值均为最大值 ③这些元素如果是有意添加的,应进行分析 ④只适用于自保护焊丝 ⑤该值不做规定,但应分析其数值并出示报告 ⑥该类焊丝添加的所有元素总和不应超过5%											
	型号 E50XT-1L, E50XT-1ML E50XT-5L, E50XT-5ML E50XT-6L E50XT-8L E50XT-9L, E50XT-9ML E50XT-12L, E50XT-12ML							V形缺口冲击性能要求 -40°C, ≥27J				

碳钢药芯焊丝摘自GB/T 10045—2001)

续表

型号	型号分 类依据	焊接位置 <sup>①</sup>	外加保护气 <sup>②</sup>	极性 <sup>③</sup>	适用性	型号分 类依据	焊接位置 <sup>①</sup>	外加保护气 <sup>②</sup>	极性 <sup>③</sup>	适用性
E500T-1	→	H, F	CO <sub>2</sub> 75% ~ 80% Ar + CO <sub>2</sub>	DCEP	M	E501T-8	H, F, VU, OH	无	DCEN	
E500T-1M		H, F								
E501T-1		H, F, VU	CO <sub>2</sub> 75% ~ 80% Ar + CO <sub>2</sub>	DCEP	M	E500T-9	H, F	CO <sub>2</sub>	DCEP	M
E501T-1M		OH								
E500T-2		H, F	CO <sub>2</sub> 75% ~ 80% Ar + CO <sub>2</sub>	DCEP	S(单道焊)	E501T-9	H, F, VU	CO <sub>2</sub>	DCEN	S
E500T-2M		H, F								
E501T-2		H, F, VU	CO <sub>2</sub> 75% ~ 80% Ar + CO <sub>2</sub>	DCEP	S(单道焊)	E501T-10	H, F	无	DCEN	S
E501T-2M		OH								
E500T-3			无	DCEP 或 DCEN <sup>③</sup> DCEP 或 DCEN <sup>③</sup>	M(单道和多道焊)	E500T-11	H, F, VU, OH	CO <sub>2</sub>	DCEP	M
E500T-4		H, F								
E500T-5			CO <sub>2</sub> 75% ~ 80% Ar + CO <sub>2</sub>	DCEP 或 DCEN <sup>③</sup> DCEP 或 DCEN <sup>③</sup>	M(单道和多道焊)	E501T-12	H, F	CO <sub>2</sub>	DCEN	S
E500T-5M		H, F, VU								
E501T-5		H, F, VU	CO <sub>2</sub> 75% ~ 80% Ar + CO <sub>2</sub>	DCEP	M(单道和多道焊)	E501T-13	H, F, VD	无	DCEN	S
E501T-5M		OH								
E500T-6		H, F	无	DCEP	M	E501T-14	H, F, VD, OH	—	—	M
E500T-7		H, F								
E501T-7		H, F, VU	无	DCEP	S	E X X 0T-G	H, F	—	—	S
E500T-8		OH								
E500T-8		H, F				E X X 0T-GS	H, F	—		

碳钢药芯焊丝(摘自GB/T 10045--2001)

①H—横焊, F—平焊, OH—仰焊, VD—立向下焊, VU—立向上焊

②对于使用外加保护气的焊丝(E X X X T-1, E X X X T-1M, E X X X T-2, E X X X T-2M, E X X X T-5, E X X X T-5M, E X X X T-9, E X X X T-9M, E X X X T-12, E X X X T-12M), 其金属的性能随保护气类型不同而变化, 用户在未向焊丝制造商咨询前不应使用其他保护气

③E501T-5 和 E501T-5M 型焊丝可在 DCEN 极性下使用以改善不当位置的焊接性。推荐的极性请咨询制造商



续表

类别	型号	化学成分/%														V形缺口冲击功 / J	试验温度 / °C	伸长率 $\delta$ / %	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ / MPa	抗拉强度 $\sigma_b$ / MPa	其他元素	Cu	Al	Zr	Ti	V	Mo	Cr	Ni	S	P	Si	Mn	C	用途
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Zr	Al	Cu	其他元素																				
碳 钢 焊 丝 ( 实 芯)	ER49-1	≤0.11	1.80~2.10	0.65~0.95	≤0.030	≤0.030	≤0.30	≤0.20																								ER49-1 CO <sub>2</sub> 气体 保护焊焊丝, 具有良好 的抗气孔性能, 飞溅较 少, 用于焊接低碳钢和 某些低合金钢			
	ER50-2	≤0.07	0.90~1.40	0.40~0.70																													ER50-2 CO <sub>2</sub> 气体 保护焊焊丝, 具有优良 的焊接工艺性能。用于 焊接碳钢及低合金钢		
		0.06~0.15	1.40~1.75	0.45~0.75																													ER50-3 CO <sub>2</sub> 气体 保护焊焊丝, 具有优良 的焊接工艺性能。用于 焊接碳钢及低合金钢		
	ER50-4	0.07~0.15	1.00~1.50	0.65~0.85																													ER50-4 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接		
		0.07~0.19	0.90~1.40	0.30~0.60	≤0.025	≤0.035																											ER50-5 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接		
	ER50-6	0.06~0.15	1.40~1.85	0.80~1.15																													ER50-6 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接		
		0.07~0.15	1.50~2.00	0.50~0.80																													ER50-7 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接		
	ER55-B2	0.07~0.12	0.40~0.70	0.40~0.70	≤0.025																												ER55-B2 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接		
		≤0.05	0.70	0.70																													ER55-B2L 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接		
	铬 钼 钢 焊 丝	ER55-B2 -MnV	1.20~1.60	0.60~0.90	0.60~0.90	≤0.030	≤0.025	≤0.25	1.00~1.30	0.50~0.70	0.20~0.40	0.40~0.65																					ER55-B2 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接		
0.10~1.70			0.90~1.70	0.90~1.70																													ER55-B2L 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接		
ER62-B3		0.07~0.12	0.40~0.70	0.40~0.70	≤0.025																													ER62-B3 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接	
		≤0.05	0.70	0.70																														ER62-B3L 采用 CO <sub>2</sub> 或 Ar + (5% ~ 20%) CO <sub>2</sub> 作为保护气体, 具 有优良的焊接工艺性 能, 电弧稳定, 飞溅小。 适于薄板的高速焊接, 可向直立焊。用于碳 钢, 适于薄板、管的高 速焊接	

续表

类别	型号	化学成分/%													抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	伸长率 $\delta$ /%	试验温度 /°C	V形缺口冲击功 /J	用途	
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Zr	Al	Cu							其他元素
镍钢焊丝	ER55-C1	≤ 0.12	≤ 1.25	0.40 ~ 0.80	≤ 0.025	≤ 0.025	0.80 ~ 1.10	≤ 0.15	≤ 0.35	≤ 0.05						≥ 550	≥ 470	≥ 24	-46	≥ 27	底焊。用于工作温度在550°C以下的管道、高压容器、石油炼制设备等。主要焊接 1.25% Cr-0.5% Mo 珠光体耐热钢,也可用于 30CrMnSi 铸钢件的修补及打底焊
	ER55-C2	≤ 0.12	≤ 1.25	0.40 ~ 0.80	≤ 0.025	≤ 0.025	2.00 ~ 2.75	≤ 0.35							≤ 0.50	≥ 550	≥ 470	≥ 24	-62	≥ 27	
	ER55-C3	≤ 0.12	≤ 1.25	0.40 ~ 0.80	≤ 0.025	≤ 0.025	3.00 ~ 3.75								≤ 0.50	≥ 550	≥ 470	≥ 24	-73	≥ 27	
锰钨钢焊丝	ER55-D2-Ti	≤ 0.12	1.20 ~ 1.90	0.40 ~ 0.80	≤ 0.025	≤ 0.025	—	0.20 ~ 0.50		≤ 0.20					≤ 0.50	≥ 620	≥ 470	≥ 17	-29	≥ 27	ER55-B2-MnV 钨极氩弧焊丝,适于焊接
	ER55-D2	0.07 ~ 0.12	1.60 ~ 2.10	0.50 ~ 0.80	0.025	0.025	≤ 0.15	0.40 ~ 0.60		≤ 0.20					0.50	≥ 620	≥ 470	≥ 17	-29	≥ 27	1.25% Cr-0.5% Mo-V 珠光体耐热钢。用于工作温度在580°C以下的锅炉受热面管子和540°C以下的蒸汽管道、石化设备等的打底焊接
其他低合金焊丝	ER69-1	≤ 0.08		0.20 ~ 0.50	≤ 0.010	≤ 0.010	1.40 ~ 2.10	≤ 0.30	0.25 ~ 0.55	≤ 0.05	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.25		0.35 ~ 0.65	≥ 690	610 ~ 700	≥ 16	-51	≥ 68	ER62-B3、ER62-B3L 2.25% Cr-1% Mo 珠光体耐热钢用钨极氩弧焊丝,全位置操作性能良好,适于打底焊接。
	ER69-2	≤ 0.12	1.25 ~ 1.80	0.20 ~ 0.60	0.010	0.010	0.80 ~ 1.25		0.20 ~ 0.55	≤ 0.05	≤ 0.10	≤ 0.10	0.35 ~ 0.65		0.35 ~ 0.65	≥ 690	610 ~ 700	≥ 16	-51	≥ 68	ER62-B3、ER62-B3L 2.25% Cr-1% Mo 珠光体耐热钢用钨极氩弧焊丝,全位置操作性能良好,适于打底焊接。
	ER69-3	≤ 0.12		0.40 ~ 0.80	≤ 0.020	≤ 0.020	0.50 ~ 1.00	—	0.55	—	—	—	≤ 0.35	≤ 0.50		≥ 690	610 ~ 700	≥ 16	-20	≥ 35	ER62-B3、ER62-B3L 2.25% Cr-1% Mo 珠光体耐热钢用钨极氩弧焊丝,全位置操作性能良好,适于打底焊接。
其他低合金焊丝	ER76-1	≤ 0.09	1.40 ~ 1.80	0.20 ~ 0.55	≤ 0.010	≤ 0.010	1.90 ~ 2.60	≤ 0.50	0.25 ~ 0.55	≤ 0.04	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.25		≥ 760	660 ~ 740	≥ 15	-51	≥ 68	用于工作温度在580°C以下和在工作温度在550°C以下的高温高压蒸汽管道、合成化工机械、石油裂化设备等	
	ER83-1	≤ 0.10	1.80	0.25 ~ 0.60	0.010	0.010	2.00 ~ 2.80	≤ 0.60	0.30 ~ 0.65	≤ 0.03	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.25		≥ 830	730 ~ 840	≥ 14	-51	≥ 68	用于工作温度在580°C以下和在工作温度在550°C以下的高温高压蒸汽管道、合成化工机械、石油裂化设备等	
	ERXX-G																				

供 需 双 方 协 商

续表

类别	型号	化学成分/%														其他元素	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa		
		C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni	Co	Al	Ti	Cr	Nb+Ta	Mo			V	W
镍及镍合金焊丝	ERNi-1	≤0.15	≤1.0	≤1.0	≤0.03	≤0.015	≤0.75	≤0.25	≥93.0	≤1.5	2.0~3.5	—	—	—	—	—	—	—	380
	ERNiCu-7	≤0.15	≤4.0	≤2.5	≤0.02	≤0.015	≤1.25	余量	62.0~69.0	≤1.25	1.5~3.0	—	—	—	—	—	—	—	480
	ERNiCr-3	≤0.10	2.5~3.5	≤3.0	≤0.03	≤0.015	≤0.50	≥67.0	—	—	—	18.0~22.0	2.0~3.0	—	—	—	—	—	550
	ERNiCrFe-5	≤0.08	≤1.0	6.0~10.0	≤0.03	≤0.015	≤0.35	≥70.0	—	—	—	14.0~17.0	1.5~3.0	—	—	—	—	—	550
	ERNiCrFe-6	≤0.08	2.0~2.7	≤8.0	≤0.03	≤0.015	≤0.35	≥67.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	550
	ERNiFeCr-1	≤0.05	≤1.0	≥22.0	≤0.03	≤0.015	≤0.50	38.0~46.0	—	—	—	19.5~23.5	—	—	2.5~3.5	—	—	—	550
	ERNiFeCr-2	≤0.08	≤0.35	余量	≤0.015	≤0.015	≤0.35	50.0~55.0	—	—	—	17.0~21.0	4.75~5.50	—	2.80~3.30	—	—	—	1138
	ERNiMo-1	≤0.08	—	4.0~7.0	≤0.025	≤0.03	—	—	≤2.5	—	—	≤1.0	—	—	26.0~30.0	0.20~0.40	≤1.0	—	690
	ERNiMo-2	0.04~0.08	≤1.0	≤5.0	≤0.015	≤0.02	—	—	≤0.20	—	—	6.0~8.0	—	—	15.0~18.0	≤0.50	≤0.50	—	690
	ERNiMo-3	≤0.12	≤1.0	4.0~7.0	—	—	≤1.0	余量	≤2.5	—	—	4.0~6.0	—	—	23.0~26.0	≤0.60	—	—	690
	ERNiMo-7	≤0.02	—	≤2.0	—	—	—	—	≤1.0	—	—	≤1.0	—	—	26.0~30.0	—	≤1.0	—	760
	ERNiCrMo-1	≤0.05	1.0~2.0	18.0~21.0	≤0.04	≤0.03	—	—	≤2.5	—	—	21.0~23.5	1.75~2.50	—	5.5~7.5	—	—	—	590
	ERNiCrMo-2	0.05~0.15	≤1.0	17.0~20.0	—	—	—	—	0.50~2.5	—	—	20.5~23.0	—	—	8.0~10.0	—	0.20~1.0	—	660
	ERNiCrMo-3	≤0.10	≤0.50	≤5.0	≤0.02	≤0.015	≤0.50	≥58.0	—	—	—	22.0~23.0	3.15~4.15	—	10.0	—	—	—	760
	ERNiCrMo-4	≤0.02	—	4.0~7.0	≤0.04	—	—	—	≤2.5	—	—	14.5~16.5	—	—	15.0~17.0	≤0.35	3.0~4.5	—	690
	ERNiCrMo-7	≤0.015	≤1.0	≤3.0	≤0.04	≤0.03	≤0.08	余量	≤2.0	—	—	14.0~18.0	—	—	14.0~18.0	—	≤0.50	—	690
	ERNiCrMo-8	≤0.03	—	余量	≤0.03	—	—	47.0~52.0	—	—	—	0.70~1.50	23.0~26.0	—	5.0~7.0	—	—	—	590
	ERNiCrMo-9	≤0.015	—	18.0~21.0	≤0.04	—	≤1.0	1.5~2.5	≤5.0	—	—	21.0~23.5	≤0.50	—	6.0~8.0	—	≤1.5	—	590

镍及镍合金焊丝

续表

类别	型号	化学成分/%											用途		
		Cu	Zn	Sn	Si	Mn	Ni	Fe	P	Pb	Al	Ti		S	杂质元素
铜及铜合金焊丝(摘自GB/T 9460—1988)	HSCu	≥98.0	*	≤1.0	≤0.5	≤0.5	*	*	≤0.15	≤0.02	*	≤0.01			HSCu(HS201) 加入锡改善了熔融铜的流动性, 焊接工艺性能优良, 焊缝成形良好, 力学性能高, 抗裂性好等。用于紫铜氩弧焊及氧-乙炔气焊时填充材料
	HSCuZn-1	57.0~61.0		0.15~1.15											
	HSCuZn-2	56.0~60.0		0.8~1.1	0.04~0.15	0.01~0.50				≤0.05					HSCuZn-4(HS224) 含少量硅的黄铜焊丝, 熔点约905℃。硅在熔池表面形成一层致密的氧化膜, 可减少锌的蒸发和氧化, 并有效地防止氢的溶入而造成气孔。用于黄铜氧-乙炔气焊及碳弧焊时作为填充材料, 也可用于钎焊铜、钢、铜镍合金、灰口铸铁以及镶嵌硬质合金刀具等
	HSCuZn-3	56.0~62.0	余量	0.5~1.5	0.1~0.5	≤1.0 <sup>①</sup>	≤1.5 <sup>①</sup>		≤0.25						
	HSCuZn-4	61.0~63.0			0.3~0.7										
	HSCuZnNi	46.0~50.0			≤0.25		9.0~11.0		≤0.25	*	≤0.05	*	≤0.02		
	HSCuNi		*	*	≤0.15	≤1.0	29.0~32.0	0.40~0.75	≤0.02				0.2~0.5	≤0.01	
	HSCuSi		≤1.5	≤1.1	2.8~4.0	≤1.5		≤0.5	*			*	≤0.01		HSCuZn-3(HS221) 熔点约890℃, 铝能提高焊丝的流动性、强度和抗腐蚀性, 而硅可有效地控制锌的蒸发、消除气孔和得到满意的力学性能。用于黄铜氧-乙炔气焊及碳弧焊时作填充材料使用, 也广泛用于钎焊铜、钢。铜镍合金、灰口铸铁以及镶嵌硬质合金刀具, 用途很广
	HSCuSn	余量	*	6.0~9.0	*	*		*	0.10~0.35	*	≤0.20				
	HSCuAl		≤0.10			≤2.0									
	HSCuAlNi		≤0.10			0.5~3.0	0.5~3.0	0.5~3.0	≤2.0	*					

类别	型号	化学成分/%											用途				
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	V	Zr	Al		其他元素			
纯铝	SAI-1	Fe+Si	1.0	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	SAI-3(丝 301) 用于氩弧焊、氧-乙炔气焊焊接纯铝及对接头性能要求不高的铝合金时作填充材料,广泛应用于化学工业铝制设备上
	SAI-2	0.20	0.25	0.40	0.03	0.03	—	0.04	0.03	—	—	—	—	—	—	—	
	SAI-3	0.30	0.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
铝镁	SAIMg-1	0.25	0.40	0.10	0.50~1.0	2.40~3.0	0.05~0.20	—	0.05~0.20	—	—	—	—	—	—	—	SAIMg-5(丝 331) 具有较好的耐腐蚀及抗热裂性能,强度高。用于铝镁合金氩弧焊及氧-乙炔焊的最基本填充金属,也可用于铝锌镁合金的焊接及铝镁铸件的补焊
	SAIMg-2	Fe+Si	0.45	0.05	0.01	3.10~3.90	0.15~0.35	0.20	0.05~0.15	—	—	—	—	—	—	—	
	SAIMg-3	0.40	0.40	0.10	0.50~1.0	4.30~5.20	0.05~0.25	0.25	0.15	—	—	—	—	—	—	—	
铝铜	SAIMg-5	0.40	0.40	—	0.20~0.60	4.70~5.70	—	—	0.05~0.20	—	—	—	—	—	—	—	SAIMn(丝 321) 具有良好的耐腐蚀性能和较纯铝高的强度,焊接性及塑性也很好。用在铝锰及其他铝合金氩弧焊及氧-乙炔气焊时作为填充材料
	SAICu	0.20	0.30	5.8~6.8	0.20~0.40	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
铝锰	SAIMn	0.60	0.70	—	1.0~1.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	SAISi-1	4.5~6.0	0.80	0.30	0.05	0.05	0.10	0.10	0.20	—	—	—	—	—	—	—	
铝硅	SAISi-2	11.0~13.0	0.80	0.30	0.15	0.10	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

铝及铝合金焊丝摘自GB/T 10858—1989)

续表

类别	型号	化学成分/%											用途
		C	Si	Mn	S	P	Fe	Ni	Ce	Mo	球化剂		
灰口铸铁 填充焊丝	RZC-1	3.2~ 3.5	2.7~ 3.0	0.60~ 0.75	0.50~ 0.75	余量	—	—	—	—	—	—	RZC型是采用石墨化元素较多的灰铸铁浇铸成焊丝。适用于中小型薄壁件铸铁的气焊。可以配合焊粉使用
	RZC-2	3.2~ 4.5	3.0~ 3.8	0.30~ 0.80	≤0.10								
铁基 填充 焊丝	RZCH	3.2~ 3.5	2.0~ 2.5	0.50~ 0.70	0.20~ 0.40	余量	1.2~ 1.6	—	0.25~ 0.45	—	—	RZCH型焊丝中含有一定数量的合金元素,焊缝强度较高。适用于高强度灰口铸铁及合金铸铁等气焊。可配合焊粉使用	
	RZCQ-1	3.2~ 4.0	3.2~ 3.8	0.10~ 0.40	≤0.05								≤0.20
镍基 气体保 护焊 丝	RZCQ-2	3.5~ 4.2	3.5~ 4.2	0.50~ 0.80	≤0.03	≤0.10	—	—	—	—	—	ERZNiFeMn型为实芯连续焊丝,用于和ERZNiFeMn型焊条相同的应用场合。这类焊丝的强度和塑性使它适宜于焊接较高强度等级的球墨铸铁件	
	型号	C	Si	Mn	S	P	Fe	Ni	Cu	Al	其他元素总量	ERZNi型是实芯连续焊丝,为纯镍铸铁焊丝,不含脱氧剂,用于焊接需要机械加工的高、稀释焊缝的铸铁件	
镍铁锰铸铁 气体保护焊丝	ERZNi	≤1.0	≤0.75	≤2.5	≤0.03	—	≤4.0	≥90	≤4.0	—	≤1.0	ET3ZNiFe型是用于不外加保护气体操作的连续自保护药芯焊丝,但如果制造商推荐也可使用外加保护气体。这类焊丝的成分除去锰含量更高外,其他与EZNiFe型焊条类似。它用于和EZNiFe型焊条同样场合的应用。通常用于厚母材或采用自动焊工艺的场合。该焊丝含有3%~5%锰,有利于提高焊缝金属抗热裂纹的能力和改善焊缝金属的强度和塑性	
	ERZNiFeMn	≤0.50	≤1.0	10~14	≤0.03	—	余量	35~45	≤2.5	≤1.0	≤1.0	保护气体应使用制造商推荐的保护气体	
镍基 药芯 焊丝	型号	C	Si	Mn	S	P	Fe	Ni	Cu	Al	球化剂	其他元素总量	
	ET3ZNiFe	≤2.0	≤1.0	3.0~ 5.0	≤0.03	—	余量	45~60	≤2.5	≤1.0	—	≤1.0	

铸铁焊丝(摘自GB/T 10044—2006)

注:1. 杂质元素总和包括带\*号的元素,微量元素可以不分析。

2. ERNiCr-3、ERNiCrFe-5型焊丝,当有规定时,钼的含量不应超过0.12%,钽的含量不应超过0.30%。

3. ERNiFeCr-2型焊丝,硼的含量不应超过0.006%。

4. 在分析中,如出现其他元素,应对这些元素进行测定,并且总的含量不应超过表中“其他元素”总量的要求。

5. 镍含量中包括钼。

表 1-4-32

焊剂的类型及用途

牌号	焊剂类型	用 途
HJ130	无锰高硅低氟	配合 H10Mn2 焊丝及其他低合金钢焊丝,埋弧焊接低碳钢或其他低合金钢(如 16Mn 等)结构
HJ131	无锰高硅低氟	配合镍基焊丝焊接镍基合金薄板结构
HJ150	无锰中硅中氟	配合适当焊丝,如 H2Cr13 或 H3Cr2W8,堆焊轧辊
HJ151	无锰中硅中氟	配合奥氏体不锈钢焊丝或焊带(如 H0Cr21Ni10、H0Cr20Ni10Ti、H00Cr24Ni12Nb、H00Cr21Ni10Nb、H00Cr26Ni12、H00Cr21Ni10 等)进行带极堆焊或焊接,用于核容器及石油化工设备耐腐蚀层堆焊和构件的焊接。配合 H0Cr16Mn16 焊丝可用于高锰钢补焊。配方中若加入适量氧化钨,还可解决含钨不锈钢焊后脱渣难的问题
HJ172	无锰低硅高氟	配合适当焊丝,可焊接高铬马氏体热强钢如 Cr12MoWV 及含钨的铬镍不锈钢
HJ230	低锰高硅低氟	配合 H08MnA、H10Mn2 焊丝及某些低合金钢焊丝,焊接低碳钢及某些低合金钢(16Mn)等结构
HJ250	低锰中硅中氟	配合适当焊丝(H08MnMoA、H08Mn2MoA 及 H08Mn2MoVA)可焊接低合金钢(15MnV、14MnMoV、18MnMoNb 等)。配合 H08Mn2MoVA 焊丝焊接 -70℃ 低温用钢(如 09Mn2V),具有较好的低温冲击韧性
HJ251	低锰中硅中氟	配合铬钼钢焊丝焊接珠光体耐热钢(如焊接汽轮机转子)
HJ252	低锰中硅中氟	配合 H08Mn2NiMoA、H08Mn2MoA、H10Mn2 焊丝焊接低合金钢 15MnV、14MnMoV、18MnMoNb 等,焊缝具有良好的抗裂性和较好的低温韧性,可用于核容器、石油化工等压力容器的焊接
HJ260	低锰高硅中氟	配合奥氏体不锈钢焊丝(如 H0Cr21Ni10、H0Cr20Ni10Ti 等)焊接相应的耐酸不锈钢结构,也可用于轧辊堆焊
HJ330	中锰高硅低氟	配合 H08MnA、H08Mn2SiA 及 H10MnSi 等焊丝,可焊接低碳钢和某些低合金钢(如 16Mn、15MnTi、15MnV 等)结构,如锅炉、压力容器等
HJ350	中锰中硅中氟	配合适当焊丝,可以焊接低合金钢(如 16Mn、15MnV、15MnVN 等)重要结构,如船舶、锅炉、高压容器等。细粒度焊剂可用于细丝埋弧焊,焊接薄板结构
HJ351	中锰中硅中氟	用于埋弧自动焊和半自动焊,配合适当焊丝可焊接锰钼、锰硅及含钼的低合金钢重要结构,如船舶、锅炉、高压容器等。细粒度焊剂可用于焊接薄板结构
HJ360	中锰高硅中氟	主要用于电渣焊,配合 H10MnSi、H10Mn2、H08Mn2MoVA 等,焊接低碳钢及某些合金钢大型结构(Q235、20g、16Mn、15MnV、14MnMoV 及 18MnMoNb),如轧钢机架、大型立柱或轴

续表

牌号	焊剂类型	用途
熔 炼 焊 剂	HJ430	配合 H08A、H08MnA、H10MnSi 等焊丝,焊接低碳钢及某些低合金钢(如 16Mn、16MnV 等)结构,如锅炉、船舶、压力容器、管道等。细粒度焊剂用于细焊丝埋弧焊,焊接薄板结构
	HJ431	配合 H08A、H08MnA、H10MnSi 等焊丝,焊接低碳钢及某些低合金钢(如 16Mn、15MnV 等)结构,如锅炉、船舶、压力容器等。也可以用于电渣焊及铜的焊接
	HJ433	配合 H08A 焊丝,用于焊接低碳钢结构,适合管道及容器的快速焊接,常用于输油、输气管道的焊接
	HJ434	配合 H08A、H08MnA、H10MnSi 等焊丝,焊接低碳钢及某些低合金钢结构,如管道、锅炉、压力容器、桥梁等
烧 结 焊 剂	SJ101	配合 H08MnA、H08MnMoA、H08Mn2MoA、H10Mn2 焊丝,焊接多种低合金结构钢,用于重要的焊接结构,如锅炉、压力容器、管道等。可用于多丝埋弧焊,特别适于大直径容器的双面单道焊
	SJ301	配合 H08MA、H08MnMoA、H08Mn2 焊丝,焊接普通结构钢、锅炉用钢、管线用钢等。可用于多丝快速焊,特别适于双面单道焊
	SJ401	配合 H08A 焊丝,可焊接低碳钢及某些低合金钢,用于机车车辆、矿山机械等金属结构的焊接
	SJ501	配合 H08A、H08MnA 等焊丝,焊接低碳钢及某些低合金钢(如 16Mn、15MnV 等)结构,如锅炉、船舶、压力容器等。可用于多丝快速焊,特别适于双面单道焊
	SJ502	配合 H08A 焊丝,可焊接重要的低碳钢及某些低合金钢结构,如锅炉、压力容器等
气 熔 剂	CJ101	不锈钢及耐热钢气焊时作助熔剂
	CJ201	铸铁气焊熔剂
	CJ301	铜气焊熔剂
	CJ401	铝及铝合金气焊时作助熔剂,并起精炼作用,也可作气焊铝青铜时的熔剂



## 1.4 焊缝

### 焊接及相关工艺方法代号及注法 (摘自 GB/T 5185—2005)

用阿拉伯数字代号来表示金属焊接及钎焊等各种焊接方法,此数字代号均可在图样上作为焊接方法来使用,标在指引线尾部。此代号与 GB/T 324—1988《焊缝符号表示方法》配套使用(见表 1-4-34~表 1-4-41)。

单一焊接方法代号的表示,如角焊缝采用手工电弧焊时见图 1-4-1。组合焊接方法代号的表示,即一个焊接接头同时采用两种焊接方法打底,后用埋弧焊盖面时见图 1-4-2。

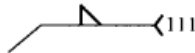


图 1-4-1

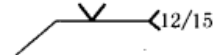


图 1-4-2

表 1-4-33

代号	焊接及相关工艺方法	代号	焊接及相关工艺方法	代号	焊接及相关工艺方法
1	电弧焊	29	其他电阻焊方法	81	火焰切割
101	金属电弧焊	291	高频电阻焊	82	电弧切割
11	无气体保护的电弧焊	3	气焊	821	空气电弧切割
111	焊条电弧焊	31	氧-燃气焊	822	氧电弧切割
112	重力焊	311	氧-乙炔焊	83	等离子弧切割
114	自保护药芯焊丝电弧焊	312	氧-丙烷焊	84	激光切割
12	埋弧焊	313	氢氧焊	86	火焰气刨
121	单丝埋弧焊	4	压力焊	87	电弧气刨
122	带极埋弧焊	41	超声波焊	871	空气电弧气刨
123	多丝埋弧焊	42	摩擦焊	872	氧电弧气刨
124	添加金属粉末的埋弧焊	44	高机械能焊	88	等离子气刨
125	药芯焊丝埋弧焊	441	爆炸焊	9	硬钎焊、软钎焊及钎接焊
13	熔化极气体保护电弧焊	45	扩散焊	91	硬钎焊
131	熔化极惰性气体保护电弧焊(MIG)	47	气压焊	911	红外线硬钎焊
135	熔化极非惰性气体保护电弧焊(MAG)	48	冷压焊	912	火焰硬钎焊
136	非惰性气体保护的药芯焊丝电弧焊	5	高能束焊	913	炉中硬钎焊
137	惰性气体保护的药芯焊丝电弧焊	51	电子束焊	914	浸渍硬钎焊
14	非熔化极气体保护电弧焊	511	真空电子束焊	915	盐浴硬钎焊
141	钨极惰性气体保护电弧焊(TIG)	512	非真空电子束焊	916	感应硬钎焊
15	等离子弧焊	52	激光焊	918	电阻硬钎焊
151	等离子 MIG 焊	521	固体激光焊	919	扩散硬钎焊
152	等离子粉末堆焊	522	气体激光焊	924	真空硬钎焊
18	其他电弧焊方法	7	其他焊接方法	93	其他硬钎焊
185	磁激励对焊	71	铝热焊	94	软钎焊
2	电阻焊	72	电渣焊	941	红外线软钎焊
21	点焊	73	气电立焊	942	火焰软钎焊
211	单面点焊	74	感应焊	943	炉中软钎焊
212	双面点焊	741	感应对焊	944	浸渍软钎焊
22	缝焊	742	感应缝焊	945	盐浴软钎焊
221	搭接缝焊	75	光辐射焊	946	感应软钎焊
222	压平缝焊	753	红外线焊	947	超声波软钎焊
225	薄膜对接缝焊	77	冲击电阻焊	948	电阻软钎焊
226	加带缝焊	78	螺柱焊	949	扩散软钎焊
23	凸焊	782	电阻螺柱焊	951	波峰软钎焊
231	单面凸焊	783	带瓷箍或保护气体的电弧螺柱焊	952	烙铁软钎焊
232	双面凸焊	784	短路电弧螺柱焊	954	真空软钎焊
24	闪光焊	785	电容放电螺柱焊	956	拖焊
241	预热闪光焊	786	带点火嘴的电容放电螺柱焊	96	其他软钎焊
242	无预热闪光焊	787	带易熔颈箍的电弧螺柱焊	97	钎接焊
25	电阻对焊	788	摩擦螺柱焊	971	气体钎接焊
		8	切割和气刨	972	电弧钎接焊
已被新标准删除,但在某些特定场合仍可能应用的工艺方法					
113	光焊丝电弧焊	32	空气燃气焊	752	弧光光束焊
115	涂层焊丝电弧焊	321	空气乙炔焊	781	电弧螺柱焊
118	躺焊	322	空气丙烷焊	917	超声波硬钎焊
149	原子氢焊	43	锻焊	923	摩擦硬钎焊
181	碳弧焊			953	刮擦软钎焊

焊缝符号表示方法 (摘自 GB/T 324—1988、GB/T 12212—1990)


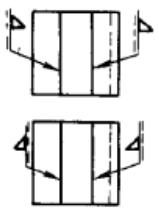
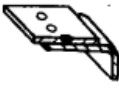
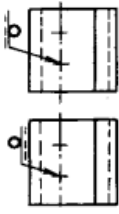
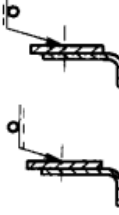

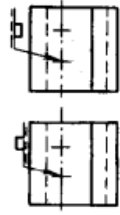

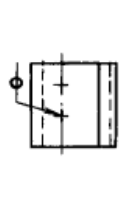
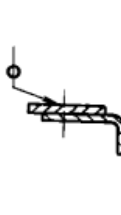

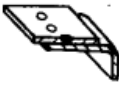
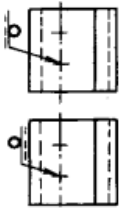


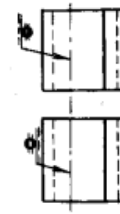
焊缝符号一般由基本符号与指引线组成。必要时还可以加上辅助符号、补充符号和焊缝尺寸符号。图形符号的比例、尺寸和在图样上的标注方法,按机械制图有关规定。焊缝符号表示法适用于金属熔化焊及电阻焊。

表 1-4-34

基本符号及应用举例









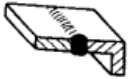
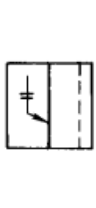





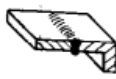


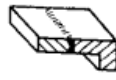




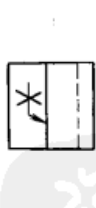

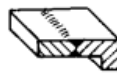

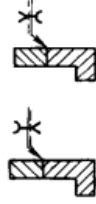


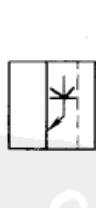

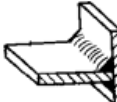




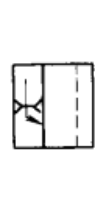

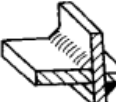

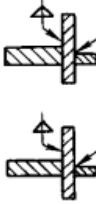
符号名称	示意图	标注方法		符号名称	示意图	标注方法	
卷边焊缝				带钝边单边 V 形焊缝			
I 形焊缝				带钝边 U 形焊缝			
V 形焊缝				带钝边 J 形焊缝			
单边 V 形焊缝				封底焊缝			
带钝边 V 形焊缝				角焊缝			

箭头应指向带有坡口一侧的工件








符号名称	示意图	标注方法	符号名称	示意图	标注方法	标注方法
角焊缝						
塞焊缝或槽焊缝						
			点焊缝			
			缝焊缝			

基本符号的组合举例

表 1-4-35


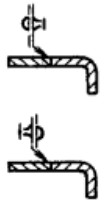





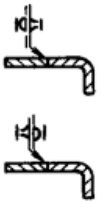
符号组合	示意图	标注方法	符号组合	示意图	标注方法	标注方法
						
双面 						
						
双面 						
						
						

辅助符号及应用示例

符 号 名 称	应 用 示 例	符 号 名 称	应 用 示 例
— 平 面 号 符	 焊缝表面齐平 (一般通过加工)	∩ 凹 面 符 号	 焊缝表面凹陷
∇ 平 面 V 形 对 接 焊 缝		∪ 凸 面 符 号	 焊缝表面凸起
∑ 平 面 封 底 V 形 焊 缝		∠ 凹 面 角 焊 缝	
		∞ 凸 面 X 形 对 接 焊 缝	

注：辅助符号表示焊缝表面形状的符号，如不需确切地说明焊缝表面形状时，可以不用。

基本符号与辅助符号的组合举例

符 号 组 合	示 意 图	标 注 方 法	符 号 组 合	示 意 图	标 注 方 法
∩			∩		
∑			∑		

续表

符号组合	示意图	标注方法		符号组合	示意图	标注方法
$\overline{\Delta}$				$\Delta$		
$\Delta$				$\Delta$		
符号组合	示意图	说明		符号组合	示意图	说明
$\Delta$		表示现场施焊：塞焊缝或槽焊缝在箭头侧。箭头线可由基准线的左端引出，位置受限制时，允许弯折一次		$\Delta$		表示角焊缝（凹面）在箭头侧，焊缝高5mm，焊缝长210mm，工件三面带有焊缝
$\Delta$		表示相同角焊缝4条，在箭头侧		$\parallel$		表示I形焊缝在非箭头侧，焊缝有效厚度5mm，焊缝长210mm
$\Delta$		表示周围施焊，由埋弧焊形成的V形焊缝（平整）在箭头侧，由手工电弧焊形成的封底焊缝（平整）在非箭头侧		$\Delta Z$		表示交错断续角焊缝，焊脚尺寸为5mm，相邻焊缝的间距为30mm，焊缝段数为35，每段焊缝长度为50mm

补充符号及应用示例




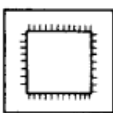
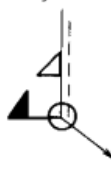

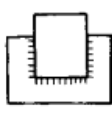


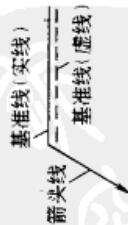

符号名称	示意图	标注示例	符号名称	示意图	标注示例
带垫板符号 	 表示焊缝底有垫板	 表示 V 形焊缝的背面底部有垫板	周围焊缝符号 ○	 表示环绕工件周围焊缝	 表示在现场沿工件周围施焊
三面焊符号 	 表示三面带有焊缝	 工件三面带有焊缝，手工电弧焊	现场符号 	表示在现场或工地上进行焊接	
			尾部符号 ∠	(内容见表 1-4-40)	交错断续焊接符号 Z

表 1-4-39

焊缝符号的标注

符号及位置	示意图	符号及位置	示意图
指引线(箭头线) 基准线(实线或虚线)	 指引线一般由带箭头的指引线(简称箭头线)和两条基准线(一条为实线,另一条为虚线)两部分组成。基准线的虚线可以画在基准线的实线左侧或右侧。基准线一般与图样的底边相平行,特殊时也可与底边相垂直	箭头线相对接头的位置	 单角焊缝的 T 形接头 箭头线 非箭头侧 焊缝在箭头侧 非箭头侧 焊缝在非箭头侧

续表

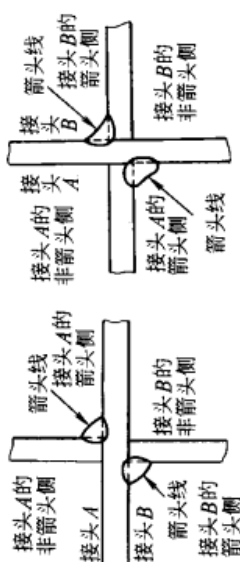
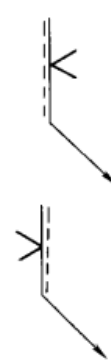
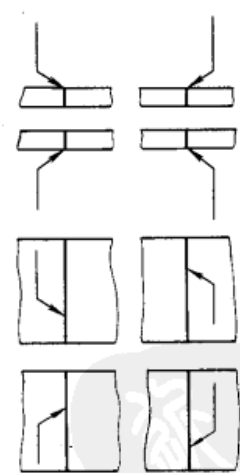

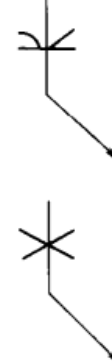
符号及位置	示意图	符号及位置	示意图
<p>箭头线相对接头的位置</p>	<p>双角焊缝十字接头</p>  <p>接头A的箭头线 接头A的非箭头侧 接头A 接头B的箭头线 接头B的非箭头侧 接头B</p>		 <p>焊缝在接头的箭头侧,基本符号标在基准线的实线侧</p>
<p>箭头线的位置</p>	<p>一般情况</p>  <p>标注 V、Y、J 形等焊缝时,箭头线应指向带有坡口一侧</p>	<p>基本符号相对基准线的位置</p>	 <p>焊缝在接头的非箭头侧,基本符号标在基准线的虚线侧</p>  <p>对称焊缝及双面焊缝,可不加虚线</p>

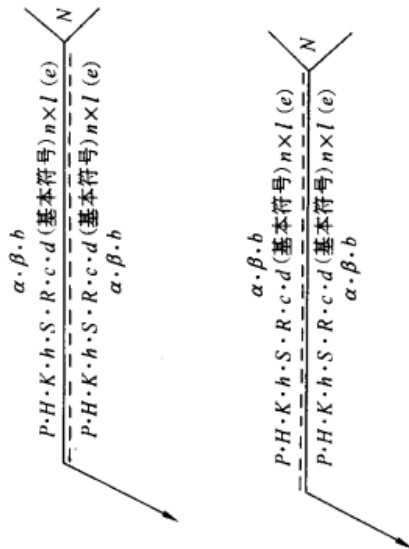


表 1-4-40 焊缝尺寸符号及其标注原则

符号、名称	示意图	符号、名称	示意图	符号、名称	示意图	符号、名称	示意图	符号、名称	示意图
$\delta$ 工作厚度		$c$ 焊缝宽度		$e$ 焊缝间距		$N$ 相同焊缝数量			
$\alpha$ 坡口角度		$R$ 根部半径		$K$ 焊角尺寸		$H$ 坡口深度			
$b$ 根部间隙		$l$ 焊缝长度		$d$ 熔核直径		$h$ 余高			
$P$ 钝边		$n$ 焊缝段数		$S$ 焊缝有效厚度		$\beta$ 坡口面角度			

标注原则

- (1) 焊缝横截面上的尺寸标在基本符号的左侧
- (2) 焊缝长度方向尺寸标在基本符号的右侧
- (3) 坡口角度、坡口面角度、根部间隙等尺寸标在基本符号的上侧或下侧
- (4) 相同焊缝数量符号标在尾部
- (5) 当需要标注的尺寸数据较多又不易分辨时，可在数据前面增加相应的尺寸符号。  
当箭头线方向变化时，上述原则不变



焊缝尺寸标注示例

表 1-4-41

名称	示意图	标注示例	名称	示意图	标注示例
对接焊缝		SV	断续角焊缝		单边: $K \nabla n \times l (e)$ 双边: $\frac{K}{K} \nabla n \times l (e)$
		SII	塞焊缝或槽焊缝		$\frac{K}{K} \nabla n \times l (e)$
卷边焊缝		SII	缝焊缝		$c \sqcap n \times l (e)$
		SJI			$d \sqcap n \times l (e)$
连续角焊缝		$K \nabla$	点焊缝		$d \bigcirc n \times l (e)$

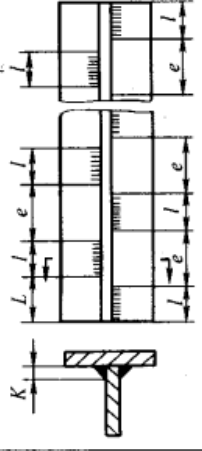
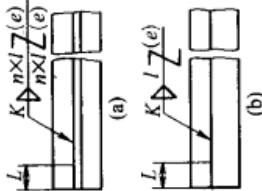
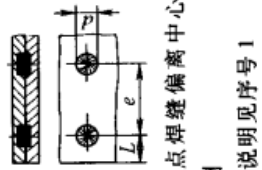
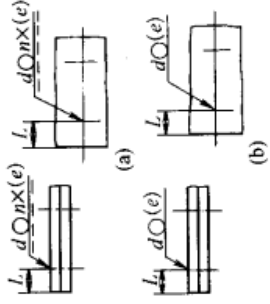
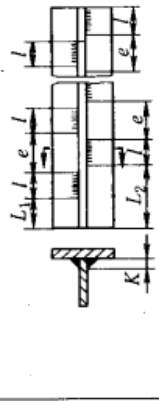
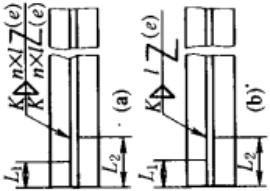
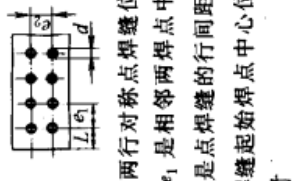
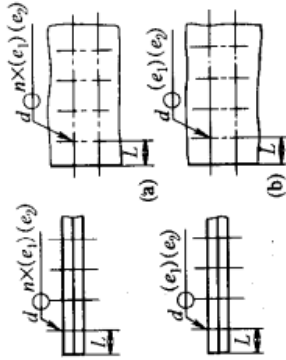
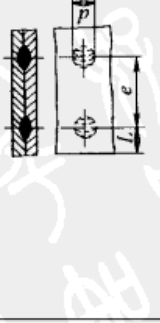
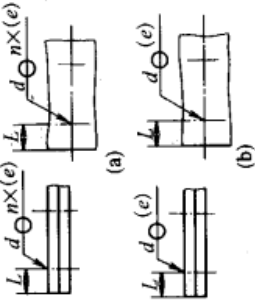

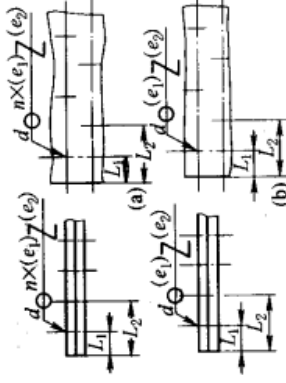
特殊焊缝标注举例

符号名称	示意图	标注方法	符号名称	示意图	标注方法
喇叭形焊缝			堆焊缝		
单边喇叭形焊缝			锁边焊缝		

焊缝符号的简化标注	
序号	焊缝视图或剖视图画法
1	<p>(a) 断续 I 形焊缝在箭头侧, L 是焊缝起始位置的定位尺寸                      (b) 按注 2 和注 3 的规定, 省略了焊缝段数和非箭头侧的基准线(虚线)</p>
2	<p>(a) 对称断续角焊缝, 构件两端均有焊缝                      (b) 按注 2 规定省略了焊缝段数, 按注 1 规定, 焊缝符号中的尺寸只在基准线上标注了一次</p>

续表

序号	焊缝视图或剖视图画法	简化注法	序号	焊缝视图或剖视图画法	简化注法
3	 <p>(a) 交错断续角焊缝, 工件在非箭头侧两端均有焊缝 (b) 说明同序号 2</p>		6	 <p>(a) 点焊缝偏离中心位置, 在箭头侧 (b) 说明见序号 1</p>	
4	 <p>(a) 交错断续角焊缝, <math>L_1</math> (或 <math>L_2</math>) 是确定箭头侧 (或非箭头侧) 焊缝起始位置的定位尺寸 (b) 说明见序号 2</p>		7	 <p>(a) 两行对称点焊缝位于中心位置, <math>e_1</math> 是相邻两焊点中心间的间距, <math>e_2</math> 是点焊缝的行间距, <math>L</math> 是第 1 列焊缝起始焊点中心位置的定位尺寸 (b) 说明见序号 5</p>	
5	 <p>(a) 点焊缝位于中心位置, <math>L</math> 是焊缝起始焊点中心位置的定位尺寸 (b) 按注 2 规定省略了焊缝段数</p>		8	 <p>(a) 交错点焊缝位于中心位置, <math>L_1</math> (或 <math>L_2</math>) 是第 1 行 (或第 2 行) 焊缝起始焊点中心位置的定位尺寸 (b) 说明见序号 2</p>	

序号	焊缝视图或剖视图画法	简化注法	序号	焊缝视图或剖视图画法	简化注法
9	<p>(a) 塞焊缝在箭头侧, <math>L</math> 是焊缝起始中心位置的定位尺寸 (b) 说明见序号 1</p>	<p>(a) (b)</p>	11	<p>(a) 焊缝位于中心位置 (b) 说明见序号 5</p>	<p>(a) (b)</p>
10	<p>(a) 槽焊缝在箭头侧, <math>L</math> 是焊缝起始槽对称中心位置的定位尺寸 (b) 说明见序号 1</p>	<p>(a) (b)</p>	12	<p>(a) 焊缝偏离中心位置, 在箭头侧, 说明见序号 11 (b) 说明见序号 1</p>	<p>(a) (b)</p>

注: 1. 标注对称焊缝和交错对称焊缝的尺寸时, 允许在基准线上只标注一次, 如图 a 所示。

2. 当断续焊缝、对称断续焊缝和交错断续焊缝的段数无严格要求时, 允许省略焊缝段数, 如图 b 所示。

3. 在不引起误解的情况下, 当箭头侧指向焊缝, 而非箭头侧又无焊缝要求时, 允许省略非箭头侧的基准线 (虚线), 如图 f 所示。

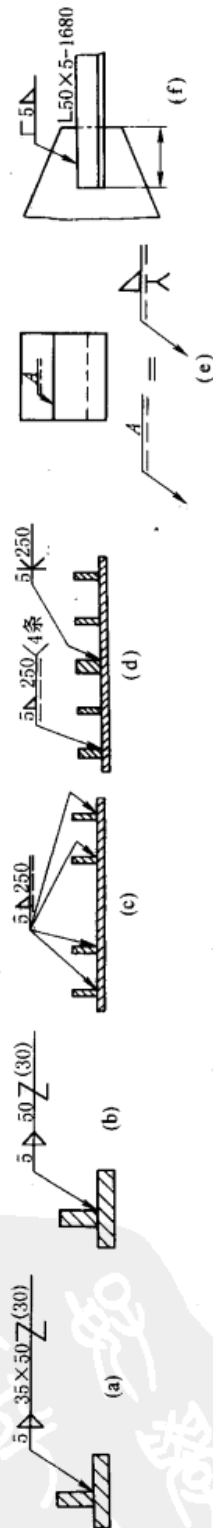
4. 当同一图样上全部焊缝完全相同时, 焊缝符号尾部表示焊接方法的代号可省略不注, 但必须在技术要求或其他技术文件中注明“全部焊缝均采用……焊”等字样; 当大部分焊接方法相同时, 也可在技术要求或其他技术文件中注明“除图样中注明的焊接方法外, 其余焊缝均采用……焊”等字样。

5. 在同一图样中, 当若干条焊缝的坡口尺寸和焊缝符号均相同时, 可采用图 c 的方法集中标注; 当这些焊缝同时在接头中的位置均相同时, 也可采用在焊缝符号的尾部加注相同焊缝数量的方法简化标注, 但其他型式的焊缝, 仍需分别标注, 如图 d 所示。


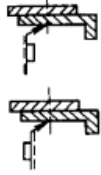
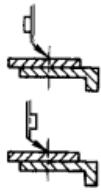


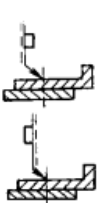

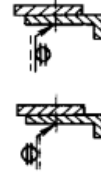
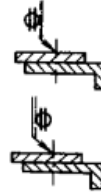

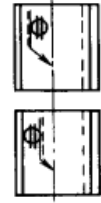
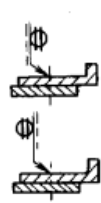

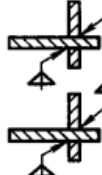
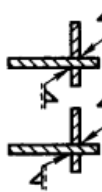


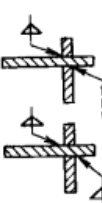


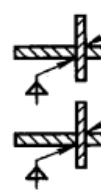


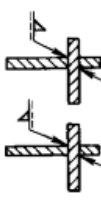
6. 当同一图样中全部焊缝相同且已用图示法明确表示其位置时, 可统一在技术要求中用符号表示或用文字说明, 如“全部焊缝为  $5\Delta$ ”; 当部分焊缝相同时, 也可采用同样的方法表示, 但剩余焊缝应在图样中明确标注。

7. 为了简化标注方法, 或者标注位置受到限制时, 可以标注焊缝简化代号图 e, 但必须在该图样下方或在标题栏附近说明这些简化代号的意义。

8. 当焊缝长度的起始和终止位置明确 (已由构件的尺寸等确定) 时, 允许在焊缝符号中省略焊缝长度, 如图 f 所示。



错误标注示例

示意图	正确标法	错误标法	示意图	正确标法	错误标法
					
					
					
					

注：当箭头指不到所要表示的接头时，不可采用焊缝符号标注方法。

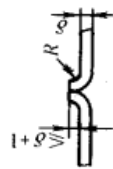

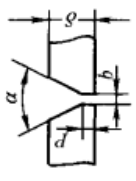

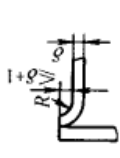
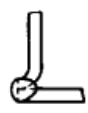
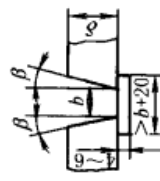

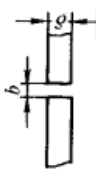


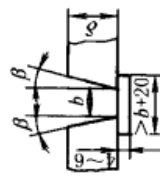



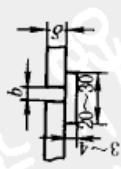


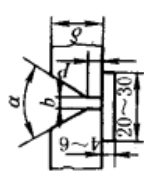



碳钢、低合金钢焊缝坡口的基本型式和尺寸 (摘自 GB/T 985—1988)

气焊 (用于薄板)、手工电弧焊及气体保护焊接的碳钢、低合金钢焊缝坡口的基本型式和尺寸按表 1-4-43。其焊缝在图样上的符号表示方法及代号按表 1-4-34 ~ 表 1-4-41 标注。

表 1-4-43

焊缝坡口的基本型式和尺寸

mm											
工件厚度	名称	符号	坡口型式	焊缝型式	坡口尺寸	工件厚度	名称	符号	坡口型式	焊缝型式	坡口尺寸
1~2	卷边坡口	八			$R = 1 \sim 2$	3~26	Y 形坡口	Y			$\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 1 \sim 4$
											
1~3	I 形坡口				$b = 0 \sim 1.5$	>16	V 形带垫坡口				$\beta = 5^\circ \sim 15^\circ$ $b = 6 \sim 15$
3~6											
2~4	I 形带垫坡口				$b = 0 \sim 3.5$	6~26	Y 形带垫坡口				$\alpha = 45^\circ \sim 55^\circ$ $b = 3 \sim 6$ $P = 0 \sim 2$

续表

工件厚度	名称	符号	坡口型式	焊缝型式	坡口尺寸	工件厚度	名称	符号	坡口型式	焊缝型式	坡口尺寸
>20	V Y 形坡口				$\beta = 60^\circ \sim 70^\circ$ ( $8^\circ \sim 10^\circ$ ) $b = 0 \sim 3$ $P = 1 \sim 3$ $H = 8 \sim 10$	>10	2/3 双 V 形坡口				$\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $H = \delta/3$
20 ~ 60	带钝边 U 形坡口				$\beta = 1^\circ \sim 8^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 1 \sim 3$ $R = 6 \sim 8$	>30	双 U 形坡口带钝边				$\beta = 1^\circ \sim 8^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 2 \sim 4$ $H = (\delta - P)/2$ $R = 6 \sim 8$
12 ~ 60	双 Y 形坡口				$\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 1 \sim 3$	3 ~ 40	单边 V 形坡口				$\beta = 35^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 4$
>10	双 V 形坡口				$\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $H = \delta/2$	>10	2/3 双 V 形坡口				$\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $H = \delta/3$



续表

工件厚度	名称	符号	坡口型式	焊缝型式	坡口尺寸	工件厚度	名称	符号	坡口型式	焊缝型式	坡口尺寸
>16	单边V形带垫坡口				$\beta = 12^\circ \sim 30^\circ$ $b = 6 \sim 10$	>10	双单边V形坡口	K			$\beta = 35^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $H = \delta/2$
6~15	V形带垫坡口				$\alpha = 30^\circ \sim 40^\circ$ $b = 3 \sim 5$	2~8	I形坡口	=			$b = 0 \sim 2$
>15					$\alpha = 20^\circ \sim 30^\circ$ $b = 5 \sim 8$						
>16	带钝边J形坡口				$\beta = 10^\circ \sim 20^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 2 \sim 4$ $R = 6 \sim 8$	4~30	错边I形坡口				$b = 0 \sim 2$
>30	带钝边双J形坡口				$\beta = 10^\circ \sim 20^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 2 \sim 4$ $R = 6 \sim 8$						
>10	双单边V形坡口				$\beta = 35^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $H = \delta/2$	12~30	Y形坡口	Y			$\alpha = 40^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 2$ $P = 0 \sim 3$

续表

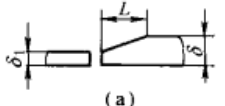
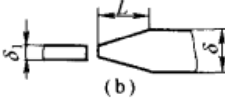
工件厚度	名称	符号	坡口型式	焊缝型式	坡口尺寸	工件厚度	名称	符号	坡口型式	焊缝型式	坡口型式	焊缝型式	坡口尺寸
12~30	Y形坡口				$\alpha = 40^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 2$ $P = 0 \sim 3$	20~30	I形坡口						$b = 0 \sim 2$
6~30	带钝边单边V形坡口				$\beta = 35^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 1 \sim 3$								
20~40	带钝边双单边V形坡口				$\beta = 35^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 1 \sim 3$	1~3	锁边坡口						$\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ $\beta = 0^\circ \sim 8^\circ$
>2	塞焊坡口				$\beta = 40^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 1 \sim 3$	>2	塞焊坡口						孔径 $\phi > (0.8 \sim 2)$ $\delta$ , 且 $\leq 10$ , 若为长孔, $L$ 由设计确定, 塞焊 点间距由设计确定

不同厚度钢板的对接焊接

不同厚度钢板对接焊接时，如果两板厚度差 ( $\delta - \delta_1$ ) 不超过表 1-4-44 规定，则焊接接头的基本型式与尺寸按较厚板的尺寸数据来选取，否则，应在较厚的板上作出单面（如表中图 a）或双面（如图 b）削薄，其削薄长度  $L \geq 3(\delta - \delta_1)$ 。

表 1-4-44

mm

 	较薄板的厚度 $\delta_1$	$\geq 2 \sim 5$	$> 5 \sim 9$	$> 9 \sim 12$	$> 12$
	允许厚度差 ( $\delta - \delta_1$ )	1	2	3	4

有色金属焊接坡口型式及尺寸

表 1-4-45

铜及铜合金焊接坡口型式及尺寸

mm

坡口型式								
坡口尺寸	氧乙炔气焊	板厚	1~3	3~6	3~6	5~10	10~15	15~25
		间隙 a	1~1.5	1~2	3~4	1~3	2~3	2~3
		钝边 p	—	—	—	1.5~3	1.5~3	1~3
		角度 $\alpha/(\circ)$	—	—	—	60~80		
	手工电弧焊	板厚	—	—	—	5~10	—	10~20
		间隙 a	—	—	—	0~2	—	0~2
		钝边 p	—	—	—	1~3	—	1.5~2
		角度 $\alpha/(\circ)$	—	—	—	60~70	—	60~80
	碳弧焊	板厚	3~5	—	5~10		—	10~20
		间隙 a	2~2.5	—	2~3	2~2.5	—	2~2.5
		钝边 p	—	—	3~4	1~2	—	1.5~2
		角度 $\alpha/(\circ)$	—	—	—	60~80		
	钨极手工氩弧焊	板厚	3	—	—	6	12~18	>24
		间隙 a	0~1.5	—	—	0~1.5		
		钝边 p	—	—	—	1.5	1.5~3	
		角度 $\alpha/(\circ)$	—	—	—	70~80	80~90	
熔化极自动氩弧焊	板厚	3~4	6	—	8~10	12	—	
	间隙 a	1	2.5	—	1~2	1~2	—	
	钝边 p	—	—	—	2.5~3	2~3	—	
	角度 $\alpha/(\circ)$	—	—	—	60~70	70~80	—	
埋弧自动焊	板厚	3~4	5~6	—	8~10	12~16	21~25	$\geq 20$
	间隙 a	1	2.5	—	2~3	2.5~3	1~3	1~2
	钝边 p	—	—	—	3~4	4	2	
	角度 $\alpha/(\circ)$	—	—	—	60~70	70~80	80	60~65

表 1-4-46 铝及铝合金气焊坡口型式及尺寸 mm

接头型式	坡口型式	坡口简图	板厚 $T$	坡口尺寸			备注
				间隙 $a$	钝边 $p$	角度 $\alpha/(\circ)$	
对接	卷边		1~2	<0.5	4~5	—	不加填充焊丝
			2~3	<0.5	5~6	—	不加填充焊丝
角接	仅留间隙不开坡口		1~5	0.5~3	—	—	
	V形坡口		6~12	4~6	3~5	$80 \pm 5$	
	X形坡口		12~20	2~4	1.5~3	$80 \pm 5$	多层焊
角接	双面V形坡口		12~20	0~3	3~5	$60 \pm 5$	

表 1-4-47 铅焊接接头坡口型式及尺寸 mm

板厚	坡口尺寸
<3	
4~15	
>15	
<3	
$\leq 7$	
$\leq 7$	

焊缝强度计算<sup>[13]</sup>

焊缝静载强度计算见表 1-4-48，不同外形的角焊缝的计算厚度见图 1-4-3。

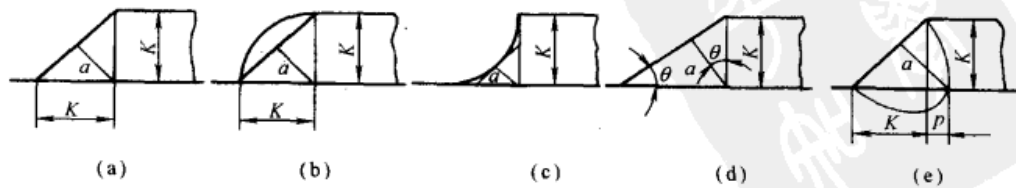
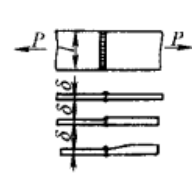
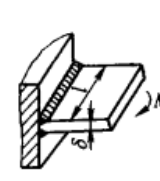
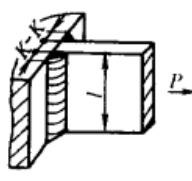
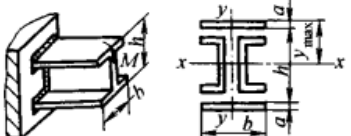
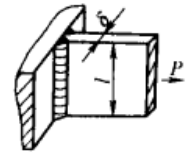
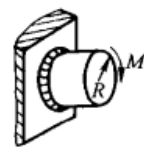
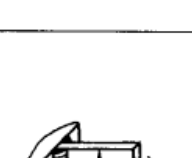
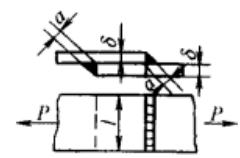
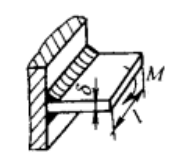
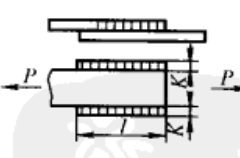
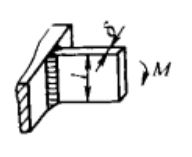
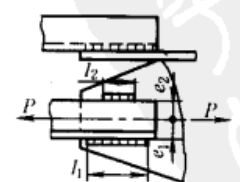


图 1-4-3 不同外形的角焊缝的计算厚度

表 1-4-48

电弧焊接头静强度计算基本公式

<p>对接接头</p>  <p>拉: <math>\sigma = \frac{P}{\delta l} \leq \sigma'_{lp}</math>          压: <math>\sigma = \frac{P}{\delta l} \leq \sigma'_{ap}</math></p> <p><math>\sigma'_{lp}</math> —— 对接焊缝的许用拉应力, 见表 1-4-53  <math>\sigma'_{ap}</math> —— 对接焊缝的许用压应力, 见表 1-4-53</p>	<p>丁字接头</p>  <p>弯: <math>\sigma = \frac{6M}{l\delta^2} \leq \sigma'_{lp}</math></p>
 <p>拉: <math>\tau = \frac{P}{2al} \leq \tau'_p</math>          压: <math>\tau = \frac{P}{2al} \leq \sigma'_{ap}</math></p> <p><math>\tau'_p</math> —— 角焊缝的许用剪切应力, 见表 1-4-53, 在承受压应力时, 考虑到板的端面可以传递部分压力, 许用应力可从 <math>\tau'_p</math> 提高到 <math>\sigma'_{ap}</math>  <math>a</math> —— 角焊缝的计算厚度, 一般取 0.7K, 特殊情况见图 1-4-3</p>	<p>十字接头</p>  <p>弯: <math>\tau = \frac{M}{I_x} y_{\max} \leq \tau'_p</math></p>
<p>丁字接头或十字接头</p>  <p>拉: <math>\sigma = \frac{P}{\delta l} \leq \sigma'_{lp}</math>          压: <math>\sigma = \frac{P}{\delta l} \leq \sigma'_{ap}</math></p> <p>未焊透的焊缝计算厚度取实际值, 许用应力降为 <math>\tau'_p</math></p>	<p>十字接头</p>  <p>弯: <math>\tau = \frac{4M(R+a)}{\pi[(R+a)^4 - R^4]} \leq \tau'_p</math>          当 <math>a \ll R</math> 时  <math>\tau \approx \frac{M(R+a)}{\pi a R^3} \leq \tau'_p</math></p>
<p>丁字接头或十字接头</p>  <p>弯: <math>\tau = \frac{3M}{ah^2} \leq \tau'_p</math></p>	<p>搭接头</p>  <p>拉或压: <math>\tau = \frac{P}{2al} \leq \tau'_p</math></p>
 <p>弯: <math>\tau = \frac{M}{la(\delta+a)} \leq \tau'_p</math></p>	<p>搭接头</p>  <p>拉或压: <math>\tau = \frac{P}{2al} \leq \tau'_p</math>  <math>l \leq 50K</math>          取 <math>a = 0.7K</math></p>
 <p>弯: <math>\sigma = \frac{6M}{l^2\delta} \leq \sigma'_{lp}</math></p>	<p>搭接头</p>  <p>拉或压: <math>\tau = \frac{P}{a \sum l} \leq \tau'_p</math>  <math>\frac{l_1}{l_2} = \frac{e_2}{e_1}</math>  <math>e_1</math> 和 <math>e_2</math> 为角钢截面形心至焊缝的距离</p>

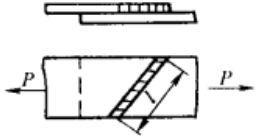
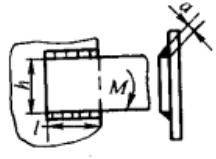
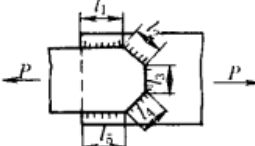
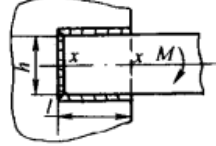
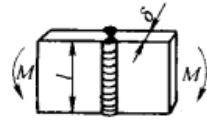
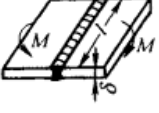
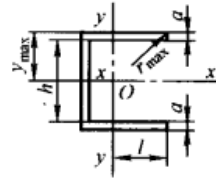
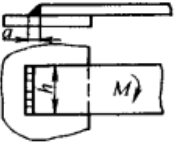
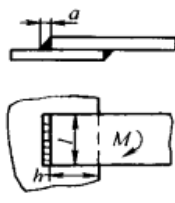
<p>搭接接头</p>	 <p>拉或压:  <math display="block">\tau = \frac{P}{al} \leq \tau'_p</math></p>	<p>弯:  <math display="block">\tau = \frac{M}{al(h+a)} \leq \tau'_p</math> <math display="block">\tau \text{ 平行于焊缝方向}</math> <p>如 <math>h \ll l</math>, 则  <math display="block">\tau = \frac{M}{0.33al^2} \leq \tau'_p</math> <math display="block">\tau \text{ 垂直于焊缝方向}</math></p>  </p>
<p>对接接头</p>	 <p>拉或压:  <math display="block">\tau = \frac{P}{a \sum l} \leq \tau'_p</math></p>	<p>弯:          第一法          弯矩 <math>M</math> 被一对水平焊缝的力偶及垂直焊缝的力矩所平衡, 即  <math display="block">M = \tau al(h+a) + \frac{\tau ah^2}{6}</math> <math display="block">\tau = \frac{M}{al(h+a) + \frac{ah^2}{6}} \leq \tau'_p</math></p> 
<p>对接接头</p>	 <p>弯:  <math display="block">\sigma = \frac{6M}{\delta l^2} \leq \sigma'_{ip}</math></p>	<p>第二法          按焊缝的轴惯性矩计算  <math display="block">\tau = \frac{M}{I_x} y_{\max} \leq \tau'_p</math></p>
<p>搭接接头</p>	 <p>弯:  <math display="block">\sigma = \frac{6M}{\delta^2 l} \leq \sigma'_{ip}</math></p>	<p>第三法          按焊缝的极惯性矩计算  <math display="block">\tau = \frac{M}{I_p} r_{\max}</math></p> 
<p>搭接接头</p>	 <p>弯:  <math display="block">\tau = \frac{6M}{ah^2} \leq \tau'_p</math></p>	<p>第一法较简便, 但只适用于简单的焊缝型式。第二、三法不及第一法方便, 可用于复杂型式, 第一、二法计算结果相近, 三法较准确</p> <p><math>y_{\max}</math>——焊缝截面距 <math>x</math> 轴的最大距离  <math>I_p</math>——焊缝的计算截面对 <math>O</math> 点的极惯性矩  <math display="block">I_p = I_x + I_y</math>  <math>I_x</math>——焊缝的计算截面对 <math>x</math> 轴的轴惯性矩  <math>I_y</math>——焊缝的计算截面对 <math>y</math> 轴的轴惯性矩  <math>r_{\max}</math>——焊缝的计算截面距 <math>O</math> 点的最大距离</p>
<p>搭接接头</p>	 <p>弯:  <math display="block">\tau = \frac{M}{al(h+a)} \leq \tau'_p</math> <math display="block">\tau \text{ 平行于焊缝方向}</math> <p>如 <math>h \ll l</math>, 则  <math display="block">\tau = \frac{M}{2al^2} = \frac{M}{0.33al^2} \leq \tau'_p</math> <math display="block">\tau \text{ 垂直于焊缝方向}</math></p> </p>	

表 1-4-49

点焊接头静载强度计算方法及焊点布置

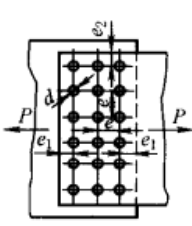
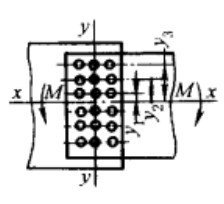
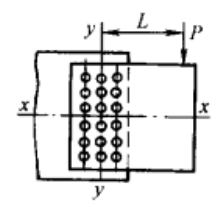
 <p>拉或压:</p> <p>单面剪切 <math>\tau = \frac{4P}{ni\pi d^2} \leq \tau_{0p}'</math></p> <p>双面剪切 <math>\tau = \frac{2P}{ni\pi d^2} \leq \tau_{0p}'</math></p> <p><math>\tau_{0p}'</math>——焊点的剪切许用应力, 见表 1-4-59</p> <p><math>i</math>——焊点的列数</p> <p><math>n</math>——每列的焊点数</p> <p>单面剪切</p> <p>双面剪切</p>	 <p>弯: 式中符号含义同左</p> <p>单面剪切</p> $\tau_{\max} = \frac{4My_{\max}}{i\pi d^2 \sum y_i^2} \leq \tau_{0p}'$ <p>双面剪切</p> $\tau_{\max} = \frac{2My_{\max}}{i\pi d^2 \sum y_i^2} \leq \tau_{0p}'$
<p>焊点直径 <math>d</math> 见表 1-4-50 或 <math>d = 5\sqrt{\delta}</math>, <math>\delta</math> 为被焊板中较薄者</p> <p>节距 <math>e \geq 3d</math>, 边距 <math>e_1 \geq 2d, e_2 \geq 1.5d</math></p>	 <p>偏心力:</p> $\tau_M = \frac{4PLy_{\max}}{i\pi d^2 \sum y_i^2} \text{ (单面剪) 或}$ $\tau_M = \frac{2PLy_{\max}}{i\pi d^2 \sum y_i^2} \text{ (双面剪)}$ <p><math>\tau_Q = \frac{4P}{ni\pi d^2}</math> (单面剪) 或 <math>\tau_Q = \frac{2P}{ni\pi d^2}</math> (双面剪)</p> $\tau_R = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_Q^2} \leq \tau_{0p}'$

表 1-4-50

焊点最小直径

mm

板厚 <sup>①</sup>	低碳钢、低合金钢	不锈钢、耐热钢、钛合金	铝合金	板厚 <sup>①</sup>	低碳钢、低合金钢	不锈钢、耐热钢、钛合金	铝合金
0.3	2.0	2.5	—	1.5	5.0	5.5	6.0
0.5	2.5	2.5	3.0	2.0	6.0	6.5	7.0
0.6	2.5	3.0	—	2.5	6.5	7.5	8.0
0.8	3.0	3.5	3.5	3.0	7.0	8.0	9.0
1.0	3.5	4.0	4.0	4.0	9.0	10.0	12.0
1.2	4.0	4.5	5.0				

① 指被焊板中的较薄者。

表 1-4-51

点焊搭接宽度和节距

mm

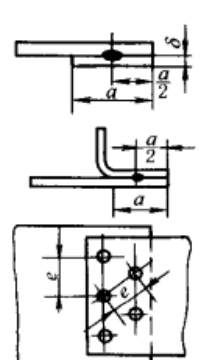
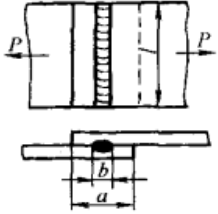
简图	板厚	最小搭接宽度 $a$			最小节距 $e$		
		结构钢	不锈钢	铝合金	结构钢	不锈钢	铝合金
	0.3 + 0.3	6	6	—	10	7	—
	0.5 + 0.5	8	8	12	11	8	13
	0.8 + 0.8	9	9	12	13	9	15
	1.0 + 1.0	12	10	14	14	10	15
	1.2 + 1.2	—	—	14	—	—	15
	1.5 + 1.5	14	13	16	15	12	20
	2.0 + 2.0	18	16	20	17	14	25
	2.5 + 2.5	—	—	26	—	—	30
	3.0 + 3.0	20	20	30	26	18	35

表 1-4-52

缝焊接宽度、焊缝宽度及强度验算

mm

焊缝强度验算	材 料	结 构 钢		不 锈 钢		铝 合 金	
	板厚	a	b	a	b	a	b
 $\tau = \frac{P}{bl} \leq \tau_{0p}'$ <p>a——搭接宽度；l——焊缝长度； b——焊缝宽度；<math>\tau_{0p}'</math>——见表 1-4-59</p>	0.3+0.3	8	3.0~4.0	7	3.0~3.5	—	—
	0.5+0.5	9	3.5~4.5	8	3.5~4.0	10	5.0~5.5
	0.8+0.8	11	4.0~5.5	12	5.5~6.0	12	5.5~6.0
	1.0+1.0	13	5.0~6.5	14	6.0~7.0	13	6.0~6.5
	1.2+1.2	—	—	—	—	14	6.5~7.0
	1.5+1.5	16	6.0~8.0	18	8.0~9.0	16	7.0~8.0
	2.0+2.0	20	8.0~10.0	20	9.0~10.0	18	8.0~9.0
	2.5+2.5	22	9.0~11.0	22	10.0~11.0	22	10.0~11.0
	3.0+3.0	24	10.0~12.0	25	11.0~12.5	24	11.0~12.0
	3.5+3.5	—	—	—	—	26	12.0~13.0

焊缝许用应力<sup>[13]</sup>

1) 建筑钢结构焊缝许用应力按表 1-4-53、表 1-4-54 选取。

表 1-4-53

建筑钢结构焊缝许用应力

MPa

焊缝种类	应力种类	符 号	埋弧自动、半自动焊和用 E43 型 焊条的手工焊				埋弧自动、半自动焊和 用 E50 型焊条的手工焊		
			构 件 的 钢 号						
			Q215		Q235		Q345 和 16MnQ		
			第 1 组 <sup>②</sup>	第 2 组 <sup>②</sup>	第 1 组	第 2 组 <sup>②</sup>	第 1 组	第 2 组	第 3 组
对接 焊 缝	抗压	$\sigma_{ap}'$	152	137	167	152	235	226	211
	抗拉	$\sigma_{ip}'$	152	137	167	152	235	226	211
	(1) 当用埋弧自动焊时	$\sigma_{ip}'$	152	137	167	152	235	226	211
	(2) 当用埋弧半自动焊和手工焊时, 焊缝的质量检查为 <sup>①</sup> :	$\sigma_{ip}'$	152	137	167	152	235	226	211
	精确方法	$\sigma_{ip}'$	127	118	142	127	201	191	181
	普通方法	$\sigma_{ip}'$	93	83	98	93	142	137	127
	抗剪	$\tau_p'$	93	83	98	93	142	137	127
角 焊 缝	抗拉、抗压、抗剪	$\tau_p'$	108	108	118	118	167	167	167

① 检查焊缝的普通方法指外观检查、钻孔检查等；精确方法是在普通方法基础上，用 X 射线方法进行补充检查。

② 钢材按尺寸分组，见表 1-4-54。

注：原表单位为 kgf/cm<sup>2</sup>，表中值为按 1kgf/cm<sup>2</sup> = 0.0980665MPa 换算值的近似值。

按表 1-4-53 选取的许用应力数值为结构受静载荷时的数值。在表 1-4-55 的情况下工作的构件，其焊缝许用应力值应乘以相应的折减系数  $\Psi$ （见表 1-4-55）。受变应力的构件，其许用应力也乘以降低系数  $\gamma$ ， $\gamma$  值可以从表 1-4-55 中曲线图查得。



表 1-4-54 钢材分组的尺寸 mm

组 别	钢材的钢号			
	Q215 或 Q235			Q345 或 16MnQ
	条钢直径或厚度	异形钢厚度	钢板厚度	钢材直径或厚度
第 1 组	≤40	≤15	4~20	≤16
第 2 组	>40~100	>15~20	>20~40	17~25
第 3 组	>100~250	>20	>40~60	26~36

表 1-4-55 折减系数  $\Psi$  和许用应力降低系数  $\gamma$

折减系数 $\Psi$	许用应力降低系数 $\gamma$
(1) 重级工作制的起重机金属结构的焊缝 0.95 (2) 施工条件较差的高空安装焊缝 0.90 (3) 单面连接的单角钢杆件按轴心受力计算焊缝 0.85	

2) 起重机金属结构焊缝许用应力, 按表 1-4-56 选取。

表 1-4-56 起重机金属结构焊缝的许用应力 (摘自 GB/T 3811—1983)

焊缝种类	应力种类	符 号	用普通方法检查的手工焊	自动焊或用精确方法检查的手工焊
对接	拉伸、压缩应力	$\sigma_{hp}$	$0.8\sigma_p$	$\sigma_p$
对接及角焊缝	切应力	$\tau_{hp}$	$0.8\sigma_p/\sqrt{2}$	$\sigma_p/\sqrt{2}$

注: 1. 表中  $\sigma_p$  为结构件材料的基本许用应力, 见表 1-4-57。

2. 表中焊缝许用应力是计算静强度时采用的数值。

表 1-4-57 结构件材料的基本许用应力

$\sigma_s/\sigma_b$	基本许用应力	说 明
<0.7	按表 1-4-58	
≥0.7	$\sigma_p = \frac{0.5\sigma_s + 0.35\sigma_b}{n}$	

$\sigma_p$ ——钢材的基本许用应力, 即表 1-4-58 中相应于载荷组合 I、组合 II、组合 III 的许用应力  $\sigma_{pI}$ 、 $\sigma_{pII}$ 、 $\sigma_{pIII}$ , MPa  
 $\sigma_s$ ——钢材的屈服点, 当材料无明显的屈服点时, 取  $\sigma_s$  为  $\sigma_{0.2}$ ,  $\sigma_{0.2}$  为钢材标准拉力试验残余应变达 0.2% 时的试验应力, MPa (见第 3 篇)  
 $\sigma_b$ ——钢材的抗拉强度, MPa (见第 3 篇)  
 $n$ ——与载荷组合类别相应的安全系数, 见表 1-4-58

表 1-4-58 安全系数和许用应力

载荷组合类别	安全系数	拉伸、压缩、弯曲许用应力	剪切许用应力	端面承压许用应力 [磨平顶紧]
组合 I	$n_I = 1.5$	$\sigma_{pI} = \frac{\sigma_s}{1.5}$	$\tau_{pI} = \frac{\sigma_{pI}}{\sqrt{3}}$	$\sigma_{cdpI} = 1.5\sigma_{pI}$
组合 II	$n_{II} = 1.33$	$\sigma_{pII} = \frac{\sigma_s}{1.33}$	$\tau_{pII} = \frac{\sigma_{pII}}{\sqrt{3}}$	$\sigma_{cdpII} = 1.5\sigma_{pII}$
组合 III	$n_{III} = 1.15$	$\sigma_{pIII} = \frac{\sigma_s}{1.15}$	$\tau_{pIII} = \frac{\sigma_{pIII}}{\sqrt{3}}$	$\sigma_{cdpIII} = 1.5\sigma_{pIII}$

注: 1. 如采用 Q235-AF, 对型钢厚度大于 15mm 和钢板厚度大于 20mm 的许用应力应乘以 0.95 予以降低。

2. 只考虑基本载荷组合为组合 I; 考虑基本载荷与附加载荷组合为组合 II; 考虑基本载荷与特殊载荷或三类载荷都组合为组合 III。

对于高强度钢、高强度铝合金和其他特殊材料制成的或在特殊工作条件 (高温、腐蚀介质) 下使用的焊接结构的焊缝许用应力, 按有关规范确定。对于采用与母材强度等级相当的焊接材料焊成的低碳钢结构和  $\sigma_b \leq 51\text{MPa}$  ( $520\text{kgf/cm}^2$ ) 的普通低合金钢结构, 如无专门的设计规范, 则电弧焊缝的许用应力可按母材的许用拉应力  $\sigma_p$  乘以系数  $m$  来确定, 见表 1-4-59。

表 1-4-59 m 值

焊缝种类	许用应力种类	m	说 明
对接焊缝	许用拉应力 $\sigma'_{hp}$	1	射线或超声波检查合格
	许用压应力 $\sigma'_{ap}$	0.85	一般质量检查
角焊缝	许用切应力 $\tau'_p$	1	
点焊缝	许用切应力 $\tau'_{0p}$	0.65	
	许用拉应力 $\sigma'_{0p}$	0.3~0.5	
		0.25~0.3	

## 1.5 焊接结构的一般尺寸公差和形位公差 (摘自 GB/T 19804—2005)

适用于焊件、焊接组装件和焊接结构。复杂的结构可根据需要做特殊规定。每个尺寸和形状、位置要求均是独立的,应分别满足要求(依据 GB/T 4249 规定的独立原则)。

表 1-4-60 线性尺寸与直线度、平面度和平行度公差

		公称尺寸 $l$ 的范围										应用范围				
公差等级	公差 $t$	2~30	>30~120	>120~400	>400~1000	>1000~2000	>2000~4000	>4000~8000	>8000~12000	>12000~16000	>16000~20000	>20000	A	B	C	D
		公差 $t$											E	F	G	H
线性尺寸公差	A	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 5$	$\pm 6$	$\pm 7$	$\pm 8$	$\pm 9$	尺寸精度要求高、重要的焊接件	比较重要的结构,焊接和矫直产生的热变形小,成批生产	一般结构,如箱形结构,焊接和矫直产生的热变形大	允许偏差大的结构件
	B		$\pm 2$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$	$\pm 10$	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 16$				
	C		$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$	$\pm 11$	$\pm 14$	$\pm 18$	$\pm 21$	$\pm 24$	$\pm 27$				
	D		$\pm 4$	$\pm 7$	$\pm 9$	$\pm 12$	$\pm 16$	$\pm 21$	$\pm 27$	$\pm 32$	$\pm 36$	$\pm 40$				
直线度、平面度与平行度公差	公称尺寸 $l$ (对应表面的较长边) 的范围															
	公差等级	>30~120	>120~400	>400~1000	>1000~2000	>2000~4000	>4000~8000	>8000~12000	>12000~16000	>16000~20000	>20000					
	公差 $t$															
	E	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 1.5$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 5$	$\pm 6$	$\pm 7$	$\pm 8$					
	F	$\pm 1$	$\pm 1.5$	$\pm 3$	$\pm 4.5$	$\pm 6$	$\pm 8$	$\pm 10$	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 16$					
	G	$\pm 1.5$	$\pm 3$	$\pm 5.5$	$\pm 9$	$\pm 11$	$\pm 16$	$\pm 20$	$\pm 22$	$\pm 25$	$\pm 25$					
H	$\pm 2.5$	$\pm 5$	$\pm 9$	$\pm 14$	$\pm 18$	$\pm 26$	$\pm 32$	$\pm 36$	$\pm 40$	$\pm 40$						

### 角度尺寸公差

角度尺寸公差应采用角度的短边为基准边,其长度从图样标明的基准点算起,见下图。如在图样上不标注角度,而只标注长度尺寸,则允许偏差以 mm/m 计。一般选 B 级,可不标注,选用的其他精度等级均应在图样的表 1-4-96 的技术要求中。

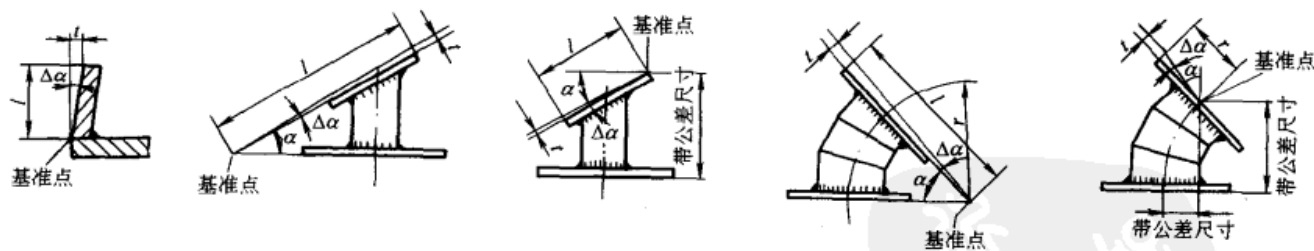


表 1-4-61 角度尺寸公差

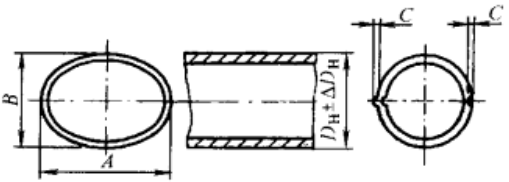
公差等级	公称尺寸 $l$ (工件长度或短边长度) 范围/mm					
	0~400	>400~1000	>1000	0~400	>400~1000	>1000
	以角度表示的公差 $\Delta\alpha/(\circ)$			以长度表示的公差 $t/(mm/m)$		
A	$\pm 20'$	$\pm 15'$	$\pm 10'$	$\pm 6$	$\pm 4.5$	$\pm 3$
B	$\pm 45'$	$\pm 30'$	$\pm 20'$	$\pm 13$	$\pm 9$	$\pm 6$
C	$\pm 1^\circ$	$\pm 45'$	$\pm 30'$	$\pm 18$	$\pm 13$	$\pm 9$
D	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ 15'$	$\pm 1^\circ$	$\pm 26$	$\pm 22$	$\pm 18$

注:  $t$  为  $\Delta\alpha$  的正切值,它可由短边的长度计算得出,以 mm/m 计,即每米短边长度内所允许的偏差值。

表 1-4-62

焊前弯曲成形的筒体尺寸允差 (摘自 JB/T 5000.3—1998)

mm

	外径 $D_H$	$\Delta D_H$	当筒体壁厚为下列数值的圆度 A-B		弯角 C	
			$\leq 30$	$> 30$		
			$\leq 500$	$> 500 \sim 1000$		$> 1000 \sim 1500$
			6	4	3	
			8	5	3	
			11	7	4	
			14	9	4	
			17	11	5	
			20	13	5	
			23	15	6	

注: 要求筒体内外表面或单面机械加工时, 其卷圆成形校圆后, 筒体圆度值可取表中的 1/2。

表 1-4-63

焊前管子的弯曲半径允差、圆度允差及允许的波纹深度

(摘自 JB/T 5000.3—1998)

mm


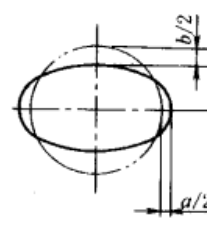

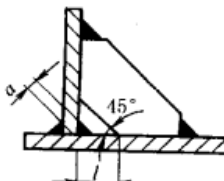

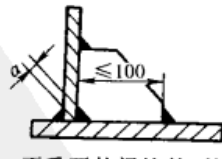
允差名称	管子外径											示意图		
	30	38	50	60	70	83	102	108	127	150	200			
弯曲半径 R 的允差	$R = 75 \sim 125$	$\pm 2$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 4$								
	$R = 160 \sim 300$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 2$	$\pm 3$								
	$R = 400$						$\pm 5$	$\pm 5$	$\pm 5$	$\pm 5$	$\pm 5$	$\pm 5$		
	$R = 500 \sim 1000$						$\pm 4$	$\pm 4$	$\pm 4$	$\pm 4$	$\pm 4$	$\pm 4$		
	$R > 1000$						$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 3$		
在弯曲半径处的圆度允差 a 或 b	$R = 75$	3.0												
	$R = 100$	2.5	3.1											
	$R = 125$	2.3	2.6	3.6										
	$R = 160$	1.7	2.1	3.2										
	$R = 200$		1.7	2.8	3.6									
	$R = 300$		1.6	2.6	3.0	4.6	5.8							
	$R = 400$				2.4	3.8	5.0	7.2	8.1					
	$R = 500$				1.8	3.1	4.2	6.2	7.0	7.6				
	$R = 600$				1.5	2.3	3.4	5.1	5.9	6.5	7.5			
$R = 700$				1.2	1.9	2.5	3.6	4.4	5.0	6.0	7.0			
弯曲处的波纹深度 a	—	1.0	1.5	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0			

表 1-4-64

筋板倒角型式及尺寸

	倒角型式	倒角尺寸 /mm			
		筋板厚度	a	l 或 r	
<p>如果外形允许, 则厚度为 12mm 以下的筋板一般采用剪切的情况</p>	 <p>当筋板厚度大于 12mm, 以及由于外形的原因, 不管怎样处理, 筋板都必须是从钢板上气割下来时的情况</p>	 <p>不重要的焊接件, 筋板宽度 100mm 以下, 位置紧凑, 筋板可不进行倒角焊接, 图样不要求专门标注。因为强度关系, 密封焊接都不采用这种筋板</p>	$\leq 10$	$\leq 5$	25
			$> 10 \sim 30$	$> 5 \sim 7$	40
			$> 30$	$> 7 \sim 12$	50

## 1.6 钎焊

钎焊是采用比母材熔点低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点，低于母材熔点的温度，利用液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散实现连接焊件的方法。

钎焊时，焊件加热温度较低，焊件的组织和力学性能变化不大，变形较小，接头平整光滑，工艺简单，生产率高，因此钎焊获得广泛应用。

钎焊的缺点是一般情况下接头强度较低，必须用搭接达到与母材等强度。钎焊时接头连接面间要保证一定的间隙。残余的钎剂有腐蚀作用，因而对装配及钎焊后的清理要求较严。

按钎料的熔化温度和钎焊接头的强度不同，钎料可分为：难熔钎料（硬钎料，熔点在450℃以上），易熔钎料（软钎料，熔点在450℃以下）。钎料见表1-4-73，钎剂见表1-4-74~表1-4-79。

为了获得优质的钎焊接头，应根据所钎焊的材料、形状结构及尺寸、接头的使用性能、生产效率及所具备的条件等因素，正确地选择相应的钎焊方法、钎料、钎剂以及钎焊工艺等。

各种钎焊方法的比较及应用范围<sup>[27]</sup>

表 1-4-65

方法	优点	缺点	应用范围	方法	优点	缺点	应用范围
火焰钎焊	(1)设备简单,价格低 (2)热源可以移动,操作灵活 (3)过程可以实现自动化	(1)钎焊零件发生氧化 (2)局部加热,工件易变形 (3)需熟练的技术	钢、合金钢、硬质合金、铜、铝、铸铁的钎焊	真空炉中钎焊	(1)可不加钎剂进行钎焊 (2)钎焊后零件表面光洁 (3)钎焊接头抗腐蚀性好 (4)可钎焊难钎焊的金属及陶瓷等	(1)设备投资大 (2)生产效率低	用于铝合金、钛合金、高温合金、耐熔合金以及陶瓷的钎焊
空气炉中钎焊	(1)设备投资少 (2)加热均匀,零件变形小 (3)生产效率高,可实现自动化	(1)钎焊零件发生氧化 (2)钎料需预置	适用于多种金属的钎焊,如各种钢种、铜、铝、铸铁等	感应钎焊	(1)加热速度快,成本低 (2)可观察钎焊过程 (3)适用于单件和大量生产	(1)设备投资大 (2)钎焊温度不易控制 (3)局部加热引起工件变形 (4)空气中加热易使工件氧化	多适用于导磁性好的金属,如各种钢、铸铁及硬质合金的钎焊
保护气氛炉中钎焊	(1)温度可正确控制 (2)均匀加热,工件变形小 (3)钎焊时得到保护,不被氧化 (4)易实现机械化,适于大量生产	(1)设备投资大 (2)大多数情况下必须用夹具 (3)钎焊过程不易观察	适用于多种黑色金属及铜、铝的钎焊	电阻钎焊	(1)加热迅速,生产率高 (2)热量集中,对周围的热影响小 (3)可以观察钎焊过程 (4)易实现自动化	(1)调节温度困难 (2)零件尺寸和形状受限制 (3)金属发生氧化	刀具、带锯、电机绕组、电触点及电子元器件的钎焊

续表

方法	优点	缺点	应用范围	方法	优点	缺点	应用范围
电弧钎焊	(1)加热快 (2)操作灵活、方便	(1)焊件易氧化 (2)需使用电弧面罩观察	电机绕组、汽车蒙皮等钎焊	扩散钎焊、接触反应钎焊	(1)钎焊接头质量高 (2)钎缝金属量少,并易控制 (3)易实现精密连接	(1)钎焊金属常需涂以过渡金属 (2)常需在气体保护或真空下进行 (3)钎焊时间长	同种或异种金属的精密连接
盐浴钎焊	(1)零件加热均匀 (2)加热迅速,生产效率高 (3)钎焊温度容易控制 (4)作业人员的技术要求不高	(1)熔盐对环境有污染 (2)用电量 (3)钎焊后必须严格清除残渣 (4)设备价格高	各类钢、高温合金、铜及铜合金、铝及铝合金的盐浴钎焊	烙铁钎焊	(1)设备简单 (2)操作方便、灵活	(1)只应用于易熔钎料 (2)钎焊接头强度不高	适用于软钎焊
				波峰钎焊	生产效率高	设备投资大	印刷电路板的引线及铜箔电路的软钎焊
				气相钎焊	焊件受热均匀	工作液价格贵,所选温度受限	印刷电路板、集成电路板的软钎焊
浸渍钎焊	(1)迅速而均匀地加热零件 (2)精确控制温度 (3)操作技术要求不高 (4)生产效率高	(1)设备价格高 (2)钎料消耗量大 (3)钎料必须经常更换	钢、铜及其合金、印刷电路板的软钎焊	再流钎焊	可连续生产	需专用设备	
				红外钎焊	热量集中,焊点周围不受热影响	只能单点扫描,设备昂贵	
				激光钎焊	可连续生产	需专用设备	
				热风钎焊	受热均匀,生产率高	需专用设备	

钎料和钎剂的选择原则

表 1-4-66

名称	考虑因素	原 则
钎料	钎料与母材的匹配	钎料应具有适当的熔点,对母材具有良好的润湿性和填缝能力。应能避免形成脆性的金属间化合物、晶间渗入、因母材过分溶解而造成溶蚀,以及避免热膨胀系数失配等
	钎料与钎焊方法匹配	不同的钎焊方法对钎料性能的要求是不同的:如电阻钎焊法,要求钎料的电阻率比母材电阻率大一些,以提高加热效率;炉中钎焊法,要求钎料中易挥发元素的含量要少,以保证在相对较长的钎焊时间内不会因为合金元素的挥发而影响钎料性能;真空钎焊法,要求钎料不含蒸气压高的合金元素,避免对真空系统的污染;火焰钎焊法,希望钎料与母材的熔点相差尽可能大,以避免母材局部过热、过烧或熔化等
	满足使用要求	不同产品在不同工作环境和条件下对钎焊接头性能的要求是不同的。可能涉及很多方面,如导电性、导热性、工作温度、强度、塑性、密封性、抗氧化性、抗腐蚀性等。但对于一个具体的钎焊件来说,只能着重考虑其最主要的使用要求
	钎焊结构的要求	钎焊结构本身的复杂性和钎焊方法的限制,有时使手工送进钎料不可能实现,因而常常要将钎料预先加工成形,如环形、箔材、垫片和粉末等形式,并预先放在钎焊间隙中或附近。因此要考虑钎料的加工性能是否可以制成所需的形式
	生产成本	生产成本包括钎料的材料成本、成形加工成本、钎焊方法及设备投资等,要视钎焊件的批量大小、重要程度等因素,全面综合地分析决定

续表

名称	考虑因素	原 则
钎剂	母材和钎料	选择钎剂首先应考虑母材和钎料的种类,不同种类要求各异:锡铅钎料焊铜,用活性较小的松香钎剂;焊钢时,用活性较强的氯化锌水溶液(无机软钎剂);焊不锈钢,用活性很强的氯化锌盐酸溶液(无机软钎剂);黄铜钎料焊普通铜及铜合金时,用脱水硼砂(硬钎剂);钎焊铝及铝合金,由于氧化铝膜稳定性大,因此必须选用铝钎焊专用钎剂
	钎焊方法	不同的钎焊方法对钎剂要求也不同:如电阻钎焊,它应有一定的导电性;浸渍钎焊,它应去除水分,以免沸腾和爆炸;感应钎焊的钎焊时间短,加热速度快,它的反应要快,活性要大;炉中钎焊时间长,加热速度慢,它的活性可小些,但热稳定性要好
	钎焊温度	钎剂的熔化温度要与钎焊温度相适应,其熔点应低于钎料的熔点,使钎料在熔化前便为熔化的钎剂所覆盖,为钎料的润湿铺展做好准备;它的沸点应比钎焊温度高,以防止钎剂的蒸发;它的最低活性温度不能比钎料的熔化温度低得太多,否则氧化膜除去过早,随后还会重新生成,而钎剂已消耗完,这点对钎焊时间长、加热速度慢的钎焊过程尤为重要
	钎缝形状	钎缝形状复杂的钎焊接头,应选择腐蚀性小且易去除的钎剂,以便于焊后残渣清除干净

## 钎料的选择

表 1-4-67

接合的金属或合金	铝及铝合金	镍及镍合金	碳钢	不锈钢	铸 铁	铜及铜合金	高碳钢及工具钢	耐热钢
铝及铝合金	Al, Zn							
镍及镍合金	不推荐	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni						
碳钢	Al-Si	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni	Cu, Ag, Pb Sn, Cu-Zn Cr-Ni					
不锈钢	不推荐	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni				
铸铁	不推荐	Cu, Ag Cu-Zn	Cu, Ag Cu-Zn Pb-Sn	Cu, Ag Cu-Zn	Cu, Ag Cu-Zn Pb-Sn			
铜及铜合金	不推荐	Ag Cu-Zn	Ag Cu-Zn Pb-Sn	Ag Cu-Zn	Ag Cu-Zn Pb-Sn	Ag, Cu-P Cu-Zn Pb-Sn		
高碳钢及工具钢	不推荐	Cu, Ag Cu-Zn	Cu, Ag Cu-Zn	Cu-Zn Cu, Ag	Cu, Ag Cu-Zn	Ag Cu-Zn	Cu, Ag Cu-Zn	
耐热钢	不推荐	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni	Ag Cu-Zn	Cu, Ag Cu-Zn	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni

钎接方法	钎接的金属与合金							
	铝及铝合金	镍及镍合金	碳钢	不锈钢	铸铁	铜及铜合金	高碳钢及工具钢	耐热钢
烙铁	Zn	Pb-Sn	Pb-Sn	—	Pb-Sn	Pb-Sn	—	—
气焊枪	Al Zn	Ag Cu-Zn	Cu-Zn Ag, Zn-Pb	Ag Cu-Zn	Ag Cu-Zn Pb-Sn	Cu-P Cu-Zn Ag, Pb-Sn	Ag Cu-Zn	Ag Cu-Zn
电阻加热	Al	Ag Cu-Zn	Cu-Zn Ag	Ag	—	Cu-P Cu-Zn Ag	Ag	Ag
感应加热	Al	Ag	Cu-Zn Ag, Pb-Sn	Ag	Ag Cu-Zn	Cu-P Cu-Zn Pb-Sn, Ag	Ag Cu-Zn Pb-Sn	Ag
电弧加热	Al	Ag Cu-Zn	Ag Cu-Zn	Ag	Ag Cu-Zn	Cu-P Cu-Zn, Ag	Ag Cu-Zn	Ag
熔融盐浴	Al	Ag	Cu-Zn Ag	Ag	Ag Cu-Zn	Ag, Cu-P Cu-Zn	Ag Cu-Zn	Ag
浸渍熔 化钎料	—	Ag(Zn) Cu-Zn	Cu-Zn Ag(Zn)	Cu-Zn Ag(Zn)	Ag Cu-Zn	Cu-P Ag(Zn) Ag(P)	Cu-Zn Ag	Cu-Zn Ag-(Zn)
在炉中加热	Al	Ag, Cu Cr-Ni	Cu, Ag Cu-Zn Cr-Ni	Ag, Cu Cr-Ni	Ag Cu-Zn	Cu-P Ag Pb-Sn	Ag, Cu Cu-Zn	Cu, Ag Cr-Ni

典型钎焊的接头型式

表 1-4-68

接头型式	简图	接头型式	简图
平面接头搭接		容器堵头接头	
闭合接头		线接头	
套管法兰接头		薄壁锁边接头	

续表

接头型式	简图	接头型式	简图
T形接头		角接头	
不同厚度零件接头		管接头	
紧配合接头			

表 1-4-69 常用“自保持”接头型式

零件定位	<p>台肩 台肩 自重 扩口</p>	钎料安置	
	<p>缩颈 翻边 铆合 套接</p>		<p>应保证钎料能均匀流布在钎焊间隙内</p>
	<p>插入 滚花 螺栓 点焊</p> <p>尽量不用夹具而能保证装配定位及间隙</p>		

钎焊接头的间隙<sup>[27]</sup>

表 1-4-70 不同类别钎料在钎焊温度下接头间隙的推荐值

钎料类别	接头间隙/mm	备注
AlSi 类	0.05 ~ 0.20	搭接长度小于 0.63mm
	0.20 ~ 0.25	搭接长度大于 0.63mm
CuP 类	0.025 ~ 0.13	无钎剂钎焊和无机钎剂钎焊
Ag 类	0.05 ~ 0.13	钎剂钎焊
	0.00 ~ 0.05	气相钎剂(气体保护钎焊)
Au 类	0.05 ~ 0.13	钎剂钎焊
	0.00 ~ 0.05	气相钎剂(气体保护钎焊)
Cu 类	0.00 ~ 0.05	气相钎剂(气体保护钎焊)
CuZn 类	0.05 ~ 0.13	钎剂钎焊
Mg 类	0.10 ~ 0.25	钎剂钎焊
Ni 类	0.05 ~ 0.13	一般应用(钎剂/气体保护钎焊)
	0.00 ~ 0.05	自由流动型,气体保护钎焊



表 1-4-71

钎焊温度下不同母材与钎料组合的接头间隙推荐值

母材种类	钎料系统	钎焊间隙/mm	母材种类	钎料系统	钎焊间隙/mm
铜及铜合金	Cu-P 钎料	0.04 ~ 0.20	铝及铝合金	铝基钎料	0.15 ~ 0.25
	Ag-Cu 钎料	0.02 ~ 0.15		不锈钢	铜基钎料
	Cu-Si 钎料	0.01 ~ 0.20	锰基钎料		0.05 ~ 0.20
	Cu-Ge 钎料	0.01 ~ 0.20	金基钎料		0.03 ~ 0.25
钛及钛合金	铝基钎料	0.05 ~ 0.25	钼基钎料		0.05 ~ 0.20
	Cu-P 钎料	0.03 ~ 0.05	钴基钎料	0.02 ~ 0.15	
	铜系钎料	0.03 ~ 0.05	镍基钎料	0.01 ~ 0.08	
	Ag-Cu	0.02 ~ 0.10	高温合金	锰基钎料	0.03 ~ 0.2
	银系钎料	0.03 ~ 0.08		金基钎料	0.05 ~ 0.25
碳钢及低合金钢	铜基钎料	0.01 ~ 0.05		钼基钎料	0.03 ~ 0.20
	银基钎料	0.02 ~ 0.15	钴基钎料	0.02 ~ 0.15	
	锰基钎料	0.05 ~ 0.20	镍基钎料	0.00 ~ 0.08	
	镍基钎料	0.00 ~ 0.04			

表 1-4-72

钎焊接头间隙和抗剪强度

钎焊金属	钎料	间隙/mm	抗剪强度 $\sigma_r$ /MPa	钎焊金属	钎料	间隙/mm	抗剪强度 $\sigma_r$ /MPa	
碳钢	铜	0.000 ~ 0.05 <sup>①</sup>	100 ~ 150	铜和铜合金	铜锌钎料	0.05 ~ 0.13	铜 170 ~ 190	
	黄铜	0.05 ~ 0.20	200 ~ 250		铜磷钎料	0.02 ~ 0.15		黄铜 270 ~ 400
	银基钎料	0.05 ~ 0.15	150 ~ 240		银基钎料	0.05 ~ 0.13	铜 160 ~ 180	
	锡基钎料	0.05 ~ 0.20	38 ~ 51		锡铅钎料	0.05 ~ 0.20		黄铜 160 ~ 220
不锈钢	铜	0.02 ~ 0.07	370 ~ 500		钼基钎料	0.05 ~ 0.20	铜 21 ~ 46	
	铜基钎料	0.03 ~ 0.20			铝和铝合金	铝基钎料		0.1 ~ 0.3
	银基钎料	0.05 ~ 0.15		钎焊铝用软钎料			0.1 ~ 0.3	
	镍基钎料	0.05 ~ 0.12				约 300		
	锰基钎料	0.04 ~ 0.15						

① 必要时用负间隙（过盈配合），强度最大。

## 钎料

钎料型号表示法：

B 或 S-X××…… E

如加 E, 表示是电子行业用软钎料

B: 主要合金组分的每个化学元素符号及第 1 个化学元素的公称重量百分数

S: 主要合金组分的每个化学元素符号及每个化学元素的公称重量百分数

B 代表硬钎料, S 代表软钎料

公称重量小于 1% 的元素在型号中不必标出, 如某元素是钎料的关键组分, 软钎料可仅标出其元素符号, 硬钎料可标出其元素符号并用括号括起来

标记示例：一种含锡 60%、铅 39%、锑 0.4% 的软钎料：S-Sn60Pb39Sb

一种含锡 63%、铅 37% 电子工业用软钎料：S-Sn63Pb37E

一种二元共晶钎料含银 72%、铜 28% 的硬钎料：B-Ag72Cu

一种成分基本相同的钎料，但含有一种关键元素锂（含量小于 1%）：B-Ag72Cu (Li)

一种含镍 63%、钨 16%、铬 10%、铁 3.8%、硅 3.2%、硼 2.5%、碳 0.5%、磷 0.6%、锰 0.1%、钴 0.2% 的镍基钎料：B-Ni63WCrFeSiB（标准规定每个型号中最多只能标出六个化学元素符号）

表 1-4-73

类别	牌 号	名 称	熔化温度 /℃(约)		用 途	
			固相线	液相线		
	HLSn95PbA(B)	95A(B) 锡铅焊料		224	电气、电子工业、餐具锡制器件的焊接、耐高温器件焊接	
	HLSn90PbA(B)	90A(B) 锡铅焊料		215		
	HLSn65PbA(B)	65A(B) 锡铅焊料	183	186	电气、电子工业、印刷线路、微型技术、航空工业及镀层金属的焊接	
	HLSn63PbA(B)	63A(B) 锡铅焊料		183		
	HLSn60PbA(B)	60A(B) 锡铅焊料		190		
	HLSn60PbSbA(B)	60A(B) 锡铅铋焊料		190		
	HLSn55PbA(B)	55A(B) 锡铅焊料		203	普通电气、电子工业(电视机、收录机共用天线、石英钟)、航空	
	HLSn50PbA(B)	50A(B) 锡铅焊料		215		
	HLSn50PbSbA(B)	50A(B) 锡铅铋焊料		215		
	HLSn45PbA(B)	45A(B) 锡铅焊料		227		
	HLSn40PbA(B)	40A(B) 锡铅焊料		238	钣金、铅管焊接、电缆线、换热器金属器材、辐射体、制罐等的焊接	
	HLSn40PbSbA(B)	40A(B) 锡铅铋焊料				
	HLSn35PbA(B)	35A(B) 锡铅焊料				
	HLSn30PbA(B)	30A(B) 锡铅焊料				
	HLSn30PbSbA(B)	30A(B) 锡铅铋焊料		183	258	灯泡、冷却机制造、钣金、铅管焊接
	HLSn25PbSbA(B)	25A(B) 锡铅铋焊料			260	
	HLSn20PbA(B)	20A(B) 锡铅焊料	279			
	HLSn18PbSbA(B)	18A(B) 锡铅铋焊料	279			
	HLSn10PbA(B)	10A(B) 锡铅焊料	268	301	钣金、锅炉用及其他高温用处的焊接	
	HLSn5PbA(B)	5A(B) 锡铅焊料	300	314		
	HLSn4PbSbA(B)	4A(B) 锡铅铋焊料	305	317		
	HLSn2PbA(B)	2A(B) 锡铅焊料	316	322		
	HLSn50PbCdA(B)	50A(B) 锡铅镉焊料	145		轴瓦、陶瓷的烘烤焊接、热切割、分级焊接及其他低温焊接	
	HLSn5PbAgA(B)	5A(B) 锡铅银焊料	296	301	电气工业、高温工作条件的焊接	
	HLSn63PbAgA(B)	63A(B) 锡铅银焊料	183		同 HLSn63Pb, 但焊点质量等方面优于 HLSn63Pb	
	HLSn38PbZnSbA(B)	38A(B) 锡铅铋焊料	170	245	适用于金属化薄膜电容器上喷涂焊料	
	HLKSn40PbSbA(B)	40A(B) 抗氧化锡铅焊料	183	238	用于对抗氧化有较高要求的场合	
	HLKSn60PbSbA(B)	60A(B) 抗氧化锡铅焊料	183	190		

锡铅焊料(摘自GB/T 3131—1988)

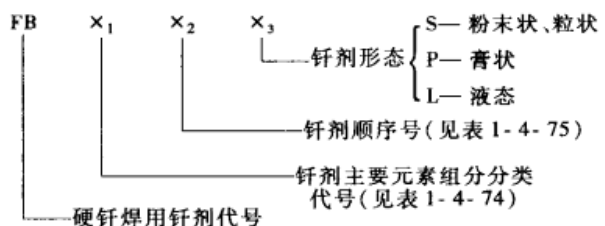
类别	牌 号	名 称	熔化温度 /℃ (约)		用 途	
			固相线	液相线		
铜基钎料 (摘自GB/T 6418—1993)	BCu	铜		1083	主要用于以气体火焰钎焊、感应钎焊、盐浴浸渍钎焊等方法来钎焊铜及铜合金、镍、钢、铸铁及硬质合金等	
	BCu54Zn	铜锌类	885	888		
	BCu58ZnMn		880	909		
	BCu60ZnSn-R		890	905		
	BCu58ZnFe-R		865	890		
	BCu48ZnNi-R		921	935		
	BCu57ZnMnCo		890	930		
	BCu62ZnNiMnSi-R		853	870		
	BCu93P	铜磷类	710	800	铜磷钎料是生产上广泛应用的空气自钎剂钎料, 在钎焊铜及铜合金时具有自钎剂作用 铜磷钎料加入银可改善钎料塑性和可加工性, 提高抗拉强度和导电性, 降低钎料熔点, 并可提高钎料的润湿性, 因而适合于各种碳钢的钎焊	
	BCu92PSb		690	800		
	BCu86SnP		620	670		
	BCu91PAg		645	790		
	BCu89PAg		645	815		
	BCu80AgP		645	800		
	BCu80SnPAg		560	650		
	类别	牌 号	名 称	熔化温度	钎焊温度	用 途
				/℃		
铝基钎料 (摘自GB/T 13815—1992)	BA188Si	铝硅	577 ~ 580	595 ~ 608	用于铝及铝合金的炉中钎焊和火焰钎焊 钎焊接头具有优良的抗腐蚀性能, 应用广泛	
	BA190Si		577 ~ 590	595 ~ 615		
	BA192Si		577 ~ 615	599 ~ 621		
	BA167CuSi	铝硅铜	525 ~ 535	550 ~ 590	用于铝及铝合金的火焰钎焊, 钎料脆, 使用不方便	
	BA186SiCu		520 ~ 585	590 ~ 615		
	BA186SiMg	铝硅镁	559 ~ 579	580 ~ 600	用于真空钎焊, 一般不适于钎剂钎焊	
	BA188SiMg		559 ~ 591	590 ~ 605		
	BA189SiMg		559 ~ 582	590 ~ 605		
	BA190SiMg		559 ~ 607	599 ~ 621		
锰基钎料 (摘自GB/T 13679—1992)	BMn70NiCr	锰镍铬	1035 ~ 1080	1140 ~ 1180	锰基钎料可用于要求在较高温度(600 ~ 700℃)下工作的接头 主要用于钎焊碳钢、合金钢、不锈钢和高温合金。钎焊不锈钢时, 无明显的溶蚀和晶间渗入现象, 适合于钎焊薄壁零件	
	BMn40NiCrCoFe		1065 ~ 1135	1160 ~ 1200		
	BMn68NiCo	锰镍钴	1050 ~ 1070	约 1120		
	BMn65NiCoFeB		1010 ~ 1035	1040 ~ 1100		
	BMn52NiCuCr	锰镍铜	1000 ~ 1010	约 1060		
	BMn50NiCuCrCo		1010 ~ 1035	约 1080		
	BMn45NiCu		920 ~ 950	约 1000		

续表

类别	牌 号	名 称	钎焊温度	熔化温度	用 途
			/℃		
银钎料 (摘自GB/T 10046—2000)	B <sub>Ag</sub> 72Cu	银铜	770 ~ 900	779	是在电真空器件中应用最广的共晶型钎料, 工艺性和导电性好
	B <sub>Ag</sub> 94Al	银铝	825 ~ 925	780 ~ 825	用于钎焊钛合金, 可显著提高接头的抗腐蚀性
	B <sub>Ag</sub> 72CuLi	银铜锂	766 ~ 871	766 ~ 780	由于含有锂而使其具有自钎剂作用, 因而使用时可不用钎剂
	B <sub>Ag</sub> 72CuNiLi		800 ~ 850	780 ~ 800	
	B <sub>Ag</sub> 25CuZn	银铜锌	800 ~ 890	700 ~ 800	
	B <sub>Ag</sub> 45CuZn		745 ~ 845	665 ~ 745	
	B <sub>Ag</sub> 50CuZn		775 ~ 870	690 ~ 775	
	B <sub>Ag</sub> 60CuSn	银铜锡	720 ~ 840	600 ~ 720	对钢和镍的润湿性优异, 但强度低, 脆性大。用于受静载接头
	B <sub>Ag</sub> 35CuZnCd	银铜锌镉	700 ~ 845	605 ~ 700	适于火焰、高频等快速加热来钎焊铜及其合金、钢、不锈钢间隙、不均匀接头
	B <sub>Ag</sub> 45CuZnCd	银铜锌镉	620 ~ 760	620	B <sub>Ag</sub> 50CuZnCdNi 适于钎焊硬质合金, 镍可提高不锈钢钎接头抗腐蚀性, 这在银钎料中几乎是最好的
	B <sub>Ag</sub> 50CuZnCd		635 ~ 760	625 ~ 635	
	B <sub>Ag</sub> 40CuZnCdNi		605 ~ 705	595 ~ 605	
	B <sub>Ag</sub> 50CuZnCdNi		690 ~ 815	630 ~ 690	
	B <sub>Ag</sub> 34CuZnSn	银铜锌锡	730 ~ 820	730	B <sub>Ag</sub> 56CuZnSn 的性能与 B <sub>Ag</sub> 50CdZnCu 钎料相当, 但含银量较高, 可代替镉钎料用于铜合金、钢和不锈钢等的钎焊。接头具有优良的力学性能
	B <sub>Ag</sub> 56CuZnSn		650 ~ 760	620 ~ 650	
	B-Ag40CuZnIn	银铜锌铟	715 ~ 780	635 ~ 715	
	B-Ag34CuZnIn		748 ~ 800	660 ~ 740	
	B-Ag30CuZnIn		755 ~ 810	640 ~ 755	
B <sub>Ag</sub> 49CuZnMnNi	银铜锌锰	705 ~ 850	625 ~ 705		
镍基钎料 (摘自GB/T 10859—1989)	B <sub>Ni</sub> 74CrSiB	镍铬硅硼	1065 ~ 1205	975 ~ 1040	由于镍具有优良的抗腐蚀性、抗氧化性和塑性, 因此, 镍基钎料常用于钎焊在高温下工作的零件。并常添加铬、硼、硅、锰、钨、磷、铜等
	B <sub>Ni</sub> 75CrSiB		1075 ~ 1205	975 ~ 1075	
	B <sub>Ni</sub> 82CrSiB		1010 ~ 1175	970 ~ 1000	
	B <sub>Ni</sub> 68CrWB	镍铬钨硼	1150 ~ 1205		
	B <sub>Ni</sub> 92SiB	镍硅硼	1010 ~ 1175	980 ~ 1040	
	B <sub>Ni</sub> 93SiB	镍硅硼	1010 ~ 1175	980 ~ 1065	
	B <sub>Ni</sub> 71CrSi	镍铬硅	1150 ~ 1205	1080 ~ 1135	添加一些合金元素用来提高其热强度。硼能显著提高钎料的高温强度和润湿性, 但其含量增多会使钎料对母材的溶蚀倾向大大增加, 并可使合金变脆
	B <sub>Ni</sub> 89P	镍磷	925 ~ 1025	875	
	B <sub>Ni</sub> 76CrP	镍铬磷	925 ~ 1040	890	
	B <sub>Ni</sub> 66MnSiCu	镍锰硅铜	1010 ~ 1095	980 ~ 1010	

### 钎 剂

硬钎焊用钎剂型号表示方法 (JB/T6045—1992)



示例

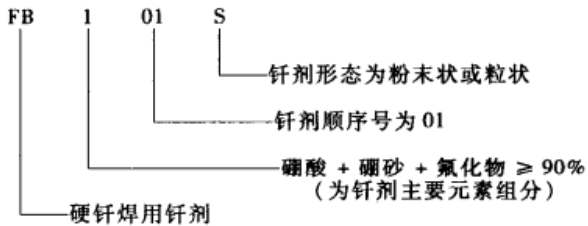


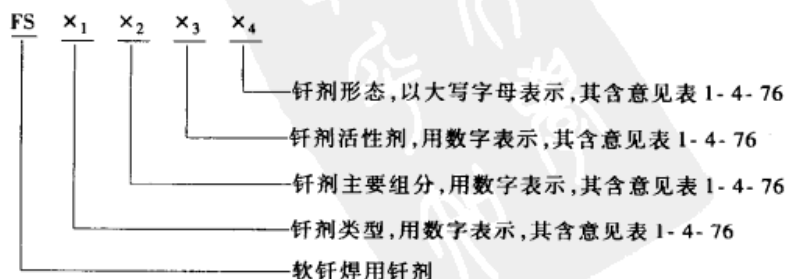
表 1-4-74 钎剂主要元素组分分类

钎剂主要组分分类代号	钎剂主要组分	钎焊温度/℃
1	硼酸 + 硼砂 + 氟化物 ≥ 90%	550 ~ 850
2	卤化物 ≥ 80%	450 ~ 620
3	硼砂 + 硼酸 ≥ 90%	800 ~ 1150
4	硼酸三甲酯 ≥ 60%	> 450

表 1-4-75 常用钎剂的化学成分推荐表

型号	化 学 成 分 / %					
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	KBF <sub>4</sub>	KF	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	CaF <sub>2</sub>
FB101	30	70	—	—	—	—
FB102	—	23	42	35	—	—
FB103	—	> 95	—	—	—	—
FB104	35	—	15	—	50	—
FB105	80	—	—	—	14.5	5.5
FB106	—	42	35	23	—	—
FB301	—	—	—	—	> 95	—
FB302	75	—	—	—	25	—
	LiCl	KCl	ZnCl <sub>2</sub>		CdCl <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> Cl
FB201	25	25	15		30	5

软钎焊用钎剂型号表示方法 (GB/T 15829.1—1995)



示例：非卤化物活性液体松香钎剂的型号应为 FS113A，磷酸活性无机膏状钎剂的型号应为 FS321C

表 1-4-76

软钎焊用钎剂分类及代码

钎剂类型	钎剂主要组分	钎剂活性剂	钎剂形态	
1 树脂类	1 松香 (松脂)	1 未加活性剂 2 加入卤化物活性剂 3 加入非卤化物活性剂	A 液态	
	2 非松香 (树脂)			
2 有机物类	1 水溶性		B 固态	
	2 非水溶性			
3 无机物类	1 盐类			1 加入氯化铵 2 未加氯化铵
	2 酸类		1 磷酸 2 其他酸	
	3 碱类	胺及 (或) 氨类		

表 1-4-77

常用无机软钎剂的组分和用途

牌 号	组分的质量分数/%	适用母材
RJ1	氯化锌 40, 水 60	钢、铜、黄铜和青铜
RJ2	氯化锌 25, 水 75	铜及铜合金
RJ3	氯化锌 40, 氯化铵 5, 水 55	钢、铜、黄铜和青铜
RJ4	氯化锌 18, 氯化铵 6, 水 76	铜及铜合金
RJ5	氯化锌 25, 盐酸 (密度 $1.19 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) 25, 水 50	不锈钢、碳钢、铜合金
RJ6	氯化锌 6, 氯化铵 4, 盐酸 (密度 $1.19 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) 10, 水 80	钢、铜及铜合金
RJ7	氯化锌 40, 氯化锡 5, 氯化亚铜 0.5, 盐酸 3.5, 水 51	钢、铸铁
RJ8	氯化锌 65, 氯化钾 14, 氯化钠 11, 氯化铵 10	铜及铜合金
RJ9	氯化锌 45, 氯化钾 5, 氯化锡 2, 水 48	铜及铜合金
RJ10	氯化锌 15, 氯化铵 1.5, 盐酸 36, 变性酒精 12.8, 正磷酸 2.2, 氯化铁 0.6, 水余量	碳钢
RJ11	正磷酸 60, 水 40	不锈钢、铸铁
QJ205	氯化锌 50, 氯化铵 15, 氯化镉 30, 氯化钠 5	钢、铜及铜合金

表 1-4-78

常用有机软钎剂的组分和用途

牌 号	组分的质量分数/%	适用范围
—	乳酸 15, 水 85	铜、黄铜和青铜
—	盐酸胍 5, 水 95	铜、黄铜和青铜
—	松香 100	铜、镉、锡和银
—	松香 25, 酒精 75	铜、镉、锡和银
—	松香 40, 盐酸谷氨酸 2, 酒精余量	铜及铜合金
—	松香 40, 三硬脂酸甘油酯 4, 酒精余量	铜及铜合金
—	松香 40, 水杨酸 2.8, 三乙醇胺 1.4, 酒精余量	铜及铜合金
—	松香 70, 氯化铵 10, 溴酸 20	铜、锌和镍
—	松香 24, 盐酸二乙胺 4, 三乙醇胺 2, 酒精余量	铜、锌和镍
201	树脂 A20, 溴化水杨酸 10, 松香 20, 酒精余量	波峰焊和浸渍焊
201-2	溴化水杨酸 10, 松香 29.5, 甘油 0.5, 酒精余量	同 201
202-B	溴化胍 8, 甘油 4, 松香 20, 水 20, 酒精余量	引线搪锡

牌 号	组分的质量分数/%	适用范围
SD-1	改性酚醛 55, 松香 30, 溴化水杨酸 15	印刷电路板的波峰焊、浸渍焊和引线搪锡
HY-3B	溴化水杨酸 12, 松香 20, 改性丙烯酸树脂 1.3, 缓蚀剂 0.25, 酒精余量	同 SD-1
氟碳 B	氟碳 0.3, 松香 23, 异丙醇 76.7	同 SD-1
—	聚丙二醇 40~50, 正磷酸 10~20, 松香 35, 盐酸二乙胺 5	镍铬丝的钎焊
RJ11	工业凡士林 80, 松香 15, 氯化锌 4, 氯化铵 1	铜及铜合金
RJ12	松香 30, 氯化锌 3, 氯化铵 1, 酒精余量	镀锌铁皮、铜及铜合金
RJ13	松香 25, 二乙胺 5, 三羟乙基胺 2, 酒精余量	钢、铜及铜合金
RJ14	凡士林 35, 松香 20, 硬脂酸 20, 氯化锌 13, 盐酸苯胺 3, 水 9	钢、铜及铜合金
RJ15	松香 34, 蓖麻油 26, 硬脂酸 14, 氯化锌 7, 氯化铵 8, 水 11	铜合金和镀锌板
RJ16	松香 28, 氯化锌 5, 氯化铵 2, 酒精 65	黄铜挂锡
RJ18	松香 24, 氯化锌 1, 酒精 75	铜及铜合金
RJ19	松香 18, 甘油 25, 氯化锌 1, 酒精 56	同 RJ18
RJ21	松香 38, 正磷酸 12, 酒精 50	铬钢、镍铬不锈钢的挂锡和钎焊
RJ24	松香 55, 盐酸苯胺 2, 甘油 2, 酒精 41	铜及铜合金

表 1-4-79

常用硬钎剂的组分和用途

牌 号	组分的质量分数/%	钎焊温度 / $^{\circ}\text{C}$	用 途
YJ1	硼砂 100	800~1150	铜基钎料钎焊碳钢、铜、铸铁和硬质合金
YJ2	硼砂 25, 硼酸 75	850~1150	同 YJ1
YJ6	硼砂 15, 硼酸 80, 氟化钙 5	850~1150	铜基钎料钎焊不锈钢和高温合金
YJ7	硼砂 50, 硼酸 35, 氟化钾 15	650~850	银基钎料钎焊钢、铜合金、不锈钢和高温合金
YJ8	硼砂 50, 硼酸 10, 氟化钾 40	>800	铜基钎料钎焊硬质合金
YJ11	硼砂 95, 过锰酸钾 5	>800	铜锌钎料钎焊铸铁
QJ101	硼酸 30, 氟硼酸钾 70	550~850	银基钎料钎焊铜及铜合金、钢、不锈钢和高温合金
QJ102	氟化钾 42, 硼酐 35, 氟硼酸钾 23	650~850	同 QJ101
QJ103	氟硼酸钾 >95, 碳酸钾 <5	550~750	银铜锌镉钎料钎焊铜及铜合金、钢和不锈钢
QJ104	硼砂 50, 硼酸 35, 氟化钾 15	650~850	银基钎料炉中钎焊铜合金、钢和不锈钢
QJ105	氯化镉 29~31, 氯化锂 24~26, 氯化钾 24~26, 氯化锌 13~16, 氯化铵 4.5~5.5	450~600	钎焊铜及铜合金
200	硼酐 $66 \pm 2$ , 脱水硼砂 $19 \pm 2$ , 氟化钙 $15 \pm 1$	850~1150	铜基钎料或镍基钎料钎焊不锈钢和高温合金
201	硼酐 $77 \pm 1$ , 脱水硼砂 $12 \pm 1$ , 氟化钙 $10 \pm 0.5$	850~1150	同 200
284	氟化钾(脱水) 35, 氟硼酸钾 42, 硼酐 23	500~850	同 QJ101
F301	硼砂 30, 硼酸 70	850~1150	同 YJ1
铸铁钎剂	硼酸 40~45, 碳酸锂 11~18, 碳酸钠 24~27, 氟化钠加氯化钠 10~20(二者比例 27:73)	650~750	银基钎料和低熔点铜基钎料钎焊和修补铸铁

## 1.7 塑料焊接

热塑性塑料的可焊性<sup>[31]</sup>

表 1-4-80

塑料名称	焊接方法						
	电加热		火加热			机械加热	
	接触加热	高频电流加热	热空气加热	热惰性气体加热	热混合气体加热	摩擦加热	热工具加热
聚乙烯(板材、薄膜)	好	—	好	好	一般	—	好
聚乙烯(棒料、管)	好	—	好	好	好	—	好
硬聚氯乙烯塑料(板材、薄膜)	好	好	好	好	好	好	好
硬聚氯乙烯塑料(棒料、管)	好	好	好	好	好	好	好
聚酰胺	好	好	好	好	—	—	好
巴维诺尔薄膜	好	好	好	好	—	—	好
聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)	好	一般	—	—	一般	一般	好
聚异丁烯	—	—	好	好	一般	—	—
聚苯乙烯	好	—	好	好	—	好	好
软聚氯乙烯塑料	好	一般	好	好	一般	—	—
氟塑料(板材、薄膜)	好	一般	一般	一般	—	—	好
聚丙烯(板材、薄膜)	好	一般	一般	一般	—	—	好

注：高频电流焊接广泛用于塑料薄膜（总厚度小于2mm）的焊接。

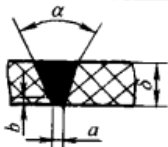
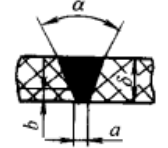
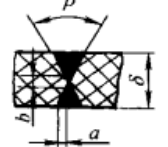
## 塑料焊接温度

表 1-4-81

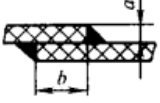
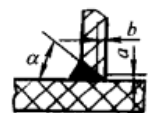

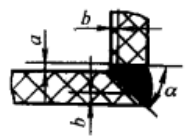
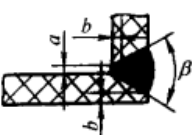
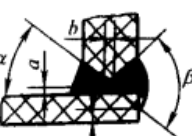
塑料名称	焊接温度/℃	塑料名称	焊接温度/℃
硬聚氯乙烯	200 ~ 240	聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)	200 ~ 220
聚乙烯	140 ~ 180	软聚氯乙烯	180 ~ 200
聚酰胺	160 ~ 230	聚四氟乙烯	380 ~ 385
聚苯乙烯	140 ~ 160	聚丙烯	160 ~ 165

## 硬聚氯乙烯塑料焊接接头型式及尺寸

表 1-4-82

焊接型式	焊接名称	型式	尺寸/mm	应用说明
对接焊缝	单面焊接 V 形对接焊缝		$a = 0.5 \sim 1.5, b = 1 \sim 1.5$ $\delta \leq 5: \alpha = 60^\circ \sim 70^\circ$ $\delta > 5: \alpha = 70^\circ \sim 90^\circ$ $\delta \leq 10: \beta = 60^\circ \sim 70^\circ$ $\delta > 10: \beta = 70^\circ \sim 90^\circ$	应用于只能在一面焊接的焊缝。在不焊的一面有一缺口,受外力易造成应力集中。一般 $\delta \leq 6$
	双面对接 V 形对接焊缝			两面进行焊接,一面只焊一条焊缝,可免除缺口应力集中。一般用于 $\delta \leq 10$
	对称 X 形对接焊缝			两面进行焊接。是三种对接型式中用料最省、强度最高的一种。一般用于 $\delta \geq 6$



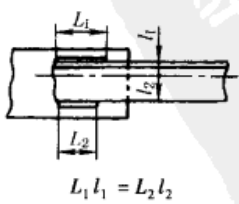
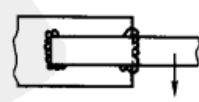
焊接型式	焊接名称	型式	尺寸/mm	应用说明
搭接焊缝	平边双面搭接		$b \geq 3a$	不适于焊接由薄片层压而成的板材,由于两板的中心线不在一起,故在受外力时会产生弯曲力矩。一般很少单独使用,大多用于辅助焊缝
T形连接焊缝	单斜边单面T形连接		$a = 0.5 \sim 1$ $b = 1 \sim 1.5$ $\alpha = 45^\circ \sim 55^\circ$	用于焊接安装在塔或贮槽内的架子、隔板等处,不宜用于塔或贮槽等底部的焊缝,即不能用作主要结构焊缝
	双斜边双面T形连接			
对角焊缝	单斜边单面角形连接		$a = 0.5 \sim 1$ $b = 1 \sim 1.5$ $\alpha = 45^\circ \sim 55^\circ$ $\beta = 80^\circ \sim 90^\circ$	用于塔式容器及槽体顶部、底部和器壁的连接。一般用于板厚 $\delta \geq 6\text{mm}$
	双斜边单面角形连接			用于塔式容器及槽体顶部、底部和器壁的连接。一般用于板厚 $\delta \geq 6\text{mm}$
	双斜边双面角形连接			用于塔式容器及槽体顶部、底部和器壁的连接。一般用于板厚 $\delta > 10\text{mm}$

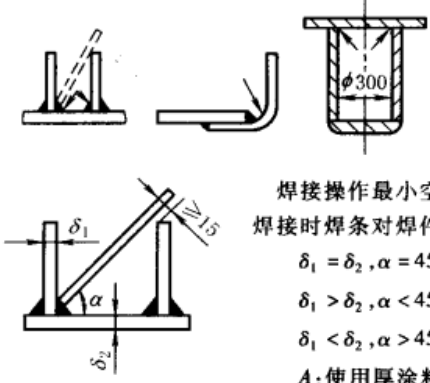
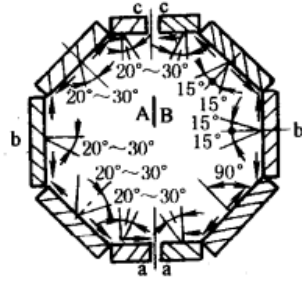
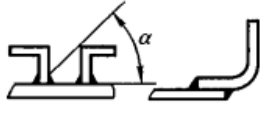
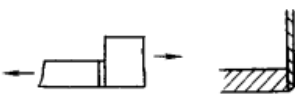
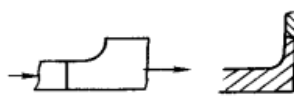
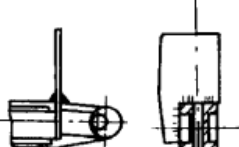
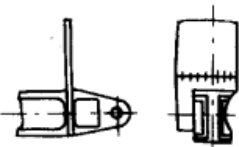




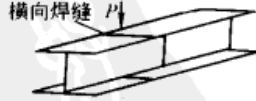


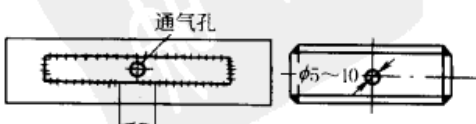
### 1.8 焊接结构设计注意事项

在设计焊接结构时,应尽可能采用最合理的结构和焊接工艺,以便:①在满足设计功能要求下,焊接工作量能减至最少;②焊接件可不再需要或只需要少量的机械加工;③变形和应力能减至最少;④为焊工创造良好的劳动条件。


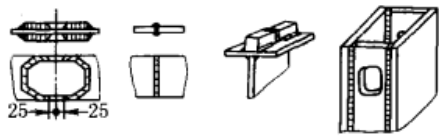


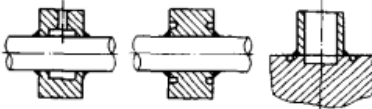


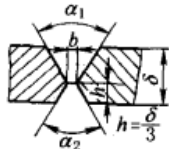
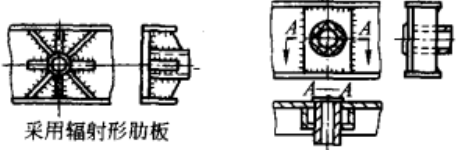

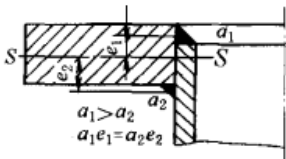


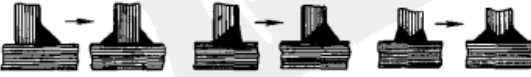
表 1-4-83



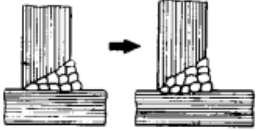

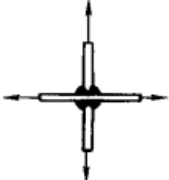

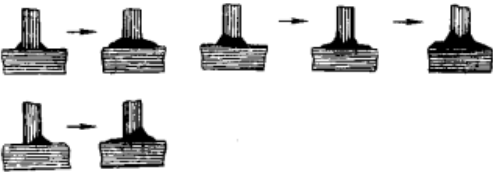

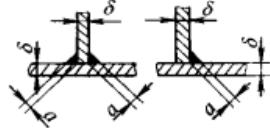

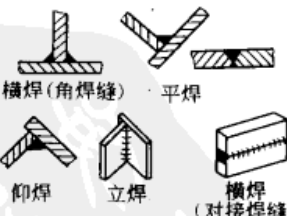



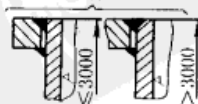
焊接结构一般注意事项

注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
考虑最有效的焊接位置,以最小的焊接量达到最大的效果	 <p style="text-align: center;"><math>L_1 l_1 = L_2 l_2</math></p>	

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>考虑焊接时操作方便。一般情况下要保证焊接作业的最小间隙与操作时焊条的适当角度。如果结构特殊,无法满足此要求时,可用煨弯焊条等措施进行焊接</p>	 <p>焊接操作最小空间和在各种位置 焊接时焊条对焊件的角度</p> <p><math>\delta_1 = \delta_2, \alpha = 45^\circ</math>  <math>\delta_1 &gt; \delta_2, \alpha &lt; 45^\circ</math>  <math>\delta_1 &lt; \delta_2, \alpha &gt; 45^\circ</math></p> <p>A: 使用厚涂料焊条时          B: 使用薄涂料焊条时</p> <p>a——平焊          b——立焊          c——仰焊</p> 	
<p>避免将焊缝设计在应力容易集中的地方,特别是重要部件,或承受反复载荷的焊接件,更应注意这一点</p> <p>重要的法兰盘采用改进后的设计结构</p>		
<p>合理布置构件的相互位置,以保证焊接件的刚性</p>		
<p>在某些特别重要的焊接件中,焊接厚度不同的钢板时必须使两者中心线一致,以避免产生弯曲力矩</p>		
<p>受变应力的焊缝,焊缝不宜凸出,宜平缓,背面补焊,最好将焊缝表面切平。避免用搭接型式,要用时可用长底的填角焊缝</p>		
<p>在承受弯曲载荷处,应尽可能避免横向焊缝</p>		
<p>焊缝的根部要避免处于受拉应力的状态</p>		
<p>焊接加固件或必须退火的封闭箱体时,应钻通气孔,或将焊缝一段断开,避免翘曲变形</p>		

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
盖板与侧板焊接时,应按板的厚度选择不同的角接头。钢板厚度 > 25mm 时还应注意改善外观焊缝		
直接传递负载的焊接件,采用整体嵌接为好		
薄板焊接时,为避免拱起现象,应考虑开孔焊接		
不允许液体从螺孔或其他地方泄出的焊件,在强度允许情况下,应加内部密封焊缝		
在角形连接中,应避免外向开口的焊缝,防止生锈。在要求密封和承受动载荷时,应在内部增加焊缝		
小构件避免内部焊接,在可能的情况下,采用槽焊。δ > 12mm, 采用单边 V 形或 V 形焊缝,而不用角焊缝		
箱形焊接结构应该由带边缘的钢板或型钢拼焊		
缘、辐、毂之类零件组焊时,应选用适当的间隙	机械加工: 0.2 ~ 0.3mm 毛坯和气割件: 1 ~ 2mm	
剖分面尽可能不要被焊缝断开		
焊接由扁钢制造的轮缘时,应将焊缝配置在轮齿之间;焊接前轮毂、轮缘都不要加工		
毛坯上与其他件连接的部分应离开焊缝至少 3mm		
调 节 焊 接 应 力  避免焊缝过分集中,以防止裂纹,减少变形;同时,焊缝间应保持足够的距离		

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
调节焊接应力		
		
		
焊接端部产生锐角的地方,应尽量使角度变缓。薄板筋的锐角必须去掉,因为尖角处易熔化		
预防焊接变形	<p>选用合理的焊缝尺寸和型式</p>	<p>在保证结构的功能要求下,尺寸尽量小,对仅起连接作用、受力不大、按计算很小的角焊缝,按板厚选取工艺上可能的最小尺寸</p> <p>采用右图 X 形坡口,可减少对接接头的角变形。在薄板结构中采用接触点焊代替熔化焊缝可以减少变形和焊后校正工作。采用断续焊减少收缩变形,但在动载荷作用下,增加应力集中的影响</p> 
	<p>合理地选择肋板的形状和布置</p>	<p>用槽钢加固轴承座,比用辐射形肋板更好</p>  <p>采用辐射形肋板</p> <p>采用槽钢加固</p>
焊缝应交错布置	特别是厚截面时,必须避免交叉焊缝	
合理安排焊缝位置 焊缝应相对构件中性轴,或靠近中性轴,以减少收缩力矩或弯曲变形	<p>如有困难,则应使较厚的焊缝布置在靠近中性轴 S-S,较薄的焊缝布置在另一面</p>	
		
尽量减少焊缝数量	在可能情况下,用冲压结构代替肋板结构,特别是对薄板结构十分有效	
采用接触点焊	蒙皮采用接触点焊代替熔化焊,可减少变形	
防止层状撕裂	合理选择材料	层状撕裂随着材料中夹杂物(硫化物、硅酸盐、氧化物)的数量、平行于表面夹杂物面积的增大,以及其密集程度的增加而增加,尤其是硫的含量影响更甚,选材时应特别注意
	增大焊缝与板面的接触面积	

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计												
选择适宜的坡口角度,减少空腔体积	采用适宜的坡口角度 	减少焊道数量 												
改变焊道焊接次序		对称焊采用对称焊接顺序 												
加中间块焊接,代替交叉件结构														
在承载方向上,加焊变形能力大的焊接材料,增加缓冲层,扩大连接面														
预热	减少层状撕裂的措施之一,其目的是降低冷却速度,使收缩范围增大													
正确选用角焊缝的计算厚度	角焊缝在较小的负载下,不必计算强度,可按经验确定下凹焊缝的高度 $a$ ,即按连接钢板中较薄的板厚考虑。双面角焊缝 $a \geq 0.3\delta$ ,单面角焊缝 $a \geq 0.6\delta$ 。考虑经济性, $a$ 不应超过 12mm,当需 $a > 12\text{mm}$ 时,则应选择其他型式焊缝 													
提高材料利用率	确定零部件的形状和尺寸时,必须考虑材料的合理利用 													
合理选择焊缝型式	同一结构中尽可能选用厚度相同的钢板 V形焊缝准备成本较低,但焊接空间大,使焊接成本提高 X形焊缝,准备成本高,但焊接空间较小,在对接焊缝中可适当选用,在角焊缝中双面角焊缝所需焊接金属比单面角焊缝少,并能承受较高负载,变形也较小,应优先采用,但在一面难以施焊或处于强迫位置时,采用单面角焊缝比较经济													
考虑合理的焊接位置,尽可能选择横焊	<table border="1" data-bbox="529 1482 842 1697"> <thead> <tr> <th>焊接位置</th> <th>时间比</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平焊</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>横焊(角焊缝)</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>横焊(对接焊缝)</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>立焊</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>仰焊</td> <td>2.5</td> </tr> </tbody> </table>	焊接位置	时间比	平焊	1	横焊(角焊缝)	1.3	横焊(对接焊缝)	1.8	立焊	2.2	仰焊	2.5	
焊接位置	时间比													
平焊	1													
横焊(角焊缝)	1.3													
横焊(对接焊缝)	1.8													
立焊	2.2													
仰焊	2.5													
在一般情况下,不需要过高的定心要求	不经济的 	经济的 												
不要把焊缝布置在加工面上	不经济的 	经济的 												

续表

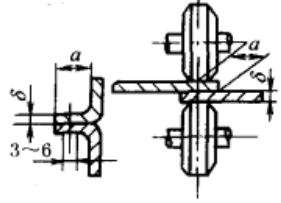
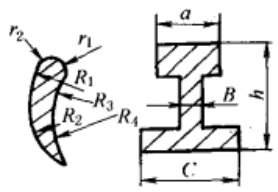
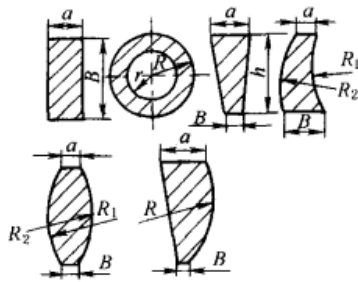
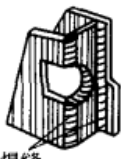

注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
---------	-------	--------

不用或少用坡口(手工电弧焊可以不用坡口的最大板厚对单边焊接为4mm,对双边焊为6mm)

尽可能采用连续的细长焊缝而不用断续的短粗焊缝

考虑焊接方法的不同特点,设计还应注意以下几点:

埋弧自动焊	1. 同一工件上的焊接接头应采用同一型式,而且以采用直线焊缝为好(左图箭头处表示圆弧)																																									
	2. 焊缝位置需使焊接设备的调整次数和工件的翻转次数为最少																																									
	3. 便于保存熔剂																																									
	4. 使自动焊机能沿焊缝自由移动。右图筋板开缺口,可在自动焊缝焊好后,再焊上																																									
接触对焊	1. 接触对焊和加压气焊,对接两截面面积大小应相等,或者圆杆、管尺寸偏差 $\leq 15\%$ ,方杆料边长尺寸偏差 $\leq 10\%$																																									
		对于实心棒料	<table border="1"> <tr> <td>棒料直径 <math>d/mm</math></td> <td>6</td> <td>10</td> <td>14</td> <td>18</td> <td>22</td> <td>28</td> <td>36</td> <td>45</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>手工接触焊</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>18</td> <td>22</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>自动接触焊</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>22</td> <td>28</td> <td>34</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>加压气焊</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>11</td> <td>14</td> <td>17</td> </tr> </table>	棒料直径 $d/mm$	6	10	14	18	22	28	36	45	55	手工接触焊	6	8	8	10	12	14	18	22	24	自动接触焊	6	8	12	16	18	22	28	34	40	加压气焊	2	3	4	5	7	8	11	14
	棒料直径 $d/mm$	6	10	14	18	22	28	36	45	55																																
	手工接触焊	6	8	8	10	12	14	18	22	24																																
	自动接触焊	6	8	12	16	18	22	28	34	40																																
	加压气焊	2	3	4	5	7	8	11	14	17																																
自动接触焊	<table border="1"> <tr> <td>板料和管壁厚 <math>\delta/mm</math></td> <td>1.2</td> <td>2.5</td> <td>3.0</td> <td>4.0</td> <td>5.0</td> <td>6.2</td> <td>10.0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>a/mm</math></td> <td>5.0</td> <td>13.0</td> <td>16.0</td> <td>17.0</td> <td>19.5</td> <td>22.0</td> <td>24.0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	板料和管壁厚 $\delta/mm$	1.2	2.5	3.0	4.0	5.0	6.2	10.0			$a/mm$	5.0	13.0	16.0	17.0	19.5	22.0	24.0																							
板料和管壁厚 $\delta/mm$	1.2	2.5	3.0	4.0	5.0	6.2	10.0																																			
$a/mm$	5.0	13.0	16.0	17.0	19.5	22.0	24.0																																			
2. 薄壁管件在对焊时,管径与管壁厚应保持右表关系	被焊管外径 $d/mm$	12	38	75	150	375	500																																			
	管壁厚度 $\delta/mm$	0.5	1.5	2.5	4.5	8.0	12.5																																			

注 意 事 项		不好的设计					改进后的设计	
接 触 滚 焊	必须保证接合边的最小长度 $a$	一块板的厚度/mm	0.25 ~ 0.5	0.75 ~ 1	1.5	2	3	
		$a$ /mm	10	12	15	18	20	
电 渣 焊	<p>1. 禁用不便于电渣焊的对接截面</p> <p>电渣焊最便于焊接的是长方形和环形截面。梯形截面和其他由直线或半径不变的弧形所构成的截面,只要角度不过大,也可以施焊</p> <p>2. 焊缝上端应保留焊机退出的空间</p>							
	3. 避免焊缝中断	 <p>焊缝</p>					 <p>焊完之后割出</p>	

## 2 铆 接

### 2.1 铆接设计注意事项

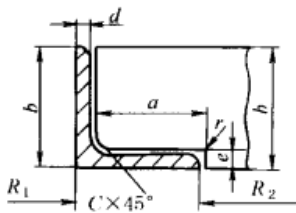
- (1) 尽量要使铆钉的中心线与构件的断面重心线重合。
- (2) 铆接厚度一般规定不大于  $5d$ , 使用大头截锥形铆钉时, 其总厚度可达直径的 7 倍。
- (3) 在同一结构上铆钉种类不宜太多, 一般有两种已够使用。
- (4) 冲孔铆接承载力比钻孔约小 20%, 因此冲孔的方法只可用于不受力构件。
- (5) 冷铆一般只用于直径小于 8mm、受力不大、不很重要的地方。
- (6) 板厚大于 4mm 时才能进行敛边; 板厚小于 4mm 而要求有很高的紧密性时, 可以把涂有铅丹的亚麻布放在钢板之间以获得紧密性。
- (7) 工地制成的铆钉, 其许用应力应降低。
- (8) 尽量避免焊铆同时使用。
- (9) 尽量减少在同一截面上的钉孔数, 将铆钉交错排列 (见表 1-4-84 中的 a)。
- (10) 多层板铆合时, 需将各层板的接口错开 (见表 1-4-84 中的 b)。
- (11) 在传力铆接中, 排在力的作用方向的铆钉不宜超过 6 个, 但不应少于 2 个 (见表 1-4-84 中的 c)。

表 1-4-84

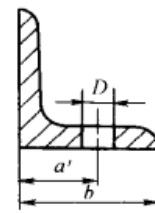
	a	b	c
不好的设计			
改进后的设计			

2.2 型钢焊接接头尺寸、螺栓和铆钉连接规线、最小弯曲半径及截切

等 边 角 钢



$e=d+1, a=b-d$



标准 JB/T 5000.3-1998 规定,  
卷圆冷弯弯曲半径 (内半径) 为:  
 $R \geq 45b$

表 1-4-85

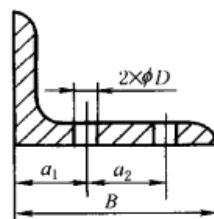
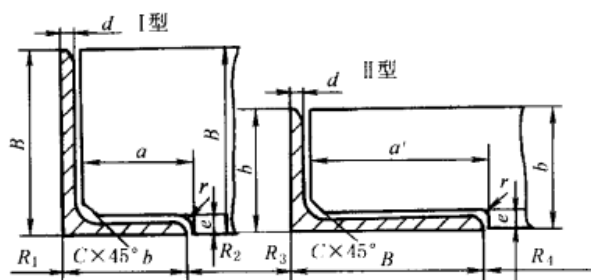
mm

角钢尺寸		焊接接头尺寸			螺栓、铆钉连接规线		最小弯曲半径				角钢尺寸		焊接接头尺寸			螺栓、铆钉连接规线		最小弯曲半径			
b	d	a	e	C	a'	D	热弯		冷弯		b	d	a	e	C	a'	D	热弯		冷弯	
							R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>								R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
20	3	17	4	3	13	4.5	95	85	345	335	40	3	37	4	22	22	11	195	180	735	715
	4	16	5				90	85	335	325		4	36	5				195	175	705	690
	5	15	6				190	170	695	680		5	35	6				220	200	810	790
25	3	22	4	3	15	5.5	120	110	435	425	45	3	42	4	25	25	11	220	200	800	775
	4	21	5				115	105	425	415		4	41	5				215	195	790	770
	5	20	6				215	195	780	760		5	40	6				250	225	900	880
30	3	27	4	3	18	6.6	145	130	530	515	50	3	47	4	30	30	13	245	220	880	860
	4	26	5				140	130	520	505		4	46	5				240	220	880	860
	5	25	6				175	160	640	625		5	45	6				240	220	870	850
36	3	33	4	4	20	9	175	160	640	625	56	3	53	4	30	30	13	280	255	1000	1090
	4	32	5				170	155	630	615		4	52	5				275	250	1000	980
	5	31	6				170	145	620	605		5	51	6				270	250	990	965
																		265	240	965	940



角钢 尺寸		焊接接头 尺寸			螺栓、铆钉 连接规线		最小弯曲半径				角钢 尺寸		焊接接头 尺寸			螺栓、铆钉 连接规线		最小弯曲半径			
							热 弯		冷 弯									热 弯		冷 弯	
b	d	a	e	C	a'	D	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	b	d	a	e	C	a'	D	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
63	4	59	5	7	35	17	310	285	1135	1105	110	7	103	8	12	60	26	555	505	1980	1930
	5	58	6				310	280	1120	1095		8	102	9				550	490	1965	1915
	6	57	7				305	280	1110	1085		10	100	11				535	490	1945	1895
	8	55	9				300	275	1090	1065		12	98	13				530	480	1930	1880
	10	53	11				295	270	1070	1045		14	96	15				520	475	1910	1860
70	4	66	5	8	40	20	350	315	1265	1235	125	8	117	9	14	70	26	620	560	2245	2190
	5	65	6				345	315	1255	1220		10	115	11				610	555	2225	2170
	6	64	7				340	310	1240	1210		12	113	13				600	550	2205	2150
	7	63	8				340	310	1230	1200		14	111	15				600	545	2205	2150
	8	62	9				335	305	1225	1115		10	130	11				690	625	2500	2440
75	5	70	6	9	45	21.5	370	335	1345	1310	140	12	128	13	16	80	32	680	620	2485	2425
	6	69	7				365	335	1335	1305		14	126	15				675	615	2460	2400
	7	68	8				360	330	1330	1295		16	124	17				670	610	2440	2380
	8	67	9				355	325	1300	1265		10	150	11				790	720	2875	2805
	10	65	11				395	360	1440	1400		12	148	13				785	715	2855	2785
80	5	75	6	10	50	23.5	395	360	1430	1390	160	14	146	15	18	90	32	775	705	2840	2765
	6	74	7				390	355	1420	1385		16	144	17				775	705	2815	2745
	7	73	8				385	350	1420	1375		12	168	13				890	805	3230	3150
	8	72	9				380	345	1390	1355		14	166	15				880	800	3210	3130
	10	70	11				445	405	1615	1575		16	164	17				875	795	3190	3110
90	6	84	7	12	55	23.5	440	400	1605	1565	180	18	162	19	20	110	32	870	790	3160	3080
	7	83	8				440	400	1600	1560		14	186	15				985	895	3575	3485
	8	82	9				435	395	1575	1535		16	184	17				980	890	3565	3475
	10	80	11				425	390	1555	1515		18	182	19				970	885	3535	3445
	12	78	13				495	450	1815	1765		20	180	21				965	880	3525	3435
100	6	94	7	12	55	23.5	495	450	1795	1745	200	24	176	25	18	110	32	950	870	3470	3390
	7	93	8				485	440	1780	1740		18	182	19				970	885	3535	3445
	8	92	9				485	440	1765	1720		20	180	21				965	880	3525	3435
	10	90	11				475	435	1740	1700		24	176	25				950	870	3470	3390
	12	88	13				470	430	1720	1680		465	425	1705				1665			

### 不等边角钢



标准 JB/T 5000.3—1998 规定的冷弯半径同等边角钢

$$e = d + 1, a = b - d, a' = B - d$$

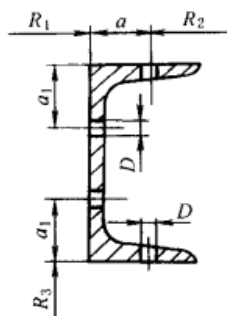
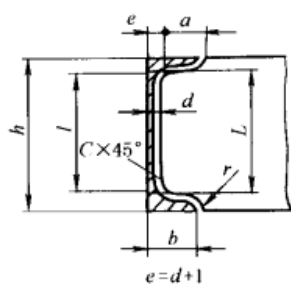
表 1-4-86

mm

角钢尺寸			焊接接头尺寸				螺栓、铆钉连接规线						最小弯曲半径																					
							孔并列 ∴∴			孔交错排列 ∴∴			朝小的翼缘方向				朝大的翼缘方向																	
B	b	d	I	II	e	C	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	D	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	D	热弯		冷弯		热弯		冷弯															
			a	a'									R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>														
25	16	3	13	22	4	3							80	75	290	285	110	100	400	395														
		4	12	21	5								75	70	280	280	105	100	390	385														
32	20	3	17	29	4	4							100	90	370	360	140	130	520	510														
		4	16	28	5								100	90	360	360	140	130	510	500														
40	25	3	22	37	4								130	115	470	470	180	180	655	655														
		4	21	36	5								125	115	460	460	175	160	645	630														
45	28	3	25	42	4	5							150	135	535	535	200	185	745	730														
		4	24	41	5								145	130	520	525	200	185	735	720														
50	32	3	29	47	4			22					170	150	610	610	225	210	835	815														
		4	28	46	5								165	150	600	600	220	190	820	790														
56	36	3	33	53	4		18		6.6	18	20	6.6	190	170	690	690	255	235	935	915														
		4	32	52	5								190	170	680	680	250	230	925	905														
		5	31	51	6								185	165	670	670	250	230	915	895														
63	40	4	36	59	5	7				20				210	190	760	760	285	260	1045	1020													
		5	35	58	6									210	185	755	750	285	260	1035	1005													
		6	34	57	7									205	185	745	745	280	255	1025	1005													
		7	33	56	8									200	180	730	730	275	255	1015	995													
70	45	4	41	66	5	8	25		32	9				240	215	860	860	320	295	1165	1140													
		5	40	65	6									235	215	850	850	315	290	1160	1135													
		6	39	64	7									235	210	840	840	310	290	1145	1125													
		7	38	63	8									230	210	830	830	310	285	1140	1115													
75	50	5	45	70	6	9	28							260	235	945	945	340	315	1255	1225													
		6	44	69	7									260	235	935	935	335	310	1240	1215													
		8	42	67	9									252	230	915	915	330	305	1220	1195													
		10	40	65	11									245	225	895	890	325	300	1200	1175													
80	50	5	45	75	6																				35	11	265	235	955	955	360	330	1325	1295

角钢尺寸			焊接接头尺寸				螺栓、铆钉连接规线						最小弯曲半径							
							孔并列 ∴			孔交错排列 ∴			朝小的翼缘方向				朝大的翼缘方向			
B	b	d	I	II	e	C	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	D	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	D	热弯		冷弯		热弯		冷弯	
			a	a'									R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
80	50	6	44	74	7	9	28	32	9		35	11	260	235	945	945	355	330	1310	1285
		7	43	73	8								260	235	935	935	355	325	1305	1275
		8	42	72	9								255	230	925	925	350	325	1295	1265
90	56	5	51	85	6	10	30			30			300	265	1075	1075	405	375	1495	1460
		6	50	84	7								295	265	1065	1065	405	375	1485	1450
		7	49	83	8								290	260	1055	1055	400	370	1470	1440
		8	48	82	9								290	260	1045	1045	395	365	1460	1430
100	63	6	57	94	7								335	300	1205	1170	455	415	1660	1620
		7	56	93	8								330	295	1195	1160	450	415	1645	1615
		8	55	92	9								325	290	1185	1150	440	410	1635	1600
		10	53	90	11								320	290	1165	1130	440	405	1615	1585
100	80	6	74	94	7	12	35			40			410	370	1485	1490	475	435	1730	1690
		7	73	93	8								410	370	1480	1480	470	430	1720	1680
		8	72	92	9								405	365	1470	1460	470	430	1710	1670
		10	70	90	11								400	360	1445	1450	460	425	1690	1650
110	70	6	64	104	7						45	15	370	335	1340	1340	500	460	1835	1795
		7	63	103	8								370	330	1330	1335	495	460	1820	1780
		8	62	102	9								365	330	1325	1320	490	455	1810	1775
		10	60	100	11								360	325	1305	1305	485	450	1790	1750
125	80	7	73	118	8	14	45			55	15		425	380	1530	1530	570	525	2080	2035
		8	72	117	9								420	380	1520	1520	565	520	2070	2025
		10	70	115	11								415	375	1500	1500	555	515	2050	2010
		12	68	113	13								410	370	1480	1480	550	510	2030	1980
140	90	8	82	132	9					70			480	430	1720	1720	635	585	2330	2280
		10	80	130	11								470	420	1700	1700	630	580	2315	2265
		12	78	128	13								465	420	1680	1680	620	575	2290	2245
		14	76	126	15								460	415	1660	1660	615	570	2270	2225
160	100	10	90	150	11	16	55			21	60		530	475	1905	1910	720	660	2640	2580
		12	88	148	13								525	470	1900	1885	710	655	2600	2565
		14	86	146	15								515	465	1870	1870	705	655	2595	2545
		16	84	144	17								510	460	1845	1845	700	645	2575	2525
180	110	10	100	170	11						65		590	525	2115	2115	810	745	2980	2910
		12	98	168	13								580	520	2095	2095	800	740	2940	2880
		14	96	166	15								575	520	2075	2085	795	735	2930	2870
		16	94	164	17								510	510	2055	2055	790	730	2900	2840
200	125	12	113	188	13	18	70			90	26		665	595	3030	2390	900	830	3295	3225
		14	111	186	15								655	590	3025	2370	890	820	3275	3205
		16	109	184	17								650	590	3020	2350	890	815	3255	3190
		18	107	182	19								640	580	3015	2330	880	815	3240	3180

## 热轧普通槽钢



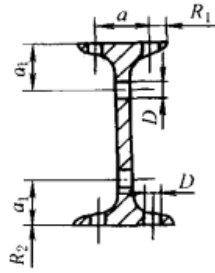
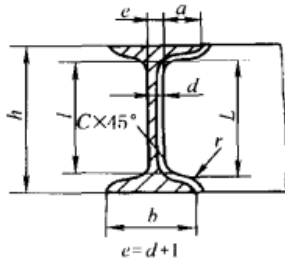
标准 JB/T 5000.3—1998 规定, 卷圆  
冷弯弯曲半径为:  $R \geq 45b$  或  $R \geq 25h$   
(随弯曲方向定)

表 1-4-87

mm

型 号	焊接接头尺寸					螺栓、铆钉连接规线				最小弯曲半径						
	L	l	a	C	e	b	a	a <sub>1</sub>	D	热 弯			冷 弯			
										R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	
5	38	31	33	3	5.5	37	21	—	12	155	145	155	575	565	600	
6.3	51	43	36	4	5.8	40	22	—	12	175	160	195	645	635	755	
8	66	58	38	5	6.0	43	25	29	14	190	175	245	700	685	960	
10	86	77	43		6.3	48	28	30		220	200	305	805	790	1200	
12.6	104	94	48	6	6.5	53	30	34	18	250	230	385	910	890	1510	
14 <sup>a</sup> 14 <sup>b</sup>	124	114	52		7.0	58	35	36		18	270	250	430	1005	980	1680
					9.0	60			295		265	1065		1010		
16a	144	133	57		6	7.5	63	36	39	20	305	275	490	1105	1080	1920
16						9.5	65				320	290		1170	1140	
18a	162	150	61		6	8.0	68	38	40	20	335	305	555	1210	1180	2160
18						10.0	70				350	315		1270	1240	
20a	182	169	66		7	8.0	73	40	41	22	360	325	615	1300	1270	2400
20						10.0	75				375	340		1370	1335	
22a	200	186	70			7	8.0	77	42	43	22	380	345	675	1380	1345
22				10.0			79	400				360	1450		1410	
a 25b c	230	215	72	7		8	78	45	46	26	390	350	770	1415	1380	2995
						10	80				410	370		1485	1445	
						12	82				430	385		1550	1505	
a 28b c	258	242	76	7		8.5	82	46	48	26	415	375	860	1505	1465	3360
						10.5	84				445	400		1575	1530	
						12.5	86				455	410		1640	1595	
a 32b c	296	278	80	8	9	88	49	50	26	445	405	985	1620	1575	3840	
					11	90				455	420		1690	1640		
					13	92				485	435		1770	1710		
a 36b c	334	316	88	9	11.0	96	55	55	30	490	445	1105	1775	1720	4320	
					12.0	98				505	455		1835	1795		
					14.0	100				525	470		1890	1840		
a 40b c	370	352	90	10	11.5	100	60	59	30	515	460	1230	1855	1805	4800	
					13.5	102				530	475		1915	1860		
					15.5	104				555	490		1970	1915		

热轧普通工字钢



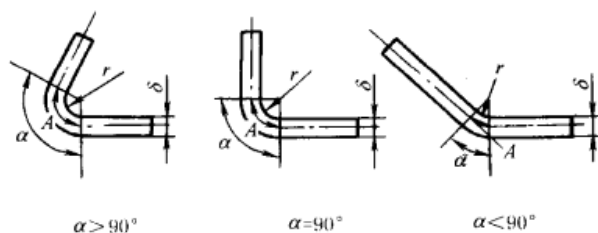
标准 JB/T 5000.3—1998 规定, 卷圆冷弯弯曲半径为:  $R \geq 25h$  或  $R \geq 25b$  (随弯曲方向定)

表 1-4-88

mm

型号	焊接接头尺寸				螺栓、铆钉连接规线					最小弯曲半径			
	L	l	a	C	e	b	a	a <sub>1</sub>	D	热弯		冷弯	
										R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
10	88	77	32	4	5.5	68	36	—	12	210	305	815	1200
12.6	106	95	35		6.0	74	40			225	385	890	1510
14	126	113	38		6.5	80	44			245	430	960	1680
16	144	130	41		7.0	88	48			270	490	1055	1920
18	164	149	44	5	7.5	94	50	45	14	290	555	1130	2160
20 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	182	166	47		8.0	100	54	47		17	305	615	1200
					10.0	102			315		1220		
22 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	202	185	52		8.5	110	60	48	20	340	675	1320	2640
					10.5	112				345		1345	
25 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	220	202	55		9	116	65	54	20	355	770	1390	2995
					11	118				365		1415	
28 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	248	229	58		6	9.5	122	66	56	22	375	860	1465
				11.5		124			380		1490		
32 <sup>a</sup> <sub>b</sub> c	308	288	61	10.5		130	75	58	22	400	985	1560	3840
				12.5		132				405		1585	
				14.5		134				410		1610	
36 <sup>a</sup> <sub>b</sub> c	336	316	64	11.0		136	80	64	22	420	1105	1630	4320
				13.0		138				425		1655	
				15.0		140				430		1680	
40 <sup>a</sup> <sub>b</sub> c	376	354	66	11.5		142	80	65	24	435	1230	1705	4800
				13.5		144				440		1730	
				15.5	146	450				1750			
45 <sup>a</sup> <sub>b</sub> c	424	400	70	12.5	150	85	67	24	460	1380	1800	5395	
				14.5	152				465		1825		
				16.5	154				475		1850		
50 <sup>a</sup> <sub>b</sub> c	472	446	74	13.0	158	90	70	26	485	1535	1895	6000	
				15.0	160				490		1920		
				17.0	162				500		1940		
56 <sup>a</sup> <sub>b</sub> c	520	494	78	13.5	166	94	72	26	510	1720	1995	6720	
				15.5	168				515		2015		
				17.5	170				520		2035		
63 <sup>a</sup> <sub>b</sub> c	590	564	83	14.0	176	95	75	26	540	1935	2110	7560	
				16.0	178				545		2135		
				18.0	180				565		2160		

### 板材最小弯曲半径



标准 JB/T 5000.3—1998 规定：  
对于低合金钢  $r \geq 25\delta$ ；对于低碳  
钢  $r \geq 20\delta$

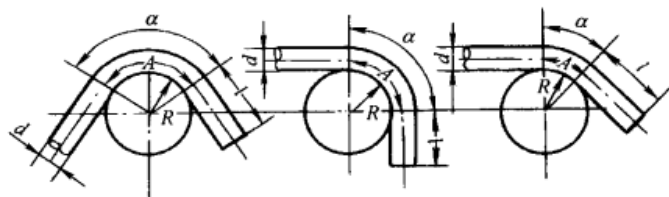
$$A = \pi(r + K\delta) \frac{\alpha}{180^\circ}$$

表 1-4-89

mm

材 料	回火或正火					淬 火			
	弯曲半径 r								
	垂直于轧制纹路		平行于轧制纹路			垂直于轧制纹路		平行于轧制纹路	
工业纯铁	0		0.28			0.28		0.58	
铝	0		0.28			0.38		0.88	
黄铜	0		0.28			0.48		0.88	
铜	0		0.28			1.08		2.08	
10, Q195, Q215,	0		0.48			0.48		0.88	
15, 20, Q235,	0.18		0.58			0.58		1.08	
25, 30, Q255,	0.28		0.68			0.68		1.28	
35, 40, Q275	0.38		0.88			0.88		1.58	
45, 50,	0.58		1.08			1.08		1.78	
55, 60,	0.78		1.38			1.38		2.08	
硬铝	1.08		1.58			1.58		2.58	
超硬铝	2.08		3.08			3.08		4.08	
$\delta$	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10
r	K								
1	0.350								
2	0.375	0.357	0.350						
3	0.398	0.375	0.362	0.350					
4	0.415	0.391	0.374	0.360	0.350				
5	0.428	0.404	0.386	0.367	0.357	0.350			
6	0.440	0.415	0.398	0.375	0.363	0.355	0.350		
7	0.450	0.425	0.407	0.383	0.369	0.360	0.354		
8	0.459	0.433	0.415	0.391	0.375	0.365	0.356	0.350	
9	0.465	0.440	0.423	0.398	0.381	0.370	0.362	0.353	
10	0.470	0.447	0.429	0.405	0.387	0.375	0.366	0.356	0.350
12	0.480	0.459	0.440	0.416	0.399	0.385	0.375	0.362	0.355
14		0.467	0.450	0.425	0.408	0.395	0.385	0.369	0.360
16		0.473	0.459	0.433	0.416	0.403	0.392	0.375	0.365
18		0.479	0.465	0.440	0.423	0.409	0.400	0.382	0.370
20	0.50		0.470	0.447	0.430	0.415	0.405	0.388	0.375
22			0.475	0.453	0.435	0.421	0.410	0.394	0.380
25		0.5		0.460	0.443	0.430	0.417	0.402	0.387
28			0.5	0.466	0.450	0.436	0.425	0.408	0.395
30				0.470	0.455	0.440	0.430	0.412	0.400

## 管材最小弯曲半径



标准 JB/T 5000.11—1998 规定管子冷弯半径为： $d \leq 42\text{mm}$ 时， $R \geq 2.5d$ ； $d > 42\text{mm}$ 时， $R \geq 3d$

$$A = \pi \left( R + \frac{d}{2} \right) \frac{\alpha}{180^\circ}$$

表 1-4-90

mm

硬聚氯乙烯管			铝 管			紫铜管与黄铜管				焊 接 钢 管					
d	壁厚	R	d	壁厚	R	d	壁厚	R	l <sub>最小</sub>	d	壁厚	R		l <sub>最小</sub>	
												热	冷		
12.5	2.25	30	6	1	10	5	1	10		13.5	1/4"		40	80	40
15	2.25	45	8	1	15	6	1	10	18	17	3/8"		50	100	45
25	2	60	10	1	15	7	1	15		21.25	1/2"	2.75	65	130	50
25	3	80	12	1	20	8	1	15	25	26.75	3/4"	2.75	80	160	55
32	3	110	14	1	20	10	1	15	30	33.5	1"	3.25	100	200	70
40	3.5	150	16	1.5	30	12	1	20	35	42.25	1 1/4"	3.25	130	250	85
51	4	180	20	1.5	30	14	1	20		48	1 1/2"	3.5	150	290	100
65	4.5	240	25	1.5	50	15	1	30	45	60	2"	3.5	180	360	120
76	5	330	30	1.5	60	16	1.5	30		75.5	2 1/2"	3.75	225	450	150
90	6	400	40	1.5	80	18	1.5	30	50	88.5	3"	4	265	530	170
114	7	500	50	2	100	20	1.5	30		114	4"	4	340	680	230
140	8	600	60	2	125	24	1.5	40	55	125	5"		400		
166	8	800				25	1.5	40		150	6"		500		
						28	1.5	50							
						35	1.5	60							
						45	1.5	80							
						55	2	100							
无 缝 钢 管			不 锈 钢 管			不 锈 无 缝 钢 管									
d	壁厚	R	d	壁厚	R	d	壁厚	R							
6	1	15	14	2	18	6	1	15							
8	1	15	18	2	28	8	1	15							
10	1.5	20	(22)	2	50	10	1.5	20							
12	1.5	25	25	2	50	12	1.5	25							
14	1.5	30	32	2.5	60	14	1.5	30							
14	3	18	38	2.5	70	16	1.5	30							
16	1.5	30	45	2.5	90	18	1.5	40							
18	1.5	40	57	2.5	110	20	1.5	40							
18	3	28	(76)	3.5	225	22	1.5	60							
20	1.5	40	89	4	250	25	3	60							
22	3	50	102			32		80							
25	3	50	(108)	4	360	38	3	80							
32	3	60	133	4	400	41	3	100							
32	3.5	60	139	4	450	57	4	180							
38	3	80				76	4	220							
38	3.5	70				89	4	270							
44.5	3	100				102									
45	3.5	90				108	6	340							
57	3.5	110				133	6	420							
57	4	150				159	6	600							
76	4	180				194	10	800							
89	4	220				219	12	900							
102															
108	4	270													

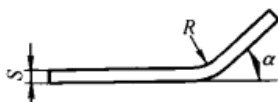

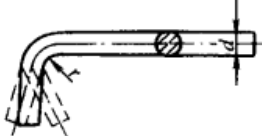
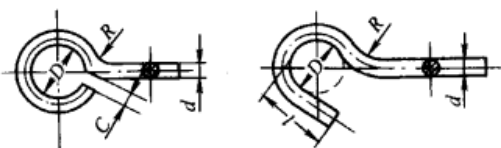
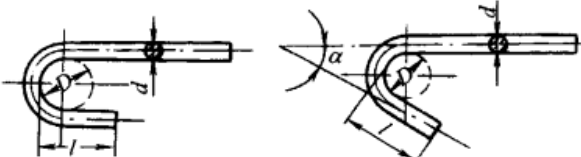
续表

无缝钢管			不锈钢管			不锈钢无缝管		
$d$	壁厚	$R$	$d$	壁厚	$R$	$d$	壁厚	$R$
133	4	340						
159	4.5	450						
159	6	420						
194	6	500						
219	6	500						
245	6	600						
273	8	700						
325	8	800						
371	10	900						
426	10	1000						

## 扁钢、圆钢弯曲的推荐尺寸

表 1-4-91

mm

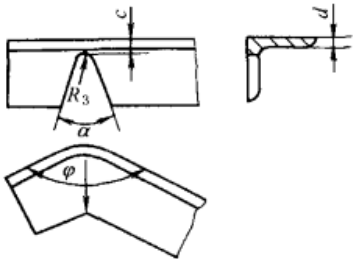
扁钢平面弯曲													扁钢侧面弯曲																		
																															
$S$	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	$S$	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20				
$R$	3			5			8			10			15			20			$b$	15~40						40~70					
$\alpha$	7°, 15°, 20°, 30°, 40°, 45°, 50°, 60°, 70°, 75°, 80°, 90°												$R$	30						50											
圆钢弯曲													圆钢弯钩环																		
																															
$d$	6	8	10	12	14	16	18	20	25	28	30	$d$	$D$	$C$	$R$	$l$															
$r$ 最小	4		6		8		10		12		15	6	8~14	6	5~8	14~26															
$r$ 一般	= $d$											8	10~18	6	5~10	27~36															
圆钢弯小钩													10	10~20	8	5~10	30~40														
													12	12~24	10	5~12	36~48														
$\alpha = 45^\circ$ 或 $75^\circ$ $l = 3d$													14	12~28	12	8~15	40~56														
$D = 2d$ ; 其尺寸最好从下列尺寸系列中选择:													16	16~32	16	8~15	48~64														
8mm, 10mm, 12mm, 14mm, 16mm, 18mm, 20mm, 22mm, 24mm,													18	18~36	20	10~20	54~72														
28mm, 32mm, 36mm, 40mm													说明: 1. 直径 $D$ 由下列尺寸系列中选择: 8mm, 10mm, 12mm, 14mm, 16mm, 18mm, 20mm, 22mm, 24mm, 28mm, 32mm, 36mm																		
													2. 半径 $R$ 在 5mm, 8mm, 10mm, 12mm, 15mm, 20mm 各数值选择, 应约等于 $\frac{D}{2}$																		



角钢坡口弯曲  $c$  值

表 1-4-92

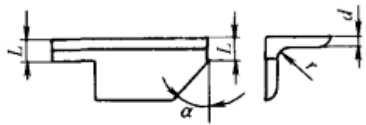
mm

	截切角 $\alpha$	角钢厚度 $d$								
		3	4	5	6	7	8	9	10	12
	$< 30^\circ$	6	9	11	15	16	17	18	19	21
	$> 30^\circ \sim 60^\circ$	6	7	8	11	12	14	15	16	18
	$> 60^\circ \sim 90^\circ$	5	6	7	9	10	11	12	13	15
	$> 90^\circ$	4	5	6	7	8	9	10	11	13

截切角  $\alpha = 180^\circ - \varphi$

角钢截切角推荐值

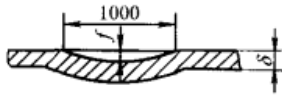
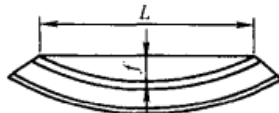

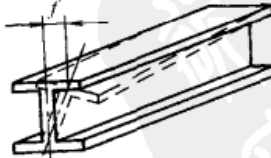
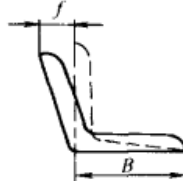
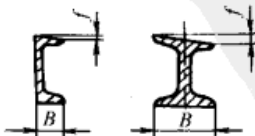
表 1-4-93

	截切角 $\alpha$	15°	30°	45°	60°	75°	90°
	$L$	$\geq d + r$					

### 3 焊接件通用技术条件 (摘自 JB/T 5000.3—1998)

1) 各种钢材在画线前, 其钢板局部的平面度、型钢各种变形按表 1-4-94 的规定均必须矫正, 达到要求的公差才可画线; 且型钢的局部波状及平面度在每米长度内不超过 2mm。

表 1-4-94

名称	简图	允许值/mm	名称	简图	允许值/mm
钢板平面度		1000 长度内 平面度允许值 $f$ : $\delta \leq 14, f \leq 2$ $\delta > 14, f \leq 1$	槽钢与工字钢直线度		全长直线度 $f \leq \frac{1.5}{1000}L$
	测量工具: 1000 长平尺				
角钢直线度与腿宽倾斜		全长直线度 $f \leq \frac{1.5}{1000}L$	槽钢与工字钢歪扭		歪扭: $L \leq 10000,$ $f \leq 3$ $L > 10000,$ $f \leq 5$ ( $L$ 为槽钢与工字钢的长度)
		腿宽倾斜不成 $90^\circ$ , 按腿宽 $B$ 计算, $f \leq \frac{1}{100}B$ 但不大于 1.5 (不等边角钢按长腿宽度计算)			腿宽倾斜 $f \leq \frac{1}{100}B$

2) 焊前钢材(钢板、型钢等)的卷圆弯曲半径 $R$ (内半径)参见表1-4-85~表1-4-90(表中数据非标准JB/T 5000.3的规定)所列数值。钢材热弯温度 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 。弯曲完成时,温度不得低于 $700^{\circ}\text{C}$ 。对普通低合金钢应注意缓冷。

3) 焊前管子的最小弯曲半径 $R$ (内半径)参见表1-4-90所列数据(表中数据非标准JB/T 5000.3的规定)。热弯时加热温度为 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ,弯曲过程中温度不得低于 $700^{\circ}\text{C}$ ,冷弯应在专用的弯管机上进行。管子弯曲后壁厚减薄量(受拉面),对于冷弯不大于壁厚15%,热弯不大于壁厚20%。焊前管子的弯曲半径允差、圆度允差及允许的波纹深度见表1-4-63。弯曲成形的筒体尺寸允差见表1-4-62。

4) 焊接件的长度尺寸未注极限偏差及未注直线度、平面度和平行度公差见有关规定。长度尺寸公差一般选B级,形位公差一般选F级,均可不标注,否则应在设计图样上标注(指标注在图纸上的)。焊接件的尺寸公差与形位公差精度等级选用见表1-4-60。

5) 角度未注极限偏差见表1-4-61,角度偏差的公称尺寸以短边为基准边,其长度从图样标明的基准点算起(见表1-4-61)。如在图样上不标注角度,而只标注长度尺寸,则允许偏差以 $\text{mm}/\text{m}$ 计。一般选B级,可不标注,否则应在设计图样上标注。

6) 低碳钢的焊接件,一般无须预热就可进行焊接,但当环境温度低于 $0^{\circ}\text{C}$ 或者厚度较大时,焊前也必须根据工艺要求进行预热并焊后缓冷。

7) 低合金结构钢的焊接件,必须综合考虑碳当量、构件厚度、焊接接头的拘束度、环境温度以及所使用的焊接材料等因素,确定焊接预热温度,见表1-4-95。当采用非低氢焊接材料焊接时,应适当降低临界板厚或者适当提高预热温度。具体构件的预热温度由焊接技术人员根据结构具体情况确定。

表 1-4-95 低合金结构钢焊接件焊接预热温度

钢 号	厚度/mm	焊前预热/ $^{\circ}\text{C}$	钢 号	厚度/mm	焊前预热/ $^{\circ}\text{C}$
09Mn2(Q295)		不预热	15MnTi(Q390)	$>32$	$\geq 100$
09Mn2Si		不预热	14MnMoNb	$>32$	$\geq 100$
09MnV(Q295)		不预热	15MnVN(Q420)	$\leq 32$	
12Mn(Q295)		不预热	14MnVTiRE(Q420)	$>32$	$\geq 100$
16Mn(Q345)	$>40$	$\geq 100$	18MnMoNb		$\geq 150$
16MnRE(Q345)	$>40$	$\geq 100$	14MnMoV		$\geq 150$
14MnNb(Q345)	$>40$	$\geq 100$	14MnMoVB		$\geq 150$
15MnV(Q390)	$\leq 32$	不预热			

8) 有密闭内腔的焊接件,在热处理之前,应在中间隔板上适当的位置加工 $\phi 10\text{mm}$ 孔,使其空腔与外界相通。需在外壁上钻的孔,热处理后要重新堵上。

9) 焊接接头及坡口型式与尺寸应符合GB/T 985—1988与GB/T 986—1988的规定。焊缝盛水试漏、液压试验、气密性试验、煤油渗漏试验可参照JB/T 4735—1997中相关规定。焊缝超声波探伤应符合GB/T 11345—1989的规定。焊缝射线探伤应符合GB/T 3323—1987的规定。焊缝表面磁粉探伤应符合JB/T 6064—1992的规定。要进行力学性能试验的焊缝,应在图样或订货技术要求中注明。焊缝的力学性能试验种类、试样尺寸按GB/T 2649—1989~GB/T 2655—1989及GB/T 2656—1981的规定。试样板焊后与工件经过相同的热处理,并预先经过外观无损探伤检查。

10) 图样上应标注焊缝符号(应符合GB/T 324—1988的有关规定)、焊缝探伤所采用的标准及级别、焊后是否消除应力处理及种类和部位、对有预热要求的焊缝应标明预热温度等。

11) 设计人员根据焊接件的技术要求填写表1-4-96。也可采用其他形式标注。

表 1-4-96

焊接件技术要求		焊接件技术要求	
通用技术要求	JB/T 5000.3	形位公差精度等级	
焊缝质量评定级别		密封性试验	是/否
尺寸公差精度等级		耐压试验	是/否

注:空格中可补充其他技术要求。

12) 火焰切割件的质量要符合JB/T 5000.2的规定。

13) 焊接件涂装前要进行表面除锈处理,其质量等级见JB/T 5000.12的规定。

# 第5章 零部件冷加工工艺性与结构要素

## 1 金属材料的切削加工性

金属材料的切削加工性指金属经过切削加工成为合乎要求的工件的难易程度。影响切削加工性的因素很多，到目前为止，还不能用材料的某一种性能，例如金相组织或力学性能等来全面地表示出材料的切削加工性。一般是根据具体情况，选用不同的方法来表示的。目前生产中最常用的是以刀具耐用度为60min时的切削速度 $V_{60}$ 来表示。 $V_{60}$ 愈高，表示材料的切削加工性愈好，并以 $\sigma_b = 600\text{MPa}$ 的45钢的 $V_{60}$ 作为基准，简写为 $(V_{60})_f$ 。若以其他材料的 $V_{60}$ 和 $(V_{60})_f$ 相比，其比值 $K_{IV} = \frac{V_{60}}{(V_{60})_f}$ 称为相对加工性。常用材料的相对加工性见表1-5-1。

表 1-5-1 常用材料的相对加工性 (摘自 JB/ZQ 4011—1984)

钢种	材料代号	相对加工性	钢种	材料代号	相对加工性	钢种	材料代号	相对加工性	钢种	材料代号	相对加工性
优质碳素钢	20	170	合金结构钢	40Cr	100	合金工具钢	4CrW2Si	73	合金铸钢	ZG35CrMo	100
	35	131		50Cr	80		Cr12MoV	62		ZGMn13	118
	45	100		35CrMo	73		CrWMn	62		ZGCr22Ni2N	100
	55	77		40CrSi	54		5CrMnMo	62	灰铸铁	HT150	83
合金结构钢	35SiMn	54		38CrSiMnMo	54		GCr15	73		HT200	65
	42SiMn	54		35Cr2MnMo	44		GCr15SiMn	73		HT250	52
	38SiMnMo	65	轧辊钢	60CrMnMo	44	W18Cr4V	47	HT300		45	
	38CrMoAlA	45		60CrMoV	44	不锈钢	2Cr13	100	铸造有色合金	ZQSn6-6-3	
	60SiMnMo	54	弹簧钢	65Mn	50		3Cr13	77		ZQSn10-1	181
	37SiMn2MoV	44		60Cr2MoW	33		1Cr18Ni9Ti	62		ZQA19-4	181
	20MnMo	97		50CrVA	44	碳素铸钢	ZG230-450	144		ZHA166-6-3-2	181
	18MnMoNb	74	碳素工具钢	T7	73		ZG270-500	144		ZHMn58-2-2	307
	20Cr	105		T8	73		ZG310-570	118		ZL104	551
	20CrMnMo	27		T10	73	合金铸钢	ZG35SiMn	100	ZL203	551	
20Cr2Mn2Mo	38	T12		62	ZG35CrMnSi		100				

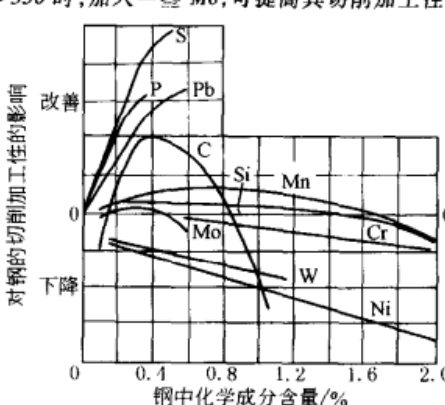
若根据金属的力学性能来分析，一般认为，硬度在170~230HB范围内时，切削加工性良好。过高的硬度不但难以加工，且会造成刀具很快磨损。当 $HB > 300$ 时，切削加工性就显著下降； $HB = 400$ 时，切削加工性就很差了。而过低的硬度，则易形成很长的切屑缠绕，造成刀具的发热和磨损，零件加工后，表面粗糙度也很高。当材料塑性增加， $\psi = 50\% \sim 60\%$ 时，切削加工性也显著下降。

难加工的金属就必须采用硬质合金刀片等高级刀具来加工。例如，采用硬质合金刀片YG6X加工耐热合金效果良好；YG3可加工淬火钢等；YW1可加工不锈钢、高锰钢等；YW2可加工钛合金、奥氏体不锈钢等；YA6可加工高锰钢、淬火钢以及硬铸铁等；白刚玉60<sup>#</sup>(ZR1)磨轮可磨削硬度 $\leq 70\text{HRC}$ 的渗氮的活塞杆等；还有YW1-

YG6X 刀具车削 45 淬硬钢 (55 ~ 62HRC, 表面粗糙度可达  $R_a 6.3 \sim 1.6\mu\text{m}$ )。

影响钢、铁切削加工性的因素及有色金属加工的特点见表 1-5-2, 可作为考虑材料切削加工性时的参考。

表 1-5-2 影响钢、铁切削加工性的因素及有色金属加工的特点

材料	影响因素	切削加工性	影响因素	切削加工性
钢	力学性能	硬度: 170 ~ 230HB 最好, HB > 300 显著下降, HB ≈ 400 很差 塑性: $\psi = 50\% \sim 60\%$ 时, 显著下降	轧制方法	含碳量 < 0.3%: 冷轧或冷拔比热轧好 含碳量 0.3% ~ 0.4% 的中碳钢: 冷轧与热轧差不多 含碳量 > 0.4% 的高碳钢: 热轧比冷轧好
	化学成分 (质量分数)	C: 0.25% ~ 0.35% 左右最好 Mn: 当 C < 0.2% 时 1.5% 最好 Ni: > 8% 加工更困难 Mo: 0.15% ~ 0.40% 时, 稍提高; 当淬硬钢硬度为 HB > 350 时, 加入一些 Mo, 可提高其切削加工性 	金相组织	铁素体: 塑性很大的铁素体钢, 切削加工性很低, 切削前一般经过冷轧或冷拔可提高 珠光体: 含碳量 > 0.6% 时, 粒状珠光体比片状珠光体好; 低碳钢以断续细网状的片状珠光体为好 索氏体、屈氏体: 二者都比珠光体硬。稍差 马氏体: 更硬。更差 奥氏体: 软而韧, 加工硬化厉害, 导热性差, 易粘刀。很差
			冶炼方法	转炉钢: 含硫、磷较高, 最好 平炉钢: 含硫、磷较低, 较差 电炉钢: 含硫、磷更低, 最差
	热处理	退火: 提高 正火: } 低碳钢提高 淬火: }		
铸铁	化学成分 (质量分数)	硬度一般虽然不高, 但是其热导率较低, 并含有碳化铁及其他坚硬的杂质, 且切下的切屑是崩碎的, 所以刃口附近的较小面积上的温度梯度较大, 并且集中地受到一些硬质点的摩擦, 因此其切削加工性同样应综合多方面因素来考虑 C, Si, Al, Ni, Cu, Ti: 提高。适当含量是 Si 0.1% ~ 0.2%, Ni 0.1% ~ 3.0%, Ti 0.05% ~ 0.10%, Mo 0.5% ~ 2.0% Cr, V, Mn, Co, S, P 等: 超过某种限度时就降低。其含量不宜大于 Cr 1.0%, V 0.5%, Mn 1.5%, P 0.14%	金相组织	自由石墨 (显微硬度 15 ~ 40): 提高, 但石墨颗粒太大, 表面粗糙度会增加 自由铁素体 (显微硬度 215 ~ 270): 一般铸件中约占 10%, 提高 珠光体 (显微硬度 300 ~ 390): 一般 针状组织 (显微硬度 400 ~ 495): 略降低 磷铁共晶体 (P 10% + Fe%, 显微硬度 600 ~ 1200): 存在于含 P > 0.1% 的铸铁中, 一般当其在铸铁中的比重小于 5% 时, 影响不大, 再多就降低 自由碳化物 (显微硬度 1000 ~ 2300): 很硬, 降低
	热处理	退火使硬度下降 15% ~ 30%, 可提高切削速度 30% ~ 80%		
铜、铝合金	铜合金: 1. 强度、硬度比钢低, 切削加工性好 2. 青铜比较硬脆, 切削时与灰铸铁类似; 黄铜比较韧软, 切削时与低碳钢有些相同, 但较易获得较低的表面粗糙度 3. 黄铜容易产生“扎刀”的毛病 4. 除车某些青铜外, 刀具使用寿命比钢、铁高 5. 装卡容易引起变形 6. 线胀系数比钢、铁大, 加工发热, 尺寸精度较难控制	铝合金: 1. 强度、硬度比铜更低, 切削加工性更好, 但车螺纹容易“崩扣” 2. 加工时容易粘刀, 形成刀瘤, 增加表面粗糙度 3. 组织不够致密, 很难获得较低的表面粗糙度 4. 除车铸造硅铝明合金外, 刀具使用寿命一般都较高 (禁止使用陶瓷刀具) 5. 装卡和加工时容易引起变形, 工件表面也易碰伤或划伤 6. 线胀系数比铜更大, 影响尺寸精度更突出		

**材料**

镁合金与其他金属结构材料相比,密度较小,机加工较容易。可以采用较高的速度、较大的切削深度和进给速度。它的切屑形成类型主要取决于材料成分、热处理状态、工件形状以及刀具进给量大小。其他金属机加工时,刀具倾角和切削速度对切屑形成有很大影响,但对镁合金的影响很小,可以忽略。单点刀具在车、刨、铣、钻等过程中产生的切屑一般分为三种:大进给量时短而易断;中等进给量时短,部分易断;小进给量时则长而卷。铸造合金易于产生折断或部分折断的切屑,并与热处理状态有关;锻件和挤压件则易产生部分断裂或卷曲的切屑,主要与进给速度有关

车、铣、刨、磨、钻、铰、拉、镗等加工工艺均可以满足镁合金工件不同加工及其表面精度的要求。但应遵循的一个共同原则是刀具应尽可能保持锋利、光滑,且无刮痕、毛刺、卷口

镁合金散热极快,加工表面冷却迅速,常常不需要润切液。如果需要主要是用来冷却工件,减小工件变形,减少切屑燃烧的机会(尤其是切屑较细时,若无液体覆盖很容易起火)。因此,镁合金机加工过程中采用的润切液常被称为冷却液。在大批量生产中,冷却液是延长刀具寿命的主要因素。在钻深孔或进行高速大进给量加工时,需要润切液冷却

镁合金采用的油基冷却剂一般为矿物油,而不宜用动物油或植物油

水溶性油或油水乳化液已成功应用于镁合金的某些机加工工艺中,但是不允许使用水基冷却剂。由于水和镁反应将生成易燃易爆气体  $H_2$ ,导致在镁合金湿切屑的储存和运输过程中出现氢的积累,即使少量氢的不断积累也是极其危险的<sup>[40]</sup>。此外,水会降低镁合金废屑的回收价值

对镁合金进行机加工时,必须考虑切屑着火的问题。切屑被加热到接近熔点以后会引燃,应特别注意安全

各种金属机加工能量和速度对比	金属	相对能量	粗车速度/ $m \cdot min^{-1}$	拉削速度(加工5~10mm)/ $m \cdot min^{-1}$
	镁合金	1.0	可达1200	150~500
铝合金	1.8	75~750	60~400	
铸铁	3.5	30~90	10~40	
低碳钢	6.3	40~200	15~30	
镍合金	10.0	20~90	5~20	

① 受设备、刚度条件限制  
 ② 适用于高速钢刀具,也可以采用硬质合金刀具,速度为 $260m \cdot min^{-1}$   
 ③ 适用于 $\phi 76mm$ 的孔,进给量为 $0.41mm \cdot r^{-1}$   
 ④ 孔径

镁合金孔加工的一般速度和进给量	工艺	速度 <sup>①</sup> / $m \cdot min^{-1}$	进给量/ $mm \cdot r^{-1}$							
			1.6mm <sup>④</sup>	3.2mm <sup>④</sup>	6.4mm <sup>④</sup>	13mm <sup>④</sup>	19mm <sup>④</sup>	25mm <sup>④</sup>	38mm <sup>④</sup>	51mm <sup>④</sup>
钻孔	43~100	0.025	0.076	0.18	0.30	0.41	0.51	0.64	0.76	
枪钻	198	0.025	0.025	0.076	0.13	0.20	0.25	0.25	0.25	
铰孔	120 <sup>②</sup>	—	0.13	0.20	0.30	—	0.41	0.51	0.76	
镗孔	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
高速钢	195 <sup>②</sup>	—	—	0.13	0.15	0.18	0.22	0.28	0.33	
硬质合金	490 <sup>③</sup>	—	—	0.15	0.18	0.20	0.25	0.30	0.36	

镁合金车削速度、进给量和最大切削深度	粗车	车削速度/ $m \cdot min^{-1}$	进给量/ $mm \cdot r^{-1}$	最大切削深度/mm	精车	车削速度/ $m \cdot min^{-1}$	进给量/ $mm \cdot r^{-1}$	最大切削深度/mm
		90~185	0.76~2.5	12.7		90~185	0.13~0.64	2.54
185~305	0.51~2.0	10.2	185~305	0.13~0.51	2.03			
305~460	0.25~1.5	7.62	305~460	0.076~0.38	1.27			
460~610	0.25~1.0	5.08	460~610	—	—			
610~1525	0.25~0.76	3.81	610~1525	—	—			

推荐的矿物油冷却剂	特 性		大 小	
	密度/ $g \cdot cm^{-3}$	0.79~0.86		最大皂化值
黏度(313K)/SUS	55		游离酸最大含量(质量分数)/%	0.2
最低燃烧点/K	408			

## 2 一般标准

标准尺寸 (摘自 GB/T 2822—2005)

表 1-5-3

mm

R			R'			R			R'			R		
R10	R20	R40	R'10	R'20	R'40	R10	R20	R40	R'10	R'20	R'40	R10	R20	R40
1.00	1.00		1.0	1.0				67.0		71	67		1120	1120
	1.12			<b>1.1</b>			71.0	71.0			71		1180	1180
1.25	1.25		<b>1.2</b>	<b>1.2</b>				75.0		80	75	1250	1250	1250
	1.40			1.4		80.0	80.0	80.0	80	80	80			1320
1.60	1.60		1.6	1.6				85.0			85		1400	1400
	1.80			1.8			90.0	90.0		90	90		1500	1500
2.00	2.00		2.0	2.0		100.0	100.0	100.0	100	100	100	1600	1600	1600
	2.24			<b>2.2</b>				106			<b>105</b>		1700	1700
2.50	2.50		2.5	2.5			112	112		<b>110</b>	<b>110</b>		1800	1800
	2.80			2.8				118			<b>120</b>		1900	1900
3.15	3.15		<b>3.0</b>	<b>3.0</b>		125	125	125	125	125	125	2000	2000	2000
	3.55			<b>3.5</b>				132			<b>130</b>		2120	2120
4.00	4.00		4.0	4.0			140	140		140	140		2240	2240
	4.50			4.5				150			150		2360	2360
5.00	5.00		5.0	5.0		160	160	160	160	160	160	2500	2500	2500
	5.60			<b>5.5</b>				170			170		2650	2650
6.30	6.30		<b>6.0</b>	<b>6.0</b>			180	180		180	180		2800	2800
	7.10			<b>7.0</b>				190			190		3000	3000
8.00	8.00		8.0	8.0		200	200	200	200	200	200	3150	3150	3150
	9.00			9.0				212			<b>210</b>		3350	3350
10.00	10.00		10.0	10.0			224	224		<b>220</b>	<b>220</b>		3550	3550
	11.2			<b>11</b>				236			<b>240</b>		3750	3750
12.5	12.5	12.5	<b>12</b>	<b>12</b>	12	250	250	250	250	250	250	4000	4000	4000
	13.2			<b>13</b>				265			<b>260</b>		4250	4250
	14.0			14			280	280		280	280		4500	4500
	15.0			15				300			300		4750	4750
16.0	16.0		16	16		315	315	315	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	5000	5000	5000
	17.0			17				335			<b>340</b>		5300	5300
	18.0			18				355		<b>360</b>	<b>360</b>		5600	5600
	19.0			19				375			<b>380</b>		6000	6000
20.0	20.0		20	20		400	400	400	400	400	400	6300	6300	6300
	21.2			<b>21</b>				425			<b>420</b>		6700	6700
	22.4			<b>22</b>			450	450		450	450		7100	7100
	23.6			<b>24</b>				475			<b>480</b>		7500	7500
25.0	25.0	25	25	25		500	500	500	500	500	500	8000	8000	8000
	26.5			<b>26</b>				530			530		8500	8500
	28.0			28			560	560		560	560		9000	9000
	30.0			30				600			600		9500	9500
31.5	31.5	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>		630	630	630	630	630	630	10000	10000	10000
	33.5			<b>34</b>				670			670		10600	10600
	35.5			<b>36</b>			710	710		710	710		11200	11200
	37.5			<b>38</b>				750			750		11800	11800
40.0	40.0	40	40	40		800	800	800	800	800	800	12500	12500	12500
	42.5			<b>42</b>				850			850		13200	13200
	45.0			45			900	900		900	900		14000	14000
	47.5			<b>48</b>				950			950		15000	15000
50.0	50.0	50	50	50		1000	1000	1000	1000	1000	1000	16000	16000	16000
	53.0			53				1060					17000	17000
	56.0			56									18000	18000
	60.0			60									19000	19000
63.0	63.0	63	63	63								20000	20000	20000

注: 1. “标准尺寸”为直径、长度、高度等系列尺寸。

2. 标准中 0.01 ~ 1.0mm 的尺寸, 此表未列出。

3. R'系列中的黑体字, 为 R 系列相应各项优先数的化整值。

4. 选择尺寸时, 优先选用 R 系列, 按照 R10、R20、R40 顺序。如必须将数值圆整, 可选择相应的 R'系列, 应按照 R'10、R'20、R'40 顺序选择。

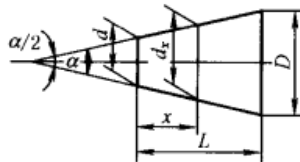
标准角度 (参考)

表 1-5-4

第一系列	第二系列	第三系列	第一系列	第二系列	第三系列	第一系列	第二系列	第三系列	第一系列	第二系列	第三系列	第一系列	第二系列	第三系列
0°	0°	0°			4°			18°			55°			110°
		0°15'	5°	5°	5°		20°	20°	60°	60°	60°	120°	120°	120°
	0°30'	0°30'			6°			22°30'			65°			135°
		0°45'			7°			25°			72°		150°	150°
	1°	1°			8°	30°	30°	30°		75°	75°			165°
		1°30'			9°			36°			80°	180°	180°	180°
	2°	2°		10°	10°			40°			85°			270°
		2°30'			12°	45°	45°	45°	90°	90°	90°	360°	360°	360°
	3°	3°	15°	15°	15°			50°			100°			

注: 1. 本标准为一般用途的标准角度, 不适用于由特定尺寸或参数所确定的角度以及工艺和使用上有特殊要求的角度。  
2. 选用时优先选用第一系列, 其次是第二系列, 再次是第三系列。

锥度与锥角系列 (摘自 GB/T 157—2001)



$$\text{锥度 } C = \frac{D-d}{L} = 2 \tan \frac{\alpha}{2}$$

表 1-5-5 (a) 一般用途圆锥的锥度与锥角

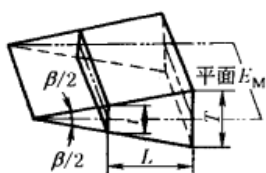
基本值		推算值			应用举例		
系列 1	系列 2	圆锥角 $\alpha$				锥度 C	
		(°)(')('')	(°)	rad			
120°	75°			2.094 395	1:0.288675	螺纹孔的内倒角, 填料盒内填料的锥度	
90°				1.570 796	1:0.500000	沉头螺钉头, 螺纹倒角, 轴的倒角	
			—	—	1.308 997	1:0.651613	车床顶尖, 中心孔
60°			—	—	1.047 198	1:0.866025	车床顶尖, 中心孔
45°			—	—	0.785 398	1:1.207107	轻型螺旋管接口的锥形密封
30°			—	—	0.523 599	1:1.866025	摩擦离合器
1:3			18°55'28.7"	18.924644°	0.330 297	—	有极限转矩的摩擦圆锥离合器
1:5			11°25'16.3"	11.421186°	0.199 337	—	易拆机件的锥形连接, 锥形摩擦离合器
		1:6	9°31'38.2"	9.522783°	0.166 282	—	
		1:7	8°10'16.4"	8.171234°	0.142 615	—	重型机床顶尖, 旋塞
	1:8	7°9'9.6"	7.152669°	0.124 838	—	联轴器和轴的圆锥面连接	
1:10		5°43'29.3"	5.724810°	0.099 917	—	受轴向力及横向力的锥形零件的接合面, 电机及其他机械的锥形轴端	
	1:12	4°46'18.8"	4.771888°	0.083 285	—	固定球及滚子轴承的衬套	
	1:15	3°49'5.9"	3.818305°	0.066 642	—	受轴向力的锥形零件的接合面, 活塞与活塞杆的连接	
1:20		2°51'51.1"	2.864192°	0.049 990	—	机床主轴锥度, 刀具尾柄, 公制锥度铰刀, 圆锥螺栓	
1:30		1°54'34.9"	1.909683°	0.033 330	—	装柄的铰刀及扩孔钻	
1:50		1°8'45.2"	1.145877°	0.019 999	—	圆锥销, 定位销, 圆锥销孔的铰刀	
1:100		0°34'22.6"	0.572953°	0.010 000	—	承受陡振及静变载荷的不需拆开的连接机件	
1:200		0°17'11.3"	0.286478°	0.005 000	—	承受陡振及冲击变载荷的需拆开的零件, 圆锥螺栓	
1:500		0°6'62.5"	0.114592°	0.002 000	—		

注: 系列 1 中 120° ~ 1:3 的数值近似按 R10/2 优先数系列, 1:5 ~ 1:500 按 R10/3 优先数系列 (见 GB/T 321)。

表 1-5-5 (b)

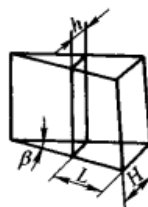
特殊用途圆锥的锥度与锥角								
基本值	圆锥角 $\alpha$		锥度 $C$	应用举例	基本值	圆锥角 $\alpha$		应用举例
18°30'	—	—	1:3.070115	纺织工业	1:18.779	3°3'1.2"	3.050335°	贾各锥度 No. 3
11°54'	—	—	1:4.797451		1:19.264	2°58'24.9"	2.973573°	贾各锥度 No. 6
8°40'	—	—	1:6.598442		1:20.288	2°49'24.8"	2.823550°	贾各锥度 No. 0
7°40'	—	—	1:7.462208		1:19.002	3°0'52.4"	3.014554°	莫氏锥度 No. 5
7:24	16°35'39.4"	16.594290°	1:3.428571	机床主轴, 工具配合	1:19.180	2°59'11.7"	2.936590°	莫氏锥度 No. 6
1:9	6°21'34.8"	6.359660°	—	电池接头	1:19.212	2°58'53.8"	2.981618°	莫氏锥度 No. 0
1:16.666	3°26'12.7"	3.436853°	—	医疗设备	1:19.254	2°58'30.4"	2.975117°	莫氏锥度 No. 4
1:12.262	4°40'12.2"	4.670042°	—	贾各锥度 No. 2	1:19.922	2°52'31.4"	2.875402°	莫氏锥度 No. 3
1:12.972	4°24'52.9"	4.414696°	—	贾各锥度 No. 1	1:20.020	2°51'40.8"	2.861332°	莫氏锥度 No. 2
1:15.748	3°38'13.4"	3.637067°	—	贾各锥度 No. 33	1:20.047	2°51'26.9"	2.857480°	莫氏锥度 No. 1

棱体的角度与斜度 (摘自 GB/T 4096—2001)



$$C_p = \frac{T-t}{L}$$

$$C_p = 2 \tan \frac{\beta}{2} = 1 : \frac{1}{2} \cot \frac{\beta}{2}$$



$$S = \frac{H-h}{L}$$

$$S = \tan \beta = 1 : \cot \beta$$

表 1-5-6

系列 1	基本值		推算值			系列 1	基本值		推算值				
	系列 2	S	C <sub>p</sub>	S	β		系列 2	S	C <sub>p</sub>	S	β		
120°	—	—	1:0.288675	—	—	—	4°	—	1:14.318127	1:14.300666	—		
90°	—	—	1:0.500000	—	—	—	3°	—	1:19.094230	1:19.081137	—		
—	75°	—	1:0.651613	1:0.267949	—	—	—	1:20	—	—	2°51'44.7"		
60°	—	—	1:0.866025	1:0.577350	—	—	2°	—	1:28.644982	1:28.636253	—		
45°	—	—	1:1.207107	1:1.000000	—	—	—	1:50	—	—	1°8'44.7"		
—	40°	—	1:1.373739	1:1.191754	—	—	1°	—	1:57.294327	1:57.289962	—		
30°	—	—	1:1.866025	1:1.732051	—	—	—	1:100	—	—	0°34'25.5"		
20°	—	—	1:2.835641	1:2.747477	—	—	0°30'	—	1:114.590832	1:114.588650	—		
15°	—	—	1:3.797877	1:3.732051	—	—	—	1:200	—	—	0°17'11.3"		
—	10°	—	1:5.715026	1:5.671282	—	—	—	1:500	—	—	0°6'52.5"		
—	8°	—	1:7.150333	1:7.115370	—	说明: 优先选用系列 1, 当不能满足需要时, 选用系列 2							
—	7°	—	1:8.174928	1:8.144346	—	特殊用途	V 形体	角度	108°	C <sub>p</sub>	1:0.3632713	S	1:0.700207 1:0.839100
—	6°	—	1:9.540568	1:9.514364	V 形体		72°	1:0.6881910					
—	—	1:10	—	—	燕尾体		55°	1:0.9604911					
5°	—	—	1:11.451883	1:11.430052	燕尾体		50°	1:1.0722535					



莫氏和公制锥度 (附斜度对照)

表 1-5-7

圆锥号数	锥度 $C = 2 \tan(\alpha/2)$	锥角 $\alpha$	斜角 $\alpha/2$	斜度 $\tan(\alpha/2)$	圆锥号数	锥度 $C = 2 \tan(\alpha/2)$	锥角 $\alpha$	斜角 $\alpha/2$	斜度 $\tan(\alpha/2)$		
莫氏	0	1:19.212 = 0.05205	2°58'54"	1°29'27"	0.026	公制	4	1:20 = 0.05	2°51'51"	1°25'56"	0.025
	1	1:20.047 = 0.04988	2°51'26"	1°25'43"	0.0249		6	1:20 = 0.05	2°51'51"	1°25'56"	0.025
	2	1:20.020 = 0.04995	2°51'41"	1°25'50"	0.025		80	1:20 = 0.05	2°51'51"	1°25'56"	0.025
	3	1:19.922 = 0.05020	2°52'32"	1°26'16"	0.0251		100	1:20 = 0.05	2°51'51"	1°25'56"	0.025
	4	1:19.254 = 0.05194	2°58'31"	1°29'15"	0.026		120	1:20 = 0.05	2°51'51"	1°25'56"	0.025
	5	1:19.002 = 0.05263	3°00'53"	1°30'26"	0.0263		140	1:20 = 0.05	2°51'51"	1°25'56"	0.025
	6	1:19.180 = 0.05214	2°59'12"	1°29'36"	0.0261		160	1:20 = 0.05	2°51'51"	1°25'56"	0.025
	7	1:19.231 = 0.052	2°58'36"	1°29'18"	0.026		200	1:20 = 0.05	2°51'51"	1°25'56"	0.025

注: 1. 公制圆锥号数表示圆锥的大端直径, 如 80 号公制圆锥, 它的大端直径即为 80mm。  
2. 莫氏锥度目前在钻头及铰刀的锥柄、车床零件等应用较多。

60°中心孔 (摘自 GB/T 145—2001)

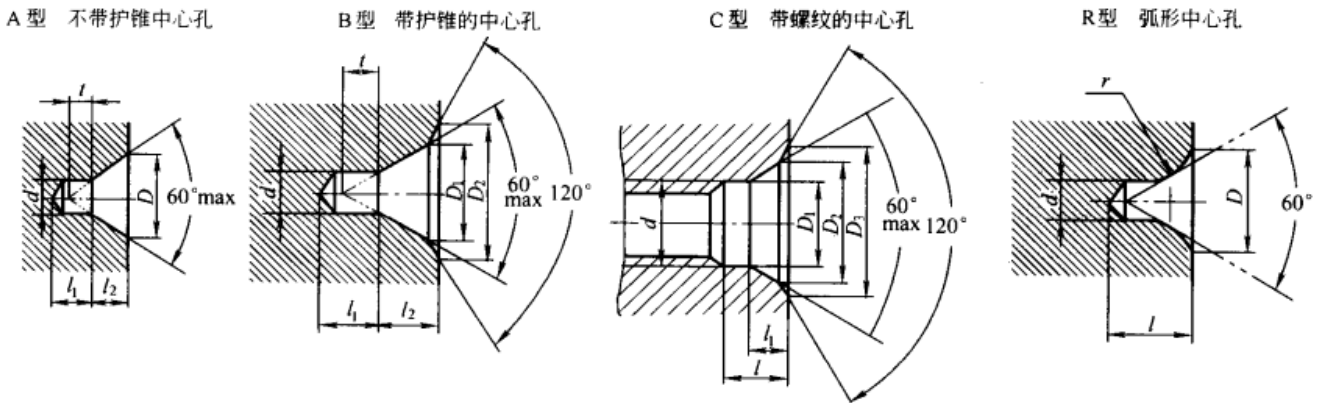


表 1-5-8

d	D		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	l <sub>2</sub>		t		l <sub>min</sub>	r		d	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	l	l <sub>1</sub> 参考
	A 型	R 型			A 型	B 型	A 型	B 型		max	min						
(0.50)	1.06	—	—	—	0.48	—	0.5	—	—	—	—	M3	3.2	5.3	5.8	2.6	1.8
(0.63)	1.32	—	—	—	0.60	—	0.6	—	—	—	—	M4	4.3	6.7	7.4	3.2	2.1
(0.80)	1.70	—	—	—	0.73	—	0.7	—	—	—	—	M5	5.3	8.1	8.8	4.0	2.4
1.00	2.12	2.12	2.12	3.15	0.97	1.27	0.9	0.9	2.3	3.15	2.50	M6	6.4	9.6	10.5	5.0	2.8
(1.25)	2.65	2.65	2.65	4.00	1.21	1.60	1.1	1.1	2.8	4.00	3.15	M8	8.4	12.2	13.2	6.0	3.3
1.60	3.35	3.35	3.35	5.00	1.52	1.99	1.4	1.4	3.5	5.00	4.00	M10	10.5	14.9	16.3	7.5	3.8
2.00	4.25	4.25	4.25	6.30	1.95	2.54	1.8	1.8	4.4	6.30	5.00	M12	13.0	18.1	19.8	9.5	4.4
2.50	5.30	5.30	5.30	8.00	2.42	3.20	2.2	2.2	5.5	8.00	6.30	M16	17.0	23.0	25.3	12.0	5.2
3.15	6.70	6.70	6.70	10.00	3.07	4.03	2.8	2.8	7.0	10.00	8.00	M20	21.0	28.4	31.3	15.0	6.4
4.00	8.50	8.50	8.50	12.50	3.90	5.05	3.5	3.5	8.9	12.50	10.00	M24	26.0	34.2	38.0	18.0	8.0
(5.00)	10.60	10.60	10.60	16.00	4.85	6.41	4.4	4.4	11.2	16.00	12.50						
6.30	13.20	13.20	13.20	18.00	5.98	7.36	5.5	5.5	14.0	20.00	16.00						
(8.00)	17.00	17.00	17.00	22.40	7.79	9.36	7.0	7.0	17.9	25.00	20.00						
10.00	21.20	21.20	21.20	28.00	9.70	11.66	8.7	8.7	22.5	31.50	25.00						

注: 1. 括号内尺寸尽量不用。  
2. A、B 型中尺寸 l<sub>1</sub> 取决于中心钻的长度, 即使中心孔重磨后再使用, 此值不应小于 t 值。  
3. A 型同时列出了 D 和 l<sub>2</sub> 尺寸, B 型同时列出了 D<sub>2</sub> 和 l<sub>2</sub> 尺寸, 制造厂可分别任选其中一个尺寸。

75°、90°中心孔

表 1-5-9

mm

A型 不带护锥	B型 带护锥	α	规格 D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>0</sub>	选择中心孔的参考数据		
											毛坯轴端直径 (min) D <sub>0</sub>	毛坯质量 (max) /kg	
		75°(摘自JB/ZQ 4236—1997)	3	9		7	8	1				30	200
			4	12		10	11.5	1.5				50	360
			6	18		14	16	2				80	800
			8	24		19	21	2				120	1500
			12	36		28	30.5	2.5				180	3000
			20	60		50	53	3				260	9000
			30	90		70	74	4				360	20000
			40	120		95	100	5				500	35000
			45	135		115	121	6				700	50000
			50	150		140	148	8				900	80000
		90°(摘自JB/ZQ 4237—1997)	14	56	77	36	38.5	2.5	6		44.5	250	5000
			16	64	85	40	42.5	2.5	6		48.5	300	10000
			20	80	108	50	53	3	8		61	400	20000
			24	96	124	60	64	4	8		72	500	30000
			30	120	155	80	84	4	10		94	600	50000
			40	160	195	100	105	5	10		115	800	80000
			45	180	222	110	116	6	12		128	900	100000
			50	200	242	120	128	8	12		140	1000	150000

注：1. 中心孔的选择：中心孔的尺寸主要根据毛坯轴端直径  $D_0$  和零件毛坯总质量（如轴上装有齿轮、齿圈及其他零件等）来选择。若毛坯总质量超过表中  $D_0$  相对应的质量时，则依据毛坯质量确定中心孔尺寸。

2. 当加工零件毛坯总质量超过 5000kg 时，一般宜选择 B 型中心孔。
3. D 型中心孔是属于中间型式，在制造时要考虑到在机床上加工去掉余量“ $L_3$ ”以后，应与 B 型中心孔相同。
4. 中心孔的表面粗糙度按用途自行规定。

零件倒圆与倒角 (摘自 GB/T 6403.4—1986)

表 1-5-10

mm

直径 D		≤3		>3~6		>6~10		>10~18
R、C	$R_1$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
	$C_{max} (C < 0.58R_1)$	—	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
直径 D		>18~30		>30~50		>50~80		>80~120 >120~180
R、C	$R_1$	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	
	$C_{max} (C < 0.58R_1)$	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	
直径 D		>180~250		>250~320		>320~400		>400~500 >500~630 >630~800
R、C	$R_1$	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	
	$C_{max} (C < 0.58R_1)$	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	
直径 D		>800~1000		>1000~1250		>1250~1600		
R、C	$R_1$	16		20		25		
	$C_{max} (C < 0.58R_1)$	8.0		10		12		

根据直径  $D$  确定  $R$  (或  $R_1$ )、 $C$ ，另一相配零件的圆角或倒角按图中关系确定

注：α 一般采用 45°，也可采用 30° 或 60°。

球面半径 (摘自 GB/T 6403.1—1986)

表 1-5-11

mm

	系 列	1	0.2	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4.0	6.0	10	16	20
		2	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	5.0	8.0	12	18	22
		1	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
		2	28	36	45	56	71	90	110	140	180	220	280
		1	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200
		2	360	450	560	710	910	1100	1400	1800	2200	2800	

圆形零件自由表面过渡圆角半径和静配合连接轴用倒角

表 1-5-12

mm

圆角半径		$D-d$	2	5	8	10	15	20	25	30	35	40	50	55	65	70	90	100	130	
		$R$	1	2	3	4	5	8	10	12	12	16	16	20	20	25	25	30	30	
		$D-d$	140	170	180	220	230	290	300	360	370	450	460	540	550	650	660	760		
		$R$	40	40	50	50	60	60	80	80	100	100	125	125	160	160	200	200		
静配合连接轴倒角		$D$	$\leq 10$	$> 10 \sim 18$	$> 18 \sim 30$	$> 30 \sim 50$	$> 50 \sim 80$	$> 80 \sim 120$	$> 120 \sim 180$	$> 180 \sim 260$	$> 260 \sim 360$	$> 360 \sim 500$								
		$a$	1	1.5	2	3	5	5	8	10	10	12								
		$\alpha$	30°						10°											

注：尺寸  $D-d$  是表中数值的中间值时，则按较小尺寸来选取  $R$ 。例如  $D-d=98$ ，则按 90 选  $R=25$ 。

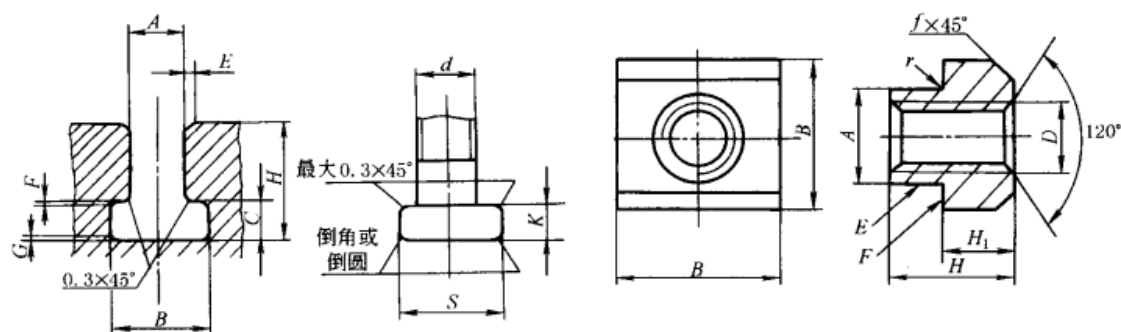
燕尾槽 (摘自 JB/ZQ 4241—1997)

表 1-5-13

mm

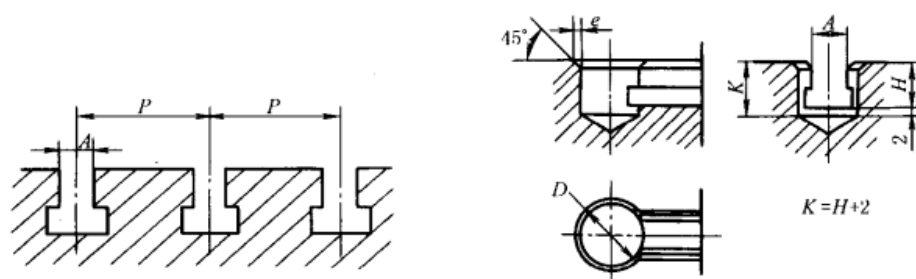
	$A$	40 ~ 65	50 ~ 70	60 ~ 90	80 ~ 120	100 ~ 160	125 ~ 200	160 ~ 250	200 ~ 320	250 ~ 400	320 ~ 500	
	$B$	12	16	20	25	32	40	50	65	80	100	
	$c$	1.5 ~ 5 (为推荐值)										
	$e$	1.5			2.0				2.5			
	$f$	2			3				4			
	$H$	8	10	12	16	20	25	32	40	50	65	
	备注：“A”的系列为 40、45、50、55、60、65、70、80、90、100、110、125、140、160、180、200、225、250、280、320、360、400、450、500											

T形槽 (摘自 GB/T 158—1996)



E, F 和 G 倒 45° 角或倒圆

T形槽用螺母



T形槽不通端型式

表 1-5-14

mm

T形槽							螺栓头部			T形槽间距 P					T形槽间距偏差			
A	B		C		H	E	F	G	d						S	K	间距 P	极限偏差
基本尺寸	最小尺寸	最大尺寸	最小尺寸	最大尺寸	最小尺寸	最大尺寸	最大尺寸	最大尺寸	公称尺寸	最大尺寸	最大尺寸							
5	10	11	3.5	4.5	8	10	1	0.6	1	M4	9	3	20	25	32	20	±0.2	
6	11	12.5	5	6	11	13				M5	10	4	25	32	40	25		
8	14.5	16	7	8	15	18				M6	13	6	32	40	50	32 ~ 100	±0.3	
10	16	18	7	8	17	21				M8	15	6	40	50	63			
12	19	21	8	9	20	25				M10	18	7	(40)	50	63			80
14	23	25	9	11	23	28	1.6	1	1.6	M12	22	8	(50)	63	80	100	125 ~ 250	±0.5
18	30	32	12	14	30	36				M16	28	10	(63)	80	100	125		
22	37	40	16	18	38	45				M20	34	14	(80)	100	125	160		
28	46	50	20	22	48	56	2.5	1	2.5	M24	43	18	100	125	160	200	320 ~ 500	±0.8
36	56	60	25	28	61	71				M30	53	23	125	160	200	250		
42	68	72	32	35	74	85				M36	64	28	160	200	250	320		
48	80	85	36	40	84	95	2	6	6	M42	75	32	200	250	320	400	±0.8	
54	90	95	40	44	94	106				M48	85	36	250	320	400	500		

T形槽用螺母尺寸												T形槽不通端尺寸					
T形槽 宽度 A	D		A		B		H <sub>1</sub>		H		f	r	宽度 A	K	D		e
	公称 尺寸	基本 尺寸	极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差	最大 尺寸	最大 尺寸	基本尺寸			极限偏差		
5	M4	5		9		3	±0.2	6.5		1			5	12	15	+1	0.5
6	M5	6	-0.3	10	±0.29	4		8	±0.29			6	15	16	0		
8	M6	8	-0.5	13		6	±0.24	10		1.6	0.3	8	20	20			
10	M8	10		15	±0.35	6		12				10	23	22		+1.5 0	1
12	M10	12		18		7		14	±0.35			12	27	28			
14	M12	14	-0.3	22	±0.42	8	±0.29	16		2.5	0.4	14	30	32			
18	M16	18	-0.6	23		10		20	±0.42			18	38	42		+2 0	1.5
22	M20	22		34	±0.5	14	±0.35	28		4	0.5	22	47	50			
28	M24	28		43		18	±0.42	36	±0.5			28	58	62			
36	M30	36		53		23		44				36	73	76		+2 0	2
42	M36	42	-0.4	64	±0.6	28	±0.5	52		6	0.8	42	87	92			
48	M42	48	-0.7	75		32	±0.6	60	±0.6			48	97	108			
54	M48	54		85	±0.7	36	±0.5	70				54	108	122			

注：螺母材料为45钢。螺母表面粗糙度（按GB 1031）最大允许值，基准槽用螺母的E面和F面为3.2μm；其余为6.3μm。螺母进行热处理，硬度为35HRC，并发蓝。

砂轮越程槽（摘自GB/T 6403.5—1986）

表 1-5-15

mm

回反面及端面																																
b <sub>1</sub>	0.6	1.0	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10	1. 越程槽内二直线相交处,不允许产生尖角 2. 越程槽深度h与圆弧半径r,要满足 r < 3h																						
b <sub>2</sub>	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10																										
h	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.2																									
r	0.2	0.5	0.8	1.0	1.6	2.0	3.0																									
d	约 10			> 10 ~ 50			> 50 ~ 100		> 100																							
												H	<5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80			b	2	3	4	5
												b	1		2		3		4		5		6				h	1.6	2.0	2.5	3.0	
												r	0.5	0.5	1.0		1.6		1.6		2				r	0.5	1.0	1.2	1.6			
												H	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100			b	2	3	4	5	
												h	1.6		2.0		3.0		5.0								r	0.5	1.0	1.2	1.6	
												r	0.5		1.0		1.6		2.0													

刨切、插、珩磨越程槽

表 1-5-16

mm

	龙门刨	$a + b = 100 \sim 200$		珩磨内圆 $b > 30$
	牛头刨床、立刨床	$a + b = 50 \sim 75$		珩磨外圆 $b = 6 \sim 8$
	大插床 50 ~ 100, 小插床 10 ~ 12			

退刀槽 (摘自 JB/ZQ 4238—1997)

表 1-5-17

mm

适用于交变载荷,也可用于一般载荷的磨削件	A型		B型													
	(a) 外圆 (图 a)					(b) 相配件 (图 b)					说明					
	退刀槽		$f_1$	$g \approx$	$t_2^{+0.05}_0$	推荐的配合直径 $d_1$		倒角最小值 $\alpha$		倒圆最小值 $r_2$		A型轴的配合表面需磨削,轴肩不磨削。B型轴的配合表面及轴肩都需磨削				
	$r_1$	$t_1^{+0.1}_0$				用在一般载荷	用在交变载荷	A型	B型	A型	B型					
	0.6	0.2	2	1.4	0.1	约 18	—	0.4	0.1	1	0.3					
	0.6	0.3	2.5	2.1	0.2	> 18 ~ 80	—	0.3	0	0.8	0					
	1	0.4	4	3.2	0.3	> 80	—	0.6	0	1.5	0					
	1	0.2	2.5	1.8	0.1	> 18 ~ 50	—	0.8	0.4	2	1					
	1.6	0.3	4	3.1	0.2	> 50 ~ 80	—	1.3	0.6	3.2	1.4					
	2.5	0.4	5	4.8	0.3	> 80 ~ 125	—	2.1	1.0	5.2	2.4					
4	0.5	7	6.4	0.3	125	—	3.5	2.0	8.8	5						
适用于对受载无特殊要求的磨削件	C型		D型		E型		C、D、E型的相配件				F型		F型相配件			
	(c) 轴 (图 c)					相配件 (孔)					(d) 轴 (图 d)					
	$h_{min}$	$r_1$	$t$	$b$		$f_{max}$	$a$	偏差	$r_2$	偏差	$h_{min}$	$r_1$	$t_1$	$t_2$	$b$	$f_{max}$
				C、D型	E型											
	2.5	1.0	0.25	1.6	1.1	0.2	1	+0.6	1.2	+0.6	4	1.0	0.4	0.25	1.2	0.2
	4	1.6	0.25	2.4	2.2	0.2	1.6	+0.6	2.0	+0.6	5	1.6	0.6	0.4	2.0	
	6	2.5	0.25	3.6	3.4	0.2	2.5	+1.0	3.2	+1.0	8	2.5	1.0	0.6	3.2	
	10	4.0	0.4	5.7	5.3	0.4	4.0	+1.0	5.0	+1.0	12.5	4.0	1.6	1.0	5.0	0.4
	16	6.0	0.4	8.1	7.7	0.4	6.0	+1.6	8.0	+1.6	20	6.0	2.5	1.6	8.0	
	25	10.0	0.6	13.4	12.8	0.4	10.0	+1.6	12.5	+1.6	30	10.0	4.0	2.5	12.5	
40	16.0	0.6	20.3	19.7	0.6	16.0	+2.5	20.0	+2.5	$r_1 = 10$ 不适用于精整辊						
60	25.0	1.0	32.1	31.1	0.6	25.0	+2.5	32.0	+2.5							
C型轴的配合表面需磨削,轴肩不磨削;D型轴的配合表面不磨削,轴肩需磨削;E型轴的配合表面及轴肩皆需磨削;F型相配件为锐角的轴的配合表面及轴肩皆需磨削																

公称直径相同具有不同配合的退刀槽 (图 e)

带槽孔退刀槽 (图 f)、插齿空刀槽 (图 g)

r	t	b≈	r	t	b≈	模数	2	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	25	
2.5	0.25	2.2	10	0.6	6.8	$h_{min}$	5	6			7			8			9			10			12	
4	0.4	3.5	16	0.6	8.7	$b_{min}$	5	6	7.5	10.5	13	15	16	19	22	24	28	33	38	42	46	51	58	
6	0.4	4.3	25	1.0	14.0	r	0.5					1.0												

1. A型退刀槽各部分尺寸根据直径  $d_1$  的大小按表中 a 表取。B型退刀槽各部分尺寸见表中 e 表  
 2. 带槽孔退刀槽直径  $d_2$  可按选用的平键或楔键而定。退刀槽的深度  $t_2$  一般为 20mm, 如因结构上的原因  $t_2$  的最小值不得小于 10mm

滚人字齿轮退刀槽 (摘自 JB/ZQ 4238—1997)

表 1-5-18

mm

退刀槽深度  $h$  由设计者决定, 一般可取  $0.3m_n$

法向模数 $m_n$	螺旋角 $\beta$				法向模数 $m_n$	螺旋角 $\beta$				法向模数 $m_n$	螺旋角 $\beta$			
	25°	30°	35°	40°		25°	30°	35°	40°		25°	30°	35°	40°
	退刀槽最小宽度 $b$					退刀槽最小宽度 $b$					退刀槽最小宽度 $b$			
4	46	50	52	54	12	118	124	130	136	28	238	252	266	278
5	58	58	62	64	14	130	138	146	152	30	246	260	276	290
6	64	66	72	74	16	148	158	165	174	32	264	270	300	312
7	70	74	78	82	18	164	175	184	192	36	284	304	322	335
8	78	82	86	90	20	185	198	208	218	40	320	330	350	370
9	84	90	94	98	22	200	212	224	234					
10	94	100	104	108	25	215	230	240	250					

弧形槽端部半径 (摘自 GB 1127—1997)

表 1-5-19

mm

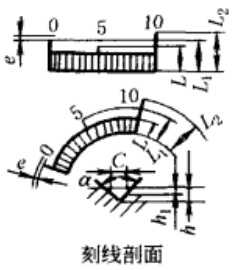
花键槽		铣切深度 $H$	5	10	12	25	
		铣切宽度 $B$	4	4	5	10	
		$R$	20~30	30~37.5	37.5	55	
弧形键槽 (摘自半圆键槽铣刀 GB 1127—1997)		键公称尺寸 $B \times d$	铣刀 $D$	键公称尺寸 $B \times d$	铣刀 $D$	键公称尺寸 $B \times d$	铣刀 $D$
		1×4	4.5	3×16	16.5	6×22	22.5
		1.5×7	7.5	4×16		6×25	25.5
		2×7		5×16	8×28	28.5	
		2×10	10.5	4×19	19.5	10×32	32.5
		2.5×10		5×19			
3×13	13.5	5×22	22.5				

$d$  是铣削键槽时键槽弧形部分的直径

分度盘和标尺刻度 (摘自 JB/ZQ 4260—1997)

表 1-5-20

mm



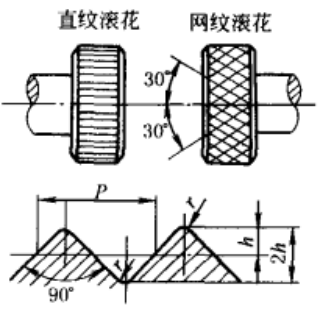
刻线类型	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	C	e	h	h <sub>1</sub>	α
I	2 <sup>+0.2</sup> <sub>0</sub>	3 <sup>+0.2</sup> <sub>0</sub>	4 <sup>+0.3</sup> <sub>0</sub>	0.1 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	0.15 ~ 1.5	0.2 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	0.15 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	15° ± 10'
II	4 <sup>+0.3</sup> <sub>0</sub>	5 <sup>+0.3</sup> <sub>0</sub>	6 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.1 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>		0.2 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	0.15 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	
III	6 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	7 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	8 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.2 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>		0.25 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	0.2 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	
IV	8 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	9 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	10 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.2 <sup>+0.03</sup> <sub>0</sub>		0.25 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	0.2 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	
V	10 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	11 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	12 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.2 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>		0.25 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	0.2 <sup>+0.08</sup> <sub>0</sub>	

- 注: 1. 数字可按打印字头型号选用。  
 2. 尺寸 h<sub>1</sub> 在工作图上不必注出。  
 3. 尺寸 e 的数值可在 0.15 ~ 1.5mm 中选取, 但在一个零件中的位置应相等。

滚花 (摘自 GB/T 6403.3—1986)

表 1-5-21

mm



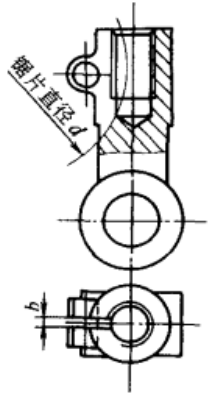
标记	模数 m	h	r	节距 P
模数 m = 0.3 直纹滚花: 直纹 m0.3 (GB 6403.3—1986)	0.2	0.132	0.06	0.628
模数 m = 0.4 网纹滚花: 网纹 m0.4 (GB 6403.3—1986)	0.3	0.198	0.09	0.942
	0.4	0.264	0.12	1.257
	0.5	0.326	0.16	1.571

- 注: 1. 表中 h = 0.785m - 0.414r。  
 2. 滚花前工件表面粗糙度的轮廓算术平均偏差 R<sub>a</sub> 的最大允许值为 12.5μm。  
 3. 滚花后工件直径大于滚花前直径, 其值 Δ ≈ (0.8 ~ 1.6)m, m 为模数。

锯缝尺寸 (摘自 JB/ZQ 4246—1997)

表 1-5-22

mm

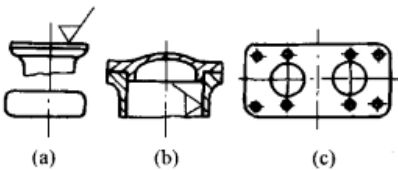
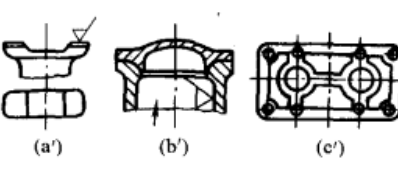
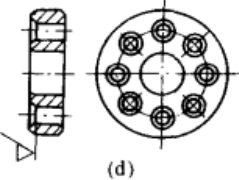
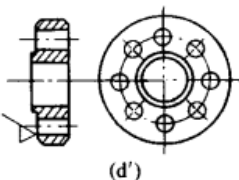
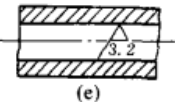
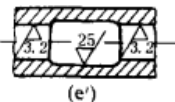
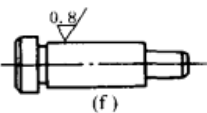
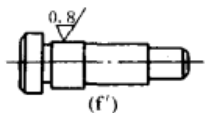
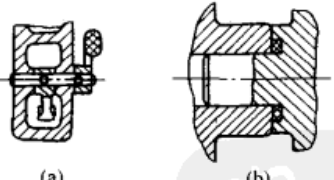
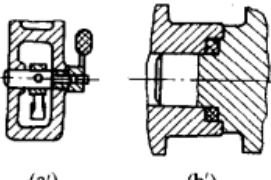
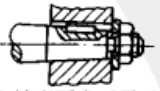

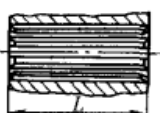
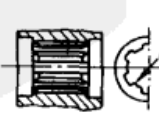


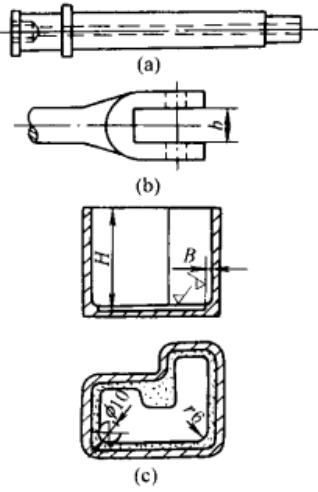
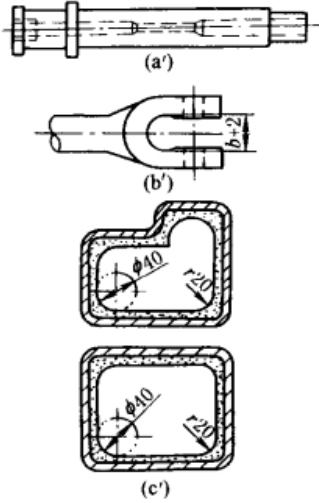
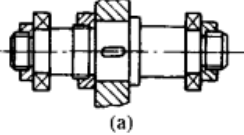
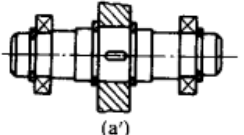
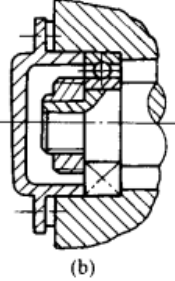
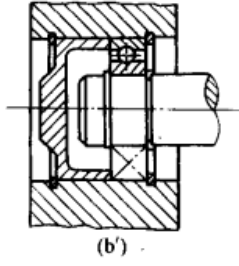


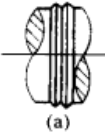

类别	锯片直径 d	锯缝深度	锯缝宽度 b							备注
			1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
粗齿锯片	63	8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	对轻合金及有色金属铣槽、切断
	80	12								
	80	16	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0		
	100	16								
	100	25	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0			
	125	16								
125	25	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0				
160	20									
细齿锯片	160	30	1.1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	对钢及铸铁
	200	25								
	200	40								
	63	8								
	80	10								
	80	14								
100	14									
100	16									
125	16									
125	20									
160	20									
160	25									
200	25									

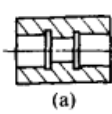
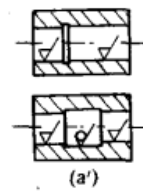
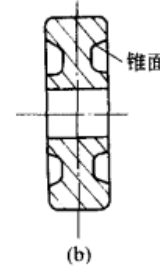
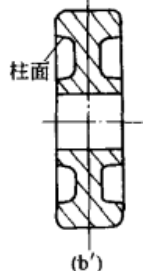
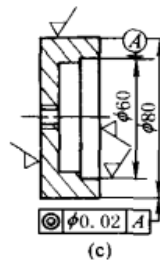
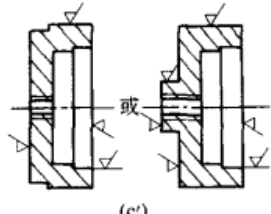
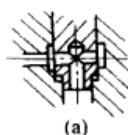
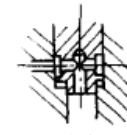
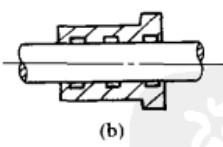
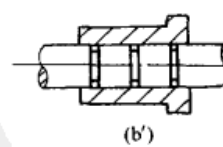
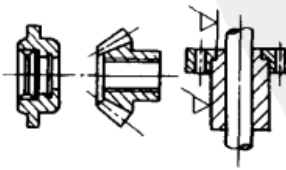
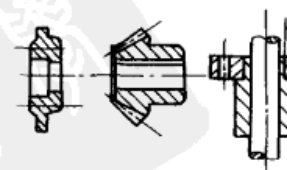


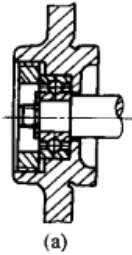
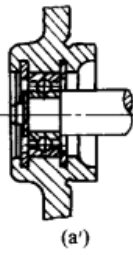
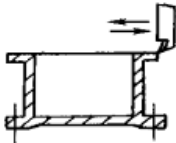
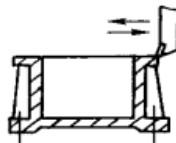
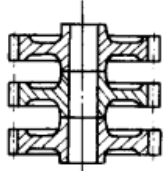
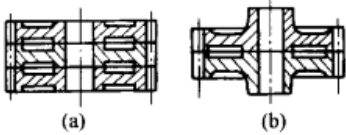
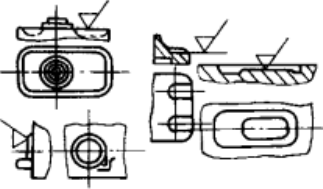
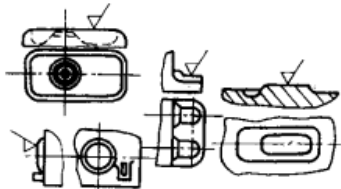
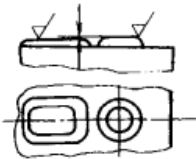
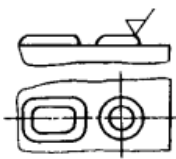
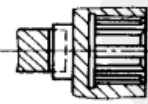
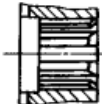


### 3 冷加工设计注意事项


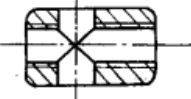
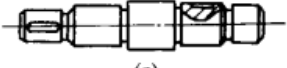
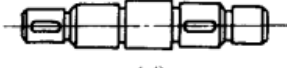
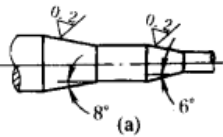
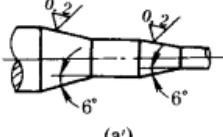
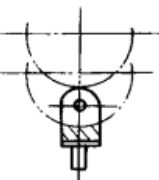
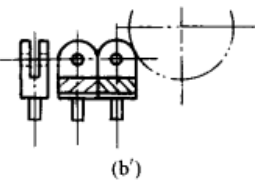
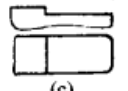
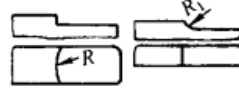
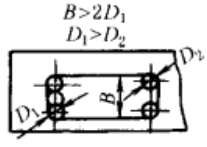
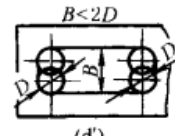
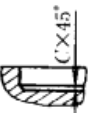


表 1-5-23

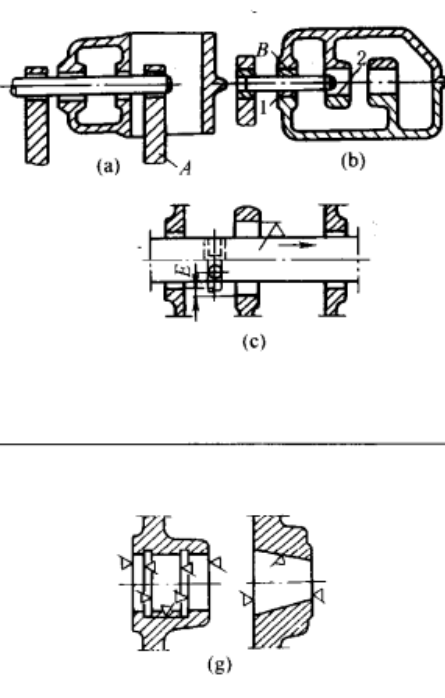
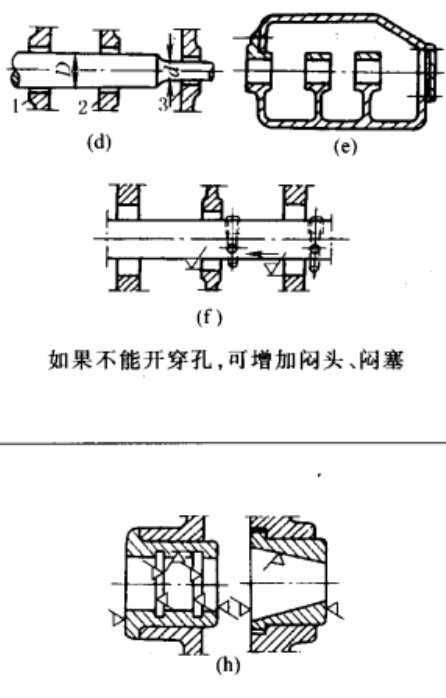
注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
一、尽量减少加工量		
1. 简化整体机构,减少机械运动链中的环节数,并恰当地制定加工精度和表面粗糙度 2. 毛坯的形状和尺寸尽可能与成品近似		
3. 减少加工面数和表面面积 图 a'、图 b'分别减少了内圆柱或平面加工面积,图 c'减少了磨削平面面积	 <p>(a) (b) (c)</p>	 <p>(a') (b') (c')</p>
将孔的镗平面改为端面车削,如图 d'	 <p>(d)</p>	 <p>(d')</p>
将中间部位加大或粗车一些,可减少加工或精车长度,如图 e'	 <p>(e)</p>	 <p>(e')</p>
轴上仅有部分长度直径有严格公差要求时,应采用阶梯轴,减少磨削,如图 f'	 <p>(f)</p>	 <p>(f')</p>
4. 尽量避免在不敞开的内部表面上加工 图 a'加上轴套,内端面不再受力,从而取消了加工 图 b 需在轴上作较复杂的端部车削,改成图 b'后即可用简易的镗削方法了	 <p>(a) (b)</p>	 <p>(a') (b')</p>
5. 应避免采用大直径的锥形孔 (1)降低孔和轴的加工量; (2)简化刀具结构; (3)简化尺寸检验工作	 <p>定心精度要求不严时采用</p>	 <p>定心精度要求高时采用</p>
6. 应避免深长的花键孔 (1)简化加工过程,降低加工量; (2)简化刀具结构,并减少其轮廓尺寸		

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>7. 简化零件的结构形状</p> <p>图 a 的细长孔加工费比图 a' 昂贵</p> <p>图 b 的槽形改成图 b' 后, 就可以用钻一比槽宽 2mm 的孔的加工方法加工, 比较经济</p> <p>图 c 箱体底部形状复杂: (1) 加工凸台需要仿形装置的专用机床, 才能制出其圆角; (2) 四角半径较小, 需用小直径 (<math>\phi 12\text{mm}</math>) 的指形铣刀加工, 而箱体高度 <math>H</math> 又较大, 铣刀很难有效地固紧, 高速地加工。改成图 c' 两种结构后, 加工就可以大大简化</p>		
<p>8. 用弹性挡圈, 简化设计</p> <p>用弹性挡圈代替轴肩, 如图 a'</p>		
<p>用弹性挡圈代替法兰、螺母和轴肩, 如图 b'</p>		
<p>9. 使用型材, 减少加工量</p> <p>改进前, 用实心毛坯必须深孔加工。改用无缝钢管, 外缘焊上套环, 可减少加工量</p>		
<p>10. 正确进行零件的分拆和合并</p> <p>图 a 表示与轴制成一体的轧钢机上的抛油环, 改成图 a' 所示分开制造时, 可以减少加工量和内应力, 同时抛油环峰尖可制得更高, 使用性能更好</p>		

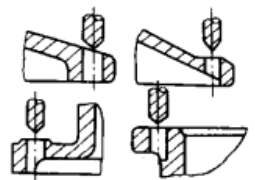
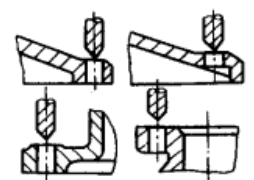

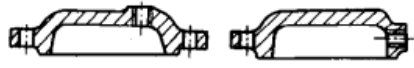
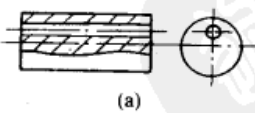
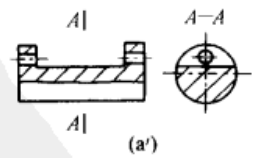

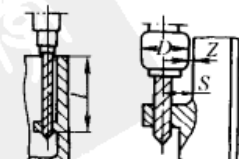
注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
二、便于提高加工精度		
<p>1. 应在一次装卡中加工出具有相互位置精度要求的工作表面</p> <p>图 a 改进后可在一次装夹中同时加工出两个内孔表面,如图 a'</p>	 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(a')</p>
<p>图 b 改进后的齿轮毛坯,可在一次装夹中同时加工出外圆、端面及内孔,如图 b'</p>	 <p style="text-align: center;">(b)</p>	 <p style="text-align: center;">(b')</p>
<p>图 c 外圆与内孔有同轴度要求,改进后可在一次装夹后同时加工出外圆与内孔,如图 c'</p>	 <p style="text-align: center;">(c)</p>	 <p style="text-align: center;">(c')</p>
<p>2. 尽量避免内凹面及内表面加工</p> <p>图 a'既可简化加工,又可提高尺寸精度和降低表面粗糙度数值</p>	 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(a')</p>
<p>加工外圆表面要比内圆表面容易;加工阀杆凹槽要比加工阀套沉割槽方便,且精度易保证,如图 b'</p>	 <p style="text-align: center;">(b)</p>	 <p style="text-align: center;">(b')</p>
<p>3. 大直径的孔尽可能不采用螺纹来固紧相连接的零件,也不要采用螺纹来使相连接的零件确定中心,并要避免用多个同径同时定心</p> <p>如用螺纹定心,由于螺纹加工的偏差,不易保证连接的精度,并不能采用高产加工方法。多径同时定心,也不易保证精度,而且增加了工作量</p>		

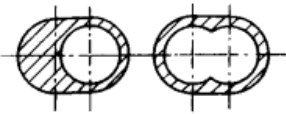
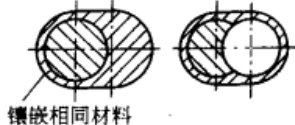
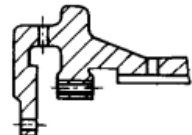
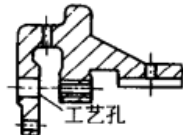
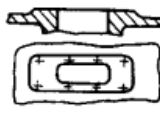
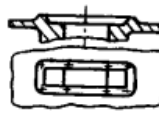
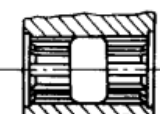

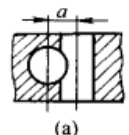
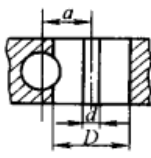
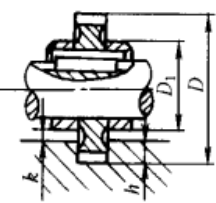
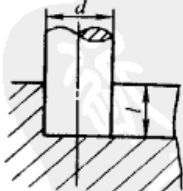
注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>4. 对同轴度要求高的孔,避免换头车孔。轴承座内孔与轴承配合要求同轴度高,为了提高切削效率需一次安装,图 a 难以满足要求,改为图 a'结构,既不需换头车孔,还可研磨</p>	 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(a')</p>
<p>5. 较大尺寸的薄壁件,应加肋板,提高工件刚度,以减少加工变形</p>		
三、便于提高切削效率		
<p>1. 提高毛坯的刚度,并使其结构刚性与加工方法相适应 左图如用叠装法加工,便会因振动影响齿面质量,应改成图 a,若成对加工可采用图 b 结构</p>		 <p style="text-align: center;">(a)                      (b)</p>
<p>2. 被加工面应敞开 有利于加工,提高生产效率和加工精度</p>		
<p>3. 加工面应位于同一水平面上 有利于加工,提高效率,并可同时加工几个零件,简化检验工作</p>		
<p>4. 避免用不通的花键孔和键槽孔 便于采用拉削加工</p>		
<p>5. 减少装卡次数 设计零件时,尽量避免倾斜加工面,以保证一次装夹后同时加工出各平面,如图 a'</p>	 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(a')</p>

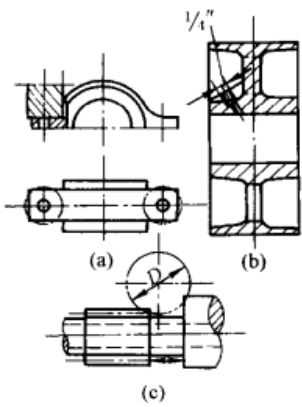
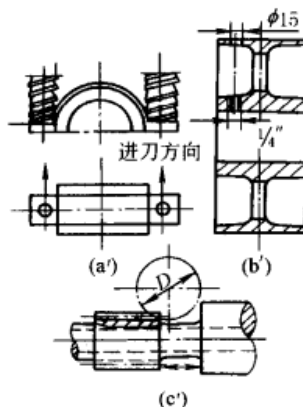
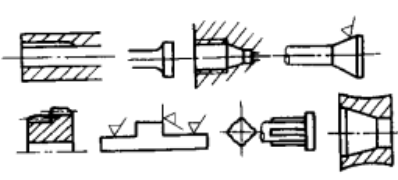
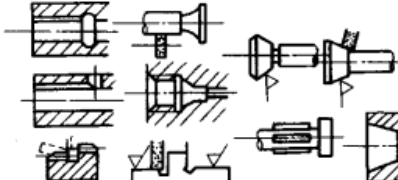
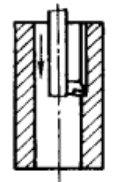
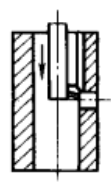
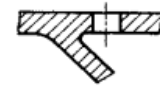
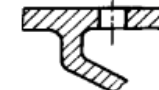
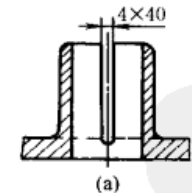
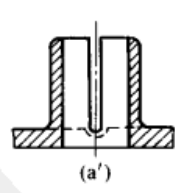
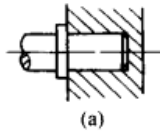
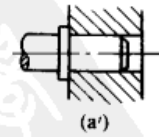
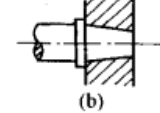
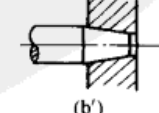
注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计																				
<p>图 b' 改为通孔后, 可减少装夹次数, 且可保证同轴度</p>	 <p>(b)</p>	 <p>(b')</p>																				
<p>图 c' 只需装夹一次即可铣削出两键槽</p>	 <p>(c)</p>	 <p>(c')</p>																				
<p>6. 减少调整及走刀 尽量使工件上两锥面的锥度相同, 只需作一次调整即能加工出两锥面, 如图 a'</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>																				
<p>图 b 工件底部为圆弧形, 只能单件垂直进刀加工; 图 b' 底部改为平面后, 可多件同时加工</p>	 <p>(b)</p>	 <p>(b')</p>																				
<p>在使用条件允许情况下, 使零件加工面尽量与刀具外形相同, 以减少走刀量, 如图 c'</p>	 <p>(c)</p>	 <p>(c')</p>																				
<p>凹窝的转角半径应具有与凹窝宽度相适应的一致尺寸 (1) 能用一把刀具加工; (2) 减少行程次数和加工量</p>	 <p>(d)</p>	 <p>(d')</p>																				
<p>7. 凹槽底部应避免用圆角, 倒棱应适应标准刀具的要求 (1) 能采用标准刀具; (2) 提高刀具寿命, 建议在凹槽底部采用倒棱, 如右表</p>	<p>槽底面的形式</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">尺寸</th> <th colspan="6">铣刀直径/mm</th> </tr> <tr> <th>3 ~ 12</th> <th>14 ~ 20</th> <th>22 ~ 35</th> <th>40 ~ 50</th> <th>60 ~ 80</th> <th>≥ 100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>0.3 ~ 0.4</td> <td>0.5</td> <td>0.8</td> <td>1.0</td> <td>1.5</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	尺寸	铣刀直径/mm						3 ~ 12	14 ~ 20	22 ~ 35	40 ~ 50	60 ~ 80	≥ 100	C	0.3 ~ 0.4	0.5	0.8	1.0	1.5	2
尺寸	铣刀直径/mm																					
	3 ~ 12	14 ~ 20	22 ~ 35	40 ~ 50	60 ~ 80	≥ 100																
C	0.3 ~ 0.4	0.5	0.8	1.0	1.5	2																
<p>不应有封闭的凹窝和不穿透的槽</p>																						

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>8. 设计在镗床上加工的箱体时</p> <p>(1) 要使镗杆能穿透要镗的孔和箱体, 以便镗杆两端均能得到支承, 从而增加镗杆的刚度。图 a 须采用特制夹具 A 来支承镗杆的一端。图 b 须加辅助轴套 B, 随加工顺序, 从 1 移到 2, 以支持镗杆。改成图 c 结构后, 镗杆可以伸出箱体进行支承</p> <p>(2) 要镗的孔不可太小, 如图 d 的 3。孔太小会影响镗杆刚度和孔的加工精度。通常孔径不小于 <math>\phi 70\text{mm}</math>, 以便采用 <math>\phi 50\text{mm}</math> 左右的镗杆</p> <p>(3) 箱体内部要镗的孔应小于外部的孔或相等, 并尽量使同心孔的直径从一边向另一边递减排列 (图 e 和图 f)</p> <p>(4) 在大的箱体上加工精度较高的孔内沟槽, 大孔内螺纹和具有锥度的孔比较困难, 如图 g 所示。应改成图 h 结构</p>		 <p>如果不能开穿孔, 可增加闷头、闷塞</p>

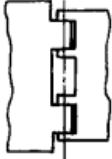
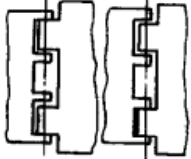
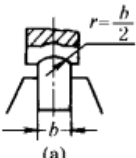
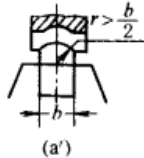




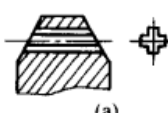

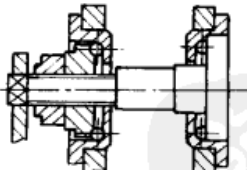
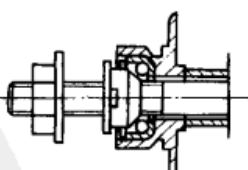
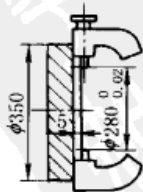
四、改善刀具工作条件

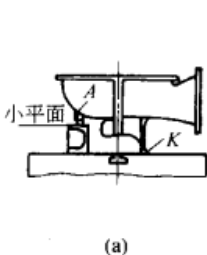
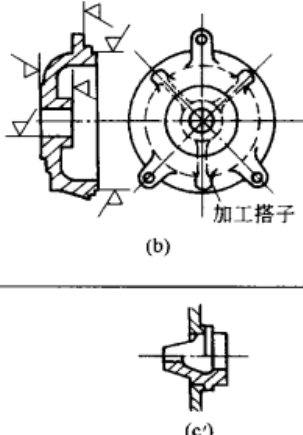
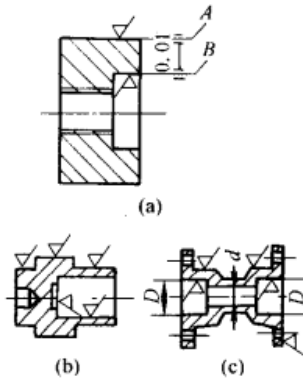
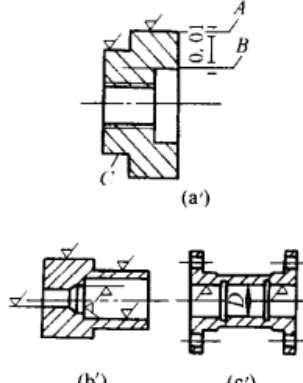
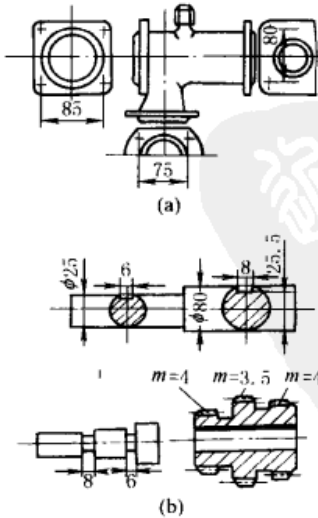
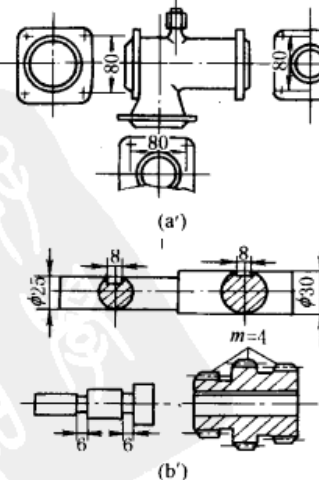
<p>1. 避免使钻头沿斜的铸造硬皮或只是单边进行工作</p> <p>在斜边上钻孔时, 存在水平分力, 单边工作受力不均, 均容易损坏刀具, 钻孔精度也不易保证, 并影响钻孔效率</p>		
<p>2. 孔的轴线尽量避免设在倾斜方向</p>		
<p>3. 避免钻深孔, 因其冷却、排屑困难, 孔易偏斜, 钻头易折断, 可改成图 a'</p>		
<p>4. 孔的安排应使具有标准长度的刀具可能工作</p> <p>一般 <math>S \geq \frac{D}{2} + (2 \sim 5\text{mm})</math>。当 <math>S &lt; \frac{D}{2} + (2 \sim 5\text{mm})</math> 时, 应使用特殊的加长钻头</p>		



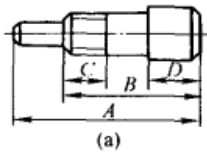
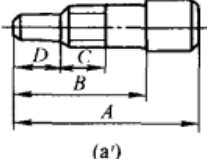
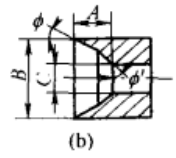
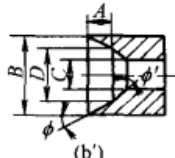
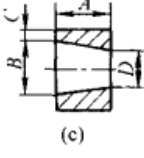
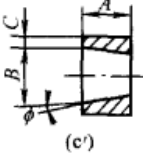
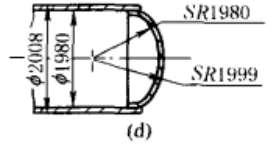
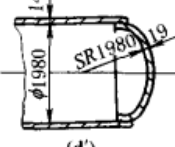
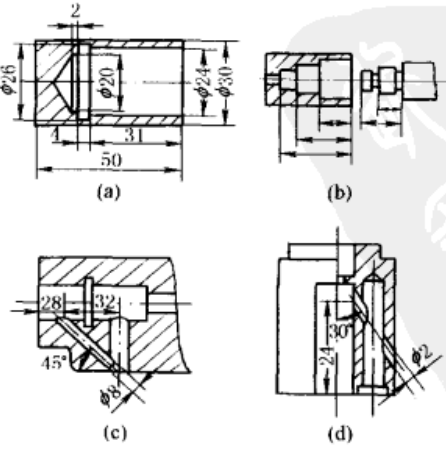
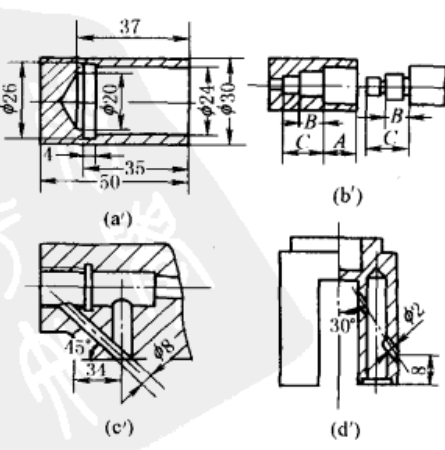
注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计																																								
<p>5. 钻眼镜状孔时,可加工完一个后,镶嵌相同材料,再钻另一孔,以免钻头单边受力</p>																																										
<p>6. 设计出工艺孔,便于钻孔和攻螺纹</p>																																										
<p>7. 加工面应尽可能具有均匀的宽度 这样可以均匀并无冲击地切削,以便提高切削速度,改善刀具工作条件</p>																																										
<p>8. 花键孔应是连续而不中断的,拉削孔的两端均须倒角 中断的花键孔加工时,刀具受到冲击,容易损坏,而且切屑难以排除</p>																																										
<p>9. 两偏贯孔的加工位置要正确选定 图 a 钻孔距离太小,易产生钻头偏滑或折断,改为图 a',加大距离,可先钻一小孔 d,然后用带有导向头的深孔钻打大孔,可防止钻头偏滑</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>																																								
<p>10. 槽和棱面的深度应和标准刀具的尺寸相适应 能采用标准刀具,提高刀具使用寿命</p>	<div style="display: flex; align-items: center;">   <div style="margin-left: 20px;"> <math display="block">h = \frac{D - D_1}{2} - (m + k)</math> <p>h — 沟或槽的最大深度; D — 铣刀直径; D<sub>1</sub> — 夹紧环; m — 铣刀磨削量; k — 间隙</p> </div> </div>																																									
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>d</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>l ≤</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>18</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>18</td> <td>20</td> <td>22</td> <td>25</td> <td>28</td> <td>32</td> <td>36</td> <td>40</td> <td>45,50</td> </tr> <tr> <td>l ≤</td> <td>37</td> <td>41</td> <td>41</td> <td>47</td> <td>47</td> <td>51</td> <td>56</td> <td>61</td> <td>66</td> </tr> </table>		d	3	4	5	6	8	10	12	14	16	l ≤	9	9	12	14	18	18	23	30	33	d	18	20	22	25	28	32	36	40	45,50	l ≤	37	41	41	47	47	51	56	61	66
d	3	4	5	6	8	10	12	14	16																																	
l ≤	9	9	12	14	18	18	23	30	33																																	
d	18	20	22	25	28	32	36	40	45,50																																	
l ≤	37	41	41	47	47	51	56	61	66																																	

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
五、便于加工		
<p>1. 使刀具便于进入、退出并达到加工面</p> <p>图 a 加工必须用端铣从侧边进刀, 一个一个加工, 效率低, 而且结构也没有必要这样设计, 改成图 a' 后则可以同时加工许多件。图 b 带轮的油孔不便于加工, 如在使用允许情况下, 将其改成图 b' 结构, 则可简化加工</p> <p>图 c 加工时, 刀具会切削到非加工部位, 改成图 c' 刀具就便于进退了</p>		
<p>2. 必须留退刀槽或孔</p> <p>退刀槽的宽度应符合相应加工方法的标准退刀宽度, 并结合工厂的实际情况、结构需要, 适当调整</p> <p>采用标准宽度可以避免损坏刀具和刀具的过早磨损</p>		
<p>3. 在套筒上插削键槽时, 宜在键槽前端设置一孔, 以便让刀</p>		
<p>4. 留有较大的空间, 以保证快速钻削的正常进行</p>		
<p>5. 图 a 铸件应在法兰上铸出一半圆槽 (如图 a'), 以避免铣槽刀具损坏</p>		
<p>6. 减少配合面数</p> <p>图 a 同时保证轴、孔之间的轴向配合尺寸很难, 盲孔应改为通孔, 如图 a'</p>		
<p>图 b 圆锥面和轴肩同时起轴向定位作用, 难以保证, 宜只靠锥面定位, 如图 b'</p>		



注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>只用两个限制平面即可,如图 c'</p>	 <p>(c)</p>	 <p>(c')</p>
<p>7. 铣削表面要便于对刀 图 a 结构如采用半径为 <math>b/2</math> 的成形铣刀加工,易产生偏移,改为图 a',使铣刀半径 <math>&gt; b/2</math>,即使有偏移,在零件上也不会留下偏移残迹</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>8. 防止损伤已加工的表面 图 a 已车好的平面在铣方时易受损,如改为图 a',轴肩和四方柱之间设一台阶,可防止损伤已车好的端面</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>9. 长度较大的工件,没有特殊要求,一般以采用外螺纹为宜,采用内螺纹工件不易装卡</p>		
<p>10. 拉削时,夹持平面必须与拉削轮廓保持垂直,图 a 中两夹持平面均与拉削轮廓倾斜是不行的,图 a'则无这一缺点</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>11. 设计非标准滚珠轴承时,滚珠的滚道设计要考虑加工的工艺性,图 a 结构左右滚道中心不易对中,改成图 a'结构后加工就比较方便,质量也易保证</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>12. 考虑测量检验的方便 右图是一精密端盖,由于 <math>\phi 280</math> 台阶只有 5mm,千分尺无法测量,而卡尺测量精度又不够,又由于单件生产,制造专用卡规很不经济,所以虽然加工不困难,但无法测量,必须加高台阶</p>		

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
六、尽量缩短辅助时间		
<p>1. 便于在机床上装卡</p> <p>图 a 是一大型高炉鼓风机进风室铸件, 应考虑便于在立车上装卡, 但如将吊装用的凸块 A 形状稍加改变, 制出一个小平面, 并将 K 处加工, 问题就解决了</p> <p>图 b 是电动机端盖, 增设三个加工搭子便于装卡, 所有加工面, 可以在一次装卡后全部加工完</p> <p>图 c 没有加工搭子无法装卡, 应改成图 c' 结构</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p>	 <p>(a')</p> <p>(b')</p> <p>(c')</p>
<p>2. 减少装卡次数</p> <p>图 a 无论找正还是用心轴加工都不方便, 改成图 a' 后, 增加一个 C 台阶, 以 C 作精加工基准面, 这样装卡 C 面, 可在一次装卡中完成 A、B 面的加工而且 A 对 B 的同轴度也容易保证</p> <p>图 b 和图 c 加工两端的孔, 必须装卡两次, 并须调头, 不但辅助时间增加, 而且不容易保证同心, 因此最好设计成穿通的, 如图 b' 及图 c', 则只须装卡一次, 而且容易使左右孔严格同心</p>	 <p>(a)</p> <p>(a')</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(b')</p> <p>(c')</p>	 <p>(a')</p> <p>(b')</p> <p>(c')</p>
<p>3. 采用标准和通用的刀具和夹具</p> <p>零件的各结构单元, 如沟槽宽度、齿轮模数、孔径和孔距等, 尽可能采用较少的统一数值, 并使这些数值标准化和通用化, 以便采用标准刀具和高效机床。如图 a' 统一了孔距后, 就可采用四轴钻床; 图 b' 统一了沟槽宽、键槽、模数后, 刀具就能通用了</p> <p>阶梯轴各段传递的力矩是相等的, 大直径处圆周速度亦较大, 受力反而小些, 故键槽反可小些, 可将两键改成一个规格, 使铣刀通用化</p>	 <p>(a)</p> <p>(a')</p> <p>(b)</p> <p>(b')</p>	 <p>(a')</p> <p>(b')</p>

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>4. 尽量减少辅助工序的加工</p> <p>图 a 所示螺套, 由于端处切槽, 使螺孔表面产生毛刺, 需加工修理, 改为图 a' 在切槽处与螺孔之间用一内圆柱孔隔开, 则可避免在铣槽后留下毛刺</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
七、标注尺寸应考虑加工方便		
<p>1. 加工的尺寸, 尽可能避免计算, 应由图直接读出</p> <p>图 a 标注加工时需计算尺寸确定凸肩位置, 以调整滑板挡块, 此外工件运转时很难测量其尺寸; 图 a' 标注则不必计算, 可直接确定滑板挡块, 而且运转中也能测量凸肩长度</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>图 b 二锥度相交尺寸须计算才能知道, 按图 b' 标注 A、D 和小锥度, 开始尺寸就知道了, 节省加工的辅助时间, 也避免计算误差</p>	 <p>(b)</p>	 <p>(b')</p>
<p>图 c 需要操作者计算确定角度或试切, 时间长, 废品多; 按图 c' 标注可直接加工</p>	 <p>(c)</p>	 <p>(c')</p>
<p>图 d' 板厚可以直接从图读出</p>	 <p>(d)</p>	 <p>(d')</p>
<p>2. 尺寸标注应符合工艺过程</p> <p>图 a 标注不符合加工顺序, 改为图 a' 标注, 既有利简化工艺装置, 又有利于提高生产效率</p> <p>图 b 所示成形扩孔钻加工阶梯孔, 由于零件尺寸与扩孔钻上相应尺寸的标注基准不同, 不能获得所需精度。改为图 b' 标注, 则可达精度要求</p> <p>图 c、图 d 所示尺寸标注不便加工, 而图 c'、图 d' 则是便于机加工的标注</p>	 <p>(a) (b) (c) (d)</p>	 <p>(a') (b') (c') (d')</p>

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>3. 便于测量</p> <p>图 a 中被测尺寸, 需要很多换算时间, 而图 a' 则便于测量</p> <p>为了测量方便, 应多用实际的表面作为测量基准, 不要或少用隐蔽基准(虚基准)作为测量基准</p> <p>图 c 中尺寸 <math>L_4</math> 不便测量, 改为图 c' 注法则便于测量</p> <p>对于弯曲或拉伸而成的零件如图 d, 也应从实际表面或轮廓素线标注尺寸, 不要从零件轴线标注尺寸, 图 d' 标注是正确的</p>		

### 4 切削加工件通用技术条件 (重型机械) (摘自 JB/T 5000.9—1998)

1) 各种铸钢件、铸铁件、有色金属铸件、锻件加工中, 如发现有砂眼、缩孔、夹渣、裂纹等缺陷时, 在不降低零件强度和使用性能的前提下, 可分别按照有关规定修补, 经检验合格后, 方可继续加工。加工后的零件不允许有毛刺、尖棱和尖角 (除有特殊要求, 允许有尖棱和尖角)。

2) 零件图样中未注明倒角、倒圆 (无明确要求) 尺寸见表 1-5-24。

表 1-5-24

未注明倒角、倒圆尺寸

mm

	$D(d)$								
	$\leq 5$	$> 5 \sim 30$	$> 30 \sim 100$	$> 100 \sim 250$	$> 250 \sim 500$	$> 500 \sim 1000$	$> 1000$		
$C$	0.2	0.5	1	2	3	4	5		
	$D - D_1$	$\leq 4$	$> 4$	$> 12$	$> 30$	$> 80$	$> 140$	$> 200$	$> 300$
	$d - d_1$	$\leq 4$	$> 4$	$> 12$	$> 30$	$> 80$	$> 140$	$> 200$	$> 300$
	$d$	$> 3$	$> 10$	$> 30$	$> 80$	$> 260$	$> 630$	$> 1000$	$> 1600$
	$R$	0.4	1	2	4	8	12	16	20

注: 非回转体类零件的倒角、倒圆尺寸也可参照本表, 主参数  $D(d)$ 、 $d$  取倒角及倒圆相邻两边中较短者。

3) 未注线性尺寸、倒圆半径、倒角高度及角度的极限偏差见表 1-5-25、表 1-5-26 和表 1-5-27。三表适用范围为：适用于两个切削加工面之间未注明公差要求的尺寸，对于毛坯表面和切削表面之间的尺寸，如图中未标注公差，则采用毛坯尺寸的未注公差之半加上本标准中的未注公差。本标准的未注公差不适用于：括号内的参数尺寸及方框中的理论尺寸；有配合的孔分布圆直径尺寸及划分圆周的角度尺寸；分度圆直径尺寸及零件装配后形成的线性尺寸和角度；十字交叉轴线上的未注 90° 角度等。

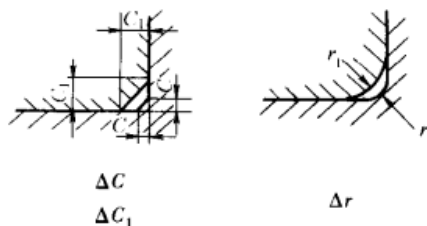
表 1-5-25 未注线性尺寸的极限偏差 mm

公差等级	0.5 ~ 6	>6 ~30	>30 ~120	>120 ~400	>400 ~1000	>1000 ~2000	>2000 ~4000	>4000 ~8000	>8000 ~12000	>12000 ~16000	>16000 ~20000
m 级	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	±6

注：1. 公称尺寸小于 0.5mm 时，偏差直接标注在公称尺寸上。

2. 公差等级共分 4 级，即 f（精密级）、m（中等级）、c（粗糙级）、v（最粗级），本表只列出 m 级。

表 1-5-26 未注倒圆半径和倒角高度尺寸的极限偏差数值 mm



公称尺寸 $C, C_1, r, r_1$	0.5 ~ 3	>3 ~ 6	>6 ~ 30	>30 ~ 120	>120 ~ 400
$\Delta C, \Delta r$	-0.2	-0.5	-1	-2	-4
$\Delta C_1, \Delta r_1$	+0.2	+0.5	+1	+2	+4

注：无配合时，可取表中值的正负值为相应尺寸的极限偏差。

表 1-5-27 未注角度的极限偏差

长度/mm	约 10	>10 ~ 50	>50 ~ 120	>120 ~ 400	>400
偏差(m 级)	±1°	±30'	±20'	±10'	±5'
润滑油孔角度偏差(c 级)	±1°30'	±1°	±30'	±15'	±10'

注：1. 偏差值按角度短边长度确定，对圆锥角按圆锥素线长度确定。

2. 公差等级分 m（中等级）、c（粗糙级）、v（最粗级）三级，本表只列出 m 级。

4) 未注形位公差：本标准的未注形位公差适用于用去除材料方法形成的要素。除本标准规定的各项目未注公差外，其他项目如线轮廓度、面轮廓度、倾斜度、位置度和全跳动均应由各要素的注出或未注线性尺寸公差或角度公差控制。

① 未注形状公差。圆度、圆柱度的未注公差值应不大于其未注尺寸公差值。

表 1-5-28 直线度和平面度的未注公差 mm

长度范围	≤10	>10 ~ 30	>30 ~ 100	>100 ~ 300	>300 ~ 1000	>1000 ~ 3000	>3000 ~ 6000	>6000 ~ 10000
公差值	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1.0

注：对于直线度应按其相应线的长度选择；对于平面度应按其表面的较长一侧或圆表面的直径选择。

② 未注位置公差。平行度的未注公差值等于给出的尺寸公差值或是直线度和平面度未注公差值中的较大者，应取两要素中的较长者作为基准。圆跳动和全跳动的公差值不应大于该要素的形状和位置未注公差的综合值。

表 1-5-29 垂直度未注公差 mm

长度范围	≤100	>100 ~ 300	>300 ~ 1000	>1000 ~ 3000
公差值	0.2	0.3	0.4	0.5

注：形成直角边中较长的一边作为基准，较短的一边作为被测要素。

表 1-5-30

同轴度和对称度未注公差

mm

主参数 $d, B, L$	$\leq 1$	$> 1 \sim 3$	$> 3 \sim 6$	$> 6 \sim 10$	$> 10 \sim 18$	$> 18 \sim 30$	$> 30 \sim 50$	$> 50 \sim 120$	$> 120 \sim 250$
公差值	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.20	0.25	0.30
主参数 $d, B, L$	$> 250$ $\sim 500$	$> 500$ $\sim 800$	$> 800$ $\sim 1250$	$> 1250$ $\sim 2000$	$> 2000$ $\sim 3150$	$> 3150$ $\sim 5000$	$> 5000$ $\sim 8000$	$> 8000$ $\sim 10000$	—
公差值	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00	1.20	1.50	2.00	—

注：本表数据符合 GB/T 1184—1996 表 2 中 c 级规定。

5) 键槽的对称度未注公差见表 1-5-31。

表 1-5-31

键槽的对称度未注公差

mm

键槽宽度	$> 1 \sim 3$	$> 3 \sim 6$	$> 6 \sim 10$	$> 10 \sim 18$	$> 18 \sim 30$	$> 30 \sim 50$	$> 50 \sim 120$	$> 120 \sim 250$
公差	0.02	0.025	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10

6) 螺纹孔与螺栓通孔未注位置度公差见表 1-5-32。

表 1-5-32

螺纹孔与螺栓通孔未注位置度公差

mm

螺栓直径	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M72	M80	M90	M100
通孔直径	4.5	5.5	6.6	9	11	13.5	17.5	22	26	33	39	45	52	62	70	78	86	96	107
通孔	0.5	0.5	0.6	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0
螺纹孔	0.25	0.25	0.3	0.5	0.5	0.75	0.75	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5

7) 未注表面粗糙度：

螺纹通孔、长孔和麻花钻或尖头钻加工的孔  $R_a$  值不大于  $25\mu\text{m}$ 。

退刀槽、润滑槽、螺纹、螺纹退刀槽、楔键和平键槽的  $R_a$  值不大于  $3.2\mu\text{m}$ 。

内倒圆（倒角）与它相连的精表面相同，外倒圆（倒角）与它相连的粗表面相同。



# 第6章 热处理

## 1 钢铁热处理

### 1.1 铁-碳合金平衡图及钢的结构组织

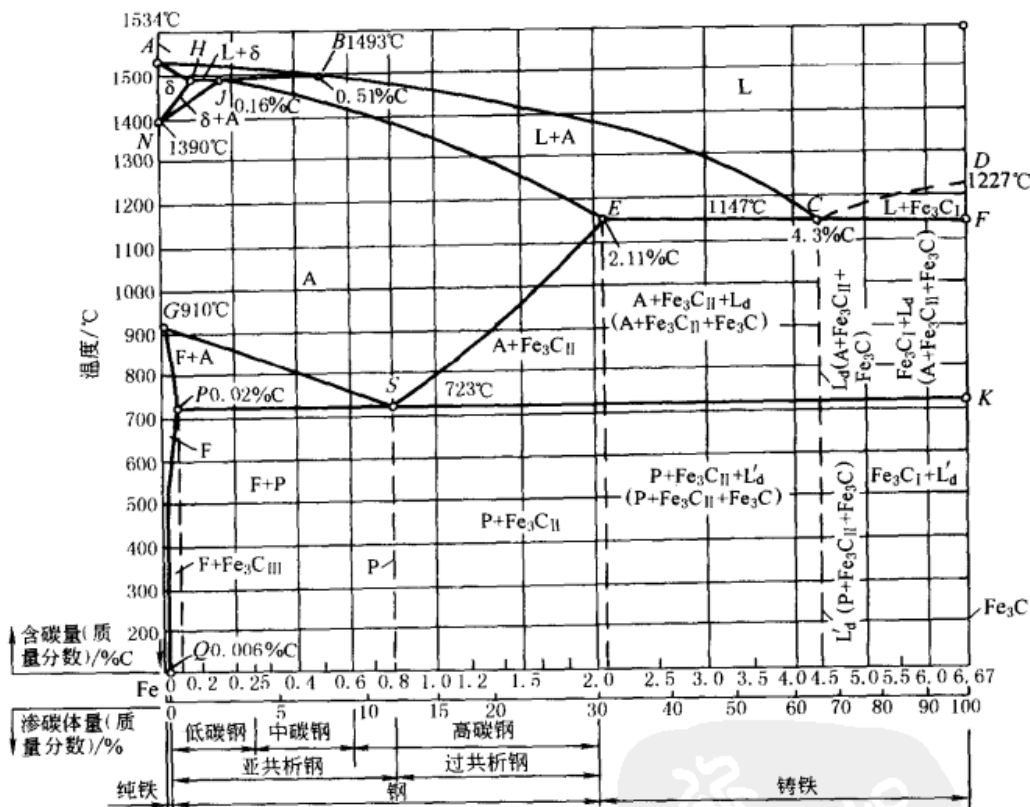


图 1-6-1 铁-碳合金平衡图

表 1-6-1 铁-碳合金平衡图中的特性点和特性线 (按冷却叙述, 加热为可逆的)

符号	说明	符号	说明
A	纯铁的凝固点	ES	$A_{cm}$ 线, 渗碳体开始从奥氏体中析出
E	碳在 $\gamma$ -Fe 中的最大溶解度	ECF	共晶线, 开始从液体结晶出奥氏体和渗碳体的共晶混合物
G	$\gamma$ -Fe $\rightarrow$ $\alpha$ -Fe 转变点	GS	$A_3$ 线, 自奥氏体开始析出铁素体, 即 $\gamma$ -Fe $\rightarrow$ $\alpha$ -Fe 的开始线
C	共晶点	PSK	共析线或称 $A_1$ 线, 自奥氏体开始析出铁素体和渗碳体的共析混合物
S	共析点		
ABCD	液相线, 液体开始结晶		
AHJECF	固相线, 液体结晶终止		

注: 1.  $A_3$  线在加热时称为  $A_{c3}$  线, 冷却时称为  $A_{f3}$  线;

2.  $A_1$  线在加热时称为  $A_{c1}$  线, 冷却时称为  $A_{f1}$  线。

表 1-6-2

室温下铁-碳合金的平衡组织

名称	含碳量 (质量分数) /%	平衡组织
亚共析钢	0.02 ~ 0.8	铁素体 + 珠光体
共析钢	0.8	珠光体
过共析钢	0.8 ~ 2.11	珠光体 + 二次渗碳体
亚共晶白口铁	2.11 ~ 4.3	树状珠光体 + 二次渗碳体 + 共晶体
共晶白口铁	4.3	共晶体 (珠光体 + 渗碳体)
过共晶白口铁	>4.3 ~ 6.67	板状一次渗碳体 + 共晶体

表 1-6-3

钢的结构组织和特性

名称	组织	特性
铁素体 (F)	碳在 $\alpha$ 铁 ( $\alpha$ -Fe) 中的固溶体	呈体心立方晶格。溶碳能力很小, 最大为 0.02%; 硬度和强度很低, 80 ~ 120HB, $\sigma_b = 250\text{MPa}$ ; 而塑性和韧性很好, $\delta = 50\%$ , $\Psi = 70\% \sim 80\%$ 。因此, 含铁素体多的钢材 (软钢) 可用于制作可压、挤、冲板与耐冲击震动的机件。这类钢有超低碳钢, 如 0Cr13、1Cr13、硅钢片等
奥氏体 (A)	碳在 $\gamma$ 铁 ( $\gamma$ -Fe) 中的固溶体	呈面心立方晶格。最高溶碳量为 2.11%, 在一般情况下, 具有高的塑性, 但强度和硬度低, 170 ~ 220HB, 奥氏体组织除了在高温转变时产生以外, 在常温时亦存在于不锈钢、高铬钢和高锰钢中, 如奥氏体不锈钢等
渗碳体 (C)	铁和碳的化合物 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )	呈复杂的八面体晶格。含碳量为 6.67%, 硬度很高, 70 ~ 75HRC, 耐磨, 但脆性很大, 因此, 渗碳体不能单独应用, 而总是与铁素体混合在一起。碳在铁中溶解度很小, 所以在常温下, 钢铁组织内大部分的碳都是以渗碳体或其他碳化物形式出现
珠光体 (P)	铁素体片和渗碳体片交替排列的层状显微组织, 是铁素体与渗碳体的机械混合物 (共析体)	是过冷奥氏体进行共析反应的直接产物。其片层组织的粗细随奥氏体过冷程度不同, 过冷程度越大, 片层组织越细, 性质也不同。奥氏体在约 600°C 分解成的组织称为细珠光体 (有的叫一次索氏体), 在 500 ~ 600°C 分解转变成用光学显微镜不能分辨的片层状的组织称为极细珠光体 (有的叫一次屈氏体), 它们的硬度较铁素体和奥氏体高, 而较渗碳体低, 其塑性较铁素体和奥氏体低而较渗碳体高。正火后的珠光体比退火后的珠光体组织细密, 弥散度大, 故其力学性能较好, 但其片状渗碳体在钢材承受载荷时会引起应力集中, 故不如索氏体
莱氏体 ( $L_d$ , $L'_d$ )	奥氏体与渗碳体的共晶混合物	铁合金溶液含碳量在 2.11% 以上时, 缓慢冷却到 1130°C 便凝固出高温莱氏体 $L_d$ , 由渗碳体与奥氏体组成。当温度到达共析温度, 莱氏体中的奥氏体转变为珠光体, 此时莱氏体称为低温莱氏体 $L'_d$ 。因此, 在 723°C 以下莱氏体是珠光体与渗碳体的机械混合物 (共晶混合物)。莱氏体硬 (>700HB) 而脆, 是一种较粗的组织, 不能进行压力加工, 如白口铁。在铸态含有莱氏体组织的钢有高速工具钢和 Cr12 型高合金工具钢等。这类钢一般有较强的耐磨性和较好的切削性
淬火马氏体 (M)	碳在 $\alpha$ -Fe 中的过饱和固溶体, 显微组织呈针叶状	淬火后获得的不稳定组织。具有很高的硬度, 而且随含碳量增加而提高, 但含碳量超过 0.6% 后硬度值基本不变, 如含 C0.8% 的马氏体, 硬度约为 65HRC, 冲击韧性很低, 脆性很大, 断后伸长率和断面收缩率几乎等于零。奥氏体晶粒愈大, 马氏体针叶愈粗大, 则冲击韧性愈低; 淬火温度愈低, 奥氏体晶粒愈细, 得到的马氏体针叶非常细小, 即无针状马氏体组织, 其冲击韧性最高
回火马氏体	是与淬火马氏体硬度相近, 而脆性略低的黑色针叶状组织	淬火钢重新加热至 150 ~ 250°C 回火获得的组织。硬度一般只比淬火马氏体低 1 ~ 3HRC, 但内应力比淬火马氏体小
索氏体 (S)	铁素体和较细的粒状渗碳体组成的组织	淬火钢重新加热至 500 ~ 680°C 回火后获得的组织。与细珠光体相比, 在强度相同的情况下塑性及韧性都高, 随回火温度提高, 硬度和强度降低, 冲击韧性提高。硬度约为 23 ~ 35HRC。综合力学性能比较好。索氏体有的叫二次索氏体或回火索氏体
屈氏体 (T)	铁素体和更细的粒状渗碳体组成的组织	淬火钢重新加热至 350 ~ 450°C 回火后获得的组织。它的硬度和强度虽然比马氏体低, 但因其组织很致密, 仍具有较高的强度和硬度, 并有比马氏体好的韧性和塑性, 硬度约为 35 ~ 45HRC。屈氏体有的叫二次屈氏体或回火屈氏体
下贝氏体 (B)	显微组织呈黑色针状形态, 其中的铁素体呈针状, 而碳化物呈极细小的质点以弥散状分布在针状铁素体内	过冷奥氏体在 400 ~ 240°C 等温转变后的产物。具有较高的硬度, 约为 40 ~ 55HRC, 良好的塑性和很高的冲击韧性, 其综合力学性能比索氏体更好, 因此, 在要求较大的塑性、韧性和高强度相配合时, 常以含有适当合金元素的中碳结构钢等温淬火, 获得贝氏体以改善钢的力学性能, 并减小内应力和变形
低碳马氏体	低碳钢或低合金钢经淬火、低温回火获得的板条状低碳马氏体组织	具有高强度与良好的塑性、韧性相结合的特点 ( $\sigma_b = 1200 \sim 1600\text{MPa}$ , $\sigma_{0.2} = 1000 \sim 1300\text{MPa}$ , $\delta_5 \geq 10\%$ , $\Psi \geq 40\%$ , $a_k \geq 60\text{J/cm}^2$ ); 同时还有低的冷脆转化温度 ( $\leq -60^\circ\text{C}$ ); 在静载荷、疲劳及多次冲击载荷下, 其缺口敏感性和过载敏感性都较低。低碳马氏体状态的 20SiMn2MoVA 的综合力学性能, 比中碳合金钢等温淬火获得的下贝氏体更好。保持了低碳钢的工艺性能, 但切削加工较难



## 1.2 热处理方法分类、特点和应用

整体热处理方法、特点和应用<sup>[32]</sup>

表 1-6-4

名称	操作	特点	目的和应用							
退火	将工件加热到 $A_{c1}$ 或 $A_{c3}$ 以上(发生相变)或 $A_{c1}$ 以下(不发生相变),保温后,缓冷下来,通过相变以获得珠光体型组织,或不发生相变以消除应力、降低硬度的一种热处理方法	退火后的组织,硬度较低,便于加工。发生相变的退火的组织:亚共析钢→铁素体+珠光体;共析钢→珠光体;过共析钢→珠光体+二次渗碳体	1.降低硬度,提高塑性,改善切削加工性能和压力加工性能(对于不存在珠光体型转变的某些高合金钢,不能采用退火来软化,而要用正火后加高温回火来降低硬度,此时高温回火也属于不发生相变的退火) 2.细化晶粒,调整组织(限于有相变的退火),改善力学性能,为下一步工序作准备 3.消除铸、锻、焊、轧、冷加工等所产生的内应力							
	碳钢退火后的力学性能									
	含碳量/%	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	328.5	446	510	608	637	657	682	701	711
	硬度 HB	95	125	142	172	180	185	191	197	201
	40Cr 钢退火后的力学性能	$\sigma_b$ /MPa		$\sigma_{0.2}$ /MPa		$a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>		$\delta$ /%		$\Psi$ /%
		656		364		56		21		53.5
	完全退火	将工件加热到 $A_{c3}$ 以上 30~50℃ 的温度,并在此温度保温后,缓冷下来	加热得到均一奥氏体组织后,再缓冷转变为珠光体型的组织	主要用于亚共析组织的各种碳钢和合金钢的铸件、锻件及热轧型材,有时也用于焊接结构						
	扩散退火	将工件或钢锭加热到约 1300℃,保温较长时间,然后缓冷下来	是利用高温下原子扩散作用,来消除铸件内化学成分的不均匀性(即偏析)	主要是使钢材成分均匀。由于这种退火耗时长,费用高,只在必要时用于高级优质合金钢。扩散退火又称均匀化,其工艺也属于完全退火						
	不完全退火	将工件加热到高于 $A_{c1}$ 而低于 $A_{c3}$ 或 $A_{cm}$ 的温度,并在此温度停留一定时间,然后缓冷下来	部分珠光体发生重结晶相变成奥氏体(完全退火是全部),冷却后又得到片层间距较大的珠光体,冷却速度快,珠光体层片薄,硬度高,慢则较厚,硬度也较低,细化晶粒方面不如完全退火,但加热温度低,效率高,所以使用较广	主要用于过共析钢。但只有在锻造后,没有网状渗碳体析出或在消除了网状渗碳体之后才可以采用。对亚共析钢来说,如果原始组织的晶粒已经很细小,只是为了消除锻、轧而产生的内应力或降低硬度,也可采用						
等温退火	将工件加热到 $A_{c3}$ 以上 30~50℃,保温后,较快地冷却到略低于 $A_{c1}$ 的温度,并在此温度下等温到奥氏体全部分解为止,然后空冷下来	等温退火比普通退火时间短,工件的氧化和脱碳倾向要小,同时,内部组织和截面上的硬度分布均匀,但对温度的控制有较高的要求	主要用于亚共析钢、共析钢及合金钢,尤其是广泛用于合金钢 等温退火还可以用来防止钢中白点的形成							

续表

名称	操作	特点	目的和应用			
退火 (焖火)	将工件加热到 $A_{c1}$ 以上 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ , 保温适当时间后, 缓冷到略低于 $A_{c1}$ 的温度, 并停留一段时间, 使组织转变完成, 然后炉冷至 $500^\circ\text{C}$ 以下再空冷	球化退火是将球光体中的片状渗碳体球化。球化退火后的过共析钢组织是铁素体与球状渗碳体, 不但组织比较均匀, 而且可以减少淬火时的变形开裂倾向, 也降低了硬度, 便于加工	主要用于过共析的碳钢及合金工具钢。对于一些形状复杂、淬火时要求变形小、工作时受力复杂的工模具以及轴承用钢, 都必须进行球化退火, 并严格控制球化级别(按冶标规定) 某厂采用 T10V 制作凿岩机的活塞, 未经球化退火, 淬火时大批开裂, 球化退火后, 开裂很少 球化困难的钢, 可连续重复球化退火操作, 即循环退火			
	将工件以缓慢的速度加热至 $500 \sim 650^\circ\text{C}$ , 经适当保温, 随炉缓冷至 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 以下出炉(又称软化退火)	由于退火温度低于 $A_1$ , 因此, 钢在去应力退火过程中并无组织变化, 内应力主要是在保温后缓冷过程中消除的	用于消除铸件、锻件、焊接件、热轧件、冷拉件以及切削、冷冲压过程中所产生的内应力 对于严格要求减少变形的重要零件在淬火或渗氮后常增加去应力退火, 亦称低温退火或高温回火			
	将钢加热到再结晶温度以上 $150 \sim 250^\circ\text{C}$ (碳钢再结晶退火温度即为 $650 \sim 700^\circ\text{C}$ ), 保温一定时间, 然后缓慢冷却下来	通过加热, 增加了钢中的原子扩散能力, 使冷加工后钢中破碎和歪扭的晶粒发生再结晶, 从而使金属的强度、硬度下降, 而塑性升高	是使经过冷加工, 如冷冲、冷拔、冷轧等发生加工硬化的钢材, 降低硬度, 提高塑性, 以利于加工继续进行, 因此, 再结晶退火是冷压力加工后钢的中间退火。例如冷冲薄板制造汽车车体的主要工艺过程: 热轧 $\rightarrow$ 正火 $\rightarrow$ 冷轧 $\rightarrow$ 中间退火 ( $650 \sim 750^\circ\text{C}$ ) $\rightarrow$ 冲成汽车车体。中间退火即为消除加工硬化			
正火(又称正常化或明火)	将工件加热到 $A_{c3}$ 或 $A_{cm}$ 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ , 保温一定时间, 然后以稍大于退火的冷却速度冷却下来, 如空冷、风冷、喷雾等, 得到片层间距较小的珠光体组织(有的叫正火索氏体)	与退火相比, 正火后的组织虽然同样是珠光体型的, 但组织细, 弥散度大, 从而有较高的力学性能, 还有生产周期短、设备利用率高、成本较低的优点, 但劳动条件较差	正火的目的与退火相似, 已如前述。具体应用如下: 1. 用于含碳量低于 0.25% 的低碳钢工件, 以代替退火, 有利于钢的切削加工, 此时钢的正火温度应提高到 $A_{c3} + (100 \sim 150^\circ\text{C})$ 为宜, 通称高温正火 2. 用于消除过共析钢中的网状渗碳体, 以利球化退火。对于截面尺寸较大的过共析钢, 应避免采用正火处理 3. 对某些大型重型钢件以及形状复杂、截面有急剧变化的钢件应用正火处理来代替淬火处理, 以免发生严重变形或开裂 4. 对于含碳量在 0.25% ~ 0.5% 范围内的中碳钢, 如 35、45 钢也适于用正火代替退火, 但对同样含碳量的合金钢如 5CrMnMo、38CrMoAl 等在正火后还需进行去应力退火 5. 对于性能要求不高的普通结构零件, 可以用正火作为最终热处理, 来提高力学性能			
	碳钢正火后的力学性能					
	含碳量(质量分数)/%	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
	抗拉强度 $\sigma_b/\text{MPa}$	363	480.5	549	652	691
	硬度 HB	101	134	155	185	194
	含碳量(质量分数)/%	0.60	0.70	0.80	0.90	
	抗拉强度 $\sigma_b/\text{MPa}$	740	794	824	883	
	硬度 HB	207	225	235	260	
40Cr 钢正火后的力学性能	$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$a_k/\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	$\delta/\%$	$\Psi/\%$	
	754	45	78	21	56.9	

名称	操作	特点	目的和应用
	将钢加热到相变温度以上,保温一定时间,而后快速冷却下来的一种热处理方法。常用淬火方法如下	淬火一般是为了得到高硬度的马氏体组织,但有时对某些高合金钢,如不锈钢、耐磨钢淬火,则是为了获得单一均匀的奥氏体组织,以分别提高其耐腐蚀性和耐磨性	淬火的目的是: 1. 提高硬度和耐磨性 2. 淬火加中温或高温回火以获得良好的综合力学性能 应根据淬火零件的材料、形状、尺寸和所要求的力学性能的不同,采用不同的淬火方法 如果工件只需局部提高硬度,则可进行局部淬火,以避免工件其他部分产生变形和开裂
	正火、球化淬火后硬度与碳含量的关系		
淬 火	将工件加热到淬火温度后,浸入一种淬火介质中,直到工件冷至室温为止	此法优点是操作简便,缺点是易使工件产生较大内应力,发生变形,甚至开裂	适用于形状简单的工件;对于碳钢工件,直径大于5mm的在水中冷却,直径小于5mm的可以在油中冷却,合金钢工件大都在油中冷却
	将加热后的工件先放在水中淬火冷却至接近 $M_s$ 点(200~300℃)时,从水中取出立即转到油中(或甚至放在空气中)冷却	利用冷却速度不同的两种介质,先快冷躲过奥氏体最不稳定的温度区间(550~650℃),至接近发生马氏体转变(钢发生体积变化)时再缓冷,以减小内应力和变形开裂倾向	主要适用于碳钢制成的中型零件和由合金钢制成的大型零件 双液淬火法的关键在于恰当地掌握好在水中停留的时间,时间过短,中心部分淬不硬;时间过长,又失去了双液淬火的意义。掌握好,可以有效地防止裂纹的产生 未能很好减小表里温差是此法的又一不足
	将工件加热到淬火温度,保温后,取出置于温度略高(也可稍低)于 $M_s$ 点的淬火冷却剂(盐浴或碱浴)中停留一定时间,待表里温度基本一致时,再取出置于空气中冷却	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 减小了表里温差,降低了热应力</li> <li>2. 马氏体转变主要是在空气中进行,降低了组织应力,所以工件的变形与开裂倾向小</li> <li>3. 便于热校直</li> <li>4. 比双液淬火容易操作</li> </ol>	由于盐浴或碱浴中淬火冷却速度不够大,对于淬透性较低的钢,容易在分级过程中析出珠光体,故此法多用于形状复杂、小尺寸的碳钢和合金钢工件,如各种刀具。对于淬透性较低的碳素钢工件,其直径或厚度应小于10mm。为了克服这一缺点,生产中有采用 $M_s$ 点以下分级淬火的,它的特点是第一段的冷却速度加大,适用于低淬透性钢而尺寸较大的工件,并能保证较小的内应力
	将工件加热到淬火温度后,浸入温度稍高于 $M_s$ 点的淬火冷却剂(盐浴或碱浴)中,保温足够的时间,使其发生下贝氏体转变后在空气中冷却	<p>与其他淬火相比:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 淬火后得到下贝氏体组织,在相同硬度情况下强度和冲击韧性都高,如下表所示</li> <li>2. 一般工件淬火后可以不经回火直接使用,所以也无回火脆性问题,对于要求性能较高的工件,仍需回火</li> <li>3. 下贝氏体比体积比马氏体小,减小了内应力与变形、开裂</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由于变形很小,因而很适合于处理一些精密的结构零件,如冷冲模、轴承、精密齿轮等</li> <li>2. 由于组织结构均匀,内应力很小,显微和超显微裂纹产生的可能性小,因而用于处理各种弹簧,可以大大提高其疲劳抗力</li> <li>3. 特别对于有显著的第一类回火脆性的钢,等温淬火优越性更大</li> <li>4. 受等温槽冷却速度限制,工件尺寸不能过大</li> </ol>

名称	操作		特点				目的和应用									
淬 火	等 温 淬 火	处理方法	硬度 HRC	$a_k /$ $J \cdot cm^{-2}$	$\delta / \%$	5. 球墨铸铁件也常用等温淬火以获得高的综合力学性能,成功地用稀土镁钨球铁代替合金结构钢。一般合金球铁零件等温淬火有效厚度可达100mm或更高(左表中水淬回火与分级淬火回火的比较数据是以含碳量0.95%的碳素钢,在同一淬火温度、同一回火温度条件下,试验取得的)										
		水淬火	53.0	16.6												
		回火	52.5	19.4												
		分级淬火	53.0	38.7	0											
		回火	52.8	33.2	0											
		等温淬火	52.0	62.2	11											
		52.5	55.3	8												
	喷雾淬火	工件加热到淬火温度后,将压缩空气通过喷嘴使冷却水雾化后喷到工件上进行冷却	可通过调节水及空气的流量来任意调节冷却速度,在高温区实现快冷,在低温区实现缓冷。可通过调节喷嘴数量、水量实现工件均匀冷却				对于大型复杂工件或重要轴类零件(如汽轮发电机的轴),可使其旋转以实现均匀冷却									
回 火	将淬火后的工件重新加热到 $A_{c1}$ 以下某一温度,保温一段时间,然后取出以一定方式冷却下来 常用回火方法如下		钢淬火后的组织是马氏体和部分残余奥氏体,处于亚稳定状态,回火是使其趋于稳定状态的处理。随着回火温度升高,硬度、强度下降,而塑性、韧性提高				回火的主要目的是: 1. 降低脆性,消除内应力,减少工件的变形和开裂 2. 调整硬度,提高塑性和韧性,获得工件所要求的力学性能 3. 稳定工件尺寸									
	低温回火	回火温度为 150 ~ 250℃	回火后获得回火马氏体组织,但内应力消除不彻底,故应当适当延长保温时间				目的是降低内应力和脆性,而保持钢在淬火后的高硬度和耐磨性。主要用于各种工具、模具、滚动轴承和渗碳或表面淬火的零件等									
	中温回火	回火温度为 350 ~ 450℃ 左右	回火后获得屈氏体组织,在这一温度范围内回火,必须快冷,以避免第二类回火脆性				目的在于保持一定韧性的条件下提高弹性和屈服强度,故主要用于各种弹簧、锻模、冲击工具及某些要求高强度的零件,如刀杆等									
	高温回火	回火温度为 500 ~ 680℃,回火后获得索氏体组织。淬火 + 高温回火称为调质处理,可获得强度、塑性、韧性都较好的综合力学性能,并可使某些具有二次硬化作用的高合金钢(如高速钢)二次硬化,当处理有第二类回火脆性的钢时,需油冷。其缺点是工艺较复杂,在提高塑性、韧性同时,强度、硬度有所降低,目前在某些地方已可用形变热处理来代替调质处理,球铁等温淬火代替45钢调质					广泛地应用于各种较为重要的结构零件,特别是在交变载荷下工作的连杆、螺栓、齿轮及轴等。不但可作为这些重要零件的最终热处理,而且还常作为某些精密零件如丝杠等的预先热处理,以减小最终热处理中的变形,并为获得较好的最终性能提供组织基础									
调 质	调质钢淬火后马氏体含量与硬度值的关系		含碳量(质量分数)/%	马氏体含量(质量分数)/%												
				99.9	95	90	80	50								
			0.3		49 ~ 54		45 ~ 50		42 ~ 48		37 ~ 46		33 ~ 42			
					0.4		55 ~ 58.5		50 ~ 55.5		48 ~ 52		42 ~ 50		38 ~ 47	
					0.5		59 ~ 61		56 ~ 60		53 ~ 57		48 ~ 54		42 ~ 51	
0.6		62 ~ 64		60 ~ 62		58 ~ 59.5		52 ~ 58		48 ~ 54						
调质钢淬火、回火硬度关系的参考数据(适用于尺寸小于120mm的零件)																
回火后要求的硬度 HRC			15	20	25	30	35	40	45	50	55	60				
淬火后须达到的硬度 HRC			42.5	43	44	45	47	48.5	52	55	58	62				
亚 温 淬 火	传统调质工艺是完全淬火加高温回火。淬火所得组织为马氏体,高温回火后为回火索氏体。此种显微组织提供了强度和韧性的良好配合。对亚共析结构钢采用完全淬火的理由是避免出现未熔铁素体 随着强韧化工艺的发展,发现对亚共析钢采用不完全淬火有助于在不降低材料强度的同时提高其韧性,即亚温淬火,亦即亚共析钢的不完全淬火,或称临界区淬火、两相区加热淬火。亚温淬火是指将具有平衡态或非平衡原始组织的亚共析钢加热至铁素体和奥氏体两相区保温一定时间后进行淬火、等温淬火的热处理,是一种新型的利用复相强韧化和组织细化的强韧化热处理工艺 采用亚温淬火可以大幅度提高钢的室温和低温韧性,降低冷脆转变温度,抑制可逆回火脆性,改善冷脆行为,防止变形开裂						解决油淬淬不透、水淬又开裂的大件淬火困难问题									

名称		操作		特点		目的和应用		
名称	钢号	临界点/°C		热处理规范		HRC	$a_k / J \cdot cm^{-2}$	韧脆转变温度/°C
		$A_{c1}$	$A_{c3}$					
亚温处理与常规调质处理性能对比 [51]	22CrMnSiMo	—	800 ~ 860	860°C + 575°C × 2h 回火		27.5	63.7	—
				860°C + 575°C × 2h 回火 + 785°C 淬火 + 575°C × 2h 回火		24.4	97.8	
	35CrMo	755	800	860°C + 575°C × 2h 回火		36.4	125.0	约 60
				800°C + 575°C × 2h 回火 + 785°C 淬火 + 550°C × 2h 回火		37.3	153.8	
	40Cr	743	782	860°C + 630°C × 2h 回火		30.7	160.2	< 20
				860°C + 600°C × 2h 回火 + 770°C 淬火 + 600°C × 2h 回火		29.8	150.2	
	42CrMo	730	780	860°C + 600°C × 2h 回火		36.0	122.5	—
				860°C + 600°C × 2h 回火 + 765°C 淬火 + 600°C × 2h 回火		38.7	—	
	45	724	780	830°C + 600°C × 2h 回火		17.0	149.8	—
				830°C + 600°C × 2h 回火 + 700°C 淬火 + 600°C × 2h 回火		20.2	155.7	
时效处理	高温时效	加热略低于高温回火的温度,保温后缓冷到 300°C 以下出炉		时效与回火有类似的作用,这种方法操作简便,效果也很好,但是耗费时间太长		时效的目的是使淬火后的工件进一步消除内应力,稳定工件尺寸 常用来处理要求形状不再发生变形的精密工件,例如精密轴承、精密丝杠、床身、箱体等 低温时效实际就是低温补充回火		
	低温时效	将工件加热到 100 ~ 150°C,保温较长时间(约 5 ~ 20h)						
		将淬火后的工件,在 0°C 以下的低温介质中继续冷却到 -80°C,待工件截面冷到温度均匀一致后,取出空冷		可使残余奥氏体全部或大部分转变为马氏体。因此,不仅提高了工件硬度、抗拉强度,还可以稳定工件尺寸		主要适用于合金钢制成的精密刀具、量具和精密零件,如量块、量规、铰刀、样板、高精度的丝杠、齿轮等。还可以使磁钢更好地保持磁性		
冷处理效果	类别	钢号	马氏体转变范围		残余奥氏体量(质量分数)/%		冷到 $M_f$ 后的硬度增值 HRC	
			$M_s / ^\circ C$	$M_f / ^\circ C$	20°C 时	冷到 $M_f$		
	碳素工具钢	T7	300 ~ 255	-55	≤5	1	≤0.5	
		T8	255 ~ 230	-55	3 ~ 8	1 ~ 6	≤1.0	
		T9	230 ~ 210	-55	5 ~ 12	3 ~ 10	1.0 ~ 1.5	
		T10	210 ~ 175	-60	6 ~ 18	4 ~ 12	1.5 ~ 3.0	
		T12	175 ~ 160	-70	10 ~ 25	5 ~ 14	3 ~ 4	
	合金工具钢	Cr06	150 ~ 140	-95	15 ~ 30	2 ~ 14	4 ~ 7	
		Cr	175 ~ 150	-85	10 ~ 27	5 ~ 14	2 ~ 4	
		7Cr2	280 ~ 230	-55	3 ~ 10	1 ~ 8	≤1.0	
		9Cr2	220 ~ 180	-70	6 ~ 18	4 ~ 13	1.0 ~ 2.5	
		Cr2	175 ~ 145	-90	10 ~ 28	5 ~ 14	3 ~ 6	
		7Cr3	240 ~ 185	-60	4 ~ 17	2 ~ 12	1.0 ~ 2.5	
		9SiCr	210 ~ 185	-60	6 ~ 17	4 ~ 12	1.5 ~ 2.5	
CrWMn		155 ~ 120	-110	13 ~ 45	2 ~ 17	≤10		
CrMn	120 ~ 100	-120	22 ~ 60	≤20	<15			
滚动轴承钢	GCr15	180 ~ 145	-90	9 ~ 28	4 ~ 14	3 ~ 6		
弹簧钢	60Mn, 65Mn, 70Mn	290 ~ 230	-55	≤8	≤6	≤1.0		
合金渗碳钢的渗碳层	20Cr3	140 ~ 120	-100	17 ~ 40	≤15	≤10		
	15CrNi2	160 ~ 140	-95	12 ~ 30	3 ~ 14	4 ~ 7		
	13Ni5A, 21Ni5A	120 ~ 100	-120	22 ~ 60	≤20	≤15		
	18CrNiWA	130 ~ 120	-120	20 ~ 45	≤15	≤10		

续表

名称	冷处理(-183℃)对合金钢力学性能和耐磨性的影响											
	钢号	力学性能					耐磨性增加/%					
		冷处理前						冷处理后				
抗弯强度 $\sigma_{bb}/\text{MPa}$	挠度 $f/\text{mm}$	冲击值 $a_k/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$	硬度 HRC	磨损量 $/\mu\text{m}$	抗弯强度 $\sigma_{bb}/\text{MPa}$	挠度 $f/\text{mm}$	冲击值 $a_k/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$	硬度 HRC	磨损量 $/\mu\text{m}$			
冷	12Cr2Ni4A	2177	2.60	153	58~59	5.75	1873	2.20	131	58~64	3.99	32
处	20CrMnTi	2471	2.95	33.5	57~58	2.85	2256	2.75	24	60~63	2.33	16
理	20CrNiMoA	2520	4.07	105	46~50	3.85	1824	2.90	72.7	60~61	2.38	38
	20CrMnMo	1981	2.40	35	58.5~59.9	3.90	1736	1.68	18.2	60~61	2.45	37

试件尺寸为10mm×10mm×120mm;气体渗碳(渗碳层深度1.5mm)后直接淬火,150℃回火

## 表面热处理、化学热处理方法、特点和应用

表 1-6-5

名称	操作	特点	应用			
火焰表面淬火	用乙炔-氧或煤气-氧的混合气体燃烧的火焰,喷射到零件表面上,快速加热,当达到淬火温度后,立即喷水或用乳化液进行冷却	淬透层深度一般为2~6mm,过深往往引起零件表面严重过热,易产生淬火裂纹。表面硬度钢可达65HRC,灰铸铁为40~48HRC,合金铸铁为43~52HRC。这种方法简便,无需特殊设备,但易过热,淬火效果不稳定,因而限制了它的应用	适用于单件或小批生产的大型零件和需要局部淬火的工具或零件,如大型轴类、大模数齿轮等 常用钢材为中碳钢,如35、45钢,及中碳合金钢(合金元素低于3%),如40Cr、65Mn等,还可用于灰铸铁件、合金铸铁件。碳含量过低,淬火后硬度低,而碳和合金元素过高,则易碎裂,因此,以含碳量在0.35%~0.5%之间的碳素钢最适宜			
感应加热表面淬火	将工件放入感应器中,使工件表层产生感应电流,在极短的时间内加热到淬火温度后,立即喷水冷却,使工件表层淬火,从而获得非常细小的针状马氏体组织 根据电流频率不同,感应加热表面淬火,可以分为 1. 高频淬火:100~1000kHz 2. 中频淬火:1~10kHz 3. 工频淬火:50Hz	1. 表层硬度比普通淬火高2~3HRC,并具有较低的脆性 2. 疲劳强度、冲击韧性都有所提高,一般工件可提高20%~30% 3. 变形小 4. 淬火层深度易于控制 5. 淬火时不易氧化和脱碳 6. 可采用较便宜的低淬透性钢 7. 操作易于实现机械化和自动化,生产率高 8. 电流频率愈高,淬透层愈薄。例如高频淬火一般1~2mm,中频淬火一般3~5mm,工频淬火能到≥10~15mm 缺点:处理复杂零件比渗碳困难	常用中碳钢(含碳0.4%~0.5%)和中碳合金结构钢,也可用高碳工具钢和低合金工具钢以及铸铁 一般零件淬透层深度为半径的1/10左右时,可得到强度、耐疲劳性和韧性的最好配合。对于小直径(10~20mm)的零件,建议用较深的淬透层深度,即可达半径的1/5,对于截面较大的零件可取较浅的淬透层深度,即小于半径1/10以下。参见下表			
			工作条件及零件种类	淬透层深度/mm	采用材料	采用设备
			承受扭曲、压力载荷的零件,如曲轴、(m=5~8mm)齿轮、磨床主轴等	3~5	45、40Cr、65Mn、9Mn2V、球墨铸铁	8000Hz中频发电机
工作条件及零件种类	淬透层深度/mm	采用材料	采用设备			
承受扭曲、压力载荷的大型零件,如冷轧辊等	≥5~15	9Cr2Mo、9Cr2W、GCr15	工频设备			
工作于摩擦条件下的零件,如m<4mm的齿轮,直径小于φ50mm的轴类等	1.5~2	45、40Cr、42MnVB	电子管式高频设备	承受变向载荷的零件 (0.1~0.15)D(D为零件直径)		

名称	操作		特点					应用					
	材料	加热温度 /°C	工频/Hz		中频/kHz			超声频/kHz			高频/kHz		
感应加热表面淬火			与淬硬层深度设备频率的关系	880~900	频率								
	50	1			2.5	8	35	55	150	250	500		
	淬硬层深度/mm												
	钢铁	最小值		17	3.5	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	—	
		最大值		70	16	15	8	4	3	2.5	2.5	—	
		最佳值		34	8	6	1~3	2.5	2	1.5	1~1.5	0.8	
	黄铜	850		一般值	25	6	4	2	1.1	0.8	0.5	0.4	0.27
	铝	600		一般值	24	5.4	3.4	1.7	0.84	0.66	0.42	0.34	0.24
	备注:淬硬层深度约为电流透入深度的1/2为最佳。淬硬层深度应大于电流透入深度的1/4												
	表面碳钢的疲劳强度普通淬火后	0.33		含碳量 /%	热处理方法		扭转弯曲疲劳强度 /MPa						
高频表面淬火			600										
0.41		火焰表面淬火	350										
		电炉内整体加热淬火	90										
		高频表面淬火	600										
0.63		电炉内整体加热淬火	110										
	正火	130											
0.63	高频表面淬火	360											
	火焰表面淬火	390											
	电炉内整体加热淬火	150											
电接触表面加热	利用低电压大电流,通过滚轮在工件表面滚动,使表面有大电流通过,靠接触电阻加热表面到淬火温度,滚轮(电极)移去后,靠自身冷却淬火	1. 工件变形极小,不需回火 2. 淬硬层薄,仅0.15~0.35mm 3. 工件淬硬层金相组织、硬度不均匀 4. 设备简单,操作方便	多用于大型铸铁件,如机床导轨、汽缸套等,以提高其耐磨性,改善抗摩擦能力 形状复杂工件不宜采用										
脉冲表面淬火	用脉冲能量加热可使工件表面以极快速度(1/1000s)加热到临界点以上,然后冷却淬火	1. 由于加热冷却迅速,工件组织极细,无淬火变形,无氧化膜 2. 淬火后不需回火 3. 淬火层硬度高,950~1250HV	用于热导率高的钢种,高合金钢难于进行这种淬火。用于小型零件如木材、金属切削工具、照相机、钟表等机器易磨损件										
激光表面淬火	应用激光束可获得高达10 <sup>6</sup> W/cm <sup>2</sup> 的能量密度,使工件表面极快速加热,并利用工件本身散热冷却淬火 为了提高工件表面对激光吸收率,应对被加热的表面进行“表面黑化处理”,所用涂料有粉状金属氧化物、胶质状石墨粉、普通墨汁、炭黑及锌和镁的磷化物等	加热速度非常快,并可靠自身冷却淬火;对形状复杂表面如微孔、沟槽拐角、盲孔等均可处理;应力和变形极小,表面光洁,无需再精加工	是一种可进行表面选择性局部硬化处理及局部表面合金化的多功能工艺方法										

续表

名称	操作	特点	应用
电子束热处理	利用电子枪发出电子束打击金属表面,使之极快达到淬火温度,之后自身冷却淬火。被处理工件的加热深度是加速电压和金属密度的函数	工件变形极小,无需后续的校正工作,淬火后的金相组织可获细晶结构,由于(表面)淬火是在真空中进行,所以淬火时,几乎无表面氧化	凡激光能处理的表面都能用电子束来加热,且不需“表面黑化处理”过程 此法可广泛应用于凸轮、透平叶轮、曲轴、阀座、球窝接头和偶合件等的热处理

化学热处理是将工件置于适当的活性介质中加热、保温,使一种或几种元素渗入其表层,以改变其化学成分、组织和性能的热处理

渗碳	<p>将工件放入渗碳介质中,在900~950℃加热,保温,使钢件表层增碳的过程。渗碳后,必须淬火,使表面得到马氏体,才能实现渗碳的目的</p> <p>渗碳分固体渗碳、气体渗碳和液体渗碳。气体渗碳生产率高,劳动条件较好,渗碳质量容易控制,并易于实现机械化和自动化,目前正逐步取代固体渗碳</p> <p>当渗碳零件有不允许高硬度的部位时,可采取镀铜的方法来防止渗碳或者采取多留加工余量的方法</p>	<p>①零件经渗碳热处理后的最终组织,其表面为针状回火马氏体及二次渗碳体,硬度为58~65HRC,而心部组织随钢种不同有低碳马氏体、屈氏体和索氏体等组织,其硬度在20~45HRC之间变动,重载荷零件不低于30HRC(合金钢)</p> <p>②渗碳层深度可达4~10mm,渗碳层硬度分布曲线比渗氮层硬度分布曲线要平缓,所以受到冲击时,不易剥落</p> <p>③具有较高的抗弯曲疲劳性能</p> <p>④表面耐磨性或心部抗冲击性能都较中碳钢表面淬火后的零件为高</p> <p>⑤获得均匀的硬化层,几乎不受零件形状复杂程度的限制;表面淬火则较困难</p>	<p>渗碳的目的是提高钢表层的硬度和耐磨性而心部仍保持韧性和高塑性</p> <p>通常采用含碳量为0.15%~0.25%的低碳钢及低合金钢,但对大截面的零件或中心部分要求较高的强度及承受重载荷的零件,均采用含碳量为0.2%~0.3%的钢材进行渗碳</p> <p>渗碳层深度随零件的具体尺寸及工作条件的要求而定,太薄易引起表面疲劳剥落,太厚则受不起冲击,一般常采用0.5~2.5mm。可按载荷情况近似参考下表选取(要求耐磨性大)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>载 荷</th> <th>低</th> <th>较大</th> <th>重</th> <th>超重</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>渗碳层深度/mm</td> <td>&lt;0.5</td> <td>0.5~1.0</td> <td>1.0~1.5</td> <td>&gt;1.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>渗碳层表面硬度应不低于56HRC,对于用合金钢制造的重要零件应不低于60HRC</p> <p>为了保证渗碳后零件的性能,渗碳层的含碳量最好在0.85%~1.05%之间</p> <p>模数大于4mm、齿宽大于直径的重载荷圆柱齿轮和圆弧齿轮,或模数为5~8mm的重载荷直齿锥齿轮、弧齿锥齿轮等,因为表面淬火不能获得均匀分布的淬透层,而采用渗碳</p>	载 荷	低	较大	重	超重	渗碳层深度/mm	<0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	>1.5																																															
	载 荷	低	较大	重	超重																																																							
渗碳层深度/mm	<0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	>1.5																																																								
几种渗碳型零件深度	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">机床齿轮模数/mm</th> <th colspan="5">汽车、拖拉机齿轮模数/mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1~1.25</td> <td>1.5~1.75</td> <td>2~2.25</td> <td>3</td> <td>3.5</td> <td>4~4.5</td> <td>5</td> <td>&gt;5</td> <td>2.5</td> <td>3.5~4</td> <td>4~5</td> <td>&gt;5</td> </tr> </tbody> </table>							机床齿轮模数/mm							汽车、拖拉机齿轮模数/mm					1~1.25	1.5~1.75	2~2.25	3	3.5	4~4.5	5	>5	2.5	3.5~4	4~5	>5	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="12">渗碳层深度/mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.3~0.5</td> <td>0.4~0.6</td> <td>0.5~0.8</td> <td>0.6~0.9</td> <td>0.7~1.0</td> <td>0.8~1.1</td> <td>1.1~1.5</td> <td>1.2~2</td> <td>0.6~0.9</td> <td>0.9~1.2</td> <td>1.2~1.5</td> <td>1.4~1.8</td> </tr> </tbody> </table>					渗碳层深度/mm												0.3~0.5	0.4~0.6	0.5~0.8	0.6~0.9	0.7~1.0	0.8~1.1	1.1~1.5	1.2~2	0.6~0.9	0.9~1.2	1.2~1.5	1.4~1.8
机床齿轮模数/mm							汽车、拖拉机齿轮模数/mm																																																					
1~1.25	1.5~1.75	2~2.25	3	3.5	4~4.5	5	>5	2.5	3.5~4	4~5	>5																																																	
渗碳层深度/mm																																																												
0.3~0.5	0.4~0.6	0.5~0.8	0.6~0.9	0.7~1.0	0.8~1.1	1.1~1.5	1.2~2	0.6~0.9	0.9~1.2	1.2~1.5	1.4~1.8																																																	
	厚度小于1.2mm的摩擦片、样板等		厚度小于2mm的摩擦片、样板、离合器等			轴、套筒、活塞、支承销、离合器等		主轴、套筒、大型离合器等		镶钢导轨、大轴、大模数齿轮等																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">渗碳层深度/mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">0.2~0.4</td> <td colspan="2">0.4~0.7</td> <td colspan="3">0.7~1.1</td> <td colspan="2">1.1~1.5</td> <td colspan="2">1.5~2</td> </tr> </tbody> </table>							渗碳层深度/mm							0.2~0.4		0.4~0.7		0.7~1.1			1.1~1.5		1.5~2																																				
渗碳层深度/mm																																																												
0.2~0.4		0.4~0.7		0.7~1.1			1.1~1.5		1.5~2																																																			



名称	操作		特点		应用							
渗氮	将工件放在渗氮气氛中,加热到500~600℃,使工件表面渗入氮原子形成氮化物的过程 为了保证工件心部的力学性能,氮化前应进行调质等热处理		①工件氮化后,不再需要淬火便具有很高的表面硬度(约1100~1200HV)及耐磨性,而且具有高的热硬性,在550℃时,硬度仍有915~925HV,在600℃时,硬度仍有850~870HV ②显著提高了钢的疲劳强度,一般可提高25%~32% ③处理温度低,变形极小,比渗碳及表面淬火的变形小得多,渗氮后,一般只需精磨或研磨抛光即可 ④具有较高的耐蚀性。使工件在大气、自来水、热蒸汽和弱碱溶液等介质中不受腐蚀 缺点:①渗氮时间太长;②强化渗氮必须采用特殊的合金钢 另外,由于氮的渗入,工件还略有“长大”现象。在设计尺寸要求严格的工件时,应考虑补救		渗氮的目的是提高表面硬度、耐磨性和疲劳强度(实现这两个目的的为强化渗氮)以及耐蚀能力(耐蚀渗氮) 强化渗氮用钢通常是用含有Al、Cr、Mo等合金元素的钢,如38CrMoAlA(目前专门用于渗氮的钢种),其他如40Cr、35CrMo、42CrMo、50CrV、12Cr2Ni4A等钢种也可用于渗氮。用Cr-Al-Mo钢渗氮得到的硬度比Cr-Mo-V钢渗氮的高,但其韧性不如后者 耐蚀渗氮常用材料是碳钢和铸铁 渗氮广泛用于各种高速传动精密齿轮,高精度机床主轴,如镗杆、磨床主轴;在变向载荷工作条件下要求很高疲劳强度的零件,如高速柴油机轴及要求变形很小和在一定抗热、耐蚀工作条件下耐磨的零件,如发动机的汽缸、阀门等 渗氮层厚度根据渗氮工艺性和使用性能,一般不超过0.6~0.7mm 渗氮层的脆性分为四级,允许使用范围如下表							
	等级	性质	等级	性质	允许使用范围		等级	性质	允许使用范围			
	I	不脆	II	略脆	在一切场合下均可使用		III	脆	磨削表面许可	IV	极脆	不许使用
	几种零件渗氮层深度											
工件	材料	温度/℃	时间/h	渗氮层深度/mm	表面硬度	工件	材料	温度/℃	时间/h	渗氮层深度/mm	表面硬度	
汽缸筒	38CrMoAlA	I. 510 ± 10	20	0.5 ~ 0.75	≥750HV	齿轮	40Cr	510 ± 5	55	0.55 ~ 0.60	77 ~ 78 HRA	
		II. 560 ± 10	34				50CrV	I. 500 ± 5	53	0.39 ~ 0.42	493 ~ 599 HV	
螺杆	38CrMoAlA	III. 560 ± 10	3	0.58 ~ 0.65	974 ~ 1026HV	弹簧		50CrV	430 ± 10			25 ~ 30
		I. 495 ± 5	63				较大模数齿轮、轴	38CrMoAlA	0.45 ~ 0.60			
小齿轮、垫圈等				0.35 ~ 0.4								
离子氮化	是利用稀薄的含氮气体的辉光放电现象进行的。气体电离后所产生的氮、氢正离子在电场作用下向零件移动,以很大速度冲击零件表面,氮被零件吸附,并向内扩散形成氮化层 氮化前应经过消除切削加工引起的内应力的人工时效,时效温度低于调质回火温度,高于渗氮温度		与一般渗氮比较:生产周期短,仅为气体渗氮的1/5~1/2;氮化层质量好,脆性低;变形小,可不留磨量或少留磨量;采用简单的机械屏蔽方法,就可实现局部氮化,可省去镀锡或镀锌;不锈钢、耐热钢离子氮化不需预先去除钝化膜,可省去喷砂、酸洗等辅助工序;省电、省氮气,无公害、操作条件好 缺点是零件形状复杂或截面悬殊时很难同时达到统一的硬度和深度		基本上适用于所有的钢铁材料。但含有Al、Cr、Ti、Mo、V等合金元素的合金钢离子氮化后比碳钢离子氮化后的表面硬度高 多用于精密零件以及一些要求耐磨而该种材料(如不锈钢)用其他处理方法又难于达到高的表面硬度的零件,例如磨床主轴、燃油泵螺旋长齿轮、万能工具铣床长齿轮(外径φ100mm,长222mm)、发动机排气阀、不锈钢转子外圈、不锈钢螺母、内燃机车合金铸铁缸套以及细长管件(内径15mm,长1m左右)内壁氮化等。下面介绍几种常用材料离子氮化效果,供参考							

续表

名称	操作		特点		应用				
离子氮化	材料	预先热处理	离子氮化效果		材料	预先热处理	离子氮化效果		
			表面硬度 HV5	渗层深度 /mm			表面硬度 HV5	渗层深度 /mm	
	45	正火	250 ~ 400	0.06	5CrNiMo	调质 41HRC	600 ~ 750	0.20 ~ 0.40	
	T10	球化退火	200 ~ 300	0.06	GCr15	淬火 + 回火 38HRC	550 ~ 650	0.20 ~ 0.40	
	20Cr	正火	600 ~ 750	0.20 ~ 0.50	CrWMn	退火	350 ~ 550	0.20 ~ 0.40	
	20CrMnTr	正火	650 ~ 800	0.20 ~ 0.50		调质	450 ~ 650		
	18Cr2Ni4WA	调质	600 ~ 800	0.20 ~ 0.50	W18Cr4V	淬火 + 回火 65HRC	1000 ~ 1300	0.02 ~ 0.10	
	40Cr	正火	500 ~ 700	0.20 ~ 0.50		2Cr13	调质	950 ~ 1200	0.10 ~ 0.30
	42CrMo	调质	550 ~ 700		0.20 ~ 0.50	1Cr18Ni9Ti	固溶	950 ~ 1200	0.08 ~ 0.15
	38CrMoAlA	调质	950 ~ 1200	0.30 ~ 0.60	4Cr9Si2	淬火 + 回火 31HRC	950 ~ 1200	0.10 ~ 0.30	
	25Cr3Mo3VNb	调质	1000 ~ 1150	0.15 ~ 0.30		4Cr14Ni14W2Mo		700 ~ 1050	0.06 ~ 0.12
	3Cr2W8	球化退火	650 ~ 900	0.15 ~ 0.30	HT200	铸态	300 ~ 500	0.10 ~ 0.30	
		淬火 + 回火 45 ~ 47HRC	1000 ~ 1200	0.10 ~ 0.25		QT600-3	正火	400 ~ 700	0.10 ~ 0.30
	Cr12MoV	退火	850 ~ 950	0.10 ~ 0.20	TC4(钛合金)	退火	850 ~ 1600 HV0.05	0.05 ~ 0.20	
		淬火 + 回火 60HRC	1000 ~ 1200		TA7(钛合金)	退火	1000 ~ 1800 HV0.05	0.05 ~ 0.20	
	<p>①碳氮共渗后,表面硬度不高,但从共析温度(590℃)以上渗氮急冷淬火后的表面硬度可达1100HV</p> <p>②渗氮层深度在0.3mm左右时,处理时间为6~12h;深度超过0.3mm,处理时间则需较大延长</p> <p>③38CrMoAlA等含铝钢渗氮后留磨量&lt;0.10mm,其他不含铝的合金结构钢渗氮后留磨量&lt;0.05mm</p> <p>④表面硬度与预先热处理有关,一般正火态比调质态的高;淬火后的回火温度愈低,原始组织硬度愈高,渗氮后的表面硬度也愈高</p> <p>⑤为降低脆性,高速钢宜采用浅层(0.01~0.025mm)渗氮</p>								
碳氮共渗	<p>向工件表面同时渗碳和渗氮的方法</p> <p>碳氮共渗分气体碳氮共渗、液体碳氮共渗和固体碳氮共渗</p> <p>按加热温度还可分高温碳氮共渗、中温碳氮共渗和低温碳氮共渗</p> <p>液体碳氮共渗有毒,已很少采用</p> <p>非共渗部位的防护,通常采用镀铜。但要求铜层较渗碳用的厚而且更致密一些</p> <p>低温碳氮共渗(软氮化,500~600℃)以渗氮为主,共渗后一般空冷即可</p> <p>中温碳氮共渗(氰化,800~860℃)以渗碳为主,共渗后要淬火及低温回火</p>		<p>与渗碳相比:</p> <p>①共渗层的硬度(约1000HV)比渗碳层略高,并能保持到较高的温度,耐磨性也比渗碳层高</p> <p>②耐蚀性高</p> <p>③具有较高的疲劳强度</p> <p>④零件变形小</p> <p>⑤生产周期比渗氮更短</p> <p>⑥中、高温氰化表面组织应为氮化物的马氏体和屈氏体-马氏体,低碳钢高温碳氮共渗组织与渗碳的相似,由共析和亚共析层组成。碳钢的过渡层为屈氏体-索氏体</p>		<p>碳氮共渗的目的是:提高零件表面的硬度、耐磨性和耐蚀性;提高疲劳强度</p> <p>低温碳氮共渗(以渗氮为主)主要是为了提高合金工具钢、高速钢制工具、刀具的热硬性、耐磨性,这种碳氮共渗的结果与渗氮相似,共渗层深度可达0.02~0.06mm</p> <p>中温碳氮共渗主要适用于一般承受压力不很大而只受磨损的中碳结构钢零件。共渗层深度一般为0.3~0.8mm</p> <p>高温(900~950℃)碳氮共渗(以渗碳为主)主要用于承受压力很大的中碳钢及合金钢的小型结构零件,也可用于低碳钢件代替渗碳,能获得1~2mm的共渗层;中温或高温碳氮共渗用于提高表面硬度、耐磨性和抗疲劳性能</p> <p>目前,气体碳氮共渗已广泛应用于汽车、拖拉机齿轮及各种标准件的表面强化处理上。汽车调质钢齿轮共渗层深度:轻型汽车0.15~0.25mm;载重汽车0.25~0.35mm</p>				

名称	操作	特点	应用																																																		
QPQ 或 无公害盐浴 复合处理	国外也称无公害盐浴氮碳共渗 清洗→预热→氮化→氧化→清洗 →浸油 	①盐浴复合处理后的工件(未淬火)的耐磨性远远高于高频淬火、渗碳的工件 ②可使调质的45钢疲劳强度提高40%以上 ③QPQ处理后的工件的耐蚀性比发黑高几十倍到几百倍,比镀铬高几倍到十几倍,甚至远远高于镀装饰铬和不锈钢 ④可代替很多零件的高频淬火或渗碳淬火-回火-发黑或镀铬三道工序,大大节能	①适用于各种结构钢、工具钢、不锈钢、铸铁和粉末冶金件 ②可以大量替代渗碳淬火、高频淬火、易变形件的淬火,代替发黑、镀铬、镀装饰铬和某些不锈钢件 ③适用于汽车、机车、柴油机、纺织机械、农业机械、机床、齿轮、枪炮、工具、模具等各种要求耐磨、耐蚀、耐疲劳的零件 例如,已淬火的高合金工模具钢处理后的寿命可以提高1~3倍																																																		
渗铝	以铝渗入钢或铸铁表面,形成铝铁化合物或固溶体的过程。目前采用较广的渗铝方法有: ①固体渗铝 ②镀层扩散渗铝 ③熔融铝渗铝	渗铝件在850℃下工作具有良好的抗氧化能力。高于800℃时的抗氧化性能优于渗铬 低碳钢管渗铝后,能耐高温氧化和耐硫化氢、二氧化硫、二氧化碳、碳酸、硝酸、液氮、水煤气的腐蚀。特别耐硫化氢腐蚀的能力更为显著	渗铝的目的是提高钢或铁在高温下的抗氧化性能 常用低碳钢和中碳钢渗铝来代替高合金的耐热钢和耐热合金。可用在800~900℃要求有较高的抗氧化性能的零件。渗铝层深度一般为0.1~1.0mm。近来对于具有相当高的抗高温氧化性能的铁基或铁-镍基高温合金(耐热钢)也采用渗铝,进一步提高高温抗氧化性能。渗铝层深度一般为0.01~0.04mm 渗铝钢管适用于石油、化工、化肥、冶金等方面的管道及容器																																																		
渗铬	向工件表面渗铬,形成一层结合牢固的铬-铁-碳的合金层的过程。渗铬方法有: ①固体渗铬 ②气体及半气体渗铬 ③液体渗铬	渗铬零件具有耐蚀、抗氧化、耐磨和较好的抗疲劳性能,兼有渗碳、渗氮和渗铝的优点 渗层深度视材料不同在0.02~0.30mm之间,一般地说,含碳量越高,渗层越浅 高碳钢渗铬层深度仅0.012~0.038mm,硬度约1300HV以上,但脆性大,耐酸、碱,耐高温(≤800℃)、耐锈蚀 低碳钢渗铬,表面硬度约为200~300HV,富延展性,可以进行冷变形而不开裂,还可施焊。其耐蚀性能与高铬不锈钢相似	渗铬在全面提供工件保护性能方面较为突出,不仅有效地应用在化学、冶金等工业代替铬不锈钢,而且也用来保护要求抗磨蚀的精密零件。目前喷气发动机上非铁基合金涡轮机叶片、铝制导弹头也用渗铬来提高其表面抗摩擦和抗氧化的能力 选用渗铬工件用钢时,必须根据用途,考虑采用具有适当碳含量及其合金元素含量的钢种,以便得到合适的渗铬层深度和要求的性能。如液体渗铬,温度在950~1000℃,加热4h,渗铬层深度:低碳钢10约为0.07~0.19mm;中碳钢45约为0.02~0.12mm;高碳钢T10约为0.02~0.07mm																																																		
渗硼	向工件表面渗硼的过程。渗硼可分固体渗硼、液体渗硼、气体渗硼、膏糊渗硼等几种,目前国内应用较多的是液体盐浴渗硼	渗硼零件具有高的硬度(1400~1800HV)、高的耐磨性和好的红硬性(800℃以下硬度不降低),并在盐酸、硫酸和碱内具有耐蚀性。而其内部还保持一定的塑性和韧性	应用在磨蚀条件下工作的零件,例如石油、采矿工业中的高压阀门闸板,煤、水泵的密封套,泥浆泵和深井泵的缸套、活塞杆等 渗铬层薄,而且渗层的硬度梯度太陡,容易造成渗层剥落。渗层深度一般为0.1~0.15mm 钢在不同条件下渗硼所得渗层深度参见下表																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">渗硼条件</th> <th colspan="8">钢的主要化学成分(质量分数)/%</th> </tr> <tr> <th>温度/℃</th> <th>时间/h</th> <th>C0.03</th> <th>C0.54</th> <th>C0.40, Cr0.95</th> <th>C0.04, V1.12</th> <th>C0.05, Ti1.07</th> <th>C0.27, Cu1.85</th> <th colspan="2">C0.20, Ni12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>900</td> <td>20</td> <td>0.22</td> <td>0.18</td> <td>0.12</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>0.18</td> <td colspan="2">—</td> </tr> <tr> <td>900</td> <td>40</td> <td>0.32</td> <td>0.26</td> <td>0.21</td> <td>0.18</td> <td>0.11</td> <td>0.23</td> <td colspan="2">0.30</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>20</td> <td>0.45</td> <td>0.26</td> <td>0.28</td> <td>0.23</td> <td>0.18</td> <td>0.45</td> <td colspan="2">0.50</td> </tr> </tbody> </table>	渗硼条件		钢的主要化学成分(质量分数)/%								温度/℃	时间/h	C0.03	C0.54	C0.40, Cr0.95	C0.04, V1.12	C0.05, Ti1.07	C0.27, Cu1.85	C0.20, Ni12		900	20	0.22	0.18	0.12	0.10	0.10	0.18	—		900	40	0.32	0.26	0.21	0.18	0.11	0.23	0.30		1000	20	0.45	0.26	0.28	0.23	0.18	0.45	0.50			
渗硼条件		钢的主要化学成分(质量分数)/%																																																			
温度/℃	时间/h	C0.03	C0.54	C0.40, Cr0.95	C0.04, V1.12	C0.05, Ti1.07	C0.27, Cu1.85	C0.20, Ni12																																													
900	20	0.22	0.18	0.12	0.10	0.10	0.18	—																																													
900	40	0.32	0.26	0.21	0.18	0.11	0.23	0.30																																													
1000	20	0.45	0.26	0.28	0.23	0.18	0.45	0.50																																													
渗硫	将工件置于含硫介质中,以低温、中温、高温的适当温度,使硫渗入工件表面,以形成FeS层	渗硫层硬度虽不高,但减摩作用很好,主要目的是减摩,提高抗咬合能力	适于刀具的补充处理,以及钢和铸铁制的耐磨、抗咬合零件,如汽轮机凸轮轴、汽车及机床齿轮、冷冲模、缸套、滑动轴承等																																																		
硫氮共渗	向工件表面同时渗入硫和氮而形成硫化物(深度小于0.01mm)及氮化物(深度为0.01~0.03mm)的化学热处理工艺。主要目的是减摩,提高抗咬合能力、耐磨性及抗疲劳性		适用于碳钢、合金钢、高速钢制的工模具、缸套等,以提高其表面硬度(300~1200HV)、抗咬合能力、耐磨性及疲劳强度																																																		
硫碳氮共渗	向工件表面同时渗入硫、碳、氮而形成深度小于0.01mm的硫化物和0.01~0.03mm深的碳氮化合物层的化学热处理工艺 有固体粉末法、液体熔盐法、气体法等工艺方法		适用于碳钢、合金钢、高速钢制的工模具(如铝型材挤压模等)、缸套等,以使工件表面获得高的硬度(600~1200HV)、耐磨性、抗咬合和抗擦伤能力以及疲劳强度																																																		

注:QPQ由成都工具厂提供资料。

形变热处理方法、特点和应用<sup>[51]</sup>

表 1-6-6

**原理** 形变热处理是将塑性变形和热处理结合(合理地综合运用形变强化与相变强化),以提高工件的力学性能的复合工艺。其原理是用形变的方法给金属中引进大量的位错<sup>①</sup>,再用热处理方法将这些位错牢固地钉扎起来,使金属得到包含大量难于移动的位错的相当稳定的组织状态,从而达到更高的强度及塑性(韧性)

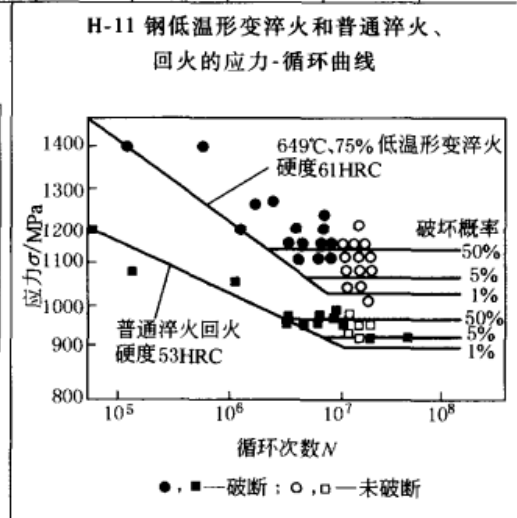
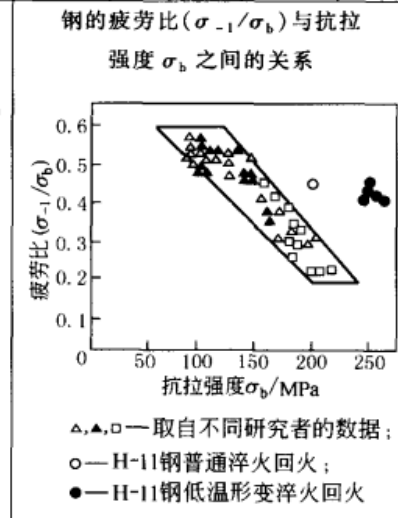
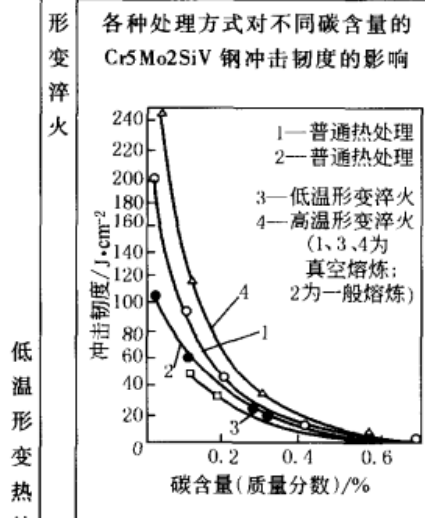
名称	操作	特点	应用
	<p>将钢加热至奥氏体状态保持一定时间,急速冷却至 <math>A_{c1}</math> 以下(低于奥氏体再结晶温度)而高于 <math>M_s</math> 的某一中间温度,进行形变然后淬火得到马氏体组织的综合处理工艺称为亚稳奥氏体形变淬火或低温形变淬火</p>	<p>与普通淬火处理相比:①低温形变淬火能在塑性基本保持不变的情况下提高抗拉强度 300 ~ 700MPa,有时甚至能提高 1000MPa。例如, Vasco MA 钢经普通热处理后抗拉强度为 2200MPa,屈服强度为 1950MPa,断后伸长率为 8%,低温形变淬火处理后则分别达到 3200MPa、2900MPa 和 8%。②能提高其高温力学性能,从下图可见,低温形变淬火钢在 593℃ 下的抗拉强度比普通淬火钢在 482℃ 下的抗拉强度还高,在 538℃ 的高温抗拉强度与普通淬火钢的常温抗拉强度相当。③低温形变淬火对钢的冲击性能的影响规律尚无统一认识。④适当规范低温形变淬火可适当提高结构钢的疲劳性能</p>	<p>高强度零件,如飞机起落架、火箭蒙皮、高速钢刀具、模具、板簧、炮弹及穿甲弹壳</p>

低温形变热处理

钢种	低温形变淬火			抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa		屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa		断后伸长率 $\delta$ /%	
	形变温度/℃	形变量(体积分)/%	回火温度/℃	低温形变淬火	普通热处理	低温形变淬火	普通热处理	低温形变淬火	普通热处理
Vasco MA	590	91	570	3200	2200	2900	1950	8	8
V63 (0.63C-3Cr-1.6Ni-1.5Si)	540	90	100	3200	2250	2250	1700	8	1
V48 (0.48C-3Cr-1.6Ni-1.5Si)	540	90	100	3100	2400	2100	1550	9	5
D6A	590	71	—	3100	2100	2300	1650	6	10
A41 (0.41C-2Cr-1Ni-1.5Si)	540	93	370	3750	—	2750	1800	—	—
A47 (0.47C-2Cr-1Ni-1.5Si)	540	93	315	3750	—	2750	1900	—	—
H11	500	91	540	2700	2000	2450	1550	9	10
Halcomb 218	480	50	—	2700	2000	2100	1600	9	4.5
B12 (0.4C-5Ni-1.5Cr-1.5Si)	540	75	—	2700	2200	1950	1750	7.5	2
Labelle HT	480	65	—	2600	1900	2450	1700	5	6
A31 (0.31C-2Cr-1Ni-1.5Si)	540	93	370	2600	—	2600	1600	—	—
A26	540	75	—	2600	2100	1900	1800	9	0
Super Tricent	480	65	—	2400	2200	2100	1800	10	6
AISI 4340	840	71	100	2200	1900	1700	1600	10	10
12Cr 不锈钢	430	57	—	1700	—	1400	—	13	—
12Cr-2Ni	550	80	430	1650	1280	1400	1000	15	21

低温形变淬火的力学性能

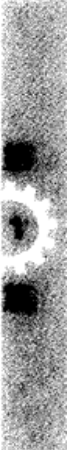
低温形变淬火钢的力学性能	钢种	低温形变淬火			抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa		屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa		断后伸长率 $\delta$ /%	
		形变温度/°C	形变量(体积分)/%	回火温度/°C	低温形变淬火	普通热处理	低温形变淬火	普通热处理	低温形变淬火	普通热处理
	12Cr-8.5Ni-0.3C	310	90	—	—	—	1800	420	—	—
	24Ni-0.38C	100	79	150	—	—	1750	1350	—	—
	25Ni-0.005C	260	79	—	—	—	980	840	—	—
	34CrNi4	—	85	—	—	—	2880	2970	12	2
	40CrSiNiWV	—	85	—	2760	2000	2260	1660	5.9	5.5
	40CrMnSiNiMoV	—	85	—	2800	2110	2250	1840	7.1	8.0
	En30B	450	46	250	1820	1520	1340	1070	16	18



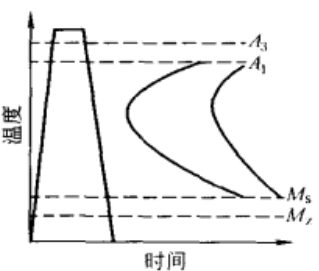
名称	操作	特点	应用
低温形变等温淬火	钢在奥氏体化后急冷至最大转变孕育区(500~600°C),施行形变后在贝氏体区等温淬火	在保持较高韧性的前提下,提高强度至2300~2400MPa	热作模具
等温形变淬火	在等温淬火的奥氏体-珠光体或奥氏体-贝氏体转变过程中形变	提高强度,显著提高珠光体转变产物的冲击韧性	适合于等温淬火的小零件,如小轴、小模数齿轮、垫片、弹簧、链节等
连续冷却形变处理	在奥氏体连续冷却转变过程中施行形变	可实现强度与韧性的良好配合	适用于小型精密耐磨、抗疲劳零件
诱发马氏体的低温形变	对奥氏体钢施行室温或更低温度的形变(一般为轧制),然后时效	在保证韧性的前提下提高强度	18-8型不锈钢, PH15-7Mo 过渡型不锈钢以及 TRIP 钢
珠光体低温转变	钢丝奥氏体化后在铅浴或盐浴中等温淬火得到细珠光体组织,再施行超过80%形变量的拔丝	使珠光体组织细化、晶粒畸变。冷硬化显著提高强度	制造钢琴丝和钢缆丝
马氏体(回火马氏体、贝氏体)形变时效	对钢在回火马氏体或贝氏体态施行室温形变,最后200°C回火	使屈服强度提高3倍,冷脆温度下降	低碳钢淬成马氏体,室温下形变,最后回火
预形变热处理	钢材室温形变强化,中间软化退火,然后快速淬火、回火	提高强度及韧性,省略预备热处理工序	适用于形状复杂、切削量大的高强钢零件
晶粒多边形强化	钢材于室温或较高温度施行小形变量(0.5%~10%)形变,于再结晶温度加热,使晶粒成稳定多边形组织	提高高温持久强度和蠕变抗力	锅炉紧固件、汽轮机或燃气轮机零件

续表

名称	项目	低温形变淬火	高温形变淬火	项目	低温形变淬火	高温形变淬火	
低温形变热处理	对钢材要求	过冷奥氏体需有较高稳定性	无特殊要求	显微组织特征	缺陷(位错)密度大但稳定性较小,多均匀分布在晶内	缺陷密度小但稳定性较大,可按多边化机构形成网络式位错结构	
		只适用于中、高合金钢	碳钢、低合金钢亦可			晶界结构无特殊变化	晶界常呈锯齿状
		在形变设备能力许可下对载荷无尺寸要求	适用较小截面零件及型材,截面过大则形变时因内热而引起再结晶,影响强化效果		马氏体细化		程度较大
高温形变淬火与低温形变淬火的比较	特性	形变温度	$< A_{c1}$ 的亚稳奥氏体区域,通常在奥氏体再结晶温度以下,原子扩散及缺陷运动较慢	强化因素	点阵缺陷及其结构	密度较大 均匀分布在晶内 稳定性较小	密度较小 大部分以多边化方式构成亚晶界 稳定性较大
		形变前的预冷	奥氏体化后需在特殊设备中快速预冷至形变温度	不需要特殊预冷设备,奥氏体化后可在空气中冷却至形变温度	晶界状态	难形成锯齿状晶界	可形成锯齿状晶界
		有效强化时的形变量	一般大于 60%, 通常为 75% ~ 90%	一般较小, 为 20% ~ 50%	强度	提高较多	提高较少
		形变速度	对形变速度没有限制,在过冷奥氏体稳定区内可以尽量减小形变速度	形变速度不能过小,否则再结晶现象严重	塑性	变化不大或略有降低	改善较多
		形变设备及工艺安排	形变抗力高,需能力较大的压力加工设备	形变抗力小,普通压力加工设备即可满足要求	韧性	略有增减	提高较显著
			需要设计专门的生产流程	可在压力加工生产线中直接插入淬火、回火工序	冷脆性	脆性转变温度变化不大	脆性转变温度下降
		可逆回火脆	略有抑制	消除可逆回火脆	不可逆回火脆	无甚影响	减弱不可逆回火脆
		断裂韧度	尚无定论	显著提高	脆断强度	影响不大	显著提高
		缺口敏感性	影响不大	显著提高	疲劳性能	提高较少	提高较多
		热强性	多数情况使之降低	可提高短期热强性			



续表

名称	操作	特点	应用
	<p>将钢加热至稳定奥氏体区保持一段时间,在该温度下形变,随后进行淬火以获得马氏体组织的综合处理工艺称为稳定奥氏体形变淬火或高温形变淬火。例如,精确控制终锻和终轧温度,利用锻、轧余热直接淬火,然后回火</p> 	<p>高温形变淬火辅以适当温度的回火能有效地改善钢材的性能组合,即在提高强度的同时,大大改善其塑性和韧性。如高温形变淬火可提高钢材的裂纹扩散功、冲击疲劳抗力、断裂韧度、疲劳破断抗力、延迟破断裂纹扩展抗力、磨损抗力、接触疲劳抗力(尤其是在超载区)等,从而增加钢件使用的可靠性</p> <p>它还可降低钢材脆性转变温度及缺口敏感性,在低温破断时呈韧性断口</p> <p>它对钢材无特殊要求,一般碳钢、低合金钢均可应用</p> <p>它的形变温度高,形变抗力小,因而在一般压力加工(轧、锻)条件下即可采用,并且极易安插在轧制或锻造生产流程之中</p> <p>与低温形变淬火相比,高温形变淬火的缺点有:因形变通常是在奥氏体再结晶温度以上的范围内进行的,因而强化程度一般不如低温形变淬火的大;这种工艺适宜在截面较小的材料上进行,否则会因产生大量内热而使再结晶发展,严重影响强化效果</p> <p>提高强度 10% ~ 30%;改善韧性、疲劳抗力、回火脆性、低温脆性和缺口敏感性</p>	<p>高温形变淬火由于能使钢材得到较高的强韧化组合效果以及工艺上极易进行,近年来发展得非常迅速,甚至具有比低温形变淬火更为广阔的前途</p> <p>适用于加工量不大的碳钢和合金结构钢零件,如连杆、曲柄、叶片、弹簧、农机具及枪炮零件</p>

高温形变热处理

高温形变淬火

高温形变淬火的力学性能

钢种	高温形变热处理工艺			$\sigma_b$ /MPa		$\sigma_s$ /MPa		$\delta$ /%	
	形变量/%	形变温度/°C	回火温度/°C	高温形变淬火	普通淬火	高温形变淬火	普通淬火	高温形变淬火	普通淬火
50CrNi4Mo	90	900	100	2700	2400	1900	1750	9	6
50Si2W	50	900	250	2610	2230	2360	1980	6	4
55Si2MoV	50	900	250	2580	2300	2330	2080	6	5
60Si2Ni3	50	950	200	2800	2250	2230	1930	7	5
M75(俄钢轨钢)	35	1000	350	1750	1300	1500	800	6.5	4
Mn13	45	1050	—	1150	1040	430	447	53.3	53.3
45CrMnSiMoV	50	900	315	2100	1875	—	—	8.5	7
20	20	—	200	1400	1000	1150	850	6	4.5
20Si2	40	—	200	1350	1100	1000	800	11	5
40	40	—	200	2100	1920	1800	1540	5	5
40Si2	40	—	200	2280	1970	1750	1400	8	3
60	20	—	200	2330	2060	2200	1500	3.5	2.5
Q235(A3, Cr3)	30	940	—	690	—	635	350	—	—
45CrMnSiNiWTi	40	800 ~ 820	100	2410	2100	2160	2000	5	4
20CrMnSiWTi	50	800	—	1760	1520	1560	1340	7.8	8.3
45CrNi	50	950	250	1970	1740	—	—	8.2	4.5
18CrNiW	60	900	100	1450	1150	—	—	—	—
AISI, SAE4340	40	845	95	2250	2230	1690	1470	10	9
55CrMnB	25	900	200	2400	1800	2100	—	4.5	1
40Cr2Ni4SiMo	60	—	—	2500	2000	1900	1350	13	8
47Cr8	75	—	200	2420	1650	2200	1520	8	3.5
55Si2	15 ~ 20	—	300	2220	1820	2010	1750	—	—
50SiMn	15 ~ 20	—	300	2040	1750	1760	1540	—	—
40CrSiNiWV	85	—	200	2370	2000	2150	1660	8.1	5.9
40Cr2NiSiMoV	95	—	200	2300	1910	2140	1590	9.1	6.4
40CrMnSiNiMoV	85	—	200	2200	1960	1750	1530	10.5	8.3
55Cr5NiSiMoV	85	—	250	2280	2110	1990	1840	9.0	7.1



续表

名称	操作		特点										应用					
	<p>锻热淬火是在热锻成形后立即淬火,以获得淬火组织的一种将锻造和淬火结合在一起的工艺方法,也叫锻造余热淬火。是一种奥氏体化及形变温度较高(一般在1050~1250℃)的典型高温形变热处理工艺</p>		<p>普通淬火在强度、硬度上升的同时总是伴随着塑性及韧性的下降,但锻热淬火却能得到较高的力学性能的组合,使锻热淬火钢具有优良的拉伸、冲击和疲劳性能。锻热淬火钢的高硬度一直保持到600℃回火以前,其回火抗力很高。以550℃回火为例,锻热淬火可提高硬度13.5%,抗拉强度8%,断后伸长率15%、冲击韧度23%。在同等强度(或硬度)下,锻热淬火钢具有优越的冲击韧性和疲劳性能。同时由于它利用锻后余热还节省了热处理(正火加调质)的重新加热</p>										<p>采用锻热淬火后,可用低价的碳钢代替高价的合金钢,它既能降低热处理成本,减少材料费用,又能确保得到强韧的锻件</p>					
高温形变热处理 锻热淬火 力学性能	零件名称	工艺	力学性能					零件名称	工艺	力学性能								
			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>	硬度			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>	硬度		
	农机耙片 (65Mn)	锻热淬火	—					113	49HRC	S195 连杆 (45)	锻热淬火	1000	—	13.6	48.8	67	302HBS	
		普通淬火	—					119.6	49HRC		普通淬火	841	—	19.6	64	113	294HBS	
	4115 连杆 (45)	锻热淬火	820			46	102	260HBS	K701 拖拉机 连杆(45)	锻热淬火	942	829	13.6	61	125	27.8HRC		
		普通淬火	770			63	123	221HBS		普通淬火	867	708	21.6	58.1	123	24.4HRC		
	拖拉机接 片(45)	锻热淬火	880		16	47	56	—	K701拖 拉机吊 物 (40Cr)	锻热淬火	1000	—	13.7	44.3	130	290HBS		
		普通淬火	790		17	43	58	—		普通淬火	745	—	17.2	61	84	280HBS		
	拖拉机转 向臂(45)	锻热淬火	—		—	—	100	255HRC	135柴 油 机 连 杆 (40Cr)	锻热淬火	1130	—	10.7	37.1	88	327HBS		
		普通淬火	—		—	—	105	—		普通淬火	1002	—	9.6	45.2	57	235HBS		
	拖拉机立 直落管 (45)	锻热淬火	785	690	22.5	41	—	22HRC	高 强 螺 母 (20CrMn)	锻热淬火	830	—	21	68	175	250HBS		
		普通淬火	840	660	15	32	—	25HRC		普通淬火	770	—	19	66	160	235HBS		
	拖拉机主 动升降 臂(45)	锻热淬火	925	778	10.0	42	70	23HRC	履 带 链 板 (40Mn)	锻热淬火	868	769	24.0	74.3	—	247HBS		
		普通淬火	830	635	30.0	57	120	21HRC		普通淬火	727	655	22	73.2	—	210HBS		
	拖拉机转 向节半 轴(45)	锻热淬火	770	680	23	62	92	—	汽 车 第 一 轴 凸 缘 (45)	锻热淬火	870	780	2.0	—	89	268HBS		
		普通淬火	—	—	—	—	110	—		普通淬火	800	620	21.8	—	85	246HBS		
	拖拉机转 向臂轴 (45)	锻热淬火	860	705	15	20.5	—	18HRC		锻热淬火	846	—	—	—	106	264HBS		
		普通淬火	755	720	24	59	—	14HRC		普通淬火	817	—	—	—	106	225HBS		
	545C (45) 钢	回火温 度/℃	抗拉强度/MPa				断后伸长率/%				冲击韧度/J·cm <sup>-2</sup>				硬度 HRC			
			锻热 淬火	普通 淬火	差值	增加 率/%	锻热 淬火	普通 淬火	差值	增加 率/%	锻热 淬火	普通 淬火	差值	增加 率/%	锻热 淬火	普通 淬火	差值	增加 率/%
500		960	900	60	6.7	8.5	6.1	2.4	39	96	82	14	17	35.2	31.0	4.2	13.5	
550		930	855	75	8.8	9.2	8.0	1.2	15	145	118	27	23	34.0	30.0	4.0	13.3	
600		770	725	45	6.2	11.2	9.0	2.2	24.4	160	146	14	9.6	31.0	27.2	3.8	14.0	
650	750	705	45	6.4	12.0	11.0	1.0	9.1	180	162	18	11.1	26.6	25.6	1.0	3.9		
700	645	610	35	5.7	16.0	12.0	4.0	33	195	180	15	8.3	25.8	25.2	0.6	2.4		
<p>是将钢材的轧制与热处理相结合的一种高温形变热处理工艺,它在组织性能及强韧化机理方面,与锻热淬火一样,均服从一般高温形变淬火的规律。是与锻热淬火相似的方法,各种板材、带材、棒材和管材都可以用此法处理</p>																		



续表

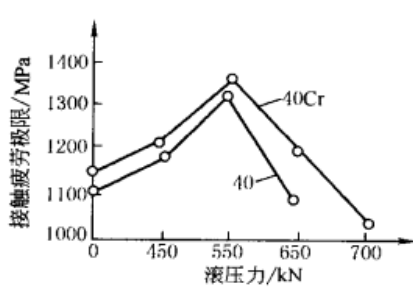
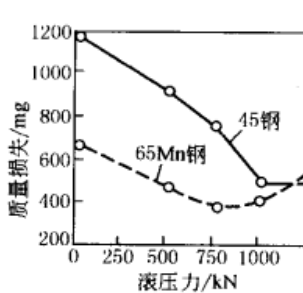
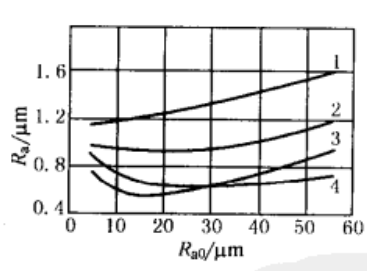
名称	钢号	成分 序号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	轧后 淬火的 冷却制 度	板厚 /mm	终轧温度 /℃	淬火温度 /℃	耗水量/m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>		钢板移 动速度 /m·s <sup>-1</sup>	
															上水管	下水管		
化学成分(质量分数)/%	10XHCД	1	0.10	0.59	0.97	0.015	0.024	0.73	0.52	0.57			8	890~950	800~860	715~780	1400~1665	0.75
		2	0.12	0.79	0.98	0.020	0.029	0.81	0.52	0.44			10~12	980~1010	920~960	715~865	1350~1650	0.50
		3	0.08	0.63	0.85	0.028	0.010	0.62	0.55	0.48			16~20	960~1060	940~1000	715~920	1300~1900	0.25
		4	0.11	0.72	0.94	0.011	0.015	0.64	0.59	0.53			25~40	1010~1100	950~1050	950~1200	2000~2700	0.25
	CT3	1	0.18	0.57	0.26	0.031	0.035	0.10	0.08	0.06			钢板		σ <sub>b</sub>	σ <sub>s</sub>	δ	a <sub>k</sub> (-40℃)
		2	0.19	0.57	0.26	0.030	0.008	0.06	0.06	0.08			CT3 ГОСТ 380—1960		440~470	240	25	50
		3	0.19	0.48	0.20	0.036	0.008	0.08	0.08	0.05			10XHCД ГОСТ 5038—1965		540	400	—	50
		4	0.17	0.50	0.23	0.040	0.006	0.08	0.09	0.08								
	力学性能	10XHCД (俄罗斯 钢号, 相当于 我国 10CrNi SiCu)	1	10	淬火机上快冷		820~990	720~840	12~19	—	30~35	35~40						
				10	热轧		540~560	400~420	15~25	22~23	24~35	26~38						
			20	20	淬火机上快冷		890~1010	750~840	7.5~14	41~58	35~60	41~63						
				20	补充回火		690~730	550~640	19~22	—	50~40	55~104						
			20	20	热轧		570~580	410~450	24~30	58~64	15~20	21~26						
				20	淬火压床上快冷		720~820	680~750	16~20	54~61	25~35	30~41						
			12	12	淬火机上快冷		760~890	630~750	15~12	—	45~52	49~56						
				12	热轧		560~580	400~420	26~30	—	20~32	23~36						
20			20	淬火机上快冷		880~970	720~850	8.8~14.5	45~54	—	—							
			20	淬火压床上冷却		700~790	650~680	12~21	—	45~90	48~95							
25			25	淬火机上快冷		690~790	570~670	9~18	30~42	45~50	51~56							
			25	补充回火		570~610	430~490	19~25	—	55~100	60~101							
25		25	热轧		470~490	300~350	25~26	50~52	20~25	24~28								
		20	淬火机上快冷		820~1080	700~860	12~20	30~55	31~45	34~49								
20		20	热轧		480~490	320~340	26~29	55~57	23~31	28~56								
		20	淬火压床上冷却		720~820	590~720	8~9	38~58	28~40	34~61								
CT3 (俄罗斯 钢号, 相当于 我国 Q235)		1	10	淬火机上快冷		590~700	400~560	8~20	34~38	53~82	57~68							
			20	淬火机上快冷		630~670	470~570	14~19	38~57	31~42	35~46							
			20	淬火机上快冷,补充回火		530~580	380~450	21~31	—	35~58	40~63							
			20	热轧		470~480	310~330	26~28	50~57	30~38	35~45							
		2	12	淬火机上快冷		540~640	360~450	12~24	—	60~96	63~102							
			12	热轧		450~490	300~350	30~31	53~55	13~43	38~45							
			20	淬火机上快冷		570~590	390~480	12~24	—	30~80	33~82							
			20	淬火压床上快冷,补充回火		500~590	340~410	20~27	51~58	40~88	42~91							
		20	20	热轧		490~510	270~310	25~31	—	28~31	31~85							
			20	回火压床上冷却		520~550	380~400	20~28	46~61	30~60	35~64							
			20	淬火机上快冷		650~700	500~550	12~19	44~47	20~49	23~52							
			20	淬火机上快冷,补充回火		480~570	360~440	19~29	50~56	35~53	39~58							
20		20	热轧		480~490	320~340	26~29	55~57	21~25	24~28								
		16	淬火机上快冷		580~720	430~570	13~19	42~57	27~65	31~70								
		16	淬火机上快冷,补充回火		520~550	420~470	21~26	—	40~60	45~46								
		16	热轧		460~470	300~340	26~30	52~55	21~25	24~30								

轧热淬火(或称控制轧制)  
高温形变热处理

续表

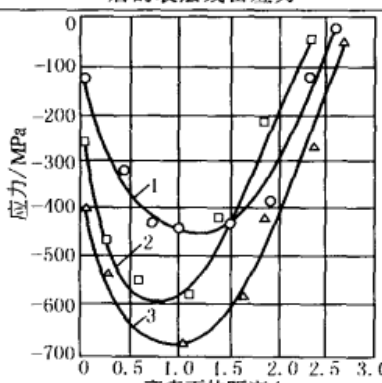
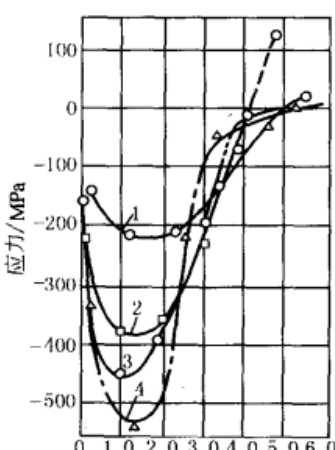
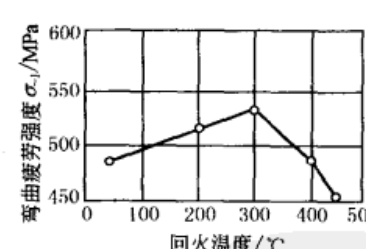
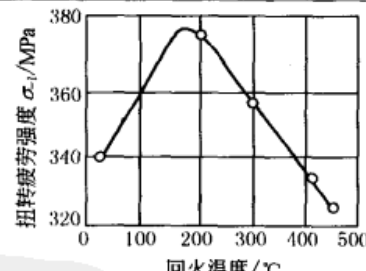
名称	操作	特点	应用																													
高温形变正火	适当降低终锻、终轧温度,然后空冷、或强制空冷、或等温空冷	提高钢材韧性,降低脆性转变温度,提高疲劳抗力	适用于改善以微量元素 V、Nb、Ti 强化的建筑结构材料塑性和碳钢及合金结构钢锻件的预备热处理																													
高温形变等温淬火	利用锻、轧后余热施行珠光体区域或贝氏体区域内的等温淬火	提高强度及韧性	用于 0.4% C 钢缆绳高碳钢丝及小型紧固件																													
亚温形变淬火	在 $A_{c1}$ 和 $A_{c3}$ 间施行形变淬火	明显改善合金结构钢脆性,降低冷脆阈	在严寒地区工作的构件和冷冻设备构件																													
利用形变强化遗传性的热处理	用高温或低温形变淬火使毛坯强化,然后施行中间软化回火,以便于切削加工,最后二次淬火,低温回火,可再现形变强化效果	提高强度和韧性,取消毛坯预备热处理工艺	适用于形状复杂、切削量大的高强钢零件																													
是表面形变强化工艺,如喷丸强化、滚压强化等;与零件整体热处理强化或表面热处理强化相结合																																
表面高温形变淬火	用高频或盐浴使工件表层加热至 $A_{c1}$ 或 $A_{c3}$ 以上,施行滚压强化淬火	显著提高零件疲劳强度和耐磨性及使用寿命	高速传动轴、轴承套圈等圆柱形或环形零件,履带板和机铲等磨损零件																													
高温形变热处理	9Cr 钢表面高温形变淬火后接触疲劳强度与滚压力的关系	9Cr 钢接触疲劳曲线的对比	9Cr 钢表面高温形变淬火后的力学性能																													
	<p>1—形变温度 950 ~ 970℃; 2—形变温度 900 ~ 920℃</p>	<p>1—普通高频感应加热淬火; 2—950℃ 滚压形变(滚压力 650kN, 160 ~ 180℃ 回火)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>形变温度 /℃</th> <th>弯矩 /kN·m</th> <th>抗弯强度 <math>\sigma_{bb}</math> /MPa</th> <th>挠度 <math>f</math> /mm</th> <th>强化层深度 /mm</th> <th>硬度 HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>850</td> <td>3133/ 3194</td> <td>3747/ 3790</td> <td>18.7/ 17.5</td> <td>3.0/ 2.7</td> <td>67/66</td> </tr> <tr> <td>900</td> <td>3270/ 3318</td> <td>3932/ 3940</td> <td>18.2/ 17.7</td> <td>5.0/ 4.5</td> <td>68/67</td> </tr> <tr> <td>950</td> <td>3044/ 3518</td> <td>3714/ 4438</td> <td>13.7/ 16.6</td> <td>穿透</td> <td>66/66</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>2911/ 3268</td> <td>3431/ 3842</td> <td>10.0/ 9.3</td> <td>穿透</td> <td>66/67</td> </tr> </tbody> </table> <p>① 拉拔速度 0.5m/min, 140℃ 回火 1.5h。 ② 分子的形变量为 10%, 分母的形变量为 15%。</p>	形变温度 /℃	弯矩 /kN·m	抗弯强度 $\sigma_{bb}$ /MPa	挠度 $f$ /mm	强化层深度 /mm	硬度 HRC	850	3133/ 3194	3747/ 3790	18.7/ 17.5	3.0/ 2.7	67/66	900	3270/ 3318	3932/ 3940	18.2/ 17.7	5.0/ 4.5	68/67	950	3044/ 3518	3714/ 4438	13.7/ 16.6	穿透	66/66	1000	2911/ 3268	3431/ 3842	10.0/ 9.3	穿透
形变温度 /℃	弯矩 /kN·m	抗弯强度 $\sigma_{bb}$ /MPa	挠度 $f$ /mm	强化层深度 /mm	硬度 HRC																											
850	3133/ 3194	3747/ 3790	18.7/ 17.5	3.0/ 2.7	67/66																											
900	3270/ 3318	3932/ 3940	18.2/ 17.7	5.0/ 4.5	68/67																											
950	3044/ 3518	3714/ 4438	13.7/ 16.6	穿透	66/66																											
1000	2911/ 3268	3431/ 3842	10.0/ 9.3	穿透	66/67																											

表面形变热处理

名称	操作	特点	应用																																																																																					
40、40Cr 钢表面形变淬火后的接触疲劳极限与滚压力的关系 (形变温度 950℃, 回火温度 180 ~ 200℃)		40、65Mn 钢耐磨性与滚压力间的关系	40Cr 钢经各种处理后的接触疲劳极限																																																																																					
																																																																																								
 <p>表面高温形变淬火可明显改善钢的表面粗糙度, 从而能提高疲劳极限</p> <p>1—600kN; 2—800kN; 3—1000kN; 4—1200kN</p>	<p>钢体表面高温形变淬火后的表面粗糙度 (<math>R_a</math>) 与原始粗糙度 (<math>R_{a0}</math>) 及形变力间的关系</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">项目</th> <th rowspan="3">滚压力 /kN</th> <th colspan="2">形变温度 850℃</th> <th colspan="3">形变温度 950℃</th> </tr> <tr> <th colspan="5">形变时间/s</th> </tr> <tr> <th>6</th> <th>8</th> <th>6</th> <th>8</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">强化层深度 /mm</td> <td>600</td> <td>2.10</td> <td>1.10</td> <td>2.30</td> <td>2.00</td> <td>1.66</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>2.10</td> <td>2.00</td> <td>2.50</td> <td>2.20</td> <td>1.90</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>2.90</td> <td>2.30</td> <td>3.00</td> <td>2.70</td> <td>2.40</td> </tr> <tr> <td>1200</td> <td>3.70</td> <td>2.90</td> <td>3.90</td> <td>3.50</td> <td>3.10</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">相对耐磨性</td> <td>600</td> <td>1.00</td> <td>0.97</td> <td>1.13</td> <td>0.91</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>1.19</td> <td>1.00</td> <td>1.34</td> <td>1.09</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>1.30</td> <td>1.16</td> <td>1.43</td> <td>1.23</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>1200</td> <td>1.16</td> <td>1.10</td> <td>1.21</td> <td>1.04</td> <td>0.90</td> </tr> </tbody> </table>	项目	滚压力 /kN	形变温度 850℃		形变温度 950℃			形变时间/s					6	8	6	8	10	强化层深度 /mm	600	2.10	1.10	2.30	2.00	1.66	800	2.10	2.00	2.50	2.20	1.90	1000	2.90	2.30	3.00	2.70	2.40	1200	3.70	2.90	3.90	3.50	3.10	相对耐磨性	600	1.00	0.97	1.13	0.91	0.80	800	1.19	1.00	1.34	1.09	0.93	1000	1.30	1.16	1.43	1.23	1.04	1200	1.16	1.10	1.21	1.04	0.90	<table border="1"> <thead> <tr> <th>处理工艺</th> <th>硬度 HRC</th> <th>接触疲劳极限 /MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>整体淬火, 低温回火</td> <td>46 ~ 48</td> <td>940</td> </tr> <tr> <td>整体淬火, 低温回火, 喷丸强化</td> <td>49 ~ 51</td> <td>1080</td> </tr> <tr> <td>高频感应加热淬火, 低温回火</td> <td>51 ~ 53</td> <td>1180</td> </tr> <tr> <td>高频感应加热淬火, 低温回火喷丸强化</td> <td>54 ~ 56</td> <td>1233</td> </tr> <tr> <td>高温滚压淬火, 950℃, 550N, 180 ~ 200℃回火</td> <td>50 ~ 52</td> <td>1270</td> </tr> </tbody> </table>	处理工艺	硬度 HRC	接触疲劳极限 /MPa	整体淬火, 低温回火	46 ~ 48	940	整体淬火, 低温回火, 喷丸强化	49 ~ 51	1080	高频感应加热淬火, 低温回火	51 ~ 53	1180	高频感应加热淬火, 低温回火喷丸强化	54 ~ 56	1233	高温滚压淬火, 950℃, 550N, 180 ~ 200℃回火	50 ~ 52	1270
					项目	滚压力 /kN	形变温度 850℃		形变温度 950℃																																																																															
							形变时间/s																																																																																	
			6	8			6	8	10																																																																															
			强化层深度 /mm	600	2.10	1.10	2.30	2.00	1.66																																																																															
800	2.10	2.00		2.50	2.20	1.90																																																																																		
1000	2.90	2.30		3.00	2.70	2.40																																																																																		
1200	3.70	2.90		3.90	3.50	3.10																																																																																		
相对耐磨性	600	1.00	0.97	1.13	0.91	0.80																																																																																		
	800	1.19	1.00	1.34	1.09	0.93																																																																																		
	1000	1.30	1.16	1.43	1.23	1.04																																																																																		
	1200	1.16	1.10	1.21	1.04	0.90																																																																																		
处理工艺	硬度 HRC	接触疲劳极限 /MPa																																																																																						
整体淬火, 低温回火	46 ~ 48	940																																																																																						
整体淬火, 低温回火, 喷丸强化	49 ~ 51	1080																																																																																						
高频感应加热淬火, 低温回火	51 ~ 53	1180																																																																																						
高频感应加热淬火, 低温回火喷丸强化	54 ~ 56	1233																																																																																						
高温滚压淬火, 950℃, 550N, 180 ~ 200℃回火	50 ~ 52	1270																																																																																						
<p>由 9Cr 钢接触疲劳曲线的对比可看出, 与普通高频感应加热淬火相比, 表面高温形变淬火能够有效地提高接触疲劳强度。随着滚压力 (亦即表面形变量) 的增大, 表面破损的接触循环次数先增后减, 到 650N 时为最大值, 在最佳处理条件下, 对应 <math>10^7</math> 循环次数的接触疲劳极限从普通处理时的 2000MPa 提高到 2250MPa, 而在小于 <math>10^7</math> 循环次数的范围内, 接触疲劳寿命可以提高 2.5 ~ 5 倍</p>	<p>40Cr 钢表面高温形变淬火后的强化层深度和相对耐磨性</p>	<p>可使工件形成高的残余压应力, 可显著提高其抗疲劳能力、表面粗糙度和耐磨性</p>																																																																																						
			<p>预冷形变表面形变热处理</p>	<p>给工件预先施加压力再进行表面形变淬火</p>																																																																																				

高温形变热处理

续表

名称	操作	特点	应用																																																								
表面形变热处理 高温形变热处理	<p>40Cr 钢经不同表面强化后的表层残留应力</p>  <p>1—感应淬火;2—预冷形变表面高温形变淬火;3—表面高温形变热处理</p> <p>1—形变进给量 0.25mm/r;2—0.2mm/r;3—0.15mm/r;4—0.10mm/r</p>	<p>50 钢履带链节经不同表面强化后的表层残留应力</p>  <p>1—高频感应加热表面淬火;2—表面高温形变热处理;3—冷滚压和表面高温形变淬火;4—表面高温形变热处理后冷滚压</p>	<p>40Cr 钢经预冷形变表面高温形变淬火后的强化层深度和相对耐磨性</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">滚压力 /kN</th> <th colspan="3">中间回火温度/℃</th> </tr> <tr> <th>未回火</th> <th>200</th> <th>400</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">强化层深度/mm</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.80/0.90</td> <td>0.70/0.75</td> <td>0.80/0.70</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>1.00/1.00</td> <td>0.85/1.00</td> <td>1.00/0.90</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>1.70/1.80</td> <td>1.70/1.90</td> <td>1.80/1.80</td> </tr> <tr> <td>350</td> <td>2.10/2.20</td> <td>2.20/2.20</td> <td>1.85/2.20</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>2.40/2.40</td> <td>2.50/2.30</td> <td>2.30/2.40</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">相对耐磨性</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>0.96/1.09</td> <td>1.15/1.18</td> <td>1.03/1.02</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>1.01/1.25</td> <td>1.20/1.25</td> <td>1.10/1.18</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>1.08/1.30</td> <td>1.28/1.30</td> <td>1.12/1.12</td> </tr> <tr> <td>350</td> <td>1.02/1.10</td> <td>1.19/1.10</td> <td>1.08/1.08</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>1.00/1.08</td> <td>1.10/1.08</td> <td>1.05/0.99</td> </tr> </tbody> </table> <p>①以高频淬火效果为1 ②分子淬火温度为 850℃,分母淬火温度为 950℃</p>	滚压力 /kN	中间回火温度/℃			未回火	200	400	强化层深度/mm				200	0.80/0.90	0.70/0.75	0.80/0.70	250	1.00/1.00	0.85/1.00	1.00/0.90	300	1.70/1.80	1.70/1.90	1.80/1.80	350	2.10/2.20	2.20/2.20	1.85/2.20	400	2.40/2.40	2.50/2.30	2.30/2.40	相对耐磨性				200	0.96/1.09	1.15/1.18	1.03/1.02	250	1.01/1.25	1.20/1.25	1.10/1.18	300	1.08/1.30	1.28/1.30	1.12/1.12	350	1.02/1.10	1.19/1.10	1.08/1.08	400	1.00/1.08	1.10/1.08	1.05/0.99	
	滚压力 /kN	中间回火温度/℃																																																									
		未回火	200	400																																																							
	强化层深度/mm																																																										
200	0.80/0.90	0.70/0.75	0.80/0.70																																																								
250	1.00/1.00	0.85/1.00	1.00/0.90																																																								
300	1.70/1.80	1.70/1.90	1.80/1.80																																																								
350	2.10/2.20	2.20/2.20	1.85/2.20																																																								
400	2.40/2.40	2.50/2.30	2.30/2.40																																																								
相对耐磨性																																																											
200	0.96/1.09	1.15/1.18	1.03/1.02																																																								
250	1.01/1.25	1.20/1.25	1.10/1.18																																																								
300	1.08/1.30	1.28/1.30	1.12/1.12																																																								
350	1.02/1.10	1.19/1.10	1.08/1.08																																																								
400	1.00/1.08	1.10/1.08	1.05/0.99																																																								
表面形变时效	<p>工件在喷丸或滚压强化之后再补充以时效(低温回火)</p>	可使工件疲劳强度得到进一步的提高																																																									
	<p>55Si2 钢和 60Si2 钢进行 900℃、60min 加热,然后油淬及 450℃硝盐槽中的回火,并于喷丸处理后于 20~500℃下进行不同温度的补充回火(时效)后的疲劳强度(<math>\sigma_{-1}</math>)的试验,结果示于右图。滚压后的时效也可使预先调质状态(880℃油淬,550℃回火)的 40Cr 钢疲劳强度比时效前提高约 20%</p>	 <p>(a) 55Si2 钢弯曲疲劳强度</p>  <p>(b) 60Si2 钢扭转疲劳强度</p>																																																									
复合形变热处理	把高温形变淬火和低温形变淬火复合,或将高温形变淬火与马氏体形变时效复合	提高韧性、强度、疲劳强度和耐磨性等综合力学性能	适用于 Mn13、工具钢和冷作模具钢等难以强化的钢材																																																								
形变化学热处理	利用锻热渗碳淬火或碳氮共渗	节能,提高渗速,提高硬度及耐磨性	中等模数齿轮																																																								
	锻热淬火渗氮	加速渗氮或碳氮共渗过程,提高耐磨性	模具、刀具及要求耐磨的工件																																																								
	低温形变淬火渗硫	心部强度高,表面减摩	高强度摩擦偶件,如凿岩机活塞、牙轮钻等																																																								

名称	操作	特点	应用
形变化学热处理 渗碳件表面形变时效	渗碳、渗氮、碳氮共渗零件渗后在常温下施行表面喷丸或滚压,随后低温回火,使表面产生形变时效作用	显著提高零件表面硬度、耐磨性,使表面产生压应力,明显提高疲劳抗力	航空发动机齿轮、内燃机缸套等耐磨及疲劳性能要求极高的零件
渗碳表面形变淬火	用高频电流加热渗碳件表面,然后施行滚压强化,也可在渗碳后直接进行滚压强化	零件表面可以获得极高的耐磨性	齿轮等渗碳件

① 位错——晶体中常见的一维缺陷(线缺陷),在透射电子显微镜下金属薄膜试样衍射像中表现为弯曲的线条。

### 1.3 常用材料的热处理

#### 材料在热处理中的特性

表 1-6-7

特性	含义及影响	设计中如何考虑
淬透性(可淬性)	指钢接受淬火的能力 不同的钢种,接受淬火的能力不同,因而淬成马氏体(指结构钢和工具钢)组织的深度(淬透层深度)也不同,钢的淬透层深度愈大,表明该钢种的淬透性愈好 淬透性不同的钢,淬火后得到的淬透层深度、金相组织以及沿截面分布的力学性能都不同。以回火至同一硬度水平来比较,淬透性大的钢,其力学性能沿截面是均匀分布的;而淬透性小的钢,心部力学性能低,特别是 $\sigma_s$ 、 $\sigma_b$ 值显著下降。但全部淬透的工件,通常表面残留拉应力,对工件承受疲劳不利,工件热处理中也易变形开裂。未淬透工件则表面可残留压应力,反而有一定好处 淬透层深度是指由淬火表面马氏体到50%马氏体+50%珠光体层的深度 钢的淬透性通常用淬透性曲线图来表示,并用临界淬透直径 $D_c$ 来比较各种钢材的淬透性大小 钢心部能淬透[淬透,大多数是指心部达到半马氏体,也有个别(工具钢)指心部达到90%或95%的马氏体]的最大直径,称为该种钢的“临界淬透直径” 临界淬透直径 $D_c$ 越大,淬透性越好。淬透性值以 $J \frac{HRC}{d}$ 表示, $d$ 表示至水冷端的距离,HRC为该处测得的硬度值	淬透性大小受钢的化学成分、奥氏体的均匀度、奥氏体化温度和奥氏体晶粒度等因素的影响而变化,但与工件尺寸大小等无关;淬透层深度则除受以上这些因素影响外,还受冷却速度、冷却剂和工件尺寸大小等因素的影响,两者有密切的关系,但其概念不同,不能混淆,例如不能笼统地认为一个淬透了的小尺寸零件的淬透性就一定比一个未淬透的大尺寸零件的淬透性大。钢的淬透性是选择材料和热处理工艺的主要根据之一。必须注意: ①要根据零件不同的工作条件合理确定对钢的淬透性要求,并不是所有场合都要求淬透,或者淬透都是有益的 ②设计大截面或形状复杂的重要构件采用多元合金钢,可保证沿整个截面具有高强度和高韧性的配合,获得综合力学性能,减少淬火变形或避免开裂 ③零件尺寸越大,内部热容量越大,淬火时零件冷却速度越慢,因此,淬透层越薄,性能越差,例如同样的40Cr钢经调质后,当直径为30mm时, $\sigma_b \geq 900\text{MPa}$ ,直径为120mm时, $\sigma_b \geq 750\text{MPa}$ ,直径为240mm时, $\sigma_b \geq 650\text{MPa}$ ,这种现象叫做“钢材的尺寸效应”。但是淬透性大的钢,尺寸效应不明显,如合金元素总量在3%~6%之间的多元合金,在大截面的条件下,仍能保证较高的综合力学性能。查阅手册注意,不能根据小尺寸试样测定的性能指标,用于大尺寸零件的强度计算 ④由于碳钢的淬透性低,有时在设计大尺寸零件时,用碳钢正火比用碳钢调质更经济,而效果相似。例如设计尺寸为 $\phi 100\text{mm}$ ,用45钢调质达到 $\sigma_b = 610\text{MPa}$ ,正火也能达到 $\sigma_b = 600\text{MPa}$ ⑤直径较大并具有几个台阶的传动轴,需经调质处理时,考虑到淬透性影响,应先粗车成形,然后调质。如果以棒料先调质,再车外圆,由于直径大,表面淬透层浅,阶梯轴尺寸较小的部分,调质后的组织在粗车时可能被车去,起不到调质作用
	部分常用钢材的淬透性值和临界淬透直径	

部分常用钢材的淬透性值和临界淬透直径

钢号	淬透性值 $J \frac{HRC}{d}$	$D_{c水}$ (20℃)	$D_{c油}$ (矿物油)	钢号	淬透性值 $J \frac{HRC}{d}$	$D_{c水}$ (20℃)	$D_{c油}$ (矿物油)
20Mn2	J 33/5	26(23)	12(13.5)	40Cr	J 43/7.5	36(32)	20(21)
20MnTiB	J 33/8	38(34)	21(22)	40CrMn	J 43/12	51(47)	36(34)
20MnVB	J 33/15	61(57)	43(42)	40CrV	J 43/10	45(40)	27(29)
20Cr	J 33/5	26(23)	12(13.5)	40Mn2	J 43/9	41(36)	25(26)
20CrMnB	J 33/17	66(64)	45(47)	35SiMn	J 40/9	41(36)	25(26)
20CrMoB	J 33/12	51(47)	36(34)	30CrMnSi	J 40/15	61(57)	43(42)
20CrNi	J 33/9	41(36)	25(26)	30CrMnTi	J 40/12	51(47)	36(34)
20CrMnMoVB	J 33/18	68(66)	48(50)	20CrMnTi	J 33/9	41(36)	25(26)
20SiMnVB	J 33/20	75(71)	54(56)	30CrMo	J 40/10	45(40)	27(29)
12CrNi3	J 30/30	—	78(84)	40Cr2MoV	J 43/15	61(57)	43(42)
12Cr2Ni4	J 30/33	—	84(96)	40MnB	J 43/15	61(57)	43(42)
45	J 43/3	16(15)	8(8.5)	40MnVB	J 43/18	71(66)	51(50)

续表

特性	含义及影响				设计中如何考虑			
淬透性 (可淬性)	部分常用钢材的淬透性值和临界淬透直径							
	钢号	淬透性值 $J \frac{HRC}{d}$	$D_{c水}$ (20℃)	$D_{c油}$ (矿物油)	钢号	淬透性值 $J \frac{HRC}{d}$	$D_{c水}$ (20℃)	$D_{c油}$ (矿物油)
	40CrMnB	J 43/22	84(77)	60(62)	GCr15	J 55/9	41(36)	25(26)
	40CrMnMoVB	J 43/39	—	94(115)	GCr15SiMn	J 55/18	71(66)	51(50)
	40CrNi	J 43/21	80(76)	58(60)	9Mn2V	J 55/13.5	57(52)	38(37)
	40CrNiMo	J 43/23	87(78)	66(63)	5SiMnMoV	J 45/6	31(28)	15(17)
	65	J 50/9.5	43(39)	26(28)	5Si2MnMoV	J 45/21	81(76)	59(60)
	65Mn	J 50/10	45(40)	27(29)	9SiCr	J 55/12	51(47)	36(34)
	55Si2Mn	J 50/6.5	32(29)	16(18)	Cr2	J 55/12	51(47)	36(34)
	50CrV	J 45/15	61(57)	43(42)	CrMn	J 55/6	31(28)	15(17)
	50CrMn	J 45/17	66(64)	45(47)	CrW	J 55/5.5	28(25)	17(15)
	50CrMnV	J 45/33	—	84(96)	9CrV	J 55/7	35(31)	18(19)
	T9	J 55/5	26(23)	12(13.5)	9CrWMn	J 55/32	—	80(90)
GCr9	J 55/7.5	32(33)	20(21)	CrWMn	J 55/13.5	57(52)	38(37)	
GCr9SiMn	J 55/14	58(55)	39(40)					
淬硬性	指钢在正常淬火条件下,以超过临界冷却速度所形成的马氏体组织能够达到的最高硬度,又叫淬硬性				淬硬性不同于淬透性,它主要与含碳量有关,含碳量愈高,淬火后硬度愈高,而合金元素对其无显著影响。所以,淬火硬度高的钢不一定淬透性就高,而硬度低的钢也可能具有高的淬透性			
过热、过烧 敏感性	温度过高引起奥氏体晶粒粗大叫过热,温度更高不仅晶粒粗大,而且晶间因氧化而出现氧化物或局部熔化叫过烧				奥氏体晶粒长大往往使钢在冷却后的力学性能降低,特别是冲击韧性变坏,甚至在淬火时会形成裂纹。本质粗晶粒钢的过热敏感性大,本质细晶粒钢只有在加热到 930~950℃ 以上晶粒才显著长大,过热可通过适当热处理挽救,过烧工件只能报废			
回火稳定性、热稳定性	指回火时减慢钢的组织性能的变化,使淬火钢在较高温度回火后仍能保持较高硬度。热稳定性是指硬化后的钢在较高温度(600℃左右)长时间保持时抗软化的能力。对于在较高温下工作的零件这种特性非常重要,如热作模具钢零件				回火稳定性好的钢,可在较高的温度回火,使韧性增加,内应力消除更完善。合金钢的回火稳定性比碳钢好。因此,要达到同一回火硬度时,合金钢的回火温度比碳钢高,回火时间比碳钢长,故回火后,合金钢的内应力比碳钢小,韧性比碳钢好。对于要求内应力尽量消除完全(因而回火温度要高一些),但强度指标又要损失小一些的零件(如弹簧等),就应采用回火稳定性较好的材料			
变形开裂倾向	指钢在加热和冷却过程,产生热应力和组织应力,其综合作用引起超过钢的 $\sigma_s$ 或 $\sigma_{0.2}$ 而产生变形开裂的倾向				加热或冷却速度太快,加热和冷却不均匀,以及奥氏体向马氏体转变过程中体积的变化,都会造成零件的热应力和组织应力,因此:①零件设计应尽量避免尖角和厚薄断面的突然变化;②采用分级淬火、等温淬火或双液淬火等方法,可降低应力,减少变形,试验表明,如 GCr15 钢套管分级淬火时,比油淬时的外径变形可减少一半			
尺寸稳定性	指零件在长期存放或使用中不变形的性能。这对于精密零件等是极为重要的				引起尺寸变化的主要原因是内应力的存在,以及残余奥氏体的分解,因此,设计精密度的零件和量具时,必须进行稳定化处理,如淬火后进行冷处理以减少残余奥氏体的含量,或低温时效,使马氏体趋向稳定并减少内应力,以稳定尺寸(适量的奥氏体存在,可减少组织应力,从而也可减少淬火变形)			
回火脆性	指钢在某个温度范围回火时,发生冲击韧性降低的现象 产生回火脆性的钢,不仅室温下的冲击韧性较正常钢为低,而且使钢的冷脆温度大大提高				当回火温度在 250~400℃ 时,会引起钢的脆性,称为第一类回火脆性,它一产生就不易消除,故又称不可逆回火脆性。因此,在热处理时很少采用 250~400℃ 温度回火。一般认为碳钢的第一类回火脆性影响不大,但弹簧一般多在 350~500℃ 回火,则只有根据需要与可能,首先保证弹簧要求性能的主要方面 某些合金钢(Cr 钢、Cr-Ni 钢、Cr-Mn 钢)在 450~575℃ 或更高温度回火后,缓冷,还会出现第二类回火脆性,又称可逆回火脆性,即可以再次回火后,快冷消除。对于难以快冷的大截面零件可加入 Mo0.3%~0.4% 或 W0.8%~1.2%,来防止回火脆性			
氧化脱碳敏感性	氧化是工件在氧化性气氛和未脱碳的盐浴中加热时,气氛中的 $O_2$ 与 Fe 发生化学反应形成 $FeO$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Fe_3O_4$ 等氧化物,俗称氧化皮。脱碳是钢中的碳(溶于奥氏体中的碳和形成碳化物的碳)被氧化烧损的现象。脱碳除了氧的作用外,水蒸气和二氧化碳也引起脱碳。在含有 0.05% 水汽还原性气氛中,也会脱碳 氧化使工件表面粗糙,淬火时阻碍冷却介质与工件的热交换,降低冷却速度,形成软点、硬度不足等缺陷。脱碳改变了表层的化学成分,使工件淬火后硬度下降,形变量增加,对工件淬火回火后的力学性能尤其是疲劳性能也有极坏的负面影响。对于渗氮工件,表面脱碳使渗氮层脆性增加。脱碳也是引起裂纹的主要原因,因为脱碳层相变延迟可产生巨大的拉应力为此,现代热处理已大都采用可控气氛炉、真空炉、脱氧干净的盐浴炉或流态床等先进热处理设备 Si 对钢的氧化脱碳敏感性影响较大,故含 Si 钢如 9SiCr、4Cr5MoSiV1、4Cr5MoSiV 等氧化脱碳敏感性大,热处理时应注意							

注:括号内数值是根据淬透性曲线图和淬透性标准图查得的数据。

淬透性曲线图及其应用

淬透性曲线一般都要实测，也可根据炉号成分按下列统计公式计算。

当  $C \leq 0.28\%$  :  $J_6 \sim 40 = 87C + 14Cr + 5.3Ni + 29Mo + 16Mn - 17\sqrt{d} + 1.4d + 22$

当  $C \geq 0.29\%$  :  $J_6 \sim 40 = 78C + 22Cr + 21Mn + 6.9Ni + 33Mo - 16.3\sqrt{d} + 1.13d + 18$

$J_6 \sim 40$  表示试样端淬距离  $d$  在 6~40mm 范围内时任一  $d$  值部位的硬度 HRC;  $d$  为端淬距离，即至水冷端的距离 (mm)。公式适用于含 0.1%~0.6% C, 0.2%~1.88% Mn, 0~9% Ni, 0~1.97% Cr, 0~0.53% Mo, 0~3.8% Si 的钢种。

(1) 各种常用钢种的淬透性曲线图 [28]

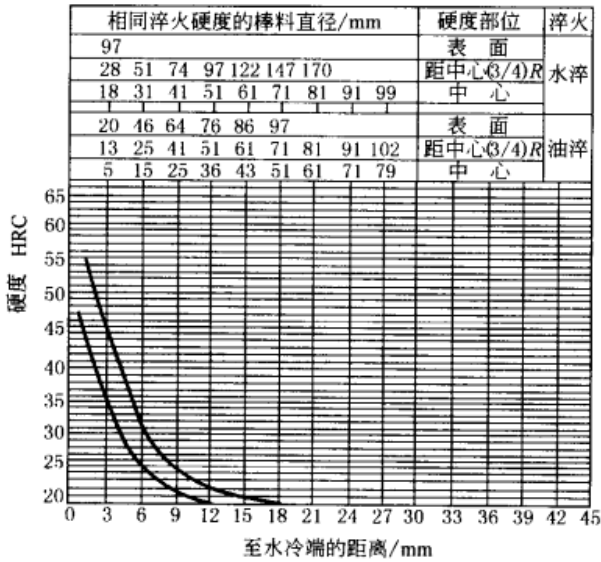


图 1-6-2 45 钢淬透曲线

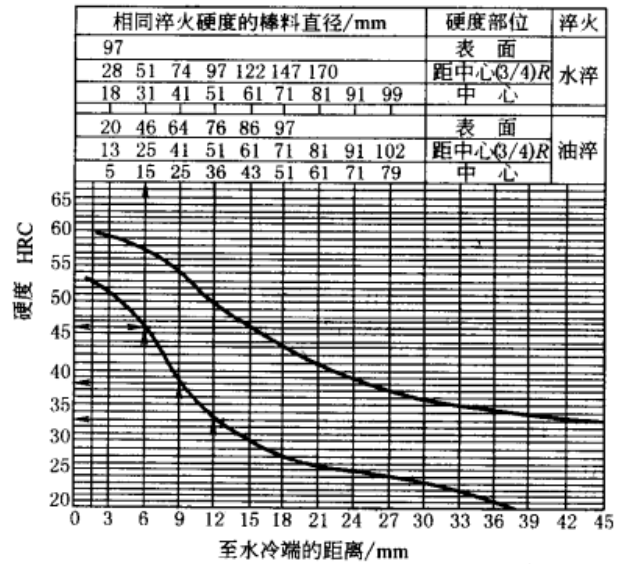


图 1-6-4 65Mn 钢淬透曲线

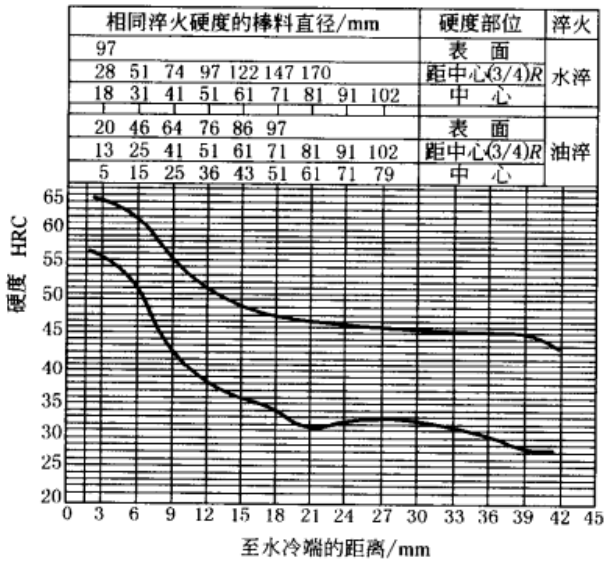


图 1-6-3 40Cr 钢淬透曲线

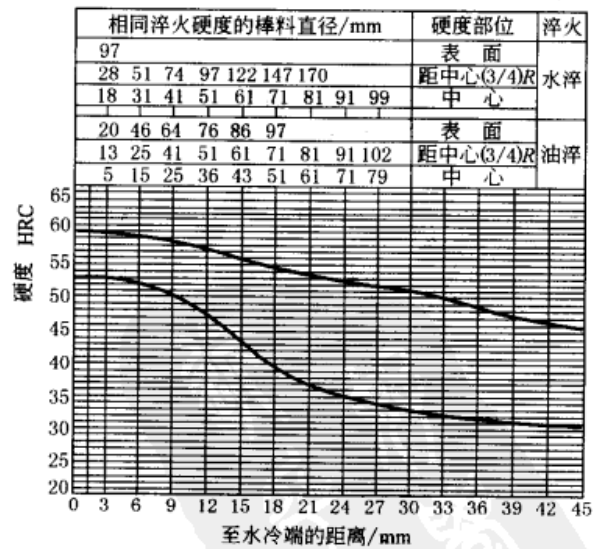


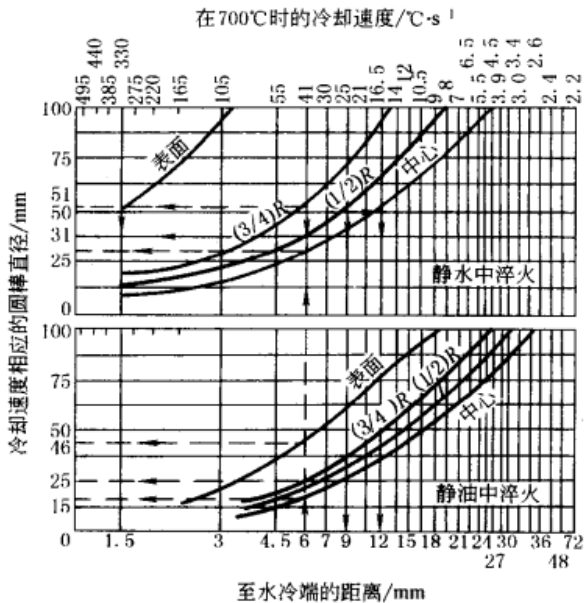
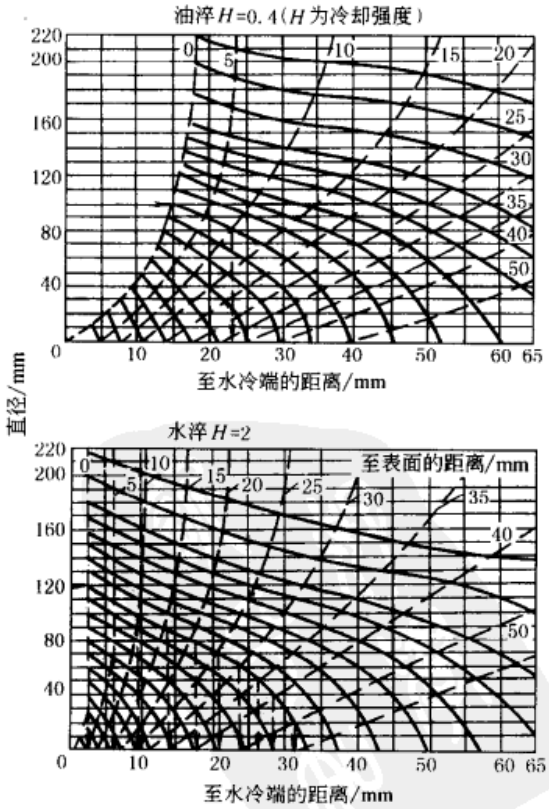
图 1-6-5 40CrMnMo 钢淬透曲线

● 本节仅选列几种钢的淬透曲线图，其他钢种可参考傅代直等编著的《钢的淬透性手册》。



(2) 淬透性曲线图的应用

表 1-6-8

项目	应用举例
<p>根据要求硬度,求相应的各种零件的截面尺寸</p>	<p>已知:选用 40Cr,回火前不同断面硬度值大于 46HRC</p> <p>首先直接从图 1-6-3 上的纵坐标 46HRC 处向右引水平线交淬透性带的下线,再由交点向上作垂线就可查得圆形零件尺寸,或由交点向下作垂线,找到 <math>d=6</math>,再由图 a 查得水淬时, <math>\phi 51\text{mm}</math> 的 <math>(3/4)R</math> 处, <math>\phi 31\text{mm}</math> 的中心;油淬时, <math>\phi 46\text{mm}</math> 的表面, <math>\phi 25\text{mm}</math> 的 <math>(3/4)R</math> 处, <math>\phi 15\text{mm}</math> 的中心处均能淬到同样硬度,因此,凡设计小于上述尺寸的圆形零件,其淬火硬度均不低于 46HRC</p>  <p>(a) 沿末端淬火试样的长度,圆棒直径、圆棒内不同位置和冷却速度之间的关系</p>
<p>根据选定的材料及尺寸大小,求零件截面上的硬度分布</p>	<p>已知:选用 40Cr 制造 <math>\phi 50\text{mm}</math> 的轴</p> <p>①从图 a 在 <math>\phi 50\text{mm}</math> 处向右引直线与各曲线相交,查出钢材在该直径时水淬后与末端淬火试样的至水冷端的距离的关系:轴表面相应于至水冷端的距离为 1.5mm, <math>(3/4)R</math> 处相应于至水冷端的距离为 6mm, <math>(1/2)R</math> 处相应于至水冷端的距离为 9mm,轴中心处相应于至水冷端的距离为 12mm</p> <p>②根据以上数据,再从图 1-6-3 查出相应的硬度值</p> <p>轴表面:相应于至水冷端的距离 1.5mm,相应的硬度为 53HRC</p> <p><math>(3/4)R</math> 处:相应于至水冷端的距离 6mm,相应的硬度为 46HRC</p> <p><math>(1/2)R</math> 处:相应于至水冷端的距离 9mm,相应的硬度为 38HRC</p> <p>轴中心:相应于至水冷端的距离 12mm,相应的硬度为 33HRC</p> <p>根据以上硬度值,便可作出 40Cr 制成 <math>\phi 50\text{mm}</math> 的轴径水淬后的截面硬度分布曲线(图 b)</p> <p>③零件直径 <math>100\text{mm} &lt; d \leq 220\text{mm}</math> 时可从图 b 查得不同零件直径水淬后与末端淬火试样的至水冷端的距离的关系,然后再从相应钢号的淬透性曲线图中查出相应的硬度值。例如 <math>d = 120\text{mm}</math>,水淬时可按图 b 中箭头所示方向查找</p>  <p>(b) 硬度分布曲线</p>



项目	应用举例
----	------

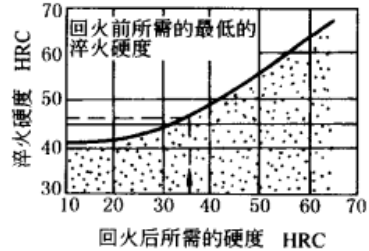
根据零件尺寸大小及要求的淬火硬度选择材料

已知： $\phi 45\text{mm}$  的发动机轴，在交变弯曲及扭转应力下工作，为了保证使用要求，热处理后的硬度要求大于 36HRC，问选用 40CrMnMo 能否满足要求

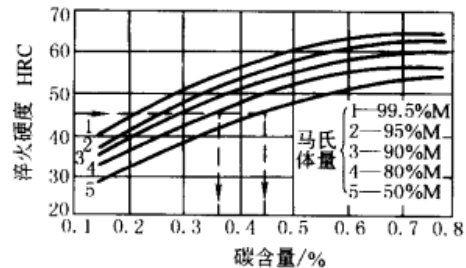
①由图 e 查得，要获得 36HRC 的硬度，则钢材淬火硬度应大于 45HRC

②由图 d 查得，要保证淬火硬度大于 45HRC，所选用的钢号淬火后的组织含 M 约 50% 时，含碳量应  $> 0.45\%$ ；含 M 约 80% 时，含碳量应  $> 0.35\%$ 。40CrMnMo 的含碳量约 0.37% ~ 0.44%，不能满足含 M 约 50% 组织的要求，但可满足获得含 M 约 80% 的要求

③根据轴的工作条件，表面处应力最大，中心处应力趋于零，故不需全部淬透，一般淬硬厚度不低于  $(1/4)R$  即可。因此，根据此淬硬厚度，从图 a 查出相应直径时油淬或水淬后为末端淬火法试样至水冷端距离的关系，即  $\phi 45\text{mm}$  的轴油淬时，其距中心  $(3/4)R$  处的冷却速度同末端淬火样品距端部约 10.5mm 处的冷却速度是相当的。查图 1-6-5，按至水冷端的距离为 10.5mm 时，油淬后硬度约 49HRC，故可满足要求



(c) 回火所需硬度与淬火硬度的关系



(d) 淬火硬度与碳含量的关系

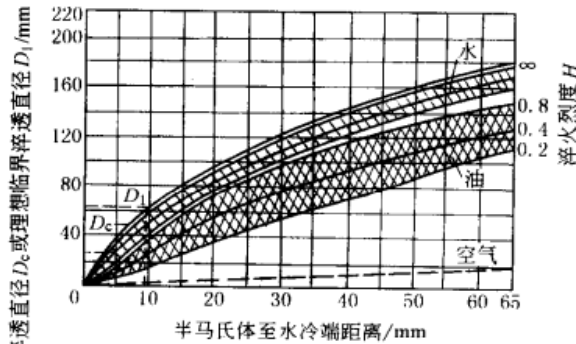
已知：材料的淬透性曲线

①根据选用材料的含碳量从图 d 找出相当于半马氏体 (50% M) 区的硬度，并由已知淬透性曲线上找出相同硬度下至水冷端的距离

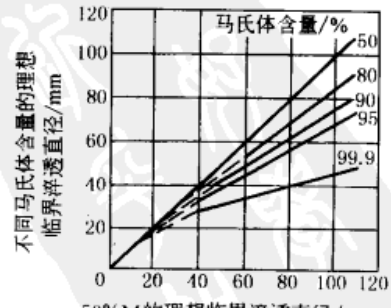
②从第一步找出的距离在图 e 的横坐标上找到相同数值处，引出垂线与各冷却强度曲线相交，再由交点向左引纵坐标的垂线，便可得出相应冷却剂的临界淬透直径

③如果理想临界淬透直径的马氏体量不是以 50% 为标准，则可按图 f 进行换算

根据选定材料的淬透性曲线求该钢号的临界淬透直径  $D_c$ 。



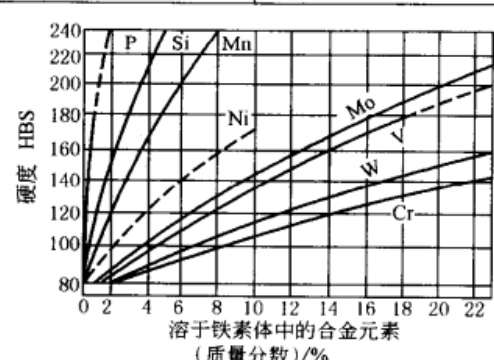
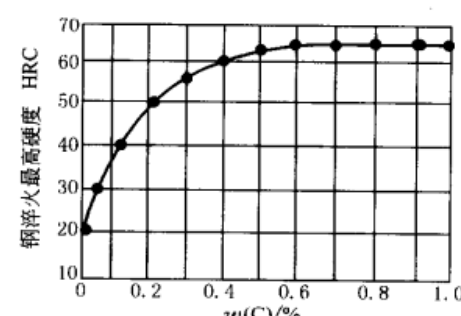
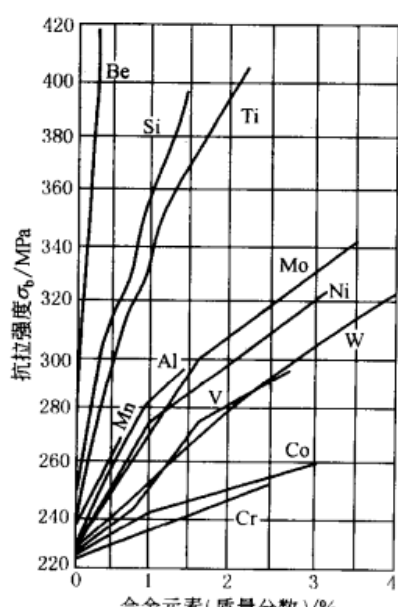
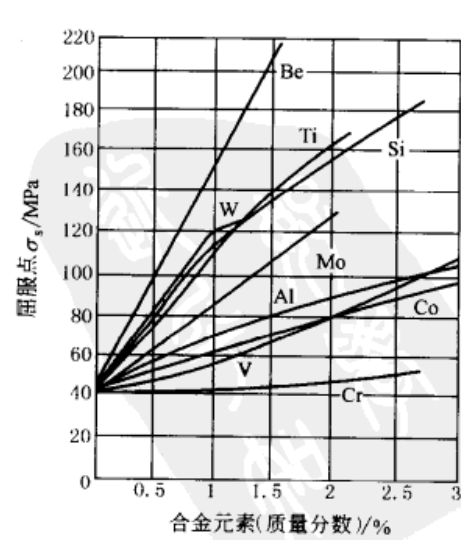
(e) 末端淬火试样至水冷端距离与理想临界淬透直径和临界淬透直径的关系



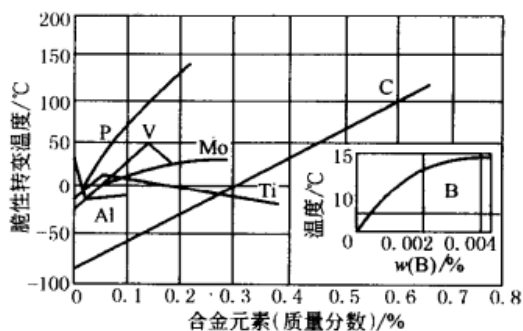
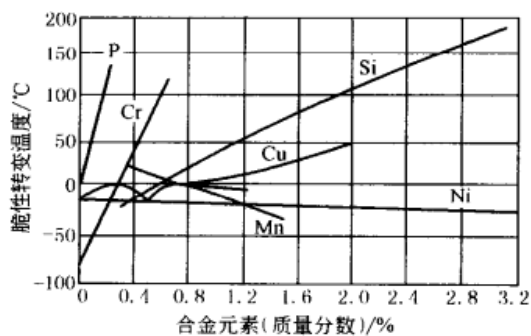
(f) 不同马氏体含量的理想临界淬透直径与 50% 马氏体含量的理想临界淬透直径之间的关系

合金元素对钢组织性能和热处理工艺的影响

表 1-6-9

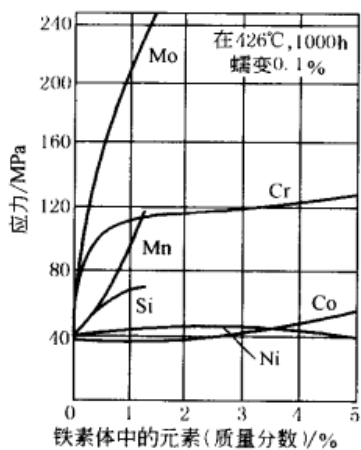
影响方面		合金元素	影响方面	合金元素
一、对钢组织的影响	对奥氏体化过程的影响 加速 延缓	Co Ti、V、Mo、W	对奥氏体晶粒度的影响 阻碍晶粒长大	Ti、V、Ta、Zr、Nb 和少量 W、Mo 等形成稳定难溶碳化物元素，N、O、S 等形成高熔点非金属夹杂物和金属间化合物元素
	对奥氏体等温转变的影响 保持等温转变图形状，向右移 等温转变图明显右移，珠光体和贝氏体转变曲线分开使等温转变图左移	Si、P、Ni、Cu 等不形成碳化物元素和弱形成碳化物元素 强形成碳化物元素 Ti、V、Cr、Mo、W、Co	影响不明显 加速晶粒长大	Si、Ni、Co 等促进石墨化元素 Cu 结构上自由存在的元素 Cr 等形成比较易溶解碳化物的元素 Mn、P
	对连续冷却转变图的影响 降低奥氏体分解或转变温度 提高奥氏体分解或转变温度	使等温转变图向右移的元素 使等温转变图向左移的元素，如 Co、Al	多种元素综合作用	比较复杂，不是简单叠加
	对马氏体转变的影响 降低 $M_s$ 点 影响 $M_s$ 点不明显 提高 $M_s$ 点	C、Mn、V、Cr、Ni、Cu、Mo、W Si、B Co、Al	对 Fe-C 相图奥氏体区的影响 缩小和封闭 $\gamma$ 区	Cr、W、Mo、Si、V、Ti 等
			防止或延迟回火脆性	Be、Mo、W
		对回火二次硬化的影响 残余奥氏体转变 沉淀硬化	Mn、Mo、W、Cr、Ni、Co、V V、Mo、W、Cr、Ni、Co	
二、对钢力学性能的影响	对铁素体固溶硬化作用		马氏体碳含量与最高硬度的关系	
	对抗拉强度的影响		对屈服点的影响	

二、对钢力学性能的影响

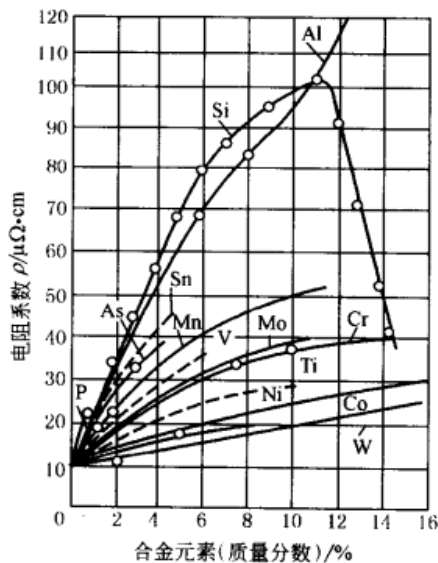


(以质量分数为 C0.3%, Mn1.0%, Si0.3% 的钢的脆性转变温度为  
基础, 分别加入其他合金元素后对其脆性转变温度的影响)

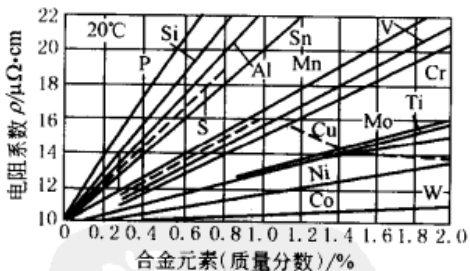
对铁素体蠕变强度的影响



各种合金元素对铁的电阻系数的影响 (20°C 时)



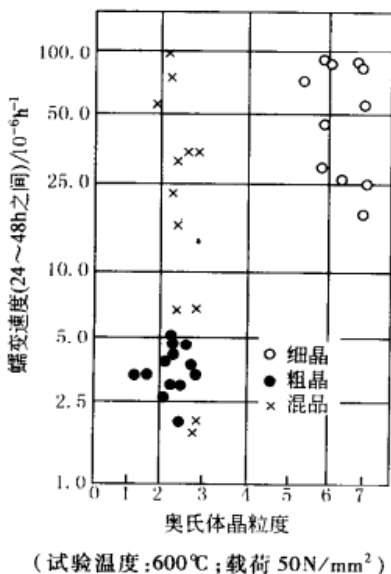
(a)



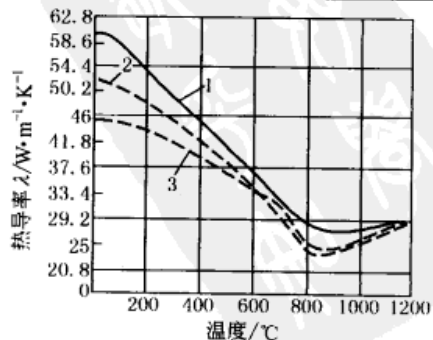
(b)

三、对钢物理性能的影响

奥氏体晶粒大小和蠕变速度的关系



不同碳含量(质量分数)的碳钢在不同温度时对热导率的影响



1—w(C) = 0.08%; 2—w(C) = 0.42%; 3—w(C) = 1.22%

续表

化学性能		元素的影响	
四、对钢化学性能的影响	高温氧化	Fe-Fe <sub>3</sub> C 合金的抗高温氧化性能很差,加入 Cr、Si、Al 等元素在钢表面形成致密的氧化物,保护钢材表面不继续氧化	
	高温含硫气体腐蚀	含 Ni 钢的抗硫腐蚀性很差,无 Ni 的 Cr-Al-Si 钢具有较强的抗硫腐蚀能力	
	低温、常温和零下温度的表面化学性能的变化	由于液体和气体腐蚀介质在钢表面产生局部伏特电池效应而导致腐蚀。采用含高 Ni、Cr 的单相奥氏体不锈钢可避免和明显缓和这种电解腐蚀作用。Al 在钢中也能起到减少表面腐蚀作用,提高碳对钢的抗大气腐蚀能力。随碳量增加,抗晶间腐蚀能力明显降低,加入一定量的 Ti 或 Nb 可改善。Cu 和 P 能提高钢抗大气腐蚀能力。Cu 也可提高有机涂层的附着力。含 Cu 钢也是优良的建筑钢材	
	影响方面		合金元素
五、对热处理工艺的影响	1. 对热处理加热温度的影响	提高退火、淬火、回火温度	Cr、Co、V、Al、Ti
		增加过热敏感性	C、Mn、Cr
		降低过热敏感性	W、Mo、Ti、V、Ni、Si、Ta、Co
		不宜在高温加热	Mo
	2. 对热处理加热时间的影响	不宜长时间退火,以免降低淬火硬度	含 W 钢
		必须适当延长淬火加热时间	含 Cr、W、V 钢
	3. 对反复热处理不敏感		W 钢
	4. 对化学热处理的影响	促进对氧的吸收	Al、Cr、Ta
		促进对碳的吸收	Cr、W、Mo、V
	5. 对回火稳定性的影响	提高回火稳定性	V、W、Ti、Cr、Mo、Co、Si
作用不明显		Al、Mn、Ni	
6. 对回火脆性的影响	促使回火脆性	Mn、Cr、N、P、V、Cu、Ni	
	防止或延迟回火脆性	Be、Mo、W	
7. 对高温渗碳温度敏感		Cr、Mo、Mn	
8. 对钢淬透性的影响	提高淬透性	易使晶粒长大的元素,如 Mn;降低奥氏体转变临界冷速的元素,如 C、P、Si、Ni、Cr、Mo、B、Cu、As、Sb、Be、N	
	降低淬透性	使晶粒细化的元素,如 Al 提高奥氏体转变临界冷速的元素,如 S、V、Ti、Co、Nb、Ta、W、Te、Zr、Se	
	例外	V、Ti、Nb、Ta、Zr、W 等强碳化物形成元素形成碳化物时降低淬透性,溶入固溶体则相反	
9. 对回火二次硬化的影响,残余奥氏体转变		Mn、Mo、W、Cr、Ni、Co、V	
10. 沉淀硬化		V、Mo、W、Cr、Ni、Co	
六、对钢材加工工艺的影响	工艺性能 元素影响		
	焊接性	V、Ti、Nb、Zr 改善钢的焊接性,P、S、C 恶化焊接性,一般提高钢的淬透性的元素都降低焊接性	
	切削加工性	加入 S、Mn 在钢中易生成均匀分布的 MnS 夹杂,切削时易断屑。在优质钢中加入少量的 Pb,亦可改善切削加工性。此外,还要经过适当的热处理使钢材硬度适中	
	冷态加工性	S、P 等元素易使钢变脆,冷作性能变差,C、Si、P、S、Ni、Cr、V、Cu 等元素都会降低钢的深冲压、拉延性能,Al 有细化晶粒的作用,含少量 Al 的钢可提高深冲压、拉延后的钢板表面质量	

常用材料的工作条件和热处理 [31]

表 1-6-10

材料	组织、性能特点和工作条件	牌 号	热处理		力学性能 $\geq$						硬度		应用示例	临界淬透直径 /mm
			淬火 / $^{\circ}\text{C}$	回火 / $^{\circ}\text{C}$	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ / $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	HB	HRC			
渗 碳 钢	含碳量 0.1% ~ 0.25% 合金元素总量一般不超过 3%, 少数达 5% ~ 7%。 作用为提高淬透性 (Cr、Mn、Mo、Ni 等), 阻碍高温渗碳时奥氏体晶粒长大 (Ti、V、W、Mo、Cr 等) 以及提高渗碳层和心部的强韧性 (Ni 最显著) 经渗碳、淬火、低温回火后, 碳钢的表层组织为回火马氏体和粒状渗碳体及少量残余奥氏体, 心部为珠光体型组织; 合金渗碳钢表层为回火马氏体、粒状合金碳化物和少量残余奥氏体, 心部淬透时为低碳马氏体, 不淬透时还有珠光体型组织 可获得表面硬而耐磨, 心部强韧相济的性能 用于受冲击和磨损条件下工作的工件 按合金元素的数量和数量, 可分为低淬透性 (低强度)、中淬透性 (中强度) 和高淬透性 (高强度) 几个等级, 以适应不同的应用场合	15、20	(1) 渗碳 900 ~ 950 $^{\circ}\text{C}$ (2) 淬火	450 ~ 550							表面 $\geq 59$	用于受力不太大, 心部强度要求不高的耐磨零件, 如小齿轮、活塞销, 柴油机凸轮轴、顶杆, 中小型机床变速箱齿轮等	水淬 20 ~ 35	
		15Cr	一般采用渗碳后预冷到 800 ~ 850 $^{\circ}\text{C}$ 淬火或渗碳后冷到室温, 然后重新加热到 750 ~ 780 $^{\circ}\text{C}$ 淬火	750	10	45	70				心部 $\leq 30$ HRC			
		15MnV	对 20Cr2Ni4 和 18Cr2Ni4W 等合金渗碳钢, 为减少淬火后的残余奥氏体, 可采用高温回火后再加热到 800 $^{\circ}\text{C}$ 左右淬火	750	11	45	70							
		20Cr	有时为了消除网状渗碳体、细化晶粒, 也有采用二次淬火的, 但不常用	85Q	10	40	60							
		20Mn2	(3) 回火 一般为 180 ~ 200 $^{\circ}\text{C}$	800	10	40	60							
		20MnV		950	9	40	50							
		12CrNi3		950	11	50	90				表面 58 ~ 63		用于受中等载荷的耐磨零件, 如汽车、拖拉机变速箱齿轮、联轴器和齿轮轴、十字销头、花键轴套等	油淬 25 ~ 60
		20CrNi3		950	11	55	100				心部 30 ~ 45 HRC			
		20CrMnTi		1100	10	45	70							
		20MnVB		1100	10	45	70							
		20CrMnMo		1200	10	45	70							
		12Cr2Ni4		1100	10	50	90				表面 58 ~ 63		用于受重载和强烈磨损的重要大型零件, 如飞机坦克变速箱齿轮, 内燃机车主动牵引齿轮, 柴油机车轴、连杆、缸头螺栓等	油淬 $\geq 100$
		20Cr2Ni4		1200	10	45	80				心部 35 ~ 45 HRC			
		18Cr2Ni4W		1200	10	45	100							
		16SiMn2WV		1200	10	45	80							
15SiMn3MoWV		1200	10	45	100									
15CrMn2SiMo		1200	10	45	80									

续表

材料	组织、性能特点和工作条件	牌号	热处理		力学性能 $\geq$						硬度		应用示例	临界淬透直径/mm
			淬火/°C	回火/°C	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>	HB	HRC			
调质钢	低淬透性钢 含碳量0.25%~0.50%，要求硬度、强度、耐磨性为主的上限，要求高塑性和韧性的零件取下限 主合金元素有Cr、Mn、Ni、Si等，用以提高淬透性，强化铁素体，另加入少量细化晶粒(如W、Mo、V、Ti等)和防止回火脆性(如Mo、W)的元素 调质钢一般是经调质后获得回火索氏体组织，具有强度、硬度、塑性和韧性良好配合的综合力学性能 用于承受动载荷的重要零件	45	840水	560	650	360	17	35	40	210~250		用于小截面的零件，如各种小轴、小齿轮、螺栓等 此类钢在一般机械制造中应用很广 如零件力学性能要求不高，可用正火代替调质	水淬 15~30	
		50	830水	580	700	400	13	34	25					
		40Mn	840水	600	800	520	18	45	50					
		50Mn	820水	580	800	550	8	40	35					
		40Cr	850油	520水、油	1000	800	9	45	58	250~350		用于中等截面、中载零件，如曲轴、齿轮、连杆、螺栓等。在内燃机车、汽车、拖拉机、机床上应用很广，其中，用得最多的是40Cr(可用40MnB、35SiMn等代替)；38CrMoAl是典型氮化钢	油淬 25~45	
	中等淬透性钢	35SiMn	900水	570水、油	900	750	15	45	58					
		40MnB	850油	500水、油	1000	800	10	45	58					
		40CrV	880油	650水、油	900	750	10	50	88					
		38CrMoAl	940水、油	640水、油	1000	850	14	50	88					
		40CrNi	820油	500水、油	1000	800	10	45	68	250~350		用于截面较大、受载较重的零件，如大截面的曲轴、连杆、变速箱主动轴等，其中，40CrNi可用40MnMoB等代替	油淬 45~75	
	较高淬透性钢	40CrMn	840油	550水、油	1000	850	9	45	58					
		35CrMo	850油	550水、油	1000	850	12	45	78					
		42CrMo	850油	560水、油	1100	950	12	45	78					
		30CrMnSi	880油	520水、油	1100	900	10	45	48					
		37CrNi3	820油	500水、油	1150	1000	10	50	60					
高淬透性钢	37SiMn2MoV	870水、油	650水、油	1000	850	12	50	78	250~350		用于大截面、受重载零件，如汽轮机主轴、叶轮、电力机车大齿轮等	油淬 $\geq 75$		
	40CrNiMo	850油	600水、油	1000	850	12	55	98						
	40CrMnMo	850油	600水、油	1000	850	10	45	78						



续表

材料	组织、性能特点和工作条件	热处理		力学性能 $\geq$						应用示例	临界淬透直径/mm	
		淬火/°C	回火/°C	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>	硬度			
非调质钢	微合金化的非调质钢，即在中碳钢基础上添加微量钒、钛、铌等元素的钢材在轧后施行控制冷却。用这种钢材加工出的工件可免除毛坯的调质处理，其力学性能不低于甚至高于调质处理的中碳钢和中碳低合金钢。右列三种牌号的非调质钢的金相组织为珠光体+铁素体，晶粒度为5~7。非调质钢是1970年开发出来的。	调质		875~885	660~670	17~19	55~57	60~63	231~248HBS		这里列出的是几种用于柴油机连杆的非调质钢。目前这类非调质钢已广泛用于曲轴连杆、半轴、齿轮轴等汽车、拖拉机零件。	
		锻后空冷		875~890	610~630	17~20	46~50	45~50	249~260HBS			
		锻后空冷		875~932	610~634	15~18	46~50	50~72.5	260~277HBS			
		锻后空冷		970~1123	684~765	12~16	32~46	47.5~65	265~288HBS			
几种非调质钢和调质钢的锻造工艺和控冷方式				连杆抗拉试验结果						疲劳抗力的安全系数		
钢号	加热温度/°C	始锻温度/°C	终锻温度/°C	控冷方式	断裂负荷平均值/kN	最小截面积/mm <sup>2</sup>	整体抗拉强度/MPa	强度比/%	处理工艺	疲劳抗力/kN	安全系数	强度比/%
S53C(调质钢)	1200±10	1100±10	950±20	锻后调质	221	257	976	100	调质	57.7	1.7	100
35MnVS	1210±10	1120±10	960±20	先空冷后堆冷	230	257	1021	104	锻后空冷	85.0	2.5	147
40MnVS	1200±10	1100±10	950±20		242	257	1102	112	锻后空冷	77.5	2.3	134
35MVNbS	1210±10	1120±10	960±20		286	257	1167	120	锻后空冷	89.1	2.6	154
新型准贝氏体钢	准贝氏体钢是在贝氏体钢合金化的基础上添加适量硅而成的。硅一方面强烈抑制碳化物析出，另一方面增加组织中残余奥氏体含量及其稳定性。与一般结构钢相比，在同等强度水平下，准贝氏体钢具有更高的塑性，冲击韧性的提高非常显著，良好的强度与塑性配合以及循环硬化特征，使准贝氏体钢具有低缺口敏感性和高疲劳强度。	牌号	热处理		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>	应用		
		工程构件高强度准贝氏体钢	热扎	692	—	10.5	—	—	49	高强度板材、型材工程构件		
		机器零件用高强度准贝氏体钢	热扎+高温回火	585	490	28.0	—	—	202			
		机器零件用超高强度准贝氏体钢	正火+高温回火	1137	950	16.7	59.0	91	石油钻采设备、重型杆、高强度链环、高强度钢筒、重载渗碳齿轮等			
		机器零件用超高强度准贝氏体钢	正火+低温回火	1270	980	15.0	58.0	87				
			热扎+低温回火	1570	1310	14.0	50.0	71	重载弹簧、耐磨板、锥齿、潜孔钻头			
			正火+低温回火	1849	1581	10.1	51.0	38				
			热扎+低温回火	1025	—	12.0	30.0	38	需焊接的耐磨构件、衬板、斗齿			
			正火+低温回火	1746	—	6.9	23.0	16				

续表

材料	组织、性能特点和工作条件	热处理		力学性能 $\geq$						应用示例			临界淬透直径 /mm	
		淬火 / $^{\circ}\text{C}$	回火 / $^{\circ}\text{C}$	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm $^{-2}$	硬度		$\delta_5$ /%	$\sigma_{0.2}$ /MPa		$\psi$ /%
									HB	HRC				
高强度准贝氏体钢与强度相当的一般钢号力学性能比较														
新型准贝氏体钢	准贝氏体钢焊后空冷相变应力较小,抗裂纹能力很大,因而具有优异的焊接性能。其破断抗力较高,并且在磨损过程中残余奥氏体受形变诱发转变为高碳马氏体,因而表现出优良的耐磨性。奥氏体良好的塑性,可以缓解应力集中,协调塑性变形,使钢的成形加工性较一般贝氏体钢更为优越	钢号	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	$A_{KV}$ /J	钢号	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	$A_{KV}$ /J	
		BZ-11(准贝氏体钢)	1137	950	17	59	73	40CrNiMoA	$\geq 980$	$\geq 835$	$\geq 12$	$\geq 55$	$\geq 41$	
		BZ-15(准贝氏体钢)	1270	980	15	58	70	18Cr2Ni4WA	$\geq 1175$	$\geq 835$	$\geq 10$	$\geq 45$	$\geq 41$	
		Fortweld70(贝氏体钢)	1164	920	20	62	24	23MnNiCrMo54	$\geq 1180$	$\geq 980$	$\geq 10$	$\geq 45$	$\geq 52$	
本栏有关系列新型准贝氏体钢的常规力学性能数据由西北工业大学康沫狂教授提供,若需详细资料,请向康教授及其课题组索取														
低淬透性含钛优质碳素结构钢	含碳量为 0.55% ~ 0.70%,并含有 0.03% ~ 0.10% 的 Ti 这类钢一般是经正火后再进行感应加热表面淬火	牌号	正火 830 $\pm$ 10		550	$\sigma_{0.2}$ 300	$\delta_5$ 16	35				感应加热表面淬火 后 54 ~ 57	用于齿轮的全感应加热表面淬火,获得沿齿廓分布的硬化层,而达到齿轮渗碳时的硬化效果,在某些场合代替渗碳而简化工艺 适用齿轮模数:55DTi, $\leq 5\text{mm}$ ;60DTi,5 ~ 8mm	8 ~ 10 $\left(\frac{\text{HRC}}{3} < 47\right)$  10 ~ 12.5 $\left(\frac{\text{HRC}}{3} < 50\right)$  $\left(\frac{\text{HRC}}{3} < 55\right)$
		55DTi												
		60DTi	正火 825 $\pm$ 10		600	$\sigma_{0.2}$ 350	$\delta_5$ 14	30						
		70DTi	正火 815 $\pm$ 10		700	$\sigma_{0.2}$ 400	$\delta_5$ 12	25						





续表

材 料	组织、性能特点和 工作条件	牌 号	热处理		力学性能 $\geq$						硬 度		应用示例	临界淬 透直径 /mm
			淬火 /°C	回火 /°C	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>	HB	HRC			
低 碳 马 氏 体 钢	含碳量不超过0.25% (有时达0.4%) 合金元素总量一般不超 过3%,主要有Cr、Mn、Si (提高淬透性)、Mo、V(细 化晶粒)等 热处理是经强烈淬火获 得板条状低碳马氏体,是 钢材强韧化的重要途径之 一。与调质钢相比,强度 较高,冷脆转化温度低,而 其他性能则与之相当 用在要求具有比调质钢 更好的综合力学性能处	16Mn	900°C 淬 10% 盐水, 200°C 回火	回火 /°C	1440	1220	11.4	40.1	49.8			45	代替调质钢可获得高的强 度和韧性,如用15MnVB 代替40Cr制造螺栓;用 大截面低碳马氏体钢 20SiMn2MoVA 等代替 40Cr等调质钢制造吊 环、吊卡等石油钻井零 件,可大大提高使用 寿命	7~10 (>95%M)
		20Mn	880°C 淬 10% 盐水, 200°C 回火		1500	1260	10.8	42.5	95			44		
		20Mn2	880°C 淬 10% 盐水, 250°C 回火		1500	1265	12.4	52.5	83			45		
		20MnV	880°C 淬 10% 盐水, 200°C 回火		1435	1245	12.5	43.3	89~126			45		
		20Cr	880°C 淬 10% 盐水, 200°C 回火		1450	1200	10.5	49	$\geq 70$			45		
		20CrMnTi	880°C 淬 10% NaOH, 水溶液,200°C 回火		1510	1310	12.2	57	80~100			45		
		20CrMnSi	800°C 淬水,200°C 回火		1575	1315	13	53	93~107			47		
		15MnV	880°C 淬 10% NaCl 水溶液,200°C 回火		1390	1169	14.8	63.9	112			43		
		15MnVB	880°C 淬 10% NaCl 水溶液,200°C 回火		1353	1133	12.6	51	95			43		
		20MnVB	880°C 淬 10% NaCl 水溶液,200°C 回火		1435	1245	12.5	43	—			45		
		20MnTiB	870°C 淬 10% 盐水, 200°C 回火		1450	1230	11.3	55	104					
		25MnTiB	850°C 油淬,200°C 回火		1535	1330	12.5	54	96					
		25MnTiBRE	850°C 油淬,200°C 回火		1700	1345	13	57.5	95					
		20SiMn2MoVA	900°C 油淬,250°C 回火		1511	1238	13.4	58.5	160			45.8		
		25SiMn2MoVA	900°C 油淬,250°C 回火		1676	1378	11.3	51.0	68					
18Cr2Ni4WA	890°C 油淬,220°C 回火		1496	1214	9.3	38.1	—							
20Cr2Ni4A	880°C 油淬,250°C 回火		1437	1192	13.8	59.6	—			44.5				
25Si2Mn2CrNiMoV	450 ± 10	300	1765	1422	13.5	59.3	89			534HV				
40CrNi2Mo	900 ± 10	230	1900	1560	10	35	—			531HV				

续表

材料	组织、性能特点和工作条件	牌号	热处理		力学性能 $\geq$						应用示例	临界淬透直径 /mm		
			淬火 / $^{\circ}\text{C}$	回火 / $^{\circ}\text{C}$	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm $^{-2}$	硬度				
											HB	HRC		
弹簧钢	碳素弹簧钢含碳量为0.6%~0.9%。合金弹簧钢含碳量为0.45%~0.75% 主加元素为Si、Mn,起提高淬透性和强化作用,并加入少量W、V、Cr等防止石墨化和提高弹性极限、屈服比和耐热性的元素 热处理一般是淬火加中温回火,获得回火屈氏体组织,硬度为41~48HRC,个别高强度钢可达47~52HRC。重要弹簧热处理后再喷丸处理,以提高疲劳极限。对高温工作或精密弹簧,有时还进行松弛处理 <sup>①</sup> 。对一般小于 $\phi 10\text{mm}$ 的小弹簧,冷卷成形后不必淬火,而只进行250~300 $^{\circ}\text{C}$ 去应力处理 要求高的抗拉强度、高的屈服比、高的疲劳强度(尤其是缺口疲劳)及高的弹性极限,并有足够的塑性和韧性 用在频繁交变载荷下,主要是疲劳破坏	65	840油	500	1000	800	9	35				30~45	小于 $\phi 12\text{mm}$ 的弹簧	7~12
		85	820油	480	1100	900	7	30				40~50	小于 $\phi 12\text{mm}$ 的弹簧	
		65Mn	830油	540	1000	800	8	30				35~40	小于 $\phi 12\text{mm}$ 的弹簧	8~15
		55Si2Mn	870水、油	480	1300	1200	6	30				45~48	$\phi 20\sim 25\text{mm}$ 的弹簧	20~25
		60Si2Mn	870油	480	1300	1200	5	25				45~48	$\phi 25\sim 30\text{mm}$ 的弹簧	25~30
		50CrVA	850油	500	1300	1150	$\delta_5$ 10	40				43~45	$\phi 30\sim 50\text{mm}$ 的弹簧	30~50
		60Si2CrVA	850油	410	1900	1700	$\delta_5$ 6	20				45~52	小于 $\phi 50\text{mm}$ 的弹簧	50
		55SiMnMoVA	880油	550	1400	1300	6	30				46~48	小于 $\phi 70\text{mm}$ 的弹簧	75
		55SiMnVB	860油	460	1400	1250	5	30				40~45	小于 $\phi 50\text{mm}$ 的弹簧	50

续表

材料	组织、性能特点和工作条件	牌号	热处理		力学性能 $\geq$						应用示例	临界淬透直径/mm
			淬火/°C	回火/°C	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>	硬度		
	用于高温、腐蚀以及特殊条件的工作	3Cr13	1050°C 油淬, 450°C 回火		175	$\sigma_{0.2}$ 143	15	46			17~50	
		1Cr18Ni9Ti	冷拔钢丝 $\phi$ 1mm 冷拔钢丝 $\phi$ 4~5mm		180~200 140~160							
		0Cr17Ni7Al	(1) 1050°C, 空冷 → 950°C, 10min + 4min/mm, 空冷 → -73°C, 8h → 510°C, 1h, 空冷 (2) 1050°C, 空冷 → 60% 以上冷加工 → 480°C, 1h, 空冷		(1) 158 (2) 186	147 182	$\delta_4$ 6 $\delta_4$ 2				47 49	
		0Cr15Ni7Mo2Al			(1) 164 (2) 186	152 182	$\delta_4$ 6 $\delta_4$ 2				48 50	
		0Cr12Ni4Mn5Mo5TiAl	冷加工 60% → 520°C, 空冷		185							
		00Cr18Co9Mo5TiAl	820°C, 30min, 空冷 → 480°C, 3h, 空冷		206	$\sigma_{0.2}$ 204	11.8	57			52~55	
		Cr14Ni25Mo(A286)	980°C, 1h, 油淬 → 30% 冷加工 → 650~700°C, 8~19h, 空冷		127~138	$\sigma_{0.2}$ 110~121	$\delta_4$ 10~16	43~52				
		Ni36CrTiAlMo8	1000~1050°C 水淬 → 750°C, 4h, 空冷		140~150	$\sigma_{0.2}$ 110~115	6~7				46	
		Ni42CrTiAl	910°C ± 10°C 水淬 → 600°C, 3h, 空冷		120~125	$\sigma_{0.2}$ 80~100	10~15				35~38	
		Inconel718	1040°C, 1h, 空冷 → 720°C, 8h, 炉冷, 50°C/h → 620°C, 8h, 空冷		139	$\sigma_{0.2}$ 118.5	25	48				
		Co40NiCrMo	1100~1150°C 水冷 → 冷加工 → 400~450°C, 4h, 空冷		250~270	$\sigma_{0.2}$ 230~250	3~5				54~58	

特殊性能弹簧用钢和弹性合金

续表

材料	组织、性能特点和工作条件	牌号	热处理		力学性能 $\geq$						应用示例	临界淬透直径 /mm		
			淬火 / $^{\circ}\text{C}$	回火 / $^{\circ}\text{C}$	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ / $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	硬度				
										HB			HRC	
轴 承 钢	含碳量 0.95% ~ 1.15% 含铬量 0.40% ~ 1.65%, 以增加淬透性和耐磨性。对大型轴承常加入 Si、Mn、Mo、V, 进一步提高淬透性和耐磨性。为保证疲劳强度, S 和 P 分别 $\leq 0.020\%$ 和 $\leq 0.027\%$ 热处理一般是先球化退火, 然后淬火加低温回火, 得到回火马氏体和分布均匀的细粒状碳化物及少量残余奥氏体, 以保证高而均匀的硬度、耐磨性、弹性极限、接触疲劳强度、足够韧性及一定的耐蚀性 精密轴承及偶合件淬火后即进行 $-80 \sim -70^{\circ}\text{C}$ 冷处理, 并在磨削后进行低温时效 要求高而均匀的硬度和耐磨性、高的弹性极限和接触疲劳强度、足够的韧性, 同时在大气或润滑剂中具有一定的耐蚀能力 用在承受高压而集中的周期性交变载荷, 同时不但存在着转动, 而且还有由于滑动产生极大的摩擦处	GCr6	800 ~ 820	150 ~ 170								小于 $\phi 13\text{mm}$ 滚珠 $\phi 10\text{mm}$ 滚柱	62 ~ 64	
		GCr9	810 ~ 830	150 ~ 170									小于 $\phi 20\text{mm}$ 滚珠 $\phi 17\text{mm}$ 滚柱	62 ~ 64
		GCr9SiMn	810 ~ 830	150 ~ 160									$\phi 25 \sim 50\text{mm}$ 滚珠 $\phi 18 \sim 22\text{mm}$ 滚柱	62 ~ 64
		GCr15	820 ~ 840	150 ~ 160									$\phi 25 \sim 50\text{mm}$ 滚珠 柴油机精密零件	62 ~ 64
		GCr15SiMn	820 ~ 840	150 ~ 170									$\phi 50 \sim 100\text{mm}$ 滚珠 大于 $\phi 22\text{mm}$ 滚柱	62 ~ 64
		GSiMnV	780 ~ 820	160									代 GCr15	62 ~ 64
		GSiMnMoV	780 ~ 820	160									代 GCr15 GCr15SiMn	62 ~ 64
		GSiMnMoVRE	805	150									代 GCr15 GCr15SiMn	62 ~ 64

续表

材料	组织、性能特点和工作条件	牌号	热处理		力学性能 $\geq$						硬度		应用示例	临界淬透直径/mm	
			淬火/°C	回火/°C	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>	HB	HRC				
不锈 钢	含碳量:马氏体不锈钢 0.1%~0.4%;铁素体不锈 钢 $\leq 0.12\%$ ~ $0.15\%$ ; 奥氏体不锈 钢 $\leq 0.2\%$ 。 不锈 钢 含 大 量 的 Cr 和 Ni,作用是提高电极电位, 形成 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 保护膜,当 Cr $\geq 11.7\%$ 时可使钢成为单 一合金属素体组织,大量 的 Cr 和 Ni 可使钢呈单 一 奥氏体状态。 马氏体型钢靠热处理强 化,得到回火索氏体或回 火马氏体,有较高强度、硬 度和耐磨性,耐蚀性一般。 铁素体型钢和奥氏体型 钢不能用热处理强化,主 要靠形变强化。 铁素体型钢一般经退火 (抗晶间腐蚀)使用,可抗 硝酸,抗高温氧化,耐蚀性 好。强度较低,切削加工 性比奥氏体型钢好。 奥氏体型钢一般进行固 溶处理 <sup>②</sup> ,对含 Ti 和 Nb 的钢必须进行稳定化处理 和去应力处理。耐蚀性 强,塑性、韧性好,切削加 工性差。 用在酸、碱、盐类溶液 中、潮湿大气中或在高温 下的蒸汽和气体作用下工 作,一般承受压力或交变 载荷,易发生电化学或化 学腐蚀处。	0Cr13	1000~1050 水、油	700~790	500	350	24	60					用于弱腐蚀介质中受冲 击载荷的零件,如汽轮机 叶片、水压机阀、内燃机车 水泵轴、结构架、螺栓、螺 母等		
		1Cr13	1000~1050 水、油	700~790	600	420	20	60	90						
		2Cr13	1000~1050 水、油	660~770	660	450	16	55	80						
		3Cr13	1000~1050 水、油	200~300	1600	1300	3	4				48		用于具有较高硬度和耐 磨性的医疗器具、量具、刃 具、针阀、弹簧等	
		4Cr13	1050~1100 油	200~300	1680	1400	4	8				50			
		9Cr18	1000~1050 油	200~300									55	滚珠轴承、刃具、量具、 内燃机车动密封环等	
		Cr17	退火 750~800	—	400	250	20	50	20~80		156			用于硝酸及食品工业设 备等	
		Cr17Mo2Ti	退火 750~800	—	500	300	20	55			145			用于有机酸及人造纤维 工厂设备等	
		0Cr18Ni9	1080~ 1130水	—	500	200	45	60						化工用冲压耐蚀性焊条 的焊芯等	
		1Cr18Ni9	1100~ 1150水	—	550	200	45	50						用于耐酸设备、抗磁仪 表、医疗器械等	
		2Cr18Ni9	1100~ 1150水	—	580	220	40	55							
		1Cr18Ni9Ti <sup>③</sup>	1100~ 1150水	—	520	200	40	55							
Cr18Ni18Mo2Cu2Ti	1050~ 1100水	—	650	230	40	55									

续表

材料	组织、性能特点和工作条件	牌号	热处理		力学性能 $\geq$						应用示例	临界淬透直径 /mm	
			淬火 / $^{\circ}\text{C}$	回火 / $^{\circ}\text{C}$	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ / $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	硬度			
耐热钢	耐热钢应有良好的热安定性(对高温气体的腐蚀抗力)和热强性,主要是抗晶间氧化,基本途径是合金化。主合金元素是Cr、Si、Al,以生成致密氧化保护膜。同时加入W、Mo、V等能提高钢的再结晶温度,明显提高高温强度的元素Si、Al,形成的氧化层在高温下变脆,而且Al的氧化层易剥落,所以需与Cr配合使用 在高温下承受不同机械载荷或同时承受摩擦的条件下工作	珠光体型	930 ~ 960 空冷	680 ~ 730	450	240	21		48		在550 $^{\circ}\text{C}$ 以下工作的零件,如过热器、高中压蒸汽导管等		
		马氏体型	980 ~ 1020 空冷	720 ~ 760	480	260	21		48		580 $^{\circ}\text{C}$ 以下的汽轮机叶片		
			1000 油	680 ~ 700	750	600	15	48		48		650 $^{\circ}\text{C}$ 以下的内燃机排气阀	
			1050 油	700 油	900	600	20	55					
		奥氏体型	1100 ~ 1150 水	—	520	200	40	55				适用于500 ~ 650 $^{\circ}\text{C}$ 工作的零件,如喷气发动机排气管、柴油机进排气阀	
耐热钢		4Cr14Ni14W2MoTi	1170 ~ 1200 固溶	750 时效	720	320	15	35	40		用于在700 ~ 1000 $^{\circ}\text{C}$ 下工作的零件,如汽轮机叶片、燃烧室等		
		镍基合金	1130 ~ 1180 空冷	—	750		40						
耐磨钢	最常用的是高锰钢ZGMn13,含碳量1.0% ~ 1.3%,含锰11% ~ 14%,高锰钢只有在全部获得奥氏体组织时才呈现出良好的韧性和耐磨性。而且奥氏体只有在受到剧烈的冲击力或压力时产生加工硬化后,才能提高硬度(450 ~ 550HB),具有高的耐磨性 热处理是经水韧处理获得单一奥氏体 在同时受到严重磨损及强烈冲击的条件下工作	铁素体灰铸铁	水韧处理	1050 ~ 1100 $^{\circ}\text{C}$ 加热,淬入温度低于20 $^{\circ}\text{C}$ 的盐水	560 ~ 700	300	15	15	150 ~ 200	180 ~ 200	用于工作时受严重磨损及强烈冲击的工件,如挖掘机斗、齿斗、铁道道岔、拖拉机、破碎机的颧板和坦克履带板等		
		HT100	一般只进行去应力退火(高温时效)。用表面有白口时,用850 ~ 900 $^{\circ}\text{C}$ 退火消除,对机床导轨等耐磨件可用高(中)频或电接触加热表面淬火处理。淬硬层:电接触加热为0.15 ~ 0.35mm;高频加热为1.1 ~ 2.5mm;中频加热为3 ~ 4mm。硬度 > 50HRC	100							手工铸造用砂箱、盖、下水管、底座、手轮等		
灰铸铁	含碳量2.5% ~ 4.0%,硅1.0% ~ 3.0%及少量的锰、硫和磷 普通灰铸铁组织为铁素体或珠光体加片状石墨,经孕育处理的变质铸铁为在细珠光体基体上分布着细小片状石墨 灰铸铁的抗拉强度较低,但具有良好的耐磨性、消震性和工艺性能 用于承受压力和要求消震性或经受摩擦的条件	铁素体-珠光体灰铸铁			150						底座、手轮、刀架、水泵壳、阀体、阀盖等		
		HT150			200						汽缸体、缸盖、飞轮、机床床身等		
		珠光体灰铸铁			250						机床床身、立柱、机座、汽缸体、凸轮、机床导轨等需表面淬火的铸件		
		变质铸铁			300								
		HT250			350								
		HT300											
		HT350											



续表

材料	组织、性能特点和工作条件	牌 号	热处理		力学性能 $\geq$							应用示例	临界淬透直径 /mm		
			淬火 / $^{\circ}\text{C}$	回火 / $^{\circ}\text{C}$	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$a_k$ / $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	硬度					
球 墨 铸 铁	大致化学成分为 C3.8%~4.0%, Si2.0%~2.8%, Mn 0.6%~0.8%, P < 0.1%, S < 0.04%, Mg0.03%~0.08% 组织为球状石墨和基体,基体依成分、铸造冷却速度、热处理而不同,有铁素体、铁素体+珠光体、珠光体、回火索氏体、下贝氏体等 球墨铸铁中的石墨呈球形,对基体削弱作用和应力集中的程度较小,故可与钢一样,可用表面合金化和热处理强化进一步提高力学性能 球墨铸铁抗拉强度较高,小能量多次冲击下的疲劳强度接近于钢,而 $\sigma_s/\sigma_b$ 比钢约高40%,耐磨性也比钢好。但减震性比灰铸铁差	铁素体球铁 QT400-17 QT420-10	相应热处理 退火		400 420	$\sigma_{0.2}$ 250 270	17 10	60 30					汽车、拖拉机底盘零件, 阀门的阀盖和阀体		
		铁素体-珠光体球铁 QT500-05	相应热处理 退火		500	$\sigma_{0.2}$ 350	5	—			147~ 241		机油泵齿轮等		
		珠光体球铁 QT600-02 QT700-02	相应热处理 正火		600 700	$\sigma_{0.2}$ 420 490	2 2	—			229~302 231~304		柴油机、汽油机的曲轴, 机床主轴等		
		回火索氏体基体球铁 QT800-02	相应热处理 调质		800	$\sigma_{0.2}$ 560	2	—			241~ 321		空压机、冷冻机的缸体、缸套等		
		下贝氏体基体球铁 QT1200-01	相应热处理 等温淬火		1200	$\sigma_{0.2}$ 840	1	30				$\geq 38$		汽车、拖拉机齿轮, 柴油机凸轴等	
碳素结构钢	塑性较高,有一定强度,作普通零件及金属结构件用 制造中等应力的零件	Q195、Q215 Q235 Q255 Q275	一般不经热处理而直接采用 一般也可经正火或调质处理	普通低合金钢									含碳量 < 0.2%, 合金元素 < 3%, 但 $\sigma_b$ 尤其是 $\sigma_s$ 比相等含碳量的碳素结构钢高; 并有更低的冷脆临界温度, 加入 Mn、Si 等元素主要是对铁素体进行固溶强化和细化晶粒等 普通低合金钢一般在正火状态使用, 其组织为铁素体 + 索氏体		

① 是对弹簧预先加上一个超过其工作载荷的变形量(弹性变形), 然后固定起来加热, 温度略高于弹簧的工作温度, 保温 8~24h, 使弹簧预先发生了应力松弛和永久变形, 从而使其以后在工作中的松弛现象大大减轻, 达到尺寸稳定的目的。  
② 是指把合金加热到适当温度, 保温, 使其中某些组元溶解到基体里形成均匀的固溶体, 然后迅速冷却, 使溶入物留在基体内成为过饱和固溶体, 从而改善其延展性和韧性的处理。  
③ 除专用外, 一般情况下, 不推荐使用。

## 1.4 如何正确地提出零件的热处理要求

工作图上应注明的热处理要求

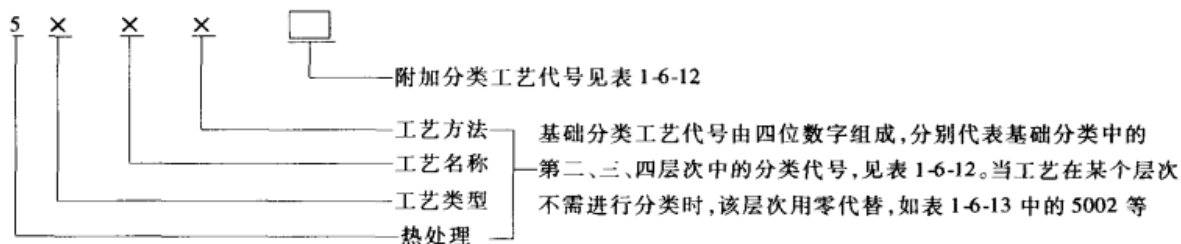
表 1-6-11

方法	一般零件			重要零件				
普通热处理	①热处理方法 ②硬度标注波动范围一般为:HRC在5个单位左右;HB在30~40个单位左右			①热处理方法 ②零件不同部位的硬度 ③必要时提出零件不同部位的金相组织要求,例如				
	已知	各种硬度的近似换算式	适用范围	零件名称	材料	热处理	硬度	金相组织
	HRA	$HRC \approx 2HRA - (101 \sim 101.6)$	39~51HRC	连杆螺栓	40Cr	调质	31HRC	回火索氏体,不允许有块状铁素体
		$HRC \approx 2HRA - (101.8 \sim 102.4)$	52~61HRC	柴油机凸轮轴	QT600-3	等温淬火	45~50 HRC	下贝氏体+球状石墨
		$HRC \approx 2HRA - (102.6 \sim 102.8)$	63~65HRC	汽车板簧	60Si2Mn	淬火、回火	40~45 HRC	回火屈氏体
	HRC	$HB \approx 2500 / [(118 \sim 101) - HRC]$	30~51HRC	铲齿	ZGMn13	水韧处理	180~200 HB	奥氏体
HRB	$HB \approx 7300 / (135 - HRB)$		车床主轴	45	整体调质,轴颈高频淬火	200~230HB 45~50HRC	回火索氏体 回火马氏体	
	心算可粗略为:HRC $\approx$ (1/10)HB; 当HB<400时HV $\approx$ HB;HB $\approx$ 7HS							
表面淬火	①热处理方法 ②硬度 ③淬火区域			①热处理方法,必要时提出预先热处理要求 ②表面淬火硬度、心部硬度 ③淬硬层深度 ④表面淬火区域 ⑤必要时提出变形要求				
渗碳	①热处理方法 ②硬度 ③渗碳层深度,目前工厂多用下述方法确定			①热处理方法 ②淬火、回火后表面硬度、心部硬度 ③渗碳层深度 ④渗碳区域 ⑤必要时提出渗碳层含碳量,一般在下述范围				
	使用场合		渗碳层深度	状态	含碳量(质量分数)/%			
	碳素渗碳钢	由表面至过渡层1/2处	表面过共析区		共析区	亚共析(过渡)区		
	含铬渗碳钢	由表面至过渡层2/3处	炉冷	0.9~1.2	0.7~0.9	<0.7		
	合金渗碳钢汽车齿轮	过共析、共析、过渡区总和	空冷	1.0~1.2	0.6~1.0	<0.6		
④渗碳区域			⑥必要时提出心部金相组织要求					
氮化(渗氮)	①热处理方法 ②表面和心部硬度(表面硬度用HV或HRA测定) ③氮化层深度(一般应 $\leq$ 0.6mm) ④氮化区域			①热处理方法 ②除一般零件的几项要求外,还需提出心部力学性能 ③必要时,还要提出金相组织及对氮化层脆性要求(直接用维氏硬度计压头的压痕形状来评定,评定级别见表1-6-5)				
碳氮共渗	①中温碳氮共渗与渗碳同 ②低温碳氮共渗与氮化同			①中温碳氮共渗与渗碳同 ②低温碳氮共渗与氮化同				



金属热处理工艺分类及代号的表示方法 (摘自 GB/T 12603—1990)

热处理工艺代号标记规定如下 (铝合金热处理工艺代号可参照执行):



多工序热处理工艺代号用连接符号将各工艺代号连接组成,但除第一个工艺外,后面的工艺均省略第一位数字“5”,如 5151-331G 表示调质和气体渗氮。

表 1-6-12

工艺总称	代号	工艺类型	工艺代号	基础分类				附加分类												说明				
				工艺名称	代号	加热方法	代号	1. 加热		2. 退火		3. 淬火冷却				4. 渗碳、碳氮共渗、后冷却								
								介质	代号(大写)	工艺	代号	介质	代号	方法	代号	方法	代号							
热处理	5	整体热处理	1	退火	1	加热炉	1	固体	S	去应力退火	e	空气	a	压力淬火	p	直接淬火	g							
				正火	2																			
				淬火	3																			
				淬火和回火	4	感应	2	液体	L	扩散退火	d	油	e	双液淬火	d									
				调质	5																			
				稳定化处理	6	火焰	3	气体	G	再结晶退火	r	水	w	分级淬火	m									
				固溶处理;水韧处理	7																			
				固溶处理和时效	8																			
			表面淬火和回火	1	电阻											4	真空	V	石墨化退火	g	盐水	b	等温淬火	n
			物理气相沉积	2																				
			化学气相沉积	3		激光	5	保护气氛	P	去氢退火	h	有机水溶液	y	形变淬火	f									
			等离子体化学气相沉积	4																				
		表面热处理	2	化学热处理	3	渗碳	1	电子束	6	可控气氛	C	球化退火	s	盐浴	s	冷处理	二次加热淬火	t						
						碳氮共渗	2																	
						渗氮	3																	
						氮碳共渗	4	等离子体	7	流态床	F	等温退火	n											
						渗其他非金属	5																	
						渗金属	6																	
						多元共渗	7																	
						熔渗	8	其他	8															
		表面淬火	h																					

① 当附加分类工艺代号多于一个字母时,按表中序号顺序标注  
 ② 当对冷却介质及方法需用表中两个或以上字母表示时,用加号将两个或几个字母连接起来,如 s+m 代表盐浴分级淬火  
 ③ 化学热处理中,没有表明渗入元素的各种工艺,如多元渗、渗金属、渗其他非金属和熔渗,可以在其代号后用其化学符号表示出渗入元素,并用括号括起来,如 5336 (Cr), 5337 (Cr-V) 分别代表渗铬和铬钒共渗  
 ④ 多工序热处理工艺代号用连接符号将各工艺代号连接组成,但除第一个工艺外,后面的工艺均省略第一位数字“5”,如 5151-331G 表示调质和气体渗氮

表 1-6-13

常用热处理工艺及代号的表示方法示例

工艺	代号	工艺	代号	工艺	代号	工艺	代号
热处理	5000	压力淬火	5131p	火焰淬火和回火	5213	碳氮共渗	5320
感应热处理	5002	双液淬火	5131d	电接触淬火和回火	5214	渗氮	5330
火焰热处理	5003	分级淬火	5131m			液体渗氮	5331L
激光热处理	5005	等温淬火	5131n	激光淬火和回火	5215	气体渗氮	5331G
电子束热处理	5006	形变淬火	5131f	电子束淬火和回火	5216	离子渗氮	5337
离子热处理	5007	淬火及冷处理	5131z			流态床渗氮	5331F
真空热处理	5000V	感应加热淬火	5132	物理气相沉积	5228	氮碳共渗	5340
保护气氛热处理	5000P	真空加热淬火	5131V	化学气相沉积	5238	渗其他非金属	5350
可控气氛热处理	5000C	保护气氛加热淬火	5131P	等离子体化学气相沉积	5248	渗硼	5350(B)
流态床热处理	5000F					固体渗硼	5351(B)S
整体热处理	5100	可控气氛加热淬火	5131C	化学热处理	5300	液体渗硼	5351(B)L
退火	5111			渗碳	5310	离子渗硼	5357
去应力退火	5111e	流态床加热淬火	5131F	固体渗碳	5311S	渗硅	5350(Si)
扩散退火	5111d	盐浴加热淬火	5131L	液体渗碳	5311L	渗硫	5350(S)
再结晶退火	5111r	盐浴加热分级淬火	5131Lm	气体渗碳	5311G	渗金属	5360
石墨化退火	5111g			真空渗碳	5311V	渗铝	5360(Al)
去氢退火	5111h	盐浴加热盐浴分级淬火	5131Ls + m	可控气氛渗碳	5311C	渗铬	5360(Cr)
球化退火	5111s			流态床渗碳	5311F	渗锌	5360(Zn)
等温退火	5111n	淬火和回火	5141	离子渗碳	5317	渗钒	5360(V)
正火	5121	调质	5151	渗碳及直接淬火	5311g	多元共渗	5370
淬火	5131	稳定化处理	5161	气体渗碳及直接淬火	5311Gg	硫氮共渗	5370(S-N)
空冷淬火	5131a	固溶处理,水韧处理	5171			铬硼共渗	5370(Cr-B)
油冷淬火	5131e			渗碳及一次加热淬火	5311r	钒硼共渗	5370(V-B)
水冷淬火	5131w	固溶处理和时效	5181			铬硅共渗	5370(Cr-Si)
盐水淬火	5131b	表面热处理	5200	渗碳及二次加热淬火	5311t	硫氮碳共渗	5370(S-N-C)
有机水溶液淬火	5131y	表面淬火和回火	5210			铬铝硅共渗	5370(Cr-Al-Si)
盐浴淬火	5131s	感应淬火和回火	5212	渗碳及表面淬火	5311h	熔渗	5380
						激光熔渗	5385
						电子束熔渗	5386

热处理技术要求在零件图上的表示方法 (摘自 JB/T 8555—1997)

表 1-6-14

零件	标注方法	图例
总则	<p>1) 技术要求中硬度和有效硬化层深度的指标值可用三种方法表示(同一产品的所有零件图上,应采用统一的表示)</p> <p>①一般采用:标出上、下限,如 <math>60 \sim 65\text{HRC}</math>, <math>\text{DC} = 0.8 \sim 1.2</math></p> <p>②也可采用:偏差表示法,如 <math>60^{+0.5}_0\text{HRC}</math>, <math>\text{DC} = 0.8^{+0.4}_0</math></p> <p>③特殊情况可只标下限值或上限值,如不小于 <math>50\text{HRC}</math>, 不大于 <math>229\text{HRS}</math></p> <p>2) 有效硬化层深度代号为:</p> <p>表面淬火回火                      DS</p> <p>渗碳或碳氮共渗淬火回火      DC</p> <p>渗氮                                      DN</p> <p>3) 复杂零件或其他原因导致技术要求难以标注,文字也难以表达时,则须另绘标注热处理技术要求的图,如右图要求零件硬度检测必须在指定点(部位)时,用如图中的测量点符号表示,指定硬度测量点位置时,应符合 JB/T 6050—1992 第 6 条规定</p>	<p>1. 复杂零件热处理的标注方法</p> <p>(a) 零件热处理标注</p> <p>表面硬度测量点      DS测量点</p> <p>(b) Y部热处理技术要求的标注</p> <p>DS测量点      表面硬度测量点</p> <p>(c) Z部热处理技术要求的标注</p>
正火、退火及淬火回火(含调质)零件	<p>正火、退火、淬火回火零件标注硬度要求一般用布氏硬度(GB/T 231)或洛氏硬度(GB/T 230)表示,也可以用其他硬度表示</p> <p>局部热处理零件需将有硬化要求的部位在图形上用点画线框出。轴对称零件或在不致引起误会情况下,也可用一条粗点画线画在热处理部位外侧表示,如右图</p>	<p>2. 局部热处理的标注方法</p> <p>(a) 范围表示法</p> <p>(b) 偏差表示法</p>

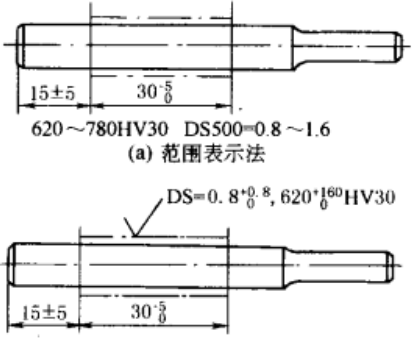
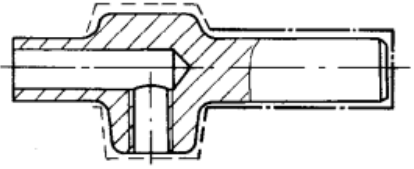
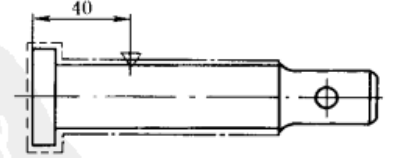
零件	标注方法	图例
表面淬火零件	<p>表面淬火的表面硬度可用维氏硬度 (GB/T 4340.1)、表面洛氏硬度 (GB/T 1818)、洛氏硬度 (GB/T 230) 表示。但标注包括两部分: 硬度值和相应的试验力。如 620~780HV30。试验力选取与最小有效硬化层深度有关, 见表 1-6-15</p> <p>有效硬化层深度的标注包括三部分: 深度代号、界限硬度值和要求的深度。界限硬度值可根据最低表面硬度值按表 1-6-16 选取, 特殊情况, 也可采用其他商定界限硬度值, 同样须在 DS 后标明</p>	<p>3. 局部感应加热淬火回火标注方法</p>  <p>(a) 范围表示法</p> <p>(b) 偏差表示法</p>
渗碳和碳氮共渗零件	<p>渗碳和碳氮共渗后淬火回火的零件的表面硬度, 通常用维氏硬度或洛氏硬度表示。对应的最小有效硬化层深度和试验力与表面淬火零件相同。其有效硬化层深度 DC 的表示法与 DS 基本相同, 只是它的界限硬度值是恒定的, 通常取 550HV1, 而且标注时一般可省略, 如右图所示。特殊情况下可不采用此值, 此时 DC 后必须注明商定的界限硬度值和试验力。图中要求渗碳后淬火回火部位用粗点画线框出; 有的部位允许同时渗碳淬硬, 也可以不渗碳淬硬, 视工艺是否有利而定, 用虚线表示; 未标注部位, 既不允许渗碳也不允许淬硬。推荐的 DC 及上偏差见表 1-6-23</p>	<p>4. 局部渗碳标注方法</p>  <p>局部渗碳淬火回火 53~63HRC DC = 1.2 ~ 1.7</p>
渗氮(氮化)零件	<p>表面硬度常用维氏硬度表示, 包括维氏硬度、小载荷维氏硬度 (见 GB/T 5030)、显微维氏硬度 (见 GB/T 4342) 三种。表面硬度值由于检测方法不同、有效渗氮层深度不同而有差异, 标注时应准确选择。有效渗氮层深度不大于 0.3mm 时按 GB/T 9451 执行, 大于 0.3mm 时按 GB/T 11354 执行。经协商同意, 也可以采用其他硬度检测方法表示。心部硬度有要求时, 应特别说明。心部硬度通常允许以预备热处理后的检测结果为准, 用维氏硬度、布氏硬度或洛氏硬度表示</p> <p>图样上标注渗氮层深度, 除非另有说明, 一般均指有效渗氮层深度, 其表示方法与 DS、DC 基本相同</p> <p>总渗氮层深度包括化合物层和扩散层两部分。零件以化合物层厚度代替 DN 要求时, 应特别说明。厚度要求随零件服役条件不同而改变, 一般零件推荐的化合物层厚度及公差值见表 1-6-23</p> <p>采用 2.94N(0.3kgf) 的维氏硬度试验力测量有效渗氮层深度 DN 时, DN 后不标注界限硬度值; 当采用其他试验力时, 应在 DN 后加试验力值, 如 DN HV0.5 = 0.3~0.4 (见表 1-6-17)</p> <p>右图所示为渗氮零件的标注示例, 渗氮部位边缘以粗点画线予以标注, 并规定了硬度检测点位置。虚线部位允许渗氮或不允许渗氮视对工艺是否有利, 由工艺决定。未标注部位不允许渗氮, 如需防渗, 必须说明</p>	<p>5. 渗氮零件的标注方法</p>  <p>局部渗氮 硬度不小于 800HV30 DN = 0.4 ~ 0.6, 脆性不大于 3 级</p>

表 1-6-15 最低表面硬度、最小有效硬化层深度与试验力之间的关系 (摘自 JB/T 8555—1997)

	最小有效硬化层深度 /mm	最低表面硬度 HV				最小有效硬化层深度 /mm	最低表面硬度 HV					
		400 ~ 500	> 500 ~ 600	> 600 ~ 700	> 700		400 ~ 500	> 500 ~ 600	> 600 ~ 700	> 700		
以维氏硬度表示时	0.05	—	HV0.5	HV0.5	HV0.5	0.45	HV10	HV10	HV30	HV30		
	0.07	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV1	0.5	HV10	HV30	HV30	HV50		
	0.08	HV0.5	HV0.5	HV1	HV1	0.55	HV30	HV30	HV50	HV50		
	0.09	HV0.5	HV1	HV1	HV1	0.6	HV30	HV30	HV50	HV50		
	0.1	HV1	HV1	HV1	HV1	0.65	HV30	HV50	HV50	HV50		
	0.15	HV3	HV3	HV3	HV3	0.7	HV50	HV50	HV50	HV50		
	0.2	HV5	HV5	HV5	HV5	0.75	HV50	HV50	HV50	HV100		
	0.25	HV5	HV5	HV10	HV10	0.8	HV50	HV100	HV100	HV100		
	0.3	HV10	HV10	HV10	HV10	0.9	HV50	HV100	HV100	HV100		
	0.4	HV10	HV10	HV10	HV30	1.0	HV100	HV100	HV100	HV100		
以表面洛氏硬度表示时	最小有效硬化层深度 /mm	最低表面硬度 (以 HR...N 表示)										
		82 ~ 85 HR15N	> 85 ~ 88 HR15N	> 88 HR15N	60 ~ 68 HR30N	> 68 ~ 73 HR30N	> 73 ~ 78 HR30N	> 78 HR30N	44 ~ 54 HR45N	> 54 ~ 61 HR45N	> 61 ~ 67 HR45N	> 67 HR45N
	0.1	—	—	HR15N	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.15	—	HR15N	HR15N	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.2	HR15N	HR15N	HR15N	—	—	—	HR30N	—	—	—	—
	0.25	HR15N	HR15N	HR15N	—	—	HR30N	HR30N	—	—	—	—
	0.35	HR15N	HR15N	HR15N	—	HR30N	HR30N	HR30N	—	—	—	HR45N
	0.4	HR15N	HR15N	HR15N	HR30N	HR30N	HR30N	HR30N	—	—	HR45N	HR45N
	0.5	HR15N	HR15N	HR15N	HR30N	HR30N	HR30N	HR30N	—	HR45N	HR45N	HR45N
≥ 0.55	HR15N	HR15N	HR15N	HR30N	HR30N	HR30N	HR30N	HR45N	HR45N	HR45N	HR45N	
以洛氏硬度 A 标尺或 C 标尺表示时	最小有效硬化层深度 /mm	最低表面硬度										
		HRA				HRC						
		70 ~ 75	> 75 ~ 78	> 78 ~ 81	> 81	40 ~ 49	> 49 ~ 55	> 55 ~ 60	> 60			
	0.4	—	—	—	HRA	—	—	—	—			
	0.45	—	—	HRA	HRA	—	—	—	—			
	0.5	—	HRA	HRA	HRA	—	—	—	—			
	0.6	HRA	HRA	HRA	HRA	—	—	—	—			
	0.8	HRA	HRA	HRA	HRA	—	—	—	HRC			
	0.9	HRA	HRA	HRA	HRA	—	—	HRC	HRC			
1.0	HRA	HRA	HRA	HRA	—	HRC	HRC	HRC				
1.2	HRA	HRA	HRA	HRA	HRC	HRC	HRC	HRC				

表 1-6-16

表面淬火界限硬度值 (摘自 JB/T 8555—1997)

界限硬度值 HV	最低表面硬度					
	HRA	HR15N	HR30N	HR45N	HV	HRC
250	65 ~ 70	75 ~ 76	51 ~ 53	32 ~ 35	300 ~ 330	32 ~ 33
275	68	77 ~ 78	54 ~ 55	36 ~ 38	335 ~ 355	34 ~ 36
300	69 ~ 70	79	56 ~ 58	39 ~ 41	360 ~ 385	37 ~ 38
325	71	80 ~ 81	59 ~ 62	42 ~ 46	390 ~ 420	40 ~ 42
350	72 ~ 73	82 ~ 83	63 ~ 64	47 ~ 49	425 ~ 455	43 ~ 45
375	74	84	65 ~ 66	50 ~ 52	460 ~ 480	46 ~ 47
400	75	85	67 ~ 68	53 ~ 54	485 ~ 515	48 ~ 49
425	76	86	69 ~ 70	55 ~ 57	520 ~ 545	50 ~ 51
450	77	87	71	58 ~ 59	550 ~ 575	52 ~ 53
475	78	88	72 ~ 73	60 ~ 61	580 ~ 605	54
500	79	89	74	62 ~ 63	610 ~ 635	55 ~ 56
525	80	—	75 ~ 76	64 ~ 65	640 ~ 665	57
550	81	90	77	66 ~ 67	670 ~ 705	58 ~ 59
575	82	—	78	68	710 ~ 730	60
600	—	91	79	69	735 ~ 765	61 ~ 62
625	83	—	80	70	770 ~ 795	63
650	—	92	81	71 ~ 72	800 ~ 835	64
675	84	—	82	73	840 ~ 865	65

表 1-6-17

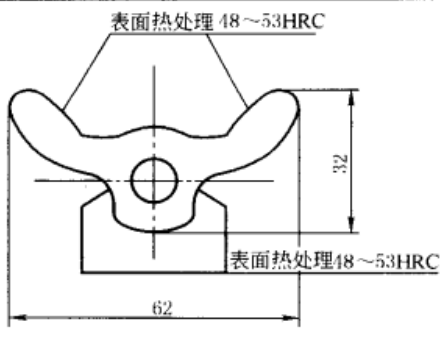
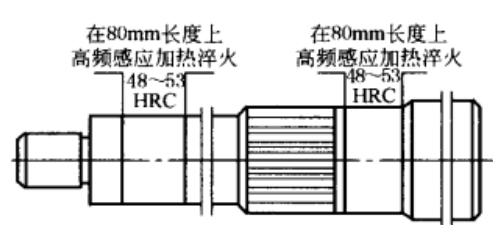
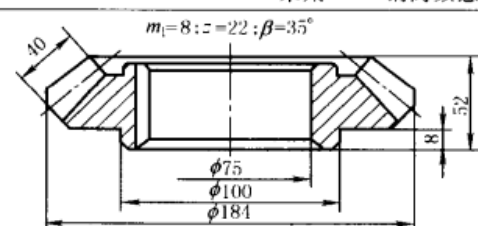
最小有效渗氮层深度、最低表面硬度与试验力之间的关系 (摘自 JB/T 8555—1997)

最小有效 渗氮层深度 /mm	最低表面硬度 HV						
	200 ~ 300	> 300 ~ 400	> 400 ~ 500	> 500 ~ 600	> 600 ~ 700	> 700 ~ 800	> 800
0.05	—	—	—	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV0.5
0.07	—	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV1	HV1
0.08	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV1	HV1	HV1
0.09	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV1	HV1	HV1	HV1
0.1	HV0.5	HV1	HV1	HV1	HV1	HV1	HV3
0.15	HV1	HV1	HV3	HV3	HV3	HV3	HV5
0.2	HV1	HV3	HV5	HV5	HV5	HV5	HV5
0.25	HV3	HV5	HV5	HV5	HV10	HV10	HV10
0.3	HV3	HV5	HV10	HV10	HV10	HV10	HV10
0.4	HV5	HV10	HV10	HV10	HV10	HV30	HV30
0.45	HV5	HV10	HV10	HV10	HV30	HV30	HV30
0.5	HV10	HV10	HV10	HV30	HV30	HV30	HV30
0.55	HV10	HV10	HV30	HV30	HV30	HV50	HV50
0.6	HV10	HV10	HV30	HV30	HV50	HV50	HV50
0.65	HV10	HV30	HV30	HV50	HV50	HV50	HV50
0.7	HV10	HV30	HV50	HV50	HV50	HV50	HV50
0.75	HV20	HV30	HV50	HV50	HV50	HV100	HV100

注：表内检验方法通常是指允许采用最大试验力，允许用较低的试验力代替表中规定的试验力，如用 HV10 代替 HV30。

常见的热处理技术要求的标注错例<sup>[51]</sup>

表 1-6-18

	摇杆	机床主轴
热处理要求		
问题	要求硬化处理部位不明确	
影响	<p>从左图所示摇杆标注的技术要求,可以理解为外表面全部要求表面硬化,也可以理解为伸出的两端指引线所指示处局部表面硬化。从右图所示的机床主轴可知,要求两段表面淬硬,但其左边一段长80mm的位置没有标注,这样给制定热处理工艺和施工带来困难</p> <p>正确的方法应按 JB/T 8555—1997 或 GB/T 131 规定,在需要局部淬硬的部位用点画线框出</p>	
热处理要求		<p>采用 40Cr 钢高频感应加热淬火,硬度 <math>52 \pm 5</math> HRC</p> <p>某厂设计师建议改用下列要求 20Cr-S-G59,或 40Cr-D500,或 20Cr-D600</p>
问题	同时提出几种工艺要求,令工艺人员无所适从	
影响	<p>图纸原始热处理要求 40Cr-G52(齿部)。高频感应加热淬火工艺虽有许多优点,但受设备频率、功率、零件结构形状、生产批量等许多条件制约。弧齿锥齿轮采用普通高频设备(如 250kHz 高频或 80kHz 中频)都难以达到理想的仿齿形硬化分布效果,工艺性很差</p> <p>某厂设计师建议改用 20Cr-S-G59(20Cr 钢、渗碳、高频淬火、59HRC)或 40Cr-D500(40Cr、渗氮、硬度 500HV)或 20Cr-D600(20Cr 钢、渗氮、硬度 600HV)</p> <p>这种建议叫工艺人员无所适从。它的要求到底是什么?高频感应加炉淬火 52HRC 合格,20Cr 钢渗碳 59HRC 也行,渗氮后 500~600HV 都可以。而且渗氮层有效深度 DN 也没有提出来,说明设计者对该零件准确的技术要求心中无数</p> <p>此建议还有下列问题:</p> <p>①热处理工艺有许多种,各种工艺都有其特点,相应地适用于某钢种(如渗氮适用于渗氮钢,有最佳效果)以及达到何种最佳性能。某种工艺适用于某种类型的零件,有的可以互相替代,但大多数是不能替代的,随意更换容易出错</p> <p>②硬度互相替代也易出错。硬度是大多数零件的热处理技术要求,硬度的测量方法有多种(常用的有洛氏硬度、布氏硬度、维氏硬度、努氏硬度等),它们依据的原理不同,测量方法不同,适用于不同场合。它们之间的差别有时很悬殊。在理论上它们没有简单准确的对应关系作为换算的基础。现在有一些换算经验公式或对照表,只是根据对同类金属材料,在相同状态下和一定硬度范围内进行比较试验,在积累了大量数据以后,经过分析而归纳出来的经验关系,有一定的实用价值。但在不少情况下是不能互相替代的。如薄硬化层的渗氮零件,只能用维氏硬度、努氏硬度或表面洛氏硬度(负荷 <math>\leq 30\text{kgf}</math>)测定。若硬度要求标注大负荷的洛氏硬度 HRC(C 级,150kgf),是不合适的。大负荷会把硬化层压穿,测量结果不可能正确</p> <p>③表面硬化的化学热处理工艺,渗碳、渗氮应用最广,在技术要求中不提出硬化层深度是不对的。提得不准确、不合理也是不对的,硬化层不是越深越好,过深不仅浪费能源、工时,增加成本,延长生产周期,而且对性能(尤其是疲劳性能)有害</p>	
热处理要求指标值应有允差	<p>任何一个零件的尺寸和形状都有允许偏差,硬度或硬化层深度也有允差,任何一种测量方法的结果都有一个允许的误差。热处理技术要求的指标值也同样,在提出热处理技术指标值时,应该有一个合理的范围,既保证了零件的质量,又保证有一定的经济性(合格率)和测量方便。常规情况下设计或工艺提出的允差值均应在标准范围内。热处理技术要求的硬度允差,化学热处理渗层深度的允差值,在热处理工艺行业标准中均有规定,可供参考</p>	

注:不同材质零件的有效硬化层深度要求,各行业都有标准规定,可参考。

## 制定热处理要求的要点

1) 根据零件的工作条件,分析载荷特点和应力分布情况,掌握主要损坏形式,确定应有的力学性能指标,并从它们之间的概略关系估算出相应的硬度;重要零件还应提出金相组织等。在腐蚀或高温条件下工作,还应考虑腐蚀和蠕变的影响(见表1-6-19~表1-6-24)。

2) 依据零件应力分布情况,结合零件截面尺寸大小和复杂程度,提出对材料的淬透性要求,合理选择材料,并可从选定材料的淬透性曲线图确定该零件截面内的硬度和应力分布概况(见表1-6-25)。

3) 材料选定后,依据各种热处理方法的特点、材料在不同热处理条件下的组织变化、相应的力学性能和工艺性,合理选定热处理方法(见表1-6-19~表1-6-28)。

表 1-6-19

零件名称	工作条件	主要损坏形式	主要力学性能指标	几种力学性能的概略关系
重要螺栓	拉应力或交变拉应力,冲击载荷(连杆螺栓受切应力)	过度塑性变形或由疲劳破坏造成断裂	$\sigma_{-11}$ 、 $\sigma_{0.2}$ 、HB	<p>①<math>\sigma_b</math>一般是随硬度的提高而增加,<math>\sigma_b</math>愈高、<math>\sigma_s</math>愈高[调质:<math>\sigma_s \approx (0.75 \sim 0.85)\sigma_b</math>;正火:<math>\sigma_s \approx 0.5\sigma_b</math>],<math>\delta</math>和<math>\psi</math>愈低,而含碳量<math>w(C)</math>为0.2%~0.6%的各种钢的淬火马氏体的硬度<math>HRC \approx 60 \sqrt{w(C)} + 20</math></p> <p>②<math>\sigma_{-1}</math>一般与<math>\sigma_b</math>成正比(碳钢<math>\sigma_{-1} \approx 0.43\sigma_b</math>,合金钢<math>\sigma_{-1} \approx 0.35\sigma_b + 12</math>),但当<math>\sigma_b &gt; 1000\text{MPa}</math>后,<math>\sigma_{-1}</math>增加不再显著,而主要依钢的组织而异。在<math>\sigma_b</math>相同条件下,马氏体回火组织比正火或退火组织具有较高的<math>\sigma_{-1}</math>,因此,要提高<math>\sigma_{-1}</math>,既要选用<math>\sigma_b</math>较高的材料,又要有适宜的淬透性</p> <p><math>\sigma_{-1}</math>还和零件的结构形状、表面质量以及表层中残留应力的类型有关,拉应力有害,压应力有利。因此,要提高<math>\sigma_{-1}</math>还应注意降低表面粗糙度数值,防止热处理时产生氧化、脱碳等现象,并尽可能用圆角过渡,以免应力集中,形成疲劳源;还可用渗碳、渗氮、高频淬火、喷丸和滚压等方法来提高<math>\sigma_{-1}</math></p> <p>③<math>a_k</math>值只是表示材料在一次冲击下能承受最大冲击能量的抗力指标,但在实际工作中,不少情况是零件承受能量不大的反复冲击,此时零件的耐力不仅与<math>a_k</math>值有关,也与<math>\sigma_{-1}</math>有关;一般<math>a_k</math>值与<math>\sigma_b</math>成反比,而<math>\sigma_{-1}</math>与<math>\sigma_b</math>成正比。因此,对于承受冲击作用的零件,要提高其强度,不能片面强调<math>a_k</math>值,应根据具体情况考虑。生产实践证明,在小能量和较高频率的冲击作用下,要提高零件寿命,还应适当降低<math>a_k</math>值,而增大<math>\sigma_b</math>,根据试验,相应的最佳硬度为40HRC左右</p> <p>④<math>K_{IC}</math>为平面应变断裂脆性,代表一个裂纹源失稳扩张的强度因子临界值。<math>K_{IC} = Y\sigma_c \sqrt{a_c}</math>,式中<math>a_c</math>为裂纹深度;<math>\sigma_c</math>为断裂应力;<math>Y</math>为裂纹形状因子(常见的半椭圆表面裂纹<math>Y \approx 1.4</math>)。例如40Cr热处理到52HRC,此时<math>\sigma_s \approx 1500\text{MPa}</math>,<math>K_{IC} \approx 1500\text{N/mm}^{3/2}</math>则对<math>a_c = 1\text{mm}</math>裂纹,<math>\sigma_c = \frac{K_{IC}}{Y\sqrt{a_c}} = \frac{1500}{1.4} \approx 1070\text{MPa} &lt; \sigma_s</math>,发生脆断。若处理到46HRC,<math>\sigma_s \approx 1300\text{MPa}</math>,<math>K_{IC} \approx 2200\text{N/mm}^{3/2}</math>时,<math>\sigma_c \approx 1570\text{MPa} &gt; \sigma_s</math>,则不会脆断,而许用应力要比处理到52HRC为高。这是40Cr齿轮心部硬度过高后崩齿的一个实例。但<math>K_{IC}</math>过高,降低<math>\sigma_b</math>、<math>\sigma_s</math>则易于疲劳破坏,因此原则是在不发生脆断的前提下,尽可能提高强度</p>
重要传动齿轮	交变弯曲应力、交变接触压应力、冲击载荷、齿表面带滑动的滚动摩擦	齿的折断、过度磨损、疲劳麻点、剥落、压塌、磨损为主	$\sigma_{-1}$ 、 $\sigma_w$ (接触疲劳强度)、HRC	
轴、曲轴	交变弯曲应力、扭转应力、冲击载荷、局部磨损	局部过度磨损、疲劳断裂、以疲劳为主	$\sigma_{0.2}$ 、 $\sigma_{-1}$ 、HRC	
凿岩机活塞	小能量多次冲击、交变应力	疲劳折断,冲击端部塑性变形,崩裂,过度磨损	$\sigma_{-11}$ 、 $K_{IC}$	
弹簧	交变应力、振动	弹性丧失、疲劳断裂	$\sigma_e$ 、 $\sigma_{-11}$ 、 $\sigma_s/\sigma_b$	
滚动轴承	点接触或线接触下的交变压应力、磨损	过度磨损、疲劳断裂	$\sigma_e$ 、 $\sigma_s$ 、 $\sigma_{-11}$ 、HRC	
抽油杆	腐蚀疲劳	脆性断裂	$\sigma_{-11}$	
石孔油射器	高温大能量瞬时冲击(火药爆炸)	过度塑性变形至开裂	$\sigma_b$ 、 $\delta_s$ 、 $\psi$ 、 $a_k$	
刹车鼓	热疲劳、磨损	龟裂、磨损	HRC	
泥活浆泵杆	磨损、冲刷、疲劳	磨损、脆断	HRC、 $\sigma_{-11}$	
石化油管裂等	高温、蠕变、腐蚀	塑性变形至断裂,或脆性断裂		
石井油钻头	接触疲劳、多次冲击、磨损	脆性断裂、磨损	$\sigma_w$ (接触疲劳强度)、HRC	



零件名称	工作条件	主要损坏形式	主要力学性能指标	几种力学性能的概略关系
石油钻机吊环	循环周期长的周期变动载荷, 磨损, 有时有大的冲击载荷、低温	磨损、疲劳断裂	$\sigma_b$ 、 $\sigma_{0.2}$ 、HB、缺口敏感性小、过载敏感性小, 适应低温	
拖带板履	主要承受压力和一定的冲击载荷	磨损、节销断裂	$\sigma_b$ 、 $\alpha_k$ 、HRC	

注:  $\sigma_{-1}$ —对称拉伸或压缩应力时的疲劳极限。

表 1-6-20

硬度选择

零件结构特点、工作条件	选 择 要 点	
承受均匀的静载荷、没有引起应力集中的缺口的零件	硬度越高, 强度越高, 可根据载荷大小, 选择较高的硬度或与强度相适应的硬度(缺口一般是指槽、沟或断面变化很大)	
有产生应力集中的缺口的零件	需要较高的塑性, 使其在承载情况下, 应力分布趋于均匀, 减少应力集中现象, 只能具有适当的硬度。如工作情况不允许降低硬度, 则可用滚压等表面强化处理改善应力分布	
承受冲击、疲劳应力的零件	冲击力不大时, 一般可用中碳钢全部淬硬; 冲击力较大, 一般用中碳钢全部淬硬, 或表面淬硬; 冲击力和疲劳应力都大时, 一般是表面淬硬	
从磨损或精度要求出发的零件	高速度或高精度一般要求高硬度 50 ~ 62HRC, 如滚子轴承; 中速度一般采用中硬度 40 ~ 45HRC; 低速度一般采用低硬度, 正火或调质硬度 220 ~ 260HB	
大尺寸零件, 如汽轮机转子轴	轴径很大, 虽然转速很高(3000r/min), 但由于不可能淬到很高的硬度(一般只能达 220HB 左右), 便不能一律要求高速度、高硬度, 而要通过降低配合件的硬度和其他措施来处理	
摩擦副或两对相互摩擦的零件的硬度差	机床主轴	在滑动轴承中运转时: 轴瓦用巴氏合金, 硬度低, 约 30HB 左右, 轴颈表面硬度可低些, 一般为 45 ~ 50HRC; 锡青铜硬度高, 一般约 60 ~ 120HB, 轴颈表面硬度相应要高一些, 约 $\geq 50$ HRC; 钢质轴承硬度更高, 轴颈表面硬度则需更高一些, 因此还需要渗氮处理 有些带内锥孔或外圆锥度的主轴, 工作时和配件并无相对滑动, 但配件装配频繁, 为了保证配合的精度与使用寿命, 也必须提高主轴的耐磨性, 一般硬度 $> 45$ HRC
	传动齿轮	小齿轮齿面硬度一般比大齿轮齿面硬度高 25 ~ 40HB
	螺母与螺栓	螺母材料比螺栓低一级, 硬度低 20 ~ 40HB(可以避免咬死和减少磨损)
	滚珠丝杠副	丝杠(GCr15SiMn) 58 ~ 62HRC, 螺母(GCr15) 60 ~ 62HRC, 滚珠(GCr6) 62 ~ 65HRC
	传动链	链轮齿按工作条件和材料不同取 40 ~ 45HRC, 45 ~ 50HRC, 50 ~ 58HRC。套筒滚子链的销轴表面硬度 $\geq 80$ HRA, 套筒表面硬度 76 ~ 80HRA, 滚子表面硬度 74 ~ 78HRA
起重机等转盘的滚子与转动轨道 <sup>①</sup>	滚子: 购买。柱: GCr15SiMn, 淬火 60 ~ 65HRC。转动轨道表面硬度: 材料 50Mn, 淬火 50 ~ 55HRC, 淬硬层深 2.5 ~ 4mm	



表 1-6-23 推荐的 DC、DN 和化合物层厚度及其上偏差 (摘自 JB/T 8555—1997)

mm

	DC	上偏差	DC	上偏差	推荐的 一般零件 的 DN 及 上偏差	DN	上偏差	DN	上偏差	推荐的 化合物 层厚度 及上偏差	化合物 层厚度	上偏差
	推荐的 DC 及 上偏差	0.05	0.03	1.2		0.5	0.05	0.02	0.35		0.15	0.005
	0.07	0.05	1.6	0.6	0.1	0.05	0.4	0.2	0.008	0.004		
	0.1	0.1	2.0	0.8	0.15	0.05	0.5	0.25	0.010	0.005		
	0.3	0.2	2.5	1.0	0.2	0.1	0.6	0.3	0.012	0.006		
	0.5	0.3	3.0	1.2	0.25	0.1	0.75	0.3	0.015	0.008		
	0.8	0.4			0.3	0.1			0.020	0.010		
									0.024	0.012		



注: DC—渗碳后淬火回火或碳氮共渗后淬火回火有效硬化层深度代号。

DN—有效渗氮层深度代号。

表 1-6-24 金相组织的确定

零件名称、工作条件	金相组织	零件名称、工作条件	金相组织
连杆螺栓	索氏体,不允许有块状铁素体	弹簧	屈氏体
传动齿轮	表面:回火马氏体 + 少量残余奥氏体 + 细粒状碳化物 中心:铁素体 + 细珠光体 + 低碳回火马氏体	滚动轴承及用轴承钢制作的精密零件	极细的马氏体 + 分布均匀的细粒状渗碳体 + 少量残余奥氏体
		严重磨损及强烈冲击的零件,如用 ZGMn13 制作的挖掘机的铲齿	单一的奥氏体(其他还有如颚式破碎机的齿板,球磨机衬板,辊式破碎机的辊筒,铁道道岔等)
轴	细致的索氏体,氮化钢制主轴还必须限制各种材料在离表面 1/4 半径处铁素体含量小于 5%,带有内外锥孔锥面及花键部分为屈氏体 + 少量回火马氏体	凿岩机活塞	回火马氏体 + 小而少、均匀的圆的未溶碳化物
		锅炉零件(15CrMo)	索氏体
		汽车半轴	索氏体 + 屈氏体
汽车曲轴	球铁曲轴等温淬火,下贝氏体	刀具,如圆板牙(9SiCr)	下贝氏体
		量具	马氏体 + 少量残余奥氏体

表 1-6-25 典型零件所用材料淬透性要求

零件工作条件	应力分布及说明	所选材料的淬透性要求
受轴向拉伸或压缩应力或交变拉应力、冲击载荷,如重要的螺栓、拉杆等	应力在零件的截面上分布均匀 	全部淬透
受交变弯曲应力、扭转应力、冲击载荷和局部磨损,如轴	应力主要集中于外层,心部应力小,不需要高强度 	一般淬透到 $(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2})R$ 深,根据载荷大小进行调整
受小能量多次冲击、交变应力,如曲轴	应力分布外大里小	与轴相似
受交变弯曲应力、交变接触压应力、冲击载荷以及带滑动的滚动摩擦,如齿轮	齿轮受交变接触应力、交变弯曲应力和冲击载荷等,对交变接触应力来说表面硬度要高一些好,随不同模数接触点曲率半径不同而异。疲劳(点蚀)系在表面下 $0.5b$ ( $b$ 为接触线宽度)处,此处切应力为最大(约 $0.31 \times$ 接触应力)	淬透层应大于 $0.5b$ 。模数大,载荷大,淬透性可高一些,心部硬度 33 ~ 48HRC
受交变应力和振动,如弹簧	弹簧工作时主要要求不要永久变形,因此材料应有稳定的高的屈强比 $\sigma_s/\sigma_b$ ,如果淬透性不好,中心将出现游离铁素体,使 $\sigma_s/\sigma_b$ 大大降低,工作时容易产生塑性变形而失效	一般要求全部淬透

续表

零件工作条件	应力分布及说明	所选材料的淬透性要求
受点或线接触下交变压应力和磨损,如滚珠轴承	主要是按接触应力考虑强度,因此必须保证表面的硬度值,但大的轧机轴承冲击载荷大,应同时考虑	小轴承全部淬透,大的受冲击大的轴承则不宜淬透
受较大能量高频冲击,如凿岩机活塞	应力在整个截面上是均匀分布的	全部淬透
耐磨零件	耐磨性一般和表面的硬度有关,硬度越高,耐磨性越好	含碳量及淬透性能够保证热处理后要求的硬度即可
焊接零件	为了防止脆性增加和裂纹产生	淬透性不宜过高
渗碳零件	为了防止淬火后残余奥氏体增加,反而使硬度降低	
高频淬火零件	短时表面加热,淬透性一般并不起多大作用	

表 1-6-26

按性能要求或工作条件选择热处理方法

	性能要求	选 择			
	退火与正火				
退火与正火	切削加工性	金属的硬度在 170 ~ 230HB 时切削加工性比较好,从表 1-6-4 中的碳钢在退火或正火后的硬度看出,低、中碳钢以正火为预先热处理较好,高碳结构钢和工具钢则以退火较好,合金钢由于合金元素的加入,硬度有所提高,在多数情况下,中碳以上合金钢都需退火,而不宜正火			
	使用性能	性能要求不高,随后不宜再进行淬火与回火的一般工件,可用正火来提高力学性能;但复杂的零件或大型铸件,正火冷却速度快,有形成裂纹危险时,则应退火。另外从减少最终热处理(淬火)的形变开裂倾向来看,正火也不如退火			
	经济效果	正火比退火生产周期短,耗热量少,且操作简便,故在可能条件下,应优先考虑以正火代替退火			
整体淬火与表面热处理	工 作 条 件		选 择		
	一般受力情况均可		整体淬火		
	同时受磨损和交变应力者,应考虑采用		表面热处理		
	受磨损较大而不受交变应力的零件		可用高碳钢经淬火及低温回火,或用低碳钢经渗碳、淬火及低温回火		
	传递功率大,摩擦压力小,摩擦速度高,冲击小	用于磨损与交变应力作用下的零件	中碳合金钢	渗氮	变形极小
传递功率较大,摩擦压力大,摩擦速度不太高,冲击不太大	中碳钢		高频淬火	变形小	零件简单
传递功率大,摩擦压力大,摩擦速度不高,冲击大	低碳合金钢		渗碳	变形较小	零件简单、复杂均可
	低碳钢	变形大			
回 火	低温回火	要求高硬度及高耐磨性的零件,如渗碳件、表面淬火齿轮等		①一般零件尽量不用中温回火,以防止回火脆性 ②时效一般只用于高合金钢,对碳钢、低合金钢不适用 ③高温回火可消除残余奥氏体,但不能保证高硬度,而低温回火可保证高硬度,但不能消除更多残余奥氏体,故精密件须冷处理、回火、时效	
	中温回火	要求在一定韧性条件下具有高的弹性极限及屈服点的零件,如弹簧及热锻模等			
	高温回火	要求有高的综合力学性能的零件,如各种连接件及传动件(连杆、轴等)			
	冷处理及低温时效	要求保持淬火后的高硬度及尺寸稳定性的精密零件,如柴油机喷嘴、精密轴承及量具等			

表 1-6-27

零件材料和热处理方法选用的一般原则

零件工作条件	零件类别	用 材	热处理工艺方法
单纯受压应力,并要求消震及耐磨	机床床身、机架、箱体等	灰口铸铁	①一般高温时效 ②要求高的可正火、调质、等温淬火 ③耐磨部位可进行表面淬火或软氮化
单纯受拉应力(要求有高的 $\sigma_s$ 和 $\sigma_b$ )	拉杆、连杆、重要螺栓等	中碳钢及中碳合金钢	调质
		低碳合金钢	淬火+低温回火
承受交变载荷为主(要求有高的强度、疲劳极限和塑性、韧性)并要求局部表面耐磨	主轴、曲轴、凸轮轴及其他传动轴	中碳钢及中碳合金钢	①正火或调质(重要或高精度零件应调质),要求耐磨处(如轴颈)表面淬火,精度高的(如镗杆)可调质后氮化等 ②轴类表面最后还可进行滚压、喷丸加工,以增加表面压应力,提高疲劳强度
		低碳钢及低碳合金钢	渗碳淬火+低温回火
		球墨铸铁	正火、调质或等温淬火,耐磨处表面淬火
承受大幅度弹性变形为主(要求高的 $\sigma_s/\sigma_b$ 值、疲劳极限,足够的韧性)	各种弹簧	碳素或合金弹簧钢	①淬火+中温回火 ②小弹簧在冷卷成形后进行200~300℃去应力处理
除承受一般应力外,还受强烈磨损	齿轮、凸轮、活塞销等	低碳钢及低碳合金钢	渗碳或氰化后淬火+低温回火
		中碳钢及中碳合金钢	①正火或调质后表面淬火 ②氰化淬火+低温回火
	精密偶件	GCr15或高速钢	淬火+冷处理+回火
		18Cr2Ni4WA等	渗碳、淬火+冷处理+低温回火
以高硬度、高耐磨性、高热硬性、高淬透性为主	各种工模具	碳素或低合金工具钢	淬火+低温回火
		W18Cr4V、Cr12MoV、3Cr2W8等高速钢、模具钢	淬火+500~560℃多次回火
		5CrNiMo等热模具钢	淬火+中温回火
以特殊物理、化学性能为主	汽轮机叶片、内燃机进排气阀等	不锈钢、耐热钢等	淬火+回火、固溶处理等

表 1-6-28

常用最后热处理方法的应用

最后热处理方法	用 途	硬度范围 HRC	在工艺路线中的位置
整体淬火+低温回火	处理以高硬度、高耐磨性为主的高碳钢或高碳合金钢工件,如刀具、工具、量具、滚珠轴承等	58~64	锻造→球化退火→机加工→淬火+低温回火→磨
	处理承受中等载荷同时又需耐磨的含碳量在0.38%~0.50%的中碳钢及中碳合金钢工件,如低速、低载的精密、传动齿轮和轴等	45~55	锻造→退火→机加工→淬火+低温回火→磨
整体淬火+中温回火	处理要求在一定韧性条件下具有高的弹性极限和屈服点的工件,如弹簧及热锻模等	35~45	以汽车板簧为例: 扁钢剪断→加热成形→淬火+中温回火→喷丸→装配

续表

最后热处理方法	用途	硬度范围 HRC	在工艺路线中的位置
调质	处理要求有高的综合力学性能的含碳0.38%~0.50%的中碳钢及中碳合金钢工件,如连杆、轴等各种连接件及传动件	200~350HB	锻造→退火(正火)→粗机加工→调质→精机加工
调质(或正火)后表面淬火+低温回火	处理承受重载荷并具有良好耐磨性含碳0.40%~0.50%的调质钢工件,如机床齿轮、主轴及曲轴的轴颈等	心部 200~250HB 表面 45~55	锻造→退火→粗机加工→调质→精机加工→表面淬火+低温回火→磨
渗碳、淬火+低温回火	处理承受重载荷,在复合应力及冲击负荷下具有高耐磨性的含碳0.15%~0.32%的低碳钢及低碳合金钢工件,如汽车、拖拉机齿轮、轴等	心部 25~35 表面 58~62	锻造→正火→机加工→渗碳→淬火+低温回火→磨
氰化、淬火+低温回火	处理承受较重载荷并具有耐磨性的低碳或中碳的碳钢和合金钢工件,如齿轮、轴等	心部 25~55 (视材料而定) 表面 56~62	锻造→正火或退火→机加工→氰化→淬火+低温回火→磨
调质后氮化	处理心部要求有高的综合力学性能,表面耐磨性高并有一定耐蚀性,同时要求热处理变形小的中碳合金钢工件,如精密磨床主轴、镗杆、齿轮、高精度钻模、阀门等	心部 25~35 表面 ≥900HV	锻造→退火→粗机加工→调质→精机加工→去应力退火→粗磨→氮化→精磨→时效→研磨
人工时效	高温人工时效 消除铸造、焊接、机械加工所造成的内应力、稳定工件形状及尺寸,如用于处理铸铁床身、焊接机架或精密件机加工间去应力等	—	以铸件为例: 铸造→高温人工时效→粗机加工→高温人工时效→精机加工
	冷处理和低温人工时效 用于要求保持高硬度及尺寸稳定性的精密工件,如柴油机喷嘴、精密轴承、量具等	≥62	以精密偶件针阀体为例: 下料→机加工→去应力→机加工→淬火→冷处理→低温人工时效→精磨→低温人工时效

表 1-6-29

结构钢零件热处理方法选择

热处理方法	用途	热处理方法	用途
1. 退火(完全退火、不完全退火) 2. 正火(在静止空气中或吹风中冷却)	处理工作载荷轻、速度低的含碳0.15%~0.45%的碳钢零件	7. 正火+渗碳+淬火+低温回火 8. 正火+高温回火+渗碳+高温回火+淬火+低温回火	处理承受重载荷、在复合应力及冲击载荷下具有高的耐磨性的含碳0.15%~0.32%的低碳钢及低碳合金钢零件 处理淬火后在渗碳层中有大量残余奥氏体的含碳0.15%~0.32%的高合金钢,如20Cr2Ni4A、18CrNiW等的渗碳零件,如坦克、重型汽车的齿轮、大型轧钢机轴承等
3. 淬火+高温回火 4. 正火+高温回火	处理中等载荷的含碳0.38%~0.5%的中碳钢和中碳合金钢零件,方法4也可用处理锻件的预先热处理代替长时间的退火	9. 氰化+淬火+低温回火 10. 正火(或调质)+氮化 11. 正火(或调质)+表面淬火+低温回火	处理在承受较重载荷下具有耐磨性的低碳或中碳钢及合金钢的零件 处理耐磨性高或耐蚀的低碳或中碳钢及合金钢零件或用于零件耐蚀氮化 处理在承受重载荷下具有良好耐磨性的含碳0.4%~0.5%的调质钢
5. 退火或正火+淬火+低温回火 6. 正火+高温回火+淬火+低温回火	处理承受中等载荷同时需要耐磨而含碳0.38%~0.50%的中碳合金钢和中碳钢零件		

表 1-6-30

常用不锈钢和耐热钢的热处理方法的选择

钢 号		要 求 与 选 择
热 处 理 不 可 强 化	0Cr18Ni9 1Cr18Ni9 2Cr18Ni9 1Cr18Ni9Ti 2Cr13Ni4Mn9 1Cr23Ni18 4Cr14Ni14W2Mo	2Cr18Ni8W2 1Cr21Ni5Ti 1Cr18Mn8Ni5N 1Cr19Ni11Si2AlTi 1Cr14Mn14Ni 1Cr14Mn14Ni3Ti
	1Cr13, 2Cr13, 3Cr13 4Cr13, 1Cr17Ni2 2Cr13Ni2, 9Cr18 9Cr18MoV, 2Cr3WMoV 1Cr11Ni2W2MoV 1Cr12Ni2WMoVNb 3Cr13Ni7Si2 4Cr10Si2Mo 1Cr14Ni3W2VB 0Cr17Ni7Al 0Cr17Ni4Cu4Nd 0Cr15Ni7Mo2Al 3Cr13Mo	要求提高耐蚀性能和塑性,消除冷作硬化的工件,应进行固溶处理 对于形状复杂不宜固溶处理的工件,可进行去应力退火 含钛或铌的不锈钢,为了获得稳定的耐蚀性能,可进行稳定化退火 要求提高强度、硬度和耐蚀性能的工件,应进行淬火加低温回火处理 要求较高的强度和弹性极限,而对耐蚀性能要求不高的工件,应进行淬火加中温回火处理 要求得到良好的力学性能和一定的耐蚀性能的工件,应进行淬火加高温回火处理 要求消除加工应力、降低硬度和提高塑性的工件,可进行退火处理 要求改善原始组织的工件,可进行正火加高温回火的预备热处理 要求得到良好的力学性能和耐蚀性能的沉淀硬化型不锈钢工件,可进行固溶加时效、固溶加深冷处理或冷变形加时效等调整处理
	由热处理可强化的不锈钢和耐热钢构成的焊接组合件	根据工件图样的要求可进行淬火加回火或去应力退火
	由热处理不可强化的不锈钢和耐热钢构成的焊接组合件	要求改善焊缝区域组织和耐蚀性能以及较充分地消除应力时,可进行固溶处理。对于形状复杂不宜进行固溶处理的焊接组合件,可采用去应力退火
	由热处理可强化与不可强化的不锈钢和耐热钢构成的焊接组合件	当要求以耐蚀性能为主时,应进行固溶处理加低温回火;当要求以力学性能为主时,应进行淬火加低温或中温回火处理。对于形状复杂的焊接组合件,可进行去应力退火或高温回火

## 几类典型零件的热处理实例

表 1-6-31

名称	工 作 条 件	材料与热处理要求	备 注
齿 轮	1. 低速、轻载又不受冲击	HT200、HT250、HT300:去应力退火	1. 机床齿轮按工作条件可分三组 (1) 低速: 转速 2m/s, 单位压力 350~600MPa (2) 中速: 转速 2~6m/s, 单位压力 100~1000MPa, 冲击载荷不大 (3) 高速: 转速 4~12m/s, 弯曲力矩大, 单位压力 200~700MPa
	2. 低速 (<1m/s)、轻载,如车床溜板齿轮等	45:调质,200~250HB	
	3. 低速、中载,如标准系列减速器齿轮	45、40Cr、40MnB(50、42MnVB):调质,220~250HB	
	4. 低速、重载、无冲击,如机床主轴箱齿轮	40Cr(42MnVB):淬火、中温回火,40~45HRC	

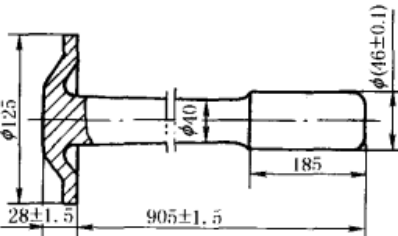
续表

名称	工作条件	材料与热处理要求	备注
齿                轮	5. 中速、中载,无猛烈冲击,如机床主轴箱齿轮	40Cr、40MnB、42MnVB;调质或正火,感应加热表面淬火,低温回火,时效,50~55HRC	2. 机床常用齿轮材料及热处理 (1)45;淬火,高温回火,200~250HB,用于圆周速度小于1m/s、承受中等压力的齿轮;高频淬火,表面硬度52~58HRC,用于表面硬度要求高、变形小的齿轮 (2)20Cr;渗碳,淬火,低温回火,56~62HRC,用于高速、压力中等并有冲击的齿轮 (3)40Cr;调质,220~250HB,用于圆周速度不大、中等单位压力的齿轮;淬火、回火,40~50HRC,用于中等圆周速度、冲击载荷不大的齿轮;除上述条件外,如尚要求热处理时变形小,则用高频淬火,硬度52~58HRC
	6. 中速、中载或低速、重载,如车床变速箱中的次要齿轮	45;高频淬火,350~370℃回火,40~45HRC(无高频设备时,可采用快速加热齿面淬火)	
	7. 中速、重载	40Cr、40MnB(40MnVB、42CrMo、40CrMnMo、40CrMnMoVBA);淬火,中温回火,45~50HRC	
	8. 高速、轻载或高速、中载,有冲击的小齿轮	15、20、20Cr、20MnVB;渗碳,淬火,低温回火,56~62HRC。38CrAl,38CrMoAl;渗氮,渗氮层深度0.5mm,900HV	
	9. 高速、中载,无猛烈冲击,如机床主轴箱齿轮	40Cr、40MnB(40MnVB);高频淬火,50~55HRC	3. 汽车、拖拉机齿轮的工作条件比机床齿轮要繁重得多,要求耐磨性、疲劳强度、心部强度和冲击韧性等方面比机床齿轮高,因此,一般是载荷重、冲击大,多采用低碳合金钢(除左行列出的牌号以外,尚有20MnMoB、30CrMnTi、30MnTiB、20MnTiB等),经渗碳、淬火、低温回火处理。拖拉机最终传动齿轮的传动转矩较大,齿面单位压力较高,密封性不好,砂土、灰尘容易进入,工作条件比较差,常采用20CrNi3A等渗碳
	10. 高速、中载、有冲击、外形复杂的重要齿轮,如汽车变速箱齿轮(20CrMnTi淬透性较高,过热敏感性小,渗碳速度快,过渡层均匀,渗碳后直接淬火变形较小,正火后切削加工性良好,低温冲击韧性也较好)	20Cr、20MnVB;渗碳,淬火,低温回火或渗碳后高频淬火,56~62HRC 18CrMnTi、20CrMnTi(锻造→正火→加工齿形→局部镀铜→渗碳、预冷淬火、低温回火→磨齿→喷丸):渗碳层深度1.2~1.6mm,齿面硬度58~60HRC,心部硬度25~35HRC。表面:回火马氏体+残余奥氏体+碳化物。中心:索氏体+细珠光体	4. 一般机械齿轮最常用的材料是45和40Cr。其热处理方法选择如下 (1)整体淬火:强度、硬度(50~55HRC)提高,承载能力增大,但韧性减小,变形较大,淬火后须磨齿或研齿,只适用于载荷较大、无冲击的齿轮,应用较少 (2)调质:由于硬度低,韧性也不太高,不能用于大冲击载荷下工作的齿轮,只适用于低速、中载的齿轮。一对调质齿轮的小齿轮齿面硬度要比大齿轮齿面硬度高出25~40HB (3)正火:受条件限制不适合淬火和调质的大直径齿轮用 (4)表面淬火:45、40Cr高频淬火机床齿轮广泛采用,直径较大的用火火焰表面淬火。但对受较大冲击载荷的齿轮因其韧性不够,须用低碳钢(有冲击、中小载荷)或低碳合金钢(有冲击、大载荷)渗碳
	11. 高速、重载、有冲击、模数<5mm	20Cr;渗碳,淬火,低温回火,56~62HRC	
	12. 高速、重载或中载、模数>6mm,要求高强度、高耐磨性,如立车重要螺旋圆锥齿轮	18CrMnTi;渗碳、淬火、低温回火,56~62HRC	
	13. 高速、重载、有冲击、外形复杂的重要齿轮,如高速柴油机、重型载重汽车、航空发动机等设备上的齿轮	12Cr2Ni4A、20Cr2Ni4A、18Cr2Ni4WA、20CrMnMoVBA(锻造→退火→粗加工→去应力→半精加工→渗碳→退火软化→淬火→冷处理→低温回火→精磨):渗碳层深度1.2~1.5mm,59~62HRC	
	14. 载荷不高的大齿轮,如大型龙门刨齿轮	50Mn2、50、65Mn;淬火,空冷,≤241HB	
	15. 低速、载荷不大、精密传动齿轮	35CrMo;淬火,低温回火,45~50HRC	
	16. 精密传动、有一定耐磨性的大齿轮	35CrMo;调质,255~302HB	
	17. 要求耐蚀性的计量泵齿轮	9Cr16Mo3VRE;沉淀硬化	
	18. 要求高耐磨性的鼓风机齿轮	45;调质,尿素盐浴软氮化	
	19. 要求耐磨、保持间隙精度的25L油泵齿轮	粉末冶金(生产批量要大)	
	20. 拖拉机后桥齿轮(小模数)、内燃机车变速箱齿轮(m=6~8mm)	55DTi或60D(均为低淬透性中碳结构钢):中频淬火,回火,50~55HRC,或中频加热全部淬火。可获得渗碳合金钢的质量,而工艺简化,材料便宜	



名称	工作条件	材料与热处理要求	备注
轴 类	1. 在滑动轴承中工作, 圆周速度 $v < 2\text{m/s}$ , 要求表面有较高的硬度的小轴、心轴, 如机床走刀箱、变速箱小轴	45、50, 形状复杂的轴用 40Cr、42MnVB; 调质, 228 ~ 255HB, 轴颈处高频淬火, 45 ~ 50HRC	<p>主轴和轴类的材料与热处理选择必须考虑: 受力大小; 轴承类型; 主轴形状及可能引起的热处理缺陷</p> <p>在滚动轴承或是轴颈上有轴套在滑动轴承中回转, 轴颈不需特别高的硬度, 可用 45、40Cr, 调质, 220 ~ 250HB; 50Mn, 正火或调质, 28 ~ 35HRC。在滑动轴承中工作的轴颈应淬硬, 可用 15、20Cr, 渗碳, 淬火, 回火到硬度 56 ~ 62HRC; 轴颈处渗碳深度为 0.8 ~ 1mm。直径或重量较大的主轴渗碳较困难, 要求变形较小时, 可用 45 或 40Cr, 在轴颈处进行高频淬火</p> <p>高精度和高转速 (<math>&gt; 2000\text{r/min}</math>) 机床主轴尚需采用氮化钢进行渗氮处理, 以得到更高硬度。在重载下工作的大断面主轴, 可用 20SiMnVB 或 20CrMnMoVBA, 渗碳, 淬火, 回火, 56 ~ 62HRC</p>
	2. 在滑动轴承中工作, $v < 3\text{m/s}$ , 要求高硬度、变形小, 如中间带传动装置的小轴	40Cr、42MnVB; 调质, 228 ~ 255HB; 轴颈处高频淬火, 45 ~ 50HRC	
	3. $v \geq 3\text{m/s}$ , 大的弯曲载荷及摩擦条件下工作的小轴, 如机床变速箱小轴	15、20、20Cr、20MnVB; 渗碳, 淬火, 低温回火, 58 ~ 62HRC	
	4. 高载荷的花键轴, 要求高强度和耐磨, 变形小	45: 高频加热, 水冷, 低温回火, 52 ~ 58HRC	
	5. 在滚动或滑动轴承中工作, 轻或中等载荷, 低速, 精度要求不高, 稍有冲击, 疲劳载荷可忽略的主轴; 或在滚动轴承中工作, 轻载, $v < 1\text{m/s}$ 的次要花键轴	45: 调质, 225 ~ 255HB (如一般简易机床主轴)	
	6. 在滚动或滑动轴承中工作, 轻或中等载荷, 转速稍高, $pv \leq 150\text{N} \cdot \text{m}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ , 精度要求较高, 冲击, 疲劳载荷不大	45: 正火或调质, 228 ~ 255HB; 轴颈或装配部位表面淬火, 45 ~ 50HRC	
	7. 在滑动轴承中工作, 中载或重载, 转速较高, $pv \leq 400\text{N} \cdot \text{m}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ , 精度较高, 冲击、疲劳载荷较大	40Cr: 调质, 228 ~ 255HB 或 248 ~ 286HB, 轴颈表面淬火, $\geq 54\text{HRC}$ , 装配部位表面淬火, $\geq 45\text{HRC}$	
	8. 其他同 7, 但转速与精度要求比 7 高, 如磨床砂轮主轴	45Cr、42CrMo: 其他同上, 表面硬度 $\geq 56\text{HRC}$	
	9. 在滑动或滚动轴承中工作, 中载, 高速, 心部强度要求不高, 精度不太高, 冲击不大, 但疲劳应力较大, 如磨床、重型齿轮铣床等的主轴	20Cr: 渗碳, 淬火, 低温回火, 58 ~ 62HRC	<p>1. 心部强度不高, 受力易扭曲变形</p> <p>2. 表面硬度高, 宜作高速低载荷主轴</p> <p>3. 热处理变形较大</p>
	10. 在滑动或滚动轴承中工作, 重载, 高速, $pv \leq 400\text{N} \cdot \text{m}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ , 冲击、疲劳应力都很高	18CrMnTi、20CrMnMoVA: 渗碳, 淬火, 低温回火, $\geq 59\text{HRC}$	<p>1. 心部有较高的 <math>\sigma_b</math> 及 <math>a_k</math> 值, 表面有高的硬度及耐磨性</p> <p>2. 有热处理变形</p>
	11. 在滑动轴承中回转, 重载, 高速, 精度很高 ( $\leq 0.003\text{mm}$ ), 很高疲劳应力, 如高精度磨床、镗床主轴	38CrAlMoA: 调质, 硬度 248 ~ 286HB, 轴颈渗氮, 硬度 $\geq 900\text{HV}$	<p>1. 很高的心部强度, 表面硬度极高, 耐磨</p> <p>2. 变形量小</p>
	12. 电机轴, 主要受扭	35 及 45: 正火或正火并回火, 187HB 及 217HB	860 ~ 880℃ 正火
	13. 水泵轴, 要求足够抗扭强度和耐腐蚀性能	3Cr13 及 4Cr13: 1000 ~ 1050℃ 油淬, 硬度分别为 42HRC 及 48HRC	或 1Cr13: 1100℃ 油淬, 350 ~ 400℃ 回火, 56 ~ 62HRC

续表

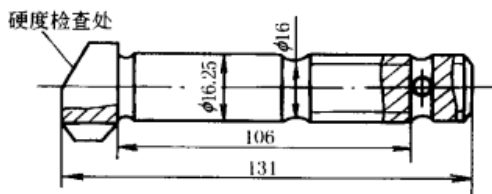
名称	工作条件	材料与热处理要求	备注
轴	<p>14. C616-416 车床主轴:45 钢</p> <p>(1) 承受交变弯曲应力、扭转应力,有时还受冲击载荷</p> <p>(2) 主轴大端内锥孔和锥度外圆,经常与卡盘、顶针有相互摩擦</p> <p>(3) 花键部分经常有磕碰或相对滑动</p> <p>(4) 在滚动轴承中运转,中速,中载</p>	<p>(1) 整体调质后硬度 200 ~ 230HB,金相组织为索氏体</p> <p>(2) 内锥孔和外圆锥面处硬度 45 ~ 50HRC,表面 3 ~ 5mm 内金相组织为屈氏体和少量回火马氏体</p> <p>(3) 花键部分硬度 48 ~ 53HRC,金相组织为屈氏体和少量回火马氏体</p>	<p>加工和热处理步骤:下料→锻造→正火→粗加工→调质→半精车外圆,钻中心孔,精车外圆,铣键槽→锥孔及外圆锥局部淬火,260 ~ 300℃ 回火→车各空刀槽,粗磨外圆,滚铣花键槽→花键高频淬火,240 ~ 260℃ 回火→精磨</p>
类	<p>15. 跃进-130 型载重 (2.5t) 汽车半轴</p> <p>承受冲击、反复弯曲疲劳和扭转,主要瞬时超载而扭断,要求有足够的抗弯、抗扭、抗疲劳强度和较好的韧性</p>	<p>40Cr、35CrMo、42CrMo、40CrMnMo、40Cr;调质后中频表面淬火,表面硬度 <math>\geq 52\text{HRC}</math>,深度 4 ~ 6mm,静转矩 6900 N·m,疲劳 <math>\geq 3 \times 10^5</math> 次,估计寿命 <math>\geq 3 \times 10^5</math> km</p> <p>金相组织:索氏体 + 屈氏体</p> <p>(原用调质加高频淬火寿命仅为 <math>4 \times 10^4</math> km)</p>	
曲轴	<p>内燃机曲轴:承受周期性变化的气体压力、曲柄连杆机构的惯性力、扭转和弯曲应力以及冲击力等。此外,在高速内燃机中还存在扭转振动,会造成很大应力</p> <p>要求有高强度及一定的冲击韧性、弯曲、扭转、疲劳强度和轴颈处高的硬度与耐磨性</p>	<p>低速内燃机:采用正火状态的碳钢、球墨铸铁</p> <p>中速内燃机:采用调质碳钢或合金钢,如 45、40Cr、45Mn2、50Mn2 等及球墨铸铁</p> <p>高速内燃机:采用高强度合金钢,如 35CrMo、42CrMo、18Cr2Ni4WA 等</p> <p>以 110 型柴油机曲轴为例:QT60-2 正火,中频淬火, <math>\sigma_b \geq 650\text{MPa}</math>, <math>a_k &gt; 15\text{J/mm}^2</math> (试样 20mm × 20mm × 110mm),轴体 240 ~ 300HB,轴颈 <math>\geq 55\text{HRC}</math>,珠光体数量:试棒 <math>\geq 75\%</math>,曲轴 <math>\geq 70\%</math></p>	

名称	工作条件	材料与热处理要求	备注
蜗 杆 蜗 轮	1. 载荷不大,断面较小的蜗杆	45:调质,220~250HB	<p>1. 蜗轮材料与热处理</p> <p>(1) 圆周速度<math>\geq 3\text{m/s}</math>的重要传动:锡磷青铜 QSn10-1</p> <p>(2) 圆周速度<math>\leq 4\text{m/s}</math>:QA19-4</p> <p>(3) 圆周速度<math>\leq 2\text{m/s}</math>,效率要求不高:铸铁,防止蜗轮变形一般进行时效处理</p> <p>2. 蜗杆材料与热处理</p> <p>(1) 高速重载:15、20Cr 渗碳淬火,56~62HRC;40、45、40Cr 淬火,45~50HRC</p> <p>(2) 不太重要或低速中载:40、45 调质</p>
	2. 有精度要求(螺纹磨出)而速度 $< 2\text{m/s}$	45:淬火,回火,45~50HRC	
	3. 滑动速度较高、载荷较轻的中小尺寸蜗杆	15:渗碳,淬火,低温回火,56~62HRC	
	4. 滑动速度 $> 2\text{m/s}$ (最大7~8m/s);精度要求很高,表面粗糙度为 $0.4\mu\text{m}$ 的蜗杆,如立车中的主要蜗杆	20Cr:900~950℃渗碳,800~820℃油淬,180~200℃低温回火,56~62HRC	
	5. 要求高耐磨性、高精度及尺寸大的蜗杆	18CrMnTi:处理同上,56~62HRC	
	6. 要求足够耐磨性和硬度的蜗杆	40Cr、42SiMn、45MnB:油淬,回火,45~50HRC	
	7. 中载、要求高精度并与青铜蜗轮配合使用(热处理后再加工螺纹)的蜗杆	35CrMo:调质(850~870℃油淬,600~650℃回火),255~303HB	
	8. 要求高硬度和最小变形的蜗杆	38CrMoAlA、38CrAlA:正火或调质后渗氮,硬度 $> 850\text{HV}$	
	9. 汽车转向蜗杆	35Cr:815℃氰化,200℃回火,渗层深度0.35~0.40mm,表面锉刀硬度,心部硬度 $< 35\text{HRC}$	
弹 簧	1. 形状简单、断面较小、受力不大的弹簧	65:785~815℃油淬,300℃、400℃、500℃、600℃回火,相应的硬度为512HB、430HB、369HB、340HB。75:780~800℃油淬或水淬,400~420℃回火,42~48HRC	<p>弹簧热处理一般要求淬透,晶粒细,残余奥氏体少。脱碳层深度每边应符合:<math>&lt; \phi 6\text{mm}</math>的钢丝或钢板,应<math>&lt; 1.5\%</math>直径或厚度;<math>&gt; \phi 6\text{mm}</math>的钢丝或钢板,应<math>&lt; 1.0\%</math>直径或厚度</p> <p>大型弹簧在热状态加工成形随即淬火+回火,中型弹簧在冷态加工成形(原材料要求球化组织或大部分球化),再淬火+回火。小型弹簧用冷轧钢带、冷拉钢丝等冷态加工成形后,低温回火</p> <p>处理后可经喷丸处理:40~50N/cm<sup>2</sup>的压缩空气或离心机70m/s的线速度,将<math>\phi 0.3\sim 0.5\text{mm}</math>(对小零件、气门弹簧、齿轮等)、<math>\phi 0.6\sim 0.8\text{mm}</math>(对板簧、曲轴、半轴等)铸铁丸或淬硬钢丸喷射到弹簧表面,强化表层。疲劳循环次数可提高8~13倍,寿命可提高2~2.5倍以上</p>
	2. 中等载荷的大型弹簧	60Si2MnA、65Mn:870℃油淬,460℃回火,40~45HRC(农机座位弹簧65Mn:淬火,回火,280~370HB)	
	3. 重载荷、高弹性、高疲劳极限的大型板簧和螺旋弹簧	50CrVA、60Si2MnA:860℃油淬,475℃回火,40~45HRC	
	4. 在多次交变载荷下工作的直径为8~10mm的卷簧	50CrMnA:840~870℃油淬,450~480℃回火,387~418HB	
	5. 机车、车辆、煤水车板簧	55Si2Mn、60Si2Mn:39~45HRC(363~432HB)(解放牌汽车板簧:55Si2Mn:363~441HB)	

续表

名称	工作条件	材料与热处理要求	备注
弹簧	6. 车辆及缓冲器螺旋弹簧、汽车张紧弹簧	55Si2Mn, 60Si2Mn, 60Si2CrA: 淬火, 回火, 40~47HRC 或 370~441HB	
	7. 柴油泵柱塞弹簧、喷油嘴弹簧、农用柴油机气阀弹簧及中型、重型汽车的气门弹簧和板弹簧	50CrVA: 淬火, 回火, 40~47HRC	
	8. 在高温蒸汽下工作的卷簧和扁簧, 自来水管道的弹簧和耐海水侵蚀的弹簧, $\phi 10 \sim 25\text{mm}$	3Cr13: 39~46HRC 4Cr13: 48~50HRC, 48~49HRC, 47~49HRC, 37~40HRC, 31~35HRC, 33~37HRC	
	9. 在酸碱介质下工作的弹簧	2Cr18Ni9: 1100~1150℃水淬, 绕卷后消除应力, 400℃回火 60min, 160~200HB	
	10. 弹性挡圈 $\delta = 4\text{mm}$ , $\phi 85\text{mm}$	60Si2: 400℃预热, 860℃油淬, 430℃回火空冷, 40~45HRC	
机床丝杠	1. $\leq 8$ 级精度, 受力不大, 如各类机床传动丝杠	45, 45Mn2: 一般丝杠可用正火, $\geq 170\text{HB}$ ; 受力较大的丝杠, 调质, 250HB; 方头、轴颈局部淬硬, 42HRC	1. 丝杠的选材与热处理 (1) 丝杠的主要损坏形式: 一般丝杠 ( $\leq 7$ 级精度) 为弯曲及磨损; $\geq 6$ 级精度丝杠为磨损及精度丧失或螺距尺寸变化 (2) 丝杠材料应具有足够的力学性能, 优良的加工性能, 不易产生磨裂, 能得到低的表面粗糙度和低的加工残余内应力, 热处理后具有较高硬度, 最少淬火变形和残余奥氏体 常用于不要求整体热处理至高硬度的材料, 有 45、40Mn、40Cr、T10、T10A、T12A、T12 等。淬硬丝杠材料, 有 GCr15、9Mn2V、CrWMn、GCr15SiMn、38CrMoAlA 等 (3) 热处理 一般丝杠: 正火 (45 钢) 或退火 (40Cr), 去应力处理和低温时效, 调质和轴颈、方头高频淬火与回火 精密不淬硬丝杠: 去应力处理, 低温时效, 球化退火, 调质球化, 如遇原始组织不良等, 还需先经 900℃ (T10、T10A) ~ 950℃ (T12、T12A) 正火处理, 然后再球化退火, 或直接调质球化 精密淬硬丝杠: 退火或高温正火后退火, 去应力处理, 淬火和低温时效
	2. $\geq 7$ 级精度, 受力不大, 轴颈、方头等处均不需淬硬, 如车床走刀丝杠	45Mn 易切削钢和 45 钢: 热轧后 $\sigma_s = 600 \sim 750\text{MPa}$ , 除应力后 170~207HB。金相组织: 片状珠光体 + 铁素体	
	3. 7~8级精度, 受力较大, 如各类大型镗床、立车、龙门铣和刨床等的走刀和传动丝杠	40Cr、42MnVB (65Mn): 调质 220~250HB, $\sigma_s \geq 850\text{MPa}$ ; 方头、轴颈局部淬硬, 42HRC。金相组织: 均匀索氏体	
	4. 8级精度, 中等载荷, 要求耐磨, 如平面磨床、砂轮架升降丝杠与滚动螺母啮合	40Cr、42MnVB: 调质, 250HB, 中频加热表面淬火 54HRC。调质后基体组织: 均匀索氏体 + 细粒状珠光体	2. 考虑热加工工艺性, 丝杠结构设计注意事项 (1) 结构尽可能简单, 避免各种沟槽、突变的台阶、锐角等, 尤其是氮化丝杠更应避免一切棱角 (2) 丝杠一端应留有空刀槽、凸起台阶或吊装螺钉孔, 便于冷热加工中吊挂用 (3) 不应有较大的凸起台阶, 以免局部粗糙的锻造工序
	5. $\geq 6$ 级精度, 要求具有一定耐磨性、尺寸稳定性、较高强度和较好的切削加工性, 如丝杠车床、齿轮机床、坐标镗床等的丝杠	T10、T10A、T12、T12A: 球化退火, 163~193HB, 球化等级 3~5 级, 网状碳化物 $\leq 3$ 级, 调质, 201~229HB。金相组织: 细粒状珠光体	3. 滚珠丝杠副的材料与热处理 (1) 材料选用 滚珠丝杠: $L \leq 2\text{m}$ , $\phi 40 \sim 80\text{mm}$ , 变形小、耐磨性高的 6~8 级丝杠用 CrWMn 整体淬火
	6. $\geq 6$ 级精度, 要求耐蚀、较高的抗疲劳性和尺寸稳定性, 如样板镗床或其他特种机床精密丝杠	38CrMoAlA: 调质, 280HB; 渗氮, 850HV。调质后基体组织: 均匀的索氏体。渗氮前表面应无脱碳层	

名称	工作条件	材料与热处理要求	备注
机床丝杠	7. ≥6级精度,要求耐磨、尺寸稳定,但载荷不大,如螺纹磨床、齿轮磨床等高精度传动丝杠(硬丝杠)	9Mn2V(直径≤60mm)、CrWMn(直径>60mm):球化退火后,球状珠光体1.5~4级,网状碳化物≤3级,硬度≤227HB,淬火硬度56HRC+0.5HRC。金相组织:回火马氏体,无残余奥氏体存在	<φ50mm、耐磨性高、承受较大压力的6~8级丝杠用GCr15整体或中频淬火 >φ50mm、耐磨性高、6~8级丝杠用GCr15SiMn整体或中频淬火 ≤φ40mm、L≤2m、变形小、耐磨性高的6~8级丝杠用9Mn2V、整淬,冷处理 有耐蚀要求特殊用途的丝杠用9Cr18,中频加热表面淬火 L≤1m、变形小、耐磨性高的6~7级丝杠用20CrMoA,渗碳,淬火 L≤2.5m、变形小、耐磨性高的6~7级丝杠用40CrMoA,高频或中频淬火 7~8级的丝杠用55、50Mn、60Mn,高频淬火 L≤2.5m、变形小、耐磨性高的5~6级精度的丝杠用38CrMoAlA或38CrWVA1A,氮化 螺母:GCr15、CrWMn、9CrSi,也有用18CrMnTi、12CrNiA等渗碳钢的
	8. ≥6级精度,受点载荷的,如螺纹或齿轮磨床、各类数控机床的滚珠丝杠	GCr15(直径≤70mm)、GCr15SiMn(直径>80mm):球化退火后,球状珠光体1.5~4级,网状碳化物≤3级,60~62HRC。金相组织:回火马氏体	(2)硬度要求 推荐60HRC±2HRC,螺母取上限,当丝杠L≥1.5m或精度为5、6级时,硬度可低一些,但需≥56HRC 采用表面热处理的淬透层深度,磨削后,应为: 中频处理 >2mm 高频渗碳处理 >1mm 氮化处理 >0.4mm 7级精度以上的丝杠应进行消除残余应力的稳定处理
汽车、拖拉机配件	推土机用销套:承受重载、大冲击和严重磨损	20Mn、25MnTiB:渗碳,二次淬火,低温回火,59HRC,渗碳层深2.6~3.8mm	
	推土机履带板:承受重载、大冲击和严重磨损	40Mn2Si:调质,履带齿中频淬火或整体淬火,中频回火,距齿顶淬硬层深30mm	
	推土机链轨节:承受重载、大冲击和严重磨损	50Mn、40MnVB:调质,工作面中频淬火,回火,淬硬层深6~10.4mm	
	推土机支承轮	55SiMn、45MnB:滚动面中频淬火,回火,淬硬层深6.2~9.1mm	
	推土机驱动轮	45SiMn:轮齿中频淬火,淬硬层深7.5mm	
	活塞销:受冲击性的交变弯曲剪应力、磨损大,主要是磨损、断裂	20Cr:渗碳,淬火,低温回火,59HRC(双面)	
	刮板弹簧:转子发动机用,要求在高温下保持弹性和抗疲劳性能	718耐热合金:1050℃固溶处理,冷变形,690℃真空时效,8h(或620℃下8h,500℃下松弛8h)	
	受冲击性的迅速变化着的拉应力和装配时的预应力作用,在发动机运转中,连杆螺栓折断会引起严重事故,要求有足够的强度、冲击韧性和抗疲劳能力	40Cr调质,31HRC,不允许有块状铁素体 下料→锻造→退火或正火→加工→调质(回火水冷防止第二类回火脆性)→加工→装配	



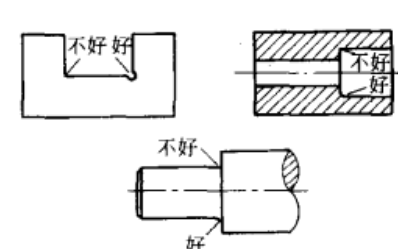
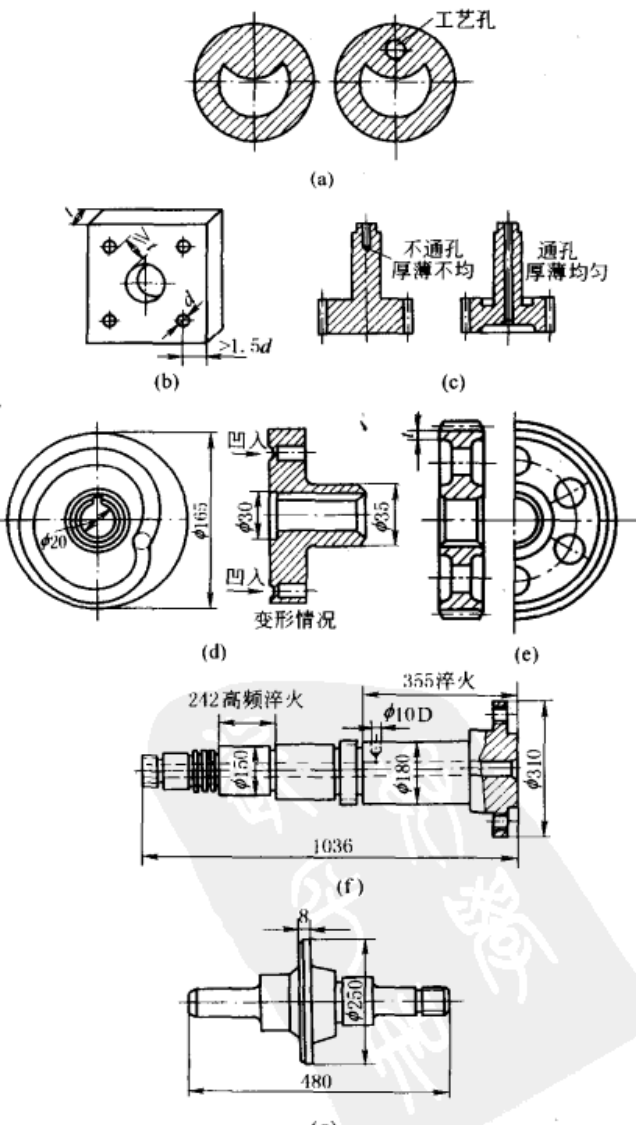
续表

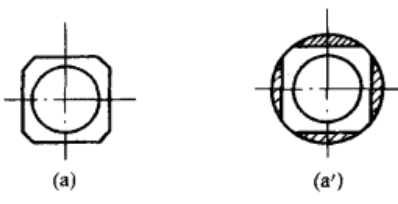
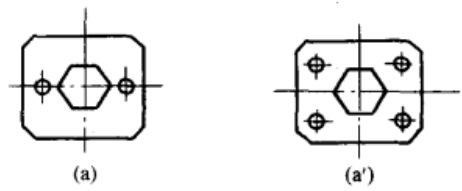
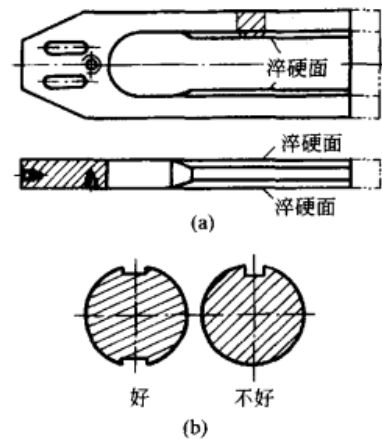
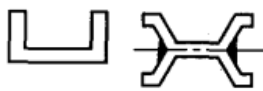
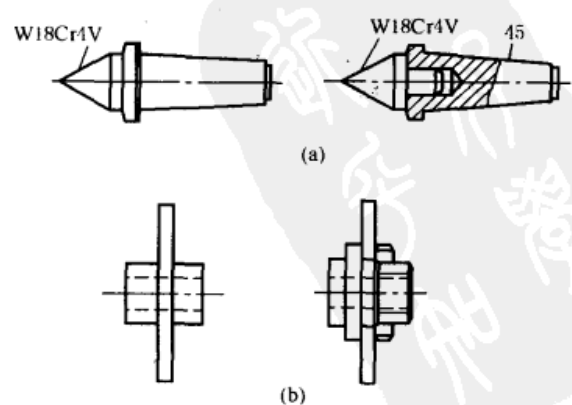
名称	工作条件	材料与热处理要求	备注
	牙轮钻头:主要是磨坏	20CrMo;渗碳,淬火,低温回火,61HRC	
	输煤机溜槽(原用16Mn钢板,未处理,仅用3~6个月)	16Mn;钢板中频淬火(寿命可提高1倍)	
	铁锹(原用低碳钢固体渗碳淬火,回火,质量很差)	低碳钢;淬火,低温回火,得低碳马氏体,质量大大提高	
	石油钻井提升系统用吊环(原用35钢)、吊卡(原用40CrNi或35CrMo):正火或调质,质量差,笨重	20SiMn2MoVA;淬火,低温回火,得低碳马氏体,质量大大提高	
	石油射孔枪:承受火药爆炸大能量高温瞬时冲击,类似于枪炮。主要是过量塑性变形引起开裂	20SiMn2MoVA;淬火,低温回火,得低碳马氏体, $\sigma_b = 1610\text{MPa}$ , $a_k = 80\text{J/mm}^2$	
矿 山 机 械 及 其 他 零 件	煤矿用圆环牵引链,要求高抗拉强度和抗疲劳,主要是疲劳断裂及加工时冷弯开裂	20MnV、25Mn2V:弯曲后闪光对焊,正火,880℃淬火,250℃回火获得低碳马氏体,预变形强化。 $\sigma_b \geq 850\text{MPa}$ , $\sigma_s \geq 650\text{MPa}$ , $a_k \geq 100\text{J/mm}^2$	
	凿岩机钎尾:受高频冲击,要求抗多次冲击能力强,耐疲劳,主要是断裂与凹陷	30SiMnMoV、32SiMnMoV;56HRC,渗碳淬火→650℃回火,二次加热260~280℃等温淬火→螺纹部分滚压强化	
	凿岩机钎杆:受高频冲击与矿石摩擦严重,要求抗多次冲击能力强,耐疲劳和磨损,主要是折断与磨损	30SiMnMoV;59HRC,900~920℃下用“603”液体渗碳2h,至880℃空冷25~30s,油冷,230℃回火3h	
	中压叶片油泵定子:要求槽口耐磨和抗弯曲性能好。主要是槽口磨损、折断	38CrMoAl;渗氮,900HV,调质→粗车→去应力→精车→渗氮	
	机床导轨:要求轨面耐磨和保持高精度。主要是磨损和精度丧失	HT200、HT300:表面电接触加热淬火,56HRC	
	化工用阀门、管件等腐蚀大的零件,要求耐蚀性好	普通碳素钢渗硅	
	锅炉排污阀:主要是锈蚀,要求耐蚀性好	45;渗硼	
	1t 蒸汽锤杆 $\phi 120\text{mm}$ , $L = 2345\text{mm}$ 10t 模锻锤锤杆	受较剧烈多次冲击和疲劳应力。主要是疲劳断裂	45Cr;850℃淬火,10%盐水冷,450℃回火,45HRC 35CrMo;860~870℃水淬,450~480℃回火,40HRC
	电耙把斗、电铲铲斗的齿部:冲击大、摩擦严重。主要是磨坏	ZGMn13;水韧处理,180~220HB(工作时在冲击和压力下450~550HB)	
	$\phi 840\text{mm}$ 及 $\phi 650\text{mm}$ 的矿车轮	ZG55、ZGCrMnSi;280~330HB	

### 1.5 热处理对零件结构设计的要求

#### 一般要求

表 1-6-32

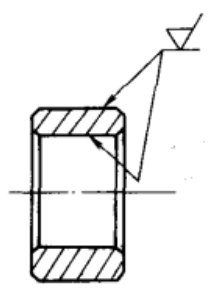
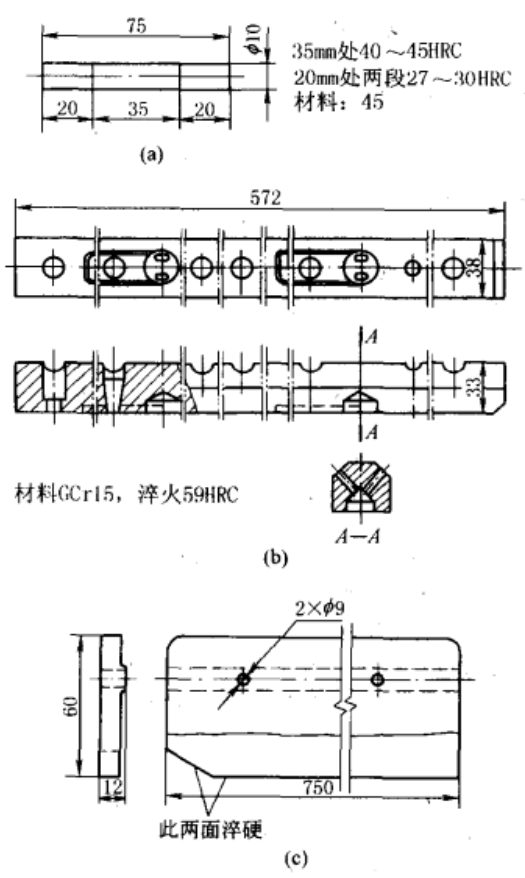
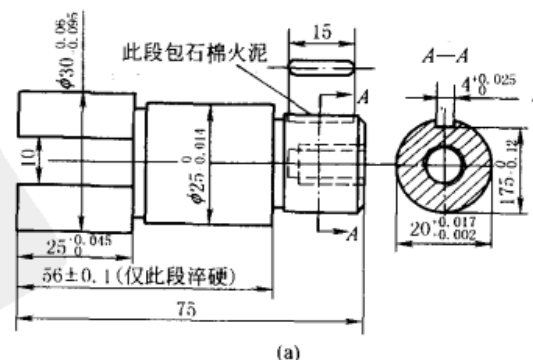
要求	说明	图例																								
避免尖角、棱角	<p>零件的尖角、棱角部分是淬火应力最为集中的地方,往往成为淬火裂纹的起点,因此应尽量避免,而设计成圆角或倒角,如右图所示</p> <p>渗氮处理的零件对轴肩或截面改变处,采用 <math>R \geq 0.5\text{mm}</math> 圆角,否则此处渗氮层易发生脆性崩裂。阶梯轴淬火前粗加工时截面变化处的 <math>R</math> 如下表所示</p> <table border="1" data-bbox="159 660 766 817"> <thead> <tr> <th colspan="6">mm</th> </tr> <tr> <th><math>D-d</math></th> <th><math>R</math></th> <th><math>D-d</math></th> <th><math>R</math></th> <th><math>D-d</math></th> <th><math>R</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11~15</td> <td>2</td> <td>26~50</td> <td>10</td> <td>126~300</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>16~25</td> <td>5</td> <td>51~125</td> <td>15</td> <td>301~500</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>	mm						$D-d$	$R$	$D-d$	$R$	$D-d$	$R$	11~15	2	26~50	10	126~300	20	16~25	5	51~125	15	301~500	30	
mm																										
$D-d$	$R$	$D-d$	$R$	$D-d$	$R$																					
11~15	2	26~50	10	126~300	20																					
16~25	5	51~125	15	301~500	30																					
避免厚薄悬殊	<p>厚薄悬殊的零件,在淬火冷却时,由于冷却不均匀而造成的变形、开裂倾向较大,设计时采取:开工艺孔,如图 a;合理安排孔的位置,如图 b;变不通孔为通孔(内孔要求淬硬时,也不应是不通孔),如图 c;或加厚零件太薄的部分,如图 d。图 d 为攻螺纹凸轮,原设计要求 15 钢渗碳淬火,桃形凹槽淬硬为 59~62HRC,由于槽底太薄,淬火后,变形向里凹入,修改设计,加厚槽底。渗碳齿轮应加开工艺孔,增厚 <math>t</math>,使截面均匀,以减小畸变,如图 e</p> <p>图 f 是一根主轴,轴肩法兰虽然用 9Mn2V 钢油淬,但在螺孔部分淬火时近螺纹口还是会淬裂。解决办法:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 减小螺纹孔的中心距,适当增加螺孔到边缘的距离</li> <li>② 增加法兰厚度,并在淬火时在螺孔内旋一螺钉,淬火后拆去</li> </ol> <p>图 g 也是一根截面悬殊的轴,即使采用合金钢也会产生裂纹,虽然可以采用“预冷”淬火法防止淬裂,但轴的硬度会受影响,因此设计时一定要尽量避免厚薄悬殊,并采用淬火应力小的分级或等温淬火</p>																									

要求	说 明	图 例
避免太薄边缘	当零件要求必须是薄边时,应在热处理后成形,如图 a'(加工去多余部分)	
合理安排孔的位置	改变图 a 冲模螺孔的数量和位置,如图 a',减少淬裂倾向	
尽量采用封闭对称结构	零件形状为开口或不对称结构时,淬火时应力分布不均匀,因此易引起变形。如因结构必须用开口,建议制造时先加工成封闭结构,淬火回火后成形。如图 a 为汽车上的拉条,设计要求 T8A 钢,淬火硬度 58 ~ 62HRC,平行度公差为 0.15mm。采用一次加工成形,淬火后沿开口处胀开较大。改用淬火回火后成形,便能达到设计要求。图 b 为镗杆截面,要求渗氮后变形极小。如设计在镗杆一侧开槽,弯曲变形就很大,如在另一侧也开槽,使零件形状呈对称结构,就大大减小了热处理的变形	
形状力求简单对称	右图是精密坐标镗床的刻线尺(标准尺),是决定机床精度的重要零件,长约 1.2m,属于细长件,要求有极高的精度和精度保持性(尺寸稳定性)。首先,将形状由槽形改成对称的 X 形;其次,选用畸变极小、极稳定的低膨胀合金 4J58 (原来用 2Cr13 不锈钢);再次,在加工过程中每经一次加工都需一次消除应力退火,全过程共有 27 次之多,获得了良好的综合经济效益	
采用组合结构	某些有淬裂倾向而各部分工作条件要求不同的零件或形状复杂的零件,在可能条件下可采用组合结构或镶拼结构,如图 a 为磨床顶尖,顶尖的工作条件繁重,要求高的热硬性。原设计整体采用 W18Cr4V 钢制造,在整体淬火后,出现了裂纹。改用右图所示组合结构,顶尖仍用 W18Cr4V 钢,尾部用 45 钢,分别热处理后,采用热套方式配合,既解决了开裂,又节省了 W18Cr4V 图 b 所示零件两部分工作条件不相同,设计成组合结构,不同部位用不同材料,既提高工艺性,又节约高合金钢材料	



要求	说 明	图 例
合理的技术条件	<p>图 a 是带槽的轴, 材料为 T8A, 原设计要求 &gt; 55HRC, 经整体水淬后, 槽口开裂如图 a 所示; 该零件实际只需槽部有高强度, 后改成只要求槽部硬度为 &gt; 55HRC, 经硝盐分级淬火冷却后, 槽部为 <math>\geq 55\text{HRC}</math>, 其余部分为 <math>\geq 40\text{HRC}</math>, 达到了要求, 也避免了槽部开裂现象</p> <p>图 b 为定位槽口板, 如全部淬硬, 容易翘曲, 用局部淬硬, 便可以防止变形, 满足要求</p> <p>图 c 是球头销, 原设计材料为 20CrMnTi, 渗碳深度 0.8 ~ 1mm, 淬火回火后硬度 58 ~ 62HRC, 仅尺寸“23”范围渗碳, 不但质量不易保证, 而且工艺也比较麻烦。如改用全部渗碳, 直接淬硬, 既可简化工艺, 又可保证质量</p> <p>图 d 是一根心轴, 原设计用 T10A, 淬火回火后, 全部硬度 56 ~ 62HRC, 发蓝, 螺纹部分也淬到高硬度, 不但没有必要, 而且也影响了使用性能, 应降低螺纹的硬度</p>	<p>(a) 带槽轴, 槽口处有淬裂现象, 标注有 <math>\phi 30</math> 和 85。</p> <p>(b) 定位槽口板, 标注有 M8, <math>\phi 8</math>, 25, 20, 65, 30, 40, 8<sup>+0.3</sup><sub>-0.1</sub>。注: 仅槽口淬硬42HRC。</p> <p>(c) 球头销, 标注有 23, 70, 103, 渗碳。</p> <p>(d) 心轴, 标注有 362。</p>
考虑淬火后尺寸变化	<p>图 a 是用 45 钢制的闷头螺塞类零件, 在全部淬火后, 内外螺纹会变形, 在装配时, 拧不进去, 应在槽口部分采用高频淬火 42HRC</p> <p>图 b 是压配精度的定位销一类的精密零件, 虽然形状简单, 如全部淬硬, 端部会胀大, 中间会收缩, 必须在淬前放余量, 淬火后再磨到尺寸, 或局部淬硬</p> <p>图 c 是大型剪刀板, 原设计要求用 65Mn, 硬度 55 ~ 60HRC, 经水淬油冷后, 长度伸长达 6mm 左右, 因孔距公差显著超差而报废。改用 CrWMn、Cr12Mo 钢, 淬火后伸长仅 1 ~ 2mm, 这样可预先控制孔距的加工尺寸, 则刚好符合设计要求</p>	<p>(a) 闷头螺塞, 标注有 3M18, 10, 18, 30, <math>\phi 55</math>。</p> <p>(b) 定位销, 标注有 <math>\phi 52</math>, 2M30x1.5, 40, <math>\phi 45</math>。</p> <p>(c) 大型剪刀板, 标注有 <math>1920 \pm 1</math>, 2048, 90, 28。</p>

要求	说 明	图 例
考虑淬火变形	<p>(1) 采用适当的热处理方法</p> <p>45 钢制造的套环类零件如图 a 所示, 在淬火后尺寸会胀大, 而且有形成椭圆的倾向, 因此, 对于比较重要的精密紧固件, 如锁紧螺母等, 就要考虑采用适当的热处理方法。锁紧螺母原设计为 45 钢, 槽口硬度 35~40HRC, 当槽口、内螺纹等全部加工, 再整体淬火、回火, 槽口硬度可达到技术条件, 但内螺纹变形, 不能保证精度, 如热处理后再加工, 又嫌硬度太高。如调整工艺如下: 下料→调质 25~30HRC→加工槽→槽口高频淬火, 35~40HRC→加工内螺纹, 即可达到要求, 或用 15 钢槽口渗碳淬硬, 59HRC</p> <p>(2) 合理设计零件结构形状</p> <p>图 b 圆锥齿轮设计要求 40Cr, 齿部淬火后回火至 45~50HRC。齿部淬火后, 内孔变成扁圆, 齿部啮合恶化, 键槽失去精度, 且因齿部已经淬硬, 一般机械加工无法修整, 只能报废。若按图示虚线修改结构, 键槽待齿部淬火后再加工, 减少了齿形变形, 保证了精度要求</p>	
考虑淬火裂纹	<p>(1) 合理选用材料和热处理方法</p> <p>图 a 是铣床刀排用螺母, 如采用 45 钢制造, 在淬火时应力集中, 在内壁易产生放射状裂纹, 故此类零件应采用合金钢 42MnVB 或 40Cr 等, 以便采用等温淬火或分级淬火来减少淬火应力, 减少淬火变形和避免开裂</p> <p>图 b 是类似的结构, 一般并无相对摩擦, 但要求提高综合力学性能, 可采用 45 钢, 毛坯调质后再加工</p> <p>(2) 合理设计零件结构形状</p> <p>图 c 是镶铜钢套, 设计要求用 45 钢, “45H7”槽两侧淬火后回火硬度 45~50HRC, “20F9”槽中心线对“φ80f7”的同心允差 0.03mm, 对“45H7”槽垂直允差 0.03mm。依此精度要求在淬火时“φ45H7”内孔必须加工好, 这就使“45H7”槽底极薄(钢厚 2mm, 铜厚 1.5mm)。当淬“45H7”槽两侧时, 即使槽底不淬透也会由于热应力作用而在铜套上出现裂纹。如加厚铜套厚度, 可防止开裂</p>	

要求	说明	图例
适当提高表面光洁度	<p>切削加工后零件的表面光洁度不够,有时也可能成为淬火裂纹的起因,如某些轴承套圈,因切削刀痕过深,造成应力集中,在淬火时沿刀痕方向形成淬火裂纹(热处理零件最终热处理时表面应清洁和有较低表面粗糙度,一般淬火零件表面粗糙度 <math>R_a</math> 不大于 <math>3.2\mu\text{m}</math>; 渗氮零件要求 <math>\leq 0.80 \sim 0.10\mu\text{m}</math>,一般是经磨削加工以后的表面粗糙度)</p>	
考虑其他热处理工艺性	<p>图 a 是一根在小尺寸范围内要求不同硬度的轴,材料为 45 钢,要求尺寸“35”处 40~45HRC,尺寸“20”的两段 27~40HRC,工艺性太差,无法回火</p> <p>图 b 是镶钢的导轨,由于截面不均匀,淬火后弯曲变形是难免的,在设计时必须考虑到校直问题:①要避免形成两个方向的弯曲,在上下不可能对称的情况下,左右一定要对称;②要采用残余奥氏体较多的合金工具钢(如 9Mn2V)或轴承钢(如 GCr15),以便在淬火后及时进行“热校直”(用低碳钢渗碳亦可),同时一定要把毛坯锻造后球化退火的金相组织要求列入技术条件,孔口边缘必须倒角 <math>R \geq 0.5 \sim 1\text{mm}</math>,以免校直时产生裂纹</p> <p>图 c 是导轨板,应尽可能采用电接触加热的方法进行表面硬化处理,最好能把零件加工到尺寸后,安装在床身上再表面淬火,材料则仍可用碳钢如 50 钢,淬硬层愈浅则变形愈小</p>	 <p>(a) 35mm处40~45HRC 20mm处两段27~30HRC 材料: 45</p> <p>(b) 材料GCr15, 淬火59HRC</p> <p>(c) 此两面淬硬</p>
考虑材料的工艺性	<p>图 a、b 是用 45 钢制造的轴,强度及其他力学性能是足够的,如在图示位置包扎良好,开裂也可避免,但淬火后,端面槽口尺寸是无法校正的,图 a 的会胀大,图 b 的会收缩。从淬火变形考虑就必须改用硬化性较好的合金结构钢如 42MnVB 等,以便采用等温淬火的方法减少变形,外圆的沟槽变形也可减少</p>	 <p>此段包石棉火泥</p> <p>(a)</p>

要求

说明

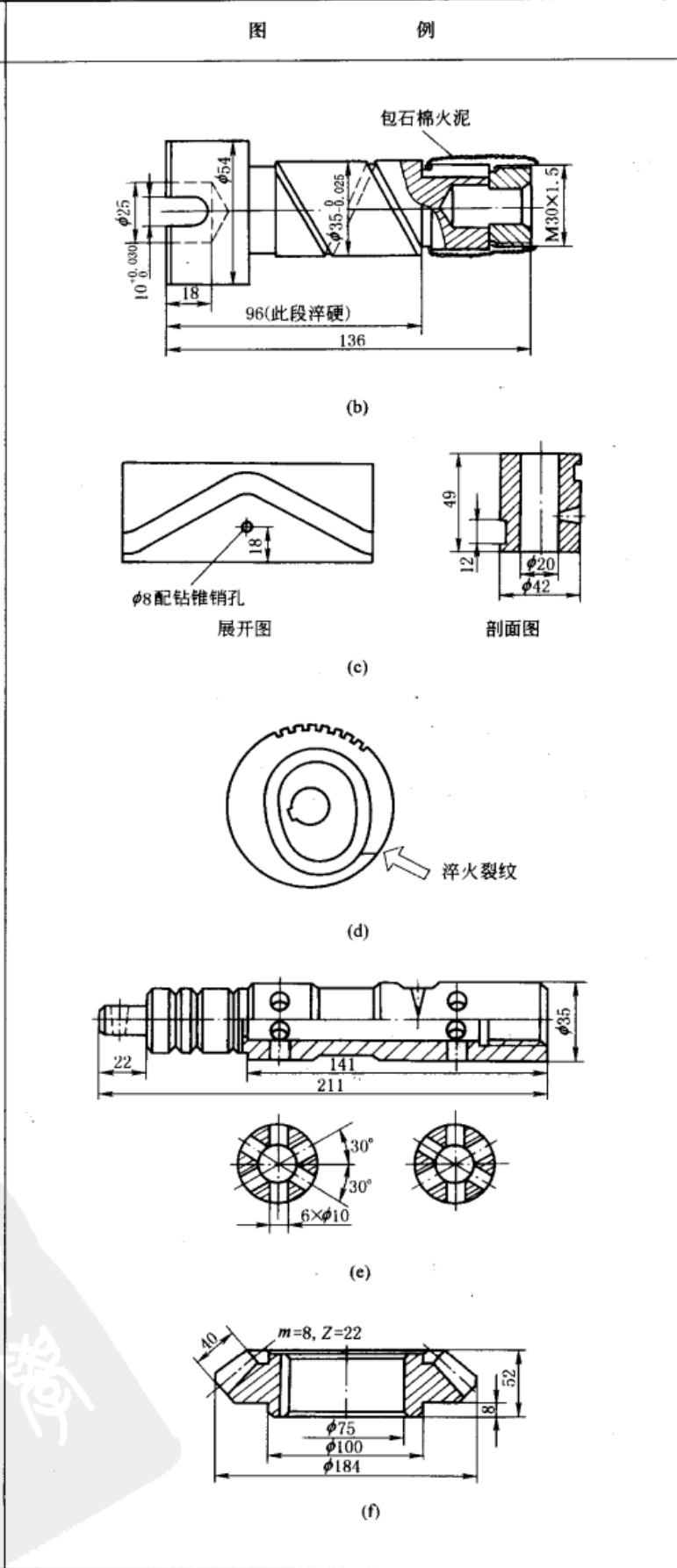
图 c 为一滚轮,“12”槽部要求淬硬,槽附近有“φ8”的配钻孔,要在淬火后配钻。若选用 45 或 40Cr 钢,在淬火前加工出孔,则淬火后变形大,硬度高,配钻有困难;若淬火后加工孔,又加工不动,故选用中碳钢整体淬火不合适。若采用高频淬火,则零件较小,单独淬槽部有困难。如果改用 20Cr 钢,先加工槽,然后渗碳,再将配钻孔处的渗碳层去掉,然后油淬,低温回火,“φ8”锥孔因含碳低而淬不硬,故可以配钻

图 d 为一内凸轮,原设计采用 45 钢制造,要求凹槽处淬硬。为防止开裂,曾采用水-油双液淬火,由于该件结构厚薄悬殊,水中停留时间不易掌握,结果造成沿薄截面处的淬火裂纹,如改用 40Cr 钢,采用油淬,既可达到技术要求又不致造成淬火开裂

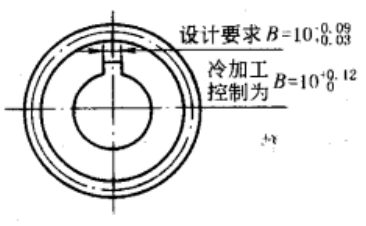
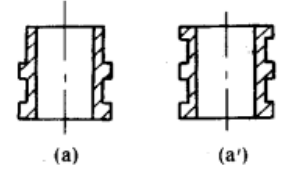
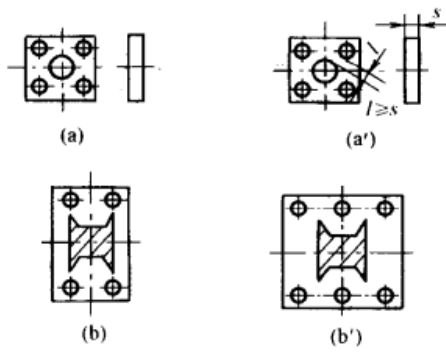
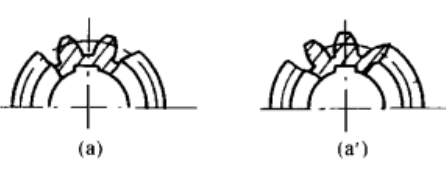
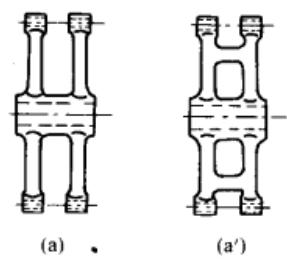
图 e 为一滑阀,结构比较复杂,原设计要求 45 钢淬火后回火,硬度 45 ~ 50HRC。由于 45 钢水淬开裂倾向大,淬火时“φ10”孔处极易开裂。如改用 40Cr 等合金结构钢制造,就可减少开裂倾向

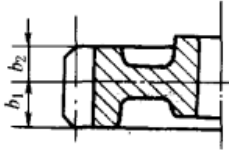
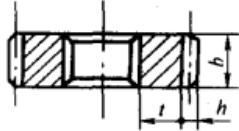
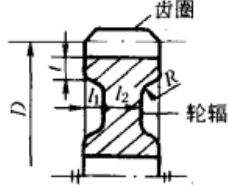
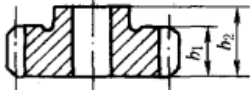
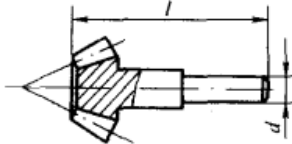

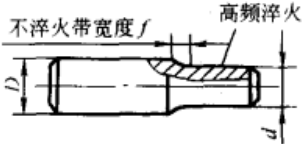
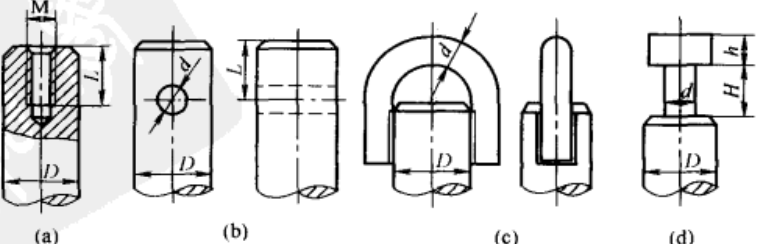
图 f 圆锥齿轮原设计要求用 40Cr,齿部高频淬火后回火至 50 ~ 55HRC。按要求进行齿部高频淬火后两弧齿面硬度不一,特别是模数较大时硬度差更大,改用低合金渗碳钢渗碳后齿部淬火比较合适

考虑材料的工艺性



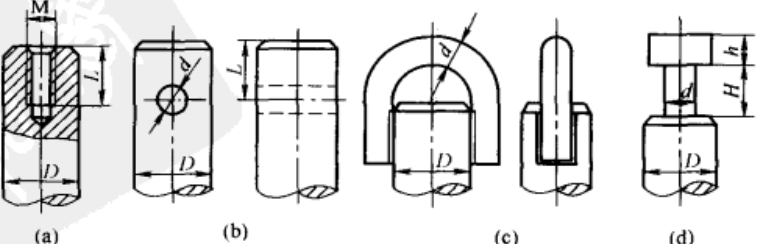
设计知识

要求	说 明	图 例
按变形规律调整加工尺寸	<p>如某汽车变速齿轮键宽要求 <math>10^{+0.09}_{-0.03}</math>。渗碳淬火后的变形规律试验数据为缩小 <math>0.05\text{mm}</math>。因此,冷加工可控制在 <math>10^{+0.12}_0</math>,则热处理后一般为 <math>10^{+0.07}_0</math>,符合技术要求</p>	 <p>设计要求 <math>B=10^{+0.09}_{-0.03}</math> 冷加工控制为 <math>B=10^{+0.12}_0</math></p>
	<p>图 a 所示薄壁套筒,一端带凸缘,氮化后易变成喇叭口,如改为图 a'所示结构,则变形可消失</p>	 <p>(a) (a')</p>
结 合 工 艺 改	<p>注意孔距的合理安排 对于受力较大的零件合理安排孔位置尤为重要。图 a 所示模板,其螺孔与落料孔距离太近,淬火时易变形,改为图 a'所示 <math>l \geq s</math> 较好 螺钉孔不应位于交叉刃口的延线上,尤其不应靠近小锐角,以免局部减弱模具强度,而出现裂纹,改成图 b'所示结构较好</p>	 <p>(a) (a') (b) (b')</p>
进 结 构	<p>当键槽离轮齿较近时,其键槽不应置于齿根下面,以免太薄产生断裂,应改成图 a'所示结构</p>	 <p>(a) (a')</p>
	<p>臂较长而又单薄的铸件应设置加强肋,使其具有合理的刚度,以免热处理时发生畸变或断裂。改成图 a'所示结构,加设了横梁,使铸件刚度和强度显著增加</p>	 <p>(a) (a')</p>

要求	说明	图例
	$b_1$ 和 $b_2$ 不宜相差太大	
	全部齿一次加热, 高频淬火时, $t$ 要足够大, $b$ 不宜太大, 一般 $t \geq 2.5h$ , $b \leq 55\text{mm}$	
	$l/D$ 不宜太小, 一般在 0.1~0.2 以上, $l_2$ 不要太小, 约为 $2l_1$ , $R$ 要大 渗碳齿轮可在轮辐上加开工艺孔, 增厚 $t$ , 以减小变形	
结 合 工 艺	$b_1$ 和 $b_2$ 要相当, 相差愈大变形愈大	
改 进 结 构	$l/d$ 比不要太大	
	附加余量是为了减少渗碳时变形, 热处理后应切去	
	从小端到大端过渡处, 不淬火带的宽度 $f$ 由 $D-d$ 确定, 参见下表:	
	细而长的零件如机床丝杠、细长轴等, 长度与直径比不宜太大。为了避免或减少畸变, 在热处理时应在井式炉内吊挂加热, 其形状应便于吊具装夹。右图是常见的吊挂形式, 从结构上看小件 a 较好, 大件 d 最好, c 是最差的、最不经济的, 只有单件或极小批量生产时采用	

	mm		
$D-d$	< 15	15~20	> 20
$f$	1.5~3	3~5	5~12

细而长的零件如机床丝杠、细长轴等, 长度与直径比不宜太大。为了避免或减少畸变, 在热处理时应在井式炉内吊挂加热, 其形状应便于吊具装夹。右图是常见的吊挂形式, 从结构上看小件 a 较好, 大件 d 最好, c 是最差的、最不经济的, 只有单件或极小批量生产时采用

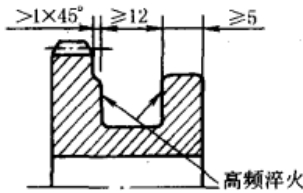
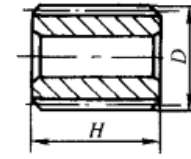
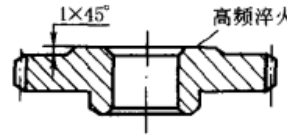
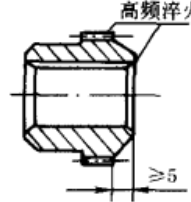
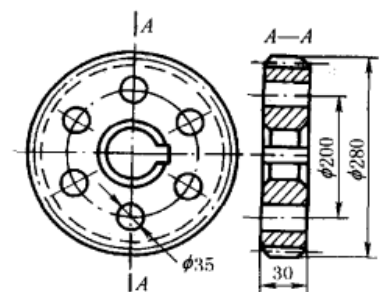


感应加热表面淬火的特殊要求

表 1-6-33

要 求	说 明	图 例												
轴端、轴孔及齿轮端部均应有倒角	感应加热表面淬火时尖角处易过热，甚至熔化，因此轴端应有倒角，若轴有孔，孔也应倒角，如右图，孔径较大时还应配入铜铆钉，淬后拆除													
从轴的小径到大径，应允许有“硬度递减区（即过渡区）”	<p>硬度递减区的宽度和两个直径之差有关，其规定见下表：</p> <table border="1" data-bbox="391 616 893 761"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: right;">mm</th> </tr> <tr> <th><math>D - d</math></th> <th>10 ~ 20</th> <th>20 ~ 30</th> <th>&gt; 30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>硬度递减区宽度</td> <td>5 ~ 10</td> <td>10 ~ 15</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table> <p>如按表所列数值进行表面淬火后对质量有影响时，则应改变设计结构，因中频感应圈本身有一定宽度，故淬火时不能淬硬到凸肩根部</p>	mm				$D - d$	10 ~ 20	20 ~ 30	> 30	硬度递减区宽度	5 ~ 10	10 ~ 15	15	
mm														
$D - d$	10 ~ 20	20 ~ 30	> 30											
硬度递减区宽度	5 ~ 10	10 ~ 15	15											
轴上键槽两端必须留 6 ~ 8mm 不淬火带，键槽距轴端应 > 10mm 或开通	<p>目的是防止淬火时键槽熔化，如设计要求必须淬硬时，应考虑能镶配紫铜销（两端要有间隙），淬后不淬火带的硬度，大约在下表范围：</p> <table border="1" data-bbox="391 1064 893 1153"> <thead> <tr> <th>钢 号</th> <th>35</th> <th>45</th> <th>40Cr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>硬 度 HRC</td> <td>25 ~ 30</td> <td>30 ~ 33</td> <td>33 ~ 36</td> </tr> </tbody> </table> <p>键槽距轴端间距 &gt; 10mm 或开通是为了防止淬裂</p>	钢 号	35	45	40Cr	硬 度 HRC	25 ~ 30	30 ~ 33	33 ~ 36					
钢 号	35	45	40Cr											
硬 度 HRC	25 ~ 30	30 ~ 33	33 ~ 36											
细长的调节螺钉要考虑淬火变形（螺距变化）	细长的调节螺钉，一般都用热轧圆钢制成，如全部都加热淬火，不仅易造成弯曲，而且螺距也会变化，造成淬火后旋不进螺母，因此对此类工件可广泛采用局部火焰淬火或高频淬火的方法，承受载荷较大的可在毛坯调质后，再局部淬硬													
二联或三联以上而外径相差不大的齿轮，若齿部均需淬火时，齿部两端面间的间距应 ≥ 8mm。b <sub>2</sub> 、b <sub>3</sub> 要相近	为了防止在分别淬火后，先淬硬的齿轮受到后淬齿轮感应圈感应影响硬度，故二联齿轮淬火时，应先淬直径小的，再淬直径大的													

续表

要 求	说 明	图 例
<p>塔形齿轮如在沟槽、拨叉部分要求淬火，则端部厚度应<math>\geq 5\text{mm}</math>，沟槽部分宽度<math>\geq 12\text{mm}</math></p>	<p>要求端部有一定厚度，是为了防止端部开裂 要求沟槽有一定宽度，是考虑感应器的制作及操作方便</p>	
<p>在一般条件下，不宜设计齿宽比齿轮直径大的柱形齿轮</p>	<p>这样的齿轮容易发生变形，而且也比较难获得合理的硬化层分布，如必须这样设计，则应采用低合金结构钢等温或分级淬硬</p>	
<p>齿轮端面淬火时，淬火部分应凸起不小于<math>1\text{mm}</math>，并倒成<math>45^\circ</math>角</p>	<p>这样一方面可避免在端面淬火时影响齿部硬度，同时淬火面积小了，高频的感应圈也比较好解决</p>	
<p>齿部及端面均要求淬火时，端面与齿部距离<math>\geq 5\text{mm}</math></p>	<p>这样可以防止端面淬硬时影响齿部的硬度</p>	
<p>冷热加工应相互密切配合，合理安排工艺路线</p>	<p>凡高频淬火的齿轮、长轴套等零件，在淬火后内孔都略有收缩，因此在要求精度较高的情况下，应将长轴套、齿轮的键槽、花键在淬火之后再拉削一次以保证精度</p>	 <p>若全部先加工，后淬火，淬火后靠近“<math>\phi 35</math>”孔处的节圆直径处将会下凹。因此6个孔只能在高频淬火后制出</p>



## 2 有色金属热处理

### 2.1 有色金属材料热处理方法及选用

表 1-6-34 有色金属材料热处理方法、目的与用途

名称	工艺方法	目的与用途
均匀化退火 (扩散退火)	在加热、保温过程中, 由于原子扩散作用而使合金化学成分趋于均匀	用于铸件或热加工前的铸锭, 以消除或减少成分偏析和组织的不均匀性, 提高塑性, 改善加工产品的质量
再结晶退火	将冷变形加工后的制品加热到再结晶温度以上, 保温后空冷	用于经冷变形加工后的制品。目的是消除冷作硬化, 恢复塑性, 以利于下一加工工序的顺利进行 也作为产品的最终退火, 以获得细小粒组织, 改善性能
去应力退火	加热到低于再结晶温度的退火	消除锻造、铸造、焊接和切削加工产生的内应力 消除黄铜的蚀裂现象 对于不能热处理强化的铝合金和纯铝等, 则是为了消除形变应力、保留冷作硬化
固溶处理 (淬火)	加热到稍高于强化相最大溶解度的温度, 保温后水冷, 获得过饱和固溶体	是各种有色金属合金强化处理的准备工序 (此时尚未强化), 与随后的时效处理配合使合金达到强化的目的
自然时效	在常温下长时间停留, 使固溶处理后的过饱和固溶体中的强化相脱溶	提高强度、硬度。由于此法所用时间太长, 除冶金工厂外, 生产中一般不采用
人工时效	在加热条件下 (一般 150℃ 左右), 使固溶处理下的过饱和固溶体中的强化相脱溶	提高强度、硬度。普遍用于铝、铜等有色金属合金的强化过程
回归现象	自然时效后的铝合金, 在高于人工时效的温度短时间加热后快速冷却到室温。此时合金重新变软, 恢复到刚固溶处理后的状态, 且仍能进行正常的时效	可使自然时效硬化了的铝合金重新软化、恢复塑性, 以继续进行冷变形加工用于铝合金制品的返修

表 1-6-35 常用有色金属材料热处理方法的选用

材料	热处理方法	目的
热处理不能强化的形变铝合金	高温退火	消除冷作硬化, 提高塑性
	低温退火	提高塑性的同时, 部分保留冷变形所获得的强化效果
热处理可强化的形变铝合金	完全退火或快速 (中间) 退火	提高塑性并消除由于淬火时效的强化
	淬火 (即固溶处理, 下同) + 时效	获得高的强度和足够韧性
铝 合 金  铸 造 铝 合 金	① 不预先淬火的人工时效	提高强度和硬度, 改善切削加工性和表面粗糙度
	② 退火	适于强度要求不高或不能热处理强化的合金。消除铸造应力和加工硬化。改善组织中某些脆性相形态, 提高塑性, 稳定尺寸
	③ 淬火 + 自然时效	提高零件的强度和在 100℃ 以下工作的耐蚀性
	④ 淬火 + 不完全人工时效	用于中等载荷和在不高温度下工作的零件, 以获得高的强度, 并保持较高塑性
	⑤ 淬火 + 完全人工时效	用于处理大载荷零件, 获得最高的强度和硬度
	⑥ 淬火 + 稳定化回火处理	用于高温工作的零件, 与④、⑤相比, 强度较低, 而塑性较高, 回火温度接近工作温度, 使组织稳定、耐蚀性提高
	⑦ 淬火 + 软化回火处理	回火温度高于⑥, 适于在比⑥更高温度状态下工作的零件, 以获得高的塑性和尺寸稳定性
	⑧ 冷处理 + 冷循环处理	使零件获得高的尺寸稳定性

续表

材 料		热 处 理 方 法	目 的
铜 合 金	纯(紫)铜	再结晶退火	消除由冷变形加工引起的加工硬化,恢复塑性
	黄铜	低温退火	消除内应力,防止应力腐蚀开裂和切削加工时变形
		再结晶退火	包括加工工序间的中间退火和成品的最终退火。消除加工硬化,恢复塑性
	青铜	均匀化退火(扩散退火)	消除或减少铸锭成分偏析和组织不均匀性,提高塑性
		再结晶退火	包括加工工序间的中间退火和成品的最终退火。消除加工硬化,恢复塑性
		去应力(低温)退火	消除内应力,防止应力腐蚀开裂,稳定冷变形或焊接工作的尺寸和性能,以及防止切削加工时产生变形
		淬火+时效	用于铍青铜、硅青铜、复杂铝青铜 提高强度、硬度
	钛合金	去应力退火(450~650℃)	消除铸、焊和切削加工内应力,部分恢复塑性
完全退火(650~800℃)		使组织和力学性能均匀,在室温下具有良好塑性和适当韧性;对于耐热合金,是使其在高温下具有尺寸和组织稳定性 钛合金多在退火状态下使用	
去氢退火(540~760℃)		防止氢脆,必须在真空下进行	
淬火+时效		获得高的强度并保持足够韧性	
镁合金	去应力退火	消除铸造、冷热加工、校直和焊接产生的内应力,稳定尺寸	
	再结晶退火	消除冷作硬化	
	淬火+时效	提高硬度和强度	

## 2.2 铝及铝合金热处理

铝及铝合金按加工方法分为变形铝合金和铸造铝合金。按热处理性质分为:热处理强化的铝合金,包括硬铝、锻铝及大部分铸造铝合金,它只能在淬火+时效状态下使用;热处理不强化的铝合金,包括工业纯铝、防锈铝,它只能在退火或冷作状态下使用,一部分低强度的铸造铝合金,它只能在退火状态下使用。

### 变形铝合金的热处理方法和应用

表 1-6-36

合金类型、牌号	方法	有效厚度 /mm	退火温度 /℃	保温时间 /min	冷却 方式	应 用	备 注
热处理不 强化的 铝合金	高温 退火	≤6	350~500	热透为止	空冷	降低硬度,提高塑性,可达到最充分的软化,完全消除冷作硬化	需要特别注意退火温度和保温时间的选择,以免发生再结晶过程而使晶粒长大
		>6	350~420	30			
			310~335				
		0.3~3	350~420 (井式炉)	50~55			
		>3~6		60~65			
		>6~10		80~85			
1070A、1060、1050A、 1035、1200、8A06、3A21	低温 退火	—	150~250	120~180	空冷	既提高塑性,又部分地保留由于冷作变形而获得的强度 消除应力,稳定尺寸	退火温度与杂质含量有关,随杂质含量的增加而升高
		5A02	150~180	60~120			
		5A03	270~300	60~120			
		3A21	250~280	60~150			

合金类型、牌号	方法	有效厚度 /mm	退火温度 /℃	保温时间 /min	冷却 方式	应用	备注
2A06	完全退火	—	380 ~ 430	10 ~ 60	30℃/h 炉冷至 260℃, 然后 空冷	提高塑性,并完全消除由于淬火及时效而获得的强度,同时可以消除内应力和冷作硬化	完全退火后,半成品可以进行高变形程度的冷压加工 淬火后或淬火及时效后用冷变形强化的2A11、2A12、7A04、合金板材,不宜进行退火,因冷作硬化程度不超过10%,即在临界变形程度范围内,缓慢退火加热,可引起晶粒粗大
2A11、2A12、 2A16、2A17			390 ~ 450				
LT42(旧牌号)			400 ~ 450				
LC6(旧牌号)			390 ~ 430				
7A04		0.3 ~ 2	390 ~ 430	40 ~ 45	30℃/h 炉冷至 150℃, 然后 空冷		
	>2 ~ 4	(井式炉)	50 ~ 55				
	>4 ~ 6		60 ~ 65				
2A11 2A12 6A02	快速退火	0.3 ~ 4	350 ~ 370 (井式炉)	40 ~ 45	空冷	提高经淬火与时效而强化的变形铝合金的半成品及零件的塑性和软化程度 部分消除内应力 缩短退火时间	7A04、LC6(旧牌号)合金在个别情况下,可按2A12合金规范进行快速退火,但可能产生强化,所以退火与变形加工之间的放置时间不应超过240h
		>4 ~ 6		60 ~ 65			
		>6 ~ 10		90 ~ 95			
2A06、2A16、2A17		—	350 ~ 370	120 ~ 240	空冷 或 水冷		
7A04			290 ~ 320				
6A02			380 ~ 420				
2A50			350 ~ 400				
2A14	390 ~ 410						
2A06 2A11 2A12	瞬时退火	—	350 ~ 380 (硝盐槽)	60 ~ 120	水冷	为消除其半成品的加工冷作硬化,以获得继续加工的可能性	
	淬火	半成品种类	淬火最低 温度 /℃	最佳温度 /℃	发生过烧 危险温度 /℃	淬火是将零件加热到接近共晶熔点或为保证细的晶粒和某种特殊性能而足以使强化相充分溶解的温度,并保温一定时间,然后强冷至室温,以得到稳定的过饱和固溶体	淬火后强度增高,但塑性仍然足够高,可进行冷变形 自然时效的铝合金淬火后只能短时间保持良好塑性,这个时间是:2A12为1.5h;2A11、6A02、2A50、2A70、2A80、2A14、2A02、2A06等为2~3h;7A04、LC6(旧牌号)、7A09为6h,因此变形工艺过程必须在上述时间内完成
2A02		棒材、锻件	490	495 ~ 508	512		
2A11、2A13			480	485 ~ 510	525		
2A06			495	500 ~ 510	515		
2A11		板材、管材	485	490 ~ 510	520		
2A12			490	495 ~ 503	505		
		棒材、锻件	485	490 ~ 503			
2A16		板材、管材	525	530 ~ 542	545		
		棒材、锻件	520	530 ~ 542			
7A04		板材、管材	450	455 ~ 480	520 ~ 530		
7A09			450	455 ~ 480	525		
LC6(旧牌号)		棒材、锻件	450	455 ~ 473	—		
6A02	板材、管材	510	515 ~ 540	565			

续表

合金类型、牌号	方法	半成品种类	淬火最低温度/℃	最佳温度/℃	发生过烧危险温度/℃	应用	备注	
6A02	淬 火		510	515 ~ 530	—			
2A50、2B50			500	510 ~ 540	545			
2A70		棒材、锻件	520	525 ~ 540	545			
2A80			510	515 ~ 535	545			
2A90			510	510 ~ 530	—			
2A14		板材、管材	490	500 ~ 510	517			
	棒材、锻件	495 ~ 505		515				
2A06、2A11、2A12、 6A02、2A50、2A14	自然时效	半成品种类	时效温度/℃		时效时间/h	时效的目的是将淬火所得到的过饱和固溶体在低温(人工时效)或室温(自然时效)的条件下,保持一定的时间,使强化相从固溶体中呈弥散质点析出,从而使合金异常强化,获得很高的力学性能	2A06、2A11、2A12合金如低于150℃使用时,则进行自然时效;高于150℃使用时,则进行人工时效 6A02、2A50、2B50、2A70、2A80、2A90、2A14、2A02、2A16、2A17合金零件高温使用(≥150℃)时,需人工时效,但6A02、2A50、2A14合金零件也可采用自然时效	
		各种半成品	室温		48 ~ 144 (>96)			
6A02、2A50、2B50、 2A14	人工时效	各种 半成品	150 ~ 165	6 ~ 15				
			180 ~ 195	8 ~ 12				
			165 ~ 180	8 ~ 14				
2A70			挤压半成品	135 ~ 150	2 ~ 4			
2A80			各种半成品	165 ~ 175	10 ~ 16			
2A90			—	160 ± 5	6 ~ 10			
2A02			板材、挤压 半成品	185 ~ 195	6 ~ 12			
2A11			各种 半成品	规范1:160 ~ 175	10 ~ 16			
2A12				规范2:200 ~ 220	8 ~ 12			
2A16		180 ~ 195		12 ~ 16				
2A17	分级时效	板材	120 ~ 140	12 ~ 24				
			120 ± 5	8				
			160 ± 5	8				
7A04、7A09	一级	挤压半成品	115 ~ 125	2 ~ 4				
	二级		160 ~ 170	3 ~ 5				
LC5(旧牌号)、LC6 (旧牌号)	一级	模锻件、其 他各种锻件	115 ~ 125	2 ~ 4				
	二级		160 ~ 170	3 ~ 5				

## 铸造铝合金的热处理方法和应用

表 1-6-37

合金牌号	方法	操作	应用
ZL-103 ZL-104 ZL-105 ZL-401	不预先淬火的人工时效	时效温度大约是 150 ~ 180℃, 保温 1 ~ 24h 用湿砂型或金属型铸造时, 可获得部分淬火效果, 即固溶体有着不同程度的过饱和度	改善铸件切削加工性; 提高某些合金(如 ZL-103、ZL-105) 零件的硬度和强度(约 30%) 用来处理承受载荷不大的硬模铸造零件

合金牌号	方 法	操 作	应 用
ZL-101 ZL-102 ZL-103 ZL-501	退火	退火温度大约是 280 ~ 300℃, 保温 2 ~ 4h 一般铸件在铸造后或粗加工后常进行此种处理	消除铸件的铸造应力和机械加工引起的冷作硬化, 提高塑性 用于要求使用过程中尺寸很稳定的零件
ZL-101 ZL-201 ZL-203 ZL-301 ZL-302	淬火	淬火温度约为 500 ~ 535℃, 铝镁系合金为 435℃ 这种处理亦称为固溶化处理, 对具有自然时效特性的合金, 淬火亦表示淬火并自然时效	提高零件的强度并保持高的塑性, 提高在 100℃ 以下工作零件的耐蚀性, 用于受动载荷冲击作用的零件
ZL-101 ZL-103 ZL-105 ZL-201 ZL-202 ZL-203	淬火后瞬时(不完全)人工时效	在低温或瞬时保温条件下进行人工时效, 时效温度约为 150 ~ 170℃	获得足够高的强度(较淬火为高)并保持较高的屈服点 用于承受高静载荷及在不很高温度下工作的零件
ZL-101 ZL-104	淬火后完全人工时效	在较高温度和长时间保温条件下进行人工时效; 时效温度约为 175 ~ 185℃	使合金获得最高强度而塑性稍有降低 用于承受高静载荷而不受冲击作用的零件
ZL-101 ZL-103 ZL-105	淬火后稳定回火	最好在接近零件工作温度的条件下进行回火 回火温度约为 190 ~ 230℃, 保温 4 ~ 9h	获得足够强度和较高的稳定性, 防止零件高温工作时力学性能下降和尺寸变化 适用于高温工作的零件
ZL-101 ZL-103	淬火后软化回火	回火温度更高, 一般约为 230 ~ 270℃, 保温 4 ~ 9h	获得较高的塑性, 但强度有所降低 适用于要求高塑性的零件

## 2.3 铜及铜合金热处理

表 1-6-38

铜及铜合金热处理方法和应用

合金牌号	方 法	应 用	备 注
除 镀 青 铜 外 所 有 合 金	退火	消除应力及冷作硬化, 恢复组织, 降低硬度, 提高塑性, 消除铸造应力, 均匀组织和成分, 改善加工性	可作为黄铜压力加工件的中间热处理工序, 青铜件毛坯或中间热处理工序加热保温后空冷
H62、H68、HPb59-1 等	低温退火	消除内应力, 提高黄铜件(特别是薄的冲压件)抗腐蚀破裂(又称季裂)的能力	一般作为冷冲压件及机加工零件的成品热处理工序

续表

合金牌号	方法	应用	备注
锡青铜 硅黄铜	致密化退火	消除铸件的显微疏松,提高铸件的致密性	
	淬火	提高塑性,获得过饱和固溶体	采用水冷
铍青铜	淬火时效 (调质处理)	提高铍青铜零件的硬度、强度、弹性极限和屈服点	淬火温度为 $790^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ,需用氢气或分解氨气保护
QA19-2、QA19-4、QA110-3-1.5、QA110-4-4	淬火回火	提高青铜铸件和零件的硬度、强度和屈服点	
QSn6.5-0.1、QSn4-3、QSi3-1、QA17、BZn15-20	回火	消除应力,恢复和提高弹性极限	一般作为弹性元件的成品热处理工序
HPb59-1		稳定尺寸	可作为成品热处理工序

## 2.4 钛及钛合金热处理

表 1-6-39

钛及钛合金热处理方法和应用

合金牌号	方法	操作	应用	备注
TA3 ~ TA8、TB1、TB2、TC1、TC2、TC4、TC6、TC10	不完全退火	将零件加热至稍低于再结晶温度(一般为 $450 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ),保温 $1 \sim 1.5\text{h}$ ,然后空冷	消除因切削加工、锻造、焊接所产生的内应力,使塑性得到部分恢复	为防止零件加热时受到污染,可在真空炉加热,或通氩气或氮气予以保护
TA3 ~ TA8、TB1、TB2、TC1 ~ TC7、TC10 等	完全退火	将零件加热至高于再结晶温度而低于 $(\alpha + \beta) \rightarrow \beta$ 的转变温度(一般为 $650 \sim 800^{\circ}\text{C}$ ),保温后空冷	较彻底地消除内应力,降低硬度、恢复塑性,并使组织力学性能均匀	为了消除和防止钛合金氢脆现象,可进行除氢退火,其温度一般是 $540 \sim 760^{\circ}\text{C}$ ,保温 $2 \sim 4\text{h}$
TC1、TC2、TC4、TC6、TC8、TC9	稳定化退火	加热至比相变温度低 $30 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ,保温并炉冷至低于相变温度 $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ ,再保温 $80\text{min} \pm 20\text{min}$ ,然后空冷	使合金组织尽可能接近平衡状态,保证组织与性能稳定,以保证零件在较高温度下长期工作	为了使合金具有更好的综合性能,又发展了多次退火工艺
TB1、TB2、TC3、TC4、TC6、TC8 ~ TC10 等	淬火时效	将合金加热至一定温度 ( $\alpha + \beta$ 合金为相变点以下 $30 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ,即在 $\alpha + \beta$ 相区内, $\beta$ 合金为相变点以上 $10 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ),水冷而得到过饱和的固溶体;然后再在高于脆相 $\omega$ 形成温度 ( $450 \sim 600^{\circ}\text{C}$ ) 加热、保温并空冷,使过饱和固溶体分解,可溶相 ( $\alpha$ 相及金属间化合物) 从 $\beta$ 固溶体中呈弥散质点析出,使合金化	使合金获得很高的强度并保持足够的韧性 使合金组织和性能具有足够的热稳定性	

## 2.5 镁合金的热处理 [47, 51]

镁合金的常规热处理工艺分为退火（消除内应力退火和完全再结晶退火）和固溶时效两大类。①消除内应力退火的目的在于消除工件加工成形过程中的内应力，退火温度低于再结晶温度，退火时间短。②再结晶退火的目的在于消除加工硬化，回复和提高工件的塑性，退火温度高于再结晶退火的温度，退火保温时间也长。对于尺寸要求比较严格的零部件，去应力退火是必需的。③有些镁合金，如 MB6、ZM5 等压力加工或铸造成形后，为提高抗拉强度和断后伸长率，可进行固溶淬火处理。要使强化相充分溶解，需要较长的加热保温时间。④有些镁合金，如 MB15，可以直接进行人工时效处理，得到相当高的时效硬化效果。又如对 Mg-Zn 系合金，加热淬火使晶粒长大，反不如进行直接人工时效。⑤固溶处理可以提高合金的屈服强度，但塑性有所降低，主要用于 Mg-Al-Zn 系和 Mg-RE-Zr 系。

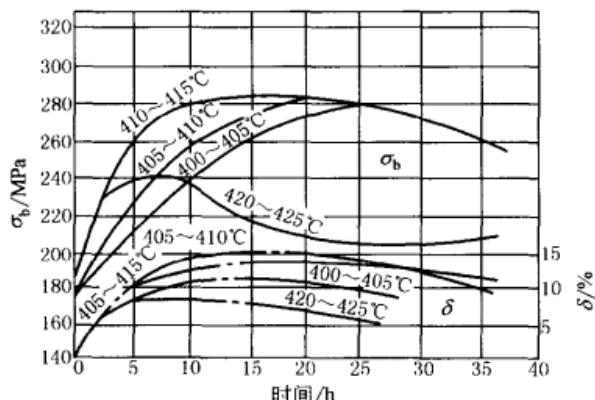
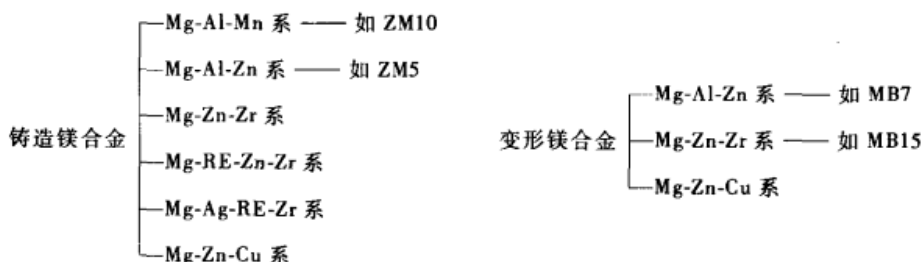


图 1-6-6 固溶温度和时间对 ZM5 合金性能的影响  
(实线为  $\sigma_b$  曲线，点画线为  $\delta$  曲线)

镁合金能否进行热处理强化完全取决于合金元素的固溶度是否随温度变化，当其变化时，镁合金可以进行热处理强化。可进行热处理强化的铸造镁合金有六大系列，变形镁合金有三大系列：



某些热处理强化效果不显著的镁合金通常选择退火作为最终热处理。

镁合金热处理的主要特点是固溶和时效处理时间较长，这是因为合金元素的扩散和合金相的分解过程极其缓慢。由于同样原因，镁合金淬火时不需要快速冷却，通常在静止空气中或人工强制流动的气流中冷却。

表 1-6-40 镁合金热处理退火规范

合金牌号	完全退火		消除内应力退火			
	温度 / $^{\circ}\text{C}$	时间 /h	板材		挤压件和锻件	
			温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/h	温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/h
MB1	340 ~ 400	3 ~ 5	205	1	260	0.25
MB2	350 ~ 400	3 ~ 5	150	1	260	0.25
MB3	—	—	250 ~ 280	0.5	—	—
MB8	280 ~ 320	2 ~ 3	—	—	—	—
MB15	380 ~ 400	6 ~ 8	—	—	260	0.25

表 1-6-41

镁合金常用的热处理规范<sup>[51]</sup>

合金类别	合金系	合金牌号	热处理类型	固溶处理			时效(退火)			
				加热温度 /℃	加热时间 /h	冷却介质	加热温度 /℃	加热时间 /h	冷却介质	
高强度 铸造 镁合金	Mg-Al-Zn	ZM5	I	Z	415 ± 5	14 ~ 24	空气	175 ± 5	16	空气
				ZS	415 ± 5	14 ~ 24	空气	200 ± 5	8	空气
			II	Z	415 ± 5	6 ~ 12	空气	170 ± 5	16	空气
				ZS	415 ± 5	6 ~ 12	空气	200 ± 5	8	空气
	Mg-Zn-Zr	ZM1	S	—	—	—	175 ± 5	28 ~ 32	空气	
				—	—	—	195 ± 5	16	空气	
		ZM2	S	—	—	—	325 ± 5	5 ~ 8	空气	
	ZM8	ZS	480(H <sub>2</sub> )	24	空气	150	24	空气		
耐热铸造 镁合金	Mg-RE-Zn-Zr	ZM3	S	—	—	—	200 ± 5	10	空气	
		ZM4	M	—	—	—	325 ± 5	5 ~ 8	空气	
			Z	570 ± 5	4 ~ 6	压缩空气	—	—	—	
			ZS	570 ± 5	4 ~ 6	压缩空气	200	12 ~ 16	空气	
	ZM6	ZS	530 ± 5	8 ~ 12	压缩空气	205	12 ~ 16	空气		
Mg-Y	ZM9	S	—	—	—	310	16	空气		
高强度变 形镁合金	Mg-Mn	MB1	M	—	—	—	340 ~ 400	3 ~ 5	空气	
	Mg-Mn-Ce	MB8	M	—	—	—	280 ~ 320	2 ~ 3	空气	
	Mg-Al-Zn	MB2	M	—	—	—	280 ~ 350	3 ~ 5	空气	
			M	—	—	—	250 ~ 280	0.5	空气	
		MB5	M	—	—	—	320 ~ 380	4 ~ 8	空气	
			M	—	—	—	320 ~ 350	4 ~ 6	空气	
		MB6	M	—	—	—	200 ± 10	1	空气	
			Z	380 ± 5	—	—	—	—	—	
	MB7	M	—	—	—	200 ± 10	1	空气		
		ZS	415 ± 5	—	—	175 ± 5	10	—		
Mg-Zn-Zr	MB15	S	—	—	—	150	2	空气		
		ZS	515	2	水	150	2	空气		
耐热变形 镁合金	Mg-Nd-Zr	MA11	ZS	490 ~ 500	—	水	175	24	空气	
		MA12	ZS	530 ~ 540	—	水	200	16	空气	
镁锂合金	Mg-Li		M	—	—	—	175	6	空气	
			—	—	—	—	150	16	空气	

注: M 为退火; Z 为固溶处理; S 为人工时效; ZS 为固溶处理加人工时效。



表 1-6-42

镁合金主要化学成分及力学性能

类别	牌号	主要成分(质量分数)/%						热处理 状态	20℃		150℃		250℃		500℃		
		Zn	Zr	Mn	RE	Nd	Ce		Al	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2/100}$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2/100}$ /MPa
铸造镁合金	ZM1	3.5 ~ 5.5	0.5 ~ 1.0	—	—	—	—	—	SZS	240	5.0	—	—	—	—	—	—
	ZM2	3.5 ~ 5.0	0.5 ~ 1.0	—	0.7 ~ 1.7	—	—	—	S	220	4.0	—	—	—	—	—	—
	ZM3	0.2 ~ 0.7	0.4 ~ 1.0	—	2.3 ~ 4.0	—	—	—	M	145	3.0	—	—	145	25	110	—
	ZM4	2.0 ~ 3.0	0.5 ~ 1.0	—	2.5 ~ 4.0	—	—	—	S	150	4.0	—	—	130	30	95	—
	ZM5	0.2 ~ 0.8	—	0.15 ~ 0.5	—	—	—	7.5 ~ 9.0	Z(ZS)	230 (230)	5(2)	—	—	—	—	—	—
	ZM6	0.2 ~ 0.7	0.4 ~ 1.0	—	—	2.0 ~ 3.0	—	—	ZS	260	5.0	—	—	170	38	110	—
	ZM8	5.5 ~ 6.5	0.5 ~ 1.0	—	2.0 ~ 3.0	—	—	—	ZS	310	9.5	—	—	—	—	—	—
	ZM9	—	—	—	—	—	—	—	S	220	8.0	—	—	140	—	—	—
	变形镁合金	MB1	—	—	1.3 ~ 2.5	—	—	—	—	M	210	4	130	45	60	—	—
MB2		0.2 ~ 0.8	—	0.15 ~ 0.5	—	—	—	3.0 ~ 4.0	M	240	12	—	—	—	—	—	—
MB3		0.8 ~ 1.5	—	0.4 ~ 0.8	—	—	—	4.0 ~ 5.0	M	250	12	—	—	—	—	—	—
MB5		0.5 ~ 1.5	—	0.15 ~ 0.5	—	—	—	5.5 ~ 7.0	M	260	8.0	—	—	—	—	—	—
MB6		2.0 ~ 3.0	—	0.20 ~ 0.5	—	—	—	5.0 ~ 7.0	M(Z)	290 (300)	7.0 (10.0)	—	—	—	—	—	—
MB7		0.2 ~ 0.8	—	0.15 ~ 0.5	—	—	—	7.8 ~ 9.2	Z	300	8.0	—	—	—	—	—	—
MB8		—	—	1.5 ~ 2.5	—	—	0.15 ~ 0.35	—	M	250	18	160	—	120	—	—	—
MB15		5.0 ~ 6.0	0.3 ~ 0.9	—	—	—	—	—	Z(ZS)	280 (370)	23.4 (9.5)	—	—	—	—	—	—

注：M 为退火处理；Z 为固溶处理；S 为人工时效；ZS 为固溶淬火加人工时效。

# 第7章 表面技术

## 1 表面技术的分类和功能<sup>[49,50]</sup>

### 1.1 表面技术的含义和分类

表面技术是用机械、物理或化学方法，来改变工件表面状态、化学成分、组织结构和应力状态，或施加各种覆盖层，使工件表面具有不同于其基体的某种特殊性能，从而达到特定使用要求的一种应用技术。

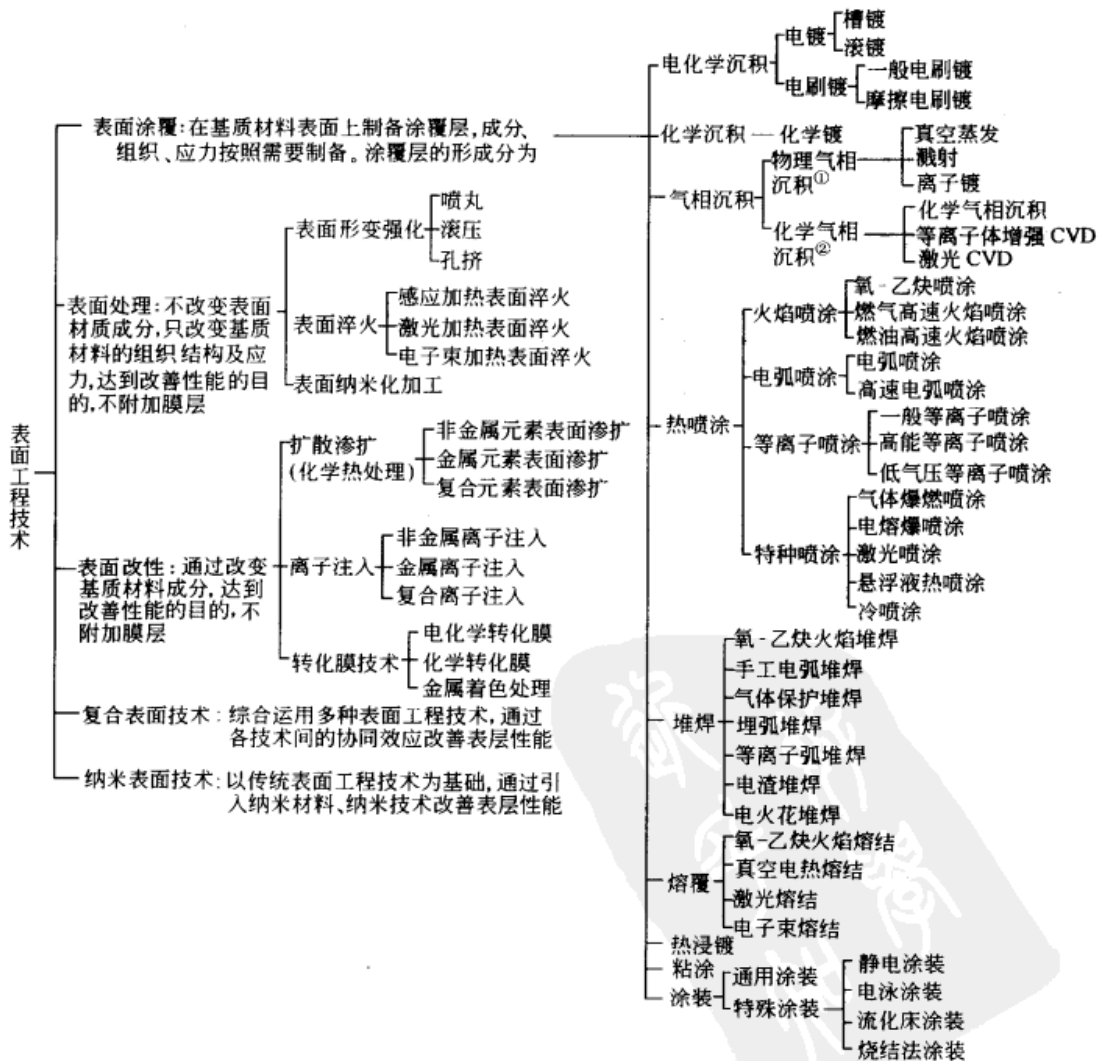


图 1-7-1

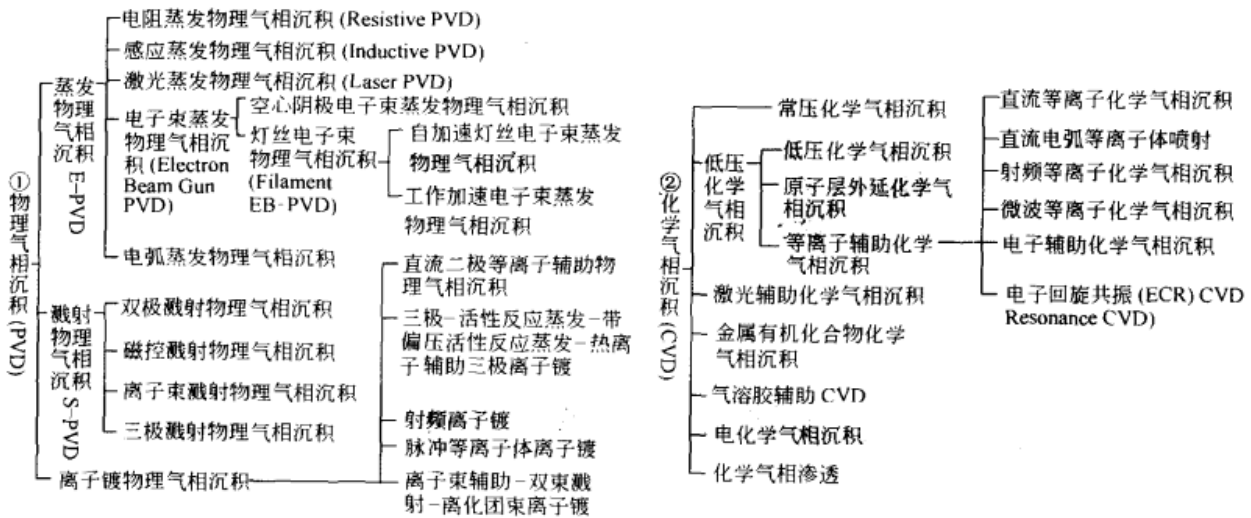


图 1-7-1 表面技术的分类

表面技术具有学科的综合性，手段的多样性，广泛的功能性，潜在的创造性，环境的保护性，以及很强的实用性和巨大的增效性。

它可使产品和零部件的局部或整个表面具有如下功能：①提高耐磨性、耐蚀性、耐疲劳、耐氧化、防辐射性能和自润滑性；②实现自修复性（自适应、自补偿和自愈合）和生物相容性；③改善传热性或隔热性，导电性或绝缘性，导磁性、磁记忆性或屏蔽性，增光性、反光性或吸波性，湿润性或憎水性，黏着性或不黏性，吸油性或干摩性，摩擦因数提高或降低，减振性，密封性，以及装饰性或仿古艺术性等。因而得到了迅速的发展和广泛的应用。可以说没有表面技术，就没有现代机电产品。

## 1.2 表面技术的功能<sup>[50]</sup>

表 1-7-1 表面技术在机械零部件、工程和功能构件等方面的功能

		功能	常用技术	应用
在机械零部件、工程构件、结构材料方面	防护	提高材料或工件表面的耐蚀性、耐热性、耐氧化性和防辐射性	针对不同腐蚀情况,选用不同耐蚀涂层	
	耐磨	磨损大体分磨料、粘着、疲劳腐蚀、冲蚀、汽蚀等磨损。正确确定磨损类别,合理选择表面技术,可有效提高材料或工件表面的耐磨性	根据磨损类别,选择相应表面技术,涂覆有关涂(膜)层,如硬质膜、固体润滑膜、耐磨耐热膜、耐磨耐蚀膜等	
	强化	主要指通过各种表面强化处理来提高材料或工件表面抵抗除腐蚀和磨损之外的环境作用能力,如提高工件的疲劳强度	化学热处理、喷丸、滚压、激光表面处理	在制造业、汽车工业中得到广泛应用
	修复	磨损、剥落、锈蚀,使工件外形尺寸变小以致尺寸超差,或强度降低,修复不仅可修复尺寸精度,而且还可提高表面性能,延长使用寿命	堆焊、电刷镀、热喷涂、粘接等	工程中各种金属零部件的修复
	装饰	表面装饰主要包括光亮(镜面、全光亮、亚光、光亮缎状、无光亮缎状等)、色泽(各种颜色和多彩等)、花纹(各种平面花纹、刻花和浮雕等)、仿照(仿贵金属、仿大理石、仿花岗石等)多方面特性	选用相应表面技术制成如光亮膜、亚光膜、色泽膜、仿照膜等	可对各种材料表面装饰,方便、高效,而且美观、经济,故应用广泛

续表

		功能	常用技术	应用
在环保、医疗、卫生方面	净化大气	表面技术制成的催化剂载体等,是回收、分解和替代使用各种燃料、原料产生的大量 CO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 、SO <sub>2</sub> 等有害气体的有效途径之一	涂覆、气相沉积等	催化剂载体
	净化水质	膜材料是重要的净化水质的材料,可用来处理污水、化学提纯、水质软化、海水淡化等	这方面的表面技术在迅速发展	膜材料
	抗菌灭菌	有些材料具有净化环境的功能。其中二氧化钛催化剂可以将一些污染的物质分解掉,使之无害。过渡金属 Ag、Pt、Cu、Zn 等元素能增强 TiO <sub>2</sub> 的光催化作用,而且有抗菌、灭菌作用(特别是 Ag 和 Cu)。日本利用表面技术开发出了一种把具有吸附蛋白质能力的磷灰石生长在二氧化钛表面而制成的高功能二氧化钛复合材料	这种高功能二氧化钛复合材料能够完全分解吸附的菌类物质,不仅可以半永久使用,而且还可以制成纤维和纸,用作广泛的抗菌材料	
	吸附杂质	用一些表面技术制成的吸附剂,可以除去空气、水、溶液中的有害成分以及具有除臭、吸湿等作用	在氨基甲酸乙酯泡沫上涂覆铁粉,经烧结而成的除臭剂,用于冰箱、汽车内	
	去除藻类污垢	运用表面化学原理制成特定的组合电极,例如 Cl-Cu 组合电极	用于除去发电厂沉淀池、热交换器、管道等内部的藻类污垢	
	活化功能	远红外线具有活化空气和水的功能,活化的空气和水有利于人的健康	在水的净化器中加上远红外陶瓷涂层装置,能活化水	
	生物医学	医用涂层可在保持基体材料特性的基础上,或增进基体表面的生物学性质,或阻隔基材离子向周围组织溶出扩散,或提高基体表面的耐磨性、绝缘性等,促进了生物医学材料的发展	等离子喷涂、气相沉积、离子注入、电泳等	在金属材料上涂以生物陶瓷,用作人造骨、人造牙、植入装置导线的绝缘层等
	绿色能源	提高能量转换效率	是许多绿色能源装置如太阳能电池、半导体制冷器等制造的基础之一;用于制造固体氧化物燃料电池中的极板和电解质	
优化环境	在研制能调光、调温的“智能窗”中,表面技术发挥了积极作用	利用涂覆、镀膜等使窗可按人的意愿来调节光的透过率和光照温度		
治疗疾病	用表面技术和其他技术制成的磁性涂层敷在人体的一定穴位,有治疗疼痛、高血压等功能。敷驻极体膜,具有促进骨裂愈合等功能			

	功能	常用技术	应用	功能	常用技术	应用	功能	常用技术	应用	
										功能
在功能材料和器件方面	光学特性	电镀、化学转化处理、涂装、气相沉积	反射性	反射镜	电学特性	半导性	半导体材料(膜)	热学特性	保温性、绝缘性	保温材料
			防反射性	防眩零件		波导性	波导管		耐热性	耐热涂层
			增透性	激光材料增透膜		低接触电阻特性	开关		吸热性	吸热材料
			光选择透过	反射红外线、透过可见光的透明隔热膜	磁学特性	存储记忆	磁泡材料	化学特性	选择过滤性	分离膜材料
			分光性	用多层介质膜组成的分光镜		磁记录	磁记录介质		活性	活性剂
			光选择吸收	太阳能选择吸收膜		电磁屏蔽	电磁屏蔽材料		耐蚀	防护涂层
			偏光性	起偏器		声反射和声吸收	吸声涂层		防沾污性	医疗器件
			发光	光致发光材料	声学特性	声表面波	声表面波器件	杀菌性	餐具镀银	
	光记忆	薄膜光致变色材料	导热性	散热材料		功能转换	光-电转换	薄膜太阳能电池		
	电学特性	涂装、化学镀、气相沉积等	导电性	表面导电玻璃	热学特性		热反射性	热反射镀膜玻璃	电-光转换	电致发光器件
超导性			用表面扩散制成的 Nb-Sn 线材	耐热性、蓄热性			集热板	热-电转换	电阻式温度传感器	
约瑟夫逊效应			约瑟夫逊器件	热膨胀性			双金属温度计	电-热转换	薄膜加热器	
各种电阻特性			膜电阻材料	力-热转换			减振膜	光-热转换	选择性涂层	
绝缘性			绝缘涂层	力-电转换			电容式压力传感器	磁-光转换	磁光存储器	
							光-磁转换	光磁记录材料		

	新型材料			表面技术	表面技术所起作用
	名称	特点	应用		
在研 制和 生产 新型 材料 方面	金刚石 薄膜	为金刚石结构。硬度高达 80 ~ 100GPa, 室温热导率达到 11W/(cm·K), 是铜的 2.7 倍, 有较好的绝缘性和化学稳定性, 在很宽的光波段范围内透明; 与 Si、GaAs 等半导体材料相比, 有较宽的禁带宽度	它在微电子技术、超大规模集成电路、光学、光电子等方面有良好的应用前景, 有可能是继 Ge、Si、GaAs 之后的新一代半导体材料	热化学气相沉积、等离子体增强化学气相沉积等	过去制备金刚石材料是在高温高压条件下进行的, 现在利用所列表面技术, 在低压或常压条件下就可以制得
	类金刚石 碳膜	是一种具有非晶态和微晶结构的含氢碳化膜, 又名 i-C 膜、a-C、H 膜等。其化学键为 sp <sup>3</sup> 和 sp <sup>2</sup> 。在拉曼谱上特征峰为 1552 ~ 1558cm <sup>-1</sup> 的漫散峰, 而金刚石的特征峰为 1333cm <sup>-1</sup> 。类金刚石碳膜的一些性能接近金刚石膜, 如高硬度、高热导率、高绝缘性, 良好的化学稳定性, 从红外到紫外的高光学透过率等 可考虑用作光学器件上的保护膜和增透膜、工具的耐磨层、真空润滑层等		所用的表面技术与金刚石薄膜相似, 但条件较低	通常可用低能量的碳氢化合物等离子体分解或碳离子束沉积技术来制得, 因而设备较为简单, 成本较低, 容易实现工业生产。缺点是结构为亚稳态等
	立方氮 化硼 薄膜	为立方结构。硬度仅次于金刚石, 而耐氧化性、耐热性和化学稳定性比金刚石更好。具有高电阻率、高热导率。掺入某些杂质可成为半导体	正逐步用于半导体、电路板、光电开关以及耐磨、耐热、耐蚀涂层	以化学气相沉积和物理气相沉积为主	不仅能在高压下合成, 也可在低压下合成, 具体方法很多, 主要的有左列两种
	超导 薄膜	用 YBaCuO 等高温超导薄膜可望制成微波调制、检测器件, 超高灵敏的电磁场探测器件, 超高速开关存储器件	用于超高速计算机等		主要用物理气相沉积如真空蒸发、溅射、分子束外延等方法制备。沉积膜为非晶态, 经高温氧化处理后, 转变为具有较高转变温度的晶态薄膜
	LB 薄膜	LB 薄膜是有机分子器件的主要材料。它是由羧酸及其盐、脂肪酸烷基族以及染料、蛋白质等有机物构成的分子薄膜	在分子聚合、光合作用、磁学、微电子、光电器件、激光、声表面波、红外检测、光学等领域有广泛的应用		将有机高分子材料溶于某种易挥发的有机溶剂中, 然后滴在水面或其他溶液上, 待溶剂挥发后, 液面保持恒温和被施加一定的压力, 溶质分子沿液面形成致密排列的单分子膜层。接着用适当装置将分子逐层转移, 组装到固体载片, 并按需要制备几层到数百层 LB 膜
	超微 颗粒 膜材料	是将超微颗粒嵌于薄膜中构成的复合薄膜	在电子、能源、检测、传感器等许多方面应用前景良好		通常用两种在高温互不相溶的材料组合制成复合靶, 然后在基片上生成复合膜。改变靶膜中的组分的比例, 可以改变膜中颗粒大小和形态
	非晶 硅薄膜	非晶硅太阳能电池的转换效率虽不及单晶硅器件, 但它具有合适的禁带宽度 (1.7 ~ 1.8eV), 太阳辐射峰附近的光吸收系数比晶硅大一个数量级, 便于采用大面积薄膜工艺生产, 因而工艺简便, 成本低廉	这种薄膜还可制成摄像管的靶、位敏检测器件和复印鼓等		等离子体增强化学气相沉积等
	微米 硅	又称纳米晶。晶粒尺寸在 10nm 左右。它的带隙达 2.4eV, 电子与空穴迁移率都高于非晶硅两个数量级以上, 光吸收系数介于晶体硅与非晶硅之间	可取代掺氢的 SiC 作非晶硅太阳能电池的窗口材料, 以提高其转换效率, 也可制作异质结双极型晶体管、薄膜晶体管等		等离子体增强化学气相沉积、磁控溅射等

续表

新型材料			表面技术	表面技术所起作用
名称	特点	应用		
在研制和生产新型材料方面	多孔硅	多孔硅的孔隙度很大,一般为60%~90%。可用蓝光激发它在室温下发出可见光,也能电致发光 可制成频带宽、量子效率高的光检测器,它的禁带宽度明显超过晶硅	以硅为原料在以氢氟酸为基的电解液中阳极氧化而制得	
	碳60	由60个碳原子组成空心圆球状,它的四周是由12个正五边形碳环(碳-碳单键结构)和20个正六边形碳环(苯环式)构成,宛如一个“足球” 碳60分子的物理性质相对稳定,化学性质相对活泼,它和它的衍生物具有潜在的应用前景。已发现 $K_3C_{60}$ 以及Rb、Cs等碱金属掺杂的超导性。目前这类材料的 $T_c$ 已超过40K,高于其他有机超导体,进一步发展后,可望成为一种高性能、低成本的超导材料	碳60是Rohlfing等人在1984年将碳蒸气骤冷淬火时,通过质谱图发现的	
	纤维补强陶瓷基复合材料	是以各种金属纤维、玻璃纤维、陶瓷纤维为增强体,以水泥、玻璃陶瓷等为基体,通过一定的复合工艺结合在一起所构成的复合材料 这类材料具有高强度、高韧性和优异的热学、化学稳定性,是一类新型结构材料 目前除了纤维增强水泥基复合材料碳-碳复合材料等已获得实际应用外,还有许多重要的纤维补强陶瓷仍处于实验室阶段,但在一系列高新技术领域中有着良好的应用前景	复合材料在力场中,只有通过界面才能使增强剂和基体二者起到协同作用。界面是影响复合材料性能的关键之一。在一些重要的复合材料中,如碳纤维补强陶瓷基复合材料等,纤维必须通过一定的表面处理,使纤维与基体“相容”	
	梯度功能材料	根据要求选择两种或多种不同性质的材料,连续地改变各材料的组成和结构,使其结合部位的界面消失,得到连续、平稳变化的非均质材料。其组织连续变化,层间内应力降低,材料的功能随之变化 这种材料用于航空、航天领域,可以有效地解决热应力缓和的问题,获得耐热性与力学强度都优异的新功能。此外,还可在核工业、生物、传感器、发动机等许多领域有广泛的应用	许多表面技术如等离子喷涂、离子镀、离子束合成薄膜技术、化学气相沉积、电镀、电刷镀等,都是制备梯度功能材料的重要方法	

## 2 不同表面技术的特点

### 2.1 表面技术的特点与应用<sup>[49,50]</sup>

表 1-7-2

镀覆方法	操作	特点	应用
表面涂覆技术	是利用机械、物理或化学等工艺手段,在工件表面制备一涂层或膜层。其化学成分、组织结构可以和工件材料完全不同,以满足工件表面性能,如耐磨、耐蚀、耐热、抗疲劳、耐辐射、提高产品质量、延长使用寿命、涂层与工件基材的结合强度适应工况要求、经济性好、环境性好为准则。涂层的厚度可以为几毫米或几微米。通常在工件表面预留加工余量,以实现表面具有工况需要的涂层厚度。与表面改性和表面处理相比,其约束条件少,技术类型和材料的选择空间大,因而属于这类的表面技术非常多,应用也最为广泛		
	是由电子直接参加化学反应的表面沉积工艺方法		
	电化学沉积	电镀	槽镀

镀覆方法		操作	特点	应用	
电 化 学 沉 积	电 镀	流镀	用强制手段使电解液高速流过阴、阳板的窄小空间(1~10mm)沉积出镀层的方法	适用于外形简单或规则的工件,电流密度大,生产效率高 但需根据具体工件制作专用设备、夹具或自动控制装置	轴类零件、型材、活塞杆、印刷电路、缸套等镀覆镍、铁、铜、锌、铬、金等
		脉冲电镀	用脉冲电流施镀	脉冲电流有方波、锯齿波等,导通时间短,峰值电流大,可改善深镀能力和分散能力,降低孔隙,提高镀层质量,提高电流效率,但需要大电流脉冲电源	制备金、银、镍等镀层
		电铸	用电化学方法将金属沉积在芯膜上,后将两者分离,制出与芯膜逆反形状的制品的方法	芯膜可用低熔点金属、蜡、石膏等制作,电铸金属常用铜、镍、铁等	制作复制品、冲压模、塑料挤出模、吹塑模、玻璃模、橡胶模及金属箔、网
	电刷镀	用吸水材料包裹阳极镀笔,浸满镀液,在阴极工件表面涂刷形成镀层的方法	不用镀槽,设备简单,工艺灵便,镀层种类多,电流密度大,镀积速度快,工件尺寸不受限制,能完成许多槽镀不能完成或不易完成的电镀工作。适于大型零件局部表面处理及对工件进行现场不解体修复	修复零件,制备各种耐蚀、耐磨及功能性镀层	
化 学 沉 积	化学镀	在固体表面催化作用下通过水溶液中还原剂与金属离子在界面的氧化-还原反应产生金属沉积的方法	不用外电源,设备简单,镀层致密,孔隙率低,可在复杂表面上沉积出均匀的镀层,容易制取非晶态镀层和特殊功能性镀层,可在非金属基材上沉积;沉积速度慢,常需维持较高操作温度,镀液稳定性低,寿命较短,生产维护较难。均镀能力比电镀好	制备各种耐蚀、耐磨、减摩及功能性镀层。可自催化沉积 Ni、Co、Pd、Cu、Au、Ag 等十几种单金属镀层和多种合金镀层	
气 相 沉 积	是利用气相之间的反应,在各种材料或工件表面沉积单层或多层薄膜,使其获得所需的优异性能。可分物理气相沉积和化学气相沉积。物理气相沉积是在真空条件下,利用各种物理方法将镀料气化成原子、分子或离子化为离子,直接沉积到基体表面的方法。化学气相沉积是把含有构成薄膜元素的一种或几种化合物或单质气体供给基体,借助气相作用或基体表面上的化学反应生成所要求的薄膜;它比物理气相沉积具有更好的覆盖性,可以在深孔、阶梯、洼面或其他复杂的三维形体上沉积				
	物 理 气 相 沉 积 (PVD)	真空蒸发	是将工件放入真空室,并用一定方法加热镀膜材料,使其蒸发或升华,飞至工件表面凝聚成膜	薄膜的沉积速率较高,纯度易于保证。工件材料有金属、半导体、绝缘体及塑料、纸张、织物等;镀膜材料有金属、合金、化合物、半导体和一些有机聚合物等。加热方式有电阻、高频感应、电子束、激光、电弧加热等	最适合制备成分较简单、膜纯度要求较高的金属和化合物薄膜。能制备金属磁记录薄膜和热障陶瓷涂层等
		溅射	是将工件放入真空室,并用正离子轰击作为阴极的靶(镀膜材料),使靶材中的原子、分子逸出,飞至工件表面凝聚成膜	溅射镀膜的致密性和结合强度较好,基片温度较低,但成本较高。溅射粒子的动能约 10eV 左右,为热蒸发粒子的 100 倍。按入射离子来源不同,分为直流溅射、射频溅射和离子溅射。入射离子的能量还可用电磁场调节,常用值为 10eV。比真空蒸镀法制得的膜更为致密,其附着力也较高	制备各种金属和合金薄膜,各种化合物和各种不同物质有机组合而成的多层薄膜,以及宽度达微米、厚度均匀性很高的各种薄膜



续表

镀覆方法		操作	特点	应用
气相沉积	物理气相沉积 (PVD) 离子镀	是将工件放入真空室, 并利用气体放电原理将部分气体和蒸发源 (镀膜材料) 逸出的气相粒子电离, 在离子轰击的同时, 把蒸发物或其反应物沉积在工件表面成膜	是一种等离子体增强的物理气相沉积, 镀膜致密, 结合牢固, 可在工件温度低于 550℃ 时得到良好的镀层, 绕镀性也较好, 即使形状复杂的工件也可得到均匀涂覆, 沉积速率高, 通常为 1 ~ 50 μm/min, 而溅射 (二极管型) 只有 0.01 ~ 1 μm/min。可镀材质广泛, 可在金属或非金属, 包括石英、陶瓷、玻璃、塑料、橡胶等表面上涂覆不同性能的单一镀层、化合物镀层、合金镀层及复合镀层	制备耐磨、耐蚀镀层、润滑镀层、各种颜色的装饰镀层, 以及电子学、光学、能源科学所需的特殊功能性镀层
	化学气相沉积 (CVD)	是将工件放入密封室, 加热到一定温度, 同时通入反应气体, 利用室内气相化学反应在工件表面沉积成膜	其物质源可以是气态、液态和固态, 沉积过程包括: ①反应气体到达基材表面; ②反应气体分子被基体表面吸附; ③在基体表面产生化学反应; ④化学反应生成物从基体表面扩散。采用的化学反应有: 热分解、氢还原、金属还原、化学输送反应、等离子体激发反应、氧化反应等。工件加热方式有电阻、高频感应、红外线加热等。设备和操作费用相对较低, 适合于批量生产和连续生产, 与其他加工过程有很好的相容性, 与其他方法相比, 更突出的是它可以在很宽的范围内控制薄膜的化学计量比	可以制备各种涂层, 如各种冶金涂层、防护涂层和装饰涂层; 粉末、纤维和成形元器件。广泛用于微电子-光电子集成技术、光电子技术、微电子技术、半导体材料以及工具、模具、磨具等
	等离子体增强 CVD (PECVD)	是依靠等离子体能量激活 CVD 反应, 利用等离子体产生的化学性质活泼的离子和原子团沉积成膜	在热 CVD 工艺中, CVD 化学反应是靠热能激活的, 因此沉积温度一般较高, 对于许多应用来说是不适宜的。而本法是利用等离子体能量激活 CVD 反应, 因此可以显著地降低衬底的温度, 并使许多在热 CVD 条件下进行十分缓慢或不能进行的反应能够得以进行; 其次可以减小由于薄膜和衬底热膨胀系数不匹配造成的内应力; 还可提高沉积速率, 改善膜厚均匀性, 并有利于得到非晶态和微晶态薄膜, 两者往往具有独特的优异性能	可制备钝化膜、光学纤维、金刚石膜、类金刚石膜, 摩擦、磨损、腐蚀防护等涂层; 广泛应用于半导体器件、半导体光电器件、集成电路、切削工具以及电子、热学、工具等方面
	激光 CVD (LCVD)	是利用激光的能量激活 CVD 化学反应进行沉积成膜	它的沉积机制有两种: ①光热解机制, 光子加热了衬底, 使在衬底发生要求的 CVD 反应, 但其光热分解反应相对于热 CVD 的优点是可利用激光束快速加热和脉冲特性在热敏感衬底上沉积; ②光化学机制, 其化学反应是靠光子激活的, 因此不需要加热, 沉积有可能在室温下进行, 但其沉积速率太慢, 限制了它的应用	热解 LCVD 用来制作不同材料的耐氧化、耐蚀和耐磨损涂层; 而光解 LCVD 通常用来沉积电子材料和同位素分离。可有效控制薄膜沉积过程及薄膜尺寸
热喷涂	它是将金属、合金、金属陶瓷材料加热到熔融或部分熔融, 以高的动能使其雾化或微粒并喷至工件表面, 形成牢固的涂覆层			
	火焰喷涂	是利用乙炔等燃料与氧气燃烧时所释放出的化学能产生热源, 喷射涂层	可以喷涂各种金属、非陶瓷、塑料及尼龙等材料, 使用设备简单轻便, 可移动, 价格低于其他喷涂设备, 成本低, 手工操作, 灵活方便。但火焰线材喷涂, 由于喷出熔滴大小不均, 因而涂层不均匀, 孔隙大	除广泛应用于维修工作, 加工工件不当的修复外, 已大量直接用于新产品的设计, 并开发出许多新材料、新涂层, 为生物工程新材料、某些领域的压电陶瓷材料、非晶态材料以及宇航技术中应用的防远红外、微波、激光等功能性涂层。一般常用耐磨、耐蚀、耐热、耐氧化以及导电、绝缘等涂层
	电弧喷涂	是通过相互呈 15° ~ 30° 的两根金属丝之间产生的电弧热能将丝材熔化, 利用高压气流将熔化的金属雾化喷射涂层	①涂层性能优异。可以在不提高工件温度、不使用贵重基材的情况下获得性能好、结合强度高的表面涂层, 是火焰喷涂涂层的 2.5 倍。②喷涂效率高。单位时间内喷涂金属的重量大, 生产效率正比于电弧电流。如: 当电弧喷涂电流为 300A 时, 喷 Zn, 30kg/h; Al, 10kg/h; 不锈钢, 15kg/h, 比火焰喷涂提高了 2 ~ 6 倍。③能源利用率达 57%, 而等离子喷涂和火焰喷涂分别只有 12% 和 13% ④经济性好, 其费用通常约为火焰喷涂的 1/10。设备投资一般为等离子喷涂设备的 1/5 以下。⑤安全性好。仅使用电和压缩空气。⑥设备相对超音速火焰喷涂、等离子喷涂、爆炸喷涂简单、轻、小, 便于现场施工	
等离子喷涂	利用钨极与水冷却铜电极之间产生非转移型压缩电弧, 获得高温、高压等离子射流进行喷涂	①基体受热温度低 (< 200℃), 零件无变形, 不改变基体金属的热处理性质, 因此, 可以喷涂一些高强度钢或一些薄壁的、细长的零部件; ②喷涂温度高, 可喷涂材料非常广泛, 包括金属或合金涂层、陶瓷和一些高熔点的难熔金属, 这是燃烧火焰或电弧热喷涂难以达到的; ③等离子射流速度高, 因此形成的涂层更致密, 结合强度更高, 特别是在喷涂高熔点的陶瓷粉末或难熔金属等方面更显示出独特的优越性		

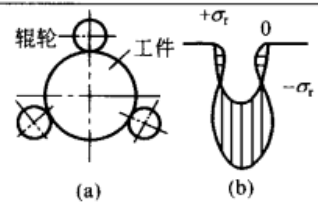


续表

镀覆方法		操作	特点	应用	
热喷	特种喷涂	悬浮液热喷涂	是采用一定的溶液与喷涂微粉制成悬浮液,以液体为载体将粉末送入热源中实现均匀喷涂	作为载体的溶液可以是水、乙醇等简单的载体溶液,也可以是受热后发生化学反应生成某种物质的金属有机或无机盐类溶液。当完全用金属有机或无机盐类溶液作原料时,可通过化学反应生成目标沉积物质制备涂层,称为液体热喷涂	采用钛酸丁酯乙醇溶液,可以通过反应制备 TiO <sub>2</sub> 涂层。其特点是可以制备纳米结构涂层
		激光喷涂	在工件被一辅助激光加热器加热的同时,用激光束接近工件表面直射,这时需喷的粉末以倾斜的角度被吹送到激光束中熔化黏结到工作表面,形成涂层。获得的涂层结构与原始粉末相同,与工件表面结合良好。可喷涂从低熔点到超高熔点的涂层材料		可制备如高超导薄膜、固体氧化物燃料电池的陶瓷涂层等
		气体爆燃喷涂	是一种利用可燃气体混合物有方向性的爆燃,将被喷涂的粉末材料加热,加速轰击到工件表面形成涂层的方法,其涂层结合强度高(可达 250MPa)、致密度好(孔隙率 0.5%~3.0%),喷涂材料广泛,工件受热小,不发生相变或形变,操作简便,易于掌握,制备耐磨、耐蚀涂层有独特优势		从航空、航天逐步向冶金、机械、纺织、石油、化工、钻探、造纸、生物、医学等方面发展
		超音速火焰喷涂(HVOF)	第三代 HVOF:火焰功率达 100~200kW,可实现高效喷涂,喷涂速率可达 6~8kg/h(WC-Co),为其他轴向送粉枪的 2 倍,粒子速度可达 300~650m/s,高速粒子使涂层产生压应力;粒子与周围大气接触时间短,对喷涂碳化物金属陶瓷能有效避免其分解和脱碳;高速区范围大,可操作喷涂距离大(150~300mm),工艺性好;火焰温度比等离子喷涂要低很多。因此喷涂 WC 和硬质合金类效果最佳。其涂层的孔隙率可小于 0.5%,结合强度可达 150MPa,接近或达到爆燃喷涂层的质量,涂层的耐磨性能与爆燃喷涂层相当,显著优于等离子喷涂层和电镀硬铬层		
		冷喷涂	是采用温度远低于材料熔点的超音速气流(一般低于 600℃),将具有一定塑性变形能力的粉末加速到某一临界速度以上,通过与基体的塑性碰撞实现涂层沉积的方法	①可以避免喷涂粉末的氧化、分解、相变、晶粒长大等 ②对基体几乎没有热影响 ③可以用来喷涂对温度敏感材料,如易氧化材料、纳米结构材料等 ④粉末可以进行回收利用 ⑤涂层组织致密,可以保证良好的导电、导热等性能 ⑥涂层内残余应力小,且为压应力,有利于沉积厚涂层 ⑦送粉率高,可以实现较高的沉积效率和生产率 ⑧噪声小,操作安全	喷涂具有一定塑性的材料如纯金属、金属合金、金属陶瓷、塑料以及金属基复合材料等,甚至可以在金属基体上制备较薄的陶瓷功能涂层。不但可制备高硬度、耐磨损、耐蚀、导电、导热、导磁等性能的涂层,也用于快速成形,直接生产零部件
堆焊	氧-乙炔火焰堆焊	是用焊接方法把填充金属熔敷在金属工件表面,以满足工艺要求的性能和尺寸的方法	①在各种表面技术中,堆焊的表面(镀)层最厚,特别适合严重磨损工况下工件表面的强化或修复;②堆焊层与工件基材为冶金结合,剥离倾向小,因而容易满足各种要求,适用范围广;③受工件大小、形状的限制小,有利于现场施工;④能堆焊的合金种类多,有铁基、镍基、钴基、碳化钨基和铜基等几种类型,且焊层致密	可制备包覆层、耐磨层、堆积层和隔离层(用于焊接异种或有特殊要求的材料时,防止基材的不良影响等情况)	
	手工电弧堆焊				
	气体保护堆焊				
	埋弧堆焊				
	等离子弧堆焊				
	电渣堆焊				
熔敷(熔结)	氧-乙炔火焰熔结	与堆焊相似,也是在材料或工件表面熔敷金属涂层,但用的涂敷金属是以铁、镍、钴为基,含有强脱氧元素硼和硅而具有自熔性和熔点低于基体的自熔性合金	金属表面强化有多种,其中表面冶金强化是常用的一种,它包括四个方面:表面熔化-结晶处理;表面熔化-非晶态处理;表面合金化;涂层熔化,凝结于表面。涂层熔化,凝结于表面,可以是直接喷焊(一步法),也可以是先喷后熔(二步法),冷凝后形成与基体具有冶金结合的表面层,通常简称为熔结。与表面合金化相比,特点是基体不熔化或熔化极少,因而涂层成分不会被基体金属稀释或轻微稀释 所用工艺是真空熔敷、激光熔敷和喷熔涂敷等	真空熔结涂层主要用于耐磨、耐蚀涂层、多孔润滑涂层、高比表面积涂层和非晶态涂层,还可熔结成形成、熔结钎接、熔结封孔、熔结修复等	
	真空电熔熔结				
	激光熔结				
	电子束熔结				
热浸镀	是将工件浸在熔融的液态金属中,使工件表面发生一系列物理和化学反应,取出后表面形成金属镀层	镀层金属的熔点必须低于基体金属,而且通常要低得多。常用的镀层金属有锡、锌、铝、铅、Al-Sn、Al-Si、Pb-Sn 等。基体材料为钢、铸铁、铜,以钢最为常用。热浸镀工艺包括表面预处理、热浸镀和后处理三部分。可分为熔剂法和保护气体还原法	提高工件的防护能力和延长使用寿命		

续表

镀覆方法	操作	特点	应用
粘涂	是将二硫化钼金属粉末和纤维等特殊填料的胶黏剂,直接涂覆于材料或工件表面形成涂层的方法	它具有粘接技术的大部分优点,如应力分布均匀,容易作到密封、绝缘、耐蚀和隔热等。且工艺简单,不需要专门设备,通常在室温下操作,不会使工件产生热影响和变形等。能粘涂各种不同的材料。粘涂厚度可以从几十微米到几十毫米。具有良好的结合强度。该工艺适应面广,除可用于一般零件外,突出优点是对无法焊接的工件、薄壁件、复杂件、有爆炸危险的零件,以及需要现场修复的零件也都可使用。粘涂层材料品种繁多,一般由黏料、固化剂、特殊填料及辅助材料等组成	可制备耐磨、耐蚀、耐高温(低温)涂层,密封堵漏涂层,保温、导电、导磁、绝缘、抗辐射等涂层。目前主要用于表面强化和修复
表面涂装技术	是以涂料为原料,通过涂装方法使涂料在被涂工件表面形成牢固的、连续的涂膜,而发挥装饰、防护和特殊功能等作用的方法		
	刷涂	最简便,所用工具简单,适用各种材质、各种形状的工件的涂装,除极少数流平性较差或干燥较快的涂料不适宜外,大部分油性、合成树脂、水性涂料等都适应;它不受涂装场所、环境条件的限制,应用范围广,但效率低,工作条件差,涂膜外观易出现刷痕	
	刮涂	主要用于刮涂腻子,修饰工件凹凸不平的表面,工件的造型缺陷,广泛用于铸造成形物等	
	滚刷	比刷涂效率高一倍,但对窄小的工件和棱角、圆角等形状复杂的部位比较困难,用于船舶、桥梁、大型机械、建筑涂漆	
	浸涂	适用于形状复杂工件,如热交换器、弹簧等,但对带有深槽、不通孔等部位,能积存余漆且不易除去的工件不宜采用	
	淋涂	和浸涂差不多,都是用过量的涂料润湿、黏附、覆盖工件表面,并借助涂料自身重力流平,滴去余漆成膜,用于会漂浮不易浸涂的大型板状、中空类的工件,不适于形状复杂和有易存留余漆部位的工件	
	转鼓涂	是将工件与涂料同置入密闭的鼓形容器中,借助转鼓转动,使工件相互摩擦,将涂料均匀地涂覆在工件表面,用于批量多的小件,如小五金等	
	压缩空气喷涂	几乎适应各种涂料和各种工件,虽然目前有许多新的涂装方法,但它仍是应用最广泛的涂装方法之一。简称气压喷涂	
	高压无气喷涂	不需要借助压缩空气喷出使涂料雾化,而是给涂料施加高压使涂料喷出时雾化的工艺,涂装效率比气压喷涂高3倍以上,漆膜质量好,避免了气压对漆膜造成的不良影响,减少环境污染,对涂料黏度适应范围广,可获得较厚的漆膜。简称无气喷涂	
	静电涂装	是在喷枪口(或喷盘)与工件之间形成一高压静电场,工件接地为阳极,喷枪口为负高压,当电场强度足够高时,枪口附近的空气即产生电晕放电,使空气发生电离,当涂料粒子通过枪口带上电荷,成为带电粒子,在通过电晕放电区时,进一步与离子化的空气结合而再次带电,并在高压静电场的作用下,向极性相反的工件运动,沉积于工件表面形成涂层。可多支喷枪同时喷涂,与气压喷涂比,效率提高1~3倍(盘式更高),涂料利用提高1~2倍,可获得均匀、平整、光滑、丰满的高装饰性涂层,并显著改善了涂装作业环境,但存在高压火花放电,易引起火灾危险,尖端效应对抗凹部位会产生电场屏蔽,形成涂层较薄,需手工补喷,对涂料的电性能也有一定要求,并易受环境温度、湿度的影响	可制备高级装饰性涂层 广泛用于汽车、电器、家电、小五金等工业领域
电泳涂装	是将工件浸渍在水溶性涂料中作为阳极(或阴极),另设一与其相对应的阴极(或阳极),在两极间通直流电,通过电流产生的物理化学作用,使涂料沉积在工件表面。分阳极电泳(工件是阳极,涂料是阴离子型)和阴极电泳两种	① 两种电泳用的涂料均是与传统涂料完全不同的水溶性涂料体系;用电沉积工艺 ② 易于实现机械化、自动化,大大减轻了劳动强度,提高了生产率、涂料利用率 ③ 涂层均匀,边缘覆盖性好,有优异的附着力及抗冲击强度 ④ 从根本上改善了劳动条件和环境污染 ⑤ 阴极电泳涂膜耐蚀性突出,其耐盐雾性一般为阳极电泳的3~4倍,达720~1000h,耗电量少30%,泳透力为阳极电泳的1.3~1.5倍,适用于形状复杂的工件,如汽车车身的涂装,不需要加辅助电极即可获得厚度均匀的涂层,从而简化了工艺。其缺点是电泳液对设备有腐蚀性,相关设备要用不锈钢制作,成本较高。以环氧树脂为基础的阴极电泳涂层耐候性较差,只能作耐蚀性底漆,若面漆透光性太高,仍易引起底漆粉化,导致面漆剥落,应加中间涂层	
流化床涂装	是先将净化的压缩空气通入气室,气流均压后,通过微孔板进入流化槽中,把槽中的粉末涂料搅动上浮,形成平稳悬浮流动的沸腾状态,再将预热到粉末涂料熔点以上温度的工件浸入槽中,粉末涂料接触到工件立即黏附、熔融在工件表面,然后取出工件加热烘烤,形成连续均匀的涂层对热塑性和热固性粉末涂料均适应,但对热容量小的工件不一定适用	主要用于绝缘和耐蚀涂层,广泛用于家用电器和生活用品的工业领域	

镀覆方法	操作	特点	应用
是不改变工件基体材料的化学成分,只改进表面组织结构,达到改善表面性能的目的			
表面形变强化	喷丸	<p>是利用高速弹丸强烈冲击零件表面,使之产生形变硬化层,引进残余应力的一种再结晶温度以下的强化方法</p> <p>① 可显著提高抗弯曲疲劳、抗腐蚀疲劳、抗应力腐蚀疲劳、抗微动磨损、耐点蚀(孔蚀)能力 ② 能减弱或消除许多表面缺陷的影响,使表面层浅的缺陷压合,产生超过缺陷深度的压应力层 ③ 设备简单,操作简便,耗能少,生产效率高 ④ 不受工件表面状态的限制。适于各种普通钢、高强度钢和有色金属的表面处理,适应性广</p>	广泛应用于弹簧、齿轮、链条、轴、叶片、火车轮、轴承、涡轮盘、模具、工具以及焊接件的防腐和延长寿命等方面
	滚压	<p>是利用辊轮对工件表面施加滚压力,实现滚压强化的方法。如图 a</p> <p>对于圆角、沟槽等可通过滚压获得表层形变强化,并能产生约 5mm 深的残余压应力,如图 b 所示,目前滚压强化用的辊轮、滚压力大小等尚无标准</p>	
	孔挤	是使孔的内表面获得形变强化的方法,效果明显	
表面处理技术	感应加热表面淬火	<p>是将工件放入感应圈内,通以交流电后,圈内形成交流磁场,工件被加热,引起感应电动势,在工件内产生闭合电流,即涡流,在每一瞬间,涡流的方向与感应线圈中电流方向相反,由于工件的电阻很小,所以涡流很大,工件被迅速加热到淬火温度,喷水快冷,形成表面硬化的方法</p> <p>它具有加热温度高,加热效率高,温度容易控制,可局部加热,适用形状复杂的工件,工件容易加热均匀,表面氧化脱碳小,变形小,便于机械化、自动化,作业环境好等特点</p> <p>所得表面组织为细小隐晶马氏体,碳化物质点弥散分布,质量稳定,表面硬度比普通淬火高 2~3HRC,耐磨性也高了</p>	
	激光加热表面淬火	<p>是以高能密度的激光束照射工件表面,使其需要硬化的部位瞬间吸收光能并立即转化为热能,使激光作用区的温度急剧上升,形成奥氏体,并在激光停止辐射后,快速自淬火,获得极细小马氏体和其他组织的高硬化层的方法</p> <p>它不需外加淬火介质;加热、冷却快;工艺简便易行,一般不需后续加工即可直接装配;并可不回火即能应用;特别适合形状复杂、体积大,精加工后不宜采用其他方法强化的工件;处理的工件表面光滑,变形小,硬化层硬度很高;它可在工件表面有选择性地局部产生硬化带,以提高耐磨性;还可通过在表面产生压应力,提高表面疲劳抗力</p>	
	电子束加热表面淬火	<p>是采用散焦方式的电子束轰击金属工件表面,控制加热速度为 <math>10^3 \sim 10^5 \text{ }^\circ\text{C/s}</math>,使工件表面加热到相变点以上、熔点以下时,自身淬火冷却(冷却可以超过 <math>10^5 \text{ K/s}</math>)达到表面硬化</p> <p>本法所得硬化层的硬度比感应加热、火焰加热等方法所得硬化层硬度高 3~4HRC,组织也更加细化。硬化层深度一般为几微米到几毫米,摩擦性能得到大幅度提高,疲劳性能也得到改善</p>	
	表面纳米化加工	<p>是目前已经开发出来的 8 种实用纳米表面工程技术中的一种</p> <p>金属表面纳米晶化可以通过不同方法实现。例如,应用超声冲子冲击工艺,可以在 Fe 或不锈钢表面获得晶粒平均尺寸为 10~20nm 的表面层。超声冲子冲击 450s 后,纯 Fe 表面层的显微组织形成了结晶位向为任意取向的纳米晶相,晶粒平均尺寸为 10nm,而 Fe 的原始晶粒尺寸为 50nm</p>	
改善表面力学性能使后续渗扩处理节省能源,缩短时间			
是通过改变工件表面的化学成分,达到改善表面组织结构和性能的目的			
表面改性技术	非金属元素(如 C、N、B、S)表面渗扩	<p>是将工件置于含有渗入元素的活性介质中加热,使渗入元素的活性原子或离子通过吸附、扩散渗入工件表面中,以改变其表层的成分、组织和性能</p>	<p>① 大多数化学热处理形成的表面层与基体没有明显的界面,表面化合物层与其基体为冶金结合,故其结合强度比镀/涂层高得多</p> <p>② 选择合适的渗入元素及改变工艺条件(如温度、时间等)可形成从几十微米到几毫米的渗层深度范围</p> <p>③ 一些化学热处理可原位形成表面复合处理层,即表面化合物层及其底下的扩散层,以获得高的表面耐磨性或耐蚀性和很高的承载能力,同时,大多数化学热处理及渗碳、渗氮等,还可以在表面层中引入残余压应力,以提高材料的疲劳强度</p> <p>④ 化学热处理与离子注入、气相沉积及高能束等近代表面技术相比,具有成本低、不受工件几何形状和尺寸的限制等优点</p> <p>但多数传统的化学热处理工艺较复杂,处理周期长,耗能高,有一些化学热处理工艺,特别是液态处理还对环境造成污染,工作条件较差。近年来新工艺不断涌现,在很大程度上,克服了上述不足之处</p>
	金属元素(Al、Cr、Si、V 等)表面渗扩		

续表

		方法 (元素)	基体 状态	主要功能	方法 (元素)	基体 状态	主要功能	方法 (元素)	基体 状态	主要功能
化学热处理(表面渗扩)	复合元素 表面渗扩	渗碳(C)	奥氏体	提高硬度、耐磨性和疲劳强度	渗硼(B)	奥氏体	提高硬度、耐磨性和耐蚀性	渗钒(V)	奥氏体	提高硬度、耐磨性及耐蚀性
		碳氮共渗(C+N)		提高硬度、耐磨性和疲劳强度	渗硅(Si)		提高耐蚀性和抗氧化性	铬铝共渗(Cr+Al)		提高抗高温氧化、硫介质腐蚀性 及抗疲劳性
		渗氮(N)	铁素体	提高硬度、耐磨性、疲劳强度和耐蚀性	渗铝(Al)		提高抗高温氧化及硫介质腐蚀性	硼铝共渗(B+Al)		提高耐磨性、耐蚀性和抗氧化性
		氮碳共渗(N+C)		提高硬度、抗咬合性、疲劳强度和耐蚀性	渗铬(Cr)		提高抗氧化性、耐蚀性及耐磨性	铬硅共渗(Cr+Si)		提高耐磨性、耐蚀性和抗氧化性
		渗硫(碳氮)[S(C,N)]		降低摩擦,提高抗咬合性及抗疲劳性						
原则上说表列绝大多数的化学热处理可在固态、液态、气态及等离子态四种渗入介质的任一种中进行,但对于渗非金属来说,目前使用最普遍的是气态及液态,而对于渗金属来说是固态及液态,基于环境及可持续发展的要求,液态处理将逐渐减少,无污染、低能耗的等离子渗扩处理逐渐得到越来越广泛的应用										
表面改性技术	等 离 子 化 学 热 处 理	离子渗氮	等 离 子 渗 扩 处 理 是 利 用 稀 薄 气 体 中 的 工 件 ( 阴 极 ) 与 炉 体 ( 阳 极 ) 之 间 的 辉 光 放 电 现 象 进 行 的 化 学 热 处 理	离子渗氮具有渗速快、渗层性能好、处理温度范围大、无污染的特点。它与可控气体渗氮相比:①二者都可实现对化合物层厚的控制,防止厚的脆性氮化物形成;②离子渗氮适用材料范围广,由于处理时的溅射,它可以处理表面有钝化膜的奥氏体不锈钢、耐热合金及钛合金等,而可控气体渗氮则难且贵;③离子渗氮对零件形状与装炉要求苛刻些;④对工件的局部保护,离子渗氮用机械屏蔽即可,而气体渗氮则需镀或涂层;⑤离子渗氮的能耗、气耗和废气排放都比可控气体渗氮的少;⑥可控气体渗氮最佳处理温度一般为480~570℃,而离子渗氮过程中,氮的活化是由外加电场控制的,与处理温度关系不大,所以它可以在很宽的温度范围内进行,例如,钛合金离子渗氮时温度可提高到700~900℃,对奥氏体不锈钢低温离子渗氮时温度则为300~450℃	氮、碳、硼、硫等元素都可通过这种处理方法渗入到金属工件表面,从而使工件的表面硬度、耐磨性和疲劳强度得到大幅度提高					
		离子碳氮共渗								
		离子渗碳								
离子注入	非金属离子注入	是 将 所 需 的 气 体 或 固 体 蒸 气 在 真 空 系 统 中 电 离 , 引 出 离 子 束 后 , 用 数 千 电 子 伏 至 数 十 万 电 子 伏 进 行 加 速 直 接 注 入 材 料 达 一 定 深 度 , 改 变 表 面 成 分 与 结 构 , 以 改 善 性 能 的 方 法	① 离子注入表面改性,注入元素不受材料固溶度限制,适用于各种材料 ② 注入元素的数量可精确测量和控制,控制方法是监测注入电荷的数量 ③ 离子注入是原子的直接混合,注入层厚度为0.1μm,但在摩擦条件下工作时,由于摩擦热作用,注入原子不断向内迁移,其深度可达原始注入深度的100~1000倍,使用寿命延长。注入元素是分散停留在基体内部的,没有界面,故改性层与基体之间结合强度很高,附着性好。改变注入离子的能量大小,可以控制注入层的厚度 ④ 离子注入是在高真空(10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-5</sup> Pa)下进行的,并且靶温可以控制在低温、室温、高温,被处理工件不会受环境污染,在低温、室温处理时不会变形或退火软化 ⑤ 离子注入具有直进性,横向扩展小,可以实现大面积均匀性掺杂 ⑥ 对复杂形状的工件注入有困难	① 适宜于零件和产品的最后表面处理;② 制作大规模集成电路、大容量磁芯存储器,延长磁头寿命几倍;③ 可得到许多很难互溶的金属合金相和金属玻璃						
	金属离子注入									
	复合离子注入									

镀覆方法	操作	特点	应用		
是指采用化学处理液使金属表面与溶液界面上产生化学或电化学反应,生成稳定的化合物薄膜的处理方法					
表面改性技术	氧化处理	是金属在含有氧化剂的溶液中形成的膜	铝、铝合金 有化学氧化和电化学阳极氧化。化学氧化处理液多以铬酸(盐)法为主,其设备简单,不受工件大小限制,氧化膜厚 0.5 ~ 4 $\mu\text{m}$ ,质地软,吸附能力好;阳极氧化处理有硫酸法、铬酸法、草酸法、磷酸法、硬质法和瓷质法等,膜厚 5 ~ 20 $\mu\text{m}$ ,膜硬,耐蚀、耐热、绝缘及吸附能力更好,硬质法硬度可达 400 ~ 1500HV,熔点可达 2050 $^{\circ}\text{C}$	硫酸法:涂装底层、装饰与防护层;草酸法:电器绝缘、日用品装饰;硬质法:耐磨、耐热、绝缘,如活塞、汽缸、轴承等	
			钢铁等 钢铁氧化以化学法为主,处理液分碱性和酸性,按膜颜色分发蓝和发黑,多在含氧化剂的浓碱中进行,形成厚度 0.6 ~ 1.5 $\mu\text{m}$ 以 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 为主的膜,后经皂化、填充或封闭处理;镁合金、锌合金的氧化多在重铬酸盐中进行,铜合金氧化多在碱性溶液中进行	钢铁氧化可提高耐蚀与润滑性;镁合金氧化用于装饰及涂装底层;铜合金氧化用于装饰及电器仪表	
	转化膜技术	磷化处理	是金属在磷酸盐溶液中形成的膜	钢铁 分高、中、低温工艺,漆前磷化用锌或碱金属磷酸盐,防锈磷化用锌、锰或铁的磷酸盐,冷变形前磷化用锌或锰磷酸盐,耐磨磷化用锰磷酸盐,后处理有皂化、填充或封闭等,膜多孔,吸附力好	钢铁防护层,涂装,塑性加工和滑动摩擦副中的减摩,硅钢片绝缘
			锌、铝 锌材磷化常用锌系磷化液 铝及铝合金磷化常用锌系溶液和铬-磷酸系溶液(Alodine法),其耐蚀性好,应用广泛	锌磷化用于热镀锌、热浸锌等;铝磷化用于塑性变形加工及耐蚀	
	钝化处理	是金属在铬酸或铬酸盐溶液中形成的膜	铜、锌及其合金 铜及铜合金常用铬酸法、重铬酸盐法、钛酸盐法等进行钝化处理 锌及锌合金的钝化常用于电镀锌及锌基合金的后处理,以铬酸盐法为最普遍,按色彩分为彩色、白色、黑色及草绿色钝化,一般需进行老化后处理	铜钝化用于防护及装饰;锌钝化用于耐蚀、涂装或装饰	
			不锈钢等 不锈钢钝化用硝酸或硝酸加重铬酸钠,保持原色;镉镀层钝化可参照锌钝化;银钝化可用铬酸盐或有机物钝化液,电化学钝化防变色效果好	不锈钢钝化可提高耐蚀性;银钝化用于防变色	
	金属着色处理	是通过表面转化形成有色膜或干扰膜的过程	一般着色膜层厚度为 25 ~ 55nm,其色调与处理方法及膜厚有关。通常可获得黄、红、蓝、绿等色调及彩虹、花斑等多种色彩。杂色色彩的产生,源于膜厚不均匀对光反射过程的影响。处理方法有化学转化法与电化学转化法(通过热处理或化学置换反应也能形成着色膜,以及金属染色处理,即用颜料通过金属表面的吸附作用和化学反应而着色,或通过电解作用使金属离子与染料共沉积而产生色彩,均不属此范围)。钢铁包括不锈钢、铝材及铜等金属材料经不同的着色处理,可呈现不同的色调或色彩		

续表

镀覆方法	操作	特点	应用
复合表面技术	是将两种或两种以上的表面处理工艺方法,用于同一工件的处理,不仅可以发挥各种表面处理技术的各自特点,而且更能显示组合使用的突出效果,使表面性能达到优化,即称复合表面技术,又叫第二代表面技术	<p>复合表面技术已有:复合表面化学热处理、表面热处理与表面化学热处理的复合强化处理、热处理与表面形变强化的复合处理、镀覆层与热处理的复合处理、覆层与表面冶金化的复合处理、离子辅助涂覆、激光、电子束复合气相沉积和复合涂镀层,以及离子注入与气相沉积复合表面改性等</p> <p>在生产实际中许多方法已获得广泛应用,例如,渗碳淬火与低温电解渗硫复合处理,将工件先渗碳淬火,使表面获得高硬度、高耐磨性和较高的抗疲劳性能,然后渗硫获得复合渗层。渗硫层为多孔鳞片状的硫化物,其中的间隙和孔洞能储存润滑油,具有很好的自润滑性能,降低摩擦因数,改善润滑性能和抗咬合性能,减少磨损。又例如,液体碳氮共渗与高频感应加热表面淬火的复合强化,其表面硬度可达60~65HRC,硬化层深度达1.2~2mm,零件的疲劳强度也比单纯高频淬火的零件明显增加,其弯曲疲劳强度提高10%~15%,接触疲劳强度提高15%~20%</p>	
纳米表面技术	是充分利用纳米材料的优异性能,将传统表面技术与纳米材料、纳米技术交叉、综合、融合,制备出含纳米颗粒的复合覆层或纳米结构的表面技术	<p>当前已开发出8种进入实用阶段的纳米表面技术:①纳米颗粒复合电刷镀技术;②纳米热喷涂技术;③纳米涂装技术;④纳米减摩自修复添加剂技术;⑤纳米固体润滑干膜技术;⑥纳米粘涂技术;⑦纳米薄膜制备技术;⑧金属表面纳米化</p> <p>由于纳米材料的奇异特性,赋予纳米表面技术比传统表面技术更多优越的新特点:</p> <p>① 涂覆层本身性能如抗拉强度、屈服点和抗接触疲劳性能大幅度提高</p> <p>② 涂覆层功能的提升,解决了许多传统表面技术解决不了的问题,如高性能的纳米声、光、电、磁膜反超硬膜的制备;纳米原位动态自修复技术,由于纳米颗粒材料的作用,能够在金属摩擦副表面形成修复薄膜,能够在工作状态下完成金属摩擦副的原位动态修复,延长了工件的使用寿命</p> <p>③ 纳米涂层与基材优化组合,使设计选材更有利于节约能源和节约贵金属</p> <p>④ 为表面技术的复合提供新途径,例如,金属表面纳米化,赋予了基材表面层以优异性能,与离子渗氮技术复合,使渗氮工艺由原来的在500℃条件下处理24h,转变为在300℃条件下处理9h</p>	

## 2.2 各种薄膜气相沉积技术的特点对比<sup>[1~3]</sup>

表 1-7-3

项目	真空蒸发	溅射	离子镀	化学气相沉积	电镀	热喷涂
沉积物质产生机制	热蒸发	离子动能转移	热蒸发	化学反应	液体中的电极反应	火焰或等离子体携带的物质颗粒
薄膜沉积机制	原子(及离子)	原子(及离子)	离子和原子	离子及原子团	离子	物质颗粒
薄膜沉积速率/ $\mu\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	较高(可达75)	较低(如对于Cu,可达1)	很高(可达25)	中等(20~250nm/min)	依工艺条件而定,较低至较高	很高
沉积粒子能量	低(0.1~0.5eV/原子)	可较高(1~100eV/离子)	可较高(1~100eV/离子)	在等离子体辅助的情况下较高	可较高	可较高
膜层特点 <sup>[2]</sup>	密度	依材料而变化	较高	高	较高	中等
	气孔	低温时多	气孔少,但混入溅射气体较多	无气孔,但膜层缺陷较多		



续表

项目		真空蒸发	溅射	离子镀	化学气相沉积	电镀	热喷涂
膜层特点 <sup>[2]</sup>	内应力	拉应力	压应力	依工艺条件而定			
	附着力	一般	较好	好	依具体情况而定	好	较好
	绕射性	差	较好	较好			
	纯度	很好	较好	较好	好	一般	—
原材料种类	纯固态物质	大面积固体靶	纯固态物质或适当面积的金属靶	特定种类的气态物质	金属盐类	物质粉末、线材等	
薄膜对于复杂形状基体的涂覆能力	差	好于蒸发	好于溅射	好	好	好	
制备金属薄膜的能力	好	可以, 纯度一般	好	较好	有限的几种金属	可以	
制备合金薄膜的能力	可以, 但需采取特殊措施	好	可以, 但需采取特殊措施	可以	极为有限	可以	
制备化合物薄膜的能力	可以, 有时需采取措施	可以			不可以	可以	
离子轰击基底的可能性	不普遍采用	可以采用	是	可以采用	没有	可以	
薄膜与基底间界面元素的扩散	较少	是	是	是	没有	有限	
薄膜低温沉积的可能性	可以	可以	较为有限	不可以, 在等离子体辅助的情况下有限	可以	有限	
大面积沉积的可能性	可以, 但需措施保证均匀性	可以	可以, 但需措施保证均匀性	可以, 但在等离子体辅助的情况下困难	复杂形状较为困难	采取顺序涂覆的方法	
对环境产生的污染	无			依原材料而变	较严重	噪声污染、喷物污染	
设备复杂性	简单, 但大面积时复杂	较为简单	较为复杂	简单, 但在等离子体辅助的情况下很复杂	简单	较复杂	
薄膜制造成本	较低		稍高	低	很低	较高	

### 3 电 镀

利用外加电流作用从电解液中析出金属, 并在物件表面沉积而获得金属覆盖层的方法。

电镀层的分类<sup>[33,34]</sup>

表 1-7-4

分 类		说 明	举 例
按镀层金属与基体金属之间的电位关系分	阳极性镀层	是指比被保护的基体金属电极电位负、电性强,而使基体金属在一定介质中不受电化学腐蚀的镀层	对钢铁来说,镀锌层在大气腐蚀条件下就是阳极性镀层
	阴极性镀层	是指比被保护的基体金属电极电位正、电性弱,仅能机械地保护而不能使基体金属不受电化学腐蚀的镀层	对钢铁来说,镍、铜、铬、银、金等镀层都是阴极性镀层
按使用的目的分	防护性镀层	防止锈蚀或腐蚀 ①一般大气条件下的黑色金属制品 ②海洋性气候条件下 ③要求镀层薄而耐蚀能力强 ④用铜合金制作的海洋仪器 ⑤接触有机酸的黑色金属制品,如食品容器 ⑥耐硫酸和铬酸的腐蚀	镀锌 镀镉 用镉锡合金代替单一的锌或镉镀层 镀银镉合金 镀锡 镀铅
	工作-保护性镀层	除了防止零件免受腐蚀外,主要在于提高零件的抗机械磨损能力和表面硬度	铬、镍
	装饰性镀层	以装饰性为主,兼备一定防护性 防腐及使制品具有经久不变的光泽外观。多为多层镀覆,底层+(或中间层)+表层。底层常用铜锡镀层,或镀锌铜,或镀铜;表层常用光亮铬或镍、铬。例如,铜/镍/铬多层镀,也有采用多层镍和微孔铬的	铜锡镀层+光亮铬;锌铜镀层+光亮铬;铜镀层+镍+铬 汽车、自行车、钟表等就使用这类镀层
		电镀贵金属,如金、银等和仿金镀层,近年来应用比较广泛,特别在一些贵重装饰品和小五金商品中,用量较多,产量也较大,并有部分出口	主要电镀贵金属及各种合金,例如,铜锡合金、铜锌合金、铜锡锌合金以及锡钴合金和锡镍合金等
	耐磨和减摩镀层	耐磨是指提高表面硬度,镀硬铬能使镀件的表面硬度达到或超过1000HV;减摩是指在滑动接触面上镀上能起固体润滑剂作用的韧性金属(减摩合金)以减小滑动摩擦 对一些仪器和仪表的接插件,既要求有良好的导电能力,又要求耐磨损,通常镀硬银、硬金、铑及其他合金	耐磨镀层多采用镀硬铬,如大型轴、曲轴的轴颈、发动机的汽缸和活塞环、冲击模具、压印辊的辊面、枪、炮管的内腔等 减摩镀层多用锡、铅锡合金、铜铅合金及铅锡铜合金等,多用于轴瓦或轴套上
	热加工镀层	①防止局部渗碳 ②防止局部渗氮 ③防止局部碳氮共渗 ④钎焊前	镀铜 镀锡 镀锡 镀锡、镀铜或镀银
	高温抗氧化镀层	防止高温氧化 ①转子发动机内腔,喷气发动机转子叶片等高温工作零件,有些情况下,还需使用复合镀层 ②更特殊场合下工作的零件	镀镍铬或镀铬合金、复合镀层,如Ni-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Ni-Zr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 和Cr-TiO <sub>2</sub> 等 镀铂铑合金
	焊接性镀层	有些电子元器件组装时需要进行钎焊,为了改善其焊接性能,在表面需要镀一层铜、锡、银以及锡铅合金等	



分类	说明	举例	
按使用目的分	修复性镀层	修复报废或磨损的零件	镀铬、铜、铁等,用于轴与齿轮等零件
	导电性镀层	提高表面导电性能的镀层 ① 一般情况 ② 同时要求耐磨的 ③ 在高频波导生产中	镀铜、镀银 镀银锡合金、银金合金、金钴合金等 采用镜面光泽的镀银层
	磁性镀层	电镀工艺参数改变可以调整镀层的磁性能参数	常用的电沉积磁性合金有镍铁、镍钴、镍钴磷等。这种镀层多用于录音机、电子计算机等设备中的录音带、磁环线上
	其他镀层	① 保持零件表面的润滑剂 ② 改善零件表面的磨合性 ③ 为了增加钢丝和橡胶热压时的黏合性 ④ 为了增加反光能力	多孔性镀铬 镀铜、镀锡、镀铬 镀黄铜 镀铬、镀银、镀高锡青铜等

金属镀层的特点及应用<sup>[33]</sup>

表 1-7-5

名称	特点	应用
镀锌	<p>锌在干燥空气中比较稳定,不易变色,在水中及潮湿大气中则与氧或二氧化碳作用生成氧化物或碱性碳酸锌薄膜,可以防止锌继续氧化,起保护作用。锌在酸及碱、硫化物中极易遭受腐蚀。镀锌层一般都要经钝化处理,在铬酸或在铬酸盐液中钝化后,由于形成的钝化膜不易与潮湿空气作用,防腐能力大大加强。对弹簧零件、薄壁零件(壁厚 &lt; 0.5mm)和要求机械强度较高的钢铁零件,必须进行除氢,铜及铜合金零件可不除氢。镀锌成本低、加工方便、效果良好。锌的标准电位较负,所以锌镀层对很多金属均为阳极性镀层</p>	<p>在大气条件和其他良好环境中使用的钢铁零件普遍使用镀锌。但不宜作摩擦零件的镀层</p>
镀镉	<p>与海洋性的大气或海水接触的零件及在 70℃ 以上的热水中,镉镀层比较稳定,耐蚀性强,润滑性好,在稀盐酸中溶解很慢,但在硝酸里却极易溶解,不溶于碱,它的氧化物也不溶于水。镉镀层比锌镀层质软,镀层的氢脆性小,附着力强,而且在一定电解条件下,所得到的镉镀层比锌镀层美观。但镉在熔化时所产生的气体有毒,可溶性镉盐也有毒</p> <p>在一般条件下,镉对钢铁为阴极性镀层,在海洋性和高温大气中为阳极性镀层</p>	<p>它主要用来保护零件免受海水或与海水相类似的盐溶液以及饱和海水蒸气的大气腐蚀作用。航空、航海及电子工业零件、弹簧、螺纹零件,很多都用镀镉</p> <p>可以抛光、磷化和作油漆底层,但不能作食具</p>
镀铬	<p>铬在潮湿的大气、碱、硝酸、硫化物、碳酸盐的溶液以及有机酸中非常稳定,易溶于盐酸及热的浓硫酸。在直流电的作用下,如铬层作为阳极则易溶于苛性钠溶液。铬层附着力强,硬度高,800 ~ 1000HV,耐磨性好,光反射性强,同时还有较高的耐热性,在 480℃ 以下不变色,500℃ 以上开始氧化,700℃ 则硬度显著下降。其缺点是硬、脆,容易脱落,当受交变的冲击载荷时更为明显。并具有多孔性</p> <p>金属铬在空气中容易钝化生成钝化膜,因而改变了铬的电位。因此铬对铁就成了阴极性镀层</p>	<p>在钢铁零件表面直接镀铬作防腐层是不理想的,一般是经多层电镀(即镀铜→镍→铬)才能达到防锈、装饰的目的。目前广泛应用在为提高零件的耐磨性、修复尺寸、光反射以及装饰等方面</p>

续表

名称	特点	应用
松孔镀铬	松孔镀铬是耐磨镀铬的一种特殊形式,它与一般镀铬的明显区别在于其铬镀层的表面上产生网状沟纹或点状孔隙。目的是为了保存足够的润滑油,以改善摩擦条件,减少两摩擦面的金属接触,提高耐磨性	广泛应用于内燃机的汽缸、汽缸套、活塞环、活塞销以及上述零件磨损后的修复等方面
镀铜	铜在空气中不太稳定,易于氧化,在加热过程中尤甚。同时具有较高的正电位,不能很好地防护其他金属不受腐蚀,但铜具有较高的导电性,铜镀层紧密细致,与基体金属结合牢固,有良好的抛光性能等 铜比铁的电位高,对铁来说是阴极性镀层	铜镀层很少用作防护性镀层。一般用来提高其他材料的导电性,作其他电镀的底层、防止渗碳的保护层以及在轴瓦上用来减少摩擦或作装饰等
镀镍	镍在大气和碱液中化学稳定性好,不易变色,在温度 600℃ 以上时,才被氧化。在硫酸和盐酸中溶解很慢,但易溶于稀硝酸。在浓硝酸中易钝化,因而具有好的耐蚀性能。镍镀层硬度高、易于抛光、有较高的光反射性并可增加美观。其缺点是具有多孔性,为克服这一缺点,可采用多层金属镀层,而镍为中间层 镍对铁为阴极性镀层,对铜为阳极性镀层	通常为了防止腐蚀和增加美观用,所以一般用于保护-装饰性镀层上。铜制品上镀镍防腐较为理想 但由于镍比较贵重,多用镀铜锡合金代替镀镍
镀锡	锡具有较高的化学稳定性,在硫酸、硝酸、盐酸的稀溶液中几乎不溶解,在加热的条件下,锡缓慢地溶于浓酸中。在浓、热的碱液中溶解并生成锡酸盐。硫化物对锡不起作用。锡在有机酸中也很稳定,其化合物无毒。锡的焊接性很好 在一般条件下,锡镀层对铁属于阴极性镀层,对铜则属于阳极性镀层	广泛用于食品工业的容器上和航空、航海及无线电器材的零件上。还可以用来防止铜导线不受橡胶中硫的作用,以及作为非渗氮表面的保护层
镀铅	铅在硫酸、二氧化硫及其他硫化物和硫酸盐中不受腐蚀,但在高温(高于 200℃)的浓硫酸中及浓盐酸中则发生强烈的腐蚀,在稀盐酸中反应缓慢,在有机酸——醋酸、乳酸、草酸中也比较稳定	在化学工业中应用较多,如加热器、结晶器、真空蒸发器等内壁镀铅
镀铜锡合金	电镀铜锡合金是在零件上镀铜锡合金后,不必镀镍,而直接镀铬。对于钢制零件用低锡青铜(含锡 5%~15%),对于铜及铜合金零件用高锡青铜(含锡约 38% 以上)。低锡青铜镀层防腐能力良好,其物理、力学性能和工艺性能比中锡(含锡 15%~25%)及高锡青铜镀层好	镍是一种比较稀少而贵重的金属,目前在电镀工业上广泛采用电镀铜锡合金来代替镀镍

### 镀层选择

选择金属镀层时必须注意掌握下列几点:①正确分析零件工作条件,确定对电镀层的工作要求;②被电镀零件的金属种类及该金属电镀层在介质中的稳定性;③被电镀零件的结构、形状和尺寸的公差以及在零件表面上进行电镀并达到所需均匀厚度的可能性;④镀层与被镀零件表面的结合力。

表 1-7-6

电镀层电镀顺序<sup>[34]</sup>

被镀金属	电 镀 层									
	金	铜	铜或铜合金 (氰化物法)	铜(酸性法)	镍	锡	铅	银	铬	锌
铁或钢	必须以铜或黄铜为底层	直接镀	直接镀	必须以铜或黄铜为底层	直接镀。最好以铜或黄铜为底层	直接镀	直接镀。对断面大的制品最好以镍为底层	薄层直接镀。其他以铜或黄铜为底层	硬铬直接镀。其他以铜或黄铜为底层	直接镀

被镀金属	电 镀 层									
	金	镉	铜或铜合金 (氰化物法)	铜(酸性法)	镍	锡	铅	银	铬	锌
铜	—	直接镀	直接镀	必须以铜或黄铜为底层	薄层直接镀。其他以铜或黄铜为底层(氰化物法)	直接镀	直接镀	最好以铜或黄铜为底层(氰化物法)	直接镀,在光泽的镉上镀成无光泽铬	—
铜或铜合金	直接镀	直接镀	直接镀	直接镀	直接镀	直接镀	直接镀	浸汞处理	黄铜直接镀。最好以镍为底层	直接镀
镍	直接镀	直接镀	直接镀	直接镀	必须以铜或黄铜为底层	—	必须以铜或黄铜为底层(氰化物法)	以铜或黄铜为底层	直接镀	—
锡	必须以铜或黄铜为底层(氰化物法)	—	直接镀	必须以铜或黄铜为底层(氰化物法)	必须以铜或黄铜为底层(氰化物法)	在热镀锡之后直接镀	直接镀	以铜或黄铜为底层	必须以铜或黄铜为底层(氰化物法)	—
铅或铅合金	必须以铜或黄铜为底层(氰化物法)	直接镀	直接镀	直接镀	—	直接镀	直接镀	以铜或黄铜为底层	必须以铜或黄铜或镍为底层	—
银	直接镀	直接镀	直接镀	直接镀	直接镀	—	—	直接镀	直接镀。最好以镍为底层	—
锌	最好以铜或黄铜为底层	—	直接镀	必须以铜或黄铜为底层(氰化物法)	直接镀。最好以铜或黄铜为底层(氰化物法)	直接镀	—	直接镀。或以铜或黄铜为底层	必须以铜或黄铜为底层(氰化物法)	—

表 1-7-7

主要金属镀层厚度

镀层名称	使用条件	镀层厚度/mm
锌镀层	室内或良好条件	0.007 ~ 0.010
	室外或潮湿空气	0.010 ~ 0.020
	十分潮湿空气或工业性大气	0.020 ~ 0.040
	汽油、煤油、润滑油等油类	0.020 ~ 0.050
镉镀层	海洋性大气	0.010 ~ 0.040
	海水或氯化钠溶液	0.040 ~ 0.050
	工业性大气	0.005 ~ 0.015
	潮湿大气	0.007 ~ 0.015

续表

镀层名称	使用条件			镀层厚度/mm			
铜镀层	镀镍、镀铬的底层		轻度腐蚀的大气	≥0.015			
			中等腐蚀的大气	≥0.030			
	防止局部渗碳	渗碳层厚度/mm	0.1~0.8	0.010~0.020			
			0.8~1.2	0.030~0.040			
			>1.2	0.050~0.070			
铜镀层	防止氧化 修复磨损的尺寸 提高钢制品的导电性			0.030~0.060 <3 0.010~0.200			
镍镀层	轻度腐蚀条件 中等腐蚀条件 严重腐蚀条件			铜(氰化物法)	铜(酸性法)	镍	铬
				0.003	0.012	0.010	0.001
				0.003	0.022	0.015	0.001
			0.003	0.032	0.020	0.001	
铬镀层	装饰性镀铬 耐磨性镀铬(轴、汽缸套等) 恢复尺寸镀铬			0.001~0.003 0.05~1.0 根据磨损程度来确定厚度,镀铬到一定厚度后要加以研磨			
锡镀层	防止渗氮			0.010~0.020			

表 1-7-8

镀铬层厚度<sup>[34]</sup>

被镀零件的材料			铜及铜合金				钢铁			
			使用条件分类							
			一类	二类	三类	四类	一类	二类	三类	四类
无光 洋镀铬层	铜层	厚度 /μm					30~35	20~25	10~15	
	镍层						15~20	10~15	7~10	5~7
	铜锡层		20~25	15~20	10~15	7~10				
	铬层		0.8~1.2	0.5~0.8	0.25~0.5	0.25~0.5	0.8~1.2	0.5~0.8	0.25~0.5	0.25~0.5
	总厚度		21~27	16~21	11~16	7.5~11	46~56	31~41	18~26	6~8
	孔隙率 /气孔数·cm <sup>-2</sup>					3	4			
光亮 镀铬层	铜层	厚度 /μm					30~35	20~25	10~15	
	镍层						15~20	10~15	7~10	5~7
	铜锡层		20~25	15~20	10~15	7~10				
	铬层		0.8~1.2	0.5~0.8	0.25~0.5	0.25~0.5	0.8~1.2	0.5~0.8	0.25~0.5	0.25~0.5
	总厚度		20.8~26.2	15.5~20.8	10.25~15.5	7.25~10.5	45.8~56.2	30.5~40.8	17.25~25.5	5.25~7.5

注:一般零件的使用条件分为良好、中等、恶劣三级,相应的电镀层厚度一般分为四类。

一类(恶劣工作条件)——含有大量工业气体、燃料废气、灰尘、海水蒸发物或其他活性腐蚀剂的大气,以及空气的相对湿度周期性地达到98%的场所,经常要用手握住操作的零件,在湿热带、干热带地区使用的零件。

二类(中等工作条件)——含有少量工业气体、燃料废气、海水蒸发物或其他活性腐蚀剂,而且比较干燥的室内外大气,产品运输、保管时间不长。

三类(良好工作条件)——不含工业气体、燃料废气、海水蒸发物及其他活性腐蚀剂,而且比较干燥的室内外大气,而产品的运输、保管时间不长。

四类——用于较三类更好的条件。

## 4 复合电镀<sup>[49]</sup>

复合电镀是采用电化学的方法使金属（或合金）与固体微粒（或纤维）共沉积，而获得复合材料的工艺过程，又称为分散电镀。这种复合材料层称为复合镀层或分散镀层。它由两部分构成：一部分是通过电化学反应而形成镀层的金属或合金，通常称为基质金属，是均匀连续相；另一部分则为不溶性的固体颗粒或纤维，通常是不连续地分散于基质金属之中，形成一个不连续相，又称为分散相。所以复合镀层属于金属基复合材料。基质金属和不溶性颗粒之间的相界面基本是清晰的，几乎不发生扩散现象，从形式上看是机械混合物，但获得的复合镀层却具有基体金属和固体颗粒两类物质的综合性能。

### 复合电镀的优缺点

表 1-7-9

优点	优于热加工工艺	热加工方法制取复合材料需要很高温度，从而很难使用有机物来制取金属基复合材料。而复合电镀法制取复合材料时，大多是在水溶液中进行的，温度很少超过90℃。因此，除了目前使用的耐高温陶瓷外，各种遇热容易分解的物质和各种有机物，都可以作为不溶性固体微粒分散到镀层中，以制取各种不同类型的复合材料。在通常的情况下，基质金属和固体微粒之间基本上不发生相互作用，而保持它们各自的特性。如果需要复合镀层中的基质金属和固体微粒之间相互发生扩散，可以将复合镀层通过热处理手段，获得所需特性。	工艺、设备简单	复合电镀工艺和设备与一般电镀技术差不多，仅在使用的设备、镀液和阳极等进行略加改造即可，主要是增加能使固体微粒充分悬浮的措施。与其他制备复合材料的方法相比，设备投资少，工艺比较简单，易于控制，生产费用低，能源消耗少，原材料利用率较高。所以通过电沉积的方法来制备复合材料是比较方便而且经济的。
	可获得任意厚度	复合电镀可根据需要得到任意厚度的镀层，以满足各种不同材料的特性要求。在很多情况下可用廉价的基体材料镀上复合镀层，来代替由贵重材料制造的部件。如在钢钉上镀上银基复合镀层，就可取代纯银电触头，其经济效益是非常明显的。	适用范围广	由于基质金属和合金种类繁多以及固体微粒的多样性，提供了广阔的选择性。同一种基体金属可以方便地镶嵌一种或数种性质各异的固体微粒，而同一种固体微粒也可以方便地镶嵌到不同的基体金属中，制成各种各样不同性能的复合镀层。为改变和调节材料的力学、物理和化学等性能创造了有利的途径，扩大了复合电镀的通用性和适应性。
缺点	①复合镀层太厚，镀层的均匀性受影响，甚至出现不同程度的变形，影响镀件的整体质量 ②固体微粒在基质金属中的含量不能过高，一般不易超过质量分数50%，因此其整体特性的发挥在一定程度上受到限制 ③在有些情况下，仅在部件表面镀覆一层复合材料还不能完全满足使用特性的要求，必须采用整体材料进行制造。因此，复合电镀不可能完全取代热加工方法来制备复合材料			

### 复合电镀的类型和应用

表 1-7-10

分类依据	根据复合电镀使用的微粒和镀层的关系，可将复合电镀分为下列4种类型		
类型	特 征	举 例	
	微粒在单金属中沉积所形成的镀层	用肼作还原剂所获得的镍基复合镀层	
	微粒在镍基合金中形成的合金复合镀层	碳化硅微粒在镍磷合金中形成的复合镀层	
	在单金属镀层中存在着两种复合微粒的复合镀层		
	复合在镀层中的微粒经过热处理后形成了均相的合金镀层	铝粉与镍磷合金共沉积所得到的镀层，进行热处理后独立的金属铝相消失，形成了镍铝磷合金	

续表

类型依据	原理或特性	组成材料及实例	应用
耐磨复合镀层	<p>是利用微粒自身的硬度及其共沉积所引起的基体金属的结晶细化来提高其耐磨性的</p> <p>涂层具有高的硬度和耐磨性能,以提高零部件表面的抗摩擦磨损等特性</p> <p>①Ni-SiC(2.3%~4.5%,质量分数)复合镀层是在氨基磺酸盐镀镍溶液中加入1~3<math>\mu\text{m}</math>的碳化硅微粒,获得硬度和耐磨性高于瓦特镀镍层,使磨损量大大降低。该复合镀层已用在汽车发动机汽缸内腔表面,作为耐高温耐磨镀覆层。其磨损量是通常铁套汽缸的60%,可比电镀铬层降低成本20%~30%</p> <p>②Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Ni-TiO<sub>2</sub>等复合镀层也在汽车及航空工业中得到应用</p> <p>③以钴为基体金属的复合镀层具有很好的高温耐磨性能,在600~1000<math>^{\circ}\text{C}</math>高温条件下,仍保持较好的特性。可应用在飞机发动机的活塞环、制动器和启动装置的弹簧等上。Co-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>复合镀层在300<math>^{\circ}\text{C}</math>以上时,在接触摩擦面上生成玻璃状氧化钴层,因此能保持高温耐磨性。在干燥的空气中,Co-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>复合镀层在800<math>^{\circ}\text{C}</math>下仍能保持耐磨性</p>	<p>通常以镍、镍基合金、铬等为基体金属,而以硬质固体微粒,如三氧化二铝、氧化锆、碳化硅、碳化硼、碳化钛、碳化铬、氮化钛等为分散相得到的复合镀层</p>	<p>主要应用在汽缸壁、模具、压辊和轴承等上。例如在瓦特镀镍溶液中加入碳化硅微粒,以获得Ni-SiC复合镀层,其耐磨性能比普通镀镍层提高70%,可用在汽车摩托车等发动机的铝制零件上,已广泛用来取代电镀硬铬层</p>
润滑复合镀层	<p>润滑有干膜润滑和液体润滑(又称湿润滑)两种类型。干膜润滑比液体润滑方便,对于较轻负荷或间隙动作的部件,用于膜润滑更是简单而有效。通常干膜润滑是用粘接剂或涂料等将润滑材料粘接在一起,但其强度、附着力、耐磨性和持久性均不如复合镀层</p> <p>用复合电镀的方法来制备润滑镀层,在操作上相对比耐磨镀层难一些。因为石墨和二硫化钼等分散相在镀液中不容易均匀悬浮,形成共沉积比较困难。需要选择适宜的表面活性剂和分散剂才能得到均匀稳定的悬浮</p>	<p>润滑用的复合镀层采用的润滑剂通常是固体微粒。最常用的有石墨、聚四氟乙烯(PT-FP)、MoS<sub>2</sub>、(CF)<sub>n</sub>、BN和CaF<sub>2</sub>等,但也能直接复合液体的润滑剂,如普通的润滑油。利用微胶囊化的方法很容易将液态物质包裹成微粒,也能在复合镀液中悬浮,而夹带入复合镀层内</p>	<p>主要应用在汽缸、活塞环、活塞头、轴承等方面</p> <p>另外,螺纹或紧固件容易在高温下黏结而咬死,可以用镍基石墨或镍基氟化石墨的复合镀层以及其他复合镀层来防止</p>
电接触复合镀层	<p>在电子工业上广泛应用的金、银等金属镀层虽然具有高的导电性和较低的接触电阻,但是耐磨性差、摩擦因数较大、抗电弧烧蚀性不好、镀层容易变色,且金镀层成本又高,改用复合镀层,效果显著</p> <p>①采用Au-WC(质量分数为17%)或Au-BN等复合镀层,其硬度、耐磨性均高于纯金镀层,可使电接触点使用寿命显著提高</p> <p>②采用Ag-石墨、Ag-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等复合镀层可使电接触点的使用寿命明显增加,抗电弧烧蚀性能提高</p> <p>③采用Ag-Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层可提高电插拔件的使用寿命,还能节约贵金属</p>		<p>可广泛应用于电子工业</p>
分散强化合金镀层	<p>以金属粉作为分散微粒,悬浮在电镀液中并与基体金属共沉积,即可获得金属微粒弥散于另一金属之中的复合镀层。然后将复合镀层进行热处理,可得到一定组成的新合金镀层。通过这种方法可以得到在水溶液中难以共沉积的合金镀层</p>	<p>①在瓦特镀镍溶液中加入铬粉(颗粒约为5<math>\mu\text{m}</math>),即可得到Ni-Cr复合镀层,再经过1000<math>^{\circ}\text{C}</math>以上的热处理,就得到了Ni-Cr合金镀层</p> <p>②将钼、钨等耐热金属粉加入镀铬溶液中,获得的复合镀层在1100<math>^{\circ}\text{C}</math>下进行热处理,就可获得Cr-Mo和Cr-W等分散强化合金镀层</p>	<p>复合镀层应用的另一重要领域是分散强化合金镀层</p>
防护性复合镀层	<p>①将非导电微粒如SiO<sub>2</sub>、SiC、BaSO<sub>4</sub>等加入镀镍溶液中,获得Ni-SiO<sub>2</sub>、Ni-SiC、Ni-BaSO<sub>4</sub>等复合镀层。当继续镀铬时就得到微孔铬或微裂纹铬,它使真实腐蚀电流密度大大下降,从而使其耐蚀性提高3~5倍</p> <p>②在镀锌溶液中加入固体微粒如SiC、SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>等,可得到耐蚀性高的Zn-SiC、Zn-SiO<sub>2</sub>、Zn-TiO<sub>2</sub>、Zn-ZrO<sub>2</sub>等复合镀层,与锌镀层相比,其耐蚀性有很大的提高</p>		<p>早在20世纪60年代为了改善和提高铜/镍/铬体系的耐蚀性,就研究采用了镍封和缎面镍作中间层以代替金属镍层</p>

类型依据	原理或特征	组成材料及实例	应用
装饰性复合镀层	<p>①在瓦特镀镍溶液中加入粒径为 <math>3\mu\text{m}</math> 的 <math>\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3</math> 为分散相,再加入光性强的表面活性剂,既能促进微粒进行共沉积,同时由于 <math>\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3</math> 微粒上吸附了荧光表面活性剂,使复合镀层具有荧光彩色</p> <p>②以三聚氰胺树脂为颜料,以柠檬黄、橙、粉红等有机荧光颜料作为分散相,用复合电镀可以获得相应颜色,并在夜间发出荧光彩色的镍镀层。荧光粒子在复合镀层表面的比例约占 80%。为了防止荧光粒子从镀层表面脱落,可在复合镀层的表面再镀一层薄金 (<math>0.2 \sim 0.5\mu\text{m}</math>)</p>		荧光彩色复合镀层可以作为金属荧光板、汽车和摩托车的尾灯等,以节约能源
其他类型复合镀层	<p>①用镍作为基质金属,以 CdS、CdTe 等为分散相进行的共沉积,得到的复合镀层可作为光敏元件</p> <p>②用镍或镍钴合金为基质金属,复合以陶瓷粉、<math>\text{CeO}_2</math> 等微粒得到的复合镀层有很好的耐高温特性,可用于航空航天</p> <p>③用镍复合 <math>\text{ZrO}_2</math>、WC 等得到的复合镀层,可用来作电解电极,以提高催化活性等</p>		由于利用复合电镀的方法制备某些特殊功能材料比较方便。目前复合镀层逐渐向功能应用方面发展。如通过复合电镀法进行材料组合,就能提供改善性能和开发新的应用领域

## 5 (电) 刷镀<sup>[49]</sup>

刷镀是电镀的一种特殊方式,它不用镀槽,而是用浸有专用镀液的镀笔与镀件作相对运动,通过电解而获得镀层的过程。工作时,工件接电源的负极,镀笔接电源的正极,靠包裹着浸满溶液的阳极在工件表面擦拭,溶液中的金属离子在工件表面与阳极相接触的各点发生放电结晶,并不断长大,形成镀层。如果工件接正极,镀笔接负极,同一刷镀设备还可进行去毛刺、蚀刻和电抛光。

刷镀的特点是镀笔可以制成各种形状,以适应工件的表面形状和工作要求,镀液中金属离子浓度高,且储存方便,操作安全,设备简单,用电量、用水量较少,同一套设备可以在各种基材上获得几十种单金属、合金及复合镀层,还可对基材表面进行电净与活化处理。它允许使用比槽镀大几倍到几十倍的电流密度(最大可达  $500\text{A}/\text{dm}^2$ ),因此镀覆速度快,是一般槽镀的  $5 \sim 50$  倍。镀层厚度的均匀性可以控制,镀后一般不需要机械加工。这种方法适用于野外及现场修复,尤其对于大型零件、不易拆卸的零件以及带有不宜浸入槽液的附件,使用特别经济、方便。缺点是不适于加工大面积或大批量零件。

### 不同工况下镀层的选择

表 1-7-11

工况要求	镀层及其要求与应用	工况要求	镀层及其要求与应用
耐腐蚀性	<p>①阳极性保护镀层:电极电位比基体金属负的金属镀层。对钢铁基体可选择锌、镉镀层,镀层需用重铬酸盐后处理</p> <p>②阴极性保护镀层:电极电位比基体金属正的金属镀层。对钢铁基体可选择金、银、铑、钯、镍、锡、铜、铬等镀层</p> <p>③银镀层上沉积一薄层铜,可使银保持银白色又可防锈蚀</p> <p>④铜上镀金时应以镍作过渡层,防止铜原子扩散到金镀层中影响金镀层纯度</p> <p>⑤三价铬镀液沉积的铬镀层同样具有良好的耐腐蚀性</p> <p>⑥锌、锡镀层能耐硫酸、盐水腐蚀</p> <p>⑦钢、钢锡合金在盐水和工业气氛中有良好的耐腐蚀性</p> <p>⑧锌镀层耐有机气氛腐蚀</p> <p>⑨一般而言,同一金属镀层,由酸性镀液沉积的镀层耐腐蚀性比碱性镀液沉积的镀层耐腐蚀性好</p>	高硬度 高耐磨性	<p>①单金属镀层:铁、镍、钴、铑等</p> <p>②合金镀层:镍-钨、镍-铁、镍-钴、镍-磷、铁-钴、钴-钨等</p> <p>③复合镀层:镍-碳化钨、镍-三氧化二铝等</p> <p>④用脉冲电流镀出的单金属、合金镀层</p> <p>⑤快速镍镀液(硬度可达 <math>40 \sim 45\text{HRC}</math>)</p> <p>适于各类轴颈、轴承、凸轮、滚针、滚筒、密封键槽等表面的刷镀</p>
		减摩性	<p>①铬、钢、钢-锡、铅-钢、铅-锡、银、锡、镉、锡-铅-铟或锡-铟等巴氏合金镀层</p> <p>②经渗硫、浸渗含氟树脂、阳极化处理的镀层</p> <p>适于各类轴瓦的修复和制作</p>



续表

工况要求	镀层及其要求与应用	工况要求	镀层及其要求与应用
低孔隙率	耗电系数大的镀液,沉积出来的镀层孔隙率低。每种镀液为获得低孔隙率的镀层,应注意工艺规范的选择 ①使用允许电压(电流)的下限值 ②阳极、工件、镀液勿过热(<40℃) ③采用涤纶或全涤包套,防止棉纤维夹杂在镀层中	高沉积速度	①在静配合面上,用快速镍、高堆积铜等镀层 ②在滑动摩擦面上,用快速镍等镀层 ③在修复划痕、拉伤时,选择锡或铜镀层 ④厚镀层(≥0.5mm),应采用复合镀层,如快速镍-低应力镍、快速镍-铜、快速镍-镉、金、铱等
导电性	金、银、铜、锡等镀层 适于电子、电气元件如电触点、触头及开关等的刷镀	修复性	镀液沉积速度快,镀层与基体结合强度高,安全厚度大 快速镍、致密快速镍、酸性镍、高堆积酸性镍、高速酸铜和高堆积碱铜等 同时可选用两种以上镀液,交替沉淀组成复合镀层 适于造纸烘缸、车床导轨修复;各类轴、柱塞环、推拉杆套管及汽缸等的修复
钎焊性	锡、锡-铅、铜、锡-镍、金、银及钯等镀层		
电器触点	铱、铂、铌、金、银镀层		
低氢脆	钢、低氢脆铜镀液 适于超高强度钢制件上刷镀低氢脆铜镀液阳极保护层,可不进行时效处理。如飞机起落架、操作件、固定柱、支承滑板等的修复	防护装饰性	要求耐蚀好,而且表面美观 硬铬、光亮镍、快速镍 塑料模具、工艺品、造纸烘缸等

在不同金属材料上的电刷镀

表 1-7-12

被镀材料	电刷镀工艺的主要特点	被镀材料	电刷镀工艺的主要特点	
铸铁	铸铁组织疏松,表面有较多的微孔,油污存留在微孔中,很难除净,所以采取化学、有机溶剂、电化学等多种形式多次脱脂 活化时不仅要除去表面的氧化膜和疲劳层,而且要除去金属表面的石墨炭黑,使金属原子的晶格充分显露出来,所以要采用2号加3号活化液的工艺,并且活化时间要比钢零件长约30%~50% 电刷镀工艺参数选择上,铸铁件与钢件相比,电刷镀工作电压要高2~4V,电刷镀铸铁材料时,工件与镀笔的相对运动速度要适当降低,约4~6m/min 经过电化学处理的铸铁、铸铝等材料的待镀表面,由于组织缺陷,耐蚀能力差,故不宜采用酸性镀液起镀,而应用弱碱性或中性镀液起镀。目前,快速镍或中性镍是被广泛应用的铸铁起镀层镀液	低碳钢和低合金钢如10、20、Q235、20Cr、18CrMnTi、15CrMo、20CrMo等	底镀层	工作镀层为铜镀层 特殊镍镀液或碱铜镀液,镀层厚度约2μm
			工作镀层	工作镀层为镍镀层并承受较大载荷 特殊镍镀液,镀层厚度约1~2μm
		中碳钢和中碳低合金钢如25、40、45、50Cr、38CrSi、40CrMo等	工作镀层	恢复尺寸,并要求提高耐磨性 快速镍镀液,镀层厚度约10μm
			仅恢复尺寸	碱铜镀液和快速镍镀液刷镀复合镀层,以增大尺寸、厚度,降低镀层内应力
纯铜、青铜、黄铜	有色金属耐强酸腐蚀能力差,故电净处理后可直接用3号弱活化液进行活化,而省去强活化工序。在起镀时,也避免使用酸性特殊镍镀液镀底层,通常用中性镍或碱铜镀液镀底层	不锈钢、高合金钢、特殊钢、镍、铬及合金	底镀层	特殊镍镀液,镀层厚度约1~2μm
			工作镀层	根据工件表面技术要求选定
高碳钢、高碳合金钢	这类材料的特点是对氢脆敏感,因此电净处理时,应使电源极性反接,采用阳极脱脂。电刷镀时,在镀笔运动、镀液供送方面有利于氢气逸出,必要时,镀后可低温回火,进行除氢处理	铝及铝合金	底镀层	特殊镍镀液,镀层厚度约1000~2000μm
			工作镀层	根据工作表面技术要求选定
镀铬层	镀铬层上的氧化膜十分牢固,因此,活化好是保证镀层与基体结合强度的关键。对镀铬层的活化可采用铬活化液,也可用10%氢氧化钠水溶液。可采用阴、阳极交替活化的方法,电压适当降低,时间适当延长		底镀层	一般采用特殊镍镀液,镀层厚度约2μm
			工作镀层	根据工件技术要求选定 铝是一种很活泼的两性金属,在空气中能氧化而很快生成一层致密而又坚固的氧化膜。其次,铝和铝合金在酸和碱中都能溶解,铝和其他金属的盐溶液能发生置换反应,铝与其他金属相比,线胀系数差别较大,所以铝与铝合金件刷镀较困难 但在2A70、2A80、LF8(旧牌号)等铝及铝合金表面镀镍、铜、钴很方便,镀层与铝基体能良好结合



### 单一镀层安全厚度和夹心镀层<sup>[47]</sup>

机械零件磨损表面需要恢复的尺寸，往往高于单一镀层所允许的安全厚度值。

安全厚度是指在镀层质量多项性能指标都得到保证的前提下，一次所允许镀覆的单一镀层厚度。当厚度超过安全厚度时，镀层内应力就会增大，裂纹率增高，结合强度下降。单一镀层过厚时，会由于应力增大引起镀层脱落，所以，必须限制单一镀层厚度。不同的镀液，都有一个比较安全的厚度，见表 1-7-13。

表 1-7-13 常用单一镀层安全厚度

镀液名称	快速镍	碱铜	高堆积碱铜	碱镍	高堆积镍	中性镍	致密快镍	镍-钨合金	镍-钴合金	高速钢	半光亮镍	特殊镍	镍-钨 50	低应力镍	半光亮铜	低氢脆镉	锌	钢	铁	铬
镀层安全厚度/ $\mu\text{m}$	130	130	200	100	130	100	130	70	50	200	100	5	70	130	100	100	100	100	200	50

为了满足磨损表面恢复尺寸需要厚镀层的要求，又要改变镀层的应力状态，往往在尺寸镀层中间夹镀一层或几层其他种类的镀层，称为夹心镀层。

夹心镀层的主要作用是改变镀层的应力分布，防止应力向一个方向增加至大于镀层与基体的结合力而造成镀层脱落。常用作夹心镀层的镀液有低力镍、快速镍、碱镍等，夹心镀层厚度一般不超过 0.05mm。

单一镀层的安全厚度与被镀面积的大小有关，在较小面积电刷镀时，安全厚度可稍大一些。例如，一条较深且窄的沟槽（长×宽×深：200mm×3mm×1mm），可用一种镀液一次填平而不用镀夹心镀层。

## 6 纳米复合电刷镀<sup>[49]</sup>

纳米复合电刷镀技术是在电刷镀技术基础上发展起来的新技术，它是纳米技术与传统技术的结合，不仅保持了电刷镀的优点，还将大大拓宽传统技术的应用范围，提高其应用效果；它不仅是表面处理技术，也是零件再制造的关键技术。

### 纳米复合电刷镀技术原理、特点和应用

表 1-7-14

原	与普通电刷镀技术相似。采用专用的直流电源设备，电源的正极接镀笔，作为刷镀时的阳极，电源的负极接工件，作为刷镀时的阴极。镀笔：通常采用高纯石墨块作阳极材料，石墨块外面包裹上棉花和耐磨的漆棉套。刷镀时使浸满复合镀液的镀笔以一定的相对运动速度并保持适当压力，在工件表面上移动，在镀笔与工件接触的部位，复合镀液中的金属离子在电场力的作用下扩散到工件表面，并在工件表面获得电子被还原成金属原子，这些金属原子在工件表面沉积结晶，形成复合镀层的金属基质相；复合镀液中的纳米颗粒在电场力或在络合离子挟持等作用下，沉积到工件表面，成为复合镀层的颗粒增强相。纳米颗粒与金属发生共沉积，形成复合电刷镀层。由于该镀层具有超细晶强化、高密度位错强化、弥散强化和纳米颗粒效应强化，因此，有比普通电刷镀层和电镀层更高的硬度和耐磨性
理	
特	既具有普通电刷镀技术的一般特点，又具有其独特性能，主要有以下几方面： ①纳米复合电刷镀镀液中含有纳米尺度的不溶性固体颗粒，但并不显著影响镀液的性质（酸性、导电性、耗电性等）和沉积性能（镀层沉积速度、镀覆面积等） ②纳米复合电刷镀层组织更致密、晶粒更细小，镀层显微组织特点为纳米颗粒弥散分布在金属基质相中，基质相组织主要由微纳米晶构成 ③镀层的耐磨性能、高温性能等综合性能优于同种金属镀层，工作温度更高 ④根据加入的纳米颗粒材料体系的不同，可以采用普通镀液体系获得具有耐蚀、润滑减摩、耐磨等多种性能的复合镀层以及功能镀层 ⑤在同一基质金属的纳米复合电刷镀层中，纳米不溶性固体颗粒的成分、尺寸、含量、纯度等，对镀层性能有不同程度的影响，优化这些影响因素可以获得性能/价格比最佳的纳米复合电刷镀层。这也是获得含纳米结构的金属陶瓷材料的有效途径 ⑥纳米复合电刷镀技术的关键是制备纳米复合镀溶液。不同材料的纳米复合电刷镀溶液，其工艺也不尽相同，可获得不同性能的纳米复合电刷镀层
点	

续表

应用范围	提高表面耐磨性	由于纳米陶瓷颗粒弥散分布在镀层基质金属中,形成了金属陶瓷镀层,这些纳米陶瓷硬质点使镀层的耐磨性显著提高。使用纳米复合电刷镀层可以代替零件镀硬铬、渗碳、渗氮、相变硬化等工艺
	降低表面摩擦因数	使用具有润滑减摩作用的纳米不溶性固体颗粒制成的纳米复合减摩电刷镀层,弥散分布了无数个固体润滑点,能有效降低摩擦副的摩擦因数,起到固体减摩作用,也减少了零件表面的磨损,延长了零件使用寿命
	提高零件表面的高温耐磨性	纳米复合电刷镀层的纳米不溶性固体颗粒多为陶瓷材料,具有优异的耐高温性能。当镀层在较高温度下工作时,陶瓷相能保持优良的高温稳定性,对镀层整体起到支撑作用,有效提高了镀层的高温耐磨性
	提高零件表面的抗疲劳性能	许多表面技术获得的涂层能迅速恢复损伤零件的尺寸精度和几何精度,提高零件表面的硬度、耐磨性、防腐性,但都难以承受交变负荷,抗疲劳性能不高。纳米复合电刷镀层有较高的抗疲劳性能,因为纳米复合电刷镀层中无数个纳米不溶性固体颗粒沉积在镀层晶体的缺陷部位,相当于在众多的位错线上打下无数个“限制桩”,这些“限制桩”可有效地阻止晶格滑移。另外,位错是晶体中的内应力源,“限制桩”的存在也改善了晶体的应力状况。因此,纳米复合电刷镀层的抗疲劳性能明显高于普通镀层。当然,如果纳米复合电刷镀层中的纳米不溶性固体颗粒没有打破团聚,颗粒尺寸太大,或配制镀液时,颗粒表面没有被充分浸润,那么沉积在复合镀层中的这些“限制桩”很可能就是裂纹源,它不仅不能提高镀层的抗疲劳性能,反而会产生相反的作用
	改善有色金属的使用性能	零件使用有色金属,主要是为了发挥其导电、导热、减摩、防腐等性能,但有色金属往往因硬度较低,强度较差,造成使用寿命短,易损坏。在其表面制备纳米复合电刷镀层,不仅能保持它固有的各种优良性能,还能改善它的耐磨性、减摩性、防腐性、耐热性。如用纳米复合电刷镀处理电器设备的铜触点、银触点,处理各种铅青铜、锡青铜轴瓦等,都可有效改善其使用性能
零件的再制造和性能提升	再制造以废旧零件为毛坯,首先要恢复零件损伤的尺寸精度和几何形状精度。这可先用传统的电镀、电刷镀的方法快速恢复磨损的尺寸,然后使用纳米复合电刷镀技术在尺寸镀层上镀纳米复合电刷镀层作为工作镀层,以提升零件的表面性能,使其优于新品。不仅充分利用了废旧零件的剩余价值,而且节省了资源,有利于环保。在某些备件紧缺的情况下,这种方法可能是备件的唯一来源	

## 纳米复合电刷镀层的性能

表 1-7-15

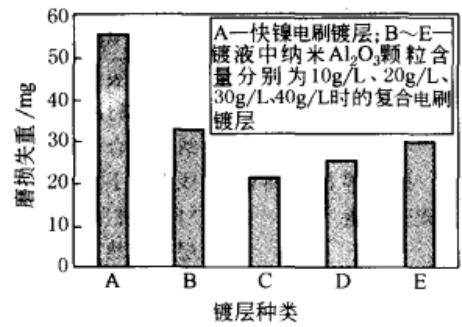
镀层性能	镀层体系						
	快镍	$n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$	$n\text{-TiO}_2/\text{Ni}$	$n\text{-SiO}_2/\text{Ni}$	$n\text{-ZrO}_2/\text{Ni}$	$n\text{-SiC}/\text{Ni}$	$n\text{-Dia}/\text{Ni}$
硬度	硬质纳米颗粒的加入可以显著提高电刷镀层的硬度,且随镀液中加入纳米颗粒量的增加而增高,镀层的硬度存在极大值。图 a 为 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 复合电刷镀层显微硬度随镀液中的纳米颗粒含量变化的曲线。在镀液中 $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ 颗粒含量为 $30\text{g/L}$ 时,镀层的显微硬度达到极大值,约为快镍(快速镍)电刷镀层的 1.5 倍。下表给出了纳米颗粒含量优化条件下几种镍基纳米复合电刷镀层的硬度						
硬度 HV	—	660 ~ 700	580 ~ 640	650 ~ 690	630 ~ 680	600 ~ 640	610 ~ 650
结合强度	为了提高电刷镀和纳米复合电刷镀层的结合强度,二者都必须制备打底层 试验测得,纳米复合电刷镀层的结合强度大于普通金属电刷镀层。图 b 是采用冲击法测得的几种电刷镀层的临界载荷。临界载荷越大,说明电刷镀层的结合强度越高。由图看出:未打底层的电刷镀层结合强度低;经打底层后,电刷镀层的结合强度大幅度提高;复合电刷镀层的结合强度明显大于普通电刷镀层;复合电刷镀层的结合强度还与加入的纳米颗粒种类有关, $n\text{-SiC}/\text{Ni}$ 纳米复合电刷镀层的结合强度大于 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 纳米复合电刷镀层						
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>(a) 镀层显微硬度与镀液中纳米颗粒含量关系</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>(b) 冲击法测试的不同电刷镀层的临界载荷</p> </div> </div> <p>Ni0 和 Ni1—未经和经过特殊镍打底的快镍镀层;            NAO, NA1—未经和经过特殊镍打底的 <math>n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}</math> 纳米复合电刷镀层;            NS1—经特殊镍打底的 <math>n\text{-SiC}/\text{Ni}</math> 纳米复合电刷镀层</p>							

镀层性能	镀层体系						
	快镍	<i>n</i> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Ni	<i>n</i> -TiO <sub>2</sub> /Ni	<i>n</i> -SiO <sub>2</sub> /Ni	<i>n</i> -ZrO <sub>2</sub> /Ni	<i>n</i> -SiC/Ni	<i>n</i> -Dia/Ni

纳米复合电刷镀层的耐磨性能是影响镀层实用性的重要因素。复合电刷镀层的耐磨性除与电刷镀工艺参数(电压、电流、温度、相对运动速度等)和基质镀液种类有关外,还与所加入纳米颗粒种类及其含量等因素有关

耐磨性

图c为 *n*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni 复合电刷镀层的磨损失重与镀液中纳米颗粒含量的关系。磨损失重越小,电刷镀层的耐磨性越好。由图看出,由于纳米颗粒的加入,复合电刷镀层的耐磨性明显优于快镍电刷镀层。在镀液中 *n*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 颗粒含量为 20g/L 时, *n*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni 复合电刷镀层的耐磨性最好,比快镍电刷镀层提高约 1.5 倍。以快镍电刷镀层的相对耐磨性为 1,下表给出了几种镍基纳米复合电刷镀层的相对耐磨性



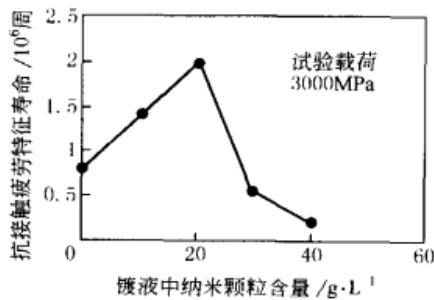
(c) 磨损失重与镀液中纳米颗粒含量的关系

相对耐磨性	1	2.2~2.5	1.9~2.2	2.0~2.4	1.5~2.0	1.6~2.0	1.4~1.8
-------	---	---------	---------	---------	---------	---------	---------

是指其在循环载荷作用下抵抗破坏的能力。它与电刷镀层的硬度、结合强度、内聚强度、应力状态均有密切关系。纳米复合电刷镀层的抗接触疲劳强度直接受电刷镀工艺参数(电压、电流、温度、相对运动速度等)、基质镀液种类和纳米颗粒种类及含量等因素的影响。图d为 *n*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni 复合电刷镀层的抗接触疲劳特征寿命(载荷 3000MPa)与镀液中纳米颗粒含量的关系。纳米颗粒含量为 0 的电刷镀层是普通快镍电刷镀层。抗接触疲劳特征寿命越长,说明镀层的抗接触疲劳性能越好。可以看出,普通快镍电刷镀层的抗接触疲劳性能较差,其抗接触疲劳特征寿命仅为 10<sup>5</sup> 周, *n*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni 复合电刷镀层的抗接触疲劳特征寿命可达 10<sup>6</sup> 周;在 *n*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 纳米颗粒含量为 20g/L 时, *n*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni 复合电刷镀层的抗接触疲劳性能最好,其抗接触疲劳特征寿命可达到 2 × 10<sup>6</sup> 周。但是此后,随着纳米颗粒含量的增加,其抗接触疲劳性能急剧下降。下表为多次试验测试得到的几种镍基纳米复合电刷镀层在不同试验载荷条件下的抗接触疲劳特征寿命。结果表明:纳米复合电刷镀层的抗接触疲劳性能与加入的纳米颗粒材料种类有关;随试验载荷增大,纳米复合电刷镀层的抗接触疲劳寿命缩短

抗接触疲劳性

一定种类、一定含量的纳米颗粒能有效提高纳米复合电刷镀层的抗接触疲劳性能。纳米颗粒对复合电刷镀层抗接触疲劳性能的影响可能存在如下机制:①纳米颗粒的存在使得复合电刷镀层金属组织更加细小致密,其中存在大量晶界,对镀层起到晶界强化作用;②复合电刷镀层中弥散分布着大量纳米颗粒硬质点,对复合电刷镀层起到弥散强化作用,在接触疲劳循环载荷作用下,纳米复合电刷镀层中产生疲劳裂纹,镀层金属中的大量细小晶界和弥散分布的纳米颗粒能有效阻碍疲劳裂纹的扩展,从而提高其抗接触疲劳性能。但是,当镀液中纳米颗粒含量很高时,由于电刷镀液分散能力的限制,镀液中可能存在纳米颗粒团聚体,这些团聚的纳米颗粒沉积在复合电刷镀层中,很可能引发初始微裂纹,从而导致复合电刷镀层性能下降。有关这些机理的推断,尚无足够的实验证据,需进一步深入研究分析



(d) *n*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni 复合电刷镀层的抗接触疲劳性能

几种纳米复合电刷镀层的抗接触疲劳特征寿命  
10<sup>6</sup> 周

镀层体系	3000MPa 试验载荷	4000MPa 试验载荷
快镍	1.20	0.92
<i>n</i> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Ni	1.98	1.20
<i>n</i> -SiO <sub>2</sub> /Ni	1.48	1.34
<i>n</i> -TiO <sub>2</sub> /Ni	1.47	0.94
<i>n</i> -ZrO <sub>2</sub> /Ni <sup>①</sup>	1.55	—

① 镀液中纳米颗粒含量为 20g/L。

续表

镀层性能	镀层体系						
	快镍	$n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$	$n\text{-TiO}_2/\text{Ni}$	$n\text{-SiO}_2/\text{Ni}$	$n\text{-ZrO}_2/\text{Ni}$	$n\text{-SiC}/\text{Ni}$	$n\text{-Dia}/\text{Ni}$
抗高温性	<p>复合电刷镀层中的纳米颗粒可以有效阻碍涂层中的位错运动和微裂纹扩展,因此可在一定程度上对涂层所承载荷起到支撑作用,这直接表现为其高温硬度和高温耐磨性等提高</p> <p>图 e 给出了几种电刷镀层的硬度与温度的关系。图中曲线表明,<math>n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}</math>、<math>n\text{-SiC}/\text{Ni}</math> 和 <math>n\text{-Dia}/\text{Ni}</math> (金刚石) 3 种复合电刷镀层的硬度在各个温度下均高于快镍电刷镀层;快镍电刷镀层的硬度在高于 200℃ 后即快速降低,当温度达 250℃ 时,其硬度仅为 300HV 左右;几种复合电刷镀层的硬度直到温度达 400℃ 时才表现出下降趋势,在 500℃ 时,<math>n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}</math> 复合电刷镀层的硬度仍高达 450HV 左右</p> <p>图 f 分别给出了快镍电刷镀层和几种纳米复合电刷镀层在相同的微动磨损试验条件下磨痕深度随温度的变化曲线。图中表明在相同温度下,纳米复合电刷镀层的磨痕深度小于快镍电刷镀层的磨痕深度。这说明,由于纳米颗粒的加入,提高了纳米复合电刷镀层的高温耐磨性能。400℃ 时的复合电刷镀层的磨痕深度小于室温和 200℃ 时的磨痕深度,这是由于复合电刷镀层在 400℃ 条件下发生了再强化现象。同时,复合电刷镀层的高温耐磨性能与所用纳米颗粒种类有关。添加不同纳米颗粒的几种复合电刷镀层的耐磨性能由高到低的顺序排列为:<math>n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}</math>、<math>n\text{-SiC}/\text{Ni}</math> 和 <math>n\text{-Dia}/\text{Ni}</math> (金刚石)</p> <p>一般地,金属电刷镀层只适宜在常温下应用。而纳米复合电刷镀层尤其是纳米 <math>n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}</math> 复合电刷镀层在 400℃ 时仍具有较高硬度和良好的耐磨性,可以在 400℃ 条件下工作</p>						
	<p>(e) 电刷镀层硬度与温度关系</p>		<p>(f) 电刷镀层磨痕深度与温度的变化曲线</p>				

## 7 热 喷 涂

热喷涂是利用由燃料气或电弧等提供的热量,经喷枪将丝(棒)状或粉末状喷涂材料加热到熔化或软化状态,并通过高速气流使其进一步雾化、加速,然后喷射到经过制备的工件表面而形成涂层的方法。

这种技术的特点是:①涂层和被喷涂的工件材料非常广泛,可作涂层材料的有金属及其合金、自熔合金粉末(包括镍基、钴基、铁基的自熔合金)、陶瓷材料(包括金属氧化物、碳化物、硼化物、氮化物和硅化物)、塑料及复合粉末,可被喷涂的工件材料有金属及其合金、陶瓷、塑料、石膏、木材、纸张等;②工艺灵活,施工对象可以小到 10mm,大到像桥梁等大型构件,既可在真空或保护气氛下喷涂活性材料,也可在野外工作;③涂层厚度可以在几十微米到几毫米的较大范围内变化;④生产效率高,大多数工艺可达每小时数千克,有的甚至高达 50kg;⑤受喷涂的工件受热程度低(喷熔和等离子弧粉末堆焊除外),并且可以控制,因此可以避免工件因受热可能产生的各种损伤,如应力变形等;⑥与其他堆焊相比,火焰喷熔层和等离子弧粉末堆焊层的母材稀释率较低,有利于合金材料的利用;⑦可喷涂成形,即制造机械零件实体,方法是先在成形模表面形成涂层,然后用适当方法脱去成形模后,成为涂层成形制品;⑧涂层面积小时经济性差,对小零件进行喷涂或者所需涂层面积较小时,作为有用涂层结合在基体上的量占喷涂时消耗的喷涂材料的量较小,经济性差,在这种情况下改用电镀较适宜。

热喷涂的质量和涂层的性能受喷涂材料、喷涂方法及相关参数、被喷涂工件表面制备情况以及应用范围选择是否适当等因素的影响而有很大的差别。

由于涂层材料性能优异,工艺灵活,热喷涂技术除广泛应用于维修工作、加工工件不当的修复外,已直接在新产品设计中应用,并利用它开发出一些新材料、新涂层,如生物工程新材料,某些领域的压电陶瓷材料,非晶态材料,以及宇航技术中应用的防远红外、微波、激光等的功能性涂层,它作为一门高科技和综合应用技术已显示很大作用。可以预见,随着热喷涂技术的不断发展,它必将改变许多新产品的结构和设计,带来更大的经济和社会效益。

热喷涂方法的选用原则:

1) 热喷涂层适于作各种耐磨损表面(各种轴颈、轴承、轴瓦、导轨、滑座等摩擦面)、耐蚀表面(各种钢

铁构件、塔架、盖板、油罐、船体等表面)和耐热表面(电站锅炉受热面、燃烧室内衬、火箭头部和喷管等)。不同喷涂方法所适用的喷涂材料及所获得的涂层性能有较大的差别,应根据工件的使用条件、技术要求进行具体分析去选择。

2) 对涂层的结合力要求不能很高。热喷涂层与基体的结合强度一般为5~100MPa。其中粉末火焰喷涂、普通电弧喷涂涂层的结合强度偏低,而气体爆炸喷涂、超音速火焰喷涂、超音速等离子喷涂涂层的结合强度较高。

3) 对涂层的致密性要求不能很高。热喷涂层的孔隙率一般为1%~15%。其中,气体爆炸喷涂、超音速火焰喷涂、低压等离子喷涂、超音速等离子喷涂涂层的孔隙率较低,而粉末火焰喷涂、普通电弧喷涂的孔隙率较高。对喷涂层进行封孔处理可减少孔隙的影响。

4) 热喷涂层的厚度一般为0.2~3mm,最大可达25mm;热喷涂对工件的材料一般不作要求;预热和喷涂过程中工件温度一般不超过250℃(温度可控),工件的热处理状态不受影响,也不会产生变形。

5) 对大面积的金属喷涂施工最好采用电弧喷涂,对于批量大的工件最好采用自动喷涂。自动喷涂装置可自行制作或订购。

6) 不同热喷涂方法中,电弧喷涂、粉末火焰喷涂所用设备简单,成本低;而气体爆炸喷涂、低压等离子喷涂、超音速等离子喷涂等所用设备复杂,成本较高。应根据经济条件、场地面积、人员素质等情况综合考虑选择。

表1-7-16综合了各种热喷涂方法(包含喷熔法)的主要技术特性,可供选择时参考。

不同热喷涂方法的技术特性比较

表1-7-16

热喷涂方法	火焰喷涂					电弧喷涂		等离子喷涂			特种喷涂		喷熔(熔结)		
	线材火焰喷涂	陶瓷棒火焰喷涂	粉末火焰喷涂	气体爆炸喷涂	超音速火焰喷涂	电弧喷涂	高速电弧喷涂	等离子喷涂	低压等离子喷涂	超音速等离子喷涂	激光喷涂	线材爆炸喷涂	火焰喷熔	低真空熔结	
热源	燃烧火焰	燃烧火焰	燃烧火焰	爆燃火焰	燃烧火焰	电弧	电弧	等离子弧焰流	等离子弧焰流	等离子弧焰流	激光	电容放电能源	燃烧火焰	电热源	
喷涂力源	压缩空气等		燃烧火焰	热压力波	焰流	压缩空气		等离子焰流			—	放电爆炸波	—	—	
火焰温度/℃	3000	2800	3000	3000	略低于等离子	4000	4000~5000	6000~12000	—	18000	—	—	3000	—	
喷涂粒子飞行速度/ $m \cdot s^{-1}$	80~120	150~240	30~90	700~1200	500~1000	100~200	200~400	200~350	200~350	3660(电弧速度)	—	400~600	—	—	
喷涂材料	形状	线材	棒材	粉末	粉末	粉末	丝材	丝材	粉末	粉末	粉末丝材	粉末	丝材	粉末	粉末
	种类	金属复合材料	陶瓷	金属陶瓷复合材料	金属陶瓷复合材料	金属陶瓷硬质合金	金属丝、粉芯丝	金属丝、粉芯丝	金属陶瓷复合材料	MCrAlY等合金碳化物	金属陶瓷	低熔点高的各种材料	金属	金属陶瓷复合材料	金属陶瓷复合材料
喷涂量/ $kg \cdot h^{-1}$	2.5~3.0(金属)	0.5~1.0	1.5~2.5(陶瓷) 3.5~10(金属)	20~30		10~35	10~38	3.5~10(金属) 6.0~7.5(陶瓷)	5~5.5	55(ZrO <sub>2</sub> ) 25(Al)	—	—	—	—	
喷涂层结合强度/MPa	10~20(金属)	5~10	10~20(金属)	70(陶瓷) >100(金属)	>70(WC-Co)	10~30	20~60	30~60(金属)	>80	40~80	良好	30~60	200~300	200~300	
涂层孔隙率/%	5~20(金属)	2~8	5~20(金属)	<1	<1(金属)	5~15	<2	3~6(金属)	<1	<1	较低	2.0~2.5	0	0	
基体受热温度/℃	均小于250					<250		均小于250			<250		约1050		
设备投资	低	低	低	高	较高	低	中	中	高	高	高	高	低	中	

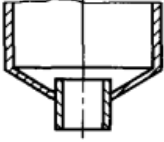
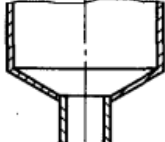
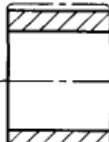
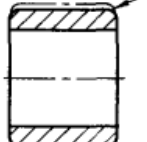
表 1-7-17

喷焊与喷涂的特性比较<sup>[35]</sup>

项 目	喷 焊	喷 涂	项 目	喷 焊	喷 涂
喷涂粉末颗粒尺寸	74 ~ 246 $\mu\text{m}$	46.2 ~ 121.2 $\mu\text{m}$	涂层厚度	可在较大范围内控制(最厚可超过10mm)	一般控制在1mm以内
结合强度/MPa	约200	$\leq 70$			
孔隙率/%	约0	(多数方法)1~10			
基体受热形式	表面熔化	$< 200^\circ\text{C}$	氧化物夹杂	无或少量	有
涂层与基体的结合	冶金	机械(或半冶金)	功率特点(与等离子喷涂比)	低电压,大电流	高电压,大电流
涂层硬度	均匀	不均匀			
涂层组织结构	固溶合金	层状	施工的基体材质及喷涂(焊)料	金属	金属、非金属、陶瓷
基体组织改变	有	无	工艺	先喷涂,后加重熔	喷涂
基体变形程度	易变形	不变形			

喷涂基体表面基本设计要求<sup>[49]</sup>

表 1-7-18

喷涂内表面	喷涂外表面	说 明
(a) 不正确  (b) 正确 	(a) 不正确  (b) 正确 	用热喷涂沉积涂层,粒子束喷射不到的部位无法沉积涂层。在工件上的尖角处,即使黏附上涂层,也不能和基材牢固结合,因此,工件的喷涂表面应合理设计,避免喷涂不到的部位,所有棱角要设计成圆角。对轴类工件,如果轴面要下切,留肩部位应加工成倒角,棱角要倒成圆角

## 热喷涂材料的选择原则

表 1-7-19

选择原则	选择原则
1) 应满足涂层性能要求,并兼顾工艺性和经济性。例如:钴基合金性能优越,但国内资源比较缺乏,宜少用。我国镍资源比较丰富,可考虑多用些镍基合金。但镍基合金价格比较昂贵,因而在满足使用要求的情况下尽量采用铁基合金。铁基合金的工艺性较差,施工时应确保质量	1) 应满足涂层性能要求,并兼顾工艺性和经济性。例如:钴基合金性能优越,但国内资源比较缺乏,宜少用。我国镍资源比较丰富,可考虑多用些镍基合金。但镍基合金价格比较昂贵,因而在满足使用要求的情况下尽量采用铁基合金。铁基合金的工艺性较差,施工时应确保质量
2) 应与工艺方法的选择相适应。不同的喷涂方法所适用的喷涂材料范围并不一样。例如,某些高熔点合金或陶瓷的喷涂需要用较高温度的火焰或较高能量密度的能源;某些需要防止合金元素氧化、烧蚀的重要涂层需要在低真空或有保护气氛的环境下才能获得;大面积构件的防护性 Zn、Al 及其合金的喷涂采用电弧喷涂方法具有较高的喷涂效率和经济性;一些塑料的喷涂应选用特殊设计的喷枪并在较低温度的火焰下进行。总的来讲,要求高性能的重要涂层必须使用满足要求的喷涂材料及与之相适应的喷涂方法和喷涂设备,而使用一般材料即可符合要求的涂层则应以获得最大经济效益为准则	2) 应与工艺方法的选择相适应。不同的喷涂方法所适用的喷涂材料范围并不一样。例如,某些高熔点合金或陶瓷的喷涂需要用较高温度的火焰或较高能量密度的能源;某些需要防止合金元素氧化、烧蚀的重要涂层需要在低真空或有保护气氛的环境下才能获得;大面积构件的防护性 Zn、Al 及其合金的喷涂采用电弧喷涂方法具有较高的喷涂效率和经济性;一些塑料的喷涂应选用特殊设计的喷枪并在较低温度的火焰下进行。总的来讲,要求高性能的重要涂层必须使用满足要求的喷涂材料及与之相适应的喷涂方法和喷涂设备,而使用一般材料即可符合要求的涂层则应以获得最大经济效益为准则
3) 复合材料的选择。当单一材料涂层不能满足工件的使用要求时,可考虑使用复合涂层,以达到与基体材料的牢固结合,并发挥不同涂层之间的协同效应。如使用具有高耐磨和抗高温氧化性能的陶瓷涂层(如 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ 等)时,为了解决陶瓷与基体金属物理或化学的不相容性,克服两者不能结合或结合力不高的弊病,可在陶瓷表层与基体间引入一层或多层中间层,如第一层(底层)可以是 Ni-Cr、Ni/Al、Mo、W、NiCrAlY 等,第一层至陶瓷表层间还可加入二层至多层成分含量不同的梯度过渡层,其成分由以底层为主表层为辅过渡到以表层为主底层为辅	3) 复合材料的选择。当单一材料涂层不能满足工件的使用要求时,可考虑使用复合涂层,以达到与基体材料的牢固结合,并发挥不同涂层之间的协同效应。如使用具有高耐磨和抗高温氧化性能的陶瓷涂层(如 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ 等)时,为了解决陶瓷与基体金属物理或化学的不相容性,克服两者不能结合或结合力不高的弊病,可在陶瓷表层与基体间引入一层或多层中间层,如第一层(底层)可以是 Ni-Cr、Ni/Al、Mo、W、NiCrAlY 等,第一层至陶瓷表层间还可加入二层至多层成分含量不同的梯度过渡层,其成分由以底层为主表层为辅过渡到以表层为主底层为辅
不同涂层的喷涂材料选择可参考表 1-7-20 ~ 表 1-7-24	不同涂层的喷涂材料选择可参考表 1-7-20 ~ 表 1-7-24



热喷涂材料分类	等离子喷涂技术的发展,使可用于喷涂形成涂层的材料极为广泛。一般只要具有物理熔点的材料均可用于喷涂,包括:金属及其合金,无机陶瓷、金属陶瓷,有机高分子,以及这些材料的复合材料。对于在高温下分解的材料,如碳化物,可以与某些金属材料复合在一起制成复合材料,如金属陶瓷,而实现喷涂 从材料形态来分,可以分为线材、棒材和粉末三大类。对于粉末材料,基于送粉特性及经济性考虑,其颗粒大小一般具有一定的粒度分布范围。一般金属粉末的粒度范围为 $-105 \sim +53 \mu\text{m}$ ,而陶瓷粉末常为 $-44 \sim -10 \mu\text{m}$ 根据材料种类分为金属与合金、氧化物陶瓷、金属陶瓷复合材料、有机高分子材料。按照使用性能与目的又可分为防腐材料、耐磨材料、耐高温热障材料、减摩材料以及其他功能材料。下表给出了按照用途列出的各类型材料					
	目的	喷涂材料		目的	喷涂材料	
不同目的的典型材料	防腐蚀	金属材料	锌、铝、锌铝合金、不锈钢、镍与镍基合金(镍铬合金、蒙乃尔合金等)、自熔剂合金、铜与铜合金、其他(钛、锆、锡、铅与铅合金、镉等)	耐热(含热障)	非金属材料	陶瓷、金属陶瓷及其他
		非金属材料	陶瓷、塑料	耐磨损	金属材料	碳素钢、低合金钢、不锈钢(主要为马氏体不锈钢)、镍铬合金、自熔剂合金、硬质金属(钨等)、碳化物硬质合金及其他(如镍铝金属间化合物等)
	耐热(含热障)	金属材料	耐热钢(含不锈钢等)、耐热合金(含镍铬合金)、自熔剂合金、MCrAlY系合金及其他			

涂层类别、特性及其喷涂材料选择

表 1-7-20

涂层类别	涂层特性	实例	推荐用喷涂材料
1. 软支承面涂层	软支承材料涂层,允许磨粒嵌入,也允许变形以调整轴承表面,需要充分润滑	巴氏合金轴承、水压机轴承、止推轴承瓦、活塞导承、压缩机十字头滑块等	铝青铜复合喷涂丝,磷青铜喷涂丝,铝铅复合喷涂丝,镍包二硫化钼复合粉
2. 硬支承面涂层	硬的和具有高磨损性能的支承材料的涂层。耐粘着磨损。用于不嵌入性和自动调整的不重要的、润滑有界限的部位。通常应用于具有高载荷和低速度	冲床的减振器曲轴、糖粉碎辊辊颈、防擦伤轴套、方向舵轴承、涡轮轴、主动齿轮轴颈、燃料泵转子等	铁、镍、钴基自熔剂合金, 87% $\text{Al}_2\text{O}_3 + 13\% \text{TiO}_2$ 复合粉, 12% Co 包碳化钨粉
3. 抗磨粒磨损涂层(低温, $<540^\circ\text{C}$ )	能经受外来磨料颗粒作用的涂层。因此,涂层硬度应超过磨料颗粒硬度	泥浆泵活塞杆、抛光杆衬套(石油工业)、吸油管连接杆、混凝土搅拌机的螺旋输送机、磨碎锤(烟草制品)、干电池电解槽等	铁、镍、钴基自熔剂合金,含碳化钨型自熔剂合金, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粉末, $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 粉末, 87% $\text{Al}_2\text{O}_3 + 13\% \text{TiO}_2$ 复合粉
4. 抗磨粒磨损(高温, $540 \sim 815^\circ\text{C}$ )	同上。同时必须在工作温度时有抗氧化性能		Co 基自熔剂合金(使用温度高达 $816^\circ\text{C}$ )、Ni + 20% Al 复合喷涂丝(使用温度 $< 600^\circ\text{C}$ )、Ni 基自熔剂合金( $< 760^\circ\text{C}$ )、 $\text{Cr}_2\text{C}_2 + 25\% \text{Ni-Cr}$ 混合粉末
5. 抗摩擦磨损涂层(低温, $540^\circ\text{C}$ )	这种磨损发生于硬的表面或含硬质点的软表面在更软的表面上滑动的场合。涂层应比配对表面硬	拉丝绞盘、制动器卷筒、绳斗电铲、拨叉、插塞规、轨管定径穿孔器、挤压模、导向杆、刀片破碎机、纤维导向装置、泵密封、精密捣碎机和成形工具	铁、镍基自熔剂合金,含碳化钨型镍基自熔剂合金, 12% Co 包碳化钨粉末

续表

涂层类别	涂层特性	实 例	推荐用喷涂材料
6. 抗摩擦磨损涂层 (高温, 540 ~ 815℃)	同上。但涂层在 538℃ 以上至 843℃ 以下温度范围内使用	锻造工具、热的破碎辊、热成形模具	钴基、镍基自熔剂合金, $Cr_3C_2$ + 自熔剂合金 + 铝化镍混合粉末, $Cr_3C_2$ + 25% Ni-Cr 混合粉末
7. 耐纤维和丝线磨损涂层 (< 538℃ 以下)	可抵制纤维和丝线以高速从金属表面掠过时所发生的磨损	张力闸阀、牵引辊、刻痕板输送枢轴、卷绕器杆、导丝轮按钮导向装置、丝导向槽、加热板、预张辊	$Al_2O_3$ 粉末, 60% $Al_2O_3$ + 40% $TiO_2$ 混合粉末, 87% $Al_2O_3$ + 13% $TiO_2$ 混合粉
8. 耐微振磨损涂层 (可预计的运动) (表面疲劳磨损)	能抵制在一轨道上反复滑动、滚动或冲击所引起的磨损。反复地加载和卸载产生周期应力, 从而诱发表面裂纹或表面下裂纹, 最后导致表面破裂和大断片的损失 (只发生在没有粘着磨损或磨粒磨损的情况下) 以及承受连续撞击的磨损	伺服电动机轴、车床和磨床的顶针、凸轮随动件、摇臂、活塞环 (内燃机)、汽缸衬套	自熔剂合金 + 细钼混合粉, 自熔剂合金 + Ni-Al 复合粉, Ni + 20% Al 复合丝, Ni + 5% Al 复合粉, 含碳化钨型镍基自熔剂合金 (35% WC), 12% Co 包碳化钨, 87% $Al_2O_3$ + 13% $TiO_2$ 混合粉
9. 耐微振磨损涂层 (低温, < 540℃, 不可预计的运动) (表面疲劳磨损)	能抵制接触表面经受小振幅的振动位移时所引起的磨损。由于无可预计的运动进入系统, 因此, 此种磨损难以预防	飞机襟翼导向装置、伸胀接缝、压缩机防气圈、压缩机导叶、螺旋桨空气发动机部分和加强杆、中间翼展支承 (螺旋桨叶片)	自熔剂合金和细钼粉混合物, 自熔剂合金和 Ni-Al 复合粉, 铝青铜喷涂丝, 12% Co 包碳化钨
10. 耐微振磨损涂层 (高温, 538 ~ 843℃, 不可预计的运动) (表面疲劳磨损)	同上。但涂层在 538 ~ 843℃ 的温度范围内使用	涡轮机气密圈、涡轮机气密环、涡轮机气密垫圈、涡轮机导流片调节板、涡轮机排气支承、涡轮叶片	钴基自熔剂合金, Ni + 5% Al 复合粉, $Cr_3C_2$ + 25% Ni-Cr 混合粉
11. 耐气蚀诱发的机械振动磨损涂层	耐液体流中气蚀诱发的机械振动所引起的磨损。最有效的涂层性能是韧性、高耐磨性和耐蚀性	水轮机耐磨环、水轮机叶片、水轮机喷头、柴油机汽缸衬、泵	自熔剂合金 + Ni-Al 复合粉, Ni + 20% Al 复合喷涂丝, 316 型不锈钢粉, 铝-青铜喷涂丝, 超细纯 $Al_2O_3$ 粉
12. 耐颗粒冲击涂层 (低温, < 540℃)	能经受通过气体或液体载带, 并具有一定速度的尖利而硬的颗粒的冲击所引起的磨损。冲击角小于 45° 时, 涂层硬度是首要的; 冲击角大于 45° 时, 韧性是最为重要的	抽风机、水电阀、旋风除尘器、切断阀阀杆和阀座	铁、镍基自熔剂合金 + 细铜粉, 铁、镍基自熔剂合金 + Ni-Al 复合粉, Ni + 20% Al 复合丝, 含碳化钨型自熔剂合金, 超细纯 $Al_2O_3$ 粉末, 纯 $Cr_2O_3$ 粉末, 12% Co 包碳化钨粉末
13. 耐颗粒冲击涂层 (高温, 540 ~ 815℃)	同上。但涂层能在 538℃ 以上温度使用	排气阀座	钴、镍基自熔剂合金, 自熔剂合金 + Ni-Al 复合粉, Ni + 5% Al 复合粉, $Cr_3C_2$ + 25% Ni-Cr 混合粉末



涂层类别	涂层特性	实 例	推荐用喷涂材料	
耐磨涂层	自润滑减磨 自润滑性好,并有较好的结合性、间隙控制能力 常用于具有低摩擦因数的动密封零部件	用于 550℃ 飞机发动机动密封件、耐磨密封圈及低于 550℃ 时的端面密封(镍包石墨涂层),用于 550℃ 以上动密封处(镍包二硫化钼),用作电触头材料及低摩擦因数材料(铜包石墨)	镍包石墨:润滑性好,结合力较高 铜包石墨:润滑性好,力学性能及焊接性能良好,导电性较高 镍包二硫化钼,自润滑、自黏结镍基合金,自润滑、自黏结铜基合金;及其他包覆材料(聚酯、聚酰胺等)均为减磨材料,润滑性好 镍包硅藻土:可作为 500℃ 以上高温减磨材料,耐磨、封严、动密封	
耐热、抗氧化、耐蚀涂层	1. 耐氧化气氛涂层	涂层必须能阻止大气中氧的扩散,具有比操作温度高的熔点,并能阻止本身向基体的迅速扩散	排气消声器、退火盘、热处理夹具、回转窑的外表面	80% Ni + 20% Cr 合金粉, Ni-Cr 合金 + 6% Al 复合粉, 铝喷涂丝
	2. 耐热腐蚀气体涂层	能保护暴露在高温腐蚀气体中的基体材料,并可防止黏附氧化物或者脆性化合物的生成,耐机械的作用,并不是一个必要条件,然而这些涂层中某些涂层的耐冲蚀性比其他涂层更好	柱塞端部、回转窑的内表面、钎焊夹具、排气阀杆、氰化处理坩埚	80% Ni + 20% Cr 合金粉, Ni-Cr 合金 + 6% Al 复合粉, 铝喷涂丝
	3. 耐工业大气涂层	能保护暴露于有烟尘和化学烟雾的环境的基体材料	所有类型的结构和构件钢、电的导线管、桥梁、输电线路的金属构件等	锌及锌合金喷涂丝, 铝及铝合金喷涂丝(涂层表面若经有机封闭剂处理,可大大延长涂层寿命)
	4. 耐盐类气氛涂层	能保护靠近海岸或其他含盐水体环境的基体材料	高于水线以上的桥梁和船坞结构部分、储藏容器外壁、船的上层结构、栈桥,变压器表面	锌及锌合金喷涂丝, 铝及铝合金喷涂丝(应选用适当的封闭剂处理表面)
	5. 耐饮用淡水涂层	能保护暴露于淡水中的基体材料,并不影响水质	淡水储器,高架渠、过滤机水槽、水输送管	锌喷涂丝(采用的表面封闭剂中不含铬酸盐等有害物)
	6. 耐非饮用淡水涂层	能保护非饮用的淡水(水温不超过 52℃, pH 值在 5 ~ 10 之间)中的基体材料	发电厂引入线、浸渍在淡水中的结构装置、航行在淡水中的船身	锌及锌合金喷涂丝、铝及铝合金喷涂丝(可选用酚醛树脂、石蜡为封闭剂)
	7. 耐热淡水涂层	耐超过 52℃ 的水直到高达 204℃ 的蒸汽, pH 值在 5 ~ 10 之间	热交换器、热水储藏容器、蒸汽净化设备、暴露于蒸汽中的零件	铝喷涂丝(涂层表面涂覆封闭剂)
	8. 耐盐水涂层	对盐水介质(如静止或运动着的海水或咸水)具有耐蚀性。但涂层必须正确使用密封剂	船用发动机的集油盘、钢体河桩和桥墩、船体	铝及铝合金喷涂丝(涂层表面再涂覆底漆及防污漆)
	9. 耐化学药品和食品腐蚀的涂层	耐化学、药品(如石油、燃料或溶剂等)和食品的侵蚀,但不改变其化学组成及食品的味道	汽油类、甲苯等药剂的储罐、啤酒厂的麦芽浆槽、软饮料设备、乳品及制酪业设备、食品油储槽及糖密罐甘油槽内衬、木屑洗涤机	铝喷涂丝(表面涂覆封闭剂)

续表

涂层类别	涂层特性	实 例	推荐用喷涂材料
导电涂层	电阻小,电流易于通过	电容器的接触器、接地连接器、避雷器、大型闸刀开关的接触面、印刷线路板等	纯铜喷涂丝,纯铝喷涂丝,Ag等
绝缘(电阻)涂层	对电流有阻止作用,相当于绝缘体	加热器管道的绝缘、电烙铁的焊接头	超细纯 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 粉末,87% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 13% TiO <sub>2</sub> 复合粉
耐熔融金属涂层	能经受熔渣和溶剂的腐蚀作用,以及金属蒸气和氧的侵蚀 耐熔融锌 耐熔融铝 耐熔融铜 耐熔融铁和钢	镀锌浸渍槽、浇铸槽模具、风口、输出槽锭模 风口、连铸用的模子	① Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 21/2% TiO <sub>2</sub> 喷涂粉 ② 底层: Ni-Cr 合金 + 6% Al 工作层: 锆酸镁 (MgO · ZrO <sub>2</sub> ) + 24% MgO
黏结底层 (涂层薄,一般只需 0.08 ~ 0.18mm)	喷底层目的是增加面层的黏结力。用镍包铝或铝包镍增效材料,还因为喷涂时能产生化学反应,生成金属间化合物的自黏结成分,形成底层无孔隙且为冶金结合,可防止气体渗透对基体的腐蚀	面层是陶瓷材料,基体是金属材料,喷底层后,可防止因热膨胀不同,热应力作用下被破坏	Mo、Nb、T8(用等离子喷涂粉①) Ni-Al(80%、20%)、Ni-Al(83%、17%)(用火焰粉末喷涂②)、线材电弧③、线材火焰喷涂④)、Ni-Al(95%、5%)(用①~④)、Ni-Cr-Al(用①、③、④) Ni-Cr(80%、20%)(用③、④)、铝青铜(用①~③); Ni-Al-Mo(90%、5%、5%)(用①、②)
功能性涂层	防微波、远红外、辐射等功能 高 T <sub>c</sub> 超导体层,具有 T <sub>c</sub> 为 81K 的超导性能	微波吸收层:用在高能物理电子直线加速器、雷达、微波系统,材料有 Fe-Cr-Al、Fe-Cr-Ni-Al、Fe-Cr-Mn、Fe-Ni 等 高 T <sub>c</sub> 超导体层:可在氧化铝、氧化锆、蓝宝石等基体上获取超导陶瓷薄膜层,用于生物医学;喷涂羟基磷灰石、氟磷灰石及其他陶瓷层防护人工牙和关节假体 防远红外、激光等功能涂层:用于宇航等技术	

表 1-7-21 机械零件间隙控制涂层(可磨耗密封涂层)<sup>[49]</sup>

含 义	由气体在压力之下驱动的机器其机械效率取决于转子的密封能力,密封能力高可以减小或防止气体的泄漏,因此,要求转子与定子之间具有非常紧密的配合间隙。由于转动零件在工作条件下可能延伸或膨胀,而与静止零件发生碰撞,所以,要制造具有紧密间隙的机器是很困难的,但使用可磨耗密封涂层即可解决这一问题。方法是在静止零件上喷涂一层可磨耗封严层,通过转动部分的零件,使涂层形成紧密尺寸配合的密封通道 典型的可磨耗密封涂层用于喷气发动机压气机匣和涡轮机匣上。涂层应有足够厚度,以使发动机装配时,转子叶片和机匣之间互相搭接。当发动机启动时,叶片顶端与涂层摩擦,磨去一些涂层,形成通道,而叶片本身不受损伤,由于涂层适应叶片径向和轴向移动,每个叶片的顶端都能在涂层中获得最佳密封。在设计可磨耗密封涂层时,必须解决两个根本对立的要求,即涂层不仅是可磨耗的,而且必须耐气流的冲刷和粒子的冲蚀。因此有必要比较涂层的可磨耗性能与抗冲蚀性能,下表给出了几种常用的可磨耗密封涂层材料及性能以及耐热性能和耐化学腐蚀性					
	涂层名称	喷涂方法	涂层硬度	喷涂态涂层表面粗糙度/nm	最高使用温度/℃	说 明
	聚苯酯-硅铝	等离子喷涂	55 ~ 65 HR15Y	600 ~ 900	340	涂层中含约 55% (体积分数) 的硅铝和 45% 的聚苯酯,涂层的孔隙率约 2%
	镍-石墨	粉末火焰喷涂	10 ~ 40 HR15Y	1000 ~ 1300	480	以镍-铝为底层,涂层中含石墨约 15% (体积分数),其余为镍或镍的氧化物,孔隙率约为 25%
	镍-石墨		75 ~ 80 HR15Y	1000 ~ 1200	480	以镍-铝为底层,涂层中含石墨约 12% (体积分数),其余为镍或镍的氧化物,孔隙率约为 25%
	氮化硼-镍、铬、铝		40 ~ 50 HR15Y	900 ~ 1300	815	以镍-铝为底层,涂层中含氮化硼约 25%,其余为镍-铬-铝合金,孔隙率约 25%
	镍-铝		(32 ± 5) HR15W	1000 ~ 1500	815	以镍-铝为底层,采用特殊的喷涂方法制备孔隙率较高的铝-镍涂层
	镍、铬-铝		85HRB	300 ~ 400	1040	涂层为含铝 6% 的镍铬合金

表 1-7-22

几种典型耐高温热障涂层<sup>[49]</sup>

涂层类型及特点		选用的涂层材料和工艺方法			
		丝材火焰喷涂	粉末火焰喷涂	等离子喷涂	
这类涂层能改善基体零件的高温工作条件,并能承受高温条件下的化学或物理分解作用或由于腐蚀造成的化学损坏					
耐高温涂层	耐大气氧化	这种涂层能防止基体由于高温氧化造成的损坏。涂层的熔点高于工作温度,在工作温度下具有低蒸气压。不要求涂层承受机械磨损	镍-铬合金、镍-铝、铝	镍-铬-铝	镍-铬合金、镍-铬-铝
	耐气体腐蚀	这类涂层能保护基体免于暴露在高温腐蚀气体中。必须考虑到气体与涂层发生反应时,要防止形成吸附氧化物,或形成易碎的成分,或穿透涂层侵蚀基体。不要求这种涂层具有承受机械冲击或磨损的作用	镍-铬合金铝	镍-铬-铝	镍-铬合金、镍-铬-铝
	耐高温(850℃以上)冲蚀	这类涂层能耐高温,同时也要能耐粒子冲蚀。在高温下的高速粒子和高压气体形成各种恶劣环境,因此,涂层必须能承受由运动着的尖锐和坚硬的粒子所造成的冲蚀。当粒子的冲蚀角度小于45°时,粒子沿表面产生磨料磨损,故要求涂层具有高硬度;当粒子的冲蚀角度大于45°时,要求涂层具有高的韧性	—	—	白色氧化铝、氧化锆、锆酸镁、锆酸钙
	热障	这类涂层具有较低的热传导性能,此种热障作用可以防止基体材料达到其熔点,也具有转移辐射热的作用	—	—	灰白色氧化铝、氧化锆、锆酸镁、氧化锆-镍-铝、锆酸镁-镍-铝、锆酸镁-镍铬-铝
耐熔融金属涂层	这类涂层能承受熔融金属的腐蚀,并对熔融金属不发生润湿作用。如耐熔融的锌、铝、钢和铁,以及铜等的涂层				
	耐熔融锌	—	—	钨、灰色氧化铝、锆酸镁	
	耐熔融铝	—	—	灰色氧化铝、锆酸镁	
	耐熔融钢铁	钼	—	钼、锆酸镁	
	耐熔融铜	铝	—	钨、钼、灰色氧化铝、锆酸镁	

表 1-7-23

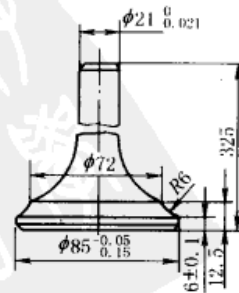
几种典型的电绝缘或导电涂层

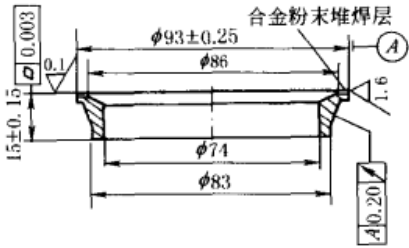
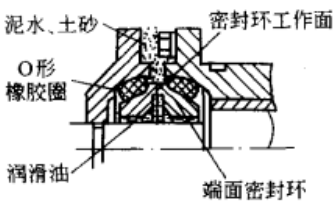
涂层类型		选用的涂层材料和工艺方法			
		丝材	粉末	冷喷涂	等离子喷涂
		火焰喷涂			
导电涂层	这类涂层必须具有良好的导电性能和低电阻	铝、铜	铜	铝、铜	铝、铜
介电涂层	这类涂层必须具有阻止电流通过的绝缘体作用。击穿涂层的强度(通常以单位长度上的电压表示)和容许的电导是介电强度的表征参量		白色氧化铝、氧化铝-氧化钛		白色氧化铝、氧化铝-氧化钛、氧化锆-氧化硅
屏蔽涂层	无线电频率屏蔽	铝、锡、锌	铜	铜、铝、锡、锌	铜、铝
	原子能屏蔽	铅、钢	钢	钢	钢、硼化物
说明	热喷涂层也可以作为导体使用,如印刷线路板和炉子加热元件的触点。氧化物和有机塑料的热喷涂层可作为电绝缘体。本表中所列为典型的电绝缘或导电涂层选用的材料和喷涂方法。基体材料的电性能受到喷涂材料影响。喷涂材料一般应根据材料的已知性能和其使用状态来选择				

## 热喷涂应用实例

表 1-7-24

喷涂工件		喷涂金属	喷涂工艺	效果
名称	工况			
1. 水闸门	长期处于干湿交替, 浸没水下, 并受海水、淡水、工业污水、气体、日光、水生物的侵蚀, 以及泥砂、冰凌和其他漂流物的冲磨, 易发生磨蚀	锌	用 SQP-1 型火焰喷涂枪喷涂锌丝, 火焰为中性焰或稍偏碳化焰, 多次喷涂, 涂层厚度 0.3mm 左右, 喷涂合格后, 用沥青漆封闭 (喷涂前用 0.5~2mm 石英砂喷砂处理)	过去用涂料保护, 一般用 3~4 年, 比较好的用 7~8 年, 较差的 1~2 年。改用喷涂锌后, 可延长到 20~30 年
2. 刹车摩擦片	进口(日)10m 落地车床的刹车片	钨	喷砂除锈, 粗化后, 用 SQP-1 型喷枪, 进行钨线材气喷涂 0.2mm 厚的涂层	原使用不到半年就磨损报废, 喷涂后, 使用 1 年多, 无磨损现象
3. 提引水龙头内管(总管)	工程钻机用提引水龙头内管, 由于嵌入密封圈内的泥砂对内管外壁产生磨料磨损	50% 碳化钨、50% 镍基自熔剂合金	用火焰喷熔涂层强化, 喷熔层的宏观硬度可以达到 52~60HRC。比焊条堆焊平整光滑, 后加工余量较小	不需通过热处理来提高硬度, 抗磨能力分别为 45 淬火钢和 65Mn 淬火钢的 22 倍和 23 倍
4. 贫苯菲尔溶液泵耐磨环	贫苯菲尔溶液有较强的腐蚀性, 泵中零件要求既要耐磨又要耐蚀	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	等离子喷涂氧化铬, 间歇喷涂, 涂层厚度一般在 0.8mm 左右, 太厚容易开裂	使用寿命达 2~3 年
5. 活塞环	机车柴油机 240 活塞环随着机车向高速高载荷发展, 要求承受更高的热载荷和机械载荷	钨和镍基自熔剂合金	等离子喷涂钨和镍基自熔剂合金的混合材料, 涂层的抗拉强度从 0.539MPa 提高到 1.176MPa, 涂层出现龟裂温度从 180~200℃ 提高到 400℃	使用寿命从 (9~12) × 10 <sup>4</sup> km (纯钨涂层) 提高到 2.4 × 10 <sup>5</sup> km
6. 内燃机排气门	承受腐蚀性气体的高温腐蚀和高温燃烧产物的高速冲刷 (流速高达 800m/s), 以及排气门高速启闭使之承受冲击性交变载荷, 从而对排气门锥面产生高温腐蚀、磨损和疲劳破坏	钴基合金 (Co-02)	在 4Cr14Ni14W2Mo 制作的排气门锥面上采用等离子弧粉末堆焊钴基合金 (Co-02), 堆焊层硬度 40~48HRC	① 针对排气门各部分工况不同, 避免采用一种高合金材料, 节省了贵重金属 ② 提高了寿命和生产效率, 降低了成本



喷涂工件		喷涂金属	喷涂工艺	效果
名称	工况			
7. 端面浮动油封密封装置	在工程、矿山、建筑、化工、农业等机械中使用,作用是防止润滑油的外泄,同时阻止外部泥水、土砂等介质向内部侵入,使用过程中,两个成对用的环承受一定的压力(工作面压强为0.392~0.588MPa)并以变化的转速相互转动对磨,开始是滑动摩擦磨损,随着泥砂侵入密封面后,又产生磨粒磨损和腐蚀作用	铁基或镍基合金	在普通碳钢环体的工作面上,采用等离子弧粉末喷焊一层铁基或镍基合金涂层,所用合金粉末仅为整体型合金密封环的15%~20%,喷焊层硬度为61~65HRC	使用寿命已达到国外同类产品先进水平,零件尺寸精度高,易保证装配质量 节省了贵重合金材料,产品的成品率也提高了30%~40%
			 <p>φ93等离子弧粉末堆焊密封环尺寸</p>	 <p>浮动油封密封原理</p>
8. 高速轴颈(氨压缩机低压缸转子无键联轴器轴颈)、裂解气压缩机转子,耐磨损	压榨轴轴颈,耐磨损	等离子喷涂修复与强化	火焰喷涂耐磨层,修复尺寸	四川化工机械厂:效果好 海南上坡糖厂:每根节省2000多元
9. φ300mm 轧机减速箱巴氏合金轴瓦		采用火焰喷涂耐磨层		广西南宁市钢铁厂:效果较好
10. 内燃机曲轴,耐磨 进口车的汽车曲轴,耐磨损		等离子喷涂 火焰喷涂+离子氮化处理		黑龙江省机械研究所、西安公路学院:效果好
11. 1700mm 轧钢机(德国进口件)平整线扩张机轴的修复,耐滑动摩擦 8t东风大吊车6m长的液压长轴修复(长4m) 纺丝生产恒温用空调风机主轴维修(纤维三厂)		用火焰喷涂涂层 用火焰喷涂耐磨涂层		武汉钢铁厂、中国人民解放军4805工厂:修复后使用正常 鞍钢南部热喷涂厂:节约了时间,提高了效益
12. 井下钻车滑架进行喷涂 耐泥浆、碎石磨粒磨损		用等离子喷涂		沈阳有色冶金机械总厂:寿命提高3倍
13. 氨泵柱塞维修		用等离子喷涂		洛阳氮肥厂:寿命可提高3倍
14. 精锻机芯棒的喷涂,耐高温磨损		采用真空等离子喷涂 WC-Co 涂层		广州有色金属研究院:效果好
15. 造纸施胶烘缸		火焰喷涂,耐磨损及腐蚀磨损		上海造纸厂:效果好
16. 压缩机部分:风扇叶片,压气机叶片及燕尾槽,尾翼座,叶片制动环,轴承箱,低、中、高的压气机机匣,迷宫,燃料嘴阀等耐磨涂层,抗微振磨损、抗侵蚀涂层,可磨削封严涂层等		火焰喷涂,等离子喷涂,气体爆炸喷涂,超高速火焰喷涂		均为航空发动机上涂层使用的主要部位

续表

喷涂工件		喷涂金属	喷涂工艺	效果
名称	工况			
17. 燃烧室隔热涂层		等离子喷涂,超音速火焰喷涂 ( $ZrO_2$ - $Y_2O_3$ - $Al_2O_3$ 、 $ZrO_2$ - $CaO$ 等)		均为航空发动机上涂层使用的主要部位
18. 主轴抗氧化耐蚀涂层,抗侵蚀涂层,隔热涂层,可磨涂层		火焰喷涂,等离子喷涂,气体爆炸喷涂		
19. 燃气涡轮定向凝固叶片的耐高温腐蚀涂层		真空等离子喷涂(MCrAlY涂层)		
20. 斜拉桥上的斜拉索,耐大气、海水腐蚀		火焰喷涂 Zn-Al		节约费用 1/3
21. 硫酸生产用的沸腾炉的复水管		火焰喷涂及等离子喷涂,耐 $SO_2$ 气体腐蚀		
22. 化纤纺丝机上的喂入轮以及各种导丝转子、导丝轮和导丝棒;卷绕头上的辅助槽辊和各种导丝器等,耐磨,耐蚀		涂层材料:氧化铝陶瓷 喷涂粉末: $Al_2O_3 \cdot TiO_2$ 涂层厚度:0.2~0.4mm	结合强度:15.5MPa 整体密度:3.50g/cm <sup>3</sup> 喷涂工艺:氧-乙炔火焰喷涂或等离子喷涂	宏观硬度:58.5HRC
23. 纺织机械中机械密封装置的动环与静环的结合面;弹力丝加捻机上摩擦片,耐磨、耐蚀		涂层材料:氧化铬陶瓷 喷涂粉末: $Cr_2O_3$ 涂层厚度:0.2~0.4mm	结合强度:44.8MPa 整体密度:4.80g/cm <sup>3</sup> 宏观硬度:58.5HRC	喷涂工艺:等离子喷涂
24. 多用于氧化铝陶瓷涂层与工件金属基体的过渡涂层,耐蚀		涂层材料:镍铬合金 喷涂粉末:80Ni20Cr 涂层厚度:0.05~0.15mm	整体密度:7.48g/cm <sup>3</sup> 宏观硬度:188HB 喷涂工艺:氧-乙炔火焰喷涂或等离子喷涂	结合强度:31.0MPa
25. 等离子喷涂生产中空球状的陶瓷材料		它具有密度小、成分均匀、流动性好、热导率低、快速熔化等优点。可作为不定型的高温隔热填充材料或高温轻质块体绝热材料,应用于宇航飞行器,也可作为橡胶、合成树脂等有机材料的一种特殊性的填充剂,是一种新型的耐磨绝缘材料		
26. 热喷涂生产高折射率玻璃微珠材料		可制作汽车号牌的反光膜,广泛用于交通标志		
27. 真空等离子喷涂(或大气等离子喷涂)制造新的高 $T_c$ 超导材料		它是当温度降至某一临界值 $T_c$ (K)时,材料的电阻突然消失,产生了“超导”现象。可应用于量子电子器件、微波元件、电磁屏蔽		
28. 用真空等离子喷涂制造电解活性固体氧化燃料电池薄膜及生产添加钨的催化剂镍电极				
29. 连续退火炉(CAL)辊 ① 汽车用外壳薄板和硅钢片板材表面质量要求极高,不允许有任何划痕和缺陷。故生产中在与钢板接触传动的炉辊表面状态要求十分严格 ② 武钢 CAL 辊长 2700mm、工作部位长 1500mm,辊径 $\phi 20$ mm、工作温度 800~920℃,工作介质为氮氢还原性气氛并具有不同露点		① 在宝钢薄板生产线上采用 HVOF 技术在连续退火炉辊表面喷涂 NiCr-Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 作抗积瘤涂层具有耐磨、耐高温、自清洁作用 ② 在武钢硅钢片生产线上采用等离子喷涂 NiCr-8% $Y_2O_3$ / $ZrO_2$ 涂层抗积瘤		① 生产的产品达到日本同类产品水平 ② 寿命超过 6 个月,最长达 2 年,表明陶瓷涂层抗积瘤效果明显,硅钢片表面质量达到武钢设计要求

喷涂工件		喷涂金属	喷涂工艺	效果
名称	工况			
<p>30. 热浸镀生产线沉没辊<sup>[1]</sup></p> <p>采用森吉米尔 (Sendzimir) 法进行薄板钢带连续热浸镀锌 (CGU) 和热浸镀铝、锡等金属熔液生产线中 (见示意图)</p> <p>熔液坩埚中工作的沉没辊和稳定辊等均遭受 694 ~ 800℃ 铝熔液和 452 ~ 570℃ 锌熔液侵蚀, 同时钢带由辊面带动的运动速度高达 35 ~ 40m/s。合金辊一般在铝熔液中寿命仅为 2 ~ 3 天, 锌熔液中则仅 10 天左右就会产生很深的磨痕和蚀坑, 划伤带钢表面, 使废次品率增加</p>		<p>采用等离子喷涂 <math>Al_2O_3 + TiO_2</math>、<math>MgO-ZrO_2</math>、<math>MoAl_2O_4</math> 和 <math>NiCrAlY</math> 形成的梯度涂层 (总厚达 1mm), 以及用 HVOF 喷涂 Co-WC 涂层作为沉没辊和稳定辊工作层</p>	<p>连续热浸镀锌、铝生产线示意图</p>	<p>由于涂层材料与铝、锌熔液不润湿和不产生化学反应, 上述两种工艺涂层分别在连续热浸镀锌、铝生产线坩埚中运动的寿命提高 3 ~ 4 倍。该类涂层还可用在熔融 Cu、钢液方面作锭模、运输槽、坩埚内壁涂层和热电偶套管、搅拌器、支架等保护层</p>
<p>31. 热轧工具<sup>[1]</sup></p> <p>大口径无缝钢管 (<math>\phi 219 \sim 4377mm</math>) 自动轧管机所用的轧管机顶头, 传统采用 Cr17Ni2Mo 整体铸造的耐热马氏体不锈钢制造, 顶头与 970 ~ 1050℃ 的钢管内壁以 3 ~ 3.5m/s 速度相对位移, 实际顶头表面温度高达 1050 ~ 1150℃, 使顶头高温硬度和强度急剧下降, 表面氧化烧伤, 产生结瘤、撕裂、拉伤、凹陷。其消耗量为每轧制千吨钢管耗顶头 16t</p>		<p>采用等离子喷焊技术, 在锻制的 45 钢顶头基体上 (如图示) 喷焊 Ni 基高温合金 + 35% 碳化钨焊层, 厚度为 1.2 ~ 1.5mm</p>		<p>经包钢无缝钢管厂 3 年的实际生产验证, 喷焊顶头平均使用寿命提高 3 ~ 5 倍。每轧制千吨钢管耗顶头降至 3t, 年增效益达 1000 万元以上</p> <p>其他工模具的应用, 例如结晶器、高炉风机、热剪刀、压铸和挤压模具等</p>

## 8 塑料粉末热喷涂<sup>[49]</sup>

塑料粉末热喷涂是在金属零部件表面喷涂一层塑料的涂覆层, 使其既有金属本身的各项特点, 如力学性能及电、气性能等, 又有塑料所具有的独特性能, 如耐蚀、耐磨、自润滑性、高绝缘等的一种新型工艺。采用这种工艺, 在同时需要这两种特性的场合, 对提高产品质量和效益, 节约资源、能源, 降低环境污染等方面都有很大的意义。

喷涂的方法和原理参见表 1-7-26。设计时, 需根据各种方法的特点, 按照不同的零件, 考虑其喷涂的可能性; 涂层的性质不但决定于涂层的涂料, 而且由于施工方法不同, 同一种涂料仍可得到不同的效果。



塑料粉末热喷涂的特点、涂料类别、涂层性能和应用

表 1-7-25

粉末固态涂料与传统液态涂料涂装的比较	<p>传统的油性漆,对金属表面有优异的润湿性和较好的耐候性,但涂膜本身的耐蚀性,特别是耐水性、耐化学介质性差,不能满足恶劣环境下的防腐蚀要求。常规的液态树脂涂料成分中含有有机溶剂(有机溶剂是涂料配方中的一个重要组分,没有它,则会给涂料的制造、储存、施工都带来困难,涂层的质量会受影响),涂料成膜后,溶剂全部挥发到空气中,造成空气污染和材料浪费。有机溶剂中大多数是有毒有害物质,是造成大气污染的主要原因之一,损害人的健康,易引起火灾和爆炸。粉末涂料是一种不含溶剂的固态涂料,诞生于20世纪40年代末,与传统液态涂料相比,性能、制造方法和涂装作业等各个方面都有很大差异(见下表)</p>	<p>从塑料粉末涂料的成膜性质可以把塑料粉末涂料分为热固性和热塑性两大类。热固性粉末涂料的主要组成是各种热固性的合成树脂,如环氧、聚酯、丙烯酸、聚氨酯树脂等,热固性树脂能与固化剂交联后成为大分子网状结构,从而得到不溶、不熔的坚韧而牢固的保护涂层</p> <p>热塑性粉末涂料以热塑性合成树脂为主要成膜物质,例如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯树脂等,热塑性粉末涂料经熔化、流平,在油、水或空气中冷却固化而成膜,配方中不加固化剂</p> <p>塑料粉末一般由基料树脂、颜料、防老化剂及其他添加剂组成,热固性粉末中还含有固化剂。单独的树脂涂层,其强度、耐热性、耐磨性有限,可以采用添加改性树脂或填料的办法来提高其性能。如改善聚乙烯粉末涂料涂层的力学性能和提高其与金属的附着力的措施成为发展这个品种的重要手段,下表举例介绍了聚乙烯改性品种的情况</p> <p>粉末涂料中添加金属粉末、陶瓷粉末等材料可以显著地改善涂层性能。如为了提高聚苯硫醚涂层的耐磨性,可以采用聚苯硫醚-氧化铝复合喷涂粉末</p>																																											
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">比较项目</th> <th style="width: 30%;">粉末涂料</th> <th style="width: 50%;">液态涂料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>可以使用的树脂</td> <td>能够熔融的固态树脂</td> <td>液态或可以分散在溶剂中的树脂</td> </tr> <tr> <td>喷涂损失</td> <td>&lt;10%</td> <td>约20%~50%</td> </tr> <tr> <td>回收可能性</td> <td>有</td> <td>无</td> </tr> <tr> <td>溶剂挥发</td> <td>无</td> <td>有</td> </tr> <tr> <td>一次涂厚性</td> <td>良好</td> <td>差</td> </tr> <tr> <td>需要涂装次数</td> <td>1次</td> <td>多次</td> </tr> <tr> <td>边角覆盖性</td> <td>良好</td> <td>差</td> </tr> <tr> <td>利用率</td> <td>粉末散失损耗5% 可回收利用的粉末 35% 材料利用60%</td> <td>喷涂材料散失50% 喷涂中溶剂散失23% 干燥时溶剂损失14% 利用的材料13%</td> </tr> </tbody> </table>	比较项目	粉末涂料	液态涂料	可以使用的树脂	能够熔融的固态树脂	液态或可以分散在溶剂中的树脂	喷涂损失	<10%	约20%~50%	回收可能性	有	无	溶剂挥发	无	有	一次涂厚性	良好	差	需要涂装次数	1次	多次	边角覆盖性	良好	差	利用率	粉末散失损耗5% 可回收利用的粉末 35% 材料利用60%	喷涂材料散失50% 喷涂中溶剂散失23% 干燥时溶剂损失14% 利用的材料13%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;">序号</th> <th style="width: 40%;">改性树脂</th> <th style="width: 40%;">主要改性特点</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">聚乙烯粉末树脂改性品种</td> <td>1</td> <td>醋酸纤维素</td> <td>提高硬度和流平性</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>聚丙烯</td> <td>提高硬度和其他力学性能</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>EVA树脂</td> <td>提高附着力,降低加热温度</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>聚丁烯</td> <td>提高光泽度和力学性能</td> </tr> </tbody> </table>		序号	改性树脂	主要改性特点	聚乙烯粉末树脂改性品种	1	醋酸纤维素	提高硬度和流平性	2	聚丙烯	提高硬度和其他力学性能	3	EVA树脂	提高附着力,降低加热温度	4	聚丁烯
比较项目	粉末涂料	液态涂料																																											
可以使用的树脂	能够熔融的固态树脂	液态或可以分散在溶剂中的树脂																																											
喷涂损失	<10%	约20%~50%																																											
回收可能性	有	无																																											
溶剂挥发	无	有																																											
一次涂厚性	良好	差																																											
需要涂装次数	1次	多次																																											
边角覆盖性	良好	差																																											
利用率	粉末散失损耗5% 可回收利用的粉末 35% 材料利用60%	喷涂材料散失50% 喷涂中溶剂散失23% 干燥时溶剂损失14% 利用的材料13%																																											
	序号	改性树脂	主要改性特点																																										
聚乙烯粉末树脂改性品种	1	醋酸纤维素	提高硬度和流平性																																										
	2	聚丙烯	提高硬度和其他力学性能																																										
	3	EVA树脂	提高附着力,降低加热温度																																										
	4	聚丁烯	提高光泽度和力学性能																																										
塑料粉末热喷涂的特点	<p>① 塑料粉末涂料不含溶剂,其制造和施工过程中释放的有机溶剂几乎为零,避免了有机溶剂挥发所引起的大气污染和火灾事故,节省了大量溶剂,且物料无毒,大大降低了对操作人员的危害</p> <p>② 粉末涂装利用率高。由于涂料是100%的固体,可以采用闭路循环体系,喷溢的粉末涂料可以回收,涂料利用率高达95%</p> <p>③ 树脂的相对分子质量比溶剂型涂料大,涂覆层的性能和耐久性比溶剂型涂料有很大提高</p> <p>④ 粉末涂料涂装时,厚度可以控制,一次涂装可达30~500<math>\mu\text{m}</math>,相当于溶剂型涂料几道至几十道涂装的厚度,减少了施工时间,节能、高效</p> <p>⑤ 可以选择相应的涂层材料来满足所需性能要求,所提供的粉末均为标准化生产</p> <p>⑥ 操作简单,对操作人员需要较少的培训;使用方便,涂装前无需进行物料混合,不需要随季节调节黏度,厚膜也不易产生流挂且易于实现自动化流水线生产</p> <p>⑦ 所有涂装工作均在同一系统中完成,没有溶剂的干燥时间,因而涂装时间大大缩短;不需要通风来干燥溶剂,因而输入的热量保持在炉内,减少了能源损耗</p> <p>⑧ 易于保持施工环境的卫生等</p> <p>粉末涂料是一种高性能、低污染、省能源、省资源的新型涂料。其制造工艺比普通涂料复杂,制造成本较高,需要专用设备,涂料成膜烘烤温度高,制备厚涂层较容易,但很难制备薄到15~30<math>\mu\text{m}</math>的厚度,更换涂料颜色、品种比普通涂料麻烦</p>	<p>金属材料的耐蚀能力有限,特别是耐酸碱盐等强腐蚀介质性能差,而多数塑料对酸碱盐介质具有良好的耐蚀防腐性能。塑料粉末涂覆于金属基体上,利用金属的强度,发挥塑料本身的各种特性,形成满足各种要求的塑料涂层</p> <p>选择合适的塑料品种、涂层厚度和成膜过程,塑料涂层可以获得如下性能:①对无机酸碱盐、大多数溶剂和有机酸具有良好的耐化学腐蚀性;②对许多材料具有减摩性、防黏性;③耐磨性、防滑性;④抗机械振动性;⑤电绝缘性;⑥装饰性等。</p> <p>目前,塑料粉末涂料在许多领域得到了应用。</p> <p>① 家电行业。主要应用于家用电器外壳涂装市场</p> <p>② 建筑行业。耐候性粉末涂料用于户外建筑物铝和包铝的保护,解决钢门窗路牌、公路标志、门牌等防腐问题</p> <p>③ 石化行业。化工机械、化工设备容器等的防腐管道行业。石油输送管、化工防腐管、住房用水管、电站水管、煤气管、船舶水管等</p> <p>④ 汽车及其车辆零部件。采用粉末涂料涂装的比例越来越高,粉末涂膜代替电镀和涂装零部件,不仅提高了装饰性、防腐性,而且经济效益也非常可观</p> <p>⑤ 金属丝网等金属物件。涂塑后的性能大大优于镀锌工艺</p> <p>⑥ 电子元器件绝缘涂层及其绝缘包装等。塑料涂层作为电子元器件、电阻、电容器绝缘包装、变压器、电动机转子的绝缘涂层逐步兴起,如通过对电容器采用绝缘型涂料全封闭涂装,其电性能优良,外观光滑,效果极佳</p> <p>⑦ 金属家具。金属制品涂塑取代纯木制品</p>																																											



## 塑料粉末喷涂方法的原理、特点和应用

表 1-7-26

方法	(1) 静电喷涂法	方法	(4) 火焰喷涂法
原理	是利用高压静电电晕电场,在喷枪头部金属上接高压负极,被涂金属工件接地形成正极,工件和喷枪电极之间施加高压直流电形成静电场,塑料粉末从储粉筒经输粉管送到喷枪的导流杯时,导流杯上的高压负极产生电晕放电,产生密集电荷使粉末带负电,在静电和压缩空气作用下,粉末均匀地飞向正极工件,随着粉末沉积层的不断增加,达到一定厚度时,金属工件最表层因粉末所带电与再飞来的粉末电荷同性,使新粉末受到排斥而不再附着,即完成一道喷涂。这时,将吸附于工件表面的粉末加热到一定温度,使疏松堆积的固体塑料粉末熔融、流平并固化后形成均匀、连续、平滑的涂层	原理	粉末火焰喷涂是在特殊设计的喷枪中利用燃气(乙炔、氢气、煤气等)与助燃气(氧气、空气)燃烧产生的热量将塑料粉末加热至熔融状态及半熔融状态,在运载气体(通常为压缩空气)的作用下喷向经过预处理的工件表面,液滴经流动、流平形成涂层
材料	主要是热固性粉末。除了防腐、装饰作用外,还有绝缘、导电、阻燃、耐热等特殊功能的涂料。静电喷涂对粉末有以下要求:粉末疏松,流动性好,稳定的储藏性,合适的细度(80~100 $\mu\text{m}$ ),分布范围越窄越好,球状粒子效果好,粉末是极性的或容易极化的粉种,粉末的体积电阻要适当,粉末涂料表面的电阻要高	材料	喷涂用的粉末应能满足如下要求:粉末的形状应有良好的气体输送性,材料的熔融温度和热分解温度的温差要大,否则容易造成材料过热分解,粉末不能是易分解、易燃烧的微细颗粒,为了便于形成涂层,熔融温度应低,材料的收缩变形要小。能够喷涂的塑料粉末范围较广,如聚乙烯、聚丙烯、尼龙、环氧树脂等
优缺点	主要优点是工件不需预热,粉末利用率高( $\geq 90\%$ ),涂层较薄(40~100 $\mu\text{m}$ ),涂膜厚薄均匀且易于控制,无流挂现象,适于大批量生产。在防腐、装饰及各种功能性涂层方面应用广泛。主要缺点是涂膜较薄,不适于强腐蚀介质环境,需要专门的烘干室烘干,烘干温度较高,需要封闭的涂装室和回收装置,不适宜形状复杂工件和大工件	优缺点	能涂覆的涂层厚度大;设备简单,投资少,操作方便;可现场进行施工修补各种涂层缺陷;适应性强,基材可以是金属,也可以是混凝土、木材等非金属材料;更换粉末颜色及品种方便。对于形状复杂的工件涂覆困难,现场喷涂对较大工件预热比较困难,粉末的烧损较大,靠手工控制,不易获得十分均匀的涂层
应用	家用电器工业、机电工业、轻工业、石油化工以及建筑五金、仪器仪表等 电冰箱箱体静电喷涂的主要工艺:上工件→前处理→干燥→静电喷涂→固化→冷却→卸件	应用	可以获得防腐、耐磨、减摩等多种性能涂层。喷涂粉末可以是单一的塑料粉末或树脂改性粉末,也可以是复合粉末,可以将金属、陶瓷等粉末与塑料粉末混合后实施喷涂,以改善涂层性能。实验表明,在高密度聚乙烯粉末(HDPE)中添加5%~30%(体积分数)的Fe-Ni-B合金粉末获得的喷涂层,其耐磨性、导热性和承载能力均得到显著提高。在无润滑剂的滑动摩擦情况下,涂层摩擦因数可降低1.2~1.5倍,相对耐磨性可提高7.3~18倍;添加5%~10%(体积分数的)粉末固体润滑剂,涂层摩擦因数从0.38降至0.19;而在润滑剂存在的条件下,摩擦因数降低得更多 目前,塑料粉末火焰喷涂技术已经应用于化工、纺织、食品机械等行业,在防腐、减摩等方面发挥作用。如:某葡萄酒厂低温发酵车间的16个发酵罐是采用不锈钢焊接的,罐体直径2400mm,高5400mm,厚3mm。使用后发现罐内壁出现点状腐蚀,使酒中铁离子超标,影响了产品质量。该厂使用涂刷涂料,使用一段时间后脱落。采用塑料粉末火焰喷涂技术在罐内壁喷涂聚乙烯和环氧树脂,效果良好
方法	(2) 流动浸塑法	方法	(5) 分散液喷涂法
原理	也称流化床法,其基本原理是利用工件的热容量进行塑料粉末的熔覆,是粉末涂料施工中用得较多的方法。先将塑料粉末放入底部透气的容器即流化槽中,槽下通入的压缩空气使塑料粉末沸腾并悬浮于一定高度,而后把预先加热到塑料粉末熔点以上温度的工件浸入流化槽中,塑料粉末就均匀地黏附到被涂工件的表面上,浸渍一定时间后取出并进行机械振荡,除掉多余粉末,然后送入塑化炉经流平、塑化,最后出炉冷却,从而得到均匀的涂层	原理	分散液喷涂法包括悬浮液喷涂和乳液液喷涂两种。它是将树脂粉末、溶剂混合成分散液,用喷、淋、浸、涂等方法涂覆于工件表面上,然后在室温或干燥温度下使溶剂挥发,从而在金属表面形成一层松散的粉状堆积层,再在一定的高温下烧结,使其形成一整体膜,并与金属表面牢固结合,烧结后经冷却可再继续涂下一层
材料	常用的粉末涂料:①聚乙烯,流动浸塑的主要原料,成本低、加工性好、耐化学性好,耐热性不足;②聚氯乙烯,加热过程有发烟现象,耐化学性好,耐热性不足;③聚酰胺,流浸用的主要是尼龙1010、尼龙11、尼龙12,耐磨性好,自润滑性好,耐油性好,耐强酸性差 大多数热塑性和热固性塑料粉末都可以使用流动浸塑法	材料	聚四氟乙烯、聚三氟乙烯、氯化聚醚、聚苯硫醚等粉种其熔融黏度比普通热塑性树脂高很多,难以采用一般热塑性塑料的加工方法。可将粉末加热到熔点以上,使其由结晶相转变为无定形相,形成密实、连续、透明的弹性体,再通过降温转变为结晶相
优缺点	优点:工艺上省能源、无污染、效率高、质量好、涂层厚,涂膜的耐久性、耐腐蚀性和外观均较好,粉末涂料损耗少,设备简单,投资少。其缺点是不易涂覆约75 $\mu\text{m}$ 以下膜厚的涂层,工件必须进行预热,主要适用于热塑性涂料	优缺点	用分散液喷涂法,可涂装比较复杂的工件,得到性能优良的涂膜。缺点是施工费用较高,对粉末要求高,须分散得很细
应用	在交通道路、建筑、电器通信、管道材料、养殖、家庭、办公等方面用途广泛。钢管流动浸塑工艺流程如下:钢管表面清理→脱脂→酸洗→水洗→中和→水洗→热水洗→磷化处理或上底漆→预热→流动浸塑→塑化→冷却→检查→包装	应用	石油化工、日用品等防腐、减摩、防黏、装饰涂层,如硫酸铝加热器的PPS涂覆,具体工艺如下:制备分散液→工件表面预处理→分散液喷涂→烧结塑化→淬火→针孔检验
方法	(3) 静电流浸法	方法	(6) 不预热塑料粉末火焰喷涂法
原理	静电流浸法是综合了静电喷涂和流动浸塑的原理而设计的一种方法,该法在流动浸塑槽的多孔板上安装了许多电极,电极上有高压直流电通过,于是使流动浸塑槽中的空气电离而带电,带电的空气离子与塑料粉末撞击使塑料粉末带电,粉末粒子带负电,工件接地带正电,静电吸引作用使塑料粉末被吸附到工件表面,再经加热熔融固化即可形成涂层	原理	不预热塑料粉末火焰喷涂,即在金属表面预涂一层胶黏剂,再直接在胶黏剂表面喷涂塑料粉末以获得涂层的方法
材料	静电喷涂的粉末原则上都可以用于静电流浸,但粒度范围较窄,其粒子大小以20~100 $\mu\text{m}$ 为宜。目前常用于静电流浸的粉末有聚乙烯、聚氯乙烯、聚酰胺、环氧树脂、环氧聚酯、聚酯等	材料	选用改性环氧类胶黏剂作为底胶,采用调整的喷涂枪头进行喷涂,可以得到流平良好的聚乙烯喷涂涂层,涂层与基体结合良好,剥离试验中涂层多为内聚破坏
优缺点	静电流浸法具有效率高、涂层厚度可以控制、设备小巧、投资较少、操作方便等优点。缺点是不适于大型工件	应用	不预热塑料粉末火焰喷涂技术应用于大型钢结构,喷涂效率低,预热困难可采用本法 典型不预热塑料粉末火焰喷涂工艺流程如下:工件预处理(喷砂、磷化等)→用刷涂、辊涂的方式在金属基体上均匀涂布一层底胶→火焰喷涂→工件冷却(空冷、水冷)→涂层检验→成品
应用	主要用于线材、带材、电器、电子元器件等形状比较简单、厚度较小的金属材料的防腐、绝缘及装饰涂塑,被涂物的尺寸应在流动浸塑槽的尺寸内,但带状物的长度无限制		

塑料涂层的应用实例<sup>[39]</sup>

表 1-7-27

涂层类型	使用场合	工作条件	涂层特性			喷涂方法	效果
			厚度/mm	材料	其他		
耐磨	渔轮机: 推力轴承	推力块承受压强 1.55MPa, 最大线速度 425m/min, 油温比使用巴氏合金时低 20%	0.3~0.5	尼龙 1010 + 5% MoS <sub>2</sub>		火焰喷涂	代替巴氏合金使用一年半运转 6000h 以上, 磨损仅 0.02mm
	渔轮机连杆大端轴承内孔	轴瓦承受压强为 17.5MPa, 有较大冲击力, 轴壳温度比用巴氏合金时低 2℃	0.5	尼龙 1010 + 5% MoS <sub>2</sub>		火焰喷涂	代替巴氏合金使用 3000h 情况良好
耐蚀	柴油机主机的汽缸和水套	长期泡在海水中, 腐蚀十分严重		低压聚乙烯和三元共聚尼龙		火焰喷涂	延长了使用寿命, 降低了成本
耐蚀	铬酸泵不锈钢制转轴	腐蚀严重		低压聚乙烯		火焰喷涂	解决了防腐问题
作液压件的密封	油泵配油盘阀面	15MPa 压力下工作		尼龙 1010	喷后只需一般车削加工	火焰喷涂	密封性超过规定指标
	三通阀闸门密封面			尼龙	喷后只需车削, 不用拂刮	火焰喷涂	性能较好
气密	玻璃钢气瓶内衬	工作压力 15MPa 爆破压力 60MPa		用尼龙代铝制内衬		火焰喷涂	从原来充放 1000 次提高到 3000 次以上, 尚能工作
	铸铝真空阀阀体			塑料		火焰喷涂	解决了铸铝疏松漏气问题
吸声	振动式自动送料斗	由于工件与送料斗都是金属制的, 工作时噪声很大		尼龙		火焰喷涂	噪声减少, 吸声效果良好
绝缘	电火花加工头子	端面要求导电, 四周侧面要求绝缘		尼龙		火焰喷涂	达到技术要求
隔热	风动工具手柄	冬天操作戴薄手套仍很冷, 厚手套又不方便		塑料		火焰喷涂	效果很好
装饰	渔轮上各种门柄	为了防腐和装饰, 过去均用铜制		改为铸铝涂有色塑料		火焰喷涂	既达到装饰要求又节约了铜材
其他	玻璃纤维纺织机	导纱钩要求耐磨捻线机滚轮上要解决静电问题		塑料		火焰喷涂	

注: 1. 涂层厚度一般不希望超过 1mm, 且只能一次成形。

2. 耐蚀或电绝缘涂层须进行电火花探伤或半导体高频探伤。机械零件用涂层须进行拉伸、冲击、弯曲、压缩、剪切等强度试验以及弯曲疲劳、耐磨等性能试验。

### 塑料喷涂对被涂件结构的一般要求

- 1) 设备各部棱角必须加工成圆弧形, 曲率半径应尽量大, 一般不小于 5mm。
- 2) 被涂设备应采用焊接结构, 不宜采用铆接结构, 应尽可能采用对焊, 焊缝要磨光, 不允许有气孔、夹渣和焊瘤等缺陷。焊缝凸出高度应小于 3mm。
- 3) 为了防止受冲击和局部过冷过热而损坏涂层, 应采取适当的措施改进被涂设备的结构。
- 4) 在涂覆后进行装配的零部件, 必须考虑留出互相配合的余量, 其余量大小, 应根据所选用的涂层厚度而定 (有资料介绍, 作轴承使用的涂层与对磨件的安装间隙, 在涂层厚度为 0.5mm 时, 要求比原来的安装间隙大 0.015mm 左右)。
- 5) 被涂设备的接管应采用法兰连接, 避免采用螺纹连接。所用的接管尽可能采用无缝钢管。
- 6) 被涂设备的强度试验、静平衡、动平衡试验、气密性试验以及所有金属加工、热加工都应在涂覆前进行完毕, 并须检查合格后, 才能进行涂覆。
- 7) 被涂工件的材料一般为钢、铸铁、青铜、铝等。

## 9 粉末渗镀锌 (摘自 JB/T 5067—1999)

粉末渗镀锌是利用原子扩散渗透原理, 将渗锌工件置于含有锌粉和填充剂的转动密闭容器中同时加热, 在金属锌与工件不断碰撞过程中, 使锌原子扩散到工件中去, 形成镀层的方法。填充剂的作用是: ①防止锌粉黏结, 有助于锌粉的均匀分布; ②有利于工件均匀加热; ③容器旋转时, 可防止工件遭受机械损伤。目前, 粉末渗镀锌被广泛用于弹簧、紧固件以及需要严格控制尺寸误差的零件部分的防腐蚀。

粉末渗镀锌适用于碳钢、低合金钢、45 钢、16Mn、弹簧钢、铸铁、白口铁等材质的中小件。

### (1) 特点

镀层厚度均匀, 可保证原有材质的力学性能, 并具有热浸镀无法达到的零件加工精度和表面粗糙度, 镀层厚度可达到热镀锌国家标准规定的厚度。

镀层与基体结合牢固, 用于反复拆卸的螺栓等也不会脱落; 有一定的耐高温能力, 可在 400 ~ 500℃ 温度范围内使用; 镀层硬度高于热浸镀层, 一般均高于 350HV, 因此, 耐磨性比热浸镀锌件好。

镀层耐蚀能力在同等条件下优于热浸镀层, 且耗锌量仅为热浸镀锌的 1/3, 生产成本比热浸镀锌约低 35%。

镀层表面可直接涂漆或包覆高分子材料, 不需特殊处理就可结合牢固。

### (2) 镀层技术要求

1) 外观。待镀件表面应平整、光滑, 边缘无锐角。镀前应除去表面的油污、锈迹、氧化层等。镀层表面应均匀平整, 镀件不经后处理, 其表面为暗灰色, 无光泽; 镀件经钝化处理, 表面光滑, 呈浅灰色, 见光泽; 经化学抛光和钝化处理, 表面有金属光泽, 呈银白色; 镀锌铸件经化学和机械抛光, 表面光滑、致密, 有金属光泽。

2) 镀层厚度按使用环境和使用寿命不同, 选择不同厚度等级。镀层厚度应均匀, 误差在 ±10% 以内, 其等级及范围见表 1-7-28。

3) 镀层应牢固地附着在基体表面, 用锤击试验, 镀层应无起皮、无脱落。

4) 不同厚度等级的镀层做中性盐雾试验时, 红锈出现时间及硫酸铜试验次数见表 1-7-28。

### 镀层厚度等级及厚度值

表 1-7-28

等 级	1	2	3	4	5
厚度/ $\mu\text{m}$	$\geq 15$	$\geq 30$	$\geq 50$	$\geq 65$	$\geq 85$
渗锌镀层厚度等级 (摘自 JB/T 5067—1999)	注: 在给定条件下, 渗锌镀层的耐蚀寿命与其厚度成正比。但增加渗锌镀层厚度的同时, 也增加了零件的几何尺寸, 所以在考虑寿命的同时也应考虑制件的配合要求。有关紧固件及其他制作渗锌镀层厚度选择 (推荐) 见附录 A				

续表

推荐的渗锌镀层厚度等级(摘自 JB/T 5067—1999) 附录 A	渗锌镀层厚度等级	使用环境及制件				
	1 级	室内及农村大气环境下使用的紧固件及其他钢铁制件				
	2 级	室外使用的紧固件及其他钢铁制件				
	3 级	要求比 2 级更长的耐蚀寿命,且渗锌后能满足配合要求的紧固件及其他制件				
	4 级、5 级	特殊要求的制件				
注:1. 公称尺寸为 1mm、2mm 的紧固件即使采用 1 级渗锌也可能产生旋拧困难的现象,建议采用可获得较薄的镀锌层的其他工艺 2. 特殊要求的制件是指某些要求有尽可能长的耐蚀寿命,且无配合要求或渗锌前已预留渗锌镀层间隙的制件						
JB-K 5067—1991	厚度等级	1	2	3	4	5
	厚度范围/ $\mu\text{m}$	>10~25	>25~40	>40~60	>60~85	>85~110
	出现红锈时间/h	>120	>168	>216	>244	>312
	耐硫酸铜侵蚀试验次数	3	4	5	6	7

注:1. 中性盐雾试验符合 GB 6458 金属覆盖层中性盐雾试验 (NSS 试验) 条件。  
2. 硫酸铜试验符合 GB 2694 输电线路铁塔制造技术条件。

## 10 化学镀、热浸镀、真空镀膜

### 化学镀、热浸镀、真空镀膜的特点及应用

表 1-7-29

名称	特 点	应 用
化 学 镀	化学镀不用外加电源,利用还原剂将镀液中的金属离子还原并沉积在有催化活性的工件表面形成镀层 化学镀层厚度均匀且不受工件形状复杂程度的影响,无明显边缘效应。镀层晶粒细、致密、孔隙少、外观光亮、耐腐蚀性好 化学镀有镍、铜、银、钯、金、铂、钴等金属或合金及复合镀层。其中,常用的是化学镀镍和化学镀铜	不仅可使金属而且可使经特殊镀前处理的非金属(如塑料、玻璃、陶瓷等)直接获得镀层
	化学镀镍层是含磷 3%~15% 的镍磷合金层。硬度和耐磨性较好。当磷含量大于 8% 时,具有优异的耐腐蚀性和抗氧化性。化学镀镍层与其他镀层结合较好,具有较高的热稳定性。能进行锡焊或铜焊	用作其他镀层的底层;钢铁零件的中温保护层;磨损件的尺寸修复镀层;铜与钢铁制件防护装饰等。在石油(如管道)、电子(如印刷线路板、磁屏蔽罩)和汽车等工业上有广泛应用
	化学镀铜层一般很薄(0.5~1 $\mu\text{m}$ ),外观呈红铜色,具有优良的导电性和焊接性	主要用于非金属材料的表面金属化,特别是印刷线路板的孔金属化。在电子工业中应用广泛,例如通孔的双面或多层印刷线路板制作。使塑料波导、腔件或其他塑料件金属化后进行电镀等
热浸镀	热浸镀是将工件浸入熔融金属中,靠两种金属互相溶解和扩散获得冶金结合的金属涂层的方法 镀层金属是低熔点的锌、锡、铅和铝。但钢铁不能直接热浸镀铅(因铁与铅不能生成合金),而要先热浸镀锡后再热浸镀铅 热浸镀可以单槽进行,也可以连续自动化生产	一般只适于形状简单的板材、带材、管材、丝材等 热浸镀锌主要用于钢管、钢板、钢带和钢丝 热浸镀锡可用于薄钢板,因锡无毒,在食品加工和储存容器上应用较多 热浸镀铅用于化工防腐和包覆电缆 热浸镀铝主要用于钢铁高温抗氧化
真 空 镀 膜	真空镀膜是指在真空室或充有惰性气体的真空室内进行气相镀膜的一类技术。主要包括真空蒸镀(真空蒸发)、阴极溅射镀和离子镀。其膜层还可进一步在高温下扩散渗镀,以提高与基体的结合力	
	真空蒸镀 基体可以是金属或非金属。涂层有铝、银、锌、镍和铬等金属及 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 等高熔点化合物。膜层平滑光亮,反射性好。耐蚀性优于电镀层,但覆盖能力不如电镀层	主要用于制作各种薄膜电子元件;沉积各种光学薄膜如车灯反光罩等;以及用在某些非金属工艺品上作装饰膜层
	阴极溅射镀 与真空蒸镀比较,具有结合力强、涂层材料不受熔点和蒸汽压限制等优点,但沉积速度不如真空蒸镀	可溅镀金、铂等高熔点膜层;TiN、TiC、WC 等超硬膜层;MoS <sub>2</sub> 等耐磨膜层;Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等隔热膜层和 Co-Cr-Al-Y 等高温膜层;以及电子、光学器件和塑料的装饰膜层
离子镀	具有真空蒸镀和阴极溅射镀的综合优点。基体是金属或非金属均可,膜层材料可以是金属、合金、化合物及陶瓷等。膜层与基体结合力很好	可镀铝、锌、镉等耐蚀膜层;铝、钨、钛、钼耐热膜层;铬、碳化钛耐磨膜层;金、银、氮化钛装饰膜层;塑料上镀镍、铜、铬用于汽车及电器零件及制作印刷线路板、磁带等

## 离子镀 TiN、TiC 化合物镀膜

表 1-7-30

镀层类别	被 镀 工 件			镀 层 性 能				应用举例
	表面要求	材料	最大尺寸 /mm	厚度 / $\mu\text{m}$	结合强度	耐蚀性	表面粗糙度	
工 具 镀	表面无油污、无氧化皮及氟化处理层,工作部位表面粗糙度数值低于 $R_a 0.8\mu\text{m}$ , 硬度 $\geq 60\text{HRC}$	高速钢、硬质合金、模具钢	$\phi 200 \times 900$	2~10	良好	—	取决于被镀件表面粗糙度显微硬度 1800~2500HV	氮化钛镀层钻头按 JB/GQ, 将转速和走刀量各提高 33% 进行试验, 其使用寿命比无镀层的钻头提高 4 倍以上
一 般 装 饰 镀	表面无油污、无氧化皮及其他处理层, 表面粗糙度数值低于 $R_a 0.4\mu\text{m}$	不锈钢、碳钢(表面电镀铜镍铬层); 锌铝合金(表面电镀铬层); 玻璃	$600 \times 1000$	0.5~1	良好, 在压力 5MPa 下用布轮抛光 3000m 以上不露底	① 人汗水 30~35 $^{\circ}\text{C}$ , >100h ② 盐雾 35 $^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 3.5% NaCl, 相对湿度大于 90%, 24h 后保持光泽, 无锈斑	被镀件表面粗糙度在 $R_a 10\mu\text{m}$ 以下的, 镀后保持不变	装饰品如戒指、项链等, 表壳、表链、各类灯具、餐具等
建 筑 装 饰 镀	抛光表面无油污、氧化皮、划伤, 表面粗糙度 $R_a 0.4\mu\text{m}$		$2500 \times 1500 \times 180$ , $\phi 800 \times 2000$	1~5	良好			各类卫生洁具, 各种标牌、门框、立柱、旗杆顶等

注: 生产单位为北京钛金公司等。

## 11 化学转化膜法 (金属的氧化、磷化和钝化处理) 和金属着色处理

“转化膜”法是指由金属的外层原子和选配的介质的阴离子反应而在金属表面上产生不溶性化合物覆盖物的方法, 这是一种化学成膜处理法, 通常把这种经过化学处理而生成的覆盖膜, 称为“转化膜”或“化学转化膜”。

### 金属的氧化、磷化和钝化处理的特点与应用

表 1-7-31

名称	操 作	特 点	应 用
氧 化	黑色金属的氧化是将工件置于含硝酸钠或亚硝酸钠的氢氧化钠浓溶液中处理, 使工件表面生成一层很薄的氧化膜的过程。也称发蓝或发黑	钢铁的氧化膜主要由磁性氧化铁( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )组成。厚度约为 0.5~1.5 $\mu\text{m}$ , 一般呈蓝黑色(铸铁和硅钢呈金黄至浅棕色), 有一定的防护能力。膜层很薄, 不影响工件的尺寸精度。氧化没有氢脆现象, 但有时会产生碱脆 为提高膜的耐蚀性、耐磨性和润滑性, 可利用其良好的吸附性, 进行浸热肥皂水及浸油(锭子油、机油或变压器油)处理	膜层黑亮, 有防护和装饰效果。广泛用于各种精密仪器、光学仪器、机械零件及各式武器上作防护装饰 氧化也用于铝、铜、镁等有色金属及合金, 以提高耐蚀性或作油漆底层。但处理溶液及膜的组成、颜色、性质随合金不同而异

续表

名称	操作	特点	应用
磷化	<p>磷化是将工件置于含有锰、铁、锌的磷酸盐溶液中处理,使工件表面生成一层难溶于水的磷酸盐薄膜的过程,又称磷酸盐处理</p> <p>磷化按操作温度可分为高温、中温、低温(冷)磷化三种类型</p>	<p>磷化膜厚度约为3~20<math>\mu\text{m}</math>,呈灰或暗灰色。与金属基体结合较好,在大气条件下很稳定,在有机油类、苯、甲苯及各种气体燃料中有很好的耐蚀性,耐蚀能力为氧化膜的2~10倍以上。但不耐酸、碱、氨、海水及水蒸气等。膜经重铬酸盐封闭后,耐蚀性可大为提高</p> <p>磷化膜与油漆涂层有良好的结合力;膜层的电绝缘性很高,涂绝缘漆后可耐1000~1200V;膜层具有多孔性,可吸附大量润滑油而减小摩擦;膜层具有不黏附熔融金属的特性</p> <p>磷化膜的使用温度一般在150<math>^{\circ}\text{C}</math>以下,但可经受400~500<math>^{\circ}\text{C}</math>的短时烘烤,温度过高则耐蚀性下降</p> <p>磷化后基体的力学性能、强度、磁性等基本不变。但膜本身硬度、强度较低,有一定脆性</p>	<p>用作一般机械零件、制品的保护层和油漆底层;用于冷冲压、冷镦时的减摩和防裂;用于电机、变压器等电磁装置的硅钢片和要求绝缘的钢件,在不影响透磁的情况下提高绝缘性;还可作热浸锌、浸铅-锡及浇铸电机铝转子的钢模的防粘保护层</p> <p>在国防工业上,可作各种武器的防护层和润滑层;航空发动机上的燃油及润滑油系统的导管、飞机操纵系统上的高压气瓶内腔,起落架轮轴以及其他类似零件也常用磷化膜作保护层</p> <p>磷化不仅用于黑色金属,也用于锌、镉、铝等有色金属及其合金</p>
钝化	<p>钝化是将金属置于亚硝酸盐、硝酸盐、铬酸盐或重铬酸盐溶液中处理,使金属表面生成一层铬酸盐钝化膜的过程,又称铬酸盐处理</p>	<p>铬酸盐钝化膜主要由三价铬与六价铬的化合物以及基体金属的铬酸盐组成。外观随合金成分、膜厚而变化,可由无色到彩虹色或棕黄色。膜层具有良好的耐蚀性和装饰性;膜层紧密,与基体结合较好,对基体金属可起隔离保护作用。膜中的三价铬不溶于水,构成膜的骨架,使膜有较高的强度与化学稳定性。而六价铬是可溶性的,在膜中起填充作用,在潮湿大气中,即使膜被划伤,六价铬也能溶于水生成铬酸盐,使划伤处重新钝化而具有自愈合能力</p>	<p>常作为锌、镉镀层的后处理,以提高镀层的耐蚀性;用作铝合金、镁合金、铜及铜合金等的防护;在航空工业和其他部门,还用来代替铝的阳极氧化膜用;对于黑色金属,较少单独使用,多是用来封闭磷化层,增强防腐能力;也用于保护金属在防腐施工前不再生锈,并提高漆膜的附着力</p>

## 金属着色处理

表 1-7-32

材料	着色技术	颜色	应用
铝和铝合金	<p>自然发色法</p> <p>交流电解着色法</p> <p>吸附染色法(化学染色法)</p>	<p>青铜色、茶色、红棕色、琥珀色、金黄色、褐色、黑色</p> <p>青铜色、古铜色、浅黄、黑色、深古铜色、金绿色、红褐色、粉红色、淡紫色、赤紫色、褐色</p> <p>用有机染料染色:黑色、红色、蓝色、金黄色、绿色</p> <p>用无机染料染色:黄色、褐色、黑色、金黄色、橙黄色、白色、暗棕色</p>	着色氧化膜在轻工、建筑等方面应用激增
铜及铜合金		<p>绿、黑、蓝、红等基调色,并派生出古铜色、金黄色、古褐色、褐色、蓝黑色、淡绿色、紫罗兰色、橄榄绿色、巧克力色、灰绿色、灰黄色、红黑色等</p>	用于装饰光学仪器及美术
不锈钢	<p>表面化学氧化着色法</p> <p>电解着色法</p> <p>氧化着色法</p>	<p>仿金色、巧克力色、黑色等氧化着色</p> <p>褐色、金黄、红、绿等不同色</p> <p>此法所显示出的色彩并非形成的有色表面覆盖层,而是表面形成的无色透明氧化膜对光的干涉而呈现出各种色彩</p>	



## 12 喷丸、滚压和表面纳米化

### 喷丸原理与应用

表 1-7-33

分类	原 理	应 用
喷丸除锈	<p>以压缩空气带动铁丸通过专门工具,高速喷射于金属表面,利用铁丸的冲击和摩擦作用,清除金属表面的铁锈及其他污染,并得到有一定表面粗糙度的、显露金属本色的表面</p> <p>对于铝质表面的漆层可用喷塑料丸清除</p>	为了提高防护层的结合力
喷丸强化	<p>利用压缩空气(或离心式喷丸机)将淬硬钢丸(一般为锰钢丸,直径为0.8~1.2mm,硬度为47~50HRC)喷射到金属表面,利用喷丸的冲击,使金属表层产生极为强烈的塑性变形,形成0.1~0.8mm深的强化层,强化层内组织结构细密,又有较高残余压应力,从而提高了零件表面对塑性变形和断裂的抗力,特别是对在交变载荷下工作的零件的疲劳强度和寿命的提高更为明显。同时使零件表面缺陷和机加工带来的损伤减少,降低应力集中</p> <p>喷丸强化的特点主要有:①显著提高弯曲、接触、应力腐蚀等疲劳强度;②材料的强度越高,表面强化效果越好,因此钢的喷丸强化效果优于其他金属或合金;③喷丸强化能减弱或消除许多表面缺陷,使表层浅的缺陷压合,产生超过缺陷深度的压应力层,不受工件表面状态的限制;④喷丸强化不改变工件表面材料的化学成分,适合于对特殊材料的处理</p> <p>喷丸强化一般对拉伸面起作用,而对压缩面不起作用,因此板簧的喷丸只在凹面进行</p>	<p>用在承受交变应力下工作的零件可以大大提高其疲劳强度,如汽车板簧、螺旋弹簧、轴类、连杆等喷丸处理后,均可使寿命提高几倍</p> <p>处理质量一般应以最佳喷丸应力表示(但目前有些工厂在衡量板簧喷丸质量时是用板簧片弧高的变化<math>\Delta H</math>来表示)</p> <p>喷丸的直径、材料、硬度以及喷速等对喷丸强化处理质量都有直接影响,必须注意</p>

### 滚压原理与参数

表 1-7-34

分类	原 理	参 数	应 用
外圆滚压	利用滚压工具在常温状态下对零件表面施加压力,使金属表面产生塑性变形,修正零件表面的微观几何形状,降低表面粗糙度;同时使零件表面层的金相组织改变,形成有利的压应力分布,提高零件疲劳强度以及耐磨性和硬度	滚压前零件表面粗糙度应有 $R_a 6.3\mu\text{m}$ 或更低,滚压速度 $v = 30 \sim 200\text{m}/\text{min}$ ,走刀量 $s = 0.10 \sim 0.15\text{mm}/\text{r}$ ,实际滚压深度 $t = 0.01 \sim 0.02\text{mm}$ ,滚压时滚轮切线点应比零件中心约高1mm	可滚压圆柱形或锥形内外表面,曲线旋转体的外表面、平面、端面、凹槽、台阶轴的过渡圆角及其他形状的外表面,例如轴类、汽、液缸体内壁,活塞杆、锻锤杆等,特别是对受反复载荷零件的疲劳强度的提高效果显著。对有色金属、碳钢、合金钢和铸铁都适用。采用滚压工艺,可以在各种大、中、小型车床上进行。滚压后,零件表面粗糙度可以从 $R_a 6.3 \sim 3.2\mu\text{m}$ 降低到 $R_a 0.8 \sim 0.32\mu\text{m}$
内圆滚压		$v = 40\text{m}/\text{min}$ , $s = 0.08 \sim 0.15\text{mm}/\text{r}$ $t = 0.015 \sim 0.025\text{mm}$ 滚轮直径一般比待加工孔径大0.12mm左右	
深孔滚压		滚压时滚柱与零件有 $0^\circ 30'$ 或 $1^\circ$ 的斜角, $v = 60 \sim 80\text{m}/\text{min}$ , $s = 0.15 \sim 0.25\text{mm}/\text{r}$ ,一般钢材滚压过盈量为0.12mm,滚压后孔径增大0.02~0.03mm	

注:滚压参数应根据工件材料、硬度、壁厚等条件,通过实验得出。

## 滚珠滚压加工对碳钢零件表面性质的改善程度

表 1-7-35

钢号	滚压前性质		滚压用量				滚压结果		
	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	硬度 HB	压力/N	走刀量 $/\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$	滚珠直径 /mm	速度 $/\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	硬度增长 /%	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	强化层深度 /mm
20	12.5	140	1500	0.15	30	120	80	0.2	2
45	3.2	190	1800	0.06	10	60	65	0.4	2.5
T7	3.2	180	2500	0.12	10	60	50	0.4	2

## 表面强化使疲劳强度增加的百分数

表 1-7-36

%

表面强化的种类	轴				曲轴
	截面不变的		有显著应力集中的		
	$d = 10 \sim 20\text{mm}$	$d = 40\text{mm}$	$d = 10 \sim 20\text{mm}$	$d = 40\text{mm}$	
渗氮	20 ~ 40	10 ~ 15	100 ~ 200 <sup>①</sup>	100	30(60)
高频淬火	20 ~ 60	—	70 ~ 100	50 ~ 100 <sup>②</sup>	—
喷丸 <sup>④</sup>	20	10 ~ 20	> 50	30 ~ 50	15 ~ 25
滚压 <sup>⑤</sup>	30	20 ~ 30	40 ~ 100 <sup>③</sup>	40 ~ 80 <sup>③</sup>	60(100 <sup>④</sup> )

① 较小的数值用于横向孔应力集中的情况。

② 在整个应力集中区域全进行淬火并且保持塑性中心。

③ 轴上装配压合零件之凸起部分经碾压者；碾磨阶梯式轴的过渡圆角；用冲头锤打在具有横向孔的轴中的孔边。碾磨曲轴的圆角。

④ 碾磨曲轴的圆角。

⑤ 当受热及在长期工作条件下，因冷作而强化的影响变弱，括号中的数字需要补充检验。

表 1-7-37 喷丸处理对汽车变速箱齿轮弯曲疲劳强度和接触疲劳强度的影响<sup>[49]</sup>

喷丸工艺	弯曲疲劳试验			接触疲劳试验		
	寿命范围 $/10^6$	平均寿命 $/10^6$	相对寿命	寿命范围 $/10^6$	平均寿命 $/10^6$	相对寿命
未喷丸	0.167 ~ 1.83	0.998	1.00	3.15 ~ 4.41	3.78	1.00
一般喷丸	2.30 ~ 2.77	2.54	2.54	1.89 ~ 2.23	2.06	0.545
加强喷丸	2.20 ~ 4.48	3.34	3.35	4.92 ~ 5.31	5.115	1.35

注：东风汽车公司早在 20 世纪 70 年代，用喷丸强化解了汽阀弹簧和变速箱 1-倒挡齿轮的早期断裂问题，显示喷丸处理可显著提高汽车变速箱齿轮的弯曲疲劳强度和接触疲劳强度。该工艺目前已成为汽车悬挂弹簧的常规处理方法。



各种表面强化方法的特点

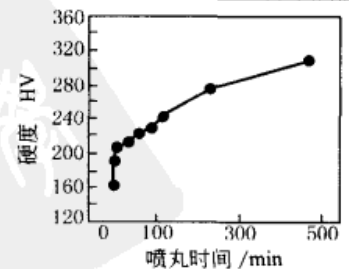
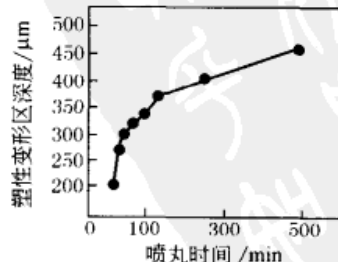
表 1-7-38

类别	强化方法	表面层组织结构	硬化层厚度 /mm		可获得的表面硬度或变化	表层残余应力 /MPa	适用材料
			最小	最大			
表面形变强化、 表面抛光、磨光、 流体抛光	喷丸	亚晶粒碎化 高密度位错	0.4	1.0	增加 20% ~ 40%	压应力 4 ~ 8	钢、铸铁、 有色金属
	滚轮磨光		1.0	2.0	增加 20% ~ 50%	压应力 6 ~ 8	
	流体抛光		0.1	0.3	增加 20% ~ 40%	压应力 2 ~ 4	
	金刚砂磨光		0.01	0.20	增加 30% ~ 60%	压应力 8 ~ 10	
化学热处理	渗碳	马氏体 + 粒状碳化物	0.5	2.0	60 ~ 65HRC	压应力 4 ~ 10	低碳钢
	氮化	合金氮化物	0.05	0.60	650 ~ 1200HV	压应力 4 ~ 10	钢、铸铁
	渗硼	硼化物	0.07	0.15	1300 ~ 1800HV	—	
	渗钒	碳化钒	0.005	0.02	2800 ~ 3500HV	—	
	渗硫	低硬度硫化物(减摩)	0.05	1.0	—	—	
表面冶金强化	表面冶金涂层	固溶体 + 化合物	0.5	2.0	200 ~ 650HB	拉应力 1 ~ 5	钢、铸铁、有色金属
	表面激光处理	细化组织			1000 ~ 1200HV	—	钢
	表面激光上釉	非晶态			Fe-P-Si 1290 ~ 1530HV	—	
表面薄膜强化	镀铬	纯金属	0.01	1.0	500 ~ 1200HV	拉应力 2 ~ 6	钢、铸铁、有色 金属
	化学气相沉积	TiC、TiN	0.001	0.01	1200 ~ 3500HV	—	
	离子镀	Al膜、Cr膜等	0.001	0.01	200 ~ 2000HV	—	
	化学镀	Ni-P、Ni-B	0.005	0.1	400 ~ 1200HV	—	
	电刷镀	高密度位错	0.005	0.3 ~ 0.5	200 ~ 700HV	—	

表面纳米化<sup>[49]</sup>

表 1-7-39

特点	<p>① 纳米金属材料由于晶粒细小,界面密度高,表现出独特的力学性能和物理化学性能。因此,利用纳米金属的优异性能对传统工程金属材料进行表面结构改良,即制备出一层具有纳米晶体结构的表面层,提高工程材料的综合力学性能和环境服役行为</p> <p>② 由于表面纳米层晶界密度高,晶界作为易快速扩散传质的通道,可以降低渗碳、渗氮的温度,缩短渗透时间,改善渗层质量</p> <p>③ 另外,表面纳米化还可有效抑制裂纹萌生,内部粗晶组织可减缓其扩展,提高材料的抗疲劳强度</p>
制备方法	<p>传统的纳米金属制备方法,如金属蒸发凝聚-原位冷压成形法、机械研磨法、非晶晶化法和电解沉积法等,由于制备技术复杂、成本太高,限制了纳米材料在工业上的实际应用。近年来,随着高速、高精度度喷丸喷射机的开发成功,利用喷丸技术可成功实现金属表面的纳米化。目前利用超音速喷丸技术,已可以在平板类、轴类、发动机的叶片等复杂工件上实现表面纳米化</p>
举例	<p>① 对 316L 不锈钢表面进行 30s 的轰击后,表层显微组织形成了结晶位向为任意取向的纳米晶相,晶粒平均尺寸为 10nm,硬化层深度达 5 ~ 30<math>\mu</math>m</p> <p>② 将 SS400 钢对接接头进行高能喷丸处理,其硬度和疲劳寿命得到显著提高:母材 HAZ 和焊缝三个区域的硬度在喷丸处理前分别为 148HV、212HV 和 277HV,处理后增加为 494HV、501HV 和 483HV。疲劳试验结果显示,当疲劳寿命为 <math>2 \times 10^6</math> 周时,高能喷丸处理使焊接接头的疲劳强度提高了 79%</p> <p>③ 采用高能喷丸技术对工业纯钛进行表面纳米化处理,发现喷丸时间对材料的塑性变形和显微硬度有明显的影响(见图 a 和图 b)</p>



(a) 塑性变形区的深度随喷丸时间的变化

(b) 表面显微硬度随时间的变化

## 13 高能束表面强化技术<sup>[49]</sup>

### 高能束表面强化技术的含义、特点及比较

高能束表面强化技术是采用  $10^3 \text{ W/cm}^2$  以上功率密度的高能束流集中作用在金属表面, 通过表面扫描或伴随有附加填充材料的加热, 使金属表面由于加热、熔化、气化而产生冶金、物理的、化学的或相结构的转变, 达到金属表面改性目的的加工技术。有电子束表面强化技术、离子束表面强化技术、激光束表面强化技术等。

高能束是能供给材料表面不低于  $10^3 \text{ W/cm}^2$  功率密度的能源。包括: 激光束、电子束、离子束、电火花、超高频感应冲击、太阳能和同步辐射等, 如下表:

各种高能束的功率密度和相关参数	类型	功率密度 $/\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$	峰值密度 $/\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$	材料表面吸收的能量 密度 $/\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	处理能力 $/\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2}$	能源类型	激光束表面强化方法采用激光束功率密度和作用时间	工艺方法	功率密度 $/\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$	作用时间/s
	激光束	$10^4 \sim 10^8$	$10^8 \sim 10^9$	$10^5$	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	光		相变硬化	$10^3 \sim 10^4$	0.01 ~ 1
	电子束	$10^4 \sim 10^7$	$10^7 \sim 10^8$	$10^6$	$10^{-6} \sim 10^{-5}$	电子		重熔	$10^4 \sim 10^6$	
	离子束	$10^4 \sim 10^5$	$10^6 \sim 10^7$	$10^5 \sim 10^6$	1 ~ 10	强磁场下微波放电		合金化		
	超声波	$10^4 \sim 10^5$	$10^5 \sim 10^6$	$10^5 \sim 10^6$	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	超声波振动		熔覆	$10^6 \sim 10^8$	$10^{-7} \sim 10^{-6}$
	电火花	$10^5 \sim 10^6$	$10^6 \sim 10^7$	$10^4 \sim 10^5$	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	电气		非晶化		
	太阳能	$1.9 \times 10^3$	$10^4 \sim 10^5$	$10^5$	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	光		冲击硬化	$10^8 \sim 10^{10}$	
	超高频感应冲击	$3 \times 10^3$	$10^4$	$10^4$	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	电感应				

### 激光束、电子束表面强化和离子束注入技术的分类、特点及应用

表 1-7-40

	激光束表面处理技术	离子束注入技术	电子束表面处理技术
含义、分类	是通过激光(激光束)与材料的相互作用,使材料表面发生要求的物理化学变化,利用激光的高亮度、高方向性和高单色性,对材料表面进行各种处理,显著改善其组织结构和性能。设备一般由激光器、功率计、导光聚焦系统、工作台、数控系统、软件编程系统等构成。典型工艺有相变硬化、重熔、合金化、熔覆、非晶化、冲击硬化、脉冲激光沉积、表面烧蚀沉积	是将所需的气体或固体蒸气在真空系统中电离,引出离子束后,用数千至数十万电子伏加速轰击工件表面直接注入工件,达到一定深度,从而改变材料表面的成分、结构,改善表面性能的真空处理工艺 离子束处理技术主要有离子束刻蚀、离子束镀膜、离子镀、离子注入四种,其中前3种都是利用离子的溅射效应,最后一种则是基于离子注入效应	通常由电子枪阴极灯丝加热后发射带负电的高能电子流,通过一个环状的阳极,经加速射向工件表面,电子能深入金属表面一定深度,与工件金属的原子核及电子发生相互作用,能量以热能形式传给工件,达到改善表面性能的目的 电子束加热的深度和尺寸比激光大。但电子束是在真空中工作的,因而,推广受到限制,如工件尺寸大、大批量流水线生产时则不适宜。典型工艺有表面淬火、熔凝、熔覆、合金化

	激光束表面处理技术	离子束注入技术	电子束表面处理技术
特点	<p>① 加热冷却速度快,处理效率高</p> <p>② 激光能量、光斑大小和形状以及激光作用时间可以精确控制,处理效果好</p> <p>③ 只在需要的部位进行处理,热输入低,工件热变形小甚至基本无变形</p> <p>④ 激光束易于传输和导向,因此,可以对复杂零件表面进行处理,如深孔、沟槽表面、管状零件内壁等</p> <p>⑤ 易于实现自动化控制,劳动生产率高</p> <p>⑥ 节省能源,不产生环境污染</p> <p>⑦ 激光处理可与热处理和热-化学处理、喷丸处理(激光处理前后均可)、热喷涂、放电加工(EDM)沉积或爆炸、离子注入、制作薄膜层化学气相沉积和物理气相沉积过程结合。将激光加热与机加工结合能加工其他方法难以加工的材料</p> <p>激光处理的优点与电子束处理类似,但免除了电子束处理中有害 X 射线、真空以及表面需去磁的限制。其不足是需要严守安全规程,提高表面的能量吸收,镜面的寿命短,激光器设计复杂,价格昂贵,但由于激光处理的工件寿命可提高数十个百分点乃至几倍,总体看优点大</p>	<p>① 可根据需要获得不同的引出离子,注入到各种各样的固态物质中,并不受固体溶解度和扩散系数的限制,即在常规下互不共溶的元素,也能实现掺杂。因此,用这种方法可获得不同于平衡结构的特殊物质,方便开发新材料</p> <p>② 离子注入和注入后的温度可任意控制,且在真空中进行,不氧化、不变形、不发生退火软化,表面粗糙度一般无变化,可作为最终工艺</p> <p>③ 可控性和重复性好。改变离子源和加速器能量,可以调整离子注入深度和分布;通过可控扫描机构,不仅可实现在较大面积上的均匀化,而且可以在很小范围内进行局部改性</p> <p>④ 可获得 2 层或 2 层以上性能不同的复合材料。复合层不易脱落。注入层薄,工件尺寸基本不变</p> <p>现存缺点:注入层薄(<math>&lt; 1\mu\text{m}</math>);离子只能直线行进,不能绕行,对于复杂的、有内孔的零件不能进行离子注入;设备贵</p>	<p>① 加热和冷却速度快。将金属材料表面由室温加热至奥氏体化温度或熔化温度仅几分之一到千分之一秒,其冷却速度可达 <math>10^6 \sim 10^8\text{ }^\circ\text{C/s}</math></p> <p>② 与激光比使用成本低。电子束设备一次性投资仅为激光的 1/3,每瓦约 8 美元,而大功率激光器每瓦约 30 美元,电子束实际使用成本也只有激光处理的 1/2</p> <p>③ 结构简单。电子束靠磁偏转动、扫描,而不需要工件转动、移动和光传输机构</p> <p>④ 电子束与金属表面偶合性好。电子束所射表面的角度除 <math>3^\circ \sim 4^\circ</math> 特小角度外,电子束与表面的偶合不受反射的影响,能量利用率达 90% 以上,远高于激光。因此电子束处理工件前,工件表面不需加吸收涂层</p> <p>⑤ 电子束能量的控制比较方便,通过灯丝电流和加速电压很容易实施准确控制(比激光束方便)。根据工艺要求,很容易实现计算机控制</p> <p>⑥ 电子束加热时,材料表面的熔化层至少有几个微米厚,这会影晌冷却阶段固-液相界面的推进速度。其加热时能量沉积范围较宽,而且约有一半电子作用区几乎同时熔化。其加热的液相温度相对激光加热偏低,因而温度梯度较小</p> <p>⑦ 当使用电压超过 150kW 时,电子束易激发 X 射线,使用过程中应注意防护</p> <p>⑧ 电子束处理前,工件需进行消磁处理</p>

激光表面强化技术的应用	激光相变硬化	是在激光作用下使材料表面快速加热至奥氏体化温度,随后通过热量往基体内部的传导,被加热表面以很快的速度冷却,从而获得细小的马氏体组织,以提高零件表面的耐磨性,并通过在表面产生压应力来提高疲劳强度。仅适用于固态具有多形性转变的钢铁类材料
	激光熔覆	是以激光束为热源在零件表面熔接一层成分和性能完全不同于基体而又与基体具有冶金结合的合金表层,以提高表面的耐磨、耐蚀性能。与表面合金化不同,激光熔覆要求基体材料仅表面一极薄层熔化,以保证熔覆材料最大限度地不被熔化的基体材料所稀释(稀释将降低熔覆层的性能)。这种合金熔覆层基本保持其原有成分和性质不变。比之合金化,激光熔覆能更好地控制表层的成分、厚度和性能
	激光重熔	是在激光作用下使材料表面局部区域快速加热至熔化,随后借助于冷态的金属基体的热传导作用,使熔化区域快速凝固,形成组织结构极其细小的非平衡铸态组织,硬度高,耐磨、耐蚀性好。当扫描速度很快或激光作用时间很短时,对于有些合金,熔化层快速凝固后将得到非晶表面,有极好的耐磨损和耐蚀性能,这就是激光非晶化,有时也称为激光玻璃化

续表

激光表面强化技术的应用	改进材料表面性能	<p>是在激光重熔的基础上通过向熔化区内添加一些合金元素,熔化的基体材料和添加的合金元素由于激光熔池的运动而得到混合,凝固后形成以基体成分为基础而又不同于基体成分的新的合金层,以达到所要求的使用性能。在熔化区内不仅可以添加合金元素,而且还可以添加一些碳化物类等硬质粒子,这些硬质粒子将镶嵌在合金化的基体中,从而使表面的硬度和耐磨性获得提高</p> <p>激光合金化具有很高的冷却速度。这种快速冷却的非平衡过程可使合金元素在凝固后的组织达到极高的过饱和度,形成普通合金化方法很难获得的化合物、介稳相和新相,且晶粒极其细小。激光合金化既可以在合金元素用量很小的情况下获得高性能的合金化表层,也可以获得合金含量高、常规方法无法获得或不可能获得的具有特殊性能的合金层。激光合金化为创造新的合金表层提供了广泛的可能性</p>
	激光冲击硬化	<p>是将极高功率密度的激光束作用于材料表面,使其在极短的时间内发生爆炸性气化。原子从表面逸出时形成巨大的冲击波,其产生的压力可以高达 <math>10^4</math> MPa 以上,这一压力远远高于材料的动态屈服点而使材料表面产生强烈的塑性变形,而造成组织中位错密度增加形成亚结构。这种组织能大大提高材料的表面硬度、屈服强度和疲劳寿命,从而使材料性能大为改善。实践表明,用激光对 7075 铝合金进行冲击强化后疲劳强度可以提高 3 倍左右,抗裂纹扩张性能也大为提高。铝合金构件的焊缝强度采用激光冲击硬化处理后可恢复到接近母材数值</p>
	沉积薄膜	<p>是将高功率脉冲激光束聚焦在放置于真空室中的靶材表面,使靶材表面产生高温 (<math>T \geq 10^4</math> K),蒸发、电离、膨胀而形成羽辉,羽辉到达基片,在其上淀积成膜。目前所用脉冲激光器中以准分子激光器能量效果最好,已能够制备从高温超导薄膜到类金刚石薄膜的几乎所有薄膜。采用 PLD 成膜方法易于在较低温度(如室温)下制备和靶材成分一致的多元化合物薄膜,尤其适于高熔点及含易挥发成分膜材的制备。该法具有易于引进新技术的特点,在高质量纳米薄膜、外延单晶膜、多层膜及超晶格薄膜的生长方面具备广阔的应用前景</p>
	激光化学气相沉积(LCVD)	<p>是在传统化学气相沉积(CVD)的基础上发展起来的、利用激光形成薄膜的一项新技术。CVD 是在高温下利用气态物质在固态工件表面上进行化学反应生成固态沉积薄膜的过程。LCVD 是指利用激光诱导的化学反应产生游离原子或分子沉积在基材表面形成薄膜的技术,其产生的化学反应包括反应气体相、基片表面吸附相和基片表面的热化学反应、光化学反应和等离子体反应等</p>
	表面清洗	<p>是基于激光与物质相互作用效应的一项新技术。它采用高能激光束照射到待清洗的工件表面,使表面的污物、锈斑或涂层产生瞬态超热,发生气化挥发;或在基体表面瞬间产生热膨胀,该膨胀导致的平均加速度相当巨大,所引起的热应力使得吸附在工件表面的微粒或油脂克服吸附力的束缚而向前喷射,从而达到洁净工件表面的目的。该过程大致包括激光气化分解、激光剥离、污物粒子热膨胀、基体表面振动和粒子振动等几个方面。以激光辐射清洗法和激光蒸发液膜法为实际常用方法。激光清洗技术去污范围广,运行成本低,易实现自动化操作,且不使用化学试剂,是一种高经济效益的“绿色清洗”技术</p>
制备纳米粉	<p>作为简单有效的气化样品手段,除了被扩展到脉冲激光沉积薄膜(PLD)技术上,也是当前激光制备金属、陶瓷、金属间化合物等纳米粉的主要工艺方法。当脉冲激光束作用到置于反应室中的靶材表面,靶材被瞬间 (<math>&lt; 10^{-3}</math> s) 加热到气化温度以上,发生高温光热化学反应,瞬时完成粒子成核长大,快凝成为纳米粉体。这是一个从固态到气态的直接相变过程,有利于制备平衡态下得不到的新相。所制备纳米粉体粒径均匀,可小于 10nm,纯度高,无烧结性团聚。该过程中,激光主要作用于固-气界面,随着对材料性能的新要求,采用激光烧蚀液-固界面的尝试也已开始</p>	

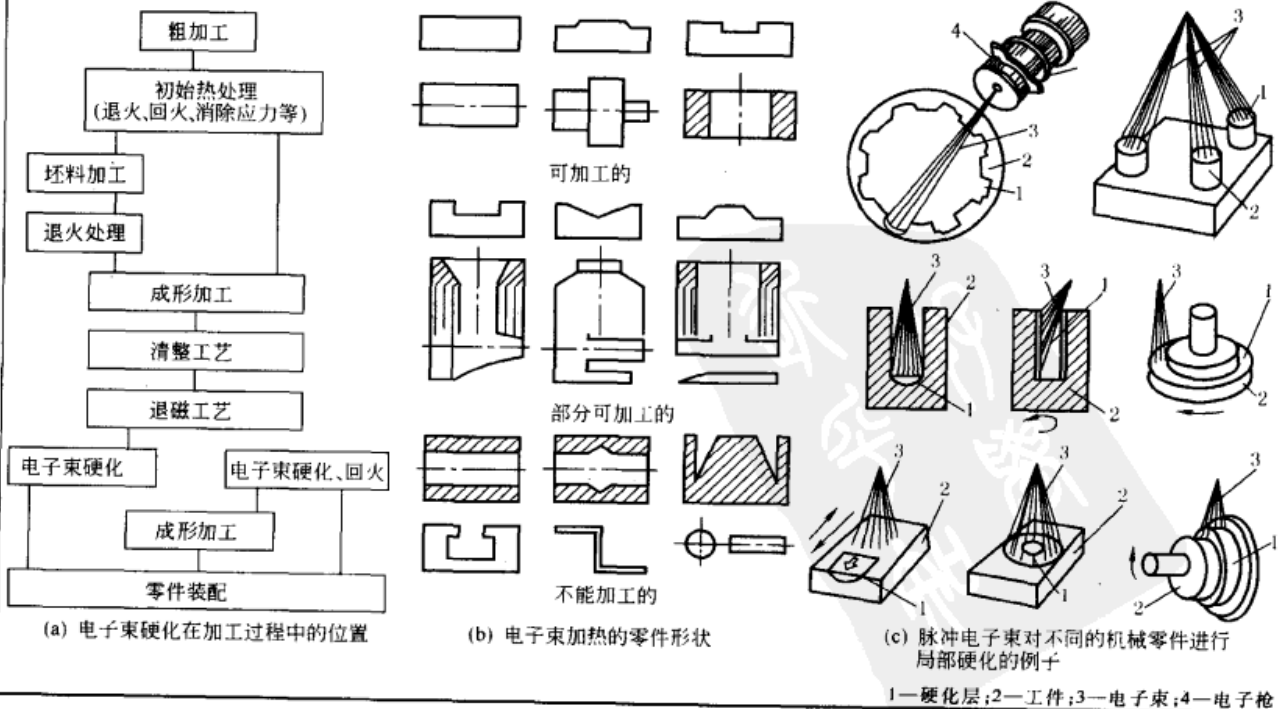
续表

离子注入技术的应用	提高耐磨性	基材 离子	钛合金 B	铜合金 B、N、P	钛合金 N、C、B	工具钢 N	钴合金 C、N、Cr + C	高合金钢 Ta、Ti + C	低合金钢 N	不锈钢 N	轴承钢 Ti + C	超合金 Y、C、N
	改善摩擦性能	基材 离子	钛合金 Sn、Ag	高合金钢 Sn、Ag、Au、Mo + S	低合金钢 Sn	不锈钢 C + Ti		改善疲劳性能	基材 离子	钛合金 N、C、Ba	高合金钢 N、Mn、C、B、Ni	低合金钢 Ni、Ti
	提高硬度	基材 离子	铝合金 N	钛合金 B	铜合金 N、C、B	钴合金 C、B	高合金钢 Ti + C	低合金钢 N	高速钢 N、B	烧结陶瓷 Y、N、Zr、Cr	铜合金 B、C、N、P	
	改善耐腐蚀性能	基材 离子	铝合金 Mo	铜合金 Cr、Al	钴合金 Cr、Sn	高合金钢 Cr、Ta、Y	低合金钢 Cr、Ta	超合金 N、C、Y、Ce	纯铜 N	医用合金 N		
	改善催化性能	基材 离子	金属材料陶瓷 Pt、Mo、Pd	消除氢脆	基材 离子	钢 Pt、Pd	更易形成氮化物	基材 离子	铜、铅 Ti、Mo	改变光学性能	基材 离子	玻璃、人造材料 Nb、Ti、Mo、Zr、Y

应用在表面工程中的注入技术主要是简单离子束注入及其后续加工所采用的反冲注入。该技术中，氮离子注入在工业范围内占主要优势，主要应用于切削及成形工具中，较少应用在机械零部件中。它可使工具的寿命提高2~10倍(见表1-7-41)。目前，在工业范围内，较为成熟的技术是锌、硅、碳等注入金属，在不久的将来，可用于实际的有硼、钛、锶、钇及其他金属元素的注入技术，以及不同元素的混合注入技术，如Ti + C、N + O、Mo + S、Cr + C。

电子束表面强化技术的应用

电子束无论是脉冲式还是连续式，均可用于加工不同表面粗糙度(但不超过 $R_a 40\mu m$ )及形状的零件，以及加工零件的不同部分，但应使被加工面与电子束垂直，最好是长且平整的表面或旋转对称面(见图b)，若偏差不超过一定程度，不与之垂直的表面也是可行的(见图c)。电子束加工的优点：能加工通常方法不能加工的表面，利用计算机控制可精确调整加热参数，消除变形，无污染，可加工精加工后的磨制表面，易实现自动化及在公差允许范围内的高度精加工，高效率、低能耗(效率达80%~90%)，不需冷却剂，加工过程有高度可重复性。其加工质量可与激光技术相媲美。电子束除了可以获得比传统强化工艺更高的硬度，还可以对一个选择的点精确地进行加热，这个点可以是非常小的尺寸，而且仅在被处理材料上很小的区域或微观区域里，可以保持非常小的硬化层厚度差，并且具有较小的淬火应力。电子束强化方法可使硬化后的材料尺寸不变，这一优点，使该工艺得到广泛应用。在电子束加工前，零件需进行消磁处理。一般非重熔加工不需要后续加工，但在有重熔发生的情况下，通常需要后续处理来使已加工表面达到合适的表面粗糙度。电子束完成硬化过程需要使用几千瓦到几十千瓦的加热器。电子束硬化的典型零件是汽车和农用机械的零部件、机械工具部件、滚珠轴承，例如大尺寸活塞环、联轴器、齿轮、曲轴、凸轮连杆、凸轮、轮缘、摇臂、环、涡轮叶片、模具切割边、铣削工具、车削刀具、钻具等。



续表

电子束表面强化技术的应用	电子束表面相变强化处理	用散焦方式的电子束轰击金属工件表面,控制加热速度为 $10^3 \sim 10^5 \text{ }^\circ\text{C/s}$ ,使金属表面加热到相变点以上,随后高速冷却(冷却速度达 $737 \times 10^5 \sim 737 \times 10^7 \text{ }^\circ\text{C/s}$ )产生马氏体等相变强化。此方法适用于碳钢、中碳低合金钢、铸铁等材料的表面强化处理
	电子束表面重熔处理	<p>利用电子束轰击工件表面使表面产生局部熔化并快速凝固,从而细化组织,达到硬度和韧性的最佳配合。对某些合金,电子束表面重熔可使各组成相间的化学元素重新分布,降低某些元素的显微偏析程度,改善工件表面的性能。目前,电子束表面重熔主要用于工模具的表面处理上,以便在保持或改善工模具韧性的同时,提高工模具的表面强度、耐磨性和热稳定性</p> <p>应用表面重熔技术,可使工具钢的硬度及耐磨性提高3倍,使冷作模具的使用寿命提高2.5~3倍;使车削刀具的使用寿命提高80%~90%,使共晶或过共晶铝合金的显微硬度提高30%~50%</p> <p>由于电子束表面重熔是在真空条件下进行的,表面重熔时有利于去除工件表层的气体,因此可有效地提高铝合金和钛合金表面处理质量</p>
	电子束表面合金化处理	先将具有特殊性能的合金粉末涂敷在金属表面上,再用电子束轰击加热熔化,或在电子束作用的同时加入所需合金粉末使其熔融在工件表面上,在工件表面上形成一层新的具有耐磨、耐蚀、耐热等性能的合金表层。电子束表面合金化所需电子束功率密度约为电子束表面相变强化的3倍以上,或增加电子束辐照时间,使基体表层的一定深度内发生熔化
	此外,电子束表面非晶化处理目前还处在研究阶段。电子束覆层、电子束蒸镀及电子束溅射也在不断发展和应用	

表 1-7-41

激光表面处理和离子注入技术应用实例<sup>[49]</sup>

零件及材料名称	工艺及设备 (应用单位)	效 果
汽车与拖拉机缸套	国产 1~2kW CO <sub>2</sub> 激光器 (西安内燃机配件厂)	提高寿命约 40%,降低成本 20%,汽车缸套大修期从 10 万~15 万公里提高到 30 万公里。拖拉机缸套寿命达 8000h 以上
手锯条(T10 钢)	国产 2kW CO <sub>2</sub> 激光器 (重庆机械厂)	使用寿命比国家标准提高 61%,使用中无脆断
发动机汽缸体	4 条自动生产线 2kW CO <sub>2</sub> 激光器 (中国第一汽车制造厂)	寿命提高 1 倍以上,行车超过 20 万公里
东风 4 型内燃机汽缸套	2kW CO <sub>2</sub> 激光器 (大连机车车辆厂)	使用寿命提高到 50 万公里
2-351 组合机导轨	2kW CO <sub>2</sub> 激光器 (中国第一汽车制造厂)	硬度和耐磨性远高于高频淬火的组织
硅钢片模具	美国 820 型横流 1.5kW CO <sub>2</sub> 激光器 (天津渤海无线电厂)	变形小,模具耐磨性和使用寿命提高约 10 倍
采油机汽缸套	HJ-3 型千瓦级横流 CO <sub>2</sub> 激光器 (青岛激光加工中心)	可取代硼缸套,耐磨性和配副性优良
转向器壳体	2kW 横流 CO <sub>2</sub> 激光器 (江西转向器厂)	耐磨性比未处理的提高 4 倍

零件及材料名称		工艺及设备 (应用单位)		效果
机床 导轨	铸铁	激 光	5kW CO <sub>2</sub> 激光器, 波导镜, 带宽 20mm, $v = 0.6\text{m/min}$	硬度: 650HV
定位环	C60		5kW CO <sub>2</sub> 激光器, 波导镜, 带宽 15mm, $v = 0.65\text{m/min}$	淬火深度: 1mm 硬度: 700HV
凸轮轴	铸铁		4.5kW CO <sub>2</sub> 激光器, 波导镜, 带宽 15mm, $v = 0.9\text{m/min}$	淬火深度: 1.2mm 硬度: 800HV
法兰 凸轮	42CrMo4V		① CO <sub>2</sub> 激光器, 4.7kW, 带宽 10mm, $v = 1.5\text{m/min}$ ② CO <sub>2</sub> 激光器, 5kW, 带宽 6mm, $v = 1.8\text{m/min}$	淬火深度: 0.3mm, 硬度: 500HV 淬火深度: 0.2mm, 硬度: 550HV
活塞环	耐热钢 $\phi 420\text{mm} \times 8\text{mm}$	激光重熔, 5kW CO <sub>2</sub> 激光器		重熔宽度: 4mm 重熔深度: 1.2mm
钛合金 工件	Ti6Al4V $\phi 200\text{mm} \times 20\text{mm}$	激光气体表面合金化, 5kW CO <sub>2</sub> 激光器, 氮气 30L/min, 扫描速度: 5mm/min		合金化宽度: 16mm(圆柱面、搭接) 合金化深度: 0.15mm, 硬度: 1800HV
阀杆 密封面	耐热钢 $\phi 60\text{mm}$	激 光 熔 覆	5kW CO <sub>2</sub> 激光器, Co 基合金粉末, 熔覆速度: $0.3\text{m/min}$	硬度: 650HV
活塞 摩擦面	耐热钢		CO <sub>2</sub> 激光 2kW, NiCrBSi/WS 粉末, 熔覆层厚度: 1mm, 熔覆速度: 1.2m/min	硬度: 620HV
活塞 摩擦面	耐热钢		5kW CO <sub>2</sub> 激光器, $v = 1.2\text{m/min}$ , 填充材料: 药芯焊丝	
辊环	低合金钢		CO <sub>2</sub> 激光器, 6kW, Co 基合金粉末, 熔覆层厚度: $1.5\text{mm} \times 3$ 层, 熔覆速度: 0.3m/min	硬度: 700HV
汽车 阀座	AlSi10Mg		CO <sub>2</sub> 激光器, 6.8kW, AlSi12 + Delom15 粉末, 熔 覆速度: 0.6m/min	硬度: 340HV
凹模	CrMo 耐热钢		5kW CO <sub>2</sub> 激光器, $v = 0.4\text{m/min}$	熔覆层深度: 1.5mm, 硬度: 600HV
螺旋	不锈钢	激光熔覆直接成形, CO <sub>2</sub> 激光器, 4kW, Delom50 粉末, 熔覆层厚度: 1.2mm $\times$ 5 层, 熔覆速度: 0.4m/min, 硬度: 610HV		

零件及材料名称		离 子	效 果	零件及材料名称		离 子	效 果
轴承、齿轮、阀、 模具	Fe 基合金	Ti <sup>+</sup> + C <sup>+</sup>	耐磨性	铜拉丝模	WC-CO	C <sup>+</sup>	5(寿命提高 倍数, 以下同)
外科手术器械	Fe 基合金	Cr <sup>+</sup>	耐蚀性	刀具	工具钢	N <sup>+</sup>	5
齿轮	Fe 基合金	Ta <sup>+</sup> + C <sup>+</sup>	抗咬合性	刀具	WC-CO	N <sup>+</sup>	2~4
海洋器件、化工 装置	不锈钢	P <sup>+</sup>	耐蚀性	切割塑料的 刀具	90% Mn、 8% V、 金刚石	N <sup>+</sup>	5
人工骨骼、宇航 器件	Ti 合金	C <sup>+</sup> 、N <sup>+</sup>	耐磨性、耐蚀性	模具	钢、WC、 WC-CO	N <sup>+</sup>	2~4
橡胶、塑料模具	Al 合金	N <sup>+</sup>	耐磨性、起模能力	贵金属铆接 砧板	D3	N <sup>+</sup>	2~5
宇航、海洋用 器件	Al 合金	Mo <sup>+</sup>	耐蚀性	轧辊(用于铝、 铜)	合金钢		3~6



续表

零件及材料名称		离子	效果	零件及材料名称		离子	效果	
铝罐、管挤压工具	D3	N <sup>+</sup>	3~5	金属钻头	工具钢	N <sup>+</sup>	0.2~6	
	铸模工具			钢	印刷线路板	高速钢	N <sup>+</sup>	4
丝锥	工具钢			8~10	石墨用钻	WC		6
细丝模	工具钢			3~4	滚铣刀	高速钢	N <sup>+</sup>	2~3
人造髋关节	钛合金	—	100	丝状切割器	高速钢	N <sup>+</sup>	5	
	Ti6Al4V	N <sup>+</sup>	400	环状切换器	高速钢		11	
原子炉构件、化工装置	Zr合金	N <sup>+</sup>	硬度、耐磨性、耐蚀性	注入器嘴、模	工具钢		2~10	
阀座、搓丝板、移动式起重机	硬Cr层	N <sup>+</sup>	硬度	燃料注入器	工具钢		100	
涡轮机叶片	超合金	Y <sup>+</sup> 、Ce <sup>+</sup> 、Al <sup>+</sup>	抗氧化性	精密航空轴承	M50、440C		更好耐蚀性	
				球轴承	4210钢	B <sup>+</sup>	3~5	
纺丝模口	超合金	Ti <sup>+</sup> + C <sup>+</sup>	耐磨性	球轴承	M50	Cr <sup>+</sup>	海水中腐蚀降低3倍	
电池	铜合金	Cr <sup>+</sup>	耐蚀性	球轴承	M50	Ti <sup>+</sup>	降低磨损和腐蚀	
轴承	Be合金	B <sup>+</sup>	耐磨性	玻璃纤维挤压器	工具钢	Ti <sup>+</sup>	显著降低磨损	
工具、刀具	WC + Co	N <sup>+</sup>	耐磨性	涡轮叶片	Ni钢	Y <sup>+</sup>	高抗氧化性	
牙钻	WC - Co	N <sup>+</sup>	2~3	蒸汽阀门	钢	Sn <sup>+</sup>	摩擦降低90%	
				泵部件	17-4PH	Ti <sup>+</sup> + C <sup>+</sup>	降低磨损	
零件及材料名称		离子类型及剂量	寿命提高倍数	零件及材料名称		离子类型及剂量	寿命提高倍数	
纸刀	1% C、1.6% Cr 钢	N <sup>+</sup> 8 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	2	铜拉丝模	WC-6% Co	N <sup>+</sup> 5 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	5	
塑料孔钻	高速钢	N <sup>+</sup> 8 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	5	注入器嘴	D3	N <sup>+</sup> 5 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	5	
乳液割刀	WC-6% Co	N <sup>+</sup> 8 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	12	螺纹板牙	M2 高速钢	N <sup>+</sup> 8 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	5	
铜条模具	WC-6% Co	C <sup>+</sup> 5 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	5	模具和冲头	2% C、12% Cr 钢	N <sup>+</sup> 4 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	显著降低粘着磨损	
钢拉丝模	WC-6% Co	C <sup>+</sup> 5 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	3	酚醛树脂用丝锥	M2 高速钢	N <sup>+</sup> 8 × 10 <sup>17</sup> /cm <sup>2</sup>	12	
离子混合的应用	基材	离子元素	混合元素、磁控溅射、离子镀	应用	基材	离子元素	蒸气沉积元素	应用
	Ti6Al4V	N <sup>+</sup>	Sn	耐磨性	钢	N <sup>+</sup>	B	超硬氮化硼
	超合金、钢	Ar <sup>+</sup>	Y	抗氧化性	钢	N <sup>+</sup>	Ti、Hf	强的黏结硬化层 (TiN、HfN)
	碳	Ar <sup>+</sup>	Pt	表面催化	任何材料	Ne <sup>+</sup>	Al、Cu、Au	小气孔率的强黏结金属层
	钢	Ar <sup>+</sup> 、Kr <sup>+</sup>	CrPd	耐蚀性	钢	Ne <sup>+</sup> 、He <sup>+</sup>	Cr、Ta	耐蚀涂层
	钛	Ar <sup>+</sup>	PtAl		任何材料	N <sup>+</sup>	Ti	PVD涂层的基材准备
	铁	Ar <sup>+</sup> 、Xe <sup>+</sup>	Cr	抗表面失泽性				
铜	Ne <sup>+</sup>	Al、Cr						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、石英、陶瓷、塑料	Ne <sup>+</sup> 、He <sup>+</sup>	Al、Cu、Au	改善黏结性					



## 14 涂 装

涂装是用有机涂料通过一定方法涂覆于材料或制件表面，形成涂膜的全部工艺过程。

涂装用的有机涂料是涂于材料或制件表面而能形成具有保护、装饰或特殊性能（如绝缘、防腐、标志等）固体涂膜的一类液体或固体材料的总称。早期大多数以植物油为主要原料，故有“油漆”之称，后来合成树脂逐步取代了植物油，因而统称为“涂料”。现在除呈黏稠液态的具体涂料品种仍可称“漆”外，其他为水性、粉末涂料等就不能称“漆”了。

### 涂装技术的涂层体系和涂料的设计选用

表 1-7-42

原则	涂层类型	性能要求		应用范围		设计选用										
一、根据涂层类型和性能要求确定涂层体系和涂料	装饰性涂层	一般装饰性涂层	漂亮、鲜艳，有良好的耐候性和耐潮湿性，允许有细小缺陷		一般汽车、仪器、仪表、家用电器、家具		<p>根据对装饰性能的要求确定涂层的层数、厚度，从光泽、丰满度、鲜艳性、耐候性等对工件的适应性上选择合适的涂料</p> <p>根据对防护性能（如耐盐雾性能、耐湿热性能、耐酸碱及化学物质性能）的要求，以及力学性能（如耐冲击性、韧性、硬度、附着力）的要求，来选择涂料，确定其涂层结构及厚度</p> <p>涂层体系的一般选择原则如下：</p> <p>① 一般装饰性涂装仅涂双层面漆</p> <p>② 一般防护装饰性涂装为底漆，2~3道面漆</p> <p>③ 中级涂装为底漆、中间涂层及双层面漆，或高质量底漆加双层面漆</p> <p>④ 高级涂装为底漆、中间涂层、双层面漆及罩光</p> <p>根据所选涂料的性能、质量情况，在保证涂装质量的情况下可简化涂层体系，减少层次</p> <p>一般涂层的防护能力和耐久性随膜厚的增加而增长</p> <p>涂层的耐久性一般可根据涂层的理化性质及其随时间的变化来估计。作为涂层材料所要求的理化性质，主要是对材料的附着性、吸水性及对氧、水汽的透过率等。就金属基材而言，按涂料对其附着力的大小，可将其排列为：镍 &gt; 钢 &gt; 铜 &gt; 黄铜 &gt; 铝 &gt; 锡。钢铁几乎对所有类型的底漆都能适用，而镁铝件及其合金通常采用以铬酸锌为基体的钝化底漆。对铝件及镀锌件绝不能用红丹颜料为底漆，否则会引起电化学作用，使附着力下降。不同涂料的理化性质数据多数可在有关资料中查找到</p> <p>应参照工程上已有的成功经验和新型有机涂料特性，设计和选择涂层体系及其厚度匹配。不同用途涂装层应控制的总厚度参见下表</p>									
		高级装饰性涂层	漆膜坚硬，优良的耐候性和耐潮湿性，无肉眼可见的缺陷		高级轿车、高档家具和室内艺术品											
	防护涂层	一般防护涂层	优良的耐酸、碱、电介质等腐蚀的能力和一定的力学性能		矿山机械、建筑桥梁及室外管道											
		重防护涂层	极优异的耐海水、多种化学物质等腐蚀的能力		海船、水下或地下管网、化工设备、码头及海上设备											
	防护装饰性涂层	一般防护装饰性涂层	在装饰性方面与一般装饰性涂层要求相当，但必须具有良好的耐腐蚀性		载重汽车、农机和一般机器设备											
		高级防护装饰性涂层	除具有高级装饰性涂层的要求外，还应有良好的耐候性和耐湿热温变等性能		轿车、面包车、高档摩托车											
	应控制的总厚度/ $\mu\text{m}$		涂层类别	总厚度	涂层类别	总厚度					涂层类别	总厚度	涂层类别	总厚度	一道涂层的厚度	约为
			一般性涂层	80~100	耐蚀涂层	100~150					耐磨耐蚀涂层	250~300	高固体分涂层	700~1000	通常油性涂料	30~35
			装饰性涂层	80~100	重耐蚀涂层	150~300					超重耐蚀涂层	300~500			合成树脂系列涂料	25~30
															无溶剂涂料	50~60和
										和特殊的原浆涂料	100以上					

续表

二、涂层的性能	<p>① 涂料和基材(被涂物)应匹配。如木材制品、纸张、皮革和塑料表面不能选用需要高温烘干的烘烤成膜涂料,必须采用自干或仅需低温烘干涂料。钢铁表面可选用铁红或红丹防锈底漆,而有色金属特别是铝及铝镁合金表面则绝对不能使用红丹防锈底漆,否则会发生电化学腐蚀,不仅起不到保护作用,还会加速腐蚀的发生,对这类有色金属要选择锌黄或锑黄防锈底漆。对塑料薄膜及皮革表面,则宜选用柔韧性良好的乙烯类和聚氨酯类涂料。水泥的表面因具有一定的碱性,可选用具有良好的耐碱性的乳胶涂料或过氯乙烯底漆。参见表 1-7-43 和表 1-7-46</p> <p>② 涂膜各层之间应匹配。底漆与面漆最好是烘干型底漆与烘干型面漆配套,自干型底漆与自干型面漆配套,同漆基的底漆与面漆配套。选用强溶剂的面漆时,底漆必须能耐强溶剂而不被咬起。此外,底漆和面漆应有大致相同的强度和伸张强度。硬度高的面漆与硬度很低的底漆配套,常产生起皱的弊病。醇酸底漆的油度比面漆的油度应小些,否则面漆的耐候性差,并且由于底、面漆干燥收缩的不同,易造成涂层的龟裂</p> <p>③ 在采用多层异类涂层时,应考虑涂层之间的附着性。附着力差的面漆(如过氯乙烯漆、硝基漆)应选择附着力强的底漆(如环氧底漆、醇酸底漆等)。在底漆和面漆性能都很好而两者层间结合不太好的情况下,可采用中间漆作为过渡层,以改善底层和面层的附着性能</p> <p>④ 应注意使用条件对配套性的影响。如在富锌底漆上不能采用油改性醇酸树脂面漆作水下设备的防护涂层,这是因为醇酸树脂的耐水性欠佳,当被涂物浸入水中使用时,渗过面漆的水常和底漆中的锌粉发生反应而生成碱性较强的氢氧化物,腐蚀金属基材,破坏整个涂层,所以在富锌底漆或镀锌的工件上采用耐水、耐碱性良好的氯化橡胶、聚氨酯、环氧树脂等涂料品种为宜,也可考虑使用具有良好封闭性能的中间漆作为封闭性中间涂层</p> <p>⑤ 涂料与施工工艺的配套。高黏度厚膜涂料一般选用高压无空气设备进行喷涂施工;高固体分涂料,如长效防腐玻璃鳞片涂料采用高压无空气喷涂时所得涂膜的防腐效果大大优于刷涂施工时的性能</p> <p>⑥ 涂料与辅助材料应匹配。辅助材料包括稀释剂、催干剂、固化剂、防潮剂、消泡剂、增塑剂、稳定剂、流平剂等。它们的作用主要是改善涂料的施工性能和涂料的使用性能,防止涂层产生弊病,但必须使用得当,例如,当过氯乙烯漆使用硝基漆稀释剂时,将会使过氯乙烯树脂析出,而胺固化环氧树脂涂料使用酯类溶剂作稀释剂时,涂膜固化速度将明显降低,影响涂膜性能</p>
三、从节能、节资和环保要求选择涂料	<p>1. 选用对环境无污染或少污染的涂料 水性涂料以水为分散介质,无毒,其应用日益广泛,已成为涂料发展的必然趋势。粉末涂料、无溶剂涂料和高固体分涂料对于减少环境污染和对人体的危害起了很大作用,其采用日益增多。溶剂型涂料对环境造成的污染和对人体造成的危害是不可忽视的</p> <p>2. 选用节能、节省资源的涂料 从涂料性能来讲,同类涂料一般是烘干型比自干型好,但烘干需要烘干设备,能源消耗大,采用自干型既省能源,施工也方便。目前许多涂料,如电泳漆、粉末涂料、各种烤漆均需烘烤成膜。选择低温、快速成形或自干型涂料是节能的主要途径,也是涂料研究的重要内容。电子束固化涂料、紫外线固化涂料以及高固体分涂料均属省资源涂料,但其品种少,正处于发展中</p> <p>3. 选用长效型涂料 普通涂料漆膜易损坏,寿命短,频繁的维护施工对于室外大型设备和构筑物尤为不便。选择长效型涂料,如新型的玻璃鳞片涂料及其他各种耐蚀涂料等,使用寿命达 10 年以上,可大大延长涂膜的维护周期,提高经济效益和社会效益</p> <p>4. 选用简化施工工艺的涂料 为方便施工,提高经济性,应考虑选择室温固化涂料;底、面合一涂料(即施工一道,既可形成底漆膜,又可形成面漆膜);对前处理要求低的涂料(如带锈底漆、带锈带水施工的涂料);特殊环境固化的涂料(如低温干燥涂料、水下固化涂料);一次成型的美术漆;一次涂装就能达到需要厚度的涂料等</p>

## 按不同因素选择涂料

表 1-7-43

按产品使用环境	涂装类别	产品使用环境	适用产品及部件范围	涂层总厚度和底漆厚度/ $\mu\text{m}$	推荐涂料品种(涂料性能)
	A 类	一般使用环境	安装在内陆地区的一般产品	80 ~ 120 35 ~ 60	底漆: C06-1 铁红醇的底漆, C06-11 铁红醇酸底漆, C53-1 红丹醇酸防锈漆, H06-2 铁红环氧酯底漆 面漆: C04-2 各色醇酸瓷漆, C04-42 各色醇酸瓷漆 (见表 1-7-46A 类产品)

涂装类别	产品使用环境	适用产品及部件范围	涂层总厚度和底漆厚度/ $\mu\text{m}$	推荐涂料品种 (涂料性能)
按产品使用环境	B类	沿海地区及腐蚀性较强的环境 安装在含有盐雾的沿海港口,有一定腐蚀的工业大气等地区作业的机械产品	150~220 50~100	底漆:H06-4 环氧富锌底漆,H06-2 铁红环氧酯底漆,H53-1 红丹环氧酯防锈漆,云铁环氧防锈漆,G06-4 锌黄、铁红过氯乙烯底漆 面漆:氯化橡胶漆,环氧树脂瓷漆,各色丙烯酸瓷漆,G04-2 各色过氯乙烯瓷漆,G04-9 各色过氯乙烯外用瓷漆 (见表1-7-46B类产品)
	C类	油的环境 与油类接触的部位或油介质的箱体、容器等	80~160 25~50	底漆:云铁环氧防锈漆,C06-1 铁红醇酸底漆,C06-11 铁红醇酸底漆,G06-4 铁红过氯乙烯底漆,聚氨酯耐油漆 面漆:G04-6 过氯乙烯油箱漆,C54-1 醇酸耐油漆,Q04-3 硝基内用瓷漆,C54-31 各色醇酸耐油漆,环氧耐油漆,聚氨酯耐油漆 (见表1-7-46C类产品)
	D类	高温环境 各种在高温环境下需涂漆保护的部件和产品	50~85 25~50	无机硅酸锌底漆(400 $^{\circ}\text{C}$ ),W61-32 铝粉有机硅耐热漆(300~350 $^{\circ}\text{C}$ ),W61-42 各色有机硅耐热漆(300 $^{\circ}\text{C}$ ),W61-37 各色有机硅耐热漆(300~400 $^{\circ}\text{C}$ ) (选用耐热漆的耐热性大于或等于使用环境的最高温度见表1-7-46D类产品)
	E类	强腐蚀性环境 长期受潮水和在潮湿、湿热条件下作业的机械及部件(包括地下管外表面) 在水下作业的机械及部件	230~270 60~195 250~300 125~250	底漆:H06-4 环氧富锌底漆,沥青漆 中间漆:云铁环氧防锈漆,环氧厚浆漆 面漆:氯化橡胶铝粉防锈漆,厚浆型氯化橡胶面漆、环氧沥青厚浆防锈漆 (见表1-7-46E类产品)

用途	涂料种类											
	油性漆	脂胶漆	大漆	酚醛漆	沥青漆	醇酸漆	过氯乙烯漆	乙烯漆	环氧漆	聚氨酯漆	有机硅漆	无机富锌漆
一般防护	✓	✓				✓						✓
防化工大气			✓		✓		✓					
耐酸			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		
耐碱			✓		✓		✓	✓	✓	✓		
耐盐类					✓		✓	✓	✓	✓		
耐溶剂			✓				✓	✓	✓	✓		✓
耐油			✓			✓	✓	✓	✓	✓		✓
耐水			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
耐热								✓	✓	✓	✓	✓
耐磨				✓				✓	✓	✓		✓
耐候性	✓			✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓

按不同金属	金属类别	底漆品种
	黑色金属	铁红纯酸底漆、铁红纯酚醛底漆、铁红酚醇底漆、铁红脂胶底漆、铁红过氯乙烯底漆、沥青底漆、磷化底漆、各色树脂的红丹防锈漆、铁红环氧底漆、铁红硝基底漆、富锌底漆、氨基底漆
	铝及铝镁合金	锌黄纯酚醛底漆、环氧底漆、钙黄丙烯酸底漆
	锌	锌黄纯酚醛底漆、磷化底漆、锌黄环氧底漆、环氧富锌底漆

续表

按不同金属	金属类别	底漆品种								
	镉	锌黄纯酚醛底漆、环氧底漆								
	铜及铜合金	氨基底漆、铁红醇酸底漆、磷化底漆、环氧底漆								
	铬	铁红醇酸底漆								
	锡	铁红醇酸底漆、磷化底漆、环氧底漆								
	镉铜合金	铁红纯酚醛底漆、酚醛底漆、环氧底漆、磷化底漆								
	钛合金	钙黄氯醋-氯化橡胶底漆								
	镁及其合金	锌黄、钙黄纯酚醛底漆、丙烯酸底漆、环氧底漆								
	铅	铁红醇酸底漆								

按底漆和面漆的配合	底漆类别	涂底漆的工艺				面漆类型					
		涂底漆	局部刮腻子		涂中间层	腻子修补	自干型面漆			烘烤型面漆	
							硝基瓷漆	高固体分硝基瓷漆	热塑性丙烯酸树脂瓷漆	氨基醇酸树脂涂料	热固性丙烯酸树脂涂料
硝基系	硝基系	硝基系	—	硝基系	—	○	○	○	×	×	
	—	硝基系	—	硝基系	—	○	○	○	×	×	
	—	—	—	硝基系	—	○	○	○	×	×	
	—	—	—	—	硝基系	○	○	○	×	×	
油性硝基系	—	硝基系	—	合成系	—	○	○	○	×	×	
	—	油性系	—	硝基系	—	○	○	○	×	×	
油性合成系	合成系	合成系	—	合成系	—	○	○	○	△	△	
	—	油性系	—	合成系	—	○	○	○	△	△	
	—	油性系	—	合成系	—	○	○	○	△	△	
	—	油性系	—	合成系	—	○	○	○	×	×	
	—	油性系	—	油性系	—	○	○	×	×	×	
	—	—	—	油性系	—	○	○	×	×	×	
	—	—	—	合成系	—	○	○	○	△	△	
聚酯腻子油性硝基系	聚氨酯类	聚酯系	油性系	油性系	—	○	○	○	×	×	
	磷化底漆	聚酯系	硝基系	硝基系	—	○	○	○	×	×	
	磷化底漆	聚酯系	油性系	合成系	—	○	○	○	×	×	
烘烤型	合成系	合成系	—	合成系	—	—	—	—	○	○	
	—	—	—	合成系	—	—	—	—	○	○	
	—	—	—	—	合成系	—	—	—	○	○	

注：○—配合良好；△—在一定条件下可用；×—不可用；硝基系—硝化纤维素底漆；油性系—油性清漆系底漆；合成系—合成树脂系底漆（如酚醛改性醇酸树脂涂料），包括各种电泳漆。

## 耐 热 涂 层

表 1-7-44

序号	表面预处理	涂 层 系 统	干 燥 规 范		涂层厚 度/ $\mu\text{m}$	涂层特性	用 途
			温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/h			
1	镁合金零件 化学氧化	① 浸一层 H01-2 环氧酚醛 清漆 ② 喷一层 H61-3 底漆 ③ 喷一层 H61-1 铝色耐 热漆	< 60 后 150 ~ 160 110 ~ 120	20 ~ 30min 3 4		较好的耐湿、耐盐 雾、耐海水和耐热 性能	涂于 300 $^{\circ}\text{C}$ 下工 作的耐热零件 (飞 机)
2	铝合金阳极 化; 镁合金化 学氧化或氟 化; 钢铁零件 机械加工、吹 砂磷化	① 涂一层 H61-1 环氧有机 硅聚酰胺铝粉漆 ② 涂第二层 H61-1 环氧有 机硅聚酰胺铝粉漆	室 温 室 温 后 100 ~ 120 或室温	30min 30min 4 ~ 3 7 天	20 ~ 30	对黑色金属、镁合 金、铝合金零件表面 具有较好的附着力, 较好的耐汽油、耐润 滑油、耐水、耐湿热、 耐盐雾与人工老化性 能, 漆膜坚硬耐久	涂于长期在 300 $^{\circ}\text{C}$ 温度下工作的 铝、镁、钢零件 (发动机)
3	磷化	① 喷一层 W61-25 铝色有 机硅耐热漆 ② 喷第二层 W61-25 铝色 有机硅耐热漆	室 温 后 150 ~ 170 室 温 后 150 ~ 170	30min 2.5 ~ 2 30min 2		较好的耐热性能, 经 500 $^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 、3h 后, 其抗冲击强度 $\geq 150\text{MPa}$	涂于在 300 ~ 500 $^{\circ}\text{C}$ 范围内工作的 钢零件 (发动机)
4	铝零件阳极 化或化学氧 化; 钢铁零件 吹砂、磷化	① 喷一层 H06-2 锌黄环氧 酯底漆或铁红环氧酯底漆 ② 喷一层 W61-1 铝粉有机 硅耐热漆	80 ~ 90 或 100 ~ 120 室 温 或 80 ~ 90 或 100 ~ 120	4 ~ 3 2 ~ 1 18 ~ 24 4 ~ 3 2 ~ 1		比两层 W61 耐热漆 涂层的附着力好, 但 耐热性稍低	涂于 200 ~ 250 $^{\circ}\text{C}$ 下工作的耐热零件 (飞机)
5	铝零件阳极 化或化学氧 化; 钢铁零件 吹砂、磷化	① 喷一层 W61-1 铝粉有机 硅耐热漆 ② 喷第二层 W61-1 铝粉有 机硅耐热漆	室 温 室 温 或 80 ~ 90 或 100 ~ 120	30min 18 ~ 24 4 ~ 3 2 ~ 1		有一定的耐蚀性, 能室温干燥, 但防护 性不如 H61-1 耐热漆	涂于 200 ~ 250 $^{\circ}\text{C}$ 下工作的耐热零件 (飞机)
6	吹砂、磷化	涂一层 600* 铝色有机硅耐 热漆	180 $\pm$ 5	2		经 600 $^{\circ}\text{C}$ 、200h, 具有耐高温抗氧化、 耐蚀性能, 瞬间使用 可耐 1200 $^{\circ}\text{C}$	适于 600 $^{\circ}\text{C}$ 下工 作的碳钢、高温合 金等高温部件

三防（防湿热、防盐雾、防霉菌）涂层系统<sup>[38]</sup>

表 1-7-45

基体材料	表面预处理	涂层系统		涂层厚度/ μm	涂层性能	说明
		底漆	面漆			
钢铁零件	无处理或有处理（吹砂、镀锌、镀镉、氧化、磷化）	H06-2 铁红环氧酯底漆	13-4 各色丙烯酸聚氨酯瓷漆	40~60	优良的力学性能、耐介质性能、“三防”性能，优异的耐候性。漆膜光亮、丰满，具有良好的装饰性	
			B04-6 白丙烯酸瓷漆	35~55	漆膜耐光、耐候性优良，不泛黄，在湿热气候下具有良好的稳定性	烘干（70~80℃）的漆膜比自干的漆膜防护性能好
			灰、黑色丙烯酸氨基半光瓷漆	40~60	漆膜坚硬，具有优良的耐候性能、“三防”性能和装饰性能	
			黑色丙烯酸氨基无光瓷漆	40~60	漆膜坚硬，具有优良的耐候性能、“三防”性能和装饰性能	
			丙烯酸氨基锤纹漆（银灰、蓝、绿、红色）	70~90	漆膜光泽好，防护性好，呈锤痕花纹	
			各色聚酯氨基橘形漆	80~100	花纹美观，色彩柔和，防护性能较好	
		无底漆	H61-1 铝色环氧有机硅聚酰胺耐热漆	40~60	漆膜坚硬、耐久，具有较好的附着力，耐汽油、耐润滑油、耐水、耐湿热、耐盐雾、耐霉菌，人工老化性能良好，耐热300℃	
	各色环氧粉末涂料	40~120	涂层致密，附着力好，防护性能好，但涂层不够平整			
铜及铜合金零件	钝化或氧化	H06-2 锌黄或铁红环氧酯底漆或不涂底漆	13-4 各色丙烯酸聚氨酯瓷漆	40~60	优良的力学性能、耐介质性能，优异的耐候性。漆膜光亮、丰满，具有良好的装饰性	有底漆的涂层防护性能比无底漆的好
			B04-6 白丙烯酸瓷漆	35~55	漆膜耐光、耐候性优良，不泛黄，在湿热气候具有良好的稳定性	必须与底漆配套使用
			灰、黑色丙烯酸氨基半光瓷漆	40~60	漆膜坚硬，具有优良的“三防”性能和装饰性能	有底漆的涂层防护性能比无底漆的好
			黑色丙烯酸氨基无光瓷漆	40~60	漆膜坚硬，具有优良的“三防”性能和装饰性能	
			各色聚酯氨基橘形漆	80~100	花纹美观，色彩柔和，防护性能较好	

基体材料	表面预处理	涂层系统		涂层厚度/ $\mu\text{m}$	涂层性能	说明	
		底漆	面漆				
铜及铜合金零部件	钝化或氧化	H06-2 锌黄或铁红环氧酯底漆或不涂底漆	丙烯酸氨基锤纹漆 (银灰、蓝、绿、红色)	70~90	漆膜光泽好, 防护性好, 呈锤痕花纹	有底漆的涂层防护性能比无底漆的好	
铝及铝合金零部件	阳极氧化或化学氧化	H06-2 锌黄环氧酯底漆或无底漆	13-4 各色丙烯酸聚氨酯瓷漆	40~60	优良的力学性能、耐介质性质、“三防”性能, 优异的耐候性。漆膜光亮、丰满, 具有良好的装饰性	有底漆的涂层防护性能比无底漆的好	
			B04-6 白丙烯酸瓷漆	35~55	漆膜耐光、耐候性优良, 不泛黄, 在湿热带气候具有良好的稳定性		
			灰、黑色丙烯酸氨基半光瓷漆	40~60	漆膜坚硬, 具有优良的耐候性能、“三防”性能和装饰性能		
			黑色丙烯酸氨基无光瓷漆	40~60	漆膜坚硬, 具有优良的耐候性能、“三防”性能和装饰性能		
			丙烯酸氨基锤纹漆 (银灰、蓝、绿、红色)	70~90	漆膜光泽好, 防护性好, 呈锤痕花纹		
			各色聚酯氨基橘形漆	80~100	花纹美观, 色彩柔和, 防护性能较好		
			无底漆	H61-1 铝色环氧有机硅聚酰胺耐热漆	40~60		漆膜坚硬、耐久, 具有较好的附着力, 耐汽油、耐润滑油、耐水、耐湿热、耐盐雾、耐霉菌, 人工老化性能良好, 耐热 300℃
			各色环氧粉末涂料	60~120	涂层致密, 附着力好, 防护性能好, 但涂层不够平整		

各种涂装类别所用油漆的通用技术要求 (摘自 JB/T 5000.12—1998)

表 1-7-46

产品类别	项 目	指 标	试验方法	
A 类 产 品	底 漆	漆膜颜色及外观 黏度(涂-4黏度计)/s 细度/ $\mu\text{m}$ 硬度 柔韧性/mm 冲击强度/ $\text{kg}\cdot\text{cm}$ 附着力 耐盐水性( $25^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$ ,浸48h) 对面漆的适应性 干燥时间	颜色随油漆所用颜料而定,漆膜平整 $\geq 40$ $\leq 60$ 2B $\leq 2$ 50 1级 不起泡、不生锈 无不良现象 符合产品说明书规定	按有关规定
	面 漆	漆膜颜色及外观 黏度(涂-4黏度计)/s 细度/ $\mu\text{m}$ 光泽/% 柔韧性/mm 冲击强度/ $\text{kg}\cdot\text{cm}$ 附着力 耐水性6h  耐汽油性(浸于SH 0004—1990、SH 0005—1990的NY-120溶剂油中,6h) 干燥时间	符合标准样板及其色差范围平整光滑 60~90 $\leq 40$ $\geq 90$ 1 50 2级 允许轻微失光、发白,经2h恢复后小泡消失,失光率不大于20% 不起泡、不起皱,允许失光1h内恢复 符合产品说明书规定	
B 类 产 品	底 漆	附着力 固体含量/% 氧化型 其他类型 柔韧性/mm 耐盐水性( $25^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$ ,浸96h)  对面漆的适应性 干燥时间	2级 符合产品说明书规定 55 符合产品说明书规定 $\leq 2$ 漆膜无剥落、无起泡、无锈点,允许颜色轻微变浅失光 无不良现象 符合产品说明书规定	按有关规定
	面 漆	漆膜颜色及外观 细度/ $\mu\text{m}$ 附着力 固体含量/% 柔韧性/mm 耐候性(经广州地区12个月自然暴晒后测定) 干燥时间	符合产品标准 $\leq 40$ $\leq 2$ 级 符合产品说明书规定 1 漆膜颜色变色不超过4级,粉化不超过3级,裂纹不超过2级 符合产品说明书规定	



产品类别	项 目	指 标	试验方法	
C 类 产 品	底 漆	按 GB/T 9274 规定中第 5 章浸泡法并按 4.1.3 制板后浸入符合 GB 443 的 L-AN 中黏度等级(按 GB/T 3141)为 32 的润滑油中进行,经 48h 外观无明显变化 其他指标同 B 类产品底漆		
	面 漆	附着力 柔韧性/mm 冲击强度/kg·cm 耐盐雾性,200h 耐盐水性(±30% 盐水浸泡) 浸泡(25℃±1℃,21 天,0℃±2℃,2h) 耐汽油性(浸于 SH 0004—1990,SH 0005—1990 的 NY-120 溶剂油中,21 天) 耐润滑油(浸入 GB 443—1989 的 L-AN 黏度等级为 32 的润滑油中,21 天) 干燥时间	≤2 级 ≤2 符合产品说明书规定 1 级 漆膜不起泡、不脱落 漆膜不起泡、不脱落 漆膜不起泡、不脱落 符合产品说明书规定	按有关规定
D 类 产 品	漆膜颜色及外观 附着力 冲击强度/kg·cm 耐盐水性(25℃±1℃,浸 24h) 耐热性(产品规定耐热最高温度下,100h) 干燥时间	漆膜平整光滑 ≤2 级 ≥35 不起泡、不生锈 漆膜完整、但允许失光 符合产品说明书规定		
E 类 产 品	底 漆	同 B 类产品		
	中 间 漆	附着力 耐盐水性(25℃±1℃,浸 21 天) 干燥时间:表干/h 实干/h	≤2 级 漆膜无脱落,允许锈蚀面积不超过 5% 符合产品说明书规定 不大于 24	
	面 漆	附着力 耐盐水性(80℃±2℃,2h) 耐油性(浸于 SY1152 柴油机润滑油中,48h) 耐盐雾性(200h) 耐候性(经广州地区天然暴晒 12 个月后测定) 干燥时间	≤2 级 漆膜不起泡、不生锈、不脱落 漆膜不起泡、不脱落、无软化、无斑点 1 级 变色不超过 4 级,粉化不超过 3 级,裂纹不超过 2 级 符合产品说明书规定	按有关规定

## 涂装通用技术条件 (摘自 JB/T 5000.12—1998)

1) 所有需要进行涂装的钢铁制件表面在涂漆前, 必须将铁锈、氧化皮、油脂、灰尘、泥土、盐和污物等除去。若焊接结构件成形后需要热处理, 则除锈工序应放在热处理工序之后进行。除锈前先用有机溶剂、碱液、乳化剂、蒸汽等除去钢铁制件表面油脂、污垢。

2) 钢铁制件表面的除锈方法、等级及适用范围见表 1-7-47。

表 1-7-47 钢铁制件表面的除锈方法、等级及适用范围

除锈方法	除锈等级 (GB/T 8923)					适用范围	
	等效采用 SISO 55900—1967			SSPC			
手工及动力工具 使用铲刀、钢丝刷、机械钢丝刷、砂轮等工具除锈	St2	比较彻底地除去疏松的氧化皮、铁锈和污物	最后用吸尘器、清洁干燥的压缩空气或干净的刷子清理表面	表面呈现淡淡的金属光泽	SP2和SP3	凡与高温接触并且不需要涂耐热漆的钢铁制件	
	St3	比 St2 进一步除净疏松的氧化皮、铁锈和污物		表面具有明显的金属光泽		凡受设备限制, 无法进行喷丸除锈的特大钢铁构件, 钢铁构件形状特殊无法进行喷丸除锈的部位	
喷射或抛射除锈 喷射各种磨料	Sa2	彻底地喷射除锈, 除去几乎所有氧化皮、铁锈和污物		表面稍呈灰色	SP6	工业级喷射除锈 辅助部件或辅助设备及用于在轻度腐蚀性环境中的钢铁制件表面, 与混凝土接触或埋入其中的钢铁制件	
	Sa2½	非常彻底地喷射除锈, 氧化皮及污物, 清除到仅剩有轻微的点状或条纹状痕迹				SP10	接近出白级喷射除锈 主要部件或主要设备及用于腐蚀较强的环境下的钢铁制件表面, 长期在潮水、潮湿、湿热、盐雾等环境下作业的钢铁制作, 与高温接触并且需要涂耐热漆的钢铁制件
	Sa3	喷射除锈到出白, 完全除去氧化皮、锈和污物		表面呈现均匀一致金属光泽			SP5
化学除锈 酸洗	Be	彻底清除氧化皮、锈及残留的覆盖层		相当于 Sa3	SP8	酸洗、复式酸洗或电解酸洗 设备上各类钢铁管道不能喷丸的薄板件 (壁厚小于 5mm) 结构, 复杂的中、小件及小型零件	

注: 摘编自 JB/T 5000.12—1998。

3) 用于制造结构件的钢铁板材及型材 (壁厚大于 5mm), 应预先进行喷丸或抛丸除锈, 除锈等级为 Sa2½ 级, 并立即涂保养底漆 (车间底漆) 即进行制造前的表面预处理, 涂料技术要求见表 1-7-46, 推荐厚度范围为 15~30μm, 推荐涂料品种: 无机硅酸锌底漆、环氧富锌底漆、磷化底漆及铁红环氧酯底漆。

4) 各种涂装类别、产品使用环境、适用产品及部件范围、推荐涂层厚度及涂料品种见表 1-7-43。

5) 铆接件相互接触的表面, 在连接前必须涂厚度为 30~40μm 的防锈漆, 所用涂料见表 1-7-43 中 A、B 类

底漆的规定。搭接边缘应用油漆、腻子或粘接剂封闭。由于加工或焊接损坏的底漆，要重新涂装。

6) 不封闭的箱形结构内表面，溜槽、漏斗、裙板内表面，平衡重箱内表面，安全罩内表面，在运输过程中是敞开的内表面等，必须涂厚度为 60~80 $\mu\text{m}$  的防锈漆，所用涂料见表 1-7-43 中 A、B 类底漆的规定。木制品按要求涂清漆或色漆。

7) 机器产品面漆颜色应符合用户的要求。如用户对机器产品面漆颜色无特殊要求，则由设计人员按表 1-7-48 和表 1-7-49 选定，并在图样与技术文件中注明。

表 1-7-48

产品类别	面漆色别(GSBG 51001—1994)	产品类别	面漆色别(GSBG 51001—1994)
热轧设备	淡绿(G02)、湖绿(BG02)、苹果绿(G01)、中绿(G04)、艳绿(G03)	工矿车辆	中灰(B02)、橘黄(YR04)、橘红(R05)、黑色
冷轧设备	淡绿(G02)、湖绿(BG02)、苹果绿(G01)、豆绿(GY01)、天蓝(PB09)	冶金车辆	黑色
		连铸设备	纺织绿(GY02)、苹果绿(G01)、银白
装卸机械	橘黄(YR04)、橘红(R05)、中灰(B02)、棕(YR05)	冶金机械、冶金除尘设备	淡灰(B03)、苹果绿(G01)、黑色
锻压机械、启闭机	淡绿(B02)、苹果绿(G01)、湖绿(BG02)、中绿(G04)、海蓝(PB05)	破碎机械	淡灰(B03)
矿山设备	橘红(R05)、淡黄(Y06)、黑色、苹果绿(G01)、豆绿(GY01)	造矿烧结设备	纺织绿(GY02)
		人造板设备	湖绿(BG02)
焦炉机械、煤气化设备	苹果绿(G01)、纺织绿(GY02)、淡海蓝(B11)、中灰(B02)	橡胶设备	湖绿(BG02)
		水泥设备	淡灰(B03)

表 1-7-49

产品特殊部位的名称	面漆色别 (按 GSBG 51001—1994)
油箱、减速机壳体内表面及其内零件的涂漆面	奶油色(Y03)等浅颜色
栏杆、扶手	黄色(Y06、Y07、Y08)
操纵室的顶棚及内壁	半光浅色漆
操纵室地板	铁红色(R01)
盖板、走台板、辅板、楼梯板	与主机同色、黑色
外露的快速回转件，如飞轮、带轮、联轴器、大齿轮等	大红色(R03)
要求迅速发现的部位，如保险装置的手柄、开关刹车操纵把、润滑系统的油嘴、指示器表面极限位置的刻度	大红色(R03)

表 1-7-50

管道类别	面漆颜色 (按 GB 7231—1987)	管道类别	面漆颜色 (按 GB 7231—1987)
稀液压油管	深黄色(Y08)	水管	淡绿色(G02)
稀油回油管	柠黄色(Y05)	高压水管	大红色(R03)
干油管	棕色(YR05)	暖气管	银灰色(B04)

续表

管道类别	面漆颜色 (按 GB 7231—1987)	管道类别	面漆颜色 (按 GB 7231—1987)
蒸汽管	铝色	煤气管	中(酞)蓝(PB04)
氧气管	淡酞蓝色(PB06)	电线管	中灰(B02)
压缩空气管	淡酞蓝色(PB06)	下水及粪便管	黑

8) 机器在工作时容易碰撞的外表面, 必须涂以宽度约 100mm 与水平面成 45°斜度的黄、黑相同的“虎皮”条纹。如表面面积较小, 条纹宽度可以适当缩小, 与水平面的斜度可成 75°, 但黄条与黑条每种不得少于 2 条。

9) 机器产品配管面漆颜色与机器面漆颜色相同; 远离 1m 以外的配管颜色符合 GB 7231—1987 的规定, 见表 1-7-50。

10) 漆膜要均匀, 不可漏涂, 边角、夹缝、螺钉头、铆焊处要先刷涂, 后大面积涂装。在焊后和装配后无法涂漆的零件或部位, 可在焊前和组装前涂漆。设备最后一层面漆应在总装试车合格后涂刷。

11) 机器产品表面是否涂刮腻子应在图样与技术文件中注明。

12) 涂层的检查项目及方法应符合本标准的规定。

13) 在机器产品总图与技术文件中, 应注明产品涂装类别、面漆颜色及其涂层厚度。对整机的使用环境按表 1-7-43 中的涂装类别进行标注, 如“本产品涂装为 A 类”。不同于整机涂装类别的部件及部位, 标注方法同整机, 但必须在涂装类别前注明部件的图号、名称及部位。

14) 涂装的面漆颜色, 应按 GSBG 51001—1994 (见表 1-7-48 和表 1-7-49) 或 GB/T 3181—1995 标准规定标注颜色名称及代号, 如“本产品面颜色苹果绿 G01”。也可按油漆厂色卡(板)进行标注, 但必须注明色卡的来源及其编号。不同于整机面漆颜色的部件及部位, 也应进行标注, 方法基本同整机, 但必须注明部件的图号、名称及部位。机器产品涂层厚度按表 1-7-43 选用, 并注明涂层厚度。

## 15 复合表面技术<sup>[49,50]</sup>

将两种或多种表面技术以适当的顺序和方法加以组合, 或以某种表面技术为基础, 制造复合涂层(镀层、膜层)、复合改性层或表面复合材料的技术, 称复合表面技术, 又称第二代表面技术。

复合表面技术能够发挥不同种表面技术或不同种涂层材料各自的优势, 取长补短, 有机配合, 可以得到最优的表面性能和最佳的使用效果。它是发展一系列高新技术的重要工艺保障。

### 15.1 以增强耐磨性为主的复合涂层

#### 电镀、化学镀复合材料及其复合涂层

表 1-7-51

类别	性能和应用
一、电镀、化学镀复合材料	复合材料是由两种或多种均匀相结合在一起而构成的多相混合物。它具有各个单相所不能获得的独特性能。采用电镀或化学镀, 使金属和不溶性固体微粒共同沉积, 可以获得各种微粒弥散金属基质复合镀层
	复合镀层的性能主要取决于基质金属和固体微粒。目前国内外曾用于复合电镀的基质金属和固体微粒列于下表 耐磨复合电镀层多以镍为基质金属, 也可以用铁、铬、镍合金等为基质金属, 常用的固体微粒为各种氧化物、碳化物、氮化物、硼化物等陶瓷粉末; 耐磨化学复合镀最常见的体系是 Ni-P/SiC 和 Ni-P/金刚石 复合镀层耐磨性提高的主要原因是加入的固体微粒的耐磨性能比基质金属高, 且微粒能够弥散强化基质金属镀层, 并使镀层能保持一定的延性和韧性

类别		性能和应用		
基质金属和固体微粒分散相的选择	基质金属	分散粒子	基质金属	
	Ni	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、ZrO <sub>2</sub> 、ThO <sub>2</sub> 、SiO <sub>2</sub> 、CeO <sub>2</sub> 、BeO、MgO、CdO、金刚石、SiC、TiC、WC、VC、ZrC、TaC、Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 、B <sub>4</sub> C、BN(α、β)、ZrB <sub>2</sub> 、TiN、Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 、WSi <sub>2</sub> 、PTFE、(CF) <sub>n</sub> 、石墨、MoS <sub>2</sub> 、WS <sub>2</sub> 、CaF <sub>2</sub> 、BaSO <sub>4</sub> 、SrSO <sub>4</sub> 、ZnS、CdS、TiH <sub>2</sub> 、Cr、Mo、Ti、Ni、Fe、W、V、Ta、玻璃、高岭土	Ag	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、BeO、SiC、BN、MoS <sub>2</sub> 、刚玉、石墨、La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
			Zn	ZrO <sub>2</sub> 、SiO <sub>2</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、SiC、TiC、Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 、Al
			Cd	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、B <sub>4</sub> C、刚玉
			Pb	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、TiC、B <sub>4</sub> C、Si、Sb、刚玉
			Sn	刚玉
			Cu	NbC、B <sub>4</sub> C、BN、Cr <sub>3</sub> B <sub>2</sub> 、PTFE、(CF) <sub>n</sub> 、石墨、MoS <sub>2</sub> 、WS <sub>2</sub> 、BaSO <sub>4</sub> 、SrSO <sub>4</sub>
	Ni-Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、SiC、Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 、BN		
	Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 、WC、TaC、ZrB <sub>2</sub> 、BN、Cr <sub>3</sub> B <sub>2</sub> 、金刚石	Ni-Mn	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、SiC、Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 、BN
	Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、SiC、WC、B、PTFE、MoS <sub>2</sub>	Pb-Sn	TiO <sub>2</sub>
	Cr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、CeO <sub>2</sub> 、ZrO <sub>2</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、SiO <sub>2</sub> 、UO <sub>2</sub> 、SiC、WC、ZaB <sub>2</sub> 、TiB <sub>2</sub>	Ni-P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、ZrO <sub>2</sub> 、SiC、Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 、B <sub>4</sub> C、PTFE、BN、CaF <sub>2</sub> 、金刚石
	Au	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、SiO <sub>2</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、ThO <sub>2</sub> 、CeO <sub>2</sub> 、TiC、WC、Cr <sub>3</sub> B <sub>2</sub> 、BN、(CF) <sub>n</sub> 、石墨	Ni-B	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、SiC、Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 、金刚石
Co-B			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、BN	

一、电镀、化学镀复合材料

电镀镍、钴、铁基复合镀层

① Ni-SiC(质量分数为2.3%~4.0%)复合镀层:在氨基磺酸盐镀镍溶液加入1~3μm的SiC微粒制成

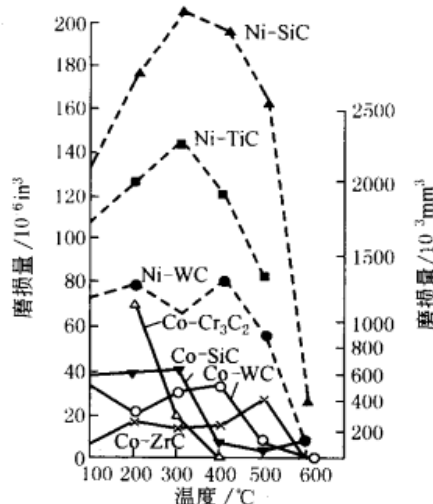
耐磨性比普通镀镍层提高70%,且随摩擦时间增加,效果更为明显。用于发动机汽缸内壁,缸壁的磨损量为普通铁套汽缸的60%

固体微粒在镍基复合镀层中的含量对镀层的耐磨性影响较大。图b表明电镀Ni-SiC复合镀层的耐犁沟磨料磨损和耐擦伤磨料磨损能力均优于电镀镍层,且随SiC含量的增加而逐渐提高,但前者的变化不如后者显著

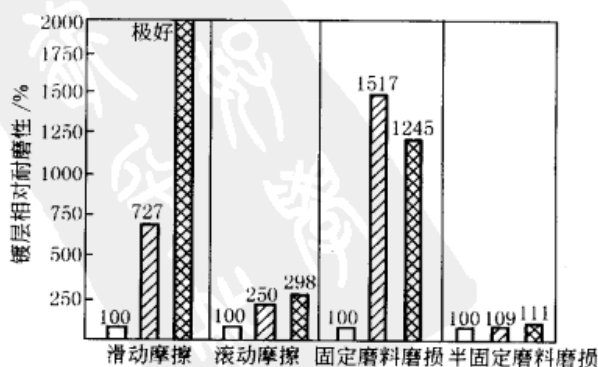
② Co-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>复合镀层:它在800℃以下仍能保持高的耐磨性,在400~600℃时其耐磨性远优于镍基复合镀层。图a为几种钴基和镍基复合镀层的高温耐磨性能

③ Fe-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe-B<sub>4</sub>C复合镀层:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和B<sub>4</sub>C粒度一般为3~7μm,添加量为30~55g/L。复合镀铁层的硬度为900~1000HV,其耐磨性对比见图b。该镀层在农机、交通、矿山设备的轴类零件、内燃机汽缸套及犁铧的表面强化与修复上应用较多

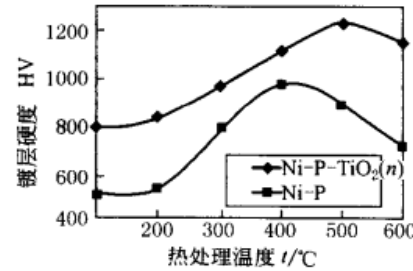
④ 纳米金刚石复合镀层:是将不同含量的金刚石粉(含金刚石27%~30%,石墨和无定形碳的纳米级金刚石粉,其颗粒为3~15nm,用混合酸处理后,得到纯度为90%以上的金刚石粉)与快速镍溶液混合后,用电镀方法制成。该复合镀层具有极好的耐磨、减摩性能,并随纳米金刚石粉含量的增加而提高,含量为50g/L时,其耐磨性比纯镍镀层高2倍,摩擦因数降低40%,镀层呈非晶化趋势



(a) 几种钴基和镍基复合镀层的高温耐磨性能



(b) 复合镀铁层在不同磨损工况下的相对耐磨性

类别	性能和应用																											
电镀锌纤维复合材料	<p>是含有连续的细丝或非连续的纤维增强金属基复合材料(用电沉积方法制得)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1)该复合材料用的纤维可以是金属的和非金属的。如钨、硼、石墨、钢、碳化硅、晶须(如 <math>Al_2O_3</math>、<math>SiC</math>)、玻璃等纤维,使其强度和刚度与金属的强度结合起来</li> <li>2)纤维必须彼此隔开,排列方向应与载荷一致</li> <li>3)实际采用的电镀成形工艺,有连续细丝缠绕法及交替缠绕和电镀法</li> <li>4)连续细丝缠绕与电镀是同时进行的。导电纤维从溶液表面向缠绕物运动的行程中就发生了沉积,并由此导致复合材料中易出现孔洞;而对于绝缘纤维,沉积物并不在细丝上生成,仅仅是围绕它生长,并将其封闭。碳纤维尽管导电,但通常仅能以纤维束的形式获得。电镀不可能穿透纤维束的心部,为均匀覆盖,可将纤维束预先镀上金属基材料,然后再缠绕,并同时电镀</li> <li>5)交替缠绕是缠绕一层纤维就接着镀一层金属</li> <li>6)电成形纤维增强金属基复合材料适用于旋转体表面,其最高使用温度受纤维与基质金属的反应限制</li> </ol>																											
一、电镀、化学镀复合金属材料 化学镀镍、磷复合镀层	<p>(1)Ni-B(P)-金刚石复合镀层</p> <p>在Ni-B基镀层中,金刚石复合镀层的耐磨性比不加粒子的镀层或加入 <math>Al_2O_3</math>、<math>SiC</math> 的镀层优越得多,合成金刚石化学镀层又比天然金刚石复合镀层的耐磨性好;原因在于它表面的非催化活性、表面粗糙、有效多边缘及棱角,易于在镀层生长过程中被包裹住,而光滑的天然金刚石没有这个优点。人造金刚石价格便宜,容易控制尺寸。施镀金刚石的前处理很重要,尤其是合成产品,必须依次用浓 <math>HNO_3</math>、<math>HCl</math> 及 <math>H_2SO_4</math> 处理,溶去生产过程中可能混入的杂质,特别是具有活性的金属 Ni、Co、Cu、Fe 等,然后漂洗,干燥备用。金刚石的粒度以 <math>1 \sim 6\mu m</math> 为宜</p> <p>复合镀层的耐磨性与其粒子尺寸有关。Yamline 耐磨试验结果表明,Ni-B 多晶金刚石复合镀层在粒子含量为 20% (体积分数),试验时间为 85min 情况下,对应粒子平均尺寸为 <math>5\mu m</math>、<math>9\mu m</math>、<math>22\mu m</math> 时的磨损率分别为 <math>6.2\mu m/h</math>、<math>5.1\mu m/h</math>、<math>3.4\mu m/h</math>,粒子尺寸以 <math>9 \sim 22\mu m</math> 为佳。也有试验证明,片状铝粉比球状铝粉效果好。右表是化学镀 Ni-B(P)-金刚石复合镀层耐磨性</p> <table border="1" data-bbox="877 705 1436 1075"> <thead> <tr> <th>镀层材料</th> <th>试验时间 /min</th> <th>磨损率 /<math>\mu m \cdot h^{-1}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ni-B</td> <td>1/30</td> <td>23000</td> </tr> <tr> <td>Ni-B-<math>9\mu m</math> 多晶人造金刚石</td> <td>85</td> <td>5.1</td> </tr> <tr> <td>Ni-B-<math>9\mu m</math> 天然金刚石</td> <td>85</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>Ni-B-<math>9\mu m</math> 金刚石 B<sup>①</sup></td> <td>85</td> <td>13.1</td> </tr> <tr> <td>Ni-B-<math>8\mu m</math> <math>Al_2O_3</math></td> <td>9</td> <td>109</td> </tr> <tr> <td>Ni-B-<math>10\mu m</math> <math>SiC</math></td> <td>5</td> <td>278</td> </tr> <tr> <td>Ni-P-<math>1\mu m</math> 多晶人造金刚石</td> <td>2</td> <td>378</td> </tr> <tr> <td>Ni-P-<math>1\mu m</math> 天然金刚石</td> <td>2</td> <td>732</td> </tr> </tbody> </table> <p>① 金刚石 B 按美国专利 2.947.608 ~ 2.947.611 制造</p>  <p>热处理对镀层硬度的影响</p> <p>(2)Ni-P-TiO<sub>2</sub>(n) 纳米粒子化学复合镀层</p> <p>试验表面 Ni-P-TiO<sub>2</sub>(n) 复合镀层比单纯 Ni-P 合金镀层具有高得多的硬度和抗高温氧化性能。热处理后 Ni-P 合金镀层的硬度峰值在 400℃,而 Ni-P-TiO<sub>2</sub>(n) 化学复合镀层的在 500℃ (见图)</p>	镀层材料	试验时间 /min	磨损率 / $\mu m \cdot h^{-1}$	Ni-B	1/30	23000	Ni-B- $9\mu m$ 多晶人造金刚石	85	5.1	Ni-B- $9\mu m$ 天然金刚石	85	10.2	Ni-B- $9\mu m$ 金刚石 B <sup>①</sup>	85	13.1	Ni-B- $8\mu m$ $Al_2O_3$	9	109	Ni-B- $10\mu m$ $SiC$	5	278	Ni-P- $1\mu m$ 多晶人造金刚石	2	378	Ni-P- $1\mu m$ 天然金刚石	2	732
镀层材料	试验时间 /min	磨损率 / $\mu m \cdot h^{-1}$																										
Ni-B	1/30	23000																										
Ni-B- $9\mu m$ 多晶人造金刚石	85	5.1																										
Ni-B- $9\mu m$ 天然金刚石	85	10.2																										
Ni-B- $9\mu m$ 金刚石 B <sup>①</sup>	85	13.1																										
Ni-B- $8\mu m$ $Al_2O_3$	9	109																										
Ni-B- $10\mu m$ $SiC$	5	278																										
Ni-P- $1\mu m$ 多晶人造金刚石	2	378																										
Ni-P- $1\mu m$ 天然金刚石	2	732																										
铬基复合镀层	<p>(1)Cr-SiC、Cr-WC、Cr-<math>Al_2O_3</math> 复合镀层</p> <p>是从 <math>CrO_3-H_2SO_4</math> 体系中电沉积获得的,其硬度达 1200 ~ 1400HV,耐磨性能比硬铬镀层高 2 ~ 3 倍以上(见图 a)</p> <p>(2)Cr-Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 复合镀层</p> <p>是使用混合催化剂(SC-7)沉积出来的。由于该镀层在摩擦过程中的摩擦热所生成的钝化膜(<math>Cr_2O_3</math>)出现在与金属相接触的表面,提高了抗擦伤性和耐磨性。图 b 为镀层厚度一定时用磨损试验机的试验结果。试验表明,随着摩擦过程中接触表面温度的上升,铬镀层硬度降低,磨损量增加;而 Cr-Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 复合镀层因形成了高强度的钝化膜,维持了较低的磨损率</p> <p>(3)Cr-金刚石复合镀层</p> <p>图 c 是含有天然金刚石和合成金刚石的 Cr-金刚石复合镀层[金刚石含量(质量分数)为 0.1%]与 Cr 镀层在擦伤型磨料磨损条件下的耐磨性。复合镀层的耐磨性比铬镀层大有提高,而且随着磨损试验时间延长,效果更显著。下表为几种铬基复合镀层的硬度和磨损率</p>																											

类别	性能和应用			
铬基复合镀层	镀层种类	微粒含量 (质量分数) /%	显微硬度 HV	磨损率 $/10^{-5} \text{mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
	Cr-NbC	1.3		0.20
	Cr-ZrO <sub>2</sub>	1.4		0.35
	Cr-ZrB <sub>2</sub>	2.0	1200	0.26
	Cr-NbC-h-BN	4.0	1000	0.08
	Cr-ZrO <sub>2</sub> -h-BN	2.2	1100	0.23
	Cr-ZrB <sub>2</sub> -h-BN	2.5	920	0.12
	Cr-HfC	1.2	1000	0.29
	Cr-HfC-h-BN	3.0	940	0.19
	Cr-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.6	800	0.32
	Cr-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -h-BN	2.1	860	0.14
	Cr-HfB <sub>2</sub>	2.0	1200	0.24
	Cr-HfB <sub>2</sub> -h-BN	2.5	1100	0.24

注: 基质金属显微硬度: 900; 基质金属磨损率: 0.54

(b) Cr-Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 复合镀层磨损试验结果

(a) Cr-SiC 复合镀层耐磨性试验结果 (与硬铬镀层对比)

(c) Cr-金刚石复合镀层与Cr镀层磨料磨损试验结果

[CS-10 (Taber 磨损试验机), 负荷 9.8N]

1—Cr, 20A/dm<sup>2</sup>; 2—天然金刚石, 0.1%, 20A/dm<sup>2</sup>;  
 3—天然金刚石, 0.1%, 10A/dm<sup>2</sup>;  
 4—合成金刚石, 0.1%, 10A/dm<sup>2</sup>;  
 5—合成金刚石, 0.1%, 20A/dm<sup>2</sup>

滑动速度: 0.208m/s; 最终载荷: 12N; 旋转试样: 45 钢  
 调质, 表面电镀, 镀层厚度 15μm; 固定试样: 含石墨的  
 金属基自润滑滑动轴承材料。试验时无油润滑

多层涂层

表 1-7-52

类别	性能和应用
二、多层涂层	有些单相涂层, 如已广泛应用的 TiC、TiN 和 TiCN 涂层尽管具有超硬、摩擦因数低、耐磨性、耐腐蚀性好, 但难以同时具备高的硬度、良好的韧性、高的膜基结合强度和弱的表面反应性等综合性能, 而合理设计和制备多层涂层, 可以发挥不同单层复合镀层各自的优势, 取长补短, 有机配合, 获得最优涂层性能, 以及大的涂镀层厚度。电镀、化学镀、热喷涂、堆焊、熔接等都可制备多层膜(涂层)

类别	性能和应用
双层复合镀层	<p>(1) Ni-P/Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 双层复合镀层</p> <p>Ni-P 化学镀层具有低的孔隙率、较高的耐蚀性、与基体的结合强度高,而 Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化学复合镀层经适当的热处理之后,比 Ni-P 化学镀层具有更高的硬度及耐磨性,但该复合镀层使用中易脱落,耐蚀性低。如果在施镀 Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 复合镀层前,先镀制 Ni-P 镀层作为底层,制成 Ni-P/Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 双层复合镀层,则可将两种镀层的优点结合起来。试验证明,它的结合力和耐蚀性比单层复合镀层都好。与单层 Ni-P 和单层 Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 相比,双层复合镀层经 400℃ 热处理后具有更高的硬度,耐磨性也最好</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="750 324 1109 593"> <p>(a) 镀层的显微硬度与热处理温度的关系</p> </div> <div data-bbox="1133 324 1452 593"> <p>(b) 镀层的磨损曲线</p> </div> </div>
二、多层涂层	<p>(2) GM1/ZO<sub>3</sub> 双层堆焊层</p> <p>GM1 是一种自行研制的具有很强奥氏体化能力的专用超高锰钢过渡层焊条。GM1 焊条熔敷金属的力学性能为: <math>\sigma_b = 595\text{MPa}</math>, <math>\sigma_s = 220\text{MPa}</math>, <math>\delta = 34\%</math>, 硬度 212HBS, 冲击吸收功(0℃时) <math>180 \times 10^6\text{J}</math>。用于超高锰钢破碎机锤头(锰的质量分数为 16.5% ~ 18.5%)的堆焊修复,采用“母材 + 中间过渡层 + 耐磨层”的双层堆焊层</p> <p>超高锰钢锤头的堆焊应达到以下要求:① 和超高锰钢直接连接的材料及热影响区,必须有足够的韧性,保证堆焊层在堆焊应力和冲击力作用下不产生剥落及掉块;② 耐磨堆焊层必须具备优良的抗冲击、抗冲刷磨损的综合性能,即高强度、高韧性</p> <p>用 GM1 焊条堆焊过渡层后,再在过渡层上面用 ZD3 型堆焊焊条堆焊耐磨层。堆焊时基本采用冷焊工艺,减少基体在 300℃ 以上的停留时间,以避免超高锰钢锤体的性能恶化。采用这种双层堆焊修复后的超高锰钢破碎机锤头基体、过渡层、耐磨层相互间结合良好,未发生堆焊层剥落和掉块。在某水泥厂破碎机的 120kg 锤头修复试验中,一次破碎矿石达到 10 万吨,最高达到 13.5 万吨,使用寿命提高了 2.5 ~ 3 倍</p>
三层复合涂层	<p>(3) TiC/TiCN/TiN 三层复合涂层</p> <p>在气相沉积中, TiC、TiN、TiCN 和 <math>\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3</math> 都是面心立方晶格,具有相近的热膨胀系数、良好的互溶性和化学稳定性,可以作为复合涂层的子涂层。在 CVD 中, TiC 与基体元素在高温下能发生强烈相互扩散,可得到很高的结合强度, TiN 具有良好的化学稳定性和抗黏着磨损的能力,又呈美丽的金黄色,而 TiCN 的性能介于两者之间,故设计多层复合涂层时,常以 TiC 作底层, TiN 为表层, TiCN 为过渡层</p> <p>用在 YG8 硬质合金拉丝模上的一种 TiC/TiCN/TiN 涂层,硬度为 2200 ~ 2250HV;过渡层 TiC<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub> 中 x 为 0.3 左右。这种多层复合涂层拉丝模,经 300 多个模具批量生产试验表明:单位磨损(孔径扩大 0.01mm)生产量提高 1 ~ 4 倍,使用寿命长,断丝概率小,抗黏着性好,拉出的钢丝表面质量好</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="981 1243 1444 1478"> </div> <div data-bbox="1005 1500 1412 1568"> <p>涂层与未涂层拉丝模的对比磨损曲线  <math>\Delta</math> — 多层涂层模; <math>\times</math> — 非涂层模(YG8)</p> </div> </div>
七层复合涂层	<p>(4) TiC/TiCN/TiC/TiCN/TiC/TiCN/TiN 七层复合涂层</p> <p>涂层厚度控制在 6 ~ 8<math>\mu\text{m}</math>。因为, CVD 陶瓷涂层脆性大,弹性变化范围很小,不宜太厚。而且钢基体的热膨胀系数比涂层大,在涂层与基体界面上会产生切应力,而此切应力又是厚度的函数,当涂层厚度在 6 ~ 8<math>\mu\text{m}</math> 以内,它可以忽略不计。涂层层数:实验表明,在厚度一定时,层数愈多,子涂层厚度愈小,这可使子涂层在晶粒形核后开始长大之际,即改涂新的子涂层时,避免晶粒择优取向连续长大,出现各向异性而降低涂层性能</p> <p>在 Cr12MoV 钢上做的这种七层复合涂层,硬度为 3100HV,涂层与基体的结合强度比单相 TiC 涂层高 2 倍。涂在 9Cr18 钢上耐磨性比未加涂层的和单相涂层的都好,其相对耐磨性提高了 1.2 ~ 44 倍。涂层磨损表面形貌观测说明,多层涂层的强韧性也比较好,并显著提高了 9Cr18 不锈钢轴承钢的滚动接触疲劳寿命,额定寿命提高 4 倍;一些工厂对七层涂层镀制的各种 YG8 冷拉模、Cr12MoV 冷压模及刀具做了应用试验,使用寿命提高了 3 ~ 7 倍</p>



类别	性能和应用
<p>纳米多层膜</p>	<p>(5) 纳米多层膜(纳米超点阵膜)</p> <p>纳米多层膜一般是由两种在纳米尺度上的不同材料交替排列而成的涂层体系。由于膜层在纳米量级上排列的周期性,两种材料具有一个基本固定的超点阵周期。双层厚度约为 5~10nm。该膜是广义上的金属超晶格,因二维表面上形成的特殊纳米界面的二元协同作用,表现出既不同于各组元,也不同于均匀混合态薄膜的异常特性——超模量、超硬度现象、巨磁阻效应和其他独特的机械、电、光及磁学性能等,在表面改性、强化、功能化改造及超精加工等领域极具潜力;在特定基材上沉积、组装纳米超薄膜,将会产生表面功能化的许多新材料,从而对功能器件、微型电机等机电产品的开发具有特别重要的意义</p> <p>PVD 法在制备纳米多层膜方面具有独特的优越性,可采用各种蒸发、溅射、离子镀膜方法,选择不同氮化物、碳化物、氧化物、硼化物等材料作物源,通过开启或关闭不同的源、改变靶的几何布置,或者工件旋转经过不同的源,能够方便地调节薄膜组成物的顺序和各层的厚度</p> <p>利用 PVD、CVD 和电沉积技术已制出 Cu/Ni、Cu/Pd、Cu/Al、Ni/Mo、TiN/VN、TiC/W、TiN/AlN 等几十种纳米多层叠膜</p> <p>M. Shinn 等用磁控溅射制备了 TiN/NbN、TiN/VN、TiN/VNbN 超点阵膜,超点阵周期 <math>\lambda = 1.6 \sim 450\text{nm}</math>, TiN/NbN 的 <math>\lambda = 4.6\text{nm}</math>,最高硬度 49~51GPa(TiN 硬度约 21GPa, NbN 硬度约 14GPa); Chen 等制备了 TiN/SiN<sub>x</sub> 纳米多层膜, TiN 厚度 2nm, SiN<sub>x</sub> 厚度 0.3~1.0nm,最高硬度 45GPa±5GPa,内应力显著降低; Yoon 等制备了 WC-Ti<sub>1-x</sub>AlN<sub>x</sub> 纳米复合超点阵涂层,硬度 50GPa。IBM 等公司利用膜的巨磁阻效应,可使磁盘的磁记录密度增加许多倍,正在生产巨磁阻磁头产品;利用巨磁阻纳米多层膜存储芯在计算机开断时保持“记忆”的特性,制成了低噪声、快速、长寿命的 MRAM。住友已有 TiN/AlN 纳米涂层铣刀出售,单层厚度 2~3nm,层数超过 2000 层;法国汤姆逊公司利用巨磁阻效应正在开发用于汽车制动系统的新产品</p>
<p>二、多层涂层</p> <p>多种膜层结合的复合膜层</p>	<p>在现代电子工业中,大量采用多种工艺,如电镀、氧化、溅射、蒸镀、金属有机化合物化学气相沉积、分子束外延等方法制成功能各异、多种膜层结合的复合膜层</p> <p>(1) In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnS: Mn/Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al 五层复合膜层</p> <p>用在双层绝缘膜结构的高辉度、长寿命器件上(见图 a)</p> <p>该器件是在玻璃基板上蒸镀 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 透明导电薄膜,其上形成厚约 200nm 致密的 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 高介电性绝缘膜,然后再蒸镀仅含有少量 Mn 的 ZnS 荧光体约 500nm 的薄膜作为发光层,接着在发光层上蒸镀一层厚度尽可能同前一绝缘膜相同的 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜,最后再蒸镀一层铝金属作为背面电极,制成三明治结构</p> <p>为了提高绝缘膜与铝金属膜之间的附着性,在它们之间可形成厚约 20~500nm 的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜。近年来,还在背面补加一层玻璃,以便在它和背面电极之间封入少量黑色的硅油,可以充分防止湿气从外面侵入,从而实现 3 万~5 万小时的长寿命和高可靠性</p> <p>(2) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnS: Mn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 三层复合膜层</p> <p>同样是双层绝缘膜结构器件,有的则采用原子束外延蒸镀法来制作发光层(ZnS: Mn)和绝缘层 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,从而使发光效率得到大幅度提高。元件的结构如图 b 所示。在玻璃基板上用溅射法形成厚约 50nm 的 ITO 薄膜,其上用原子束外延生长法制作 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 ZnS: Mn 所形成的绝缘层-发光层-绝缘层的三层夹层结构</p> <p>(3) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/NiO/ZrO<sub>2</sub>/Ni/Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cu/LaCoO<sub>3</sub> 七层复合膜层</p> <p>为了满足某功能的需要常常要制备多层涂层,例如,一种高温固体电解燃料电池即用了七层,其顺序为:① Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 气密层;② NiO 燃料电池层;③ 温度 ZrO<sub>2</sub> 层;④ Ni/Al 电流导出膜层;⑤ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 气密保护层;⑥ Cu 层;⑦ LaCoO<sub>3</sub> 空气电极层</p> <p>磁性膜、磁线存储器、约瑟夫森集成电路等元器件也都采用多层膜结构</p> <div data-bbox="925 1120 1420 1456"> <p>(a) 具有双层绝缘膜结构的交流场致发光器件</p> </div> <div data-bbox="925 1478 1420 1792"> <p>(b) 利用原子束外延法制作的交流场致发光器件</p> </div>

功能梯度涂层

表 1-7-53

类别 性能和应用

在通常情况下,涂层与基体不属同一类材料,突变界面的涂层与基体间由于各自热膨胀系数不同等性能差异,存在较大的应力,导致涂层与基体结合不牢,涂层厚度也受到限制。功能梯度涂层可使基体到涂层的成分逐渐变化,形成一个缓和应力的过渡层。这样既保证了涂层与基体的结合,又保证了涂层使用要求的特殊性能

功能梯度涂层可用多种方法制备,如用热喷涂法,通过多次逐层喷涂,并随之变化成分,即可得到一定的梯度涂层。用 IBAD 法,在反应气分压一定时,通过变化蒸发速率或溅射速率也可方便地获得梯度涂层

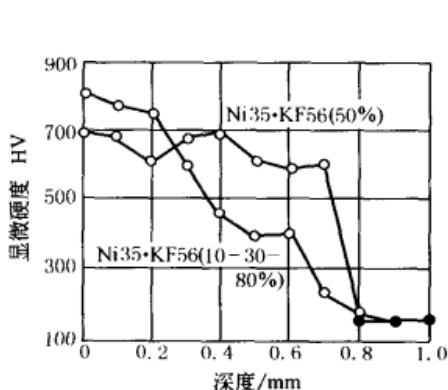
(1) Ni-WC 梯度涂层

涂层内 WC 颗粒含量从基体到表面逐渐增多。图 a 示出该梯度涂层与普通激光重熔涂层硬度沿深度的分布曲线。图 b 示出该梯度涂层与对比涂层的累计磨损失重与行程的关系曲线。表明梯度涂层从基体到表面硬度缓慢上升,有一明显的过渡区,这种内韧外硬的涂层比普通激光重熔涂层的耐磨性提高很多

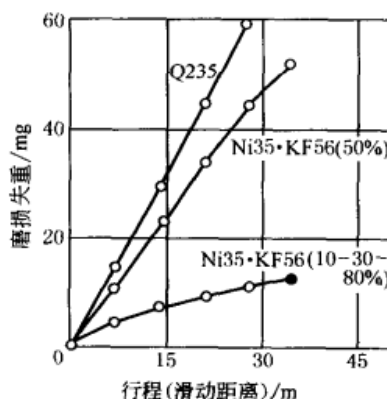
(2) Ta-W 梯度涂层

Ta-W 合金是目前解决高转速、高射速火炮内膛表面烧蚀问题的较理想的涂层。为了增加涂层与基体的结合强度,某所进行了用磁控溅射法制备梯度过渡层的试验研究。靶材选用 Ta-10W,过渡区的成分用调整靶的功率加以控制。设过渡区靶材的原子百分浓度为 C,选用  $C = X/D$ ,  $C = (X/D)^2$ ,  $C = (X/D)^{1/2}$  (其中, X 为距基体表面的距离, D 为过渡层的厚度) 三种曲线形式加以过渡,过渡区外再涂一层同厚度的纯 Ta-10W 层。AES 等分析证明,过渡区内各元素变化形式与理论设计基本相符,过渡层与外层组织均为纤维状结构,且界面不明显,结合良好

梯度涂层



(a) 梯度涂层与普通激光重熔涂层硬度沿深度分布



(b) 梯度涂层、普通激光重熔涂层与 Q235 钢基体累计磨损失重与行程的关系

(3) NiCrAl 结合层/40/60ZrO<sub>2</sub>-CoCrAlY

(0.5mm)/85/15ZrO<sub>2</sub>-CoCrAlY (0.5mm)/ZrO<sub>2</sub> 陶瓷表层 (1.5mm) 热障四层复合梯度涂层

一般的热障涂层由热绝缘陶瓷层(多使用稳定的或部分稳定的 ZrO<sub>2</sub>) 和结合底层(多用 MCrAlY, M 是 Fe、Co、Ni 或 NiCo) 所组成

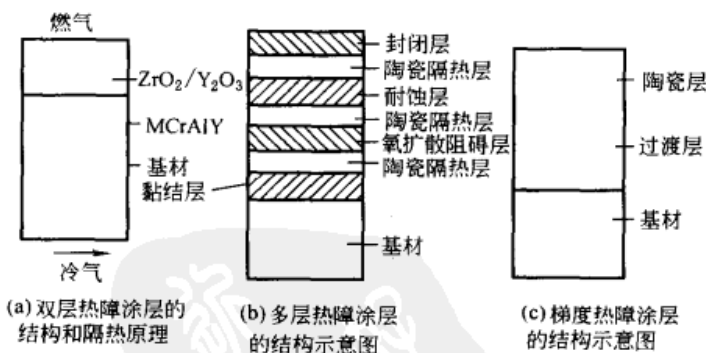
为了减小由于金属材料与陶瓷材料热膨胀系数的不同而引起的涂层内热应力,提高涂层的结合强度和抗热震能力,在底层和陶瓷表层之间可引入不同层数和厚度的底层材料和表层材料组成成分呈梯度变化的中间过渡层

一般热障涂层的结构有如图 a 所示的双层系统,图 b 所示的多层系统和图 c 所示的梯度系统。其中双层系统由黏结层(过渡层)和隔热的陶瓷层组成;多层系统通常由黏结层、陶瓷隔热层、氧扩散阻碍层、耐蚀层和封闭层等组成

制备梯度热障涂层可用物理气相沉积和等离子喷涂等方法,由于等离子喷涂法沉积速度快,能在一个工艺过程中完成整个热障涂层的制备,因而目前常被采用。一些厚的梯度热障涂层已应用在柴油机的一些零件上,并具有巨大的应用前景。二维有限元模拟计算表明:四层 2.5mm 厚的热障复合梯度涂层能满足柴油机零件工况要求。它由 NiCrAl 结合层、40/60ZrO<sub>2</sub>-CoCrAlY (0.5mm)、85/15ZrO<sub>2</sub>-CoCrAlY (0.5mm) 及 1.5mm 厚的 ZrO<sub>2</sub> 陶瓷表层组成

梯度热障复合涂层在飞机发动机、陆地燃气轮机、柴油机、锅炉燃烧器等高温零部件上已有不同程度的应用

热障涂层(隔热涂层)



几种热障涂层的典型结构

## 含表面热处理的复合强化层

表 1-7-54

类别	性能与应用				
与表面热处理有关的复合应是其组成工序的有机组合,它应使各道组成工序的性能优点都能充分保留,避免后道工序对前道工序有抵消作用					
表面热处理与一般热处理或其他表面热处理的复合方法十分广泛,例如					
	复合方法	性能	复合方法	性能	
与渗氮有关的复合表面热处理	调质 + 渗氮	使工件具有高强度韧性的基体和高硬度、高耐磨性、高疲劳强度的表层	与渗碳和碳氮共渗有关的复合表面热处理	渗碳 + 渗硼	可在较厚的渗碳层表面覆盖一层 0.1mm 左右的渗硼层,得到一种具有强塑支承基体的硬度极高的表面,适于重载且要求有很高耐磨性的工件
	渗氮 + 淬火	使工件得到更有效的强化,硬度、强度、旋转弯曲疲劳强度普遍提高		渗碳 + 碳氮共渗	能在表面形成 0.015 ~ 0.02mm 的富碳氮层,具有很高的抗咬合、抗擦伤等能力
	氮化 + 回火	改善硬度分布,提高工件使用寿命		渗碳 + 渗铬	可增加碳化物层厚度,渗层下没有贫碳区,复合渗层具有高的硬度、疲劳强度、耐磨性、热稳定性和在各种介质中的耐蚀性(包括在铝合金、锌合金熔体中的侵蚀性)
	渗氮 + 蒸气处理	使渗氮层表面形成一层厚约数微米的均匀而致密的 $Fe_3O_4$ ,具有多孔性,坚硬而能储油,大大提高工件的使用寿命		渗碳 + 熔盐浸镀(TD法)	可在工件上涂覆一层 5 ~ 10 $\mu$ m 厚的 NbC、VC、Cr-C 等碳化物,它们与金属基体紧密结合的碳化物硬度高达 1300 ~ 4000HV,具有极高的耐磨、耐蚀、抗咬合、耐热冲击等性能
	渗氮 + 渗磷	可使渗氮层表面形成一层磷酸盐膜,具有良好的减摩作用			
金属共渗 + 适当热处理	ЖС6 - К 合金铬铝共渗后,再经 960 $^{\circ}$ C $\times$ 6h 和 1210 $^{\circ}$ C $\times$ 3h 退火,抗热震性进一步提高 5XИM 钢模具在铬钒共渗 + 渗氮,退火处理后,硬度、抗氧化性显著提高				
日本还发明了钢渗镍、铬和渗氮的工艺。经上述工艺复合处理的钢具有优良的耐磨性和耐高温腐蚀性能,适用于锅炉、热交换器、加热炉等承受高温腐蚀的部位					
共渗与复合渗的目的是吸收各种单元渗的优点,弥补其不足,使工件表面达到更高的综合性能指标。下表列出了一些元素的共渗、复合渗层的主要性能及应用					
类别	处理方法	工艺与渗层厚度/mm	性能特点及应用		
含铝共渗及复合渗	Al-Si 复合渗	粉末法: 1000 $^{\circ}$ C, 8h, 厚度: 20 钢, 0.23mm; 45 钢, 0.18mm; T8 钢, 0.175mm	提高零件热稳定性,如镍铬合金,奥氏体类、铁素体类耐热钢;可用碳钢、低合金钢经 Al-Si 复合渗代替高合金耐热钢;还可用于提高钛、难熔金属及其合金的耐高温气体腐蚀性		
	Al-Cr 共渗及复合渗	粉末法: 1025 $^{\circ}$ C, 10h, 厚度: 10 钢, 0.37mm; 1Cr18Ni9Ti, 0.22mm	共渗用于提高钛、钢及其合金的热稳定性,提高零件抵抗冲蚀磨损和磨料磨损的能力,可用廉价钢种 Al-Cr 共渗代替高合金钢。复合渗主要用于防止高温气体腐蚀;提高零件持久强度和热疲劳性,如燃气轮机叶片、燃烧室及各种耐热钢制零件		
	Al-B 共渗及复合渗		提高热稳定性和耐磨性。适于防止镍铬合金、热稳定钢和热强钢制零件的高温气体腐蚀;可大大提高严重磨损条件下零件的使用寿命,如与熔融金属相接触的、受冲击载荷作用的、在高温下工作的零件;复合渗比共渗能使渗层获得较高浓度的 Al 和 B		
	Al-Ti 共渗及复合渗	粉末法: 1000 $^{\circ}$ C, 6h	提高热稳定性、耐磨性和耐蚀性,但对提高钢的抗氧化性并不比单独渗 Al 优越		
	Al-V 共渗及复合渗		较单独渗 Al 有更高的热稳定性,可使钢的热稳定性提高数十倍,使钢在酸性水溶液中的耐蚀性提高 1 ~ 2 倍		
	Al-Cr-Si 共渗及复合渗		提高热稳定性和耐蚀、耐冲蚀磨损能力。对镍基热强合金,比单独渗 Al 的热稳定性提高 50%,并有较高的热疲劳抗力;该渗层可用于保护中碳、高碳钢在硝酸、氯化钠水溶液中免受腐蚀;可使某些合金的耐蚀、耐磨能力提高 1 ~ 5 倍。如用于防止直升机铝制发动机叶片的氧化,叶片边缘处温度可达 1500 ~ 1600 $^{\circ}$ C		
	Al-Ti-Si、Al-Zr-Si 共渗	Al-Zr-Si 共渗粉末法: 800 ~ 1100 $^{\circ}$ C, 2 ~ 8h	提高热稳定性和在某些腐蚀介质中的耐蚀性,如可使碳钢在 NaCl、盐酸和醋酸水溶液中的耐蚀性得到提高		

四、含表面热处理的复合强化层

1. 复合热处理层

续表

类别	性能与应用							
1. 复合热处理层	类别	处理方法	工艺与渗层厚度/mm	性能特点及应用				
	含铬共渗及复合渗	Cr-Si 共渗	1000℃, 10h, 厚度 0.15; 20h, 厚度 0.20 ~ 0.25	提高耐磨(含冲蚀磨损)、耐蚀(汽蚀、气体腐蚀、电化学腐蚀)能力。渗层具有高的热稳定性和耐急冷急热性				
		Cr-Ti 共渗	1100℃, 4h, 厚度 0.03 ~ 0.06	提高抗氧化、耐蚀、耐磨及耐汽蚀性, 还可用于提高热稳定性。抗高温氧化及耐磨性均高于渗铬层。渗层表面硬度 2200HV				
		Cr-Ti/V/Nb 复合渗	渗 Cr(或镀铬)后在含 V 或 Ti、Nb 的硼砂熔盐中扩散渗 V(或 Ti、Nb), 900 ~ 1050℃, 2 ~ 8h, 厚度 0.01 ~ 0.02	在高硬度的 VC、TiC、NbC 与基体中间是碳化铬, 使硬度逐渐降低, 从而使其抗冲击剥落性、耐蚀性高于单一碳化物层。表面硬度 3000HV 以上(VC), 或 2400HV 以上(NbC)				
		Cr-RE 复合渗	渗铬盐浴中加适量稀土: 950℃, 4 ~ 8h, 厚度 0.01 ~ 0.015	提高渗铬速度改善渗铬层质量, 使渗层耐蚀性、抗高温氧化性、耐磨性、韧性都得到提高				
		Cr-V 共渗后再渗 N	Cr-V 共渗后气体渗 N: 1050℃, 8h, 540℃, 6h, 共渗层 0.1 ~ 0.4, 氮化物层 0.01 ~ 0.02	渗层抗高温氧化、耐磨性比渗铬或铬钒共渗好				
	含硼共渗与复合渗	硼铝共渗与复合渗	用粉末法共渗: 1100℃ × 6h, 45 钢厚度 0.36; 复合渗: 900 ~ 1100℃ 渗硼, 2 ~ 4h; 1000℃ 渗铝, 2 ~ 4h	钢铁和镍基合金硼铝共渗的目的是提高耐磨性和耐蚀性。硼铝复合渗也是为了获得硬度高、耐磨性和抗氧化性好的表层。主要用于高温下承受磨损和腐蚀的工件, 如燃气轮机叶片、发动机的喷射器、火管、热锻模和挤压模				
		硼硅共渗与复合渗	用粉末法: 1050℃ × 3h, 45 钢厚度 0.24	改善渗硼层的高脆性, 提高钢的抗氧化和耐蚀性能, 表面硬度也有所提高				
		硼钨共渗	膏剂法: 950℃, 2 ~ 10h, 厚 0.04 ~ 0.1	改善渗层脆性, 提高抗冲击载荷的能力。5CrMnMo 钢共渗后在 MLD-10 冲击磨损试验机上试验其磨损失重约为渗硼层的 1/4				
		硼铬共渗与复合渗	如: 膏剂法渗硼 900℃ × (1 ~ 2)h + 粉末法渗铬 1050℃ × 3h	渗层由铁、铬的硼化物以及碳化物组成, 前者起硬质相作用, 后者塑性较好, 因而渗层的塑性和耐磨性, 尤其在动载下比渗硼层好得多				
碳氮硼共渗		多用盐浴法: 常用 (730℃ ± 10℃) × (4 ~ 6)h, 厚度 0.36 ~ 0.46	进一步提高碳氮共渗零件的耐磨性。渗层表面硬度一般比碳氮共渗高 2 ~ 3HRC, 耐磨性显著提高, 但疲劳强度不如碳氮共渗					
氧硫碳氮硼五元共渗	气体法: (560℃ ± 10℃) × (1 ~ 3)h, 厚度 0.04 ~ 0.1	可得到单元渗难以实现的综合效果。主要用于高速钢刀具, 能使其使用寿命稳定地提高 1 ~ 2 倍。工件表面乌黑美观						
2. 电镀(化学镀)热处理复合强化层	(1) 镀渗层 钢铁、铜及铜合金、铝及铝合金等材料表面电镀几种金属或合金, 然后通过热扩散处理, 可形成各种具有耐磨、减摩、耐蚀性能的镀渗层。下面列出几种钢铁、铝合金镀渗复合处理的技术性能							
	处理	工件材料	镀层材料	热扩散工艺	镀扩层组织、结构和硬度	耐蚀性	摩擦学性能(在 Falex 摩擦磨损试验机上进行试验)	适用范围
	镀锡锡热扩散 (Stanal 法)	碳素钢、合金结构钢、模具钢、不锈钢、铸铁粉末冶金件	以 Sn 为主, 含 Sn 7% ~ 10%, 可增加少量 Cd 以提高耐蚀性	在充氮炉膛中于 580 ~ 600℃ 保温 10 ~ 15h, 高精度工件在精磨前于 600℃ 去应力再加工并电镀	表面为 1 ~ 2μm 富锡的减摩层, 其下为以 FeSn 和 FeSn <sub>2</sub> 、Fe <sub>3</sub> SnC 为主, 硬度为 600 ~ 800HV 的扩散层, 渗层深度为 10 ~ 30μm	在大气、海水、矿物油中耐蚀性良好, 对碱性介质、硝酸钾溶液等有一定的耐蚀性	销子试样和 V 形块均为 35 钢, 未经表面处理时, 在 1500N 载荷下瞬时咬死, 经 Stanal 处理则 7h 才咬死(试样置于水中); 试样置于油中连续加载, 未经处理件在 2600N 时咬死, 经 Stanal 处理直至 25000N 仍运转正常	承载不重的轴、齿轮、滑动轴承、挺杆、部分蜗杆和蜗轮(某些情况下可用钢或铸铁代青铜)
镀铜锡热扩散 (Forez 法)	碳素钢、工具钢、模具钢	以 Cu 为主, 含 Sn 可达 30%	在氮气中加热到 550 ~ 600℃, 持续 4 ~ 6h	表面为 1 ~ 2μm 富锡的减摩层, 其下是 FeSn、FeSn <sub>2</sub> 、Fe <sub>3</sub> SnC, 硬度约为 450HV 的渗层, 渗层深度 10 ~ 20μm, 可深达 100μm	在大气、工业大气中有一定的耐蚀性, 抗盐雾腐蚀性能明显提高	转速 300r/min 试样上涂凡士林, 未经表面处理时 6000N 咬死, 经 Forez 处理件直至 24000N 运行正常	减速器、轻机械中的轻载齿轮、轴瓦、水泵零件、蜗轮(钢件处理可代黄铜、青铜)	

四、含表面热处理的复合强化层

类别	性能与应用						
处理	工件材料	镀层材料	热扩散工艺	镀层组织、结构和硬度	耐蚀性	摩擦学性能(在 Falex 摩擦磨损试验机上进行试验)	适用范围
镀锡镉或锡热扩散 (Delsun 法)	铜、青铜和青铜	一般镀 7~10 $\mu$ m Sn、Cd 或 Sb, 铝青铜基体加厚至 10~12 $\mu$ m	无需在保护气氛中加热, 于空气中加热至 410~430 $^{\circ}$ C, 保温 8~14h	表面是抗咬死性能良好的 Cu-Sn-Cd 合金薄层, 其下是 Cu <sub>2</sub> Sn、Cu <sub>4</sub> Sn 等化合物, 硬度为 480~600HV, 渗层深度约 30 $\mu$ m 为宜	在大气、海水及矿物油中耐蚀	销子为铜合金, V 形块是渗碳、淬火和回火的 15CrNi3A 钢, 摩擦速度为 0.1m/s, 经过 Delsun 处理的 QSn12 和 HPb59-2 的摩擦学性能显著提高, 同时提高接触疲劳强度	青铜与黄铜齿轮、蜗轮、油泵壳体、轴承、铜质模具、过滤板
镀铜热扩散 (Zinal 法)	铝与铝合金	In、Cu, 可加少量 Zn 以提高结合力	在一般加热炉中于 150~165 $^{\circ}$ C 保温 4~8h	表面为 1 $\mu$ m 左右的富铜抗咬死层, 其下为 In-Cu 化合物, 硬度约为 200~250HV, 镀渗层深度为 10~50 $\mu$ m	耐蚀性能有所改善	销子是含铜及少量镁、锰的铝合金, V 形块为调质的 35 钢, 以 0.1m/s 速率在水中试验, 未经处理件在 500N 载荷下瞬时烧伤, 经过 Zinal 处理则经 1h 才开始擦伤	铝合金武器零件、水龙头、活塞、滑轮等

在渗铝以前进行镀镍、镀铂(有时渗钽、渗铌)可以在金属表面形成一层扩散屏障, 以阻滞在高温服役条件下铝的二次扩散, 提高渗层的使用寿命。如 527 铁基合金先镀镍, 然后进行 750 $^{\circ}$ C  $\times$  (6~8)h 的粉末渗铝, 形成 40~70 $\mu$ m 的镀镍渗铝层, 由 FeAl<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>、Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> 组成, 硬度 850~1000HV; 若采用铝铬共渗则层厚为 25~35 $\mu$ m。800 $^{\circ}$ C  $\times$  100h 氧化试验的增重, 未经表面处理、渗铝、镀镍+渗铝、镀镍+铝铬共渗的表面依次为 37.8g/m<sup>2</sup>、5.4g/m<sup>2</sup>、1.9g/m<sup>2</sup> 和 2.8g/m<sup>2</sup>。铝铬共渗前渗钽用于镍基和钴基合金, 可有效防止铝铬共渗层的再扩散, 明显提高渗层的高温疲劳强度和抗高温氧化、硫化性能。

(2) 电镀(化学镀)+热处理

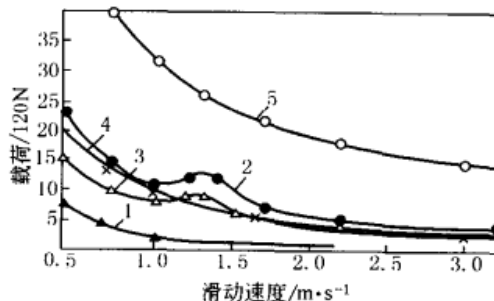
下表为 45 钢经不同热处理+表面处理, 在“球-盘”试验机上进行的摩擦磨损对比试验结果。试验中上试样是固定的 GCr15 钢球, 下试样是 45 钢制成的圆盘

盘试样(45 钢)处理工艺

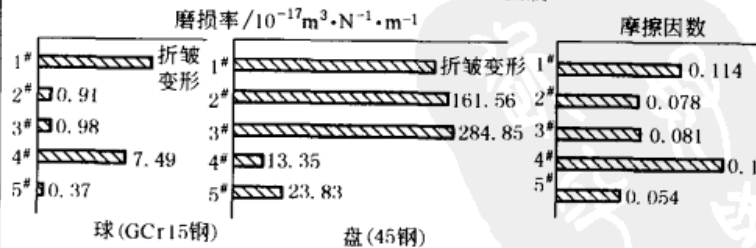
- 1—860 $^{\circ}$ C 水淬和 200 $^{\circ}$ C 回火, 硬度 627HV
- 2—860 $^{\circ}$ C 水淬和 200 $^{\circ}$ C 回火, 硬度 627HV, 刷镀 Ni-Cu-P 镀层 (Ni64%, Cu34%, P2%), 硬度 961HV
- 3—860 $^{\circ}$ C 水淬和 590 $^{\circ}$ C 回火, 硬度 243HV, 刷镀 Ni-Cu-P 镀层, 硬度 904HV
- 4—860 $^{\circ}$ C 水淬和 550 $^{\circ}$ C 回火, 硬度 487HV, 离子渗氮, 电压 370V, 电流 7.6A, (540~560 $^{\circ}$ C)  $\times$  13h, 硬度 478HV
- 5—860 $^{\circ}$ C 水淬和 550 $^{\circ}$ C 回火, 硬度 487HV, 离子渗氮加刷镀 Ni-Cu-P 镀层, 硬度 502HV

试验结果

对比说明



(a) 不同表面处理试样的 P-v 曲线



(b) 不同表面处理试样的摩擦系数和磨损率比较

(v=1m/s, P=600N, t=30)

左图表明, 在离子渗氮 45 钢表面刷镀 Ni-Cu-P 镀层的 5<sup>#</sup> 试样的承载能力最好, 大约相当于 2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 或 4<sup>#</sup> 试样的 2~3 倍, 约相当于未经表面处理的 1<sup>#</sup> 试样的 10 倍。5<sup>#</sup> 试样还具有最低的摩擦系数, 大约相当于 1<sup>#</sup> 和 4<sup>#</sup> 试样的 1/2 和 1/3, 5<sup>#</sup> 试样对磨钢球的磨损率与 4<sup>#</sup> 试样相比大约下降了 20 倍

扫描电镜形貌观察可见, 2<sup>#</sup> 试样表层发生了严重的塑性变形, 并在镀层与基体界面出现了将导致镀层剥落的大裂纹; 而 5<sup>#</sup> 试样虽然硬度仅有 500HV, 但其镀层与基体界面结合良好, 这是由于镀层内应力下降, 抵抗裂纹扩展能力提高的结果

2. 电镀(化学镀)+热处理  
四、含表面热处理的复合强化层

类别	性能与应用											
3. 铸渗复合层	机理	铸渗复合法是在铸型型腔壁上涂敷、贴固一定粒度的合金粉末膏剂(铸渗膏剂),然后将液态金属倒入,液态金属浸透膏剂的毛细孔隙中,靠其热量熔融膏剂并与基体表面熔为一体。由于界面处的扩散渗透,在铸件表面上形成一定厚度且与基体组织、成分、性能截然不同的合金耐磨覆层——铸渗复合涂层										
	特点	铸渗法在砂型铸造、精密铸造和压力铸造中均可应用。基体材料可为各种铸钢和铸铁										
	铸渗剂选用	制作耐磨铸渗膏剂,一般选用耐磨性好、熔点较低的高铬白口铁合金粉末,或在其中加入碳化物硬颗粒,再加入1%左右的熔剂(硼砂等)及适量的黏结剂(水玻璃、聚乙烯醇等)调成膏状,或将膏剂压成一定形状备用 合金膏剂获得最大浸透深度的粉末粒度为0.06~0.50mm,制备薄铸渗涂层粉末粒度为0.20~0.32mm。膏剂层厚度一般为铸件厚度的1/10以下,当膏剂涂层厚度小于5mm,铸渗层厚度相当于1~3倍膏剂厚度										
	WC 颗粒复合铸渗层	WC 颗粒复合膏剂系列	复合铸渗层磨损面中 WC 颗粒的面积比/%	相对耐磨性 $\epsilon$	WC 颗粒复合膏剂系列	复合铸渗层磨损面中 WC 颗粒的面积比/%	相对耐磨性 $\epsilon$					
		30MnSiTi 铸钢	0	1.0	高铬白口铁 + WC(铸态)	47.3	24.5					
		30MnSiTi + WC(铸态)	53.6	31.2		44.5	21.4					
			19.9	14.3		41.7	20.2					
	高铬白口铁 + WC (950℃ 淬火, 250℃ 回火)	48.2	21.4	25.0		19.2						
		11.7	12.8	0	1.8							
		5.3	4.0									
高铬白口铁铸渗层	膏剂系列	铸渗层化学成分(质量分数)/%					涂层厚度/mm	铸渗层平均厚度/mm	热处理状态	硬度 HRC	相对耐磨性 $\epsilon$	
		C	Cr	Mo	Cu	V						Fe
	Cr	3.84	20.3	—	—	—	余量	2.5	2.7	950℃ 淬火,	60	1.76
	Cr-Mo-Cu	2.45	16.8	1.74	0.14	—	余量	2.5	3.4		58	2.45
	Cr-V	2.45	15.8	—	—	0.99	余量	2.5	3.0	250℃ 回火	60	2.74
30MnSiTi 铸钢标样									48	1.00		
注:1. 耐磨性测试条件:ML-10 型销盘式磨料磨损试验机;30MnSiTi 铸钢标样,磨料为 106 $\mu$ m 刚玉砂纸,载荷 49N,用万分之一天平测量磨损失重 2. 加 WC 颗粒的铸渗层,浸透过程中膏剂合金熔化,WC 不熔化。凝固后形成在膏剂合金基体上嵌镶着 WC 颗粒硬质的复合铸渗层。这种铸渗层中 WC 含量一般为 30%~70%,粒度为 900~590 $\mu$ m												
4. 表面热处理与其他表面技术复合层	(1) 渗碳加强力喷丸											
	可以提高变速箱齿轮等工件的疲劳强度、寿命和可靠性,尤其是表面能获得大量残余奥氏体的渗碳工艺经喷丸强化可使工件具有很好的疲劳性能。下面是 20CrMnTi 钢在两种工艺参数下渗碳加强力喷丸后的接触疲劳试验结果											
	20CrMnTi 钢的处理工艺	接触疲劳试验结果					对比说明					
	I—930℃ 渗碳,碳势 1.05%, 850℃ 淬油,190℃ 回火 II—930℃ 渗碳,碳势 1.3%, 880℃ 淬油,190℃ 回火 III—工艺 I + 强力喷丸(HC-34 型喷丸机,用直径 2.8mm、硬度 48~55HRC 的钢丸,喷丸强度 $f_a = 0.56$ mm) IV—工艺 II + 强力喷丸(喷丸条件同 III)	<p style="text-align: center;">20CrMnTi 渗碳 + 强力喷丸</p>					<p>左图表明,两种工艺经喷丸后其疲劳寿命均明显提高,在较低接触应力下更显著。其中高浓度渗碳与强力喷丸表面复合强化,具有最高的接触疲劳寿命。测试得出,高碳势的工艺 II 比工艺 I 的有效渗层深度增加 18.8%;喷丸后表层硬度均明显提高,工艺 I 提高 50HV 左右,而工艺 II 最多提高约 90HV。在次表层 0.3~1.0mm 范围内,工艺 IV 的硬度均比工艺 III 高。高浓度渗碳导致了次表层硬度的提高和有效渗层的增加,强力喷丸的形变强化效应和引入的残余压应力,有效弥补了因大量残余奥氏体所造成的表面残余压应力下降的不利影响。在高应力条件下,复合强化效果受到影响</p>					
(2) 渗碳加碳氮共渗 + 加工硬化(压迫、喷丸等)												
这是在渗碳后加碳氮共渗工序,以期在随后的淬火中,在表层形成大量的残余奥氏体,然后通过压迫等使表面进一步硬化。这种复合处理能形成很硬而又富有韧性的表层,提高了使用寿命,并能获得很高的疲劳强度												
(3) 碳氮共渗加氧化抛光复合处理(国外商品名为 QPQ 工艺)												
该工艺的碳氮共渗温度一般为 540~580℃,时间 0.5~3h,在氧化盐浴中的浸渍时间在 5~20min 范围内。经 QPQ 工艺处理的工件,其耐磨性能优良,如下图所示,耐蚀性也很高,如下表。表面乌黑发亮,在适当场合可代替镀铬,解决电镀污染问题。目前国内外在汽车、摩托车、照相机、兵器等零件上应用较多												

四、含表面热处理的复合强化层

4. 表面热处理与其他表面技术复合层

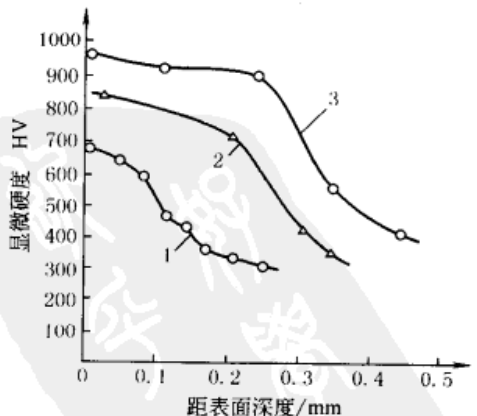


类别	性能与应用													
4. 含表面热处理与其他表面技术复合层	<p>QPQ与镀铬耐磨性比较(发动机气门杆)</p>	<p>QPQ工艺与几种电镀层盐雾试验结果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>表面处理</th> <th>每24h失重/g·m<sup>-2</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>QPQ工艺</td> <td>0.34</td> </tr> <tr> <td>12μm硬铬</td> <td>7.1</td> </tr> <tr> <td>20μm软铬+25μm硬铬</td> <td>7.2</td> </tr> <tr> <td>20μm硬铬</td> <td>2.9</td> </tr> <tr> <td>37.0μm铜+45.0μm镍+1.3μm铬</td> <td>0.45</td> </tr> </tbody> </table>	表面处理	每24h失重/g·m <sup>-2</sup>	QPQ工艺	0.34	12μm硬铬	7.1	20μm软铬+25μm硬铬	7.2	20μm硬铬	2.9	37.0μm铜+45.0μm镍+1.3μm铬	0.45
	表面处理	每24h失重/g·m <sup>-2</sup>												
QPQ工艺	0.34													
12μm硬铬	7.1													
20μm软铬+25μm硬铬	7.2													
20μm硬铬	2.9													
37.0μm铜+45.0μm镍+1.3μm铬	0.45													
	<p>(4) 在 Al 或 Al-Ti 渗层中嵌夹 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 陶瓷</p> <p>该工艺可使渗层具有非常优异的抗高温氧化、抗热疲劳和抗冲蚀磨损性能。用固体粉末法时,先将 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> (粒度为 1~20μm) 和黏结剂(丙烯酸树脂溶于甲苯或丙酮)按比例调成料浆,用刷涂、浸渍或喷涂等方法涂敷于零件表面,干燥后埋入由 60% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 40% 渗剂(34% Al + 61% Ti + 5% 碳粉)另加 0.2% NH<sub>4</sub>F 组成的粉末中,在氢气保护下 1050℃ 保温 3~4h,钛与铝的卤化物气体透过陶瓷层与基体产生互扩散,形成以铝为主的铝钛共渗层,陶瓷嵌夹在渗层内。含陶瓷层厚度约 25μm,渗层厚度为 50μm。除粉末法外,还可用电泳法或熔浴法获得这种渗层。用镍基合金渗铝及渗铝夹嵌陶瓷进行对比试验发现,后者的氧化失重量率下降到渗铝层的 2% 以下,热腐蚀试验的失效时间是渗铝层的 4 倍以上</p>													

含激光处理的复合强化层及其他表面技术的复合

表 1-7-55

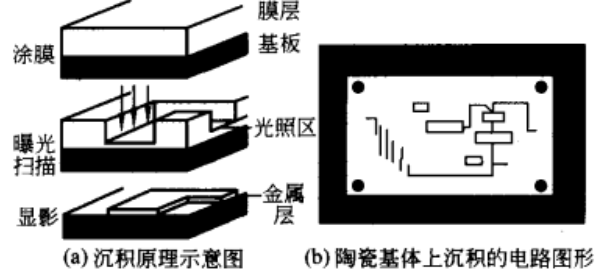
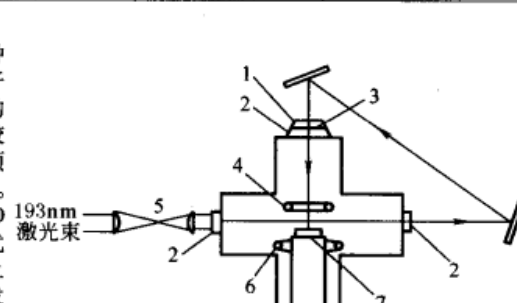
类别	性能和应用										
5. 含激光处理的复合强化层	利用高密度能源的激光束对金属表面进行改性和强化,制备各种高性能的复合涂层										
	<p>(1) 激光熔覆复合涂层</p> <p>目前对激光熔覆的研究主要是在一般材料表面包敷 Co 基、Ni 基、Cr 基等合金及 WC、TiC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等陶瓷材料,以提高所需的表面性能。激光熔覆工艺常用的基体材料、熔覆材料及应用范围如下表</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>基体材料</th> <th>熔覆材料</th> <th>应用范围</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">碳钢、铸铁、不锈钢、合金钢、铝合金、铜合金、镍基合金、钛基合金等</td> <td>纯金属及合金,如 Cr、Ni 及 Co、Ni、Fe 基合金</td> <td>提高耐磨、耐蚀、耐热等性能</td> </tr> <tr> <td>氧化物陶瓷,如 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等</td> <td>提高绝热、耐高温、抗氧化等性能</td> </tr> <tr> <td>金属、类金属与 C、N、B、Si 等元素组成的化合物,如 WC、TiC、SiC、B<sub>4</sub>C、TiN 等并以 Ni 或 Co 基材料为黏结金属</td> <td>提高硬度、耐磨性或耐蚀性等</td> </tr> </tbody> </table>		基体材料	熔覆材料	应用范围	碳钢、铸铁、不锈钢、合金钢、铝合金、铜合金、镍基合金、钛基合金等	纯金属及合金,如 Cr、Ni 及 Co、Ni、Fe 基合金	提高耐磨、耐蚀、耐热等性能	氧化物陶瓷,如 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、ZrO <sub>2</sub> 、SiO <sub>2</sub> 、Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等	提高绝热、耐高温、抗氧化等性能	金属、类金属与 C、N、B、Si 等元素组成的化合物,如 WC、TiC、SiC、B <sub>4</sub> C、TiN 等并以 Ni 或 Co 基材料为黏结金属
基体材料	熔覆材料	应用范围									
碳钢、铸铁、不锈钢、合金钢、铝合金、铜合金、镍基合金、钛基合金等	纯金属及合金,如 Cr、Ni 及 Co、Ni、Fe 基合金	提高耐磨、耐蚀、耐热等性能									
	氧化物陶瓷,如 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、ZrO <sub>2</sub> 、SiO <sub>2</sub> 、Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等	提高绝热、耐高温、抗氧化等性能									
	金属、类金属与 C、N、B、Si 等元素组成的化合物,如 WC、TiC、SiC、B <sub>4</sub> C、TiN 等并以 Ni 或 Co 基材料为黏结金属	提高硬度、耐磨性或耐蚀性等									
	<p>① Ni-Cr-B-Si(基体) + Ni(WC)。是利用激光熔覆的陶瓷涂层。用来解决沙漠汽车风冷发动机缸套极易磨损的问题,取得显著成效</p> <p>它是 Ni-Cr-B-Si 为基础合金,加入 50% 左右的镍包碳化钨——Ni(WC)陶瓷作为硬质相,通过热喷涂进行预置,而后用激光将其熔覆。熔覆后的(铸铁缸套)表层可分为熔覆层、淬硬区和铸铁基体三个区域。熔覆层与基体为冶金结合。熔覆层组分比较均匀,无缺陷、无裂纹,在软基体上弥散分布着 WC 颗粒。熔覆层的硬度分布如图所示,其耐磨性提高达 6 倍以上</p> <p>② 20Ni4Mo(基材) + Ni60(WC 颗粒尺寸 450~900μm,含量 60%)激光熔覆粗颗粒 WC 复合涂层后继续渗碳淬火,经干砂磨损试验机试验及金相分析表明,其耐磨性明显优于氢原子焊层和氧-乙炔焊层,原因在于复合涂层 WC 颗粒的烧损程度低和硬度高。这种含粗颗粒 WC 的陶瓷涂层在冶金、矿山、煤炭、石油等工业部门承受严重磨粒磨损的零件中得到成功的应用</p> <p>③ 15MnV(基材) + Ni(WC)激光熔覆涂层,硬度达 1090~1150HV,耐磨性较基材提高 2 倍以上</p> <p>④ 60 钢(基材) + (WC)碳钨激光熔覆涂层,硬度最高达 2200HV 以上,耐磨料磨损为 60 钢的 20 倍左右</p> <p>⑤ 铸铁 + FeCrNiSiB(自熔性合金)激光熔覆涂层的耐磨性比基材提高 4~5 倍</p> <p>⑥ 将 Ni-Al-Cr-Hf 合金粉末涂于 Rene-80 合金上进行激光熔覆,可显著提高其在 1200℃ 时的抗高温氧化性能;Incoloy800 合金表面激光熔覆 Ni-Cr-Al-Zr-Y 涂层,大大改善基材抗高温氧化性能</p>	<p>热喷涂 + 激光熔覆陶瓷涂层硬度分布 [Ni60: Ni(WC) = 1:1 合金粉末]</p>									

类别	性能和应用																																																																						
	<p>⑦在 ZL109 铝合金表面涂 Si、WC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MoS<sub>2</sub> 等涂层后,进行激光熔覆,使其表面耐磨性提高 2~6 倍</p> <p>⑧在 Ti-6Al-4V 合金表面熔覆 TiC,其摩擦因数仅为该合金表面的 1/2;在 Ti-6Al-4V 和 2024Al 合金上分别激光熔覆 TiC 和 WC 陶瓷,熔覆层的耐干砂橡皮轮磨粒磨损性能相应地比基材提高 13 倍和 38 倍</p> <p>(2)激光合金化复合涂层</p> <p>①对 45 钢进行 NiCr 合金化后,硬度为 728HV,合金层耐磨性比基材高 2~3 倍,在高速重载下尤为明显;在 45 钢上制备的 TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>4</sub>C-Al 激光合金化复合涂层的耐磨性是 CrWMn 钢的 10 倍。用此工艺处理的磨床托板比原 CrWMn 钢制托板寿命提高了 3~4 倍</p> <p>②在工具钢表面进行 W、WC、TiC 的激光合金化,由于马氏体相变硬化、碳化物沉淀和弥散强化的共同作用,使合金层耐磨料磨损性能明显提高</p> <p>③铝硅合金经激光 Ni、Cr 合金化后,合金层硬度为 140~180HV,经环块磨损试验,耐磨性比原硅铝合金提高 2~4 倍</p> <p>④Ti 合金利用激光碳硼和碳硅共渗的方法实现了表面合金化,硬度由 299~376HV 提高到 1430~2290HV,与硬质合金对磨时,合金化后耐磨性可提高两个数量级</p> <p>⑤20CrNiMo 和 20CrNi4Mo 钢在渗碳、渗硼后,经激光熔覆使合金元素重新分布并均匀化,消除了 Fe<sub>2</sub>B 相的择优取向。可使硬度略有增加,并提高了耐低应力磨料磨损性能</p> <p>激光合金化处理所用的基材(基本材料),添加的合金元素及获得的表面硬度如下表</p>																																																																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>基体材料</th> <th>添加的合金元素</th> <th>硬度 HV</th> <th>基体材料</th> <th>添加的合金元素</th> <th>硬度 HV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fe、45、40Cr</td> <td>B</td> <td>1950~2100</td> <td rowspan="3">工业纯钛</td> <td>化合物</td> <td>1600~2300</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">45、GCr15、TC6、工业纯 Ti</td> <td rowspan="2">MoS<sub>2</sub>、Cr、Cu</td> <td rowspan="2">耐磨性提高 2~5 倍</td> <td>金属</td> <td>820~930</td> </tr> <tr> <td>非金属</td> <td>570~790</td> </tr> <tr> <td>Ti10</td> <td>Cr</td> <td>900~1100</td> <td rowspan="2">Fe</td> <td>石墨</td> <td>1400</td> </tr> <tr> <td>ZL104 铸铝合金</td> <td>Fe</td> <td>480</td> <td>TiN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>Fe、45、T8A</td> <td>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub></td> <td>达 1080</td> <td rowspan="3">45</td> <td>WC + Co</td> <td>1450</td> </tr> <tr> <td>Fe、GCr15</td> <td>Ni、Mo、Ti、Ta、Nb、V</td> <td>达 1650</td> <td>WC + Ni + Cr + B + Si</td> <td>700</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1Cr12Ni2MoV</td> <td rowspan="2">B 胺盐</td> <td>1225</td> <td>WC + Co + Mo</td> <td>1200</td> </tr> <tr> <td>950</td> <td>WC</td> <td>2100</td> </tr> <tr> <td>Fe、Q235、45、T8</td> <td>C、Cr、Ni、W、YG8</td> <td>达 900</td> <td rowspan="2">铬钢</td> <td>TiC</td> <td>1700</td> </tr> <tr> <td>Cr18Ni9</td> <td>TiC</td> <td>58HRC</td> <td>B</td> <td>1600</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>铸铁</td> <td>FeTi、FeCr、FeV、FeSi</td> <td>300~700</td> </tr> </tbody> </table>					基体材料	添加的合金元素	硬度 HV	基体材料	添加的合金元素	硬度 HV	Fe、45、40Cr	B	1950~2100	工业纯钛	化合物	1600~2300	45、GCr15、TC6、工业纯 Ti	MoS <sub>2</sub> 、Cr、Cu	耐磨性提高 2~5 倍	金属	820~930	非金属	570~790	Ti10	Cr	900~1100	Fe	石墨	1400	ZL104 铸铝合金	Fe	480	TiN、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2000	Fe、45、T8A	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、TiO <sub>2</sub>	达 1080	45	WC + Co	1450	Fe、GCr15	Ni、Mo、Ti、Ta、Nb、V	达 1650	WC + Ni + Cr + B + Si	700	1Cr12Ni2MoV	B 胺盐	1225	WC + Co + Mo	1200	950	WC	2100	Fe、Q235、45、T8	C、Cr、Ni、W、YG8	达 900	铬钢	TiC	1700	Cr18Ni9	TiC	58HRC	B	1600				铸铁	FeTi、FeCr、FeV、FeSi	300~700
基体材料	添加的合金元素	硬度 HV	基体材料	添加的合金元素	硬度 HV																																																																		
Fe、45、40Cr	B	1950~2100	工业纯钛	化合物	1600~2300																																																																		
45、GCr15、TC6、工业纯 Ti	MoS <sub>2</sub> 、Cr、Cu	耐磨性提高 2~5 倍		金属	820~930																																																																		
				非金属	570~790																																																																		
Ti10	Cr	900~1100	Fe	石墨	1400																																																																		
ZL104 铸铝合金	Fe	480		TiN、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2000																																																																		
Fe、45、T8A	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、TiO <sub>2</sub>	达 1080	45	WC + Co	1450																																																																		
Fe、GCr15	Ni、Mo、Ti、Ta、Nb、V	达 1650		WC + Ni + Cr + B + Si	700																																																																		
1Cr12Ni2MoV	B 胺盐	1225		WC + Co + Mo	1200																																																																		
		950	WC	2100																																																																			
Fe、Q235、45、T8	C、Cr、Ni、W、YG8	达 900	铬钢	TiC	1700																																																																		
Cr18Ni9	TiC	58HRC		B	1600																																																																		
			铸铁	FeTi、FeCr、FeV、FeSi	300~700																																																																		
	(3)其他含激光处理的复合强化层																																																																						
1. 激光制备表面复合涂层	类别		处理工艺		性能																																																																		
	先电镀再进行激光表面处理		先用 Watts 镀镍溶液加 ZrO <sub>2</sub> 微粒制备 Ni-ZrO <sub>2</sub> 复合镀层,而后进行激光合金化处理(激光功率 P = 1000W,扫描速度 v = 700mm/min,光斑直径 D = 6mm)		处理后比原复合镀层的硬度提高 6%,磨损量减少 20%,耐高温氧化性提高 10%;与高温镍基合金 K17 相比,硬度和耐磨性相近,耐高温氧化性提高 20%																																																																		
	与激光相变硬化相复合的表面处理		为了修复严重磨损的轴头(见说明),先用 D132 焊条(含 C0.34%,Cr3.00%,Mo1.40%)进行堆焊,而后再进行激光相变硬化处理,并比较了高频感应加热淬火、激光强化、堆焊后激光强化三种试样的接触疲劳寿命,其中单纯激光强化所采用的优化参数为:激光功率 P = 2000W,扫描速度 v = 300mm/min,光斑直径 D = 5mm;堆焊后的激光强化所采用的优化参数为: P = 2000W, v = 600mm/min, D = 5mm		结果证明,堆焊后激光强化试样在各种接触应力下的接触疲劳寿命均最高 说明: 轴头为履带重载车辆悬挂装置的细长零件扭力轴(长 2.18m),由 45CrNiMoVA 钢制造,轴头热处理硬度不低于 50HRC,与支座中的滚柱直接接触。由于工件条件恶劣,轴头容易磨损																																																																		
离子渗氮后再进行激光相变硬化处理	 <p>35CrMo 钢离子渗氮后再进行激光相变硬化处理(热处理:850℃油淬和 550℃回火 2h,硬度 380HV) 1—540℃离子氮化 10h;2—2.5kWCO<sub>2</sub> 激光相变硬化,激光功率 400W,激光束直径 3mm,移动速度 10mm/s;3—1+2 复合处理</p>		<p>左图示出了这种复合表面处理与单一渗氮处理和单一激光相变硬化处理的硬度随距表面深度的变化情况。图中曲线表明,复合处理的表面硬度最高,可达 950HV,硬化层深也达到 0.46mm,均明显高于单一表面处理的数值;三种试样在 NUS-ISO-1 型往复磨损试验机上进行耐磨性比较得出,复合表面处理的耐磨性比单一离子渗氮提高约 75%,比单一激光处理提高 38%。XPS 分析表明,激光辐照后使表面渗氮层深度明显增加,在复合处理试样中,0.3mm 深处仍有氮原子存在,而单一离子渗氮试样到 0.2mm 处氮原子已经消失</p>																																																																				

五、含激光处理的复合强化层



类别	性能和应用
	<p><b>机理</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①热解机理。利用激光的局部高温,特别是脉冲激光,瞬间达到很高的微区温度,使某些金属络合物产生热裂解。这种裂解反应可使金属实现微区局部镀</li> <li>②光解机理。某些化合物在特定波长的激光照射下发生分解,实现金属化学沉积</li> <li>③光电化学机理。一定波长的激光,当其光子能量大于半导体的禁带宽度时就可能与金属离子结合并使之沉积。而空穴则可以产生氧化反应,或使基体溶解。以光电化学机理沉积的基体一般为半导体,如 InP,在 InP/HAuCl<sub>4</sub> 体系中用氦离子激光照射,不通电就可观察到金的沉积</li> </ul> <p><b>比普通电镀的优点</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①沉积速度快。比普通电镀高出 2~3 个数量级,结合溶液喷射时,镀金速度可达 30μm/s 以上</li> <li>②适用范围广。不但可在金属上沉积,还可在多种半导体 (Si、InP、GaAs)、绝缘体 (陶瓷、微晶玻璃、聚酰亚胺、聚四氟乙烯) 等材料上直接镀覆</li> <li>③沉积选择性强。可实现无掩膜微区沉积的直接写入,金属线条宽度可以达到 1~2μm</li> <li>④结合性能优良。镀层与基体有一定的相互扩散作用</li> <li>⑤工艺性好。可在常温下工作,工艺简单,易于实现微机控制,通过控制激光束的扫描轨迹,可精确镀制多种线图形</li> </ul>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">五、含激光处理的复合强化层</p> <p style="writing-mode: vertical-rl;">2. 激光增强沉积(或激光诱导沉积、激光镀)</p>	<p>是以高密度激光束辐照液-固分界面,造成局部温升和微区搅拌,从而诱发或增强辐射区的化学反应,引起液体物质的分解并在固体表面沉积出反应生成物。激光增强电镀比普通激光增强电镀和激光喷射电镀,沉积机理主要是激光的热效应</p> <p>① 普通激光增强电镀 Cu。电镀装置采用图示的三电极体系。电解液采用 0.05mol CuSO<sub>4</sub> 和 1mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的混合体系。在待沉积的阴极电极上预先沉积一层厚约 50~1000nm 的 Cu 膜或 Au 膜。激光束光柱直径 100~500μm,能量密度为 0.1~2kW/cm<sup>2</sup>,波长为 514.5nm。在此条件下,可制得宽度在微米级的铜线,通过计算机对 X-Y 操作台的控制可进行图形的沉积</p> <p>② 激光喷射电镀 Au。它是在激光增强电镀的基础上发展而来的一种新技术,由 IBM 公司在 1985 年首先提出。目前主要用在印刷电路板图形的直接制作,以及插件的局部电镀等方面。用得较多的是用金的氰化物来沉积金,其基体一般是合金。当激光功率大约为 20~25W 时,用直径 0.3mm 的喷嘴可得到 20μm/s 的镀速。IBM 公司得到的金镀层由极微小的颗粒组成,没有孔隙,和基体的结合力相当好。另外还有用激光喷射电镀在不锈钢基体上沉积金,电镀液采用 KAu(CN)<sub>2</sub>、磷酸盐和微量添加剂组合的混合物,其 pH 值约为 6.4,维持温度在 20℃ ± 2℃,激光波长为 514.5nm,功率为 0.8W。阳极用镀铂黑的铂丝绕制而成,阴极为不锈钢圆盘,移动速度为 80μm/s,喷嘴直径为 0.5mm</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="199 1041 247 1209" style="writing-mode: vertical-rl;">(1) 激光增强电镀</div> <div data-bbox="279 1131 909 1467"> </div> <div data-bbox="933 1108 1449 1164"> <p>普通激光电镀的实验装置有多种形式:左图是其中的一种。</p> </div> </div> <p>整个过程在恒电位仪的控制下在聚四氟乙烯或玻璃容器中进行。电极直接浸入电解液中,间距约 1cm。激光束一般通过阳极上的小孔直接照射在阴极上。激光波长的选择应考虑尽量避免电解液的吸收,用得较多的是 Ar<sup>+</sup> 激光。普通激光增强电镀也可采用两电极体系,阳极一般采用 Pt 片,而阴极则用一块预蒸镀上一层金属原子的玻璃片,如蒸镀 Ni、Mo、Cu、W 等,其厚度一般为 20~200μm,使玻璃导电</p> <p>激光喷射电镀装置大致上与激光增强电镀相似,其主要特色就在于其喷嘴。该装置的阳极装在压力室内,可以是 Au 片或 Pt 片,片上有小孔,以利于激光穿过此孔后通过喷嘴照在阴极表面上。同时,从加压室出来的电解液以一定的流速通过喷嘴射到阴极表面上,沉积出金属。其镀速相当快,且可以和计算机联用</p> <p>激光诱导化学镀就是利用激光的光效应来激发化学镀的过程,从而实现金属的微区镀覆。它无需外加电源,可以在常温溶液中于多种基体上一步沉积出金属,工艺简单,易于实施</p> <p>(2) 激光诱导化学镀</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 在 p 型、n 型及未掺杂的 InP 上激光诱导化学沉积 Pt、Cu、Ni。可用染料激光器,电解液为 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、CuSO<sub>4</sub>、NiSO<sub>4</sub> 混合液。其过程机理是脉冲激光束产生了局部瞬时高温,使镀液发生微区分解,生成的金属沉积在基体表面上</li> <li>② 在半导体硅片及砷化镓和聚酰亚胺材料上激光诱导化学镀金</li> </ul> <p>在半导体上镀金的机理主要是由于半导体在激光照射区产生了电子-空穴对,使金属离子还原而沉积在基体光照区表面</p> <p>在聚酰亚胺上的沉积机理则主要是激光引发了电子转移,亚胺转变为胺类物质使金属离子获得了电子后被还原沉积在光照区。该技术可以利用上图所示的装置,只是因为无需电源,而没有阴阳极。激光可直接照射在待沉积的基体材料上,通过控制 X-Y 操作台或激光束的移动来进行图形的沉积</p>

类别	性能和 应用							
五、含激光处理的复合强化层  2. 激光增强沉积(或激光诱导金属沉积)	(3) 固态膜法激光诱导金属沉积	<p>它是将金属的有机化合物涂覆在基体表面,然后用激光照射使其分解,纯金属被还原出来并局部沉积在基体表面。与液相激光镀相比,固态膜法工艺简单,操作方便,且易于与常规工艺的光刻技术兼容</p> <p>固态膜法激光镀的原理如图 a 所示。其工艺流程一般为:基体活化→涂浆→激光扫描→清洗浆料→热处理→化学镀增厚→电镀。其中热处理是为了清除镀层中的杂质;化学镀和电镀是为了提高镀层的电性能。图 b 所示是在陶瓷基板上沉积的电路图形</p>	 <p>(a) 沉积原理示意图 (b) 陶瓷基板上沉积的电路图形</p>	镀层	材料	处理工艺	机理及性质	应用
		固态膜法镀金	原材料用 Au 的络合物 $\text{NH}_4\text{AuAl}_4$ , 载体材料一般为硝化赛璐珞	先将硝化赛璐珞和 $\text{NH}_4\text{AuCl}_4$ 分别溶于 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{OO}(\text{CH}_3)$ 和乙醇,再将两种溶液混在一起,硝化赛璐珞和 $\text{NH}_4\text{AuCl}_4$ 的比例约 3:1。用离心式涂胶机将这种混合溶液在机体上涂覆一层均匀的胶状膜,在 $80^\circ\text{C}$ 烘 30min,然后用 $193\text{nm}$ ArF 准分子激光曝光,使活性物质分解,生成的 Au 留在基体材料上。然后将样品置于 $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ 中显影,除去其余的活性物质,即可得沉积金	此过程的机制为 Au 的固相光化学分解沉积, Au 线最小宽度可达亚微米级, Au 膜的附着强度也很高	上述几种激光无掩膜局部沉积技术在电接插件局部镀方面可大幅度减少贵金属的消耗,在集成电路等微电子器件制作中具有广泛的应用前景		
		原理和装置	<p>是使用激光的能量激活 CVD 化学反应。LCVD 存在两种可能的机制:光热解机制和光化学机制。光热解机制是光子加热了基板,使其上方的气体裂解,从而产生所要求的 CVD 反应。显然光热解沉积要求基板对激光的吸收系数较高,且熔化温度必须高于气体的裂解温度。而激光波长必须选择能使气体分子对激光能量的吸收很小或根本不吸收。光热解机制涉及的沉积机理和化学反应在本质上与热 CVD 没有什么根本不同,但光热解反应相对于热 CVD 的一个优点是可以利用激光束快速加热和脉冲特性在热敏感基板上进行沉积。光化学机制则是依靠光子的能量直接使气体发生分解(单分子吸收)。此时多要求使用紫外线,因为紫外线具有足够的光子能量去打断反应气体分子的化学键</p> <p>准分子激光器是普遍采用的紫外激光器,可以提供能量范围为 <math>3.4</math> (XeF 激光器) ~ <math>6.4\text{eV}</math> (ArF 激光器)。光化学机制对基板类型没有要求,可在室温下沉积,但因为其沉积速率太慢而大大限制了它的应用。典型的 LCVD 系统如图所示</p>	 <p>激光 CVD 系统示意图 1—光栏;2—窗口;3—衰减器; 4—反应气体入口喷嘴;5—缩小望远镜;6—副产物气体排出口; 7—加热器</p>				
应用	<p>目前 LCVD 主要应用在半导体的“直接写入”,使卤化物一次沉积具有线宽仅为 <math>0.5\mu\text{m}</math> 的完整线路花样。也可以制作空心碳纤维和碳纤维。此外,还有激光物理气相沉积(LPVD),它可制备 BN 膜、半导体膜、电介质膜、陶瓷膜等</p>							
六、其他表面技术的复合	电刷镀与喷熔复合	<p>当喷熔工艺用在难熔材料或用在同一零部件上含异种金属的基体材料时,为解决粉末在喷熔过程中呈水珠状的不浸润问题,采用电刷镀改善基材的表面性能,是使喷熔顺利进行的有效办法。如某部在 <math>38\text{CrMoAl}</math> 柱塞、<math>5\text{Cr}21\text{Mn}9\text{Ni}4\text{N}</math> 和 <math>69\text{A}</math> 焊条的异种金属排气门、<math>1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}</math> 阀座上分别用 <math>\text{NiO}_2</math>、<math>\text{Co}8002</math>、<math>\text{Fe}8001</math> 合金粉末喷熔,都不同程度出现冒泡等不浸润现象。用短时间的多次交替活化,在基材表面刷镀一定厚度的镍镀层,而后再喷熔相应合金粉末,由于在 <math>1100^\circ\text{C}</math> 喷熔中界面元素的扩散和 Fe-Ni、Ni-Co 等固溶体的形成,在基材表面得到了牢固的熔覆层。运用该复合工艺已成功地修复了数百根柱塞</p>						
	电刷镀与离子注入复合	<p>目前使用最多的镍及镍合金刷镀层的硬度一般不超过 60HRC。为了进一步提高其硬度和耐磨性,某部分别在厚度 <math>0.1\text{mm}</math> 的快速镍、碱铜和镍-钨 50 刷镀层上进行了氮离子注入,注入使用的加速电压为 <math>50\text{kV}</math>,注入剂量为 <math>(3\sim 5)\times 10^{17}</math> 离子/<math>\text{cm}^2</math>。测试得出,注氮后的快速镍和碱铜镀层的显微硬度均为未注氮镀层的 1.7 倍,镍-钨 50 刷镀层上的为 1.43 倍。在 SKODA-SAVIN 磨损试验机上测得,注氮后的快速镍、碱铜、镍-钨 50 刷镀层的耐磨性分别为未注氮镀层的 1.3、1.7、1.3 倍</p>						
	其他	<p>此外,还有喷丸、滚压等表面形变强化与电镀、热处理等技术的复合,导电胶粘涂与电刷镀的复合,焊补、修光与电刷镀的复合等</p>						

## 15.2 以增强耐蚀性为主的复合涂层

## 耐蚀复合镀层和多层镍-铬镀层

表 1-7-56

类别	性能和应用
一、耐蚀复合镀层	<p>(1) 锌-铝复合镀层(镀液由 <math>ZnSO_4 \cdot 250^{\circ}</math> 铝粉及抑制铝粉溶解的物质等组成)</p> <p>具有很高的耐蚀性。镀层中锌与铝组成腐蚀电池,因铝表面存在氧化膜,故铝为阴极。由于氧在铝上的扩散速率低,电子转移受阻,致使电极过程减慢,金属锌的阳极溶解速度下降。该复合镀层的耐蚀寿命远远高于镀锌层及电镀锌后进行扩散处理的镀层。用镀层的腐蚀失重代表其腐蚀速度,试验测得电镀锌层、电镀锌后扩散处理层、电镀 Zn-Al 复合镀层的腐蚀速度依次为 <math>30 \sim 40g/(m^2 \cdot 日)</math>、<math>20 \sim 25g/(m^2 \cdot 日)</math>、<math>2 \sim 5g/(m^2 \cdot 日)</math>。锌-铝复合镀层的焊接性也比电镀锌好;在其上涂装后的协同效果比镀锌层上涂装好得多</p> <p>锌-氧化铝复合镀层的耐蚀性也优于镀锌层,其中 <math>Al_2O_3</math> 的粒径可取 <math>1 \sim 5\mu m</math></p>
	<p>(2) Ni-Pd 复合镀层</p> <p>该镀层的化学稳定性高于普通镍镀层,这是由于钯的标准电极电位比镍正得多,在腐蚀微电池中,钯是阴极。在复合镀层中只要含有不到 1% (体积分数) 的钯微粒,即可使基质金属镍强烈地阳极化,结果引起镍层阳极钝化,提高了复合镀层的化学稳定性</p> <p>根据相同的原理,除钯之外,还可向复合镀层中引入比较便宜的铜、石墨或导电的金属氧化物 (<math>Fe_3O_4</math>、<math>MnO_2</math> 等) 微粒,也能起到提高以镍、钴、铁、铬、铝为基质金属的复合镀层的化学稳定性的作用</p>
	<p>(3) 69Fe-16Ni-Cr 复合镀层</p> <p>目前,按照不锈钢中 Fe、Ni、Cr 合金元素的比例,电沉积出 Fe-Ni-Cr 三元合金尚较难实现,但若将铬以微粒形式悬浮于镀液中,电沉积出 (Fe-Ni)-Cr 复合镀层,则比较容易。这种复合镀层再经过热处理扩散后可形成与不锈钢成分相近的合金</p> <p>天津大学郭鹤桐等人根据这个思想,采用复合电镀法[镀液由 <math>FeSO_4</math>、<math>NiSO_4</math> 及金属铬粉(平均粒径为 <math>3\mu m</math>) 等成分组成]制取了 69Fe-16Ni-Cr 的复合镀层。将这种复合镀层在氮保护气氛中以 <math>950^{\circ}C \times 16h</math> 进行扩散热处理,其耐蚀性能较未经热处理的复合镀层提高了 20 倍,已接近 304 不锈钢</p> <p>该镀层的耐蚀性较单一 <math>\gamma</math> 相的 304 不锈钢稍差,是由于热处理后的组织为以 <math>\gamma</math> 相为主,兼有一定量 <math>\alpha</math> 相和 <math>(Fe, Cr)_{23}C_6</math> 合金碳化物的混合组织</p>
二、复合机械镀锌层	<p>机械镀</p> <p>是把冲击介质(如玻璃球)、促进剂、光亮平整剂、金属粉和工件一起放入镀覆用的滚筒中,并通过滚筒滚动时产生的动能,把金属粉冷压到工件表面上而形成镀层的工艺</p> <p>适用机械镀的多是软金属,常用的是锌、镉、锡及其合金</p> <p>机械镀因具有镀层无氢脆、耗能小、污染少、生产效率高、成本低等优点,在国外应用相当普遍。但普通机械镀锌外观不如电镀层平滑、光亮,存在微小的凹凸及厚度不均匀等问题,从而影响了镀层的致密性和耐蚀性</p>
	<p>复合机械镀</p> <p>是一种机械镀过程中添加少许惰性聚合物颗粒的复合机械镀工艺,使镀层表现及性能得到了改善</p> <p>其主要工艺步骤仍然是:脱脂→漂洗→酸洗→漂洗→闪镀→镀锌→分离→漂洗→干燥。唯一不同的就是在镀锌过程中,随着锌粉的加入,添加一定量的惰性聚合物颗粒,如聚乙烯。该微粒粒径为 <math>0.5 \sim 5\mu m</math>,加入量为锌粉的 5% ~ 10%。微粒的加入可起到润滑和填充作用,能有效地提高锌粉的利用率,显著增加镀层的耐蚀性和耐磨性</p>
二、多层镍-铬镀层	<p>性能特征</p> <p>多层镍-铬镀层具有优良的耐蚀性和外观,不仅大大提高了防护装饰性,而且可以采用较薄镀层而节约了金属</p> <p>从单层镍到双层镍、三层镍体系,其耐蚀性和外观依次得以改善。单层镍体系在铬层缺陷处开始针孔腐蚀,并迅速穿透镍层至基体;双层镍体系腐蚀向横向伸展,腐蚀坑呈“平底”特征;三层镍体系腐蚀点较小,当其中铬层为微孔铬时腐蚀呈分散状,延缓了腐蚀向纵深发展。据报道,厚度为 <math>30.5\mu m</math> 的双层镍耐蚀性优于厚度为 <math>51\mu m</math> 的单层镍,也优于 <math>40\mu m</math> 铜-镍-铬镀层</p>
	<p>类型</p> <p>目前常采用的多层镍-铬组成类型有:</p> <p>半光亮镍-光亮镍-铬</p> <p>半光亮镍-光亮镍-镍封-铬</p> <p>半光亮镍-高硫镍-光亮镍-镍封-铬</p>
	<p>应用</p> <p>现今多层镍-铬镀层已成为在严酷环境下使用的钢铁零件的防护装饰性镀层。在摩托车、汽车等户外交通工具上得到越来越广泛的应用</p>

镍镉扩散镀层和金属-非金属复合涂层

表 1-7-57

类别	性能和应用																																	
性能特征	<p>镍镉扩散镀层是先在钢表面镀一层镍,再在镍上镀镉,然后在一定温度下进行扩散处理而获得的</p> <p>它是结构钢的中温防护层,在 500℃ 以下工作环境中能很好地保护钢不被腐蚀和氧化,并具有一定的耐冲蚀能力,外观由橄榄色、淡褐色、灰色到黑色。扩散层是镍和镉的金属间化合物 <math>NiCd_4 \cdot NiCd_3</math>, 由于其结构、性能与镍镉合金镀层完全不同,因而在使用上不能用镍镉合金镀层代替它,否则在中温下会使钢基体产生脆断</p> <p>该镀层的电极电位为 -0.69V,对低合金钢、不锈钢均为阳极性防护层,它与另外几种中温防护层在 3% NaCl 溶液中的电极电位见右图。当镍镉扩散镀层被破坏而裸露镍底层时,裸露部分即与纯镍镀层一样,具有阴极防护层的特性</p> <p>该镀层在常温与中温下的耐蚀性都比锌镀层好,周期浸渍腐蚀试验的结果为:5448h 后,该镀层仅表面附一层黄白色膜层,基体金属没有腐蚀,而锌镀层在 120h 表面铁锈点达 80%;盐雾腐蚀试验结果为:试验 8 个月经间断喷雾试验累计 1209h,镍镉扩散镀层仅出现灰色膜,基体金属没有生锈,而锌镀层试验两个半月基体金属开始腐蚀</p> <p>按 HB 5228—1973 试验方法试验,在 550℃ × 100h 的条件下,镍镉扩散层与 38Cr2Mo2VA 钢的氧化速度分别为 0.057g/(m·h) 与 0.127g/(m·h),前者耐氧化能力比后者高 1 倍以上</p> <div data-bbox="981 342 1404 907" style="float: right;"> </div> <p style="text-align: center;">几种中温涂层在 3% NaCl 溶液中的电位序(饱和甘汞电极做参考电极)</p>																																	
对基体疲劳强度的影响及改善措施	<p>由于电镀时镍镀层的内应力、机械加工时的表面残余应力以及工作时承受的应力相叠加,会造成基体材料承受循环载荷的疲劳强度有不同程度降低。右表为不同处理方法镍镉扩散层对 Cr17Ni2 材料疲劳性能的影响。可见,Cr17Ni2 钢上直接覆盖镍镉扩散层可使基体的疲劳强度下降 20%</p> <p>为改善这种情况,在工艺上应该做到以下几点</p> <p>①对疲劳性能要求较高的钢件,镀前应进行喷丸处理</p> <p>②选择低应力的镀镉溶液,使镀层应力控制在 -34 ~ 103 MPa(负值为压应力)</p> <p>③电镀镍溶液的分散能力较镀镉溶液低,在形状复杂零件的深凹处可能出现未镀上镍而镀上了镉。为防止产生镉脆,在没有镍镀层的表面不许有镉镀层存在。局部电镀在镀与不镀的过渡区,距镍镀层边缘 5 ~ 7mm 范围内的大镍镀层上也不允许有镉存在,如已镀上镉层只允许用化学方法去除。形状复杂零件可用化学镀镍代替电镀镍</p> <p>④镍镀层厚度不低于 5μm,镉镀层厚度不超过 5μm。镍和镉镀层的厚度比一般控制在 3:1。通常镍镉扩散镀层的厚度约 3μm</p> <table border="1" data-bbox="858 1025 1412 1429" style="float: right;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">加工工艺</th> <th colspan="2">残余应力 /MPa<sup>①</sup></th> <th rowspan="2">疲劳极限 <math>\sigma_{-1}</math> /MPa</th> <th rowspan="2"><math>\sigma_{-1}</math> 增加率/%</th> </tr> <tr> <th>基体</th> <th>镀层</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>抛光</td> <td>-480</td> <td>—</td> <td>500</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>镍镉扩散镀层</td> <td>834</td> <td>343</td> <td>402</td> <td>-20</td> </tr> <tr> <td>喷丸</td> <td>567</td> <td>—</td> <td>534.5</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>喷丸+镍镉扩散镀层</td> <td>-500</td> <td>980</td> <td>500</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>基体喷丸+镍镉扩散镀层+喷丸</td> <td>-873</td> <td>-348</td> <td>549</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">① 负值表示压应力,正值表示拉应力</p>		加工工艺	残余应力 /MPa <sup>①</sup>		疲劳极限 $\sigma_{-1}$ /MPa	$\sigma_{-1}$ 增加率/%	基体	镀层	抛光	-480	—	500	—	镍镉扩散镀层	834	343	402	-20	喷丸	567	—	534.5	7	喷丸+镍镉扩散镀层	-500	980	500	—	基体喷丸+镍镉扩散镀层+喷丸	-873	-348	549	10
加工工艺	残余应力 /MPa <sup>①</sup>			疲劳极限 $\sigma_{-1}$ /MPa	$\sigma_{-1}$ 增加率/%																													
	基体	镀层																																
抛光	-480	—	500	—																														
镍镉扩散镀层	834	343	402	-20																														
喷丸	567	—	534.5	7																														
喷丸+镍镉扩散镀层	-500	980	500	—																														
基体喷丸+镍镉扩散镀层+喷丸	-873	-348	549	10																														
应用	<p>镍镉扩散镀层用于在 500℃ 以下工作的钢零件及要求耐热并耐冲刷的零件。在 335℃ 加热后对基体性能有影响时,不能用此镀层</p> <p>此外,还有 TSM3、A12 等中温防护涂层。TSM3 复合涂层是 Ni-Mg 扩散涂层外加一层很薄的陶瓷涂层,它对钢是一种阳极性保护层,在 3% NaCl 溶液中的电极电位很负,对钢有非常好的保护能力;A12 复合涂层由铝化物涂层外加很薄的陶瓷涂层组成,对钢也是阳极性保护层,该涂层光滑、均匀、耐冲蚀,对基体疲劳性能影响小</p>																																	
四、金属-非金属复合涂层	<p>一般阳极性金属涂层都有孔隙和局部破损,腐蚀介质容易渗透到基体表面,为了保护基体,需在金属涂层上覆盖一层由封孔涂料作底层、耐蚀涂料为面层组成的涂层,这种金属-非金属复合涂层的防护寿命,是单一阳极性金属涂层或单一涂装层的若干倍,而且在同等防护寿命要求下,还可减少金属涂层的厚度。在金属-非金属复合涂层防护体系中,下述复合涂层具有优异的耐蚀性能</p> <p>1. 无机盐铝涂层</p> <p>是用无机黏结剂和分散的铝粉组成的浆料喷涂后,经过干燥、烘烤、固化的涂层</p> <p>(1) WZL 系列铝涂层</p> <p>该系列涂层具有良好的耐大气腐蚀和盐雾腐蚀能力,由于涂层中含有铬酸盐,所以其耐蚀性比纯铝层高。当涂层被划破露出钢时,涂层的牺牲阳极保护作用优于锌、镉镀层。涂层耐有机溶剂,耐冲刷,可经受磨、钻等机械加工,是一种全包覆型涂层,涂敷过程不影响基体材料的疲劳性能。其主要性能是:</p>																																	

三、镍镉扩散镀层

类别	性能和应用
	<p>①耐热性。具有中温防护作用,在 370℃ ± 15℃ 下加热 23h,再在 650℃ ± 15℃ 下加热 4h,涂层不应开裂或起泡,但涂色外观允许褪色。对涂覆 WZL-1 和 WZL-2 的与无涂层的 38Cr2Mo2VA 钢和 1Cr11Ni2W2MoVA 钢,在室温和 350℃ 下进行疲劳性能对比试验,其循环次数(或疲劳强度)基本相同</p> <p>②耐蚀性。在试片上划上十字交叉线,其每条线长约 35 ~ 38mm,按 ASTM B117 进行盐雾试验 100h,除了试片的任何一边的 3.2mm 和划线的 1.6mm 圈,不应有基体金属发生腐蚀,但允许涂层有褪色或腐蚀斑点</p> <p>③耐热水浸渍。在沸水中浸渍 10min ± 0.2min,取出后,不应起泡,也不应有涂层组分溶解出来</p> <p>④耐油性。按 ASTM D.471 试验方法,室温下在煤油中浸 4h,试片取出 24h 后,应能满足结合力试验要求;浸入 96℃ ± 10℃ 的油中 8h,不应脱皮、起泡和出现轻微软化</p> <p>⑤表面电阻。用万用表测量,两表笔间距 25mm,Ⅱ、Ⅳ类涂层及Ⅲ类涂层的底层表面电阻值小于 15Ω</p> <p>WZL 系列涂层分四类:Ⅰ类(WZL-1)涂层是阻挡型涂层,用于耐蚀要求较低的环境。Ⅱ类(WZL-2)涂层对黑色基体金属为阳极性保护层,表面导电,有良好的热稳定性。Ⅲ类(WZL-3)涂层是双层涂层,底层导电,外层不导电,进一步提高了涂层的耐蚀性。这三类涂层为灰白色或暗灰色。Ⅳ类(WZL-4)涂层性能与Ⅱ类涂层相同,只是工艺方法不同。Ⅳ类涂层为带光泽的银灰色</p> <p>它们都是 650℃ 以下环境中钢制件良好的保护层,并具有优异的热稳定性。如果在Ⅰ类涂层表面上增加使涂层导电的工序,并再喷涂一层封闭面层时,可得到表面不导电的组合涂层,对钢具有阳极保护能力,有很高的耐蚀性和热稳定性</p>
<p>1. 无机盐铝涂层</p> <p>四、金属-非金属复合涂层</p>	<p>(2) Sermetel W 涂层</p> <p>是一种使用范围很广的黑色金属的耐蚀、耐热涂层,该系列涂层包含的品种很多(资料介绍)</p> <p>①该涂层在 5% 或 20% 的盐雾试验中,可以超过 5000h 不生锈,在海洋环境中其耐蚀性远远超过纯铝涂料,优于镀铝层。在工业的、海上的、核的环境中,在淡水、有机酸、酸酐、醇、氨等化学物质中和许多石油产品的设备上是最好的耐蚀涂层之一。它能防止钛和高强钢应力腐蚀和由应力腐蚀引起的裂纹。在锅炉、热交换器和炼油厂的加热器上能长时间防止深度点蚀的产生,对热交换器管道涂比不涂寿命延长 5 倍</p> <p>该涂层对钢零件具有牺牲阳极保护作用,将试样中间去除 12mm 宽的涂层露出基体金属进行盐雾试验时,可保持 1000h</p> <p>②涂层的耐热氧化腐蚀性能优良,将试样加热到 543℃ 保温 16h,然后进行盐雾试验,32h 为一周期,经过 15 个周期基体没有产生红锈,只有轻微的铝涂层的白色腐蚀产物。涂覆或未涂覆 Sermetel W 涂层的几种钢和不锈钢在 649℃ 和 871℃ 下的耐热氧化性能见右上图</p> <p>③该涂层的耐冲刷能力较高,在不同冲击角下的耐侵蚀能力比镍镉扩散镀层和铝化物扩散涂层至少高 2 倍;它还具有较好的耐磨性,其耐磨性能远高于有机涂层。涂覆这种涂层的零件在经受轧、锤、剪、磨、钻等加工时,涂层不会剥落,涂层性能也不会改变</p> <div data-bbox="794 815 1406 1285" data-label="Figure"> </div> <p>无机盐铝涂层的使用范围:高强钢的防护层,使用温度不超过 650℃ 的中温防护层(如发动机叶片于 500℃ 下的防腐蚀),恶劣环境下钢制件的耐蚀层,钛及其他金属接触腐蚀的保护层等</p>
<p>2. 无机盐富锌涂层</p>	<p>性能特征</p> <p>是由金属锌粉和无机黏结剂、助剂混合组成的水溶性浆料,涂覆后在常温下固化得到的对钢具有良好防护能力的无机涂层</p> <p>该涂层在大气、工业大气、海水、淡水、水蒸气和 pH = 5 ~ 9 的氯化钠水溶液中均有良好的耐蚀性能,在有机溶剂、各种油类中不变软、不溶解也不起泡。有资料报道,它还有防射线辐射的功能。其外观为无光泽的灰色,如果在其表面再涂一层无机铝浆料,则不仅能进一步提高涂层防护体系的耐蚀性,而且还能使其表面呈现光亮的银灰色。该涂层对钢是阴极防护层,但由于涂层致密,与基体的结合力较高,因而对钢具有良好的保护作用和长期的使用寿命。当钢基体出现腐蚀时,腐蚀产物不会在涂层与基体之间扩展,而使涂层鼓起失效,只要去除腐蚀产物,清理干净,涂敷料浆并固化,就仍能保持整体的防护性能,还不会影响涂层的外观</p> <p>几种富锌涂层中水基无机锌、溶剂型无机富锌、环氧富锌的使用寿命依次为 25a、12 ~ 15a、3 ~ 5a</p>

续表

类别	性能和应用										说明
	防护层类型	盐雾试验结果 <sup>①</sup>		周期浸润试验结果 <sup>②</sup>		全浸腐蚀试验结果					
涂层厚度/ $\mu\text{m}$		基体金属开始生锈的时间/h	涂层厚度/ $\mu\text{m}$	基体金属开始生锈的时间/h	涂层厚度/ $\mu\text{m}$	基体金属开始生锈的时间 <sup>③</sup> /h	pH = 5	pH = 7	pH = 9		
四、金属、非金属复合涂层	与其他涂层用几种试验方法的耐腐蚀性对比	无机富锌涂层	8 ~ 10	24	30 ~ 33	> 3556	40 ~ 50	> 3048	> 2048	> 3048	① 按 JB 88—1975 进行盐雾试验 ② 按 HB/T 5094—1985 进行试验 ③ 试验溶液：3% NaCl 水溶液
			40 ~ 45	> 1344	40 ~ 45	> 3556	10 ~ 20	648	> 4200	> 4000	
		锌镀层(钝化)	16 ~ 23	120	20 ~ 30	2688					
		锌镀层(未钝化)	21 ~ 28	48			21 ~ 28	> 1008	< 1008	> 1008	
		热浸锌层	43 ~ 58	48	35 ~ 55	264					
		涂 CO6-1 醇酸铁锈红防锈漆	16 ~ 25	48	15 ~ 26	24	15 ~ 26	< 24	< 24	< 24	
		涂 CO6-1 漆后涂 CO4-42 醇酸瓷漆	40 ~ 50	120	40 ~ 50	24	40 ~ 50	864 生锈	864 生锈	864 生锈	
其他耐蚀试验	试验条件	在室温下放入自来水中浸泡半年		35℃ 下在 3% NaCl 溶液中半浸 1 年半		在相对湿度 > 95%、48 ~ 51℃ 下两个月		在 350℃ 下, 100h 氯化碳中半浸 100h		在 70℃ 四氧化碳中半浸 100h	在 120 汽油、航空煤油中浸泡 4h
	结果	均未出现腐蚀, 也不起泡、不脱落				涂层无变化				附着力检查合格	
应用	无机富锌料浆中不含对人体有害物质, 对施工通风要求不严, 也无火灾隐患。但必须在环境温度 5 ~ 30℃、相对湿度 30% ~ 90% 环境下施工, 不能在阳光暴晒下或雨天施工。无机富锌涂层不能在承受动载荷的制件上使用, 对钢基体涂敷前必须喷砂。该涂层的使用范围是: 船舶、铁路、水利、石油、化工、电业、化学、运输、建筑等行业的钢制件防腐, 尤其是大型制件的防腐, 如桥梁、管道、储油罐、船闸、塔架、汽车壳体、有机溶剂容器, 以及 400℃ 以下的工作的钢结构件等										

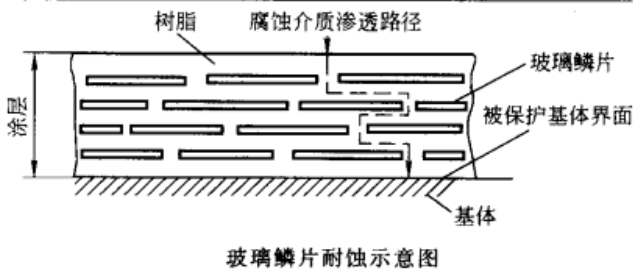
## 有机复合膜层

表 1-7-58

五、有机复合膜层	1. 聚乙烯复合防腐膜	<p>(1) 金属-聚乙烯复合防腐膜</p> <p>该膜是将事先用偶联剂表面处理过的金属粉末(如铁粉)和聚乙烯(PE)粉末按顺序撒布并一起加热制成的, 膜的一边是金属粉末过渡层, 另一边是耐蚀的塑料层。施工时, 将复合膜金属粉一面用胶黏剂粘贴到金属基体上, 再用热风焊等方法对膜的接缝处进行焊接, 即可方便地实现对强腐蚀介质下的大型槽、罐等容器贴制防护衬里。聚乙烯(PE)等塑料具有优良的耐蚀性, 室温下几乎不溶于任何有机溶剂, 能耐多种酸、碱和盐类的腐蚀</p> <p>(2) 玻璃纤维-聚乙烯复合防腐膜</p> <p>是用浸渍偶联剂的玻璃纤维(GF)布与加热熔融的 PE 粉层压成复合膜。由于 GF 布对多种胶黏剂有着良好的润湿性, 因而利用玻璃纤维布作过渡层可解决 PE 在防腐工程上存在的难粘接的问题。该复合膜在 10% HCl 水溶液、20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液、20% NaOH 水溶液和水等介质中浸渍 500h, 均未出现剥落、起泡、变色、失光等现象</p>																													
	2. 环氧煤沥青-玻璃布复合膜层	<p>(1) 环氧煤沥青-玻璃布复合膜层</p> <p>采用中碱、无捻、无蜡的玻璃布作加强基布。涂层制备主要步骤为: 表面处理(清除表面油污)→配制→刷底层涂料→打腻子→涂布和缠玻璃布→静置自干→质量检验</p> <p>一般情况用于普通级防腐, 如地沟管道、保温管道、储罐内外壁、异形金属构件、混凝土表面等; 对直接埋地管道选用加强级; 对腐蚀环境恶劣或维修困难的场合, 应选用特加强级, 如穿越管道、水下管道、储罐底部等</p> <p>SY/T 0447—1996 标准规定的防腐等级和结构见右表</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">防腐等级和结构</th> <th rowspan="2">等级</th> <th rowspan="2">结构</th> <th rowspan="2">干膜厚/mm</th> <th colspan="2">用漆量/kg·m<sup>-2</sup></th> </tr> <tr> <th>底漆</th> <th>面漆</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>普通级</td> <td></td> <td>底-面-面-面</td> <td>≥ 0.3</td> <td>0.1</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>加强级</td> <td></td> <td>底-面-面-布-面-面</td> <td>≥ 0.4</td> <td>0.1</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>特加强级</td> <td></td> <td>底-面-面-布-面-面-布-面-面</td> <td>≥ 0.6</td> <td>0.1</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>注: “面、布、面”表示连续涂敷, 也可用一层浸渍面层涂料的玻璃布代替</p>					防腐等级和结构	等级	结构	干膜厚/mm	用漆量/kg·m <sup>-2</sup>		底漆	面漆	普通级		底-面-面-面	≥ 0.3	0.1	0.7	加强级		底-面-面-布-面-面	≥ 0.4	0.1	1.0	特加强级		底-面-面-布-面-面-布-面-面	≥ 0.6	0.1
防腐等级和结构	等级	结构	干膜厚/mm	用漆量/kg·m <sup>-2</sup>																											
				底漆	面漆																										
普通级		底-面-面-面	≥ 0.3	0.1	0.7																										
加强级		底-面-面-布-面-面	≥ 0.4	0.1	1.0																										
特加强级		底-面-面-布-面-面-布-面-面	≥ 0.6	0.1	1.5																										



<p>2. 环氧煤沥青-玻璃布复合膜层</p>	<p>(2) 铁甲牌 CH<sub>4</sub> 型环氧煤沥青冷缠带(北京东方防腐技术开发公司产品)</p> <p>它由冷缠带和定型胶两部分组成。冷缠带采用丙纶无纺毡浸渍环氧煤沥青面漆,经分切、收卷后制成,按厚度分普通型和加厚型两种。定型胶由分装的甲、乙组份组成,按使用温度分为普通型(气温 5℃ 以上使用)和低温型(仅在 5℃ 以下使用)两种。施工时定型胶甲、乙组份等量混合,再按照定型胶→冷缠带→定型胶的结构缠在钢管外表面,静置自然固化后形成环氧煤沥青-玻璃布复合防腐层</p> <p>这种冷缠带施工方便、快捷,一次缠绕即可制成行业标准(SY/T 0447)要求的加强级或特加强级防腐层。适用于埋地和水下输油(水)管道、煤气、自来水、供热管道的外壁防腐,也适用于钢质储罐底防腐及污水池、屋顶防水层、地下室等混凝土结构的防渗漏</p>
	<p>3. 玻璃鳞片复合涂料涂层</p> <p>组成及施工工艺</p> <p>该涂层由玻璃鳞片与树脂混合而成。最常用的树脂是环氧树脂、呋喃树脂、乙烯基树脂、不饱和聚酯树脂。鳞片的选择极为重要,按涂料的要求,宜选择第四代“硼硅酸盐”玻璃鳞片。鳞片的片径与涂层的耐蚀性及施工性能有关。涂层水蒸气透过率随鳞片片径增大而降低,即鳞片的径厚比越大,涂层耐水性越好。玻璃鳞片的用量一般为 5%~40%,太大或太小均导致耐蚀性下降。鳞片在混入树脂前,应进行清洗及用偶联剂处理。玻璃鳞片涂料涂层可采用喷涂、滚涂、刮涂、刷涂等方法施工。其工艺流程一般为:工件前处理→刷底层涂料→刮腻子→涂中间层涂料(刷涂或喷涂鳞片涂料中间层涂料)→涂面层涂料→检查及补漏。一般底层涂料每道干膜厚度约 25~50μm,中间层涂料每道干膜厚度为 150~170μm,面层涂料每道干膜厚度为 25~50μm</p> <p>性能特征</p> <p>该涂层能耐各种浓度的无机酸、碱、石油溶剂以及各类盐和水的侵蚀。用几种常见的腐蚀介质,如酸类:10% HCl、20% HCl、10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,有机溶剂:乙醇、丁醇、二甲苯、汽油,碱类:10% NaOH、20% NaOH、30% NaOH、浓氨水、饱和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,在常温下浸泡 1000h 以上,涂层无变化。盐雾试验 3000h,涂层表面微暗,但无腐蚀,因含有大量玻璃鳞片,涂层的收缩率及热膨胀系数降低到接近于碳钢能承受温度急变而不发生龟裂和剥落。对于环氧玻璃鳞片涂料来说,由于环氧树脂中存在羟基等极性基团,故与钢铁、水泥、木材等基体有良好的附着</p> <p>应用</p> <p>已广泛用于大型河闸、海洋平台、油田及炼油厂输油管道、跨海大桥、大型海轮等较严酷腐蚀条件下的钢结构耐蚀防护</p>



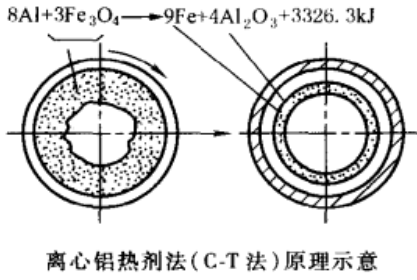
自蔓延技术制备钢基陶瓷复合材料和耐高温热腐蚀复合涂层

表 1-7-59

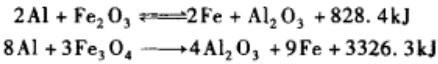
<p>六、自蔓延高温技术制备钢基陶瓷复合涂层</p>	<p>自蔓延高温合成技术(SHS)是利用高温放热反应的热量使化学反应自动持续下去的一种技术。具有生产过程简单、反应迅速、外部能源消耗少、合成产品成本低等优点,因而在材料制备中应用较多。目前用 SHS 技术已能合成数百种陶瓷、金属间化合物等多种耐高温材料</p> <p>对于陶瓷材料的合成,SHS 反应的一般特性为:反应温度为 2000~4000℃,合成反应传播速度(即燃烧波速度)0.1~15cm/s,反应区域宽度为 0.1~5mm,反应开始后材料的加热速度为 10<sup>3</sup>~10<sup>6</sup>℃/s,点火时间为 0.05~4s</p> <p>SHS 工艺已发展到 40 多种,大体分为 6 种类型</p> <p>1) 粉末的制备。许多产品已达到工业化生产水平。TiC、BN、硬质合金等粉末广泛用于磨料、模具、添加剂、热喷涂、刀具及结构与功能性材料等方面</p> <p>2) SHS 烧结。可制备多孔过滤器、催化剂载体,已得到较广泛的应用</p> <p>3) SHS 致密化技术。把 SHS 工艺与常规工艺结合,如 SHS-加压法用于生产硬质合金轧辊、拉丝模、刀片等</p> <p>4) SHS 熔炼。可制备碳化物、氧化物、硼化物等陶瓷和金属陶瓷铸件</p> <p>5) SHS 焊接。物料的燃烧反应蔓延至整个焊缝后,施压即可得到性能优异的焊缝</p> <p>6) SHS 涂层。有两种工艺:①熔铸涂层,即利用 SHS 反应在金属工件表面形成高温熔体同基体金属反应得到具有冶金结合的金属陶瓷涂层,厚度可达 1~4mm;②气相传输涂层,它是通过气相传输在金属、陶瓷或石墨等表面形成 10~250μm 厚的金属陶瓷涂层。其原理是在反应物 A<sub>固</sub>+B<sub>固</sub>中加入气体载体 D<sub>气</sub>,如在碳钢上涂敷 C-Cr 陶瓷时,反应物料为 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al+炭+气体载体,在钢工件表面形成的 SHS 涂层组织为 Cr、Al 在 α-Fe 中的固溶体及 Cr<sub>7</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>23</sub>O<sub>6</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></p> <p>相应不同的反应物料,用 SHS 工艺制备的金属陶瓷涂层具有很高的耐蚀性、耐磨性和耐高温等性能。我国已有专门的燃烧合成技术公司批量生成不同形状和用途的陶瓷复合钢管,并成功应用在矿山、石油、电力等领域。这种复合钢管在管道运输业中具有广阔的发展前景</p>
----------------------------	---

六、自蔓延高温技术制备钢基陶瓷复合涂层

钢基陶瓷复合衬管



钢基陶瓷复合衬管的具体制作方法是离心铝热剂法(即C-T法)。它是将装有铝热剂粉末(如铝粉、 $Fe_3O_4$ 粉及各种添加剂粉)的管子(或中空零部件)置于旋转装置上,在其一端点火后,依靠反应自身所放出的热量使燃烧波从一端传至另一端,从而在装有粉末的整个管道上得到所需的覆层。C-T法的原理示意如左图,其典型反应为



这种反应的温度可达 $3000^{\circ}C$ 以上,足以使反应物和生成物熔化。在旋转所产生的离心力的作用下,使得密度具有显著差异的不同液态产物分离,结果形成以钢为基体,Fe为过渡层,耐蚀、耐热、耐磨的 $Al_2O_3$ 为主的表层的复合衬管。对复合管三层组织的两个结合界面而言,选择合适的离心力可使陶瓷与Fe层的界面产生参差不齐的机械结合;选择合适的参数及铝热剂成分可使铁

层与基体达到理想的冶金结合

制备钢基陶瓷复合衬管时,应设法解决陶瓷涂层与钢管热膨胀系数不一致等相容性问题。由于铝热反应的温度很高;被涂敷的钢管常在 $900^{\circ}C$ 以上,冷却过程中钢管对涂层的压应力,常造成陶瓷涂层崩裂剥落。可通过适当加入添加剂提高涂层韧性、改变涂层结构、降低反应温度和陶瓷层密度等途径来解决,如一种网状结构的陶瓷涂层可大大改善涂层的力学性能,消除了陶瓷层的崩裂和剥落现象。C-T法还可扩大到生成碳化物或硼化物与氧化铝的复合衬管

除离心自蔓延外,也可利用静态自蔓延合成法在钢管内壁及一些非回转体内表面(如弯管、异形管及复杂形状的内表面)形成陶瓷涂层

1. 热喷涂复合涂层

(1) 自黏结镍铝复合涂层

自黏结材料是指喷涂过程中发生剧烈的化学反应并释放出大量能量,从而与基体形成良好结合的一类材料。镍铝复合材料属于自黏结材料,它在喷涂过程中,熔融的铝和镍产生强烈的化学反应,生成金属间化合物 $Ni_3Al$ 或 $NiAl$ ,放出的热量促进了熔融粒子与基体材料的反应,形成的扩散微区提高了涂层的结合强度。质量好的镍铝复合粉末火焰喷涂涂层,其抗拉强度可达 $30MPa$ 。对等离子喷涂层,抗拉强度可大于 $40MPa$ 。涂层致密,抗氧化性能优良,涂层在 $1096^{\circ}C$ 保持 $300h$ 后,质量仅增加 $1.25mg/cm^2$ 。该涂层的热膨胀系数与大多数钢接近,介于金属基体和金属陶瓷之间,是一种常用的理想黏结底层

(2) 自黏结不锈钢材料涂层

利用镍铝复合粉末及钼等在喷涂过程中对基体材料和涂层自身良好的黏结性能,可将其与镍铬合金粉末(包括镍基自熔性合金、铁基自熔性合金和不锈钢等粉末)均匀混合,用团聚法、料浆喷干法等制成不锈钢自黏结复合粉末。通过设计复合粉末的组成,可制备出兼具自黏结性能和基本组分耐蚀、耐磨、耐高温氧化的涂层。这类涂层不需喷涂底层就能与基体良好结合,喷涂厚度达数毫米也不会产生裂纹

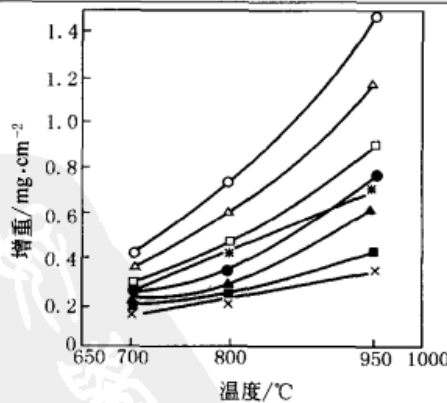
左述涂层及其他耐高温氧化涂层的特性见下表

涂层材料	熔点/ $^{\circ}C$	特性
$Al_2O_3$	2040	封孔后耐高温氧化腐蚀
$TiO_2$	1920	孔隙少,结合性好,耐蚀
Cr	1890	封孔后耐蚀
$Cr_3Si_2$	1600 ~ 1700	硬、致密,耐高温氧化,耐磨
高铬不锈钢	1480 ~ 1530	收缩率低,封孔后耐氧化
镍包铝	1510	自黏结,耐氧化
Si	1410	防石墨高温氧化
$MoSi_2$	1393	防石墨高温氧化
80Ni-20Cr	1038	耐氧化,耐热腐蚀
特种Ni-Cr合金	1038	耐高温氧化,耐蚀
Ni-Cr-Al + $Y_2O_3$		耐高温氧化
镍包氧化铝		800 ~ 900 $^{\circ}C$ 工作,耐热冲击
镍包碳化铬		800 ~ 900 $^{\circ}C$ 工作,耐热冲击

七、耐高温热腐蚀复合涂层

2. 耐氧化复合镀层

$Ni-Al_2O_3$ 复合镀层的抗高温氧化性能如右图所示。与电镀镍相比, $Ni-Al_2O_3$ 复合镀层在高温下的增重很少。同时,从图中还可看出,无论是电镀镍层还是 $Ni-Al_2O_3$ 复合镀层,退火温度越高抗氧化性能越好。随着 $Al_2O_3$ 含量的增加复合镀层的硬度升高,镀层的含氢量增加,脆性也加大。含1.5%(质量分数) $Al_2O_3$ 的镀层,其硬度约为纯镍镀层的1.5倍。含3.8% $Al_2O_3$ 的 $Ni-Al_2O_3$ 复合镀层具有较好的抗高温氧化能力,耐磨性能也好



○ 未经退火的纯镍镀层;□ 500 $^{\circ}C$ 退火后的镍镀层;● 未经退火的镍-氧化铝复合镀层;▲ 370 $^{\circ}C$ 退火后的镍镀层;× 900 $^{\circ}C$ 退火后的镍镀层;▲ 370 $^{\circ}C$ 退火后的镍-氧化铝复合镀层;■ 500 $^{\circ}C$ 退火后的镍-氧化铝复合镀层;◆ 900 $^{\circ}C$ 退火后的镍-氧化铝复合镀层

3. 高温珐琅涂层(又称高温搪瓷)

是采用高温熔烧工艺在金属零件表面涂敷一层能对基体金属起耐氧化、防腐蚀、电绝缘或其他防护作用的玻璃或陶瓷涂层

(1) W-2 高温珐琅涂层

该涂层具有良好的耐高温氧化、耐热腐蚀和耐热震性能,涂层与基体结合力强,主要适用于镍基和钴基高温合金热端部位,如燃烧室、加力点火器等。该涂层能显著提高零件的热疲劳抗力、高温持久和高温蠕变性能,零件使用寿命可延长2~2.5倍。W-2涂层的组织结构、釉料组成及涂层性能见下表



涂层的釉料组成(质量)/份	涂层组成(质量分数)/%	涂层性能																
		项目	试验条件与内容	数据														
硅钡酸盐玻璃 70, 三氧化二铬 30, 黏土 5, 水 70 将釉料涂搪于零件表面, 经 1180℃ ± 20℃ 焙烧 2 ~ 7min, 即可制成具有深绿色玻璃光泽的涂层	SiO <sub>2</sub> 43.0 BaO 42.5 CaO 4.0 ZnO 5.0 BeO 2.5 MoO <sub>3</sub> 3.0	密度	—	3.6g/cm <sup>2</sup>														
		涂层厚度	—	0.05 ~ 0.10mm														
		最高工作温度	—	1050℃														
		熔化温度范围	高温显微镜下观察	收缩点 980℃; 软化点 1140℃ 半球点 1280 ~ 1310℃; 流动点 > 1400℃														
		弯曲性能	—	弯曲角 = 30° ~ 42°														
		热震性能	1200℃ ←→ 20℃ ± 2℃ 水冷	涂层热震次数 > 6 次														
		热冲刷性能	GH39 + W-2 涂层, 900℃ ± 20℃ 煤油火焰冲刷, 风冷至 50℃ 以下	200 次试验后涂层仍保持良好														
		拉伸性能	GH39 + W-2 涂层, 室温拉伸 GH39, 室温拉伸 GH39 + W-2 涂层, 900℃ 拉伸 GH39, 900℃ 拉伸	抗拉强度为 701MPa, 断后伸长率为 57.7% 抗拉强度为 813MPa, 断后伸长率为 48.8% 抗拉强度为 160MPa, 断后伸长率为 91.0% 抗拉强度为 156MPa, 断后伸长率为 99.2%														
涂层的组织结构		高温持久性能	GH39 + W-2 涂层, 900℃/40MPa GH39, 900℃/40MPa	231h20min 47h05min														
是在玻璃体中镶嵌有三氧化二铬细微晶体的均匀组织。随着使用时间的延长, 可能析出 BaO · 2SiO <sub>2</sub> 、BaO · SiO <sub>2</sub> 、2BaO · SiO <sub>2</sub> 及 β 方石英等微晶		高温蠕变性能	GH39 + W-2 涂层, 900℃/25MPa/100h GH39, 900℃/25MPa 作用 100h	残余伸长率为 0.814% 残余伸长率为 1.802%														
		1100℃ 的抗氧化性能	1100℃ 下停留时间/h GH39 + W-2 珐琅涂层 增重/g · m <sup>-2</sup> GH39 合金增重 金属氧化增重/涂层 后试样氧化增重	<table border="1"> <tr> <td>25</td> <td>50</td> <td>75</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3.75</td> <td>5.60</td> <td>7.50</td> <td>9.45</td> </tr> <tr> <td>22.00</td> <td>41.30</td> <td>45.90</td> <td>53.00</td> </tr> <tr> <td>5.87</td> <td>7.38</td> <td>6.12</td> <td>5.61</td> </tr> </table>	25	50	75	100	3.75	5.60	7.50	9.45	22.00	41.30	45.90	53.00	5.87	7.38
25	50	75	100															
3.75	5.60	7.50	9.45															
22.00	41.30	45.90	53.00															
5.87	7.38	6.12	5.61															
另有 T-1 珐琅涂层, 其性能与 W-2 相似。T-1 涂层最主要的优点是涂层组分中不含危及操作人员健康的有毒的氧化铍, 故该涂层又称为无铍珐琅 (2) B-1000 珐琅涂层 B-1000 涂层的特点是焙烧温度低(1050℃), 工艺性能好, 适用于耐热不锈钢和高温合金基体, 如用于航空发动机热端部位的燃烧室、滑轮静止叶片、加力燃烧室等零件上。涂层的釉料组成、涂层的组成及性能见下表																		
涂层的釉料组成(质量)/份	涂层组成(质量分数)/%	涂层性能																
硼硅钡酸盐玻璃 70, 三氧化二铬 30, 黏土 5, 水 70 涂层具有深绿色玻璃光泽	SiO <sub>2</sub> 38.0 ~ 42.0 BaO 40.3 ~ 44.3 CaO 3.6 ~ 4.4 ZnO 4.2 ~ 5.3 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5.5 ~ 6.5 TiO <sub>2</sub> 2.6 ~ 3.4	工作温度	—	800 ~ 900℃														
		熔化温度范围	高温显微镜下观察	收缩点 810℃, 软化点 930℃; 半球点 1090℃; 流动点 > 1300℃														
		弯曲性能	—	弯曲角 = 30° ~ 45°														
		热震性能	1040℃ ←→ 20℃ ± 2℃ 水冷	涂层热震次数 > 6 次														
			1000℃ ←→ 100℃ 风冷	涂层热震次数 > 100 次														
			GH44 合金 + B-1000 涂层, 850℃ ←→ 20℃ ± 2℃ 水冷 150 周	裂纹长度为 0.37mm														
		振动疲劳性能	GH44 合金, 850℃ ←→ 20℃ ± 2℃ 水冷 150 周	裂纹长度为 0.78mm														
			GH44 合金 + B-1000 涂层	断裂前循环次数为 (576 ~ 6833) × 10 <sup>3</sup> 周														
			GH44 合金	断裂前循环次数为 (259 ~ 1426) × 10 <sup>3</sup> 周														
		落球冲击性能	100g 钢球从 1.5m 处自由下落	> 1 次														
电绝缘性能	0.04 ~ 0.06mm 厚的 B-1000 涂层	20℃ 时的击穿电压为 3800 ~ 4200V																
热冲刷性能	GH39 合金 + B-1000 涂层, 经 910℃ ± 10℃ 焊枪加热, 风冷至 50℃ 以下, 其中受热面直径为 30mm	10 次试验后, 涂层仍保持良好																
另一种 418 珐琅涂层, 使用温度和 B-1000 涂层相同, 特点与 B-1000 涂层相似, 焙烧温度也是 1050℃																		

七、耐高温热腐蚀复合涂层  
3. 高温珐琅涂层(又称高温搪瓷)

## 15.3 以增强固体润滑性为主的复合涂层

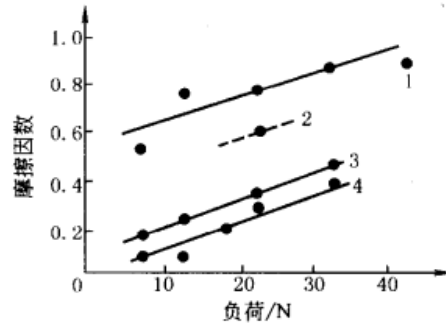
## 复合镀固体润滑材料和气相沉积复合膜和多层膜

表 1-7-60

机理	固体润滑是用固体微粉、薄膜或复合材料代替润滑油脂,涂敷在工作表面,隔离相对运动的摩擦面以达到减摩和耐磨的目的。固体润滑材料由基材、固体润滑剂和起特定作用的其他组元组成。涂覆型和黏结型固体润滑材料的基材可以是金属和非金属材料																																
固体润滑剂的材料	固体润滑剂有软金属、金属化合物、无机物和有机物等 ①软金属。如 Pb、Sn、In、Zn、Ba、Ag、Au 等 ②金属化合物。如 PbO、Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 、Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 等金属氧化物, CaF <sub>2</sub> 、BaF <sub>2</sub> 、CdCl <sub>2</sub> 等金属卤化物, WSe <sub>2</sub> 、MoSe <sub>2</sub> 等金属硒化物, MoS <sub>2</sub> 等金属硫化物以及 Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 、Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 等金属盐类 ③无机物。如石墨、氟化石墨、玻璃等 ④有机物。如蜡、固体脂肪酸和醇、联苯、染料和涂料、塑料和树脂[如聚四氟乙烯 (PTFE)、聚酰胺(尼龙)、酚醛]等 对复合镀层,采用的固体润滑剂有石墨、MoS <sub>2</sub> 、聚四氟乙烯 (PTFE)、氟化石墨[(CF) <sub>n</sub> ]和 WS <sub>2</sub> 等,采用的基体材料有镍和铜等。不同基材与固体润滑剂所组成的固体润滑复合镀层列于右表	<table border="1"> <thead> <tr> <th>基材</th> <th>固体润滑剂</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ni</td> <td>MoS<sub>2</sub>、WS<sub>2</sub>、(CF)<sub>n</sub>、石墨、PTFE、BN、CaF<sub>2</sub>、PVC</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>MoS<sub>2</sub>、WS<sub>2</sub>、(CF)<sub>n</sub>、石墨、PTFE、BN、BaSO<sub>4</sub></td> </tr> <tr> <td>Co</td> <td>PTFE</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>石墨、PTFE</td> </tr> <tr> <td>Ag</td> <td>MoS<sub>2</sub>、石墨、BN</td> </tr> <tr> <td>Au</td> <td>石墨、(CF)<sub>n</sub>、MoS<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>石墨</td> </tr> <tr> <td>Ni-P</td> <td>PTFE、BN、CaF<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td>Ni-B</td> <td>PTFE、CaF<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td>Co-B</td> <td>CaF<sub>2</sub></td> </tr> </tbody> </table>	基材	固体润滑剂	Ni	MoS <sub>2</sub> 、WS <sub>2</sub> 、(CF) <sub>n</sub> 、石墨、PTFE、BN、CaF <sub>2</sub> 、PVC	Cu	MoS <sub>2</sub> 、WS <sub>2</sub> 、(CF) <sub>n</sub> 、石墨、PTFE、BN、BaSO <sub>4</sub>	Co	PTFE	Fe	石墨、PTFE	Ag	MoS <sub>2</sub> 、石墨、BN	Au	石墨、(CF) <sub>n</sub> 、MoS <sub>2</sub>	Zn	石墨	Ni-P	PTFE、BN、CaF <sub>2</sub>	Ni-B	PTFE、CaF <sub>2</sub>	Co-B	CaF <sub>2</sub>									
	基材	固体润滑剂																															
Ni	MoS <sub>2</sub> 、WS <sub>2</sub> 、(CF) <sub>n</sub> 、石墨、PTFE、BN、CaF <sub>2</sub> 、PVC																																
Cu	MoS <sub>2</sub> 、WS <sub>2</sub> 、(CF) <sub>n</sub> 、石墨、PTFE、BN、BaSO <sub>4</sub>																																
Co	PTFE																																
Fe	石墨、PTFE																																
Ag	MoS <sub>2</sub> 、石墨、BN																																
Au	石墨、(CF) <sub>n</sub> 、MoS <sub>2</sub>																																
Zn	石墨																																
Ni-P	PTFE、BN、CaF <sub>2</sub>																																
Ni-B	PTFE、CaF <sub>2</sub>																																
Co-B	CaF <sub>2</sub>																																
应用	固体润滑镀层的使用效果十分显著,如 Ni-(CF) <sub>n</sub> 镀层用于水平连铸设备中的结晶器内壁,不需要振动结晶器,也不加润滑剂,就能以较小的力量顺利地将铸坯从结晶器内拉出,且铸坯表面良好;Ni-PTFE 镀层用于增型聚氯乙烯热压模具内壁,不加起模剂就很容易起模;Au-(CF) <sub>n</sub> 镀层的摩擦系数为 Au 镀层的 1/10~1/8,用于电接触表面性能良好,插拔力小,寿命高;Cu-BaSO <sub>4</sub> 复合镀层具有抗黏着性能,可用于滑动接触场合;Zn-石墨复合镀层用在汽车工业的钢紧固件上,其抗擦伤能力完全能与贵重的镉镀层相比 用电镀、电刷镀、化学镀可方便地镀制内层坚硬、表层为软金属的既耐磨又减摩的双层或多层镀层。如在电刷镀施工中,工作镀层镀镍钨合金,表面再刷镀一薄层铜效果很好																																
涂层	性能和 应用																																
Ni-P-PTFE 复合化学镀层	是一种抗黏着的自润滑涂层。镀层组成为 Ni84.0% (质量), P8.8%, PTFE7.2%。镀层的热处理温度为 200~400℃, 1h。其磨损率明显比同样温度热处理的 Ni-P 镀层低,摩擦学性能如下图所示;摩擦系数与往复次数关系如下表所示,随着热处理的提高,镀层的减摩作用逐渐增强,以 400℃ 热处理的效果最好。这是由于高温热处理促使镀层硬化,并形成了硬基体上均匀分布着 PTFE 软颗粒的缘故。但 400℃ 以上热处理会导致 PTFE 分解																																
	<p>(a) 低温热处理</p> <p>(b) 中温热处理</p> <p>1—镀态; 2—200℃ 热处理; 3—300℃ 热处理; 4—360℃ 热处理; 5—400℃ 热处理</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">热处理温度/℃</th> <th rowspan="2">往复运动次数/次</th> <th rowspan="2">摩擦因数</th> <th colspan="2">Ni-P-PTFE 镀层磨损率/10<sup>-5</sup> mg·N<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup></th> </tr> <tr> <th>Ni-P-PTFE</th> <th>Ni-P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>镀态</td> <td>900</td> <td>0.13~0.70</td> <td>6.6</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>900</td> <td>0.20~0.60</td> <td>6.5</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>2500</td> <td>0.10~0.63</td> <td>3.0</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>360</td> <td>4400</td> <td>0.10~0.60</td> <td>1.6</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>9000</td> <td>0.07~0.30</td> <td>0.64</td> <td>2.1</td> </tr> </tbody> </table>	热处理温度/℃	往复运动次数/次	摩擦因数	Ni-P-PTFE 镀层磨损率/10 <sup>-5</sup> mg·N <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup>		Ni-P-PTFE	Ni-P	镀态	900	0.13~0.70	6.6	56	200	900	0.20~0.60	6.5	38	300	2500	0.10~0.63	3.0	7.5	360	4400	0.10~0.60	1.6	5.8	400	9000	0.07~0.30	0.64
热处理温度/℃	往复运动次数/次	摩擦因数				Ni-P-PTFE 镀层磨损率/10 <sup>-5</sup> mg·N <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup>																											
			Ni-P-PTFE	Ni-P																													
镀态	900	0.13~0.70	6.6	56																													
200	900	0.20~0.60	6.5	38																													
300	2500	0.10~0.63	3.0	7.5																													
360	4400	0.10~0.60	1.6	5.8																													
400	9000	0.07~0.30	0.64	2.1																													
注:在日制 RFT-III 型往复摩擦试验机上测试。试验条件为:负荷 98N, 往复频率 40 次/min (滑动速度 0.09m/s)																																	

以 Ni-P-石墨复合镀层

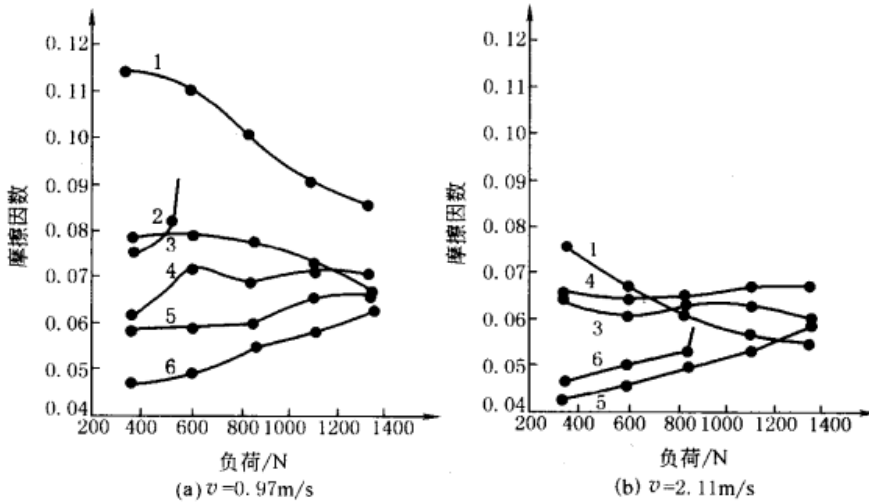
是在 Ni-P 镀层中加入石墨后摩擦因数明显降低的镀层。该镀层与不同对偶材料在不同负荷下的摩擦因数如右图所示。它与较软的 20 钢或 Ni-P 镀层对磨的摩擦因数均比 45 钢高得多。无论与何种材料对磨, 镀层摩擦因数与负荷的关系呈现出相同的变化规律



- 1—化学镀 Ni-P 层与 45 钢配副;
- 2—Ni-P-石墨复合镀层与 20 钢配副;
- 3—Ni-P-石墨复合镀层与 Ni-P 层配副;
- 4—Ni-P-石墨复合镀层与 45 钢配副

以 Ni-P 为基材的复合刷镀层可获得良好的固体润滑性能和耐磨性。例如, 在 40Cr(400HV) 表面刷镀复合镀层, 以 GCr15(750HV) 为对偶, 在球-盘摩擦磨损试验机上测得其摩擦学性能如下图所示。由图可见, Ni-P-MoS<sub>2</sub> 镀层在负荷和速度小时摩擦因数小, 但随着负荷和速度的增大而升高; Ni-P-WC 在低负荷和低速时摩擦因数最大, 但随负荷和速度的增大而明显下降, 当负荷增至 1362N 时摩擦因数比 Ni-P-MoS<sub>2</sub> 的还小。在高负荷(1362N)下, 几种复合镀层的摩擦因数随着滑动速度的增加呈下降趋势, 其中以 Ni-P-WC 最为明显, 说明它的减摩效果最好

以 Ni-P 为基材的刷镀层



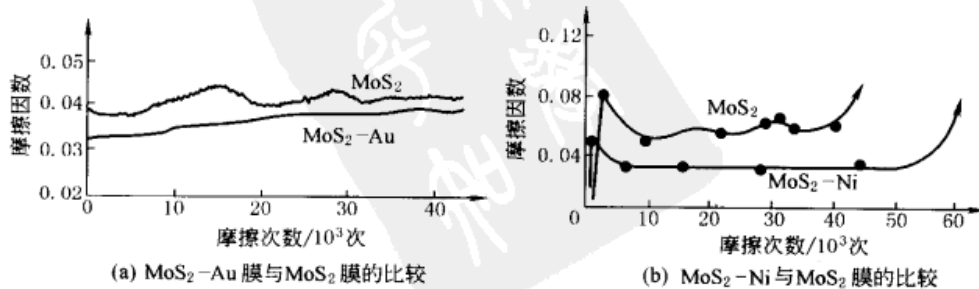
- 1—Ni-P-WC (WC 加入量为 60g/L);
  - 2—无镀层;
  - 3—Ni-P;
  - 4—Ni-P-BN (BN 加入量为 30g/L);
  - 5—Ni-P-MoS<sub>2</sub> (MoS<sub>2</sub> 加入量为 10g/L);
  - 6—Ni-MoS<sub>2</sub>;
- 所用的微粒粒径均为 1 $\mu$ m, 复合镀层的厚度约 50 $\mu$ m

Ni-Cu-P/MoS<sub>2</sub> 刷镀层

电刷镀 Ni-Cu-P/MoS<sub>2</sub> 固体润滑镀层是一种既耐磨又减摩的镀层, 成分为: Ni57.6% (质量分数, 下同)、Cu11.2%、P3.2%、MoS<sub>2</sub>28% (正交磨损实验得出)。其耐磨性优于 Ni-P/MoS<sub>2</sub>, 对比这两种镀层的结构发现, 含有一定量铜的镀层中有 Ni<sub>7</sub>P<sub>3</sub>、Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> 等间隙相存在。上述镀层会因其中的 MoS<sub>2</sub> 在潮湿天气中容易受到氧化而导致摩擦学性能下降。若在镀液中添加稀土 Ce<sup>4+</sup>, 不仅能提高 MoS<sub>2</sub> 的抗氧化腐蚀能力, 而且能进一步降低镀层的摩擦因数, 提高镀层减摩的稳定性  
电刷镀 Ni-Cu-P/MoS<sub>2</sub> 镀层可用于油田钻具(如钻杆、套筒)的螺纹接头上, 以代替原来的涂有油的铜镀层

气相沉积复合膜和多层膜

MoS<sub>2</sub>-Au 和 MoS<sub>2</sub>-Ni 共溅射膜是采用 MoS<sub>2</sub>-金属共溅射的方法制备复合膜。共溅射膜更致密, 摩擦因数稳定, 耐磨寿命长。下图是 MoS<sub>2</sub>-Au 和 MoS<sub>2</sub>-Ni 共溅射膜与 MoS<sub>2</sub> 溅射膜摩擦学性能的比较。由图可以看出两种共溅射膜的摩擦学性能都比 MoS<sub>2</sub> 溅射膜好(试验采用球-盘式试验机, 负荷 5N, 滑动速度 0.1m/s, 大气中干摩擦条件)



耐磨寿命定义为: 摩擦因数达到 0.3 时, 所实现的摩擦次数



MoS<sub>2</sub>-Au和MoS<sub>2</sub>-Ni共溅射膜

在1Cr18Ni9Ti基材上共溅射MoS<sub>2</sub>-Au膜,与1Cr18Ni9Ti对磨发现,随溅射膜厚度的增加,其耐磨寿命增大,在对磨过程中,当负荷超过某一临界负荷时,膜就从基材上剥落。MoS<sub>2</sub>-Au膜的临界负荷随着膜厚的增加而加大。膜厚0.4μm时,临界负荷为1.0~2.0N,耐磨寿命为10~13千周;膜厚2.0~2.5μm时,临界负荷为5.9~6.9N,耐磨寿命为30~90千周。说明MoS<sub>2</sub>-Au膜与基材的结合强度随着膜层厚度的增加而加大。而MoS<sub>2</sub>膜的厚度在超过临界值0.2mm之后,其寿命就不再随厚度的增加而延长

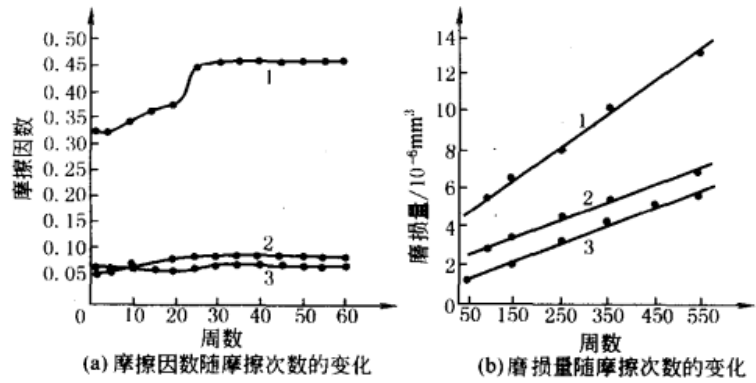
在AISI452淬火钢(58~61HRC)表面共溅射MoS<sub>2</sub>-Ni,与4130淬火钢(60HRC)的对磨试验表明,共溅射膜的耐磨寿命几乎随膜厚的增加成线性增加,其寿命受负荷的影响也不像MoS<sub>2</sub>溅射膜那样强烈。在膜厚为0.74μm时负荷由187N增至703N,MoS<sub>2</sub>-Ni共溅射膜的耐磨寿命下降了50%,而MoS<sub>2</sub>溅射膜的耐磨寿命几乎损失了93%

Al+N<sup>+</sup>和Ti+N<sup>+</sup>离子束辅助沉积膜

用Ar<sup>+</sup>将Al和Ti溅射在工业纯铁表面,同时用能量为100keV的N<sup>+</sup>以2×10<sup>17</sup>个/cm<sup>2</sup>的剂量进行离子注入,以形成0.3μm厚的Al+N<sup>+</sup>和Ti+N<sup>+</sup>离子束辅助沉积(IBAD)层。在日制DFPM型试验机上测定其摩擦因数,在自制球-盘试验机上测定其磨损量

图a表明,在进入稳定期后IBAD Al+N<sup>+</sup>和Ti+N<sup>+</sup>试样的摩擦因数分别为0.093和0.076,比纯铁的0.451分别降低80%和83%;图b表明,IBAD Al+N<sup>+</sup>和Ti+N<sup>+</sup>试样的磨损量比纯铁分别降低71%和86%

试验条件:图a DFPM型试验机,对偶件GCr15,负荷2N,速度35mm/min  
图b球-盘试验机,对偶件GCr15,负荷6N,速度22mm/min,滑动行程8mm



1—纯铁试样;2—经 Al + N<sup>+</sup> 离子束辅助沉积后的试样;  
3—经 Ti + N<sup>+</sup> 离子束辅助沉积后的试样

气相沉积复合膜和多层膜

TiC/TiN 七层膜、CVD 镀层与 Pb 基润滑镀层

多层膜的摩擦学性能优于单层膜,即在干摩擦和油润滑条件下,它的摩擦因数和磨损率低于单层膜。在钢材表面用CVD法获得的镀层,更适于真空条件下工作

Pb-Sn-Cu复合刷镀盘的摩擦因数均比单纯Pb刷镀盘的小,而复合刷镀盘的磨损率却高于单纯Pb刷镀盘,这是因为Sn、Cu相对于Pb是较硬的颗粒,且与Fe有较高的黏着性;但CVD(TiC/TiN)<sub>7</sub>镀层球/Pb-Sn-Cu刷镀盘却是真空下良好的摩擦副

在自制的MT-1型真空摩擦试验机上对:(1)CVD法沉积的TiC、TiN单层膜及TiC/TiN多层膜的摩擦学性能进行测定;(2)CVD镀层与Pb基润滑镀层的摩擦学性能进行测定,结果如下表

其中,TiC单层膜厚度3μm,TiN单层膜厚度4.7μm,七层膜(TiC/TiN)<sub>7</sub>(依次为TiC/TiC<sub>2</sub>N<sub>3</sub>/TiC/TiC<sub>2</sub>N<sub>3</sub>/TiC/TiC<sub>2</sub>N<sub>3</sub>/TiC/TiC<sub>2</sub>N<sub>3</sub>/TiC/TiC<sub>2</sub>N<sub>3</sub>)的总厚度为5.5μm,球基材GCr15和盘基材45钢的真空油淬硬度分别为62HRC和52HRC

试验中上试样(球)固定,下试样(盘)转动。试验条件为:负荷5N,滑动速度0.5m/s,先跑合30min。试验时间为30min。试验分别在干摩擦和油润滑(SP 8801—100空间润滑油滴油润滑)条件下进行

(1) 摩擦副 (球↔盘)	摩擦因数				磨损率/ $10^{-15} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$			
	干摩擦 <sup>①</sup>		油润滑		干摩擦 <sup>①</sup>		油润滑	
	大气中	真空中 <sup>②</sup>	大气中	真空中	大气中	真空中	大气中	真空中
GCr15 ↔ 45 钢	0.68	0.47	0.086	0.053	1.60	13.60	0.075	0.890
(TiC/TiN) <sub>7</sub> ↔ 45 钢	0.46	0.26	0.081	0.052	1.13	0.80	0.060	0.020
TiC ↔ 45 钢	0.42	0.24	0.082	0.080	1.02	0.60	0.065	0.040
TiN ↔ 45 钢	0.48	0.31	0.089	0.068	1.31	0.96	0.075	0.032
GCr15 ↔ (TiC/TiN) <sub>7</sub>	0.67	0.35	0.090	0.101	17.70	9.20	2.10	1.400
(TiC/TiN) <sub>7</sub> ↔ (TiC/TiN) <sub>7</sub>	0.17	0.27	0.051	0.042	5.10	8.30	1.50	0.320
TiC ↔ TiC	0.19	0.31	0.095	0.165	8.60	12.40	2.80	3.300
TiN ↔ TiN	0.18	0.32	0.092	0.100	9.10	13.60	1.90	0.810

①镀层磨穿前的平均值  
②真空度为  $6.67 \times 10^{-3} \text{ Pa}$

(2) 摩擦副 (球↔盘)	摩擦因数				磨损率/ $10^{-15} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$			
	干摩擦		油润滑		干摩擦		油润滑	
	大气中	真空中	大气中	真空中	大气中	真空中	大气中	真空中
GCr15 <sup>①</sup> ↔ Pb <sup>②</sup>	0.40	0.32	0.079	0.052	4.40	1.90	0.21	0.28
GCr15 ↔ Pb-Sn-Cu <sup>③</sup>	0.37	0.28	0.062	0.041	5.80	1.70	0.17	0.10
(TiC/TiN) <sub>7</sub> <sup>④</sup> ↔ Pb	0.32 <sup>⑤</sup>	0.18	0.073	0.043	1.10 <sup>⑤</sup>	0.83	0.014	0.041
(TiC/TiN) <sub>7</sub> ↔ Pb-Sn-Cu	0.26 <sup>⑥</sup>	0.17	0.050	0.032	1.30 <sup>⑥</sup>	0.81	0.057	0.066

①GCr15 (淬火) 钢球, 无涂层  
②45 钢 (淬火) 基材盘, 电刷镀 Pb, 厚 18.4 μm  
③45 钢 (淬火) 基材盘, 表面电刷镀 Pb76.4% -Sn12.6% -Cu11.0% (均为质量分数) 镀层, 厚 20.345 μm  
④GCr15 (淬火) 基材钢球, 表面 CVD 法镀 (TiC/TiN)<sub>7</sub> 七层镀层, 厚度 5  
⑤⑥约 50min 后固体润滑涂层完全磨穿, 此后的摩擦因数为 0.61

在 52100 钢表面利用 IBAD 法分别沉积 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 和 TiN 薄膜 (厚约 1 μm), 后在其上面再用 IBAD 法沉积 MoS<sub>x</sub> 薄膜。为了比较, 在 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 和 TiN 薄膜表面又利用磁控溅射法 (MS 法) 制取 MoS<sub>x</sub> 薄膜。经测定 IBAD MoS<sub>x</sub> 中的  $x = 1.287$ , MS MoS<sub>x</sub> 中的  $x = 1.700$ 。在 SRV 试验机上进行摩擦学性能测定。试验结果见下图, 在给定的范围内, 负荷和频率越大, 摩擦因数越小。与基材对比, 两种 MoS<sub>x</sub> 膜都显示出良好的减摩性能, 而且 MoS<sub>x</sub> 对 TiN 的减摩作用优于对 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 的减摩作用。两种 MoS<sub>x</sub> 中, MS MoS<sub>x</sub> 膜的减摩性能优于 IBAD MoS<sub>x</sub> 膜

在测定摩擦因数随时间的变化中发现, MS MoS<sub>x</sub> 膜的摩擦因数在 15min 后由 0.06 左右突然升高到 0.14, 而 IBAD MoS<sub>x</sub> 膜的摩擦因数基本保持不变 (0.10 左右)。在测定磨损率随负荷和频率的变化关系得出, 磨损量随负荷和频率的增加而增加, 两种 MoS<sub>x</sub> 膜的耐磨性比 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 和 TiN 膜的高 3~4 倍。而 MS MoS<sub>x</sub> 膜的耐磨性优于 IBAD MoS<sub>x</sub>, 尤其在低负荷或低频率下更为明显

(a) 摩擦因数与负荷的关系

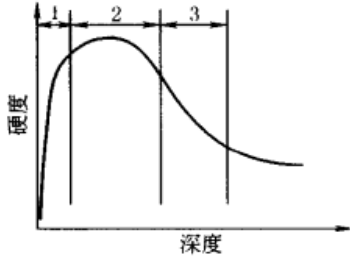
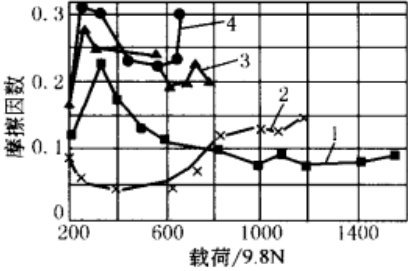
(b) 摩擦因数与频率的关系

1—52100 钢; 2—Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>; 3—TiN; 4—IBAD MoS<sub>x</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>; 5—IBAD MoS<sub>x</sub>-TiN;  
6—MS MoS<sub>x</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>; 7—MS MoS<sub>x</sub>-TiN

上试样为 φ10mm 的 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 陶瓷球, 下试样为沉积了薄膜的圆盘  
试验条件: 振幅为 1mm, 时间为 30min, 液体石蜡润滑, 用 15Hz 的振动频率测定摩擦因数-负荷关系, 用 40N 的负荷测定摩擦因数-频率关系

## 含扩渗改性的表面膜层

表 1-7-61

类别	性能和应用
含有渗硫工序的表面热处理层	<p>1) 在复合表面热处理中,与渗硫相复合的表面热处理具有较好的自润滑效果。应用较多的是在表面硬化处理之后增加一道低温电解渗硫工艺。低温电解渗硫工艺的处理温度为 180~190℃,可与低温回火结合进行。常用的有:</p> <p>① 高频感应加热淬火加低温电解渗硫,如 800℃ 高频感应加热淬火,190℃ 低温电解渗硫</p> <p>② 渗碳淬火加低温电解渗硫,如 930℃ 渗碳,预冷至 800℃ 淬火,190℃ 低温电解渗硫</p> <p>③ 渗氮加低温电解渗硫,如 550℃ 气体氮化,190℃ 低温电解渗硫</p> <p>④ 碳氮共渗、淬火加低温电解渗硫,如 850~880℃ 碳氮共渗后直接淬火,190℃ 低温电解渗硫等</p>
	<p>图 a 是在严酷条件下工作的零件表面的理想硬度分布曲线,图中的第 1、2、3 层分别是易塑性变形的软质层、机械强度好的硬化层和硬度缓降的扩散层。上述硬化处理是为了得到要求的第 2、3 层,而低温电解渗硫可以生成减摩性良好的第 1 层</p> <p>渗硫后硫在钢铁表面主要以硫化铁形成存在。在盐浴中渗硫时,200℃ 以上形成 <math>FeS_2</math> 层(黄铜色),180~200℃ 形成 <math>FeS</math> 混有 <math>FeS_2</math>(黑色混入黄铜色),170℃ 以下仅有 <math>FeS</math> 层。渗硫层实质上是由 <math>FeS</math>(或 <math>FeS + FeS_2</math>) 组成的化学转化膜。<math>FeS</math> 具有密排六方晶格,硬度仅为 60HV,受力时沿(0001)晶面滑移,使摩擦时实际接触面积增大,改善了初期的磨合,抗烧伤、咬合效果好。渗硫层是有大量微孔的软质层,有良好的储油能力和减摩性,即使在无润滑状态下摩擦因数也很低。图 b 是渗碳后各种表面处理的 SCM415 钢的摩擦因数随载荷的变化曲线</p> <p>渗硫方法有固体、气体和液体渗硫三种。按渗硫温度又分为低温(160~200℃)、中温(520~560℃)和高温(800~930℃)渗硫</p> <p>低温渗硫零件无畸变。在低温渗硫中,除低温电解渗硫、低温气体渗硫、低温液体渗硫外,真空辉光放电离子渗硫也日益受到重视</p> <p>我国不仅研制出系列设备和配套的工艺,而且已将其成功地应用于轴承、轴瓦、轧辊、齿轮、丝杠、滑板等零件的批量处理中</p>
	
	(a) 在严酷条件下工作的零件表面的理想硬度分布
	
	(b) 渗碳后不同表面处理的 SCM415 钢的摩擦状况 1—渗碳加低温电解渗硫;2—渗碳加磷酸盐处理加 $MoS_2$ ;3—渗碳加磷酸盐处理;4—渗碳淬火
	<p>2) 渗氮、渗碳后再进行渗硫处理、硫氮二元共渗和硫碳氮三元共渗,也可使工件表面兼有渗硫后的减摩特性和渗氮、渗碳后的耐磨特性</p>
	<p>① 气体硫氮共渗后的金相组织分为三层,最外层是 <math>FeS</math>,第二层是以 <math>Fe_{2-3}N</math> 为主的氮化物白亮层,第三层是氮的扩散层。硬度峰值可达 1000HV<sub>0.05</sub>,由表及里的硬度变化较为平缓。硫氮共渗后,提高了材料的减摩、耐磨性能。如 W18Cr4V 钢试样在淬火回火后(64~65HRC)经(560℃ ± 10℃) × 1h 液体硫氮共渗与未经共渗的磨损试验结果是:对磨 20000r 后的失重分别为 0.0131g 和 0.1008g。45 钢试样(淬火+回火)在 Fa-lex 试验机上以全损耗系统用油 L-AN32(20# 机油)润滑加恒定载荷进行试验,2s 即发生咬卡,而经过硫氮共渗后的试样,运行 500s 还未发生咬卡</p>
	<p>硫氮共渗与蒸汽处理相结合,可提高钢件的减摩和耐蚀性能。蒸汽处理又称氧化处理,是指在 500~600℃ 的温度下,用过热蒸汽进行的处理。它可使钢件表面形成一层致密的与基体结合牢固的 <math>Fe_3O_4</math> 薄膜。对于高速钢刀具在硫氮共渗前、后可各进行一次蒸汽处理</p>
	<p>② 硫碳氮共渗兼有碳氮共渗和渗硫的特点,能赋予工件优良的耐磨、减摩、耐疲劳、抗咬合性能,并改善了钢铁件(不锈钢除外)的耐蚀性</p>
	<p>钢铁表面形成的共渗层由硫化物层、弥散相析出层和过渡层组成。硫化物层厚度为 5~20μm,是由 <math>FeS</math>、<math>FeS_2</math>、<math>Fe_3O_4</math> 等相组成的硫、氮、碳富集区。弥散相析出层主要由 <math>Fe(N,C)</math>、<math>Fe_3(N,C)</math>、<math>Fe_4(N,C)</math> 相及含氮的马氏体、残余奥氏体等相组成。过渡层是含氮量高于基体的固溶强化区</p>
	<p>对于大多数结构钢和不锈钢,常以(565℃ ± 5℃) × (1~3)h 进行盐浴硫碳氮共渗。其处理效果十分明显,如 45、45Cr 钢的轴和齿轮处理后寿命可提高 1~3 倍;Cr12MoV 硅钢片冷冲头等高精度冷作模的寿命提高 1~4 倍;1Cr13~3Cr13 和 1Cr18Ni9Ti 钢泵轴、阀门寿命提高 2~4 倍;ZGCr28 的叶轮、中壳抗咬合负荷提高 4~6 倍,台架试验时间延长 3 个数量级。45 钢以 570℃ × 3h 进行离子硫碳氮共渗与未处理相比,在干摩擦下起始摩擦因数由 0.14~0.15 下降至 0.08</p>

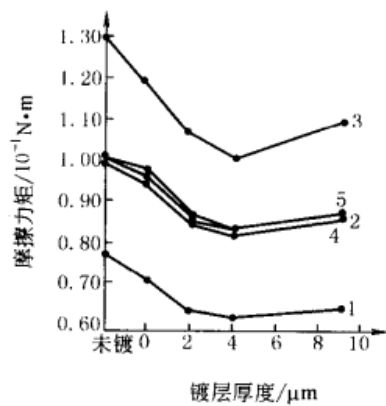
类别

性能和应用

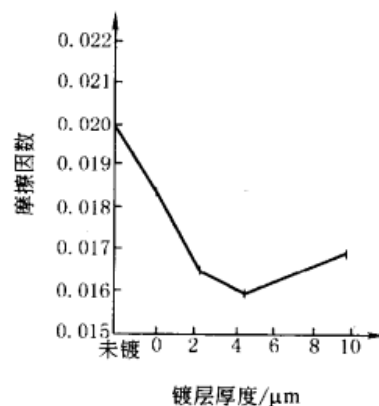
将电刷镀与渗金属工艺相复合,可以在金属表面形成一层减摩、耐磨的固溶合金化镀覆层。如在 40Cr 钢表面先刷镀一层 Sn(厚度 0.5~3 $\mu\text{m}$ ),而后在氮气气氛中按 500 $^{\circ}\text{C}$  × 6h/550 $^{\circ}\text{C}$  × 3h/600 $^{\circ}\text{C}$  × 6h 进行渗金属;或在 Cu 合金(H62)表面刷镀 8~15 $\mu\text{m}$  的 Sn,在氮气气氛中按 300 $^{\circ}\text{C}$  × 6h/400 $^{\circ}\text{C}$  × 4h 渗金属,可获得较好的减摩、耐磨效果

在 Al 合金(LY12)表面先刷镀一层 Cu(厚度 0~9 $\mu\text{m}$ ) + In(厚度 16 $\mu\text{m}$ ),然后在空气中按 140 $^{\circ}\text{C}$  × 4h/160 $^{\circ}\text{C}$  × 2h 的工艺渗金属,所得到的镀层的摩擦学性能与 Cu 镀层厚度的关系见下图。摩擦学试验是在改进的 MPX-200 型试验机上进行的。对偶为 GCr15(62HRC),30 $^{\#}$  机械油润滑,试验时间 30min,结果表明,在该试验条件下,LY12 基材刷镀 4 $\mu\text{m}$ Cu + 16 $\mu\text{m}$ In 后实施渗入工艺的效果最好

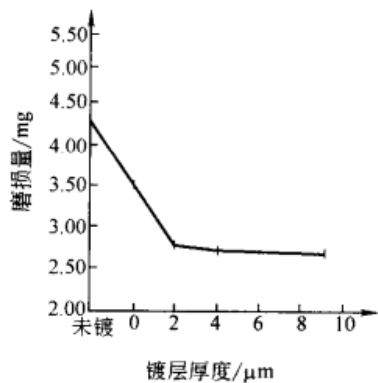
镀  
渗  
层



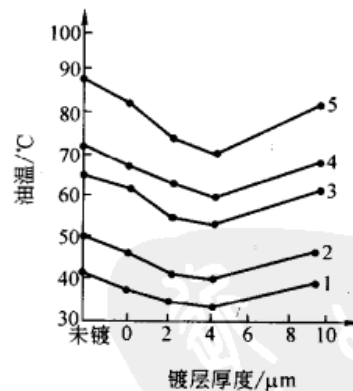
(a) 摩擦力矩与镀层厚度的关系



(b) 摩擦因数与镀层厚度的关系



(c) 磨损量与镀层厚度的关系



(d) 油温与镀层厚度的关系

1—300N, 370r/min; 2—400N, 370r/min; 3—500N, 370r/min; 4—400N, 549r/min; 5—400N, 1102r/min

## 金属塑料复合材料

表 1-7-62

类别		性能和应用		
<p>金属塑料复合材料又称为“背衬型润滑材料”、“三层复合自润滑材料”。它由钢背-多孔青铜-高分子润滑材料复合而成。其力学性能相当于钢,摩擦学性能相当于高分子材料。具有机械强度高、摩擦因数小、耐磨性好、热膨胀小、导热性优良等特点。这类材料目前已有很多种,其中应用得比较广泛而有效的有 PTFE-钢背和聚甲醛-钢背,国外分别称其为 DU 材料和 DX 材料。这些材料适于制作轴套、衬套、垫片、导轨、滑板和半球碗等机械零件</p> <p>(1) PTFE-钢背复合材料(DU 材料)</p> <p>DU 材料由英国 Glacier 金属公司发明,其应用很广。国产的选用 10 钢或 08F 低碳钢冷轧钢板,厚度一般在 0.5 ~ 3.0mm,其上镀厚度为 10 ~ 15<math>\mu</math>m 的 Cu,而后采用黏结的方法敷 0.26 ~ 0.35mm 厚的球形青 Cu 粉(粒径 0.06 ~ 0.19mm),在氢气炉中以 840<math>^{\circ}</math>C <math>\pm</math> 10<math>^{\circ}</math>C 的温度进行烧结。表面层高分子材料主要是 PTFE(可填充 PbO、硼铅玻璃、SiO<sub>2</sub>、天然云母、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等物),采用辊压烧结(温度 375<math>^{\circ}</math>C <math>\pm</math> 5<math>^{\circ}</math>C)而成,表面层厚度为 0.02 ~ 0.06mm。钢背的作用在于提高材料的强度和承载能力,镀 Cu 是为了提高钢背与青铜中间层之间的结合强度。在摩擦升温时表层的 PTFE 及其填充物从孔隙中挤出,起到自润滑作用。一旦表面层被磨损后,中间层青铜则直接与对偶接触,可避免严重烧伤</p> <p>下表是国产的 FQ-1(PTFE-钢背复合材料)与英国的 DU、美国的 Turcite-B(PTFE 中添加了 50% 的青铜粉、MoS<sub>2</sub> 和玻璃纤维等制成的带材)材料的性能比较。试验在 Amsler 试验机上进行,对偶材料 45 钢(350HBS),负荷 600N,滑动速度 25.12m/min,总转数 1.5 <math>\times</math> 10<sup>4</sup>r(约 1.9km),室温</p>				
		干 摩 擦		
材 料		摩擦因数	摩擦力矩/N·m	磨痕宽度/mm
FQ-1	含 5% Pb	0.153	1.89	4.92
	含 10% Pb	0.143	1.70	4.08
	含 20% Pb	0.101	1.25	3.62
DU		0.142	1.70	2.53
Turcite-B		0.186	2.32	6.70
		全损耗系统用油 L-AN46 润滑		
材 料		摩擦因数	摩擦力矩/N·m	磨痕宽度/mm
FQ-1	含 5% Pb	0.024	0.30	3.33
	含 10% Pb	0.027	0.35	2.92
	含 20% Pb	0.025	0.30	3.26
DU		0.046	0.65	2.81
Turcite-B		0.36	0.44	4.63
<p>(2) 钢背-青铜粉-PTFE 复合材料(C<sub>2</sub>)、钢背-青铜粉-(PTFE + Co<sub>2</sub>O) 复合材料(D<sub>2</sub>)、钢背-青铜粉-(PTFE + Pb)(E<sub>2</sub>)</p> <p>① 三种 PTFE 基自润滑复合材料轴承的摩擦因数与负荷变化的规律如图 a 所示。初期,摩擦因数随负荷的增大而不同程度增大,这是其表面层因磨损而露出铜粉逐渐增多的结果,而后,由于 PTFE 受热膨胀被挤出,摩擦因数又随负荷的增大而减小。三种材料中含 Pb 表面层的摩擦因数最小,含 CuO 的最大,说明填充 Pb 能降低复合材料的摩擦因数,而填充 CuO<sub>2</sub> 却增大了摩擦因数</p> <p>在 MPV-1500 试验机上采用逐级加载法(每隔 10min 增加一级负荷)。在干摩擦和运动速度为 1m/s 的情况下试验</p>				



类别	性能和应用
PTFE-钢背复合材料	<p>②在全损耗系统用油 L-AN32(20#机油)润滑条件下,三种材料的摩擦因数可比干摩擦条件低 1~2 个数量级,摩擦因数都随负荷和速度的增大而减小。另外试验表明,填充 PTFE 的耐磨性比纯 PTFE 的要好;在油润滑条件下,C<sub>2</sub> 的极限 pv 值可达到 128MPa·m/s,D<sub>2</sub>、E<sub>2</sub> 的在 135MPa·m/s 以上,而在干摩擦下三种材料的极限 pv 值在 9MPa·m/s 以下。三种 PTFE 基复合材料轴承在不同速度下摩擦因数随负荷的变化曲线如图 b~图 d 所示</p> <p>(b) D<sub>2</sub> 轴承      (c) C<sub>2</sub> 轴承      (d) E<sub>2</sub> 轴承</p> <p>1—1m/s;2—2m/s;3—3m/s;4—4m/s</p>
DX 材料	<p>(3) 聚甲醛-钢背复合材料 (DX 材料)</p> <p>它由钢背、多孔青铜和在多孔结构上滚压的表面层三部分组成。表面层是约 500μm 厚的聚甲醛层,其上压有许多凹痕以储存油、脂等润滑剂</p> <p>这种材料在使用前必须涂敷润滑剂进行预润滑,它兼有高承载能力和低摩擦因数,适于在高速运动的摩擦构件中应用。含油聚甲醛-钢背复合材料的静承载能力约 140MPa,在速度为 22m/min 时能承受大于 10MPa 的载荷</p> <p>在干摩擦条件下,DX 材料的摩擦学性能不理想。在油脂润滑条件下,它的跑合磨损很小,几乎与稳定磨损相当。在油脂消耗到一定程度后,磨损便逐渐加大。若加油的间隔时间合适,材料的使用寿命可大为延长</p>

黏结固体润滑膜

表 1-7-63

类别	性能和应用																																																					
黏结固体润滑膜	<p>黏结固体润滑膜是将固体润滑剂分散于有机或无机黏结剂中,采用喷涂、刷涂或浸涂等方法涂敷于摩擦表面上,经固化而成的膜。干膜厚度一般为 20~50μm,厚的可大于 100μm。干膜具有与基体相同的承载能力,摩擦因数通常在 0.05~0.2 之间,最小可达 0.02。因其可在高温、高负荷、超低温、超高真空、强氧化还原和强辐射等环境下有效地润滑,而获得了从民用机械到空间技术等各个方面的广泛应用</p>																																																					
	<p>(1) 环氧树脂黏结干膜</p> <p>以环氧树脂为黏结剂、EMR 为固化剂、邻苯二甲酸二丁酯为添加剂与固体润滑剂 MoS<sub>2</sub> 所组成的干膜具有较好的摩擦学性能。按环氧树脂:邻苯二甲酸二丁酯:固化剂:MoS<sub>2</sub>(质量)=1:0.07:0.072:(3~4) 的配比在不锈钢表面进行喷涂,常温下固化 5 天,而后在 MHK-500 型环-块试验机上进行摩擦学性能测定。在负荷 327N、转速 1000r/min 下,其摩擦因数为 0.07~0.16,磨损寿命为 144~212m/μm。根据“协同效应”,在 MoS<sub>2</sub> 中添加石墨,MoS<sub>2</sub> 与石墨的质量比为 (4~15):1。按环氧树脂:邻苯二甲酸二丁酯:固化剂:(MoS<sub>2</sub>+石墨)(质量)=1:0.07:0.072:3.5 的配比,以同样的方法制备干膜。在同样的测试条件下,测得的摩擦因数基本相同,但磨损寿命却增加到 186~274m/μm。不同的基材影响着干膜的黏着强度。干膜如果浸泡在油中会降低其耐磨性</p> <p>以环氧树脂为黏结剂、环氧丙烷丁基醚为固化剂、邻苯二甲酸二丁酯为添加剂,并添加各种填充剂和固体润滑剂所组成的 HNT 涂层系列配方见右表。基材表面涂敷该涂层后,在常温下固化 24h 后即可投入使用。为增加涂层的结合强度,在涂层固化时应对其施加约 0.1MPa 的压力。在龙门铣床的铸铁导轨表面涂敷 HNT 涂层,按正常条件运行,其年磨损量为 5~7μm</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">配方号及加入量</th> <th>HNT11-J5</th> <th>HNT17-5</th> <th>HNT20-1</th> <th>HNT21-4</th> </tr> <tr> <th colspan="4">加入量/g</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>环氧树脂(6101)</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>邻苯二甲酸二丁酯</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>环氧丙烷丁基醚</td> <td>12</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>气相二氧化硅</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>铁粉</td> <td>25</td> <td>15</td> <td>25</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>二氧化钛</td> <td></td> <td>30</td> <td>15</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>MoS<sub>2</sub></td> <td>100</td> <td>80</td> <td>80</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>石墨</td> <td>25</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>总量</td> <td>274</td> <td>266</td> <td>267</td> <td>276</td> </tr> </tbody> </table>	配方号及加入量	HNT11-J5	HNT17-5	HNT20-1	HNT21-4	加入量/g				环氧树脂(6101)	100	100	100	100	邻苯二甲酸二丁酯	10	10	15	15	环氧丙烷丁基醚	12	10	10	15	气相二氧化硅	2	1	2	1	铁粉	25	15	25	15	二氧化钛		30	15	30	MoS <sub>2</sub>	100	80	80	80	石墨	25	20	20	20	总量	274	266	267
配方号及加入量	HNT11-J5		HNT17-5	HNT20-1	HNT21-4																																																	
	加入量/g																																																					
环氧树脂(6101)	100	100	100	100																																																		
邻苯二甲酸二丁酯	10	10	15	15																																																		
环氧丙烷丁基醚	12	10	10	15																																																		
气相二氧化硅	2	1	2	1																																																		
铁粉	25	15	25	15																																																		
二氧化钛		30	15	30																																																		
MoS <sub>2</sub>	100	80	80	80																																																		
石墨	25	20	20	20																																																		
总量	274	266	267	276																																																		

类别

性能和应用

(2) 聚双马来酰亚胺干膜  
几种这类干膜的性能如下表:

组成(质量)	室温下性能			真空下性能			说 明			
	膜厚/ μm	摩擦因数	磨损寿命/ m·μm <sup>-1</sup>	膜厚/ μm	摩擦因数	磨损寿命/ m·μm <sup>-1</sup>	①	②	③	④
氟化石墨:树脂 = 0.5:1	33	0.04 ~ 0.07	612					本表是以聚(氨基)双马来酰亚胺树脂为黏结剂,氟化石墨、MoS <sub>2</sub> 和石墨为固体润滑剂,二甲苯甲酰胺为稀释剂,喷涂在不锈钢表面静置 12h,然后在 240℃ 固化 3h 而成的几种干膜的性能	在室温下和高真空(133.322 × 10 <sup>-6</sup> Pa)下的试验条件:负荷 25MPa,滑动速度 1.25m/m,可见,室温下 IF-3 干膜有优良的摩擦学性能;高真空下氟化石墨黏结膜的性能不如 MoS <sub>2</sub> 黏结膜,但优于石墨黏结膜	聚(氨基)双马来酰亚胺树脂具有聚酰亚胺的优良力学性能,且价格低,能溶解在一些有机溶剂中
	35	0.03 ~ 0.07	602							
氟化石墨:树脂 = 0.6:1	54	0.04 ~ 0.07	777	41	0.02	69	IF-3			
	43	0.04 ~ 0.09	870	44	0.02 ~ 0.03	86				
氟化石墨:树脂 = 0.7:1	42	0.05 ~ 0.09	462							
	52	0.05 ~ 0.11	452							
氟化石墨:树脂 = 1:1	59	0.04 ~ 0.08	238							
	54	0.03 ~ 0.07	274							
MoS <sub>2</sub> :树脂 = 1.52:1	38	0.05 ~ 0.13	72	29	0.01 ~ 0.02	258				
	39	0.08 ~ 0.10	84	37	0.01 ~ 0.03	126				
石墨:树脂 = 0.6:1	37	0.06 ~ 0.07	662	47	0.26	13				
	31	0.05 ~ 0.09	707							

以聚双马来酰亚胺为黏结剂,固体润滑剂为氟化石墨 + MoS<sub>2</sub> 及氟化石墨 + 石墨,分别制成的 IF-1 及 IF-2 干膜,其使用温度可达 300℃,蒸发率低,且有耐辐射能力。IF 干膜已成功用于航天工业机械的防冷焊和润滑

以改性聚酰亚胺树脂为黏结剂,在固体润滑剂 MoS<sub>2</sub> 中添加 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,在 300℃ 下固化 2h 所制备的干膜称为 PI 干膜。其组成(质量)为聚酰亚胺:MoS<sub>2</sub>:Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1:3:1。可用于 -178 ~ 300℃ 温度范围及真空条件下,其磨损寿命为 270m/μm

用环氧树脂来改性聚双马来酰亚胺使聚合物的综合性能进一步提高,以其作为黏结剂,MoS<sub>2</sub> 作润滑剂,二甲苯和间甲酚为溶剂,喷涂后,在 200℃ 下固化 3h,形成的干膜称为 DMI-2 干膜。它比以聚双马来酰亚胺为黏结剂的 DMI-1 干膜(润滑剂、溶剂和制备过程均与前者相同,仅改在 240℃ 下固化 3h)的摩擦学性能进一步提高。在高真空下测试 DMI-2 干膜也表现出良好的摩擦学性能

(3) 粉末喷涂黏结干膜

粉末喷涂聚合物基固体润滑黏结膜具有与悬浮液涂层膜相同的摩擦学性能,可以实现 100% 固体粉末的喷涂。膜厚 100 ~ 300μm,有较好的弹性和韧性。喷涂方法可采用流化床法、高压静电喷涂法、粉末电泳法、氧-乙炔火焰喷涂法等。用作黏结剂的聚合物有聚乙烯、聚丙烯、聚丁烯、聚酰胺(尼龙)等热塑性树脂和环氧、酚醛、聚氨酯等热固性树脂。以聚酰胺作黏结剂的粉末喷涂干膜,常根据基体工况要求再添加其他材料组成复合膜

添加物质	可提高干膜的
环氧树脂	黏结强度(如尼龙 1010 由 10.6MPa 提高到 64.1MPa)
Al 粉或 Cu 粉	导热性和抗压强度
石英粉(或刚玉粉)	硬度、强度和耐热性等
不同组成的干膜	可用于
(由)尼龙粉 + 石英粉(组成的干膜)	发电机驱动轴轴承
尼龙粉 + MoS <sub>2</sub> 粉 + Cu(Al)粉	滑动轴承、凸轮轴、纺织机械和车床主轴等
尼龙粉 + MoS <sub>2</sub> 粉(或 MoS <sub>2</sub> + 石墨)	机床导轨、滑动轴承、柴油机的活塞等
尼龙粉 + 玻璃粉	发动机汽缸套
尼龙粉 + 环氧树脂粉等	水力机械的轮机和水泵叶片和轴等
尼龙 1010 粉(100 份) + MoS <sub>2</sub> 粉(50 份)经常温冷喷涂或 180 ~ 200℃ 热喷涂	齿轮箱、光杠、丝杠等
低压聚乙烯(90 份) + MoS <sub>2</sub> 粉(10 份)经热喷涂(聚乙烯熔融后喷涂)	车床的挂轮箱、溜板箱和尾座等
在耐热、耐多种酸碱和溶剂的氯化聚醚中,添加 MoS <sub>2</sub> 、石墨和 PT-FE 等	化工池槽内壁、输液管道、齿轮的耐磨涂层、铝质旋塞的密封涂料等

1. 有机黏结固体润滑膜



类别	性能和应用
2. 无机黏结固体润滑膜  黏结固体润滑膜	<p>无机黏结固体润滑膜是以硅酸盐、磷酸盐、硼酸盐等无机盐以及陶瓷、金属等作黏结剂的黏结型润滑材料。虽然具有使用温度宽、耐辐射、真空出气率低、与液氧液氢的相容性好等优点,但因存在脆性大、耐负荷性差、摩擦学性能不如有机膜等不足,目前多数限于在特殊工况(如液氧液氢介质、特殊高温、忌有机蒸气污染的航天机械等)下使用</p> <p>(1)SS-2 干膜 在硅酸盐黏结干膜中,以硅酸钾为黏结剂,MoS<sub>2</sub> 和石墨为润滑剂,水作稀释剂的黏结干膜称为 SS-2 干膜。该膜适于 -178 ~ 400℃ 温度范围内工作。在不锈钢上喷涂 40 ~ 50μm 厚的这种干膜,在 TimKen 试验机上,以负荷 315N、速度 2.5m/s 的条件试验,其摩擦因数为 0.06 ~ 0.08,平均磨损寿命为 120m/μm。在 <sup>60</sup>Co 源的射线累积照射量达 6.8 × 10<sup>8</sup>R(伦琴)后,7 次试验的平均磨损寿命 100m/μm。SS-2 干膜具有良好的储存稳定性,可以满足液氧输送泵轴承的润滑要求</p> <p>(2)SS-3 干膜 以硅酸钾为黏结剂,MoS<sub>2</sub>、石墨和银粉为润滑剂,水作稀释剂的黏结干膜称为 SS-3 干膜。该膜的耐磨性优于 SS-2 干膜</p> <p>(3)SS-4 干膜 在 SS-3 干膜基础上通过改进工艺制成的 该膜在 TimKen 试验机上,以负荷 320N、转速 1000r/min 的条件做试验,测得其摩擦因数为 0.09 ~ 0.016,平均磨损寿命为 206 ~ 417m/μm(膜厚 20 ~ 50μm,室温)。在环-块试验机上的测定表明,它的摩擦因数随负荷和速度的增加而减小,磨损寿命随负荷和速度增加而降低。在 CZM 型真空试验机上对 10 ~ 20μm 的 SS-4 干膜进行摩擦学性能测定(真空度 133.322 × 10<sup>-6</sup>Pa,负荷 15MPa,滑动速度 10m/s,栓、盘材料均为不锈钢),结果由下图可见,该膜在真空条件下的摩擦因数随负荷和速度的增加而减小,磨损寿命随负荷和速度的增加而降低。由于薄的 SS-4 干膜的耐磨性较好,所以可以用在滚动轴承和精度要求较高的相对运动部件上 以磷酸盐为黏结剂,石墨、氟化石墨和 BN 为固体润滑剂,水为稀释剂的黏结干膜是为了在室温到 700℃ 的宽范围内使用而研制的。在 650 ~ 700℃ 的温度下,该干膜的摩擦因数很小,但耐磨性很差。将干膜喷射进行表面活化处理后再进行喷涂可提高干膜的结构强度和耐磨性 对于黏结固体润滑干膜的润滑和失效机理的某些研究得出:一般黏结固体润滑干膜的磨损寿命受速度的影响比负荷的影响更敏感,即润滑膜在重负荷、低速度下的使用寿命长于在同样 pv 值下低负荷、高速度下的耐磨寿命;部分黏结固体润滑干膜的磨损过程主要是由于摩擦过程中所产生的小气泡的作用,气泡的形成、扩大和破裂是这部分润滑膜的主要失效过程;在摩擦对偶表上可看到转移膜的形成及其性质是影响润滑膜摩擦学性能的重要因素之一,如在摩擦中能迅速在对偶面上形成与基材结合良好的均匀转移膜,则摩擦因数就低而稳定,耐磨寿命长</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="239 1276 718 1590"> <p>(a) 负荷对SS-4干膜摩擦学性能的影响</p> </div> <div data-bbox="877 1276 1356 1590"> <p>(b) 速度对SS-4干膜摩擦学性能的影响</p> </div> </div>
	<p>(1)在高低温条件下的应用 由于这类干膜在适用温度范围内无相的变化,且摩擦因数比较稳定,因而被广泛用于解决润滑油脂所无法解决的高低温机械的润滑和防粘问题。在从 -200℃ 下的极低温到接近 1000℃ 的高温下都有可供使用的黏结固体润滑干膜。如各类发动机(包括火箭发动机)的高温滑动部件、远程炮弹膛、热加工模具、炼钢机械、耐高温烧蚀紧固件等;低温下的火箭氢氧发动机涡轮泵齿轮和超导设备的有关部件等</p> <p>(2)在高负荷条件下的应用 由于含 MoS<sub>2</sub> 和石墨等层状固体润滑剂的干膜的耐负荷性超出极压性能好的润滑油脂的 10 倍以上,且长期静压后不会从摩擦面流失,因而可解决许多高负荷下的润滑难题,如鱼雷舵机蜗轮蜗杆组件、坦克支承传动系统、大型桥梁与立体高速公路支承台座、建筑减振支承移动系统等润滑,以及机床卡盘和金属冷热加工模具的润滑</p>

类别	性能和应用
黏结固体润滑膜	<p>(3)在真空机械中的应用</p> <p>由于润滑油脂在真空中会急剧蒸发干燥而失效,因而可考虑选用黏结固体润滑涂层。含 <math>\text{MoS}_2</math> 的黏结固体润滑膜在其他条件相同的情况下,其在真空中的摩擦因数约为大气中的 <math>1/3</math>,耐磨寿命比大气中长几倍甚至几十倍,是真空机械的首选品种。例如,人造卫星上的天线驱动系统、太阳电池帆板机构、火箭分离机构及卫星搭载机械等都使用了黏结固体润滑涂层技术</p> <p>(4)在其他方面的应用</p> <p>这类干膜还具有耐蚀、防污、减振和降噪的作用。某些黏结固体润滑干膜的耐蚀性能甚至与某些耐蚀涂料相当;纺织机械、复印机、印刷机等设备采用固体润滑干膜,解决了污染问题,使产品质量明显提高;汽车等车辆采用黏结固体润滑涂层能明显降低振动和噪声;钟表和电子仪表传动机构、照相机快门机构、计算机磁盘和电子音像设备磁带驱动机构等采用黏结固体润滑涂层使其反应灵敏,精度得到大幅度提高。此外,这类干膜还可以作为动密封材料、非金属材料润滑材料以及辐射环境和水介质环境下的润滑材料</p>

## 15.4 以提高疲劳强度等综合性能的表面复合涂层

表 1-7-64

类别	性能与应用
复合表面化学热处理	<p>(1)渗碳淬火与低温电解渗硫复合处理</p> <p>先将零件按技术条件要求进行渗碳淬火,表面获得高硬度、高耐磨性和较高的疲劳性能,然后再将零件置于温度为 <math>190^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}</math> 的盐浴中进行电解渗硫。盐浴成分为 <math>75\% \text{KSCN} + 25\% \text{NaSCN}^{\text{①}}</math>,电流密度为 <math>2.5 \sim 3 \text{A}/\text{dm}^2</math>,时间为 15min。渗硫后获得复合渗层,渗硫层为多孔鳞片状的硫化物,其中的间隙和孔洞能储存润滑油,因此具有很高的自润滑性能,有利于降低摩擦因数,改善润滑性能和抗咬合性能,减少磨损</p> <p>(2)渗碳加渗铬</p> <p>可增加碳化物层厚度,渗层下没有贫碳区,复合渗层具有高的硬度、疲劳强度、耐磨性、热稳定性和在各种介质中的耐蚀性(包括在铝合金、锌合金熔体的侵蚀性)</p> <p>(3)Al-Cr 共渗及复合渗</p> <p>粉末法: <math>1025^\circ\text{C}</math>, 10h, 渗层厚度: 10 钢, 0.37mm; 1Cr18Ni9Ti, 0.22mm。共渗用于提高钛、铜及其合金的热稳定性,提高工件抵抗冲蚀磨损和磨料磨损的能力,可用廉价钢种 Al-Cr 共渗代替高合金钢。复合渗主要用于防止高温气体腐蚀,提高工件持久强度和热疲劳性,如燃气轮机叶片、燃烧室及各种耐热钢制零件</p> <p>(4)Al-Cr-Si 共渗及复合渗</p> <p>提高热稳定性和耐蚀、耐冲蚀磨损能力。对镍基热强合金,比单独渗 Al 的热稳定性提高 50%,并有较高的热疲劳抗力;该渗层可用于保护中碳、高碳钢在硝酸、氯化钠水溶液中免受腐蚀;可使某些合金的耐蚀、耐磨损抗力提高 1~5 倍。如用于防止直升机铝制发动机叶片的氧化,叶片边缘处温度可达 <math>1500 \sim 1600^\circ\text{C}</math></p>
表面热处理与表面化学热处理的复合强化	<p>液体碳氮共渗与高频感应加热表面淬火的复合强化:液体碳氮共渗可提高工件的表面硬度、耐磨性和疲劳性能,但有渗层浅、硬度不理想等缺点。将液体碳氮共渗后的工件再进行高频感应加热表面淬火,则表面硬度可达 60~65HRC,硬化层深度达 1.2~2.0mm,零件的疲劳强度也比单纯高频淬火的零件明显增加,其弯曲疲劳强度提高 10%~15%,接触疲劳强度提高 15%~20%</p>
热处理与表面形变的复合强化	<p>(1)普通淬火回火与喷丸的复合处理</p> <p>该工艺在生产中应用很广泛,如齿轮、弹簧、曲轴等重要受力件经淬火回火后再经喷丸表面形变处理,其疲劳强度、耐磨性和使用寿命都有明显提高</p> <p>(2)复合表面热处理与喷丸的复合处理</p> <p>例如离子渗氮后,经过高频表面淬火再进行喷丸处理,不仅使组织细致,而且还可以获得具有较高的硬度和疲劳强度的表面</p> <p>(3)渗碳加强力喷丸的复合处理</p> <p>可以提高变速箱齿轮等工件的疲劳强度、寿命和可靠性,尤其是表面能获得大量残余奥氏体的渗碳工艺经喷丸强化可使工件具有很好的疲劳性能</p> <p>(4)渗碳加碳氮共渗,再加工硬化(压延、喷丸等)</p> <p>在渗碳后加碳氮共渗,以期在随后的淬火中在表面形成大量的残余奥氏体,然后通过压延使表面进一步硬化。这种复合处理能形成很硬而又富有韧性的表层,提高了使用寿命,并获得很高的疲劳强度</p>

类别	性能与应用
镀覆层与热处理的复合强化	<p>(1)铜合金先镀7~10<math>\mu\text{m}</math>锡合金,然后加热到400<math>^{\circ}\text{C}</math>左右(铝青铜加热到450<math>^{\circ}\text{C}</math>左右)保温扩散,最表层是抗咬合性能良好的锡基固溶体,其下是<math>\text{Cu}_3\text{Sn}</math>和<math>\text{Cu}_4\text{Sn}</math>,硬度450HV(锡青铜)或600HV(含铅黄铜)左右,提高了铜合金工件的抗咬合、抗擦伤、抗磨料磨损和黏着磨损性能,并提高表面接触疲劳强度和耐蚀能力</p> <p>(2)在渗铝前进行镀锌、镀铂(有时渗铂、渗钨)可以在金属表面形成一层扩散屏障,以阻滞在高温条件下铝的二次扩散,提高渗层的使用寿命。如527铁基金属先镀锌,然后进行750<math>^{\circ}\text{C}</math>×(6~8)h的粉末渗铝,形成40~70<math>\mu\text{m}</math>的镀锌渗铝层(由<math>\text{FeAl}_3</math>、<math>\text{Fe}_2\text{Al}_3</math>、<math>\text{Ni}_2\text{Al}_3</math>组成),硬度850~1000HV;若采用铝铬共渗,则层厚为25~35<math>\mu\text{m}</math>。800<math>^{\circ}\text{C}</math>×100h氧化试验,未经处理表面、渗铝、镀锌+渗铝、镀锌+铝铬共渗的增重依次为:37.8<math>\text{g}/\text{m}^2</math>、5.6<math>\text{g}/\text{m}^2</math>、1.9<math>\text{g}/\text{m}^2</math>和2.8<math>\text{g}/\text{m}^2</math>。铝铬共渗前渗钨用于镍基和钴基合金,可有效防止铝铬共渗层的再扩散,明显提高渗层的高温疲劳强度和抗高温氧化、硫化性能</p> <p>(3)铜、青铜和黄铜进行镀锡镉(或铈)热扩散复合处理。一般镀7~10<math>\mu\text{m}</math>Sn、Cd或Sb,铝青铜基体加厚至10~12<math>\mu\text{m}</math>,在空气中加热至410~430<math>^{\circ}\text{C}</math>,保温8~14h,表面呈抗咬死性能良好的Cu-Sn-Cd合金薄层,其下是<math>\text{Cu}_2\text{Sn}</math>、<math>\text{Cu}_4\text{Sn}</math>等化合物,硬度为480~600HV,镀渗层厚度约30<math>\mu\text{m}</math>,在大气、海水及矿物油中耐蚀。在Felex摩擦磨损试验机上进行摩擦学性能试验:铜合金销子与经渗碳、淬火、回火的15CrNi3A钢V形块之间摩擦速度为0.1m/s,经镀锡镉(或铈)扩散处理的QSn12和HPb59-2的摩擦学性能显著提高,同时提高了接触疲劳强度</p>
含激光处理的复合强化	<p>与激光相变硬化相复合表面处理:为了修复严重磨损的轴头,先用D132焊条(含C 0.34%,Cr 3.00%,Mo 1.40%)进行堆焊,后再进行激光相变硬化处理,并比较了高频感应加热淬火、激光强化、堆焊后激光强化三种试样的接触疲劳寿命。其中单纯激光强化采用的优化参数为:激光功率<math>P=2000\text{W}</math>,扫描速度<math>v=300\text{mm}/\text{min}</math>,光斑直径<math>D=5\text{mm}</math>;堆焊后的激光强化所采用的优化参数为:<math>P=2000\text{W}</math>,<math>v=600\text{mm}/\text{min}</math>;<math>D=5\text{mm}</math>。结果证明,堆焊后激光强化试样在各种接触应力下的接触疲劳寿命均最高[轴头为履带重载车辆悬挂装置的细长零件扭力轴(长2.18m),由45CrNiMoVA钢制造,轴头热处理硬度不低于50HRC,与支座中的滚柱直接接触。由于工作条件恶劣,轴头容易磨损]</p>

① KSCN 和 NaSCN 分别为硫氰化钾和硫氰化钠。

## 16 陶瓷涂层<sup>[50]</sup>

陶瓷涂层是以氧化物、碳化物、硅化物、硼化物、氮化物、金属陶瓷和其他无机物为原料,用各种方法涂敷在金属等基材表面而使之具有耐热、耐蚀、耐磨以及某些光、电等特性的一类涂层。它的主要用途是作金属等基材的高温防护涂层。

表 1-7-65

	陶瓷涂层的分类			陶瓷涂层的选用
	1. 按涂层物质分	2. 按涂敷方法分	3. 按使用性能分	必须考虑下列因素
陶瓷涂层的分类和选用	1) 玻璃质涂层。包括以玻璃为基与金属或金属间化合物组成的涂层、微晶搪瓷等 2) 氧化物陶瓷涂层 3) 金属陶瓷涂层 4) 无机胶黏物质黏结的陶瓷涂层 5) 有机胶黏剂黏结的陶瓷涂层 6) 复合涂层	1) 高温熔烧涂层 2) 高温喷涂涂层。包括火焰喷涂、等离子喷涂、爆震喷涂涂层等 3) 热扩散涂层。包括固体粉末包渗、气相沉积渗、流化床渗、料浆渗涂层等 4) 低温烘烤涂层 5) 热解沉积涂层	1) 高温抗氧化涂层 2) 高温隔热涂层 3) 耐磨涂层 4) 热处理保护涂层 5) 红外辐射涂层 6) 变色示温涂层 7) 热控涂层	1) 涂层与基材的相容性和结合力 2) 涂层抵御周围环境影响的必要能力 3) 在高温长时间使用时,涂层与基材的相互作用和扩散应避免基材性能的恶化,同时要考虑选择能适应基材蠕变性能的涂层 4) 高温瞬时使用的涂层应避免急冷急热条件下发生破碎或剥落 5) 选择最适合的涂敷方法 6) 选择最佳的适用厚度 7) 确定允许的储存期和储运方法 8) 涂层的再修补能力

续表

类 型		特 点	几 种 典 型 涂 层
(一) 熔 烧	釉浆法	搪瓷是其典型代表。该方法的优点是涂层成分变化广泛,质地致密,与基材结合良好;缺点是基材要承受较高温度,有些涂层需在真空或惰性气氛中熔烧	
	溶液陶瓷法	它是将涂层成分中各种氧化物先配制成金属硝酸盐或有机化合物的水溶液(或溶胶),喷涂在一定温度的基材上,经高温熔烧形成约 $1\mu\text{m}$ 厚的玻璃质涂层;如需加厚,可重复多次涂烧。其优点是熔烧温度比釉浆法低,但涂层薄,并且局限于复合氧化物组成	
陶瓷涂层的工艺	(二) 高 温 喷 涂	火焰喷涂法	<p>它是用氧-乙炔火焰将条棒或粉末原料熔融,依靠气流将陶瓷熔滴喷涂在基材表面形成涂层。其优点是设备投资小,基材不必承受高温,但涂层多孔,涂层原料的熔点不能高于<math>2700^\circ\text{C}</math>,涂层与基材结合较差</p> <p>涂层原料:质量分数为98%的<math>\text{Al}_2\text{O}_3</math>,<math>\phi 2.5\text{mm}</math>,棒料            喷涂工艺参数:<math>\text{O}_2</math>,<math>0.12 \sim 0.20\text{MPa}</math>; <math>\text{C}_2\text{H}_2</math>,<math>0.1 \sim 0.15\text{MPa}</math>;空气,<math>0.4 \sim 0.6\text{MPa}</math>            性能:涂层气孔率<math>8\% \sim 9.5\%</math>;涂层抗折强度<math>31 \sim 33\text{MPa}</math>;涂层热导率<math>(6.4 \sim 7.0) \times 10^{-3}\text{W}/(\text{cm} \cdot ^\circ\text{C})</math>(在<math>400 \sim 750^\circ\text{C}</math>范围);涂层线胀系数<math>7.4 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}</math>(在<math>20 \sim 1000^\circ\text{C}</math>范围);氧化气氛中长期使用最高温度<math>1200^\circ\text{C}</math>,瞬时温度低于<math>2000^\circ\text{C}</math>            用途:隔热、防热、耐磨零部件,如柴油机活塞、阀门、汽缸盖,熔炼金属用坩埚内表面,铸造合金泵、柱塞、高温滚筒等</p>
		等离子喷涂法	<p>它是用等离子喷枪产生的<math>1500 \sim 8000^\circ\text{C}</math>高温,以高速射流将粉末原料喷涂到工件表面;也可将整个喷涂过程置于真空室中进行,以提高涂层与基材的结合力和减少涂层的气孔率。它适用于任何可熔而不分解、不升华的原料,基材不必承受高温,喷涂速度较快,但设备投资较大,又不太适用于形状复杂的小零件,工艺条件对涂层性能有较大影响</p> <p>涂层</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> 涂层:用于耐磨、耐蚀、硬度较高、电绝缘、低热导、抗急冷急热性零部件</li> <li>2) <math>\text{Cr}_2\text{O}_3</math> 涂层:用于高温耐磨、耐蚀零部件</li> <li>3) <math>\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2</math> 涂层:用于耐磨、耐蚀零部件</li> <li>4) <math>\text{WC} + \text{Co}</math> 涂层:用于高温耐磨、耐蚀零部件</li> <li>5) <math>\text{Cr}_3\text{C}_2 + \text{NiCr}</math> 涂层:用于高温耐磨、耐蚀零部件</li> <li>6) <math>\text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2 + \text{Nb}_2\text{O}_5</math> 涂层:用于红外加热元件的涂层</li> <li>7) <math>\text{ZrO}_2 + \text{NiO} + \text{Cr}_2\text{O}_3</math> 涂层:用于红外加热元件的涂层</li> <li>8) <math>\text{ZrO}_2 + \text{金属}</math> 涂层:用于低热导、抗急冷急热的零部件</li> <li>9) <math>\text{ZrO}_2</math> 涂层:用于隔热、抗金属熔体侵蚀的零部件,也可用于一些生物体的表面层</li> <li>10) 生物玻璃涂层:用于生物体的表面层</li> <li>11) 羟基磷灰石涂层:用于生物体的表面层</li> <li>12) <math>\text{NiCr}</math>、<math>\text{NiAl}</math>、<math>\text{NiCrAl}</math> 涂层:常用于金属基材与陶瓷涂层之间的过渡层</li> </ol>
	爆震喷涂法	<p>它是用一定混合比的氧-乙炔气体在爆震喷枪上脉冲点火爆震,即以脉冲的高温(约<math>3300^\circ\text{C}</math>)冲击波,夹带熔融或半熔融的粉末原料,高速(<math>800\text{m/s}</math>)喷涂在基材表面。其优点是涂层致密,与基材结合牢固,但涂层性能随工艺条件变化大,设备庞大,噪声达<math>150\text{dB}</math>,对形状复杂的工件喷涂较困难</p> <p>涂层</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> 涂层            气孔率<math>1\% \sim 2\%</math>;抗折强度<math>132\text{MPa}</math>;线胀系数<math>7.0 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}</math>(<math>70 \sim 1800^\circ\text{C}</math>范围);显微硬度<math>1000 \sim 1200\text{HV}</math>(载荷<math>2.95\text{N}</math>);与<math>1\text{Cr}18\text{Ni}9</math>不锈钢基材结合强度<math>23.1\text{MPa}</math>;氧气氛中最高使用温度<math>1000^\circ\text{C}</math>。用于耐磨、耐蚀、抗氧化零部件</li> <li>(2) <math>\text{WC} + (13\% \sim 15\%) \text{Co}</math> 金属陶瓷涂层            气孔率<math>0.5\% \sim 1.0\%</math>;抗折强度<math>590 \sim 657\text{MPa}</math>;线胀系数<math>8.1 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}</math>(<math>70 \sim 1000^\circ\text{C}</math>范围);显微硬度<math>1150 \sim 1250\text{HV}</math>(载荷<math>2.95\text{N}</math>);氧气氛中最高使用温度<math>500 \sim 550^\circ\text{C}</math>。用于耐磨、抗冲击、抗急冷急热性的零部件</li> </ol>	



类型		特点	几种典型涂层
陶瓷涂层的工艺	(三) 热扩散	气相或化学蒸气沉积扩散法	<p>它是将涂层原料的金属蒸气或金属卤化物经热分解还原而成的金属蒸气,在一定温度的基材上沉积并与之反应扩散形成涂层。其优点是可以得到均匀而致密的涂层,但工艺过程需在真空或控制气氛下进行</p>
		固相热扩散法(粉末包埋渗镀法)	<p>是将原料粉末与活化剂、惰性填充剂混合后装填在反应器内的工件周围,一起置于高温下,使原料经活化、还原而沉积在工件表面,再经反应扩散形成涂层。其优点是设备简单,与基材结合良好,但涂层组成受扩散过程限制</p>
		液相扩散法	<p>它是将工件浸入低熔点金属熔体内,或将工件上的涂层原料加热到熔融或半熔融状态,使原料与基材之间发生反应扩散而形成涂层。其优点是适合于形状复杂的工件,能大量生产,但涂层组成有一定的限制,需进行热扩散及表面处理附加工艺</p>
		流化床法	<p>它是涂层原料在带有卤素蒸气的惰性气体流吹动下悬浮于吊挂在反应器内的工件周围,形成流化床,并在一定温度下,原料均匀地沉积在工件表面,与之反应扩散,形成涂层。流化床加静电场还可进一步提高涂层的均匀性。这种方法的优点是工件受热迅速、均匀,涂层较厚、均匀,对形状复杂的工件也适用。其缺点是需消耗大量保护气体,涂层组成也受一定的限制</p>
(四) 低温烘烤	(五) 热解沉积	热扩散涂层	<p>它主要是难熔金属及其合金的硅化物涂层和高温合金的铝化物涂层,共同特点是防护金属基材而使之具有高温抗氧化性。例如</p> <p>(1) 钼及钼合金的二硅化钼涂层 钼及含钨的钼合金,用气相热扩散法,在1000~1250℃含质量分数为40%的SiCl<sub>4</sub>的氢气中热扩散10~240min,基材表面形成MoSi<sub>2</sub>涂层</p> <p>(2) 钨合金的热扩散硅化物涂层 Nb-10W-25Zr的钨合金用Si-20Cr-20Fe料浆在真空(0.1Pa)、137℃热扩散1h,得到厚约90μm的多元硅化物涂层;外层的NbSi<sub>2</sub>为主相,中间层为复杂硅物相,内层以Nb<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>为主相</p> <p>(3) 钨合金的热扩散硅化物涂层 Ta-10W合金用Si-20Ti-10Mo料浆在真空(0.1Pa)、1370~1400℃热扩散1h,得到厚约100μm的硅化物涂层</p> <p>(4) 铁基合金的铝化物涂层 铁锰铝铸造合金(Fe基,其他合金的质量分数为:Al3.3%,Mn30%,W+Mo+V+Nb5.95%,Co.4%,B0.1%,RE0.15%,Si&lt;0.35%,P+S&lt;0.035%)采用40铁铝粉(Fe50%、Al50%)、10%Al、50%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>料浆(外加2%硝化纤维素,与适量的稀释剂丙酮-酒精,一起球磨混合50h),在氩气包箱内经700℃、10h热扩散,得到20~25μm的多元铝化物涂层,外层以FeAl<sub>3</sub>相为主,中间层以FeAl和Fe<sub>3</sub>Al为主相,内层以Fe<sub>3</sub>Al相为主</p> <p>(5) K<sub>3</sub>镍基高温合金的铝化物涂层 K<sub>3</sub>镍基高温合金(Ni67%,Al5.6%,Cr10.4%,Ti2.7%,Fe0.22%)用50%Al、50%Fe的铁铝粉(加质量分数为1%~3%的NH<sub>4</sub>Cl)在氩气包箱中950℃热扩散90min,这样的粉末包埋渗涂法处理后得到厚约20~40μm的铝化物涂层。它是单层,以Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>及NiAl为主相</p> <p>(6) 钢和不锈钢的热扩散铝化物涂层 可用粉末包埋热扩散、液相热扩散、喷涂铝后的热扩散等方法得到不同厚度的铝化物涂层,用于各种耐温、耐腐蚀零部件</p>
		低温烘烤陶瓷涂层(又称陶瓷涂料)	<p>(1) 热处理保护陶瓷涂料 例如1306高抗氧化防脱碳陶瓷涂料,是用氧化铝粉(约45份)、氧化硅粉(约45份)、碳化硅粉(约10份)、硅酸钾(约10份)与水球磨混合成涂料,用喷、浸、刷等方法涂敷在去锈脱脂的干燥工件表面,形成厚0.1~0.3mm的涂层</p> <p>(2) 高温隔热陶瓷涂料 例如用刚玉、镁砂、氧化铬等粉末作陶瓷基料,加磷酸铝黏结剂和水,混合后涂敷于玻璃钢表面,在100~200℃固化成涂层,能在2000℃下瞬时使用</p> <p>(3) 示温变色陶瓷涂料 有单变色型、脱水变色型、多变色型等。例如用镉红、镉黄、氧化铝、偏硼酸钠、碳酸钡、三氧化二钴作基料,加环氧改性有机硅树脂(黏结剂)和二甲苯或二甲苯与异丁醇(稀释剂),配成多变色型陶瓷涂料,220℃时绿变棕;550℃时红棕变红黄;550~600℃时红黄变青黄;600~700℃时青黄变浅棕;700~800℃时浅棕变浅绿;800~900℃时浅绿变蓝绿</p> <p>(4) 红外辐射陶瓷涂料 它以红外波发射率较高的陶瓷粉末为基料,以水玻璃或有机硅树脂为黏结剂,水或有机溶液为稀释剂,均匀混合形成涂料,涂敷于金属、陶瓷或耐火材料表面。这种涂层有明显的节能效果。具体配方较多,下表为某些因素对红外辐射涂料性能的影响</p>

续表

陶瓷涂层的工艺	某些因素对红外辐射涂料性能的影响	黏结剂含量对涂料性能的影响 (基料为氧化铁)	氧化铁:水玻璃:水 (质量比)	400℃时法向发射率(红外分波段) $\epsilon$			
				全辐射	1~14 $\mu\text{m}$	1~8 $\mu\text{m}$	1~4 $\mu\text{m}$
			1:1:0	0.88	0.89	0.86	0.79
			4:3:0	0.83	0.82	0.80	0.67
			5:2.5:1	0.80	0.77	0.74	0.59
			20:5:9	0.76	0.72	0.69	0.47
		基料种类对涂料性能的影响 (黏结剂为水玻璃)	碳化硅	0.87	0.87	0.86	0.78
			氧化铁	0.85	0.84	0.82	0.78
			氧化铁经 1000℃ 煤气充分接触热处理	0.95	0.94	0.93	0.92
		涂层厚度对 $\epsilon$ 的影响	层厚 30 $\mu\text{m}$ , $\epsilon$ 约 0.80; 层厚 60 $\mu\text{m}$ , $\epsilon$ 约 0.86; 层厚 > 70 $\mu\text{m}$ , $\epsilon$ 约 0.88				

注: 陶瓷涂层种类很多, 应用广泛, 此处仅简略介绍几种典型的高温无机涂层。

## 17 表面技术的设计选择<sup>[49]</sup>

表面技术种类很多, 特点各异, 但使用某些不同表面技术却能达到同一目的, 因此, 对于具体的工件, 如何在众多可用的表面技术中选择一种或加以复合的几种, 对工件表面进行处理, 获得最佳的技术经济效果, 是设计首先要解决的问题。

### 17.1 表面(复合表面) 技术设计选择的一般原则

表 1-7-66

原则	内容要求	
明确工件特点和设计要求	工件的特点和技术要求	工件形状、尺寸大小、厚薄、长短, 是否有薄壁或细长件等易变形件, 材料热处理状态, 表面成分、组织、硬度、加工精度、相应位置精度、表面粗糙度等要求, 以及受热的适应程度
	工件的工作条件	载荷性质和大小、相对运动速度、润滑条件、工作温度、压力、湿度以及介质等情况
	工件的失效情况	失效形式、损坏部位、程度及范围, 如磨损量大小, 磨损面积、深度, 裂纹形式及尺寸, 断裂性质及断口形貌, 腐蚀部位、尺寸、形貌, 表面层状态及腐蚀产物等
	工件的制造(或修复)工艺过程	当使用表面技术只是作为工件制造(或修复)工艺流程中的一个或一组工序时, 要明确它在其中所处的位置、与前后工序衔接的要求及应采用的工艺措施
	工件涂层设计要求	根据涂层受力状态如冲击、振动、滑动及其载荷大小, 摩擦与润滑状态, 工作介质如氧化气氛, 腐蚀介质的成分、含量、温度及其变化状况, 可能发生的失效类型等, 设计涂层(表面)应具有的耐磨、耐蚀、抗氧化、绝热、绝缘或其他性能, 同时设计选择涂层厚度、结合强度、尺寸精度、表面粗糙度等参数
熟悉表面技术相关资料	①表面技术的原理和工艺过程; ②采用的材料及所获得的涂层性能(包括耐磨、耐蚀、耐高温、抗疲劳等使用性能以及硬度、应力状态、孔隙率、涂层缺陷等); ③涂层与工件的结合形式及结合强度; ④工艺对工件的热影响程度; ⑤能制备的涂层的厚度范围; ⑥对前后处理(加工)的要求与影响	



原则	内容要求
涂覆(改性)工艺和涂层与工件应有良好的适应性	<p>涂层与工件材料</p> <p>二者的热膨胀系数、热处理状态等物理、化学性能应有良好的匹配性</p>
	<p>涂层与工件表面的结合力</p> <p>涂层与工件表面要有足够的结合力、不起皱、不鼓泡、不剥离;不加速相互间的腐蚀和磨损;不同表面技术中,离子注入层和表面合金元素扩散层没有明显界面;各种堆焊层、熔接层、激光熔覆层和激光合金化涂层、电火花强化层具有较高的结合强度;热喷涂层和黏结涂层结合强度相对较低。参见表 1-7-67</p>
	<p>涂层厚度</p> <p>不同表面技术获得的涂层(或改性层)厚度差别很大,而厚度将影响其使用寿命、结合力及工件和涂层的性能,因此涂层厚度应适应工件及表面技术工艺的要求与可能。例如,离子注入虽然能显著改善表面的耐磨、耐蚀等性能,但在应用中往往嫌其厚度不足,一些重防腐表面多要求具有一定厚度,单一电镀层常显得不够;对于修复还要考虑恢复到所要求的尺寸的可能性,单独使用薄膜技术一般难以满足恢复尺寸的要求。选择可参见表 1-7-69、表 1-7-70</p>
	<p>表面技术工艺影响</p> <p>所选表面技术的工艺对工件尺寸、性能等影响应不超过允许范围。如采用一些高温工艺,如堆焊、熔接(1000℃左右)、CVD(800~1200℃)等,会因受热过高引起工件变形(对细长、薄壁件尤甚)、工件组织或热处理性能改变;一些电镀工艺会降低材料的疲劳性能或产生氢脆性;镀镉需防止产生镉脆</p>
	<p>工艺实施的可行性</p> <p>考虑表面技术工艺的实施可行性,如工件过大,设备是否配套;与镀膜相关的前后处理工序实施的可能性等</p>
涂覆(改性)工艺和涂层与工件应有良好的适应性	<p>1. 适应工作条件</p> <p>1) 处于摩擦状态的表面,必须考虑与对偶件的匹配性。多种材料表面与不同对偶组成摩擦副时,呈现出的摩擦学特性和润滑效果是不同的,如匹配不当,摩擦因数会很大,耐磨性会很差,并将发生黏着磨损等现象。在对偶摩擦表面的黏着性倾向方面,经验表明,塑性材料比脆性材料大;单相金属比多相金属大;互溶性大的材料(相同的金属或晶格类型和电化学性能接近)比互溶性小的材料大;金属中单相固溶体比化合物大;金属-金属组成的摩擦副比金属-非金属摩擦副大</p> <p>2) 在与滚珠、滚柱直接接触的轴颈表面,属于具有较高接触应力的工作表面,就不宜采用热喷涂层(一般不适宜在较高接触应力下使用),而应采用适宜在较高接触应力下工作的表面热处理层、表面化学热处理层及合金化熔覆层</p> <p>3) 要求高耐磨、高耐蚀及高温等条件下工作的表面或具有高综合性能的表面,由于单一表面技术的局限性往往就需设计或选用适宜的复合表面技术。如在海水全浸或海水飞溅条件下的钢结构表面,采用喷铝+封闭+涂装方法进行保护可获得 10 年以上的寿命</p> <p>4) 不同涂层的致密程度有较大差别,如粉末火焰喷涂层的孔隙率约为 5%~20%,因其具有储油性,可用作一般油润滑摩擦面,但用作要求致密度高的表面必须进行后续处理</p>
	<p>2. 涂层与基材匹配</p> <p>在延展性较好的基材表面涂敷耐磨、减摩涂层时,涂层与基材在弹性模量、热膨胀系数、化学和结构上的合理匹配,不仅能使镀层内和界面区的应力减小,而且会增大涂层与基体的结合强度</p> <p>当涂(膜)层-基体受外力作用时,膜-基体系在弹性模量上的差异将导致其界面应力的不连续。若涂层的弹性模量比基材大,涂层内将会产生较大的应力,如高速钢基材的弹性模量比 TiC 镀层的小,在加载时会产生较大的应力,而 WC 基材的弹性模量比 TiC 涂层的大,故在加载时涂层中产生的应力小</p> <p>涂层的热膨胀系数应稍大于基材,使其在温度升高时不造成太大的张应力。若基材的热膨胀系数比涂层大,张应力会随温度的升高而增大;相反,则随着温度的升高,压应力会增大</p> <p>涂层与基材在结构和化学上的合理匹配,能得到较低的界面能和较高的结合强度。理论上分析,涂层与基材的结合强度是两者的内聚能与界面能之差。两者的内聚能越大,结合强度越高。如果涂层与基材在结构上的一致性,化学结合力大,则两者结构匹配、界面能低、结合强度高。如 TiC 与 WC 可以生成无限固溶体,因而 TiC 镀层与 WC 基材间有很强的结合力。TiC 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的化学亲和性也很强,所以通常用 TiC 作为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 镀层与 WC 基材的中间层</p> <p>复合表面技术中的梯度涂层、多层涂层和复合涂层能有效改善单一涂层的硬度与韧性的矛盾,以及膜-基结合强度不高等缺陷。为解决匹配性差的问题,可选用有互溶性的材料相结合,如 TiN、TiC 及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。亦可用具有结合界面而使层间得到足够强度的键合的材料相组合,如 TiC 或 TiN 和 TiB<sub>2</sub>。在多层涂层中最内层应与基材结合良好,中间层应有足够的硬度和强度,表层则起到耐磨和减摩的作用。在复合镀层中存在大量的低能界面,因而其结合强度、韧性和耐磨性均比单相镀层好</p>

续表

原则	内 容 要 求
涂 层 与 工 作 条 件 、 基 材 、 环 境 的 匹 配 性	<p>运用复合镀、热喷镀、表面粘涂等方法可制备各种功能的复合材料。复合材料具有优异的综合性能。例如碳纤维与树脂通过复合,不仅可以获得比铝合金和普通钢高得多的比强度和比弹性模量,而且保持了碳和树脂的耐蚀、减摩、耐磨和自润滑特性。按强化相存在的形态,复合材料分为纤维复合材料、层叠复合材料、细粒复合材料和骨架状复合材料等。按不同方向的性能差异程度可分为多向同性和多向异性复合材料。多种材料的科学组合将同时影响磨损、腐蚀机理及其相应性能</p> <p>高聚合物复合材料通常是硬相分布于软塑料基体中,各组成相的性能及摩擦的工况条件对复合材料的磨损机理起着决定性作用。当硬相对塑料基体的犁沟和切削作用不大时,复合材料的耐磨性与硬度符合混合规律。其体积磨损率<math>\bar{W}</math>,满足以下公式:</p> $\bar{W} = K\sigma / (H_{\alpha}f_{\alpha} + H_{\beta}f_{\beta})$ <p>式中,<math>\sigma</math>为正应力;<math>H_{\alpha}</math>、<math>H_{\beta}</math>分别为<math>\alpha</math>、<math>\beta</math>相的硬度值;<math>f_{\alpha}</math>、<math>f_{\beta}</math>分别为<math>\alpha</math>、<math>\beta</math>相占有的体积分数;<math>K</math>为磨损系数,通常受塑性变形、犁沟和切削作用、微裂纹成核传播等因素的影响</p> <p>当硬相为网状脆性组织时,硬相对基体起着支撑作用,能阻止软相的变形和犁沟与被切削,可使复合材料的耐磨性接近硬相的水平。当硬相为弥散粒子时,正应力小于临界断裂应力,在犁沟宽度小于粒子尺寸时,也会有好的耐磨性</p> <p>强化相中纤维强化的耐磨性优于颗粒强化,长纤维(纤维纵向尺寸与横向尺寸之比大于20~100)强化的耐磨性优于短纤维,此时复合材料的耐磨性与组织结构的各相异性有密切关系。对耐磨性好的基体组元,强化相的作用不大,而对易磨损的基体组元(如PTFE等),强化相可使磨损率大大降低</p> <p>金属基复合材料通常也是硬相分布于软基体中,但耐磨性却不一定符合混合规律。其原因有内部存在残余应力,强化相与基体界面上存在着相互作用,强化相尺寸、形貌等不一致。由于磨损机理主要是薄层的塑性变形和断裂,所以影响其耐磨性的主要因素往往不是材料的硬度(有时硬度过高反而会降低材料的耐磨性),而是硬颗粒与基体界面的结合强度。金属基纤维增强复合材料的磨损和摩擦因数也有明显的方向性。纤维轴向与滑动方向一致时的摩擦因数最小,垂直时最大,如B纤维强化的Pb基复合材料。复合材料的致密性对磨损也有影响,如在研究TiB<sub>2</sub>纤维强化的Fe基复合材料时发现,在磨料磨损的条件下,含5%孔隙率的材料磨损为无孔隙的2.7倍</p> <p>金属基复合材料的摩擦学特性和物理、化学、力学性能受强化相与基体界面作用的影响十分明显。例如化学镀Ni-P合金的结构与P含量有关,晶态的低P合金具有较高的耐磨性,而非晶态的高P合金的耐磨性差。这是因为非晶态结构原子间的结合力小。如果将化学沉积Ni-P合金镀层在低于或(和)高于390℃的温度下加热处理到相同的硬度,发现低于390℃处理后的磨损体积明显大于390℃以上处理的磨损体积。低P的Ni-P合金镀层在加热时,晶态固溶体硬度增加,耐磨性也随之变好,至390℃时耐磨性为最好;高P镀层加热时除了固溶体外,还有化合物Ni<sub>3</sub>P析出,成为机械混合物。在390℃以下加热时,硬度虽然降低,但由于Ni<sub>3</sub>P相的尺寸变大,耐磨性却有所提高。实践证明,Ni<sub>3</sub>P相的尺寸较大的组织具有较好的耐磨性。在相同硬度下两相机械混合物组织的耐磨性比单相固溶体好</p>
	<p>单质固体润滑剂中加入另一种(或几种)固体润滑剂,甚至加入非润滑剂物质后,能明显改善其摩擦学性能,这种增强的润滑效果称为协同效应</p> <p>例如当石墨与MoS<sub>2</sub>的质量比为5:1时,其体系的磨损率最低。如果再加入ZnS和CaF<sub>2</sub>,则磨损率更低。LaF<sub>3</sub>与MoS<sub>2</sub>间同样存在协同效应,这是由于LaF<sub>3</sub>具有抑制MoS<sub>2</sub>氧化的作用,可以形成MoS<sub>2</sub>·nLaF<sub>3</sub>结构,夺去了MoS<sub>2</sub>与氧和水键合的机会,但又不破坏MoS<sub>2</sub>的层状结构。二正丁基磷酸铈(BuC)与MoS<sub>2</sub>、石墨间也存在协同效应,BuC可阻止空气与MoS<sub>2</sub>的作用,同时也使石墨与被BuC钝化的金属表面的电化学作用受到了抑制,从而可大大改善润滑膜的摩擦学性能和耐蚀性能。在PTFE中加30%的极性石墨可使其磨损率下降到纯PTFE的1/100~1/80,但摩擦因数增大了;在Pb-石墨体系中加入少量的强氧化剂KMnO<sub>4</sub>,该体系便具有良好的润滑性能;在石墨系润滑剂中加入NaF能使其在高温下具有良好的耐磨性。一些氧化物与氟化物复合具有协同效应,如NiO-CaF<sub>2</sub>和ZrO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub>的等离子喷涂涂层在500~930℃的范围内都具有良好的摩擦学性能</p>
耐久性原则(指使用寿命)	<p>使用寿命随其使用目的不同,有不同的度量方法。除断裂、变形等工件本体失效外,因磨损、疲劳、腐蚀、高温氧化等表面失效而导致的寿命终结也各有其本身的评价和度量方法:①因磨损失效的机器零件,常用相对耐磨性来评价表面技术的使用效果,即对比其耐久性;②因腐蚀失效的零件,常用其在使用环境下的腐蚀速率来比较其耐久性;③因高温氧化失效的零件常用高温氧化速率来度量其耐高温氧化性能。这些度量与评价方法可参考专门资料。在不同环境下经表面强化的零件的使用寿命的有关资料有待进一步丰富和完善</p>
经济性原则	<p>分析技术经济性时要综合考虑表面涂敷或改性处理成本和采用表面技术所产生的经济效益与环境效益,即要按照绿色设计与绿色制造的要求,考虑零部件的可再制造性,在材料和工艺上为其多次修复与表面强化创造条件,当其报废时,要便于回收和进行资源化处理</p>

## 17.2 涂覆层界面结合的类型、原理和特点<sup>[49]</sup>

表 1-7-67

覆层与基材的冶金结合	原理	是将覆层材料(覆材)和基体材料(基材)表面加热至熔化状态,通过液-固相作用后,再冷却结晶形成覆层。电弧堆焊是这类结合的典型代表。堆焊时,堆焊材料与基体材料受电弧加热进行熔池冶炼,电弧移开后,熔池冷却结晶形成堆焊层(覆层或焊缝)					
	特点	<p>焊缝的结晶属于外延结晶。这种由外延结晶形成的覆层的冶金结合,其本质是靠形成的金属键的价键力而结合,具有很高的结合强度。一些拉伸试验表明,覆材与基材的结合强度常会大于覆层的强度</p> <p>等离子堆焊由于采用温度高、热量集中的等离子弧为热源,可控制基材的熔深,降低稀释率</p> <p>激光合金化是用高能激光束辐照,使基材表面和覆层合金熔化,凝固后形成新的合金表层</p> <p>激光熔敷只将基材熔到刚刚足以确保覆层能很好地结合,即激光束使工件上非常薄的表层熔化,该薄液层与液态熔敷合金相混合,并伴随着扩散作用冷凝成合金覆层</p> <p>电火花熔敷是利用电极与工件之间的电火花放电,使电极和工件材料局部产生熔化,并相互作用而形成合金覆层</p> <p>上述工艺在熔敷过程中,基材表面的熔化程度和范围有着较大的差别,但其覆层与基体的结合都属于异种材料的冶金结合,都遵循覆材与基材受热熔化与冷却结晶的规律。因为基材的熔化是局部的,所以合金覆层与基材之间都存在一定的半熔化(过渡)区和热影响区,其大小和结构随材料成分、加热方法和速度等而异。它们的工件表面冷却速度变化范围很大。加大冷却速度,可细化晶粒,改变显微组织,形成特殊结构的硬化层。在足够快的冷却速度下(一般为<math>10^6\text{ }^\circ\text{C/s}</math>以上),将抑制熔化材料的结晶过程,内部原子冻结在接近熔点的液体状态,从而形成类似于玻璃结构的非晶态硬化层。用激光束使金属表层快速熔化并离开,造成与基体间足够大的温度梯度,可形成超细化晶体结构或非晶态金属玻璃</p>					
	属这类的表面技术	手工电弧堆焊、埋弧自动堆焊、二氧化碳保护堆焊、等离子堆焊、激光合金化、激光熔敷、电火花涂覆等					
熔层冶金结合	原理	熔结喷涂时,覆材熔化,基材基本不熔化,两者间产生液-固相之间的相互作用,即充分的相互溶解与扩散,形成覆层。其中的主要过程是界面区扩散					
	特点	<p>氧-乙炔火焰喷熔和真空熔结等熔结技术中,熔融的合金涂料与固态基材表面经历了较为充分的相互溶解与扩散,界面区扩散是其中的主要过程,其结合称为扩散冶金结合。由于也可形成金属键,因而覆层结合牢固。熔结过程一般包括喷涂和熔结两个步骤</p> <p>所用涂料通常为含有硅和硼的自熔性合金,因此,合金的熔点比大多数钢的熔点低<math>370\sim 430\text{ }^\circ\text{C}</math>。在熔结时,熔融涂料与基材表面之间在热作用下,形成一条狭窄的扩散互溶区,产生类似硬钎焊的扩散冶金结合。与其相近,热浸镀也可得到类似软钎焊的带有冶金结合的覆层</p> <p>热喷涂是以高速气流将熔融涂料雾化后,喷到工件表面并迅速冷凝而成的。某些涂料,如Al/Ni、Ni/Al合金,熔滴到达基材表面后,放热反应还可持续数微秒,可得到一定程度的扩散冶金结合,但多数涂层是以机械嵌合为主的。故热喷涂层的结合强度约比堆焊、熔结涂层低一个数量级</p>					
	属这类的表面技术	各种熔结技术和多种热喷涂技术					
采用不同的工艺方法和加热热源可以得到各种不同结合性质的表面覆层。目前常用的热源在正常规范下的温度和能量密度如下表所示。其中激光束等高密度热源可方便地进行上述各种熔敷工艺							
几种热源的 温度和 能量密度	热源种类	氧-乙炔焰	手工电弧焊(埋弧焊)	钨极氩弧	等离子弧	电子束	激光束
	正常规范下的温度/K	3500	6000(6400)	8000	15000~30000		
	最大能量密度/ $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	$2\times 10^3$	$10^4(2\times 10^4)$	$1.5\times 10^4$	$10^5\sim 10^6$	$10^8\sim 10^9$ (聚焦)	$10^7\sim 10^9$ (聚焦)

续表

化学溶液沉积镀层结合	原理	是在化学溶液中利用电极反应或化学物质的相互作用,在制件表面沉积成镀层的
	特点	电镀、电刷镀、特种电镀如复合电镀、珩磨镀、非金属上电镀是当电流通过电解液时,在阴极基材上沉积金属的过程;阳极氧化是当电流通过电解液时,在阳极基材上形成氧化膜的过程,如铝及铝合金的氧化;化学镀是含有镀膜金属离子的溶液在还原剂的作用下,在具有催化作用的基材表面上沉积成膜的过程;化学转化膜处理是基材表面原子与溶液中阴离子反应,在基材表面形成化合物膜的过程,如氧化物膜、磷酸盐膜、铬酸盐膜等。化学镀和转化膜处理都是在无外电流通过的情况下进行的。与熔池(熔滴)凝固过程相似,电镀等溶液沉积过程,也遵循形核和晶体长大规律,形成具有晶体结构的沉积膜。所不同的是,前者以过冷度为形核生长的动力学条件,后者以阴极极化等为动力学条件。化学溶液沉积在某些条件下亦可形成非晶态沉积膜。一定沉积条件下的镀层不仅可以和基材金属形成金属键连接,而且可以顺着基材金属的晶粒生长,形成外延结晶。因而理想的沉积镀层具有较高的结合强度
	属这类的表面技术	电镀、电刷镀、特种电镀、化学镀、阳极氧化、化学转化膜处理等
气相沉积膜层结合	原理	是在真空条件下镀制薄膜的技术。其中真空蒸镀是将膜材加热蒸发成气体后,在基材表面沉积成膜;溅射镀是利用荷能粒子轰击靶材表面,使溅射出来的粒子在附近的基材上沉积成膜;离子镀是在气体离子或蒸发物离子的轰击作用下进行蒸发镀膜的 CVD是一种化学气相生长法。它把含有构成元素的一种或几种化合物、单质元素供给基材,借助气体作用或在基材表面上的化学反应生成要求的薄膜
	特点	真空蒸镀沉积粒子的能量仅为0.1eV左右,其沉积的薄膜附着能力和密度一般。溅射镀和离子镀是借助电磁场的作用,在气体放电形成的等离子体环境中激活沉积粒子,使其以几电子伏至几百电子伏的能量轰击基体,这样形成的薄膜,其结合性能等得到了明显提高。PVD技术的处理温度较低,基体一般无受热变形或材料变质问题 CVD的反应有热分解、还原、置换等类型,其反应温度多在1000℃左右。许多基材由于难以经受其高温,使其应用大受限制。因为存在着反应气体、反应产物和基材的相互扩散,CVD镀膜可以获得好的附着强度。等离子体增强化学气相沉积(PECVD)近年来发展很快,它借助于气体辉光放电产生的低温等离子体增强反应物质的活性,促进气体间的化学反应,从而在较低温度下也能沉积出具有好的结合性能的均匀而致密的薄膜 气相沉积成膜过程与熔池凝固过程相似,也遵循形核与晶体长大的结晶规律,沉积成具有晶体结构的薄膜。改变工艺方法和生成条件,可制备出各种单晶、多晶和非晶态固体膜
	属这类的表面技术	物理气相沉积(PVD,包括真空蒸镀、溅射镀和离子镀三种基本方法)、化学气相沉积(CVD)等
高分子涂层结合	原理	利用胶黏剂对被粘物进行连接的技术称为粘接(胶接)技术。表面粘涂技术是粘接技术的一个新的分支。它是将特殊功能胶黏剂(在胶黏剂中加入特殊的填料)直接涂敷于零件表面上,使其具有所需功能的一种表面强化技术 粘接(粘涂)层是通过高分子材料的固化反应而形成的。粘接过程是一个复杂的物理化学过程。目前,有关胶黏剂与被粘物界面产生结合力的理论,有机械结合、吸附、化学键、扩散等理论 涂装层(涂膜)是有机高分子涂料涂敷于基材表面后,干燥而成的膜层 从涂料与胶黏剂的组成来看,粘接层和涂装层与基体的连接是具有共同本质的
	特点	胶黏剂大多由黏料、固化剂等多组分组成。合成高分子化合物是量最多、性能最好的黏料。固化剂用于使胶黏剂固化,并可改变黏料的自身结构 涂料由成膜物质(基料)、分散介质(溶剂和水)、填料(功能填料和着色填料)和助剂等组成 环氧树脂、酚醛树脂、有机硅等树脂作为主要成膜物质(黏料或基料)已在两种涂层(粘涂和涂装)中得到广泛应用。在主要成膜物质中加入不同功能填料形成的耐磨、耐蚀及其他功能性涂层已使粘涂层和涂装层难以区分 胶黏涂层与基体的结合强度与热喷涂层的结合强度大致相近,其抗拉强度一般为30~80MPa
	属这类的表面技术	普遍采用的涂装(涂料)层、胶黏涂层、黏结固体润滑层(干膜)及一些特殊功能高分子涂层等。这类涂层包含的范围很广



## 17.4 镀层厚度系列及应用范围<sup>[49]</sup>

镀层的种类及厚度随其使用条件和应用场合不同有很大差别。其使用条件分类见表 1-7-68, 常用材料镀层厚度系列及应用范围见表 1-7-69、表 1-7-70。

表 1-7-68 镀层使用条件分类

分类	代号	使用特征	举 例
良好	L	相对湿度小于或等于 70%, 不暴露在大气中, 无工业气体、燃料废气、介质蒸气及其他腐蚀性介质	密封仪表(气密的仪器)的内部、与液压油直接接触的部位、卫星内部
一般	Y	相对湿度小于或等于 95%, 不受阳光、雨雪、沿海海雾、工业气体、燃料废气及其他腐蚀性介质直接影响, 或者温度、湿度变化较大的环境的影响	飞机舱内、导弹非密封仪器舱内、舰船驾驶舱内、无空气调节装置的室内及车厢内部
恶劣	E	相对湿度大于 95%, 受风、砂、雨、雪、海水等直接侵害, 有少量工业气体、燃料废气、介质蒸气和海雾的一般大气条件	飞机外部、导弹外罩、火炮、雷达天线等部位
海上	H	直接与海水接触或经常处于饱和海雾中	舰船舷侧及甲板、水上飞机外部
特殊	T	除要求防护和装饰性外, 还要求具有某些特殊性能	要求耐磨、减摩、导电、隔热、绝缘、防高温黏结、防氧化、黏结橡胶等

表 1-7-69 电镀、化学镀不同金属镀层厚度系列和应用范围

镀层种类	零件材料	使用条件	厚度/ $\mu\text{m}$	应用范围
锌镀层	钢、铜及铜合金	L	3~5	① 螺距( $P$ ) $\leq 0.8\text{mm}$ 的螺纹零件
		Y	5~8	② 有 IT6、IT7 精度等级的零件
		L	5~8	① $P > 0.8\text{mm}$ 的螺纹零件
		Y	8~12	② 有 IT6、IT7 精度等级的零件
		L	8~12	① 主要用于外观和物理性能无特殊要求的耐大气腐蚀的零件
		Y	12~18	② 与铝、铝合金、镁合金或橡胶接触的零件
	E	18~25	③ 煤油、汽油或双氧水中的零件(锌层应无孔)	
		铝及铝合金	T	8~12 12~18 18~25
镉镀层	钢、铜及铜合金	L	3~5	① $P \leq 0.8\text{mm}$ 的螺纹零件
		Y	5~8	② 有 IT6、IT7 精度等级的零件
				③ 小于 0.5mm 厚的薄片, 或直径 $D < 1\text{mm}$ 的弹簧丝零件
		L	5~8	① $P > 0.8\text{mm}$ 的螺纹零件
		Y	8~12	② 有 IT6、IT7 精度等级的零件
		L	8~12	① 海水、海雾直接作用的零件
Y	12~18	② 在压缩空气、氧、过氧化氢、酒精、高锰酸钾盐及高于 60℃ 的水中工作的零件		
镍镀层	钢、不锈钢	L	3~5	① 螺距 $P \leq 0.8\text{mm}$ 的螺纹零件
		Y	5~8	② 改善不锈钢钎焊性能和温控性能
		L	5~8	$P \geq 0.8\text{mm}$ 的螺纹零件
		Y	8~12	
		T	18~25	防止零件在 300~600℃ 下氧化
		L	Cu 8~12 Ni 8~12 16~24	① 要求防护和装饰的电器、仪表零件
Y	Cu 12~18 Ni 8~12 20~30	② 承受轻度摩擦的零件		

镀层种类	零件材料	使用条件	厚度/ $\mu\text{m}$	应用范围
黑镍镀层 镉镀层	钢、铜及铜合金	L E H	Zn 3~5 Zn 5~8 黑镍不规定 18~25 25~30	① 要求黑色外观的零件 ② 电器、仪表等零件的消除反光和防护、装饰 ③ 弹簧和有渗碳面的零件,直径 $D \geq 10\text{mm}$ 的 30CrMnSiA 钢螺栓 ④ 与铝及铝合金、镁合金接触的零件 ⑤ 抗拉强度超过 1240MPa 低氢脆镀镉
铜镀层	钢	T	3~5 5~8	① 防止精密零件冷作硬化 ② 防止钢和耐热钢制螺纹 ( $P \leq 0.8\text{mm}$ ) 在较高温度下工作时相互黏结 ③ 挤压成形或绕制弹簧时的润滑
			5~8 8~12	防止钢和耐热钢制螺纹 ( $P \leq 0.8\text{mm}$ ) 在较高温度下工作时相互黏结
			12~18	① 提高黑色金属导电性,用于需浸锡或钎焊的零件 ② 要求黑色外观零件(需氧化) ③ 防止松动零件在较高温度时黏结和冷作硬化
			20~30	① 要求减摩的零件 ② 防止恶劣条件下工作的零件在高温时黏结
			25~40	用于渗碳保护
	不锈钢		12~18	冷墩时的润滑
	铝及铝合金		18~25	① 便于铝合金的钎焊 ② 作为铝及铝合金镀锡前的底层,便于钎焊
钛及钛合金	T	5~8	① 减摩 ② 便于钎焊	
镍镀层	钢、不锈钢	Y	Cu 12~18 Ni 12~18 24~36	① 减摩 ② 便于钎焊
		E、T	Cu 25~30 Ni 18~25 43~55	
	铜及铜合金	L	3~5 5~8	① 要求防护或装饰的零件 ② 作为氧气系统的防护层
		Y	8~12	
		E	12~18	
铝及铝合金	T	18~25	防燃气腐蚀	
钛及钛合金		5~8	改善导电性和钎焊性	
黑镍镀层	钢、铜及铜合金	Y	Zn 8~12 黑镍不规定	① 要求黑色外观的零件 ② 电器、仪表等零件的消除反光和防护、装饰



续表

镀层种类	零件材料	使用条件	厚度/ $\mu\text{m}$	应用范围
硬铬及装饰铬镀层	钢	T	1~3 3~5	① 精密仪表零件 ② 在润滑条件下承受轻微摩擦的零件
			5~10 10~20	① 有 IT6、IT7 精度等级的模具零件 ② 定期润滑条件下受摩擦不大的零件 ③ 润滑条件下要求耐磨的零件 ④ 无润滑条件下受轻微摩擦的零件
			20~40	① 定期润滑条件下受摩擦较大的零件 ② 无润滑条件下受摩擦不大的零件
			40~60 60~80	无润滑条件下受摩擦较大的零件
			15~50 150~200	一些特殊用途,如枪管等
			<200	修复零件尺寸
			铜及铜合金	T
	5~10	润滑条件下受摩擦较大的零件		
	10~20	无润滑条件下受摩擦较大的零件		
	铝及铝合金	T	20~40 40~80	承受滑动摩擦零件
			10~20	无润滑条件下受摩擦较大的零件
	钛及钛合金	T	10~20	无润滑条件下受摩擦较大的零件
			Y	Cu 20~25 Ni 10~15 Cr 0.5
	钢	E	Cu 30~35 Ni 15~20 Cr 0.5~2	
乳白铬镀层		Y、E	10~20 20~40 40~60	① 负荷不大的零件的耐磨与防护 ② 300~600℃下零件的防护 ③ 作为防护、耐磨硬铬镀层的底层
	松孔铬镀层		T	80~160
				100~250
黑铬镀层	钢、铜及铜合金	Y、E、T	底层厚度同硬铬 黑铬厚度不规定	① 要求黑色外观的零件 ② 消光零件 ③ 作标志用
黄铜镀层	钢	T	3~5	黏结橡胶的零件
		L	5~8	需要特殊装饰与防护的零件
		Y	8~12	防零件在 300~500℃下工作时氧化;需要特殊装饰与防护的零件
铅锡合金镀层	铜及铜合金	T	3~5	受力较小零件的减摩
			5~8	减摩、改善磨合、改善钎焊性能
			15~30	要求减摩和抗化学腐蚀零件
铅钢扩散镀层	铜及铜合金	L、T	Pb 3~5 钢不规定	改善和提高钎焊性能 常在润滑油、脂作用下的轴瓦和衬套之类零件的耐磨与防护,并增加磨合性



镀层种类	零件材料	使用条件	厚度/ $\mu\text{m}$	应用范围
锡铋合金镀层	钢	L	3~5	要求钎焊性能好的零件 氧气系统的零件
		Y	5~8 8~12 12~18	
		T	5~10	防止渗氮
	铜及铜合金		3~5 5~8 8~12 12~18	要求改善钎焊性能的零件 防止导电零件表面氧化 氧气系统的零件
锌镍合金镀层	钢、铜及铜合金	L、T	3~5 5~8 8~12	耐大气和海洋气候腐蚀的零件 与铝及铝合金、镁合金接触的零件
锡钎合金镀层	高强度钢	Y	8~12	高强度钢(30CrMnSiNi2A、40CrMnSiMoVA等)制零件;弹性零件
		E、T	18~25	
镍镉扩散镀层	钢、不锈钢	Y	Ni 5~8 Cd 3~5	250~500℃下钢零件的防护 要求一定耐磨性零件的防护
		E	Ni 8~12 Cd 3~5	
锡镀层	钢	L T	Cu 4~7, Sn 7~12, 总 11~19	要求钎焊性好的零件;需热熔的零件
			Cu 7~12, Sn 7~12, 总 14~24	与含硫非金属橡胶垫片等,如接触的零件
			Cu 7~12, Sn 12~18, 总 19~30	100℃下的导电零件;氧气系统的零件
	铜及铜合金	T	5~10	防止渗氮
		T	4~7 7~12 12~18	改善钎焊性零件;氧气系统的零件 防导电零件表面氧化 防导线在橡胶硫的作用下对铜的腐蚀
铅镀层	钢、不锈钢、铜及铜合金	T	8~12	较低温度下改善零件磨合和封严作用,以防润滑油氧化产物的腐蚀
			18~25	硫化物中工作的零件 减摩和防润滑油氧化产物腐蚀的零件
银镀层	钢	L	3~5	螺距 $P \leq 0.8\text{mm}$ 的螺纹零件;防高温黏结
		L	5~8	$P > 0.8\text{mm}$ 的螺纹零件;防高温黏结
		T	8~12	
		T	100~250	一般摩擦下的减摩
			250~500	受力较大摩擦下的减摩
		L、T	Cu 3~5, Ag 5~8, 总 8~13	需要高温钎焊、高频焊接或导电的零件
		Y、T	Cu 5~8, Ag 8~12, 总 13~20	
E、T	Cu 8~12, Ag 12~18, 总 20~30			

续表

镀层种类	零件材料	使用条件	厚度/ $\mu\text{m}$	应用范围
银镀层	铜及铜合金	L、T	5~8	① 提高导电性,稳定接触电阻和要求高度反射率零件 ② 要求插拔、耐磨零件
		Y、T	8~12	
		E、T	12~18	导电且受较大摩擦零件;高频导电零件
	铝及铝合金	Y、T	12~18	高频导电零件
		E、T	18~25	
金及硬金镀层	铜及铜合金	T	1~3	电器上减少接触电阻的零件
			3~5	波导管和多导线接线柱的接点
			5~8	耐磨导电零件,如电器回路条等
			8~12	耐蚀和耐磨的导电零件
钯镀层			Ag 8~12, Pd 1~2	防银变色;提高无线电元件和波导管耐磨性
			Ag 8~12, Pd 2~3	提高电接触元件接触可靠性;防氧化和烧伤
铑镀层			硬金 2~3, Rh 1~2	
			硬金 3~5 Rh 2~3	
			Ag 8~12, Rh 2~3	防液体电门在氯化锂介质中腐蚀
化学镀镍层			钢、不锈钢、铜及铜合金	L、T
	Y、T	8~12		
	E、T	12~18		零件的防护与耐磨;300~600℃下零件的耐氧化
化学镀锡层	铜及铜合金	L、Y	1~3	形状复杂和要求镀层均匀而又不宜电镀的弹性零件

表 1-7-70

常用转化膜层的厚度系列和应用范围

膜层种类	零件材料	使用条件	厚度/ $\mu\text{m}$	应用范围
磷化膜层	钢	L、Y、T	不规定	① 作涂装和乳化处理的底层 ② 冷镦时的润滑 ③ 要求绝缘和在润滑油下工作的零件 ④ 高强度钢(30CrMnSiNi2A、40CrMnSiMoVA等)零件的防护 ⑤ 不允许电镀部位的防护 ⑥ 导管内腔和形状复杂零件的防护
钝化膜层	铜及铜合金	L、Y、E		① 本色钝化用于需进行钎焊零件的防护 ② 彩色钝化用于涂装底层或不要求电镀零件的防护
	不锈钢	T		成品件:导管及容器
化学氧化膜层	钢	L、Y、T		① 在200℃下润滑油中工作的尺寸精度高的零件 ② 要求黑色外观而又不能用其他镀覆层的零件 ③ 点火系统零件的抗氧化防护
	铜及铜合金			① 要求黑色外观的零件 ② 仪表内部零件 ③ 要求散热的零件

膜层种类	零件材料	使用条件	厚度/ $\mu\text{m}$	应用范围
化学氧化膜层	铝及铝合金	L、Y、E	不规定	① 形状复杂零件的防护 ② 铆钉、垫片零件的防护 ③ 涂漆(电冰箱等)的底层 ④ 库存材料的防护 ⑤ 点焊或胶接点焊组件的防护
	镁合金			① 有机涂层的底层 ② 工序间防锈
镁合金	钛及钛合金	Y、E	10~20 20~40 40~60	① 要求耐磨性较高、形状比较简单的零件 ② 涂漆的底层
钛及钛合金		E、T	不规定	① 转动配合中耐磨、耐擦伤,尤其与碳化钨制品转动配合的零件 ② 用于胶接或涂装的底层 ③ 提高与铝合金、不锈钢等多种金属材料接触的耐蚀能力 ④ 要求绝缘的零件
硫酸	铝及铝合金	L、Y、E、T	不规定	① 一般性防护,在海上和恶劣条件下还需涂漆保护 ② 气孔率不超过3级的铸件及形状简单对接气焊件 ③ 作涂装底层 ④ 作识别标记或特殊颜色的零件 ⑤ 要求具有装饰或外观光亮并有一定耐磨性的零件
铬酸				① 疲劳性能要求较高的零件 ② 气孔率超过3级的零件 ③ 搭接、铆接、焊接,有孔、槽、缝或形状复杂的零件 ④ 精度高、表面粗糙度低的零件防护 ⑤ 要求检查材料晶粒度或锻、铸加工表面质量的零件
绝缘				① 要求有较高绝缘性能的仪表零件 ② 要求有较高硬度和良好耐磨性的仪器仪表零件
硬质		20~40	① 受力较小的耐磨零件 ② 耐气流冲刷的零件 ③ 要求绝缘(需补充浸电绝缘清漆)的零件	
		40~60	要求具有高硬度和良好耐磨性的零件	
		60~80	需隔热的零件	
磁质		T	不规定	① 精密仪器仪表零件的防护与装饰 ② 需保持原表面尺寸精度和表面粗糙度,又要求有表面硬度和电绝缘性的零件
硼硫酸		1~3	① 对疲劳性能要求较高的零件 ② 气孔率超过3级的零件 ③ 搭接、铆接、焊接,有孔、槽、缝或形状复杂的零件 ④ 精度高、表面粗糙度低的零件	
磷酸		不规定	① 需要胶接的铝合金零件的防护 ② 铝合金电镀的底层	

17.5 不同金属及合金基体材料的镀覆层的选择<sup>[49]</sup>

表 1-7-71

目 的		镀 覆 层			
		铁基合金基材	铝及铝合金基材	铜及铜合金基材	钛及钛合金基材
耐 蚀	常温大气中	镀锌、镉、双层镀锌、 镀乳白铬	硫酸阳极氧化并 封闭	镀锌、铬、镉	
	500℃以下的热大气中	镀镍、黄铜、乳白铬、 镍镉扩散镀层			
	油中	氧化(发蓝)		钝化	
	60℃以上水中	镀镉			
	海水和海雾中	镀镉、锌镍合金			
	低氢脆、阻滞吸氢脆裂	镀镉钛、松孔镀镉			阳极氧化
	减、防接触腐蚀			镀镉、锌	阳极氧化
	防缝隙腐蚀				镀钌、铜、银
防热盐应力腐蚀				化学镀镍	
防气体污染				阳极氧化	
防着火				镀铜、镍、钝化	
氧系统防护	镀锡、锡铋合金		镀锡、锡铋合金		
防护装饰	复合镀铜镍铬、青铜 铬、镍铬、铜镍、镍封铬				
装饰		瓷质阳极氧化、缎面 或纱面阳极氧化	镀镍、镍铬		
染色		硫酸阳极氧化后 着色			
涂料的底层	磷化	化学氧化、铬酸或硫 酸阳极氧化			
耐磨	镀硬铬、松孔铬、化 学镀镍	硬质阳极氧化、镀硬 铬或化学镀镍	化学镀镍、镀硬铬	镀硬铬	
减少摩擦	镀硬铬、铅锡合金、 铅铜合金、银		镀铅、铅锡合金、铅 铜合金		
插拔耐磨			镀银后镀硬金、镀银 后镀钌、镀铱		
保持较高抗疲劳性能		铬酸阳极氧化、化学 氧化或硫酸、硼酸复合 阳极氧化			
防黏结、防烧伤	镀银、铜、磷化		镀锡后镀金		
绝缘	磷化	草酸或硬质阳极氧化			
导电	镀铜、银、金	镀铜、锡或化学氧化	镀银、金		
电磁屏蔽		化学镀镍			
反射热	镀金				
消光		黑色阳极氧化或喷 砂后阳极氧化	黑色氧化、镀黑镍、 黑铬		
胶接		磷酸、铬酸或薄层硫 酸阳极氧化			
便于黏结橡胶	镀黄铜				
便于钎焊	镀铜、锡、镍、银、铅 锡合金	化学镀镍或铜	镀锡、银、铅锡合金、 锡铋合金、化学镀锡		
防渗碳、防渗氮	镀锡、镍				
识别标志	镀黑铬、黑镍、黑色 磷化、氧化	硫酸阳极氧化后 着色			

## 17.6 表面处理的表示方法

### 金属镀覆和化学处理

GB/T 13911—1992 规定了金属镀覆和化学处理的表示方法,适用于金属和非金属制件上进行电镀、化学镀、化学处理和电化学处理的表示。对金属镀覆和化学处理有该标准未予规定的要求时,允许在有关的技术文件中加以说明。

#### (1) 表示方法

金属镀覆:

基体材料 / 镀覆方法    镀覆层名称    镀覆层厚度    镀覆层特征    后处理

化学处理和电化学处理:

基体材料 / 处理方法    处理名称    处理特征    后处理 (颜色)

① 基体材料在图样或有关的技术文件中有明确规定时,允许省略。

② 由多种镀覆方法形成镀层时,当某一镀覆层的镀覆方法不同于最左侧标注的“镀覆方法”时,应在该镀覆层名称的前面标出其镀覆方法符号及间隔符号“·”。

镀覆层特征、镀覆层厚度或后处理无具体要求时或对化学处理或电化学处理的处理特征、后处理或颜色无具体要求时,允许省略。见例1~例7。

③ 合金镀覆层的名称以组成该合金的各化学元素符号和含量表示。合金元素之间用连字符“-”相连接。合金含量为质量分数的上限值,用阿拉伯数字表示,写在相应的化学元素符号之后,并加上圆括号。含量多的元素成分排在前面。二元合金标出一种元素成分的含量,三元合金标出两种元素成分的含量,依此类推。合金成分含量无需表示或不便表示时,允许不标注。见例8、例9。

如果需要表示某种金属镀覆层的金属纯度时,可在该金属的元素符号后用括号列出质量分数,精确至小数点后一位,见例10。

进行多层镀覆时,按镀覆先后,自左至右顺序标出每层的名称、厚度和特征,每层的标记之间应空出一个字母的宽度。也可只标出最后镀覆层的名称与总厚度,并在镀覆层名称外加圆括号,以与单层镀覆层相区别,但必须在有关技术文件中加以规定或说明。见例1、例3、例4及例11。

④ 镀覆层厚度用阿拉伯数字表示,单位为 $\mu\text{m}$ 。厚度数字标在镀覆层名称之后,该数值为镀覆层厚度范围的下限。必要时,可以标注镀层厚度范围。见例12。

⑤ 轻金属及其合金电化学阳极氧化后进行套色时,按套色顺序列出颜色代码,并在其中间插入加号“+”表示。

轻金属及其合金电化学阳极氧化后着色的色泽以及电化学阳极氧化后套色的要求应以加工样品为依据。

颜色字母代码用括号标在后处理“着色”符号之后。见例5、例13。

标注示例:

例1 Fe/Ep · Cu10 Ni15b Cr0.3mc

(钢材,电镀铜 $10\mu\text{m}$ 以上,光亮镍 $15\mu\text{m}$ 以上,微裂纹铬 $0.3\mu\text{m}$ 以上)

例2 Fe/Ep · Zn7 · c2C

(钢材,电镀锌 $7\mu\text{m}$ 以上,彩虹铬酸盐处理2级C型)

例3 Fe/Ep · Cu20Ap · Ni10 Cr0.3cf

(钢材,电镀铜 $20\mu\text{m}$ 以上,化学镀镍 $10\mu\text{m}$ 以上,电镀无裂纹铬 $0.3\mu\text{m}$ 以上)

例4 PL/Ep · Cu10b Ni15b Cr0.3

(塑料,电镀光亮铜 $10\mu\text{m}$ 以上,光亮镍 $15\mu\text{m}$ 以上,普通铬 $0.3\mu\text{m}$ 以上。普通铬符号r省略)

例5 Al/Et · A · Cl (BK)

(铝材,电化学处理,阳极氧化,着黑色,对阳极氧化方法无特定要求)

例6 Cu/Ct · P

(铜材,化学处理,钝化)

例7 Al/Et · Ec

(铝材, 电化学处理, 电解着色)

例 8 Cu/Ep · Sn (60)-Pb15 · Fm

(铜材, 电镀含锡 60% 的锡铅合金 15 $\mu$ m 以上, 热熔)

例 9 Cu/Ep · Au-Cu1 ~ 3

(铜材, 电镀金铜合金 1 ~ 3 $\mu$ m)

例 10 Ti/Ep · Au (99.9) 3

(钛材, 电镀纯度达 99.9% 的金 3 $\mu$ m 以上)

例 11 Fe/Ep · (Cr) 25b

(钢材, 表面电镀铬, 组合镀覆层特征为光亮, 总厚度 25 $\mu$ m 以上, 中间镀覆层按有关规定执行)

例 12 Cu/Ep · Ni5 Au1 ~ 3

(铜材, 电镀镍 5 $\mu$ m 以上, 金 1 ~ 3 $\mu$ m)

例 13 Al/Et · A (s) · Cl (BK + RD + GD)

(铝材, 电化学处理, 硫酸阳极氧化, 套色颜色顺序为黑、红、金黄)

例 14 Fe/SD

(钢材, 有机溶剂除油)

(2) 表示符号

表 1-7-72

常用基体材料		镀覆、处理方法				镀覆层特征、处理特征							
名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号				
铁、钢	Fe	电镀	Ep	磷化 磷酸 盐处 理	磷酸锰 盐处理	MnZnPh	光亮	b	松孔	p			
铜及铜合金	Cu	化学镀	Ap		磷酸锌 盐处理		ZnCaPh	半光亮	s	花纹	pt		
铝及铝合金	Al	电化学处理	Et	阳 极 氧 化	硫酸阳 极氧化	A(S)	暗	m	黑色	bk			
锌及锌合金	Zn	化学处理	Ct		草酸阳 极氧化	A(O)	缎面	st	乳色	O			
镁及镁合金	Mg	钝化	P		铬酸阳 极氧化	A(Cr)	双层	d	密封 <sup>②</sup>	se			
钛及钛合金	Ti	氧化	O		磷酸阳 极氧化	A(P)	三层	d	复合	cp			
塑料	PL	电解着色	Ec		磷酸阳 极氧化	A(P)	普通 <sup>①</sup>	r	硬质	hd			
硅酸盐材料 (陶瓷、玻璃等)	CE	磷化磷 酸盐 处理	MnPh		草酸阳 极氧化	A(O)	微孔	mp	瓷质	pc			
其他非金属	NM	磷酸锰 盐处理	MnPh	草酸阳 极氧化	A(O)	微裂纹	mc	导电	cd				
		磷酸锌 盐处理	ZnPh			无裂纹	cf	绝缘	i				
(1)后处理;(2)电镀锌和电镀锌后铬酸盐处理				颜色				独立加工工序					
(1)名称	符号	(1)名称	符号	分级	类型	颜色	符号	颜色	符号	名称	符号	名称	符号
钝化	P	封闭	S			黑	BK	灰、蓝灰	GY	有机溶剂除油	SD	机械抛光	MP
磷化(磷酸盐处理)	Ph	防变色	At			棕	BN	白	WH	化学除油	CD	喷砂	SB
氧化	O	铬酸盐封闭	Cs			红	RD	粉红	PK	电解除油	ED	喷丸	SHB
乳化	E	(2)名称	符号	分级	类型	橙	OG	金黄	GD	化学酸洗	CP	滚光	BB
着色	Cl	光亮铬酸盐处理	c	1	A	黄	YE	青绿	TQ	电解酸洗	EP	刷光	BR
热熔	Fm	漂白铬酸盐处理			B	绿	GN	银白	SR	化学碱洗	AC	磨光	CR
扩散	Di	彩虹铬酸盐处理			C	蓝、浅蓝	BU			电化学抛光	ECP	振动擦光	VI
涂装	Pt	深色铬酸盐处理			D	紫、紫红	VT			化学抛光	CHP		

① 无特别指定的要求, 可省略不标注, 如常规镀铬。

② 指弥散镀方式获得的镀覆层, 如镍密封。

注: 对磷化及阳极氧化无特定要求时, 允许只标注 Ph (磷酸盐处理符号) 或 A (阳极氧化符号)。

## 表面涂料涂覆 (摘自 GB/T 4054—1983)

适用于金属、非金属制品表面涂料涂覆的标记。

## (1) 表示方法

涂覆符号 · 涂料颜色 (或代号)、型号 (或名称) · 外观等级 · 使用环境条件

- ① 涂覆符号用“涂”字汉语拼音第一个字母“T”表示。
- ② 涂料颜色 (或代号)、型号 (或名称), 一般是指面涂层涂料。
- ③ 涂料颜色按 GB/T 3181—1995《漆膜颜色标准样本》的规定。
- ④ 涂料型号按 GB/T 2705—1992《涂料产品分类、命名和型号》的规定。
- ⑤ 外观等级分为四级, 用罗马数字 I、II、III、IV 分别表示。使用环境条件分为一般、恶劣、海洋、特殊等四种, 用汉语拼音字母“Y”、“E”、“H”、“T”分别表示。见表 1-7-73。
- ⑥ 如果被涂制品内、外面涂层的涂覆要求不同时, 则不同部分用横线“—”区分, 线上为外表面涂层的涂覆要求, 线下为内表面涂层的涂覆要求。见例 2、例 3。
- ⑦ 施涂前处理若必须表示时, 以斜线“/”将前处理表示方法与涂料涂覆标记隔开。斜线左面为前处理表示方法, 右面为涂料涂覆标记。前处理表示方法按 GB 1238《金属镀层及化学处理表示方法》的规定。见例 4、例 5。
- ⑧ 复合涂层的层次一般不应在涂覆标记中反映。必要时, 允许将需要表示的层次按施涂顺序表示。层次间用斜线“/”隔开。
- ⑨ 若对涂料涂覆有特殊要求, 用上述方法不能清楚地表达时, 允许用文字说明。

标注示例:

## 例 1 T · 深绿 A04-9 · III · Y

[使用于一般环境条件下的制品, 表面涂深绿色 (G05) A04-9 氨基烘干瓷漆, 并按 III 级外观等级加工]

例 2 T ·  $\frac{\text{淡灰 G04-9} \cdot \text{II} \cdot \text{Y}}{\text{铁红 C54-31} \cdot \text{IV} \cdot \text{T}}$ 

[外表面涂层处于一般环境条件, 内表面涂层处于需要耐油的特殊环境使用的制品, 外表面涂淡灰色 (B03) G04-9 过氯乙烯瓷漆, 并按 II 级外观等级加工; 内表面涂铁红色 (R01) C54-31 醇酸耐油漆, 并按 IV 级外观等级加工]

例 3 T · (Y06) C04-42 ·  $\frac{\text{II}}{\text{IV}}$  · Y

[使用于一般环境条件下的制品, 表面涂淡黄色 (Y06) C04-42 醇酸瓷漆, 外表面按 II 级外观等级加工, 内表面按 IV 级外观等级加工]

## 例 4 PS/T · (PB10) G52-31 · III · H

[使用于海洋环境的制品, 内、外表面均涂天蓝色 (PB10) G52-31 过氯乙烯防腐漆, 并按 III 级外观等级加工。前处理采用喷砂, 并必须表示]

## 例 5 D · Y · GF/T · 白 B04-9/B01-3 · II · E

[使用于恶劣环境下的制品, 内、外表面均涂奶油色 (Y03) B04-9 丙烯酸瓷漆, 用 B01-3 丙烯酸清漆罩光, 并按 II 级外观等级加工。前处理采用电化学氧化后铬酸盐封闭, 并必须表示]

## (2) 表示代号

表 1-7-73

项目	等级	代号	特 征
外观等级	一级	I	涂膜表面丰满、光亮(无光、半光涂料除外)、平整、光滑, 色泽一致, 美观, 几何形状修饰精细。基本无机械杂质, 无修整痕迹及其他缺陷。美术涂覆还应纹理清晰、分布均匀、特征突出, 具有强烈的艺术效果 用于高级精饰要求的制品涂覆
	二级	II	涂膜基本平整、光滑, 色泽基本一致, 几何形状修饰较好, 机械杂质较少, 无显著的修整痕迹及其他缺陷, 无影响防护性能的疵病。美术涂覆还应纹理清晰, 分布比较均匀, 具有艺术特点 用于装饰性要求较高的制品涂覆

续表

项目	等级	代号	特 征
外观等级	三级	Ⅲ	涂膜完整,色泽无显著的差异。表面允许有少量细小的机械杂质、修整痕迹及其他缺陷。无影响防护性能的疵病。美术涂覆还应具有美术特点 用于装饰性要求一般的制品涂覆
	四级	Ⅳ	涂膜完整。允许有不影响防护性能的缺陷 用于无装饰性要求的制品涂覆
项目	条件	代号	特 征
使用环境条件	一般	Y	温度在 $-40 \sim 55^{\circ}\text{C}$ 之间 当温度高于 $30^{\circ}\text{C}$ 时,相对湿度不超过 90%;当相对湿度超过 90% 时,温度应低于 $30^{\circ}\text{C}$ 不受雨、雪、海水等的直接影响,没有或仅有少量工业气体、海雾及日照影响的工作环境。如在机房或实验室(化学实验室除外)内的工作环境;在室外条件下不受雨、雪、海雾、日照等的直接影响的工作环境等
	恶劣	E	温度在 $55 \sim 85^{\circ}\text{C}$ 之间,或 $-40 \sim -55^{\circ}\text{C}$ 之间,或 $-40 \sim 55^{\circ}\text{C}$ 之间温差剧变的条件 相对湿度可达 90% 以上,同时温度高于 $30^{\circ}\text{C}$ 受雨、雪、风沙、日照等直接影响的工作环境。如在室外暴露条件下的工作环境等
	海洋	H	受海水的直接影响或处于海洋气候条件下的工作环境。如在海水中或舰船甲板上的工作环境等
	特殊	T	直接受水(特别是高温水)的连续或周期性影响 有酸、碱溶液或酸性、碱性气体的直接影响 有 $85 \sim 155^{\circ}\text{C}$ 高温的连续影响或 $155^{\circ}\text{C}$ 以上高温的直接影响,或者 $-55^{\circ}\text{C}$ 以下低温的直接影响 有电弧和放电的短期影响 有射线辐射影响等的特殊工作环境 如耐水涂覆;耐酸、耐碱涂覆;耐油和汽油涂覆;耐高温、耐低温涂覆;绝缘涂覆;防辐射涂覆;其他特殊作用的涂覆等

## 18 有色金属表面处理

### 铝及铝合金的氧化与着色

表 1-7-74

铝及铝合金阳极氧化的分类、特点和应用

类 别	特 点	应 用
保护、装饰性阳极化	硫酸阳极化 氧化膜较厚( $10 \sim 35\mu\text{m}$ );有较高的硬度和耐磨性;经封闭后有良好的防护性能,就防护上的应用来说,适用于所有类型的铝合金;对装饰上的应用,如选用纯铝或均相的铝合金,可得到无色透明的膜层,能接受各种着色处理。是应用最广、成本较低的一种工艺方法	可作所有铝合金的防护膜,以及适于要求表面着色装饰的制件。但不适于铆接、搭接件的处理(因接缝处残留的微量硫酸会产生腐蚀)
	铬酸阳极化 氧化膜较薄( $2 \sim 10\mu\text{m}$ ),呈浅灰色,也能接受染色,耐腐蚀性好,不影响疲劳强度,有足够的电绝缘性,可防止接触其他金属的电偶腐蚀。因此,对承受应力和在结构上不易清洗残留电解液的零件或组合件特别适宜。膜一般不封闭(但封闭有利于提高耐腐蚀性)	广泛用于飞机、舰船零件及其他机械零件的防护,特别适于要表面光洁、精度高的工件,以及铆接、搭接件的处理。但不适于含铜大于 5% 的铝合金(因铜溶于铬酸)。一般仅作防护,很少作装饰



类别	特点	应用
保护、装饰性阳极化	氧化膜较厚(10~60 $\mu\text{m}$ ),呈军绿或黄色,具有很好的耐蚀性、耐磨性和电绝缘性。调整工艺参数可得硬度较高或韧性较好的不同膜层;经添加铈、锆或钛盐可获特殊仿瓷装饰外观的膜层	韧性膜广泛用于铝线材和带材的处理;硬性膜适于摩擦件的防护;也用作要求绝缘性的精密仪器仪表零件的防护
电绝缘性阳极化	氧化膜薄而致密,电绝缘性高	主要用作电容器和电解电容器的绝缘膜
抗磨性阳极化(硬阳极化)	氧化膜具有高的硬度,当膜厚大于50 $\mu\text{m}$ 时,硬度达4~5HV,如经适当处理可达6~1000HV以上。因此,硬氧化膜耐磨性和耐蚀性都很好,且有很高的耐热性,能耐1500~2000 $^{\circ}\text{C}$ 瞬时高温。但膜层脆性较大,且对基体的疲劳强度有一定影响 硬氧化膜一般不进行封闭处理 硬阳极化可以采用直流电源、交流电源、交直流叠加电源及脉冲电源作外电源。其中,以直流电源加压缩空气搅拌低温硫酸电解液的方法因液槽成分简单、稳定、操作方便、成本低而应用较广。脉冲阳极化可在室温操作,成膜速度快,膜层的硬度、耐蚀性、韧性及厚度均匀性则较好	用于要求硬度高、耐磨性好的各种零件的防护,并可用于修复受磨损的铝合金件的尺寸

表 1-7-75

铝及铝合金的着色

着色方法	着色机理	特点
电解着色法	将在硫酸溶液中常规阳极氧化后的铝及铝合金在金属盐的着色液中电解着色,使金属离子在氧化膜孔的底部电沉积,利用光在沉积金属粒子表面产生光散射而发色 工业生产上应用最多的是锡盐和镍盐电解液,产生古铜色系列。另外,也可用铜、硒盐、钼酸盐、银盐等电解液产生紫红、亮金、蓝、土黄等颜色。如先后在两种金属盐中连续着色,可产生紫色(先银盐后镍盐)、深褐色(先银盐后铜盐)等多种着色效果。还可采用电解着色和有机染料吸附着色两者的复合着色,可获金、红、蓝、黄等各种色调	电解着色的氧化膜具有古朴典雅的装饰效果,有极好的耐晒性,且能耗小(仅为整体着色法的40%),工艺条件易于控制 电解着色一般采用纯铝系、铝-锰系、铝-镁系及铝-锰-硅系的合金。而铝-铜系及铝-硅系的合金很难进行电解着色 是目前工业上应用广泛的着色方法
干涉着色法	是由电解着色法发展起来的,也称三步法。即先进行硫酸阳极化,然后磷酸阳极化,最后电解着色。磷酸阳极化的作用是改变氧化膜孔的结构,使氧化膜孔底部的孔径增大,再通过沉积一层很薄的金属取得光干涉效果,使在同一种着色液中产生多种不同颜色的着色膜,扩大了建筑用铝材的着色范围 干涉着色的条件见表 1-7-76	干涉着色膜与电解着色膜一样具有很好的耐光性和耐蚀性。但耐磨性比电解着色膜稍差 它进一步扩大了电解着色法的着色范围

注:传统染色法目前已不流行;整体着色法已逐渐为电解着色法所代替,故未列入。

表 1-7-76

干涉着色的条件

硫酸阳极化		磷酸阳极化		电解着色		着色时间/min										
						2	3	4	5	6	8	12	16	20	24	
硫酸	165g/L	磷酸	120g/L	Sn-Ni 着色液			亮青铜色	亮青铜色		带灰紫红色	蓝灰色	灰绿色	橙黄色			
温度	20℃	草酸	30g/L	温度	20℃											
时间	30min	温度	32℃	pH	7											
电流密度	1.5A/dm <sup>2</sup>	时间	8min	电压(AC)	15V											
		电压(DC)	25V													
硫酸	165g/L	磷酸	100g/L	Ni 盐着色液		亮青铜色	蓝粉红色	蓝灰色		绿灰色	绿青铜色					
温度	20℃	温度	20℃	温度	24℃											
时间	30min	时间	4min	pH	5.6											
电流密度	1.5A/dm <sup>2</sup>	电压(AC)	10V	电压(AC)	11.5V											
硫酸	165g/L	磷酸	120g/L	Co 盐着色液				青铜色		蓝灰色	绿灰色	黄绿色	橘黄色	红	粉	红
温度	20℃	温度	25℃	温度	20℃											
时间	30min	时间	10min	pH	6											
电流密度	1.5A/dm <sup>2</sup>	电压(DC)	10V	电压(AC)	9V											
硫酸	165g/L	磷酸	100g/L	Ni-Sn 着色液		亮蓝		亮灰绿色		亮黄色	亮橘黄色	10min	亮粉红色			
温度	20℃	温度	22℃	温度	22℃	20s										
时间	30min	时间	4min	pH	1.5	红蓝										
电压(DC)	17.5V	电压(AC)	10V	电压(AC)	20V											
硫酸	165g/L	磷酸	100g/L	Sn 盐着色液		亮金色	亮黄色	亮橘黄色	亮粉红色							
温度	20℃	温度	20℃	温度	22℃											
时间	30min	时间	4min	pH	0.5											
电压(DC)	17.5V	电压(AC)	10V	电压(AC)	10V											

表 1-7-77

铝及铝合金氧化膜的封闭

	说 明	应 用
封闭方法	因氧化膜呈多孔结构, 腐蚀介质易渗入膜孔而腐蚀基体, 所以必须进行封闭处理, 使膜孔闭合以提高膜的防护性能和经久保持膜的着色效果	除有特殊要求, 作功能性用途的硬氧化膜及磷酸阳极氧化膜外, 一般的阳极氧化膜及着色氧化膜都应封闭
蒸汽封闭	在压力容器中进行, 饱和蒸汽温度为 100~200℃。方法是把工件放入容器, 抽真空放置 20min 后通蒸汽封闭	适于处理罐、箱、塔和管子类大型制件的内表面
热水封闭	常用 98~100℃, 比电导不超过 10μS/cm、pH = 6~7 的蒸馏水封闭 30~60min。应用广泛	一般阳极氧化膜的封闭, 特别适于染料着色后的封闭
镍盐、钴盐封闭	用镍盐、钴盐或混合二者的水溶液为介质的封闭。既有水合作用, 也有镍或钴盐在膜孔内生成氢氧化物沉淀的水解反应。对避免染料被湿气漂洗褪色有良好效果。工作温度为 98~100℃, 时间为 30~60min	用于防护性阳极氧化膜, 特别适于着色阳极氧化膜的封闭处理
重铬酸盐溶液封闭	重铬酸盐对铝及铝合金有缓蚀作用, 可阻滞阳极化时留在制件缝隙内的残液对基体的腐蚀, 也可阻滞膜层轻微受损部位腐蚀的发生。工作温度为 98~100℃, 时间为 30~60min	是防护性阳极氧化膜的流行封闭方法。耐腐蚀性好。但膜封闭后呈草黄色, 不适于装饰用膜的封闭
两步封闭法	先在 1.5% 的醋酸钴溶液中在 35~70℃ 温度下浸渍 3~10min, 然后在 80℃ 的重铬酸盐溶液中进行 2~4min 的封闭	提高重铬酸盐封闭的防护效果

## 镁合金的表面处理

表 1-7-78

工艺流程 一般为:清洗(机械清洗和化学清洗,主要是去除表面油污)→预处理(主要是活化表面)→表面处理→清洗→封孔处理

激光表面处理	<p>激光表面处理是材料表面在高能量激光流的作用下熔化,在纳秒范围内脉冲激光产生高达 <math>10^{10} \text{ }^\circ\text{C/s}</math> 的冷却速度,使金属表面快速凝固,在合金表面形成亚稳态结构固溶体,使表面合金晶粒细化,减少了阴极相的面积,从而提高镁合金耐蚀性</p> <p>通常用作镁合金激光表面处理的金属涂层有:Al、Ca、Cu、Mo、Ni、Si、W、Al + Cu、Al + Mo、Al + Ni 和 Al + Si 等,其中耐蚀性最好的是通过 Al 形成 <math>\text{MgAl}_2\text{O}_4</math> 尖晶石的镁基铝合金。该方法有</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 激光表面重熔。可以获得均匀细小或非晶的耐蚀性组织,提高镁合金的耐蚀性能</li> <li>2) 激光表面合金化。可以在镁合金表面制备高耐蚀性的合金层</li> <li>3) 激光熔敷(又称激光涂敷)。即在合金表面涂敷一层耐蚀性的金属涂层,提高镁合金的耐蚀性。如纯镁表面激光熔敷 Mg-Al 合金层,改性合金层的组成相为 <math>\alpha(\text{Al})</math> 和 <math>\beta(\text{Mg}_5\text{Al}_8)</math>,界面上生成共晶层,与纯镁相比,激光改性层的腐蚀电位正移了约 0.7V,钝化区间加大,耐蚀性能优于纯镁。Mg/SiC 复合材料进行表面激光涂敷 <math>\text{Cu}_{60}\text{Zn}_{40}</math> 后,涂层层 <math>\text{Cu}_{60}\text{Zn}_{40}</math> 与 Mg/SiC 基体结合良好,材料的腐蚀电位(<math>E_{\text{corr}}</math>)比未处理时提高 3.7 倍</li> </ol>			
气相沉积	<p>利用物理气相沉积(PVD)、化学气相沉积(CVD)和等离子体辅助沉积(IBAD)等技术,可以获得具有一定耐蚀性的防护膜层</p> <p>气相沉积涂层材料选择原则有:①可提高电位的元素;②可用作牺牲阳极的元素;③可形成具有耐蚀性的薄膜(如尖晶石结构)的元素。常用的涂层材料有:Al、Cr、Mn、V、Ti 等,此外,玻璃搪瓷也可以用于镁合金的防护和装饰</p>			
离子注入技术	<p>是将一高能离子在真空条件下加速注入固体表面的方法,该方法可以注入任何离子。离子注入的深度与离子的能量和靶的状态有关,一般为 50 ~ 500nm。注入的离子在固溶体中处于置换或间隙位置,形成非平衡相的均匀组织表面层,提高合金的耐蚀性。其优点是可在表面形成新的合金层,改变表面状态,解决了其他工艺制备的涂层表面与基体的结合强度问题。提高合金的耐蚀性与注入离子的种类有关。如注入耐蚀元素 Cr,可提高合金的耐蚀性;在纯镁表面注入硼,可使 Mg 的开路电位正移 200mV,扩大钝化区电位范围,降低临界钝化电流密度</p>			
保护膜与涂层处理	<p>镁合金表面的保护膜与涂层处理,通常采用的方法有:化学转化、阳极氧化、有机涂装与金属镀层保护。是提高镁合金耐蚀性能最常用最有效的方法。涂层方法和防护效果,可以根据其服役环境和处理成本进行选择</p> <p>(1) 化学转化膜处理</p> <p>又叫化学氧化法,是使金属工件表面与处理液发生化学反应,生成一层保护性钝化膜,比自然形成的保护膜有更好的保护效果。同阳极氧化膜相比,化学转化膜比较薄(0.5 ~ 3<math>\mu\text{m}</math>),硬度和耐蚀性稍低,适用于在特定的环境下的防护,如运输和储存过程中镁的防护、镁合金机械加工表面后的长期防护。该工艺具有设备简单、投资少、处理成本低等优点。但是在恶劣环境下工作的镁合金部件,化学转化处理必须和其他保护方法联合使用</p> <p>镁合金的化学转化膜处理,常用的成膜剂有铬酸盐成膜剂和磷酸盐成膜剂两大类</p>			
	名称	化学处理液组成	特点	膜的主要组成和厚度
	铬化处理	重铬酸钠( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ):120 ~ 180g/L 氟化钙( $\text{CaF}_2$ )或氟化镁( $\text{MgF}_2$ ):2.5g/L 水:余量	所有镁合金的涂装底层,室内储存、中性环境中独立保护	铬酸盐和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 8 ~ 11 $\mu\text{m}$
	铬-锰处理	重铬酸钠( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ):100g/L 硫酸锰( $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ):50g/L 水:余量	镁锌合金的涂装底层	铬酸盐 2 ~ 5 $\mu\text{m}$
	硝酸铁处理	铬酐( $\text{CrO}_3$ ):180g/L 硝酸铁[ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ]:40g/L KF:3.5g/L $\text{H}_2\text{O}$ :余量	所有镁合金的涂装底层,室内存放或中性环境保护	铬酸盐 0.5 ~ 5 $\mu\text{m}$
	磷化处理	磷酸铵( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ):100g/L 高锰酸钾( $\text{KMnO}_4$ ):20g/L 磷酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ):调溶液 pH 值为 3.5	所有镁合金的涂装底层	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ 和 Al、Mn 等 磷化物 1 ~ 6 $\mu\text{m}$
锡酸盐处理	氢氧化钠( $\text{NaOH}$ ):9.95g/L 锡酸钾( $\text{K}_2\text{SnO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ):49.87g/L 乙酸钠( $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ):9.95g/L 焦磷酸钠( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ):49.87g/L	所有镁合金的涂装底层	$\text{MgSnO}_3$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 2 ~ 5 $\mu\text{m}$	

## (2) 阳极氧化处理

其工艺根据氧化处理液的成分分为酸性氧化液和碱性氧化液两种类型。主要以磷酸盐、高锰酸盐、可溶性硅酸盐、硫酸盐、氢氧化物和氧化物为主的阳极氧化,具体工艺参数如下表

阳极氧化处理比大多数化学转化处理的成本高,主要用在一些特殊性能要求的场合,如耐磨或苛刻条件下的涂装前处理。镁合金阳极处理膜中不仅包含了合金元素的氧化膜,还包含了溶液中通过热分解沉积到工件表面的其他氧化物,如  $B_2O_3$ 、 $P_2O_5$  或  $Al_2O_3$  等。其阳极氧化膜具有不同程度的孔隙率、双层结构,内层为较薄的致密层,外层为较厚的多孔层。因此,必须进行着色与封孔处理。着色与封孔用的处理液需根据阳极氧化处理的工艺不同而不同

保 护 膜 与 涂 层	镁合金阳极氧化处理的主要工艺参数			镁合金阳极氧化处理的主要工艺参数		
	阳极氧化处理液组成/ $g \cdot L^{-1}$	处理条件	膜的性质	阳极氧化处理液组成/ $g \cdot L^{-1}$	处理条件	膜的性质
	$CrO_3$ :25 $H_3PO_4$ (85%):50 $NH_4OH$ (30%): 160~180mL/L	温度:75~95℃ 电流密度:16A/cm <sup>2</sup> 电压:350V(AC)	无光泽的深绿色膜	$NH_4HF_2$ :225~450 $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ : 50~125 $H_3PO_4$ (85%): 50~110mL/L	温度:70~80℃ 电流密度:0.5~5A/cm <sup>2</sup> 薄膜 电压:65~70V 时间:4~5min 厚膜 电压:90~100V 时间:25min	厚6~30μm, 暗绿色复合膜
	$KOH$ :250~300 $Na_2SiO_3$ :25~45 $C_6H_5OH$ :2~5	温度:77~93℃ 电流密度:20~32A/cm <sup>2</sup> 电压:4~8V	无光泽的白色软膜	$NH_4F$ :450 $(NH_4)_2HPO_4$ :25	温度:20~25℃ 电流密度:48~100mA/cm <sup>2</sup> 电压:190V	无光泽的白色硬膜
$KF$ :35 $Na_3PO_4$ :35 $Al(OH)_3$ :35 $KOH$ :165 $K_2MnO_4$ 或 $KMnO_4$ :20	温度:≤20℃ 电流密度:1.5~2.5A/cm <sup>2</sup> 薄膜 电压:65~70V 时间:7~10min 厚膜 电压:80~90V 时间:60~90min(AC)	厚5~40μm, 棕黄色氧化膜	$K_2Cr_2O_7$ :25 $(NH_4)_2SO_4$ :25	pH值:5.5 温度:20℃±1℃ 时间:60min 电流密度:0.8~2.4mA/cm <sup>2</sup> 电压密度:1.2~3.6mA/cm <sup>2</sup>	黑色膜	

## (3) 等离子微弧阳极氧化处理

又称等离子阳极氧化或阳极火花沉积。它是利用电化学方法将材料置于脉冲电场环境的电解质溶液中用高电压大电流在材料表面微孔中产生火花放电斑点,在热化学、等离子体化学和电化学共同作用下原位生长成陶瓷膜层的阳极氧化方法。应用金属有 Al、Mg、Ti、Zr、Nb、Ta 等金属或合金

微弧氧化过程一般认为分4个阶段:第1阶段,表面生成氧化膜;第2阶段,氧化膜被击穿,并发生等离子微弧放电;第3阶段,氧化进一步向深层渗透;第4阶段,为氧化、熔融、凝固平衡阶段。在微弧氧化过程中,当电压增大至某一值时,镁合金表面微孔中产生火花放电,使表面局部温度高达1000℃以上,从而使金属表面生成一层陶瓷质的氧化膜,其显微硬度在1000HV以上,最高可达2500~3000HV;而且氧化时间越长,电压越高,生成的氧化膜越厚。但电压过高,将导致氧化膜大块脱落,并在膜表面形成一些小坑,降低氧化膜性质

微弧氧化膜与普通氧化膜一样,具有两层结构:致密层和疏松层,但微弧氧化膜的孔隙小,孔隙率低,生成的膜与基体结合紧密,质地坚硬,分布均匀,从而有更高的耐蚀性和耐磨性。其工艺比普通阳极氧化更简单,成本低,效率高,而且无污染。由于它具有比普通氧化膜更好的性能又兼有陶瓷喷涂层的优点,因而是镁合金阳极氧化的主要发展方向

可根据需要,应用微弧氧化技术,制备耐蚀膜层、耐磨膜层、装饰膜层、电防护膜层、光学膜层、功能性膜层等,应用于航空航天、汽车、机械、化工、电工、医疗、建筑装饰等领域

镁合金常用微弧氧化工艺	电解液体系	电压/V	电流密度/ $A \cdot dm^{-2}$	温度/℃	时间/min	膜厚度/μm	电解液体系	电压/V	电流密度/ $A \cdot dm^{-2}$	温度/℃	时间/min	膜厚度/μm
	六偏磷酸盐系	≤340	2~10	15~30	15~120	30~100	偏铝酸盐系	≤340	15	20~40	15~120	20~105
	硅酸盐系	300	5~15	10~20		10~95	磷酸盐与硅	≤300	2~10	15~30		10~100
	磷酸盐系	≤300		15~30		10~100	酸盐的复合系					

## (4) 表面渗层处理

1) 氮化处理。是将氮气解离,用高压加速装置把氮离子植入镁合金的表面,以提高表面耐蚀性

2) 渗铝处理。是通过化学热处理或其他热扩散方法,在镁合金表面形成扩散型的富 Al 层,氧化时在镁合金的表面生成致密的  $Al_2O_3$  或  $MgAl_2O_3$  层,从而提高镁合金的表面硬度和耐蚀性、耐磨性

## (5) 金属涂层处理

一般采用电镀、化学镀和喷涂方法制备金属涂层。电镀、化学镀是利用化学还原法或电化学还原法在镁合金表面沉积所需金属元素,并与表面的镁形成结合牢固的致密层。但镁合金表面电镀或化学镀比较困难,一般采用化学转化镀金属。电镀一般选用 Cu、Ni-Cr-Cu 涂层

## (6) 溶胶-凝胶法

该技术的反应条件温和(室温或稍高温度、常压),合成手段灵活多样的;它制备的金属涂层材料具有耐热、耐蚀及光、电、磁等功能。是开发多功能无机-有机复合膜材料的新的研究方向

## (7) 有机涂层及特殊涂层

是保护镁合金表面常用的方法,应用的有机物涂层很多,如环氧树脂、乙烯树脂、聚氨酯以及橡胶等。涂装方法有喷涂、浸涂、刷涂、电泳涂或粉末静电涂装。这种防护只能用作短期保护,表面涂覆油、油脂、油漆、蜡和沥青等也可作短时保护



# 第 8 章 装配工艺性

## 1 装配类型和方法

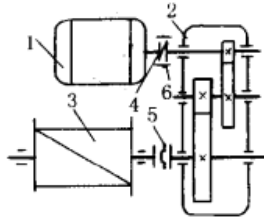
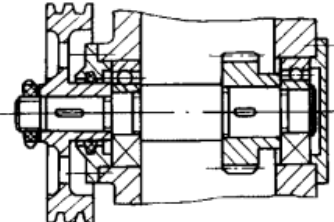
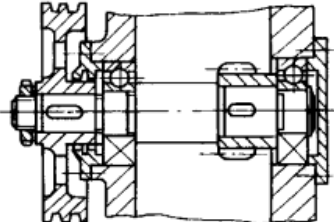
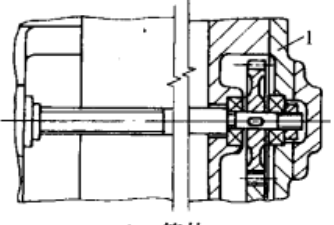
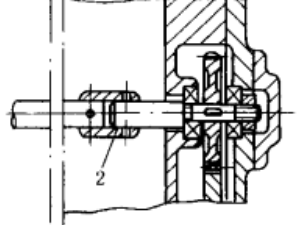
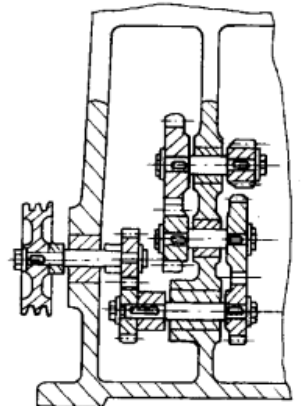
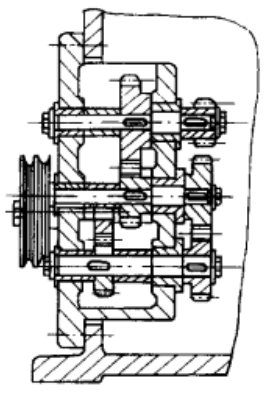
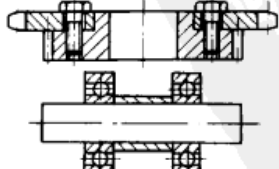
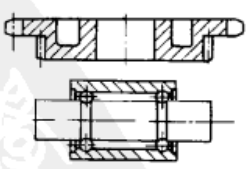
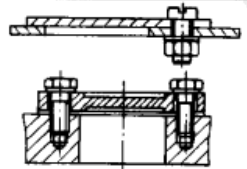
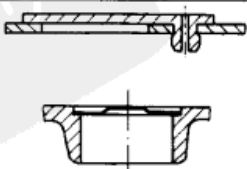
表 1-8-1


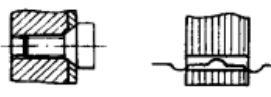
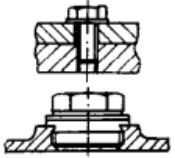
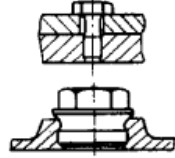
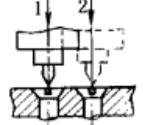
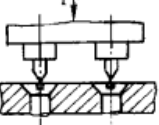
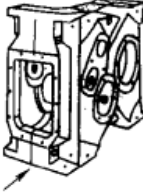
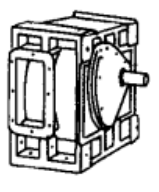


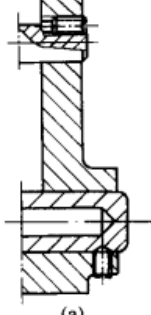
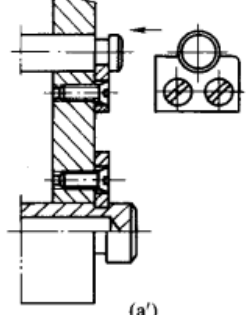
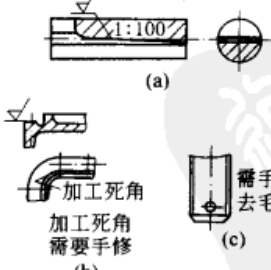
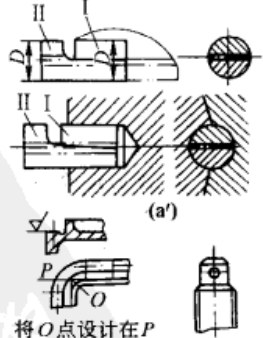
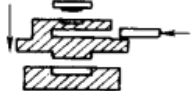
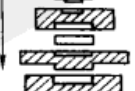
项 目		特 点
装配类型	厂内装配好	一般小型的、运输方便的机器
	厂内部分装配	最后总装、调试、检验等工作都在使用现场,如一些大型的、重型的、不便于运输的机器
装配方法	单件装配	大部分零件可以按经济精度制造,用于新品种试制
	完全互换法	要求任何一个零件不再经过修配及补充加工就能满足技术要求装配。零件制造精度要求较高,制造费用大,但有利于组织装配流水线和专业化协作生产。用于大批、大量生产
	选配法 (不完全互换法)	按照严格的尺寸范围将零件分成若干组,然后将对应的各组配合件装配在一起,以达到所要求的装配精度,零件的制造公差可适当放大。用于成批生产的某些精密配合件
	修配法	是以修正某个配合零件的方法来达到规定的装配精度。增加了装配工作量,但可降低零件的加工精度,因此虽然要求较高装配精度,但仍能降低产品成本。用于成批生产精度高的产品或单件、小批生产
	调整法	通过调整一个或几个零件的位置,以消除零件的积累误差,达到装配精度。如使用不同尺寸的可换垫片、衬套、可调节螺钉键条等。比修配法方便,也能达到很高的装配精度。结构稍复杂,有时使部件的刚性降低。用于大批生产或单件生产

## 2 装配工艺设计注意事项

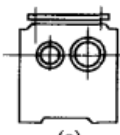
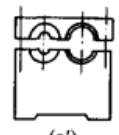
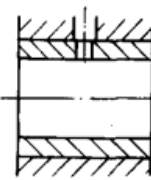
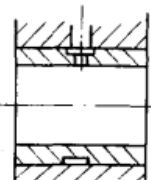
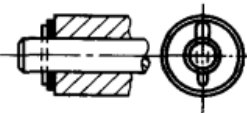
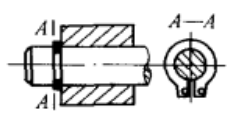


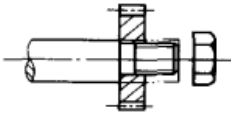
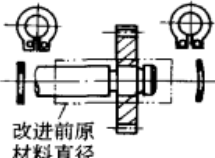
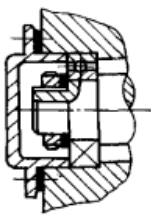
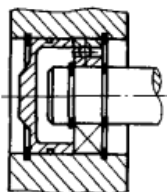
表 1-8-2

注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
1. 尽可能使装配操作分开		
(1) 便于分解为组件,以便实现包括预装配和终了装配的装配分级		

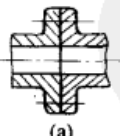
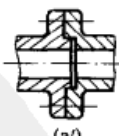
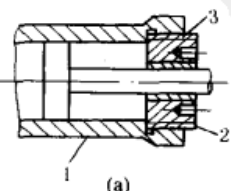
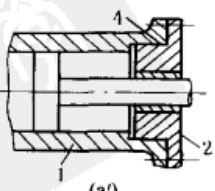
注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
<p>(2)分解成若干装配单元,便于平行作业,缩短装配周期,又便于维修 图示电动绞车,将减速器输出轴与卷筒轴分开,用联轴器连接,二者就可各自单独组装,简化了装配,避免了长轴加工,并便于减速器的标准化、系列化</p>	 <p>1—电动机;2—减速器;3—卷筒;4,5—联轴器;6—制动器</p>	
<p>改进前轴承孔径小于齿轮外径,必须在箱内装配齿轮;改进后,轴上各零件可先行组装,后装入箱内,既提高了工效,又便于维修</p>		
<p>(3)转塔车床加速行程轴一端安装在机身上的箱体内,不便装配;改进后将加速行程轴用联轴器连接,箱体成为单独的装配单元</p>	 <p>1—箱体</p>	 <p>2—联轴器</p>
<p>(4)将传动齿轮预先组成单独的齿轮箱,然后装入箱体,便于调整和装配</p>		
<p>(5)装配组可分开进行试验,首先在变型设计时应如此</p>	<p>在整个机器中进行动平衡</p>	<p>转子单独进行动平衡</p>
<p>(6)力求不进行单个零件试验而对装配组件或产品进行功能试验</p>	<p>对单个齿轮进行啮合测量,对部件进行密封性试验</p>	<p>对整个传动装置进行噪声测量,对管道网进行密封性试验</p>
<p>2. 减少装配操作</p>		
<p>(1)通过集成结构方式或组合结构方式把零件结合在一起</p>		
<p>(2)通过采用粘接或卡接减少连接元件数目</p>		

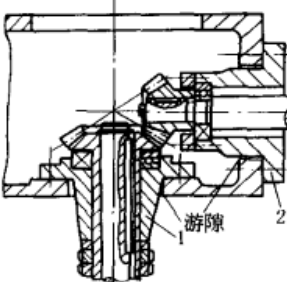
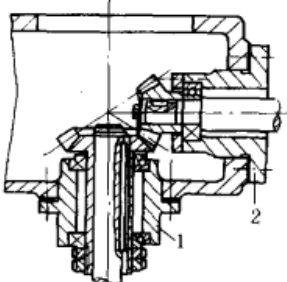
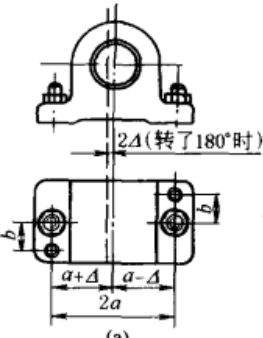
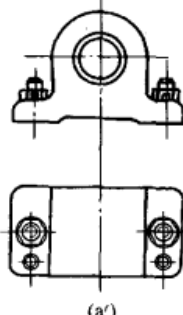
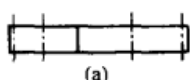
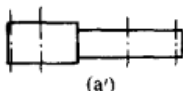
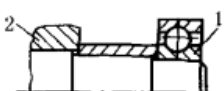

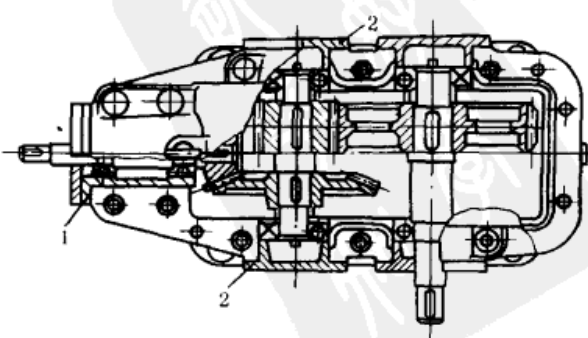
注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
(3) 尽量采用自作用对准及定位		
(4) 通过功能合成减少零件数目		
(5) 装配操作同时进行		
(6) 减少接合部位及接合表面		
(7) 对已装好的组件或产品进行功能试验时无需把它拆开	 <p style="text-align: center;">气隙测量不可能进行</p>	 <p style="text-align: center;">气隙测量可直接进行</p>
<p>(8) 避免装配时进行切削加工</p> <p>图 a 轴套装入机体后,需钻孔、攻螺纹,既增加装配工作量,又延长装配周期。改进后(见图 a')轴或轴套用卡在轴或轴套环形槽里的压板固连在机体上,压板可用冲压方法制造,机体上的螺纹孔可在切削加工车间加工</p>	 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(a')</p>
<p>(9) 尽可能使装配时不进行手工修配</p> <p>图 a 是杠杆与导向叶轮连接用键,两个半圆柱系分开加工,不能吻合得很好,装配时须用手工修配。可改用图 a'结构(装配时杠杆与导向叶轮之间的相对位置常需调整,不可能用普通锥形销钉)</p>	 <p style="text-align: center;">(a)</p> <p>加工死角 加工死角 需要手修 (b)</p> <p>需手工 去毛刺 (c)</p>	 <p style="text-align: center;">(a')</p> <p>将 O 点设计在 P 圆弧以内,去掉了 加工死角 (b')</p> <p>(c')</p>
<p>3. 统一和简化装配操作</p>		
(1) 对每一组件尽量采用统一的接合方向和接合方法		

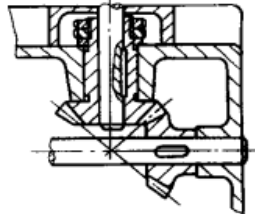
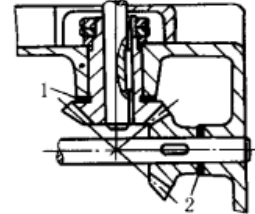
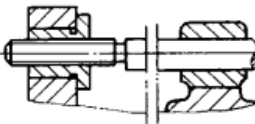
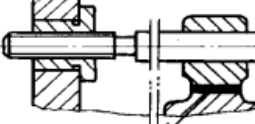
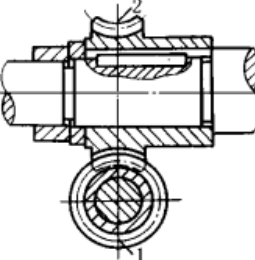
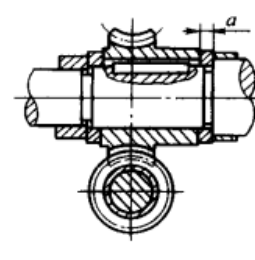
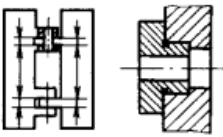
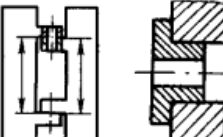
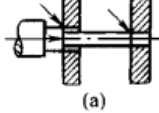
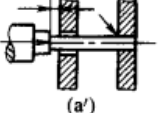
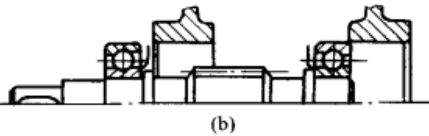

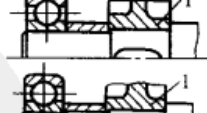


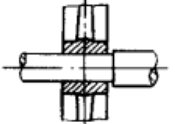
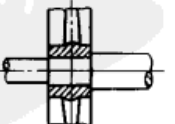


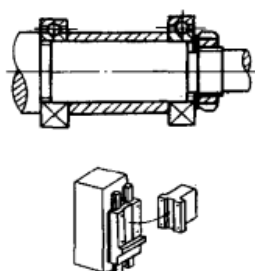
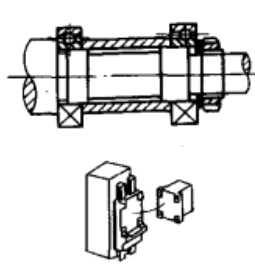
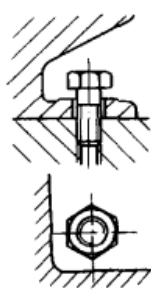
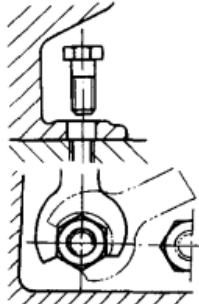
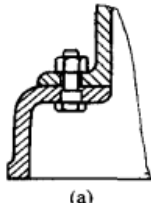
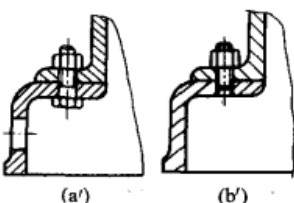
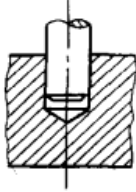
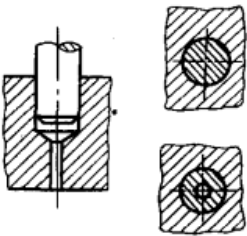
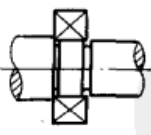
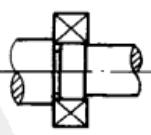
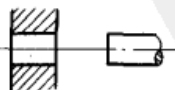
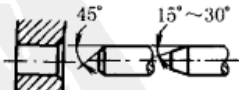
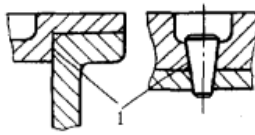
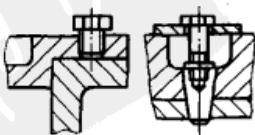
注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
<p>(2) 选用合适的接合方式,使机械加工和装配的总劳动量减少                      减速箱用图 a' 接合方式,机械加工量虽然比图 a 大,但由于装配大大简化,还是合理的</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>根据实际情况,有时采用对称结构,可简化装配。图 a' 轴套内的槽,采用对称结构,比图 a 的槽和孔容易对准,简化了装配</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>(3) 用弹性挡圈代替开口销和垫圈,可提高装配效率</p>		
<p>(4) 用弹性垫圈代替螺钉和垫圈</p>		
<p>(5) 平面形挡圈代替轴肩,曲面形挡圈可限制齿轮轴向位置</p>		 <p>改进前原 材料直径</p>
<p>(6) 当轴向载荷较小时,用弹性挡圈代替法兰、螺母和轴肩,以便于装配,提高装配效率</p>		

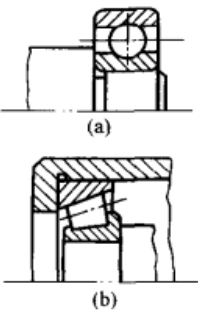
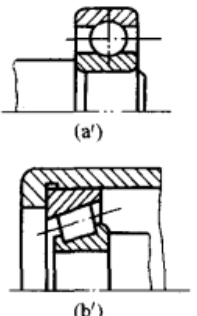
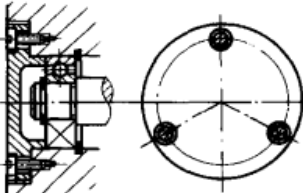
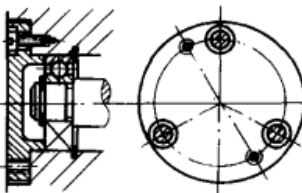
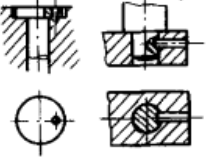
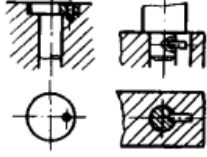
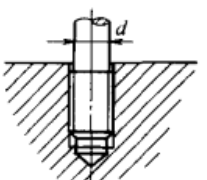
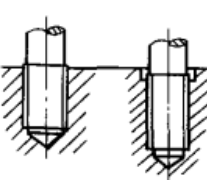
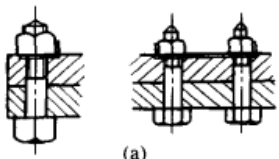
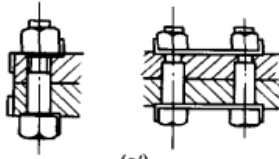
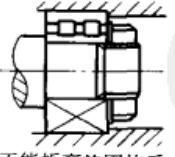
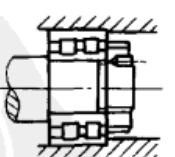
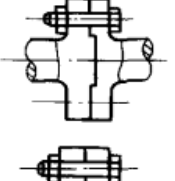
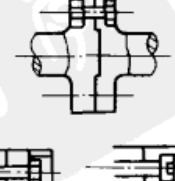
4. 保证装配质量

<p>(1) 应设定位基准                      图 a 两法兰盘用普通螺栓连接,两法兰盘轴孔有同轴度要求,无定位基准时难以满足同轴度要求</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>液压缸要求缸盖上的孔与缸体内圆表面同轴。若按图 a 所示缸盖 2 与缸体 1 用螺纹 3 直接连接,由于螺纹之间有间隙,不能保证缸盖 2 的孔与缸体 1 内圆表面的同轴度,活塞杆易偏移。改进后(见图 a')另设置装配基面 4</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>

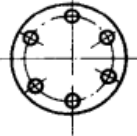
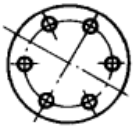
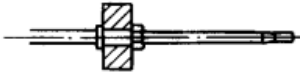
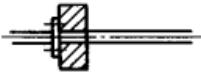
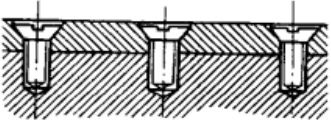
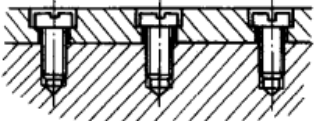
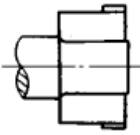
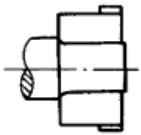
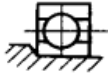
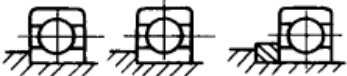
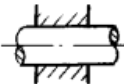
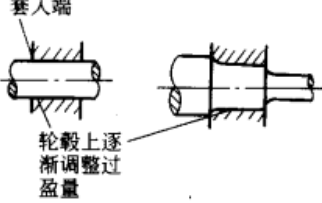
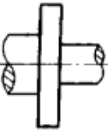
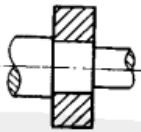


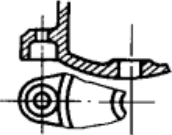

注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
<p>两锥轮支架 1 和 2 同机架之间不应有径向游隙,应设置装配基面</p>		
<p>(2) 正确布置定位销 图 a 支承座安装用两销钉定位。按左图的布置,因为左右两销钉孔到支座轴线的距离不要求也不可能加工得绝对相等,如左孔距离为 <math>a + \Delta</math>, 右孔距离为 <math>a - \Delta</math>, 若不慎将支座转 <math>180^\circ</math> 安装, 则此时左孔距离为 <math>a - \Delta</math>, 右孔距离为 <math>a + \Delta</math>, 从而使支座轴线较原来的正确位置向左偏移 <math>2\Delta</math>。改进后的设计(见图 a')可避免产生上述错误</p>		
<p>(3) 采用结构措施补偿误差 图 a' 一对圆柱齿轮中的小齿轮比大齿轮稍加宽一些, 当有装配误差时, 仍能保证两齿沿全齿宽啮合, 这就可在保证安装要求前提下, 降低装配精度的要求</p>		
<p>图中左右两边的轴肩不要分别与零件 2 和轴承 1 内圈的端面取齐, 这样既保证了安装要求, 也降低了机械加工精度的要求, 避免了装配时的修配工作</p>		
<p>(4) 采用调整零件 如图所示结构, 在轴承外圈与轴承盖 2 之间加一环状零件 1, 它的厚度在装配时根据测量结果配制, 组件的轴向尺寸加工时可按自由公差, 积累的轴向误差可用零件 1 补偿, 以保证对轴承内外圈的固定要求</p>		
<p>如图所示是装配精度要求较高的圆锥齿轮机构, 要求两轮的节圆锥共顶, 以保证正确啮合。因此装配时要使两轮能沿各自轴线有控制地移动, 以便将两轮调整到所要求的合适位置。小齿轮的轴向位置用垫片 1 来调整, 大圆锥齿轮的轴向位置用两端轴承盖处的垫片 2 来调整 蜗杆蜗轮机构, 可用类似措施来调整蜗轮的轴向位置, 以保证蜗轮与蜗杆的正确位置</p>		

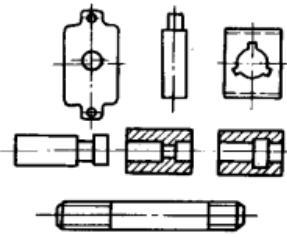
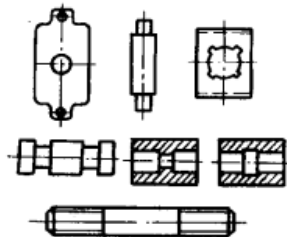
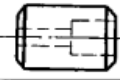
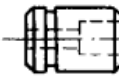

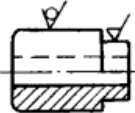

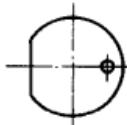
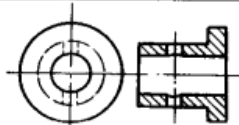
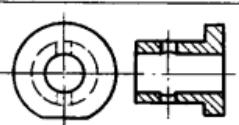

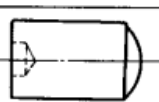


注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
<p>修配两调整垫 1、2 的厚度,可保证两锥齿轮的正确啮合</p>		
<p>用调整垫片 1 来调整丝杠支承与螺母之间的同轴度</p>		
<p>蜗杆传动装配时,需保证蜗杆轴线 1 与蜗轮齿冠的中线 2 相重合,利用调整垫厚 <math>a</math> 的变化来调整蜗杆轴向位置,以保证蜗轮、蜗杆啮合精度</p>		
<p>(5) 避免双重配合以获得明确的定位,并且减少尺寸公差</p>		
<p>(6) 为避免两段配合面同时进入,图 a 应改为图 a'。图 b 蜗杆轴装入箱体时,两轴承外圈不是同时而是一先一后地装入轴承孔配合面</p>	 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(a')</p>  <p style="text-align: center;">(b)</p>
<p>(7) 图 a 结构在装配零件 1 时,其键槽与轴上的键要对准比较困难。改进后的设计(见图 a'),键与键槽则很容易对准</p>	 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(a')</p>
<p>(8) 利用弹性降低对装配件的公差要求</p>		
<p>(9) 轴与轮毂为紧配合时,须将伸出轮毂外的轴径车小一些,以利装卸</p>		

注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
(10) 将大的接合面分成多个小的接合面		
5. 应便于装配		
(1) 应留出足够的放置螺钉的高度空间和留出足够的扳手活动空间		
(2) 图 a 装配困难, 图 a' 旁开工艺孔稍好, 图 b' 采用双头螺柱便于装配	 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(a') (b')</p>
(3) 打入销钉时, 应有空气逸出口, 以防空气留在孔中, 影响装配		
(4) 为了装卸方便, 确保轴承位置, 右端轴径应稍小于轴颈直径, 以免装拆轴承时擦伤轴表面		
(5) 配合件应倒角, 以便装配。若倒角为 $15^\circ \sim 30^\circ$ , 有导向部分则装配更容易		
6. 应便于拆卸		
(1) 为便于拆卸静配合 1 的零件, 应配置拆卸螺钉或采用具有拆卸螺孔的锥销		

注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
<p>(2) 图 a 轴承内圈或图 b 轴承外圈不易拆卸, 应使轴肩高度小于内圈厚度(图 a'), 或孔的凸肩高度小于外圈厚度(图 b')</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p>	 <p>(a')</p> <p>(b')</p>
<p>(3) 端盖上应留有工艺螺孔, 以便于拆卸端盖, 避免用非正常拆卸方法而损坏零件</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>(4) 带止转装置的轴要考虑拆卸方便, 图 a 所设销子可防止轴转动, 但轴的拆卸较困难。改为图 a' 结构, 则易于拆卸</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>7. 考虑螺纹连接的工艺性</p>		
<p>滚压加工的双头螺栓, 其 <math>d</math> 大于螺纹底径, 若螺孔深度过大, 会使螺栓拧不紧或损坏孔口部分螺纹。要控制螺栓上的螺纹长度和螺孔深度, 或在螺孔口铰孔, 保证螺栓拧紧</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>图 a 只是对螺母止动, 而对螺栓并未止动, 改进后(见图 a')同时对螺栓和螺母止动, 保证了止动的确实可靠</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>图 a 因安装位置的周围无足够的空间弯曲止动垫圈的爪, 不能止动。改进后(见图 a')采用骑缝螺钉, 保证止动可靠</p>	 <p>不能折弯垫圈的爪</p> <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>高速旋转体连接螺栓的头和螺母等伸出在外, 既影响安全也容易造成各种不良影响, 应当使之沉入</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>

续表

注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
化工管道等的法兰螺栓布置在正下面易受泄漏溶液的腐蚀		
螺母的端面不一定与螺纹相垂直,螺母有间隙,并且被紧固件两端面也存在平行度误差,如果在长轴中央处进行强力紧固,易使轴产生弯曲		
使用多个沉头螺钉时,无法使所有螺钉头的锥面保持良好的接合,连接件间的位移会造成螺钉的松动		
<b>8. 避免装配时的应力集中</b>		
过盈量大的配合处,尤其是采用热装的部位,要考虑配合引起的应力集中与轴肩处的应力集中相叠加的问题,以减少轴肩处的应力集中		
滚动轴承的圆角 $R$ 一般较小,如果相应减小轴部的 $R$ 则应力集中会增大。应采取必要措施,使轴的 $R$ 不致过小		
过盈量大的热装,轴上在相对于轮毂端部处为紧固力剧变部,产生应力集中 为了不形成紧固力的剧变部,最好从轮毂端部向套入端逐渐减小过盈量		 套入端 轮毂上逐渐调整过盈量
将轴向宽度较薄的盘状零件热装到轴上时,过盈量引起的反力有可能使盘状零件变形。为避免出现这种情况,要增加盘状零件的轴向宽度,不能增加时要从轴肩向套入端调整过盈量		
<b>9. 便于起吊安装</b>		
(1) 很大的铸件不用吊环螺钉起吊,因为此时吊环螺钉斜着受力很大,较好的办法是用事先铸好的洞口或铸成的凸起搭子		
(2) 在允许的情况下,事先留有使用调节楔子与安放水平尺的平面,在装配时有很大好处		

注 意 事 项	不好的设计	改进后的设计
10. 可能实现并简化自动储存和装配		
(1) 如果没有特殊要求,轮廓应尽量对称,以便于确定正确位置,避免装错		
(2) 零件孔径不同,为保证装配位置正确,宜在相对于小孔径处切槽或倒角,以便识别		
(3) 自动装配时,宜将夹紧处车成圆柱面,使之与内孔同轴		
(4) 为易于保证垫片上偏心孔的正确位置,可加工出一小平面		
(5) 装配时,要求孔的方向一定,若不影响零件性能,可在零件上铣一小平面,其位置与孔成一定关系,平面较孔易定位		
(6) 工件底端为圆弧面时,便于导向,有利于自动装配的输送		
(7) 使两相邻零件的内外锥不等,运输中不易“卡死”		

### 3 转动件的平衡<sup>[40]</sup>

#### 3.1 基本概念

具有一定转速的转动件——转子,由于材料组织不均匀、零件外形的误差(尤其具有非加工部分)、装配误差以及结构形状局部不对称(如键槽)等原因,使通过转子质心的主惯性轴与旋转轴线不相重合。因而旋转时,转子产生不平衡的离心力,其值由下式计算:

$$C = me\omega^2 = me\left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \quad (\text{N}) \quad (1-8-1)$$

式中  $m$  ——转子的质量, kg;

$e$  ——转子质心对旋转轴线的偏移,即偏心距, m;

$n$  ——转子的转速, r/min;

$\omega$  ——转子的角速度, rad/s。

由上式可知,重型或高转速的转子,即使具有很小的偏心距,也会引起非常大的不平衡离心力,成为轴的断

裂, 轴承的磨损, 轴系、机器或基础振动的主要原因之一。所以, 机器, 特别是高速、重型机器在装配时, 其转子必须进行平衡。

平衡是改善转子的质量分布, 以保证将转子在其轴承中旋转时因不平衡而引起的振动或振动力减小到允许范围内的工艺过程。利用现有的测量仪器可以把转子的不平衡减小到许用的范围, 但对平衡品质要求过高是不经济的, 也是不必要的。

转子不平衡有两种情况:

1) 静不平衡——转子主惯性轴与旋转轴线不相重合, 但相互平行, 即转子的质心不在旋转轴线上, 如图 1-8-1a 所示。当转子旋转时, 将产生不平衡的离心力。

2) 动不平衡——转子的主惯性轴与旋转轴线交错, 且相交于转子的质心上, 即转子的质心在旋转轴线上, 如图 1-8-1b 所示。这时转子虽处于静平衡状态, 但转子旋转时, 将产生一不平衡力矩。又称偶不平衡。

在大多数的情况下, 转子既存在静不平衡, 又存在动不平衡, 这种情况称静动不平衡。此时, 转子主惯性轴与旋转轴线既不重合, 又不平行, 而相交于转子旋转轴线中非质心的任何一点, 如图 1-8-1c 所示。当转子旋转时, 产生不平衡的离心力和力矩。

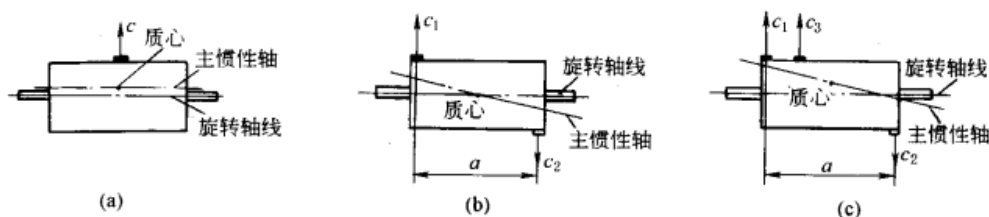


图 1-8-1 转子平衡的类型

转子静不平衡只需在一个平面上 (即校正平面) 安放一个平衡质量, 就可以使转子达到平衡要求, 故又称单面平衡。平衡质量的数值和位置, 在转子静力状态下确定, 即将转子的轴颈搁置在水平刀刃支承上, 加以观察, 就可以看出其不平衡状态, 较重部分会向下转动, 这种方法称为静平衡。

静平衡主要应用于转子端面之间的距离比轴承之间的距离小许多的盘形转子, 如齿轮、飞轮、带轮等。

转子动不平衡及静动不平衡必须在垂直于旋转轴的两个平面 (即校正平面) 内各加一个平衡质量, 使转子达到平衡。平衡质量的数值和位置, 必须使转子在动力状态下, 即转子在旋转的情况下确定, 这种方法称为动平衡。因需两个平面做平衡校正, 故又称双面平衡。

动平衡主要应用于长度较长的转子。校正平面应选择在间距尽可能最大的两个平面, 为此, 校正平面往往选择在转子的两个端面上。

必须指出, 以上所述系指刚性转子的平衡问题。挠性转子必须选定两个以上的校正平面, 以及采用专门方法才能达到平衡。挠性转子的平衡及许用不平衡的确定见 GB/T 6557—1999《挠性转子的机械平衡方法和准则》。

### 3.2 静平衡和动平衡的选择

厚度与直径之比小于 0.2 的盘状转子, 一般只需进行静平衡。

圆柱形转子或厚度与直径之比大于 0.2 的盘状转子应根据转子的工作转速来决定平衡方式。图 1-8-2 表示平衡的应用范围,

用转子尺寸比  $\frac{b}{D}$  ( $b$  为转子厚度,  $D$  为转子直径) 和每分钟转速  $n$  的关系表达。下斜线以下的转子只需进行静平衡, 上斜线以上的转子必须进行动平衡, 两斜线间的转子应根据转子的质量、制造工艺、加工情况 (部分加工还是全部加工) 及轴承的距离等因素, 来确定是否需要进行动平衡。

### 3.3 平衡品质的确定 (摘自 GB/T 9239—1988)

转子所需平衡品质常用经验法确定。经验法是根据所制定的平衡等级来确定平衡品质的。表 1-8-3 中每一个

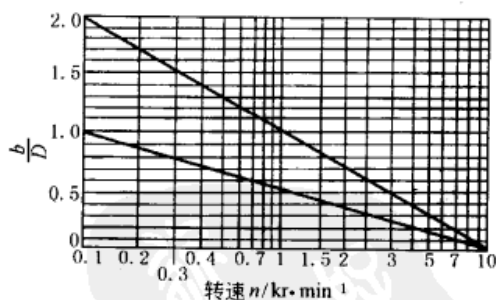


图 1-8-2 平衡法的选择



平衡品质等级包括从上限到零的许用不平衡范围，平衡品质等级的上限由乘积  $e_{\text{per}}\omega$  除以 1000 确定，单位为 mm/s，用  $G$  表示。共分 11 个平衡等级。

$$G = \frac{e_{\text{per}}\omega}{1000} \quad (1-8-2)$$

式中  $e_{\text{per}}$ ——转子单位质量的许用不平衡度，g·mm/kg；

$\omega$ ——转子最高工作角速度，rad/s。

图 1-8-3 表示对应于最高工作转速的  $e_{\text{per}}$  的上限，转子许用不平衡量为：

$$U_{\text{per}} = e_{\text{per}}m \quad (1-8-3)$$

式中  $m$ ——转子质量，kg；

$U_{\text{per}}$ ——转子许用不平衡量，g·mm。

式 (1-8-3) 可以改写为  $e_{\text{per}} = \frac{U_{\text{per}}}{m}$ ，说明转子质量越大，许用不平衡量也越大。因此  $e_{\text{per}}$  可用来表示许用不平衡量与转子质量的关系。

常用各种刚性转子的平衡品质等级见表 1-8-3。在确定平衡品质等级后，也可查出相对应的最大许用不平衡度（见图 1-8-3）。

表 1-8-3 常用各种刚性转子的平衡品质等级

平衡品质等级	$e_{\text{per}}\omega$ <sup>①</sup> /mm·s <sup>-1</sup>	转子类型实例
G4000	4000	具有奇数个汽缸刚性安装的低速船用柴油机 <sup>②</sup> 的曲轴驱动装置 <sup>③</sup>
G1600	1600	刚性安装的大型二冲程发动机的曲轴驱动装置
G630	630	刚性安装的大型四冲程发动机的曲轴驱动装置；弹性安装的船用柴油机的曲轴驱动装置
G250	250	刚性安装的高速四缸柴油机 <sup>②</sup> 的曲轴驱动装置
G100	100	六缸或更多缸高速柴油机 <sup>②</sup> 的曲轴驱动装置；汽车、货车和机车的（汽油或柴油）发动机整机 <sup>④</sup>
G40	40	汽车车轮、轮辋、车轮总成、驱动轴；弹性安装的六缸或更多缸高速四冲程（汽油或柴油）发动机的曲轴驱动装置；汽车、货车及机车的发动机曲轴驱动装置
G16	16	特殊要求的驱动轴（螺旋桨轴、万向传动轴）；粉碎机零件；汽车、货车和机车用（汽油、柴油）发动机个别零件；特殊要求的六缸或更多缸发动机的曲轴驱动装置
G16 <sup>⑥</sup>	16	冶金、化工、石油等制炼厂连续流程机器的零件；船舶（商船）主涡轮机齿轮、离心分离机鼓轮
G6.3 <sup>⑥</sup>	6.3	造纸机辊筒、印刷机辊筒风扇、通风机、鼓风机、航空燃气涡轮机转子部件、飞轮、泵的转子部件或叶轮；机床及通用机械零件；普遍中型和大型电机转子（轴中心高超过 80mm 的）、大量生产的小型电枢，其安装条件对振动不敏感或有隔振装置；特殊要求的发动机个别零件、增压器转子
G2.5	2.5	燃气和蒸汽涡轮，包括船舶（商船）主涡轮；刚性涡轮发电机转子；计算机存储磁鼓或磁盘；透平压缩机转子；机床驱动装置；特殊要求的中型和大型电机转子；不具备 G6.3 级两条件之一的小型电枢；涡轮驱动泵
G1 <sup>⑤</sup>	1	磁带录音机及电唱机驱动装置；磨床主动装置及电枢；特殊要求的小型电枢
G0.4 <sup>⑤</sup>	0.4	精密磨床的主轴、磨轮及电枢陀螺仪

① 若转速  $n$  的单位为 r/min， $\omega$  的单位为 rad/s，则  $\omega = 2\pi n/60 \approx \frac{n}{10}$ 。

② 本标准中低速柴油机是指活塞速度小于 9m/s 的机器，而高速柴油机是指活塞速度大于 9m/s 的机器。

③ 曲轴驱动装置是一组组合件，它包括曲轴、飞轮、离合器、带轮、减振器、连杆旋转部分等。

④ 发动机整机中转子质量是包括②所述曲轴驱动装置全部零件质量的总和。

⑤ G1 及 G0.4 两个平衡品质等级只有当转子轴颈及轴承精度足够时才能达到。G1 级通常要求在转子的工作轴承中平衡，一般采用圈带驱动、空气驱动或自驱动。G0.4 级通常在转子工作的机座及轴承中且在工作环境状态及温度下进行平衡，通常要求自驱动。

⑥ 根据 JB/ZQ 4165—1997 的规定，重型机械行业推荐选取 G16 和 G6.3 两档平衡品质等级。

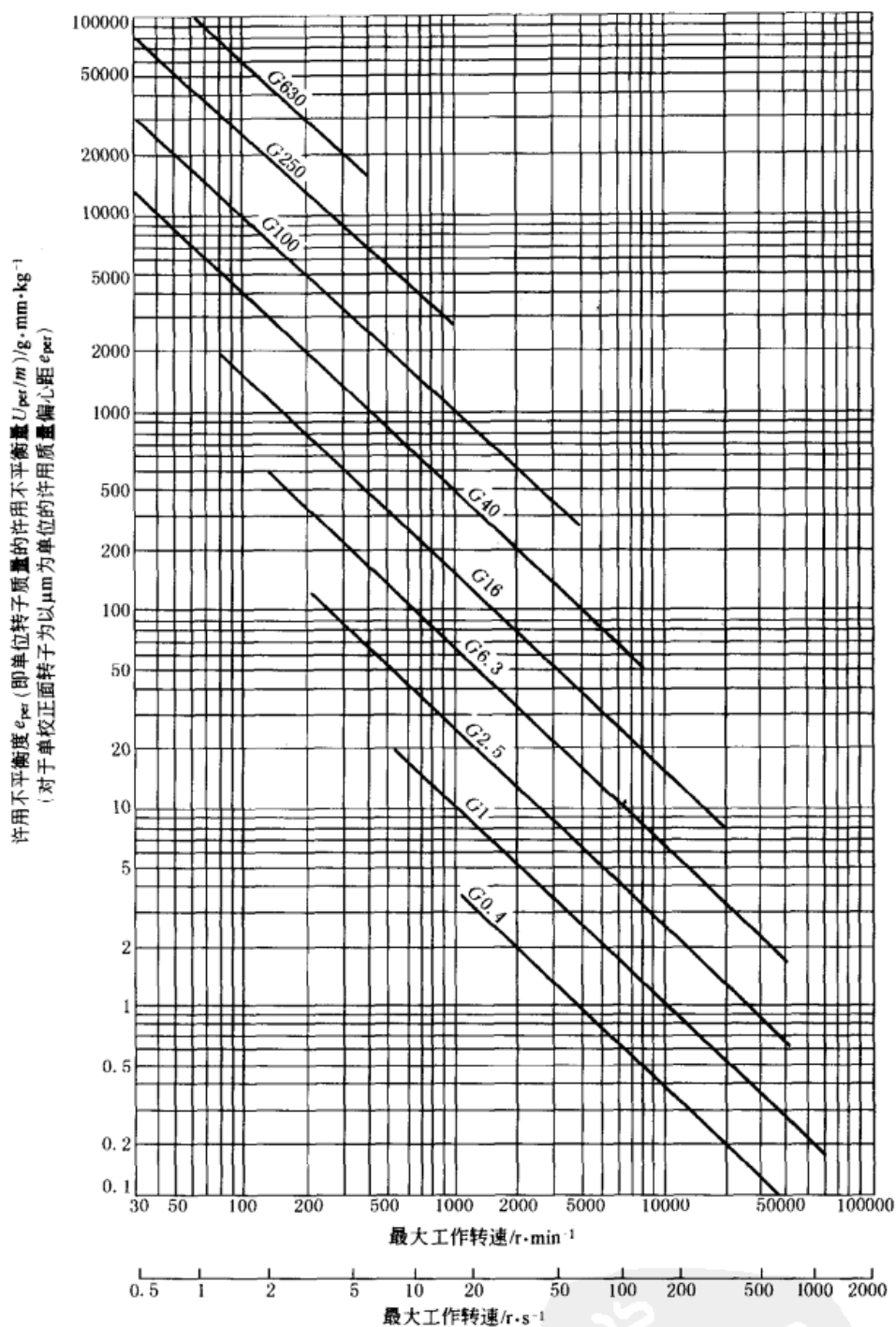


图 1-8-3 对应于各平衡品质等级的最大许用不平衡度

### 3.4 转子许用不平衡量向校正平面的分配 (摘自 GB/T 9239—1988)

#### (1) 单面 (静) 平衡

对于具有一个校正平面的转子, 在该校正平面上测量的许用不平衡量等于  $U_{per}$ 。

#### (2) 双面 (动) 平衡

1) 适用于所有转子的通用方法。本方法适用于各类转子并考虑了校正平面的位置和校正平面上剩余不平衡量间最不利的相位关系。

令  $U_{per I}$  和  $U_{per II}$  分别为校正平面 I 和 II 上的许用不平衡量, 其确定方法如下:

选择一个支承作为参考点, 所有距离在该参考点到另一支承一侧时为正。

设支承间距为  $L$ , 参考支承到校正平面 I 的距离为  $a$ , 校正平面间距离为  $b$  (见图 1-8-4)。

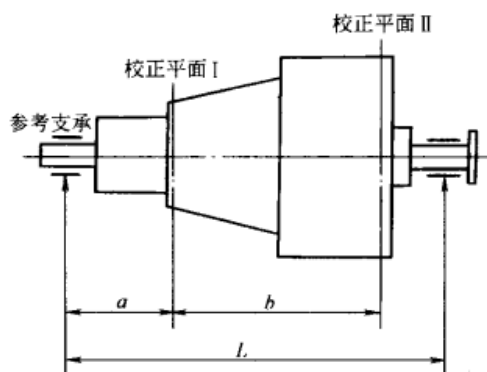


图 1-8-4 通用方法计算中所使用的转子参数

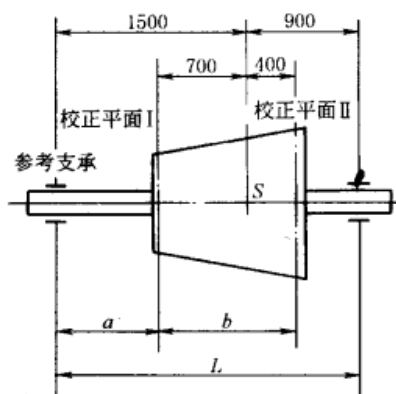


图 1-8-5 转子诸参数

根据本方法<sup>①</sup>的定义确定参考支承的许用不平衡量与转子许用不平衡量  $U_{per}$  的比例为  $K$ , 则另一支承的许用不平衡量为  $(1-K)U_{per}$ , 两支承的许用不平衡量之和等于  $U_{per}$ 。

根据本方法<sup>②</sup>确定校正平面 II 及 I 上的许用不平衡量之比为  $R = U_{per II} / U_{per I}$ 。

按下列方程计算  $U_{per I}$  的四个值:

$$U_{per I} = U_{per} \frac{KL}{(L-a) + R(L-a-b)} \quad (1-8-4)$$

$$U_{per I} = U_{per} \frac{KL}{(L-a) - R(L-a-b)} \quad (1-8-5)$$

$$U_{per I} = U_{per} \frac{(1-K)L}{a + R(a+b)} \quad (1-8-6)$$

$$U_{per I} = U_{per} \frac{(1-K)L}{a - R(a+b)} \quad (1-8-7)$$

从上述 4 个方程求得的值中选取绝对值最小的, 作为校正平面 I 上的许用不平衡量  $U_{per I}$ 。

利用下式计算校正平面 II 上的许用不平衡量  $U_{per II}$ 。

$$U_{per II} = RU_{per I} \quad (1-8-8)$$

如果校正平面 I 及 II 上的剩余不平衡量都分别不超过  $U_{per I}$  和  $U_{per II}$ , 则转子具有所要求的平衡品质。

2) 校正平面间距远小于支承间距转子的一般方法。这种方法特别适用于因两校正平面上不平衡同相或反相  $180^\circ$  造成许用不平衡量有很大差异的转子、校正平面间距远比支承间距小的转子及两个校正平面都位于同一外端的悬臂转子。

将  $U_{per}$  分配到各校正平面时, 应使每个支承平面上的剩余不平衡量之比与工作支承上许用动载荷之比有相同的比值。如果在工作支承平面进行测量是不可能的, 则应选择尽量靠近工作支承的平面。

### 3) 通用方法计算实例

转子种类: 透平转子 (见图 1-8-5)

平衡品质等级: G2.5

①  $K$  值取决于不同的设计及操作条件, 多数情况下其值为 0.5; 特殊情况下, 如支承的载荷容量或刚度不同时, 允许一支承相对于另一支承有不同的剩余不平衡量, 这是需要的。这种情况下,  $K$  值允许在 0.3~0.7 之间变化。

② 在实际应用的大多数场合, 比例  $R$  应选为 1; 特殊情况下, 例如两个校正平面上的预期不平衡显著不同时, 选用不同的  $R$  值更合适, 各支承平面上的剩余不平衡量是独立于  $R$  值的。 $R$  值如超出 0.5~2.0 的范围是不实际的。

转子质量:  $m = 3600\text{kg}$

工作转速:  $n = 4950\text{r/min}$

根据式 (1-8-2), 许用不平衡度:

$$e_{\text{per}} = 1000 \times 2.5 \times \left( \frac{60}{2\pi \times 4950} \right) \\ = 4.8 \text{ (g} \cdot \text{mm/kg)}$$

根据式 (1-8-3), 许用不平衡量:

$$U_{\text{per}} = m e_{\text{per}} = 3600 \times 4.8 = 17.3 \times 10^3 \text{ (g} \cdot \text{mm)}$$

第一种情况:

$K = 0.5$  (参考支承处的许用不平衡量与转子许用不平衡量的比例系数)

$R = 1$  (两校正平面 I 及 II 上的许用不平衡量的比例系数)

根据式 (1-8-4)  $U_{\text{per I}} = 9.9 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$

根据式 (1-8-5)  $U_{\text{per I}} = 18.9 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$

根据式 (1-8-6)  $U_{\text{per I}} = 7.7 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$

根据式 (1-8-7)  $U_{\text{per I}} = -18.9 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$

其中绝对值最小的为

$$U_{\text{per I}} = 7.7 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

又因  $U_{\text{per II}} = R U_{\text{per I}}$ , 故

$$U_{\text{per II}} = 7.7 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

转子许用不平衡量为

$$U_{\text{per I}} + U_{\text{per II}} = 15.4 \times 10^3 \text{ (g} \cdot \text{mm)} < U_{\text{per}}$$

第二种情况:

$$K = \frac{900}{2400} \left( \frac{\text{参考支承的静载荷}}{\text{总静载荷或转子的重力}} \right) = 0.38$$

$$R = \frac{700}{400} \left( \frac{\text{校正平面 I 与质心距离}}{\text{校正平面 II 与质心距离}} \right) = 1.75$$

根据式 (1-8-4) ~ 式 (1-8-7), 分别有

$$U_{\text{per I}} = 6.3 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

$$U_{\text{per I}} = 21.8 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

$$U_{\text{per I}} = 6.3 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

$$U_{\text{per I}} = -10.2 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

其中绝对值最小的为

$$U_{\text{per I}} = 6.3 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

又因  $U_{\text{per II}} = R U_{\text{per I}}$ , 故

$$U_{\text{per II}} = 11.0 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

转子许用不平衡量为

$$U_{\text{per I}} + U_{\text{per II}} = 17.3 \times 10^3 \text{ (g} \cdot \text{mm)} \leq U_{\text{per}}$$

### 3.5 转子平衡品质等级在图样上的标注方法 (参考)

在刚性转子的零件图或部件图中标注转子平衡品质等级的规则如下:

- 1) 在图样的标题栏中应明确记入转子质量 (单位 kg)。
- 2) 在图样的技术要求中应写明转子的最高工作转速 (单位 r/min)。
- 3) 校正平面的位置应用细实线标出, 并以尺寸线标明其与基准平面的距离; 当校正平面与某一基准平面重

合时，可以用尺寸界线表示校正平面的位置。

4) 单面（静）平衡以“○”号表示，双面（动）平衡以“◎”号表示。

5) 平衡品质等级应记在由校正平面引出的指引线处，标注内容为平衡符号及平衡品质等级、校正方式。平衡品质等级后可用“:”号加注，对单面平衡可加注许用不平衡度或许用质量偏心距（见图 1-8-6）；对双面平衡可加注许用不平衡量（见图 1-8-7）。双面平衡时，平衡品质等级在任意一个校正平面上标注即可。

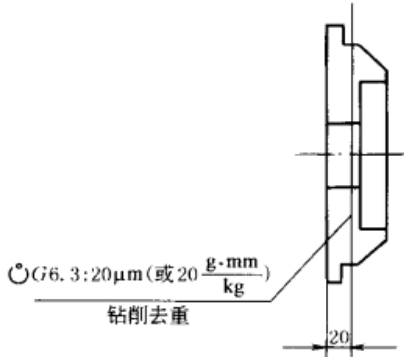


图 1-8-6 单面平衡

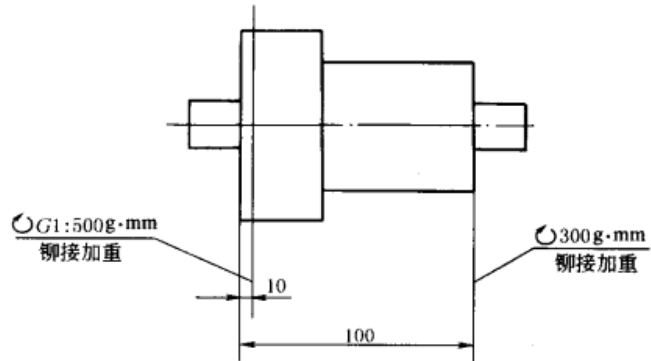


图 1-8-7 双面平衡

## 4 装配通用技术条件（摘自 JB/T 5000.10—1998）

### 4.1 一般要求

- 1) 进入装配的零件及部件（包括外购件、外协件），均必须具有检验部门的合格证方能进行装配。
- 2) 机座、机身等机器的基础件，装配时应校正水平（或垂直）。其校正精度：对结构简单、精度低的机器不低于 0.2mm/1000mm；对结构复杂、精度高的机器不低于 0.1mm/1000mm。

### 4.2 装配连接方式

- 1) 螺母拧紧后，螺栓、螺钉头部应露出螺母端面 2~3 个螺距。
- 2) 沉头螺钉紧固后，沉头不得高出沉孔端面。
- 3) 各种密封毡圈、毡垫、石棉绳、皮碗等密封件装配前必须浸透油。铜纸板用热水泡软。紫铜垫做退火处理。
- 4) 圆锥销装配时应与孔进行涂色检查，其接触率不应小于配合长度的 60%，并应分布均匀。定位销的端面一般应凸出零件表面。带螺尾圆锥销装入相关零件后，其大端应沉入孔内。
- 5) 钩头键、楔键装配后，其接触面积应不小于工作面积的 70%，且不接触部分不得集中于一端。外露部分应为斜面的 10%~15%。
- 6) 花键装配时，同时接触的齿数不少于 2/3，接触率在键齿的长度和高度方向不得低于 50%。滑动配合的平键（或花键）装配后，相配件须移动自如，不得有松紧不均现象。
- 7) 压装的轴或套允许有引入端，其导向锥角 10°~20°，导锥长度等于或小于配合长度的 15%。实心轴压入盲孔时允许开排气槽，槽深不大于 0.5mm。
- 8) 锥轴伸与轴孔配合表面接触应均匀，着色研合检验时其接触率不低于 70%。
- 9) 采用压力机压装时，压力机的压力一般为所需压入力的 3~3.5 倍。压装过程中压力变化应平稳。
- 10) 过盈连接各种装配方法的工艺特点及适用范围见表 5-4-1。
- 11) 胀套连接的螺栓必须使用力矩扳手，并对称、交叉、均匀拧紧。拧紧力矩  $T_A$  值按设计图样或工艺规定，亦可参考表 1-8-4，并按下列步骤进行：①以  $T_A/3$  拧紧；②以  $T_A/2$  拧紧；③以  $T_A$  值拧紧；④以  $T_A$  值检查全部螺栓。

表 1-8-4

一般连接螺栓拧紧力矩

螺栓性能等级	螺 栓 公 称 直 径 /mm													
	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48	56	64	72
	拧紧力矩 $T_A/N \cdot m$													
5.6	3.3	8.5	16.5	28.7	70	136.3	235	472	822	1319	1991	3192	4769	6904
8.8	7	18	35	61	149	290	500	1004	1749	2806	4236	6791	10147	14689
10.9	9.9	25.4	49.4	86	210	409	705	1416	2466	3957	5973	9575	14307	20712
12.9	11.8	30.4	59.2	103	252	490	845	1697	2956	4742	7159	11477	17148	24824

注：1. 适用于粗牙螺栓、螺钉。

2. 拧紧力矩允许偏差为  $\pm 5\%$ 。

3. 预载荷按材料的  $0.7\sigma_s$  计算。

4. 摩擦因数  $\mu = 0.125$ 。

5. 所给数值为使用润滑剂的螺栓，对于无润滑剂的螺栓，其拧紧力矩应为表中值的 133%。

## 4.3 典型部件的装配

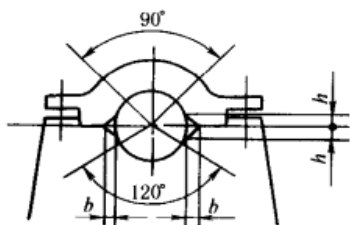
### 4.3.1 滚动轴承

1) 滚动轴承外圈与开式轴承座及轴承盖的半圆孔不准有卡住现象，装配时允许修整半圆孔，修整尺寸不应超过表 1-8-5 的规定值。

表 1-8-5

轴承盖（座）修整尺寸

mm

	轴承外径 $D$	$b_{max}$	$h_{max}$
		$\leq 120$	0.10
	$> 120 \sim 260$	0.15	15
	$> 260 \sim 400$	0.20	20
	$> 400$	0.25	30

2) 滚动轴承外圈与开式轴承座及轴承盖的半圆孔应接触良好，用涂色检验时，与轴承座在对称于中心线  $120^\circ$ 、与轴承盖在对称于中心线  $90^\circ$  的范围内应均匀接触。在上述范围内用  $0.03\text{mm}$  的塞尺检查时，塞尺不得塞入外圈宽度的  $1/3$ 。

3) 滚动轴承内圈端面应紧靠轴向定位面，其允许最大间隙：对圆锥滚子轴承和角接触球轴承为  $0.05\text{mm}$ ；其他轴承为  $0.1\text{mm}$ 。

4) 采用润滑脂的滚动轴承，装配后在轴承空腔内注入相当空腔容积约 50% 的符合规定的清洁润滑脂。凡稀油润滑的轴承，不准加润滑脂。

5) 滚动轴承热装时，其加热温度应不高于  $120^\circ\text{C}$ ；冷装时，其冷却温度应不低于  $-80^\circ\text{C}$ 。

6) 在轴两端采用了径向间隙不可调的向心轴承，且轴向位移是以两端端盖限定时，其一端必须留出间隙  $C$ （见图 1-8-8）。间隙  $C$  的数值可按下列式计算。

$$C = \alpha \Delta t L + 0.15$$

式中  $C$ ——轴承外座圈与端盖间的间隙，mm；

$L$ ——两轴承中心距，mm；

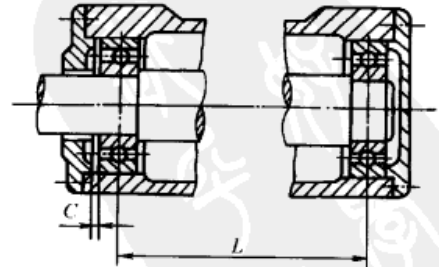


图 1-8-8

$\alpha$ ——轴材料的线胀系数，对钢： $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ；

$\Delta t$ ——轴最高工作时温度与环境温度之差， $^\circ\text{C}$ ；

0.15——轴膨胀后剩余的间隙，mm。

一般情况取  $\Delta t = 40^\circ\text{C}$ ，故装配时只需根据  $L$  尺寸，即可按如下简易公式计算  $C$  值。

$$C = 0.0005L + 0.15$$

7) 单列圆锥滚子轴承、角接触球轴承、双向推力球轴承轴向游隙按表 1-8-6 调整。双列和四列圆锥滚子轴承装配时应检查其轴向游隙，并应符合表 1-8-7 的要求。

表 1-8-6 角接触球轴承、单列圆锥滚子轴承、双列推力球轴承轴向游隙 mm

轴承内径	角接触球轴承轴向游隙		单列圆锥滚子轴承轴向游隙		双列推力球轴承轴向游隙	
	轻系列	中及重系列	轻系列	轻宽、中及中宽系列	轻系列	中及重系列
$\leq 30$	0.02 ~ 0.06	0.03 ~ 0.09	0.03 ~ 0.10	0.04 ~ 0.11	0.03 ~ 0.08	0.05 ~ 0.11
> 30 ~ 50	0.03 ~ 0.09	0.04 ~ 0.10	0.04 ~ 0.11	0.05 ~ 0.13	0.04 ~ 0.10	0.06 ~ 0.12
> 50 ~ 80	0.04 ~ 0.10	0.05 ~ 0.12	0.05 ~ 0.13	0.06 ~ 0.15	0.05 ~ 0.12	0.07 ~ 0.14
> 80 ~ 120	0.05 ~ 0.12	0.06 ~ 0.15	0.06 ~ 0.15	0.07 ~ 0.18	0.06 ~ 0.15	0.10 ~ 0.18
> 120 ~ 150	0.06 ~ 0.15	0.07 ~ 0.18	0.07 ~ 0.18	0.08 ~ 0.20	—	—
> 150 ~ 180	0.07 ~ 0.18	0.08 ~ 0.20	0.09 ~ 0.20	0.10 ~ 0.22	—	—
> 180 ~ 200	0.09 ~ 0.20	0.10 ~ 0.22	0.12 ~ 0.22	0.14 ~ 0.24	—	—
> 200 ~ 250	—	—	0.18 ~ 0.30	0.18 ~ 0.30	—	—

表 1-8-7 双列、四列圆锥滚子轴承的轴向游隙 mm

轴承内径	双 列		四 列			
	一般情况	内圈比外圈温度高 25 ~ 30 $^\circ\text{C}$	轴承内径	轴向游隙	轴承内径	轴向游隙
$\leq 80$	0.10 ~ 0.20	0.30 ~ 0.40	> 120 ~ 180	0.15 ~ 0.25	> 500 ~ 630	0.30 ~ 0.40
> 80 ~ 180	0.15 ~ 0.25	0.40 ~ 0.50	> 180 ~ 315	0.20 ~ 0.30	> 630 ~ 800	0.35 ~ 0.45
> 180 ~ 225	0.20 ~ 0.30	0.50 ~ 0.60	> 315 ~ 400	0.25 ~ 0.35	> 800 ~ 1000	0.35 ~ 0.45
> 225 ~ 315	0.30 ~ 0.40	0.70 ~ 0.80	> 400 ~ 500	0.30 ~ 0.40	> 1000 ~ 1250	0.40 ~ 0.50
> 315 ~ 580	0.40 ~ 0.50	0.90 ~ 1.00				

#### 4.3.2 滑动轴承

1) 上、下轴瓦的结合面要紧密贴合，用 0.05mm 塞尺检查不能插入。轴瓦垫片应平整，无棱刺，形状与瓦口相同，其宽度和长度比瓦口面的相应尺寸小 1 ~ 2mm；垫片与轴颈必须有 1 ~ 2mm 的间隙，两侧厚度应一致，其允差应小于 0.2mm。

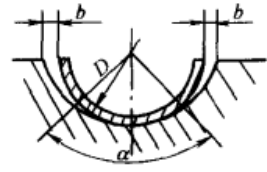
2) 用定位销固定轴瓦时，应在保证瓦口面和端面与相关轴承孔的开合面和端面保持平齐状态下钻铰、配销。销打入后不得松动，销端面应低于轴瓦内孔 1 ~ 2mm。

3) 上、下轴瓦外圆与相关轴承座孔应接触良好，在允许接触角内的接触率应符合表 1-8-8 的要求。

表 1-8-8

上、下轴瓦外圆与相关轴承座孔的接触要求

项 目		接 触 要 求	
		上 瓦	下 瓦
接触角 $\alpha$	稀油润滑	$130^\circ \pm 5^\circ$	$150^\circ \pm 5^\circ$
	油脂润滑	$120^\circ \pm 5^\circ$	$140^\circ \pm 5^\circ$
$\alpha$ 角内接触率		$\geq 60\%$	$\geq 70\%$
瓦侧间隙 $b$		$D \leq 200\text{mm}$ 时, 0.05mm 塞尺不准塞入	
		$D > 200\text{mm}$ 时, 0.10mm 塞尺不准塞入	

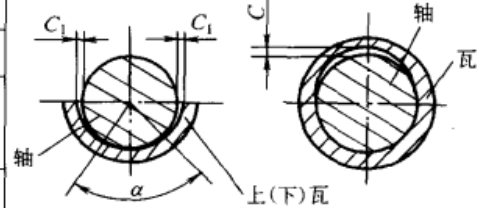


4) 上、下轴瓦内孔与相关轴颈接触角  $\alpha$  以外的部分均需加工出油楔 (如表 1-8-9 图示的  $C_1$ )，楔形从瓦口开始由最大逐步过渡到零，楔形最大值按表 1-8-9 规定。

表 1-8-9

上、下轴瓦油楔尺寸

油 楔 最 大 值 $C_1$	
稀油润滑	$C_1 \approx C$
油脂润滑	距瓦两端面 10~15mm 范围内, $C_1 \approx C$
	中间部位 $C_1 \approx 2C$



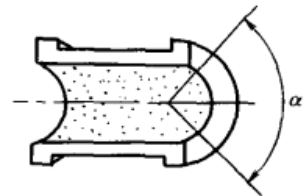
注:  $C$  值为轴的最大配合间隙。

5) 轴瓦内孔刮研后, 应与相关轴颈接触良好, 在接触角范围内的接触斑点按表 1-8-10 规定。合金轴承衬的刮研接触要求也按表 1-8-10 规定, 但刮削量不得大于合金轴承衬壁厚的 1/30。

表 1-8-10

上、下轴瓦内孔与相关轴颈的接触要求

接触角 $\alpha$		$\alpha$ 范围内接触点数 (25mm × 25mm 范围)			
		轴转速 $/r \cdot \text{min}^{-1}$	轴瓦内径/mm		
			$\leq 180$	$> 180 \sim 360$	$> 360 \sim 500$
稀油润滑 $120^\circ$	油脂润滑 $90^\circ$	$\leq 300$	4	3	2
		$> 300 \sim 500$	5	4	3
		$> 500 \sim 1000$	6	5	4
		$> 1000$	8	6	5



6) 球面轴承的轴承体与球面座应均匀接触, 用涂色法检查, 其接触率不应小于 70%。

7) 整体轴套的装配, 可根据过盈的大小采用压装或冷装。

8) 轴套装入机件后, 轴套内径与轴配合应符合设计要求, 必要时可通过适当修刮来保证。两件结合面经着色研合, 接触痕迹应均匀分布, 其未接触部分按限定区域内不得超过表 1-8-11 中限定的方块值。

表 1-8-11

均匀接触限定值

mm

长度参数范围	限定方块值	长度参数范围	限定方块值
$\leq 200$	25 × 25	$> 800 \sim 1600$	80 × 80
$> 200 \sim 400$	40 × 40	$> 160$	100 × 100
$> 400 \sim 800$	60 × 60		

注: 1. 长度参数范围系指长方形平面的长度, 对于圆柱面和弧面按其展开图形的长度。

2. 如果结合面宽度尺寸小于或等于所选范围中限定方块值的边长时, 可降到相应结合面的宽度大于限定方块值边长的范围使用。



### 4.3.3 齿轮与齿轮箱装配

1) 齿轮(蜗轮)基准端面与轴肩(或定位套端面)应贴合,用0.05mm塞尺检查不能插入,并应保证齿轮基准端面与轴线的垂直度要求。

2) 相啮合的圆柱齿轮副的轴向错位应符合如下规定:当齿宽 $B \leq 100\text{mm}$ 时,错位 $\Delta B \leq 0.05B$ ;当齿宽 $B > 100\text{mm}$ 时,错位 $\Delta B \leq 5\text{mm}$ 。

3) 齿轮(蜗轮)副啮合时的齿面接触斑点不小于表1-8-12的规定。接触斑点的分布位置应趋近于齿面中部,齿顶和齿端棱边不允许有接触。

表 1-8-12 齿面接触斑点 %

精度等级	圆柱齿轮		圆锥齿轮		蜗 轮	
	沿齿高	沿齿长	沿齿高	沿齿长	沿齿高	沿齿长
5	55	80	65 ~ 85	60 ~ 80	65	60
6	50	70	55 ~ 75	50 ~ 70		
7	45	60			40 ~ 70	30 ~ 65
8	40	50				
9	30	40	45	40		
10	25	30				
11	20	30	30 ~ 60	25 ~ 55	30	30

4) 齿轮(蜗轮)副装配后应检查齿侧间隙,并符合图样或工艺要求。圆锥齿轮应按加工配对编号装配。

5) 齿轮箱与盖的结合面应接触良好。在自由状态下,箱盖与箱体的间隙不应超过表1-8-13的规定值;紧固后用0.05mm塞尺检查,局部塞入不应超过结合面宽的1/3。

表 1-8-13 箱盖与箱体在自由状况下的允许间隙 mm

齿轮箱长度	$\leq 1000$	$> 1000 \sim 2000$	$> 2000 \sim 3000$	$> 3000 \sim 4000$
箱体与箱盖间隙	$\leq 0.08$	$\leq 0.12$	$\leq 0.15$	$\leq 0.20$

### 4.3.4 带和链传动装配

1) 平行传动轴的带轮,两轴线平行度允差为 $(0.15/1000)L$ ( $L$ 为两轴中心距),两轮的轮宽中间平面应在同一平面上,允差为0.5mm。

2) 主动链轮与从动链轮的轮齿几何中心线应重合,其偏移误差 $C \leq 0.015L$ ( $L$ 为两链轮的中心距),如图1-8-9所示。

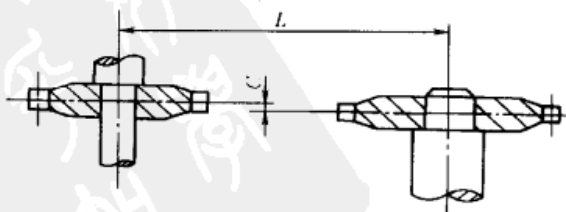


图 1-8-9

3) 链条非工作边的初垂度,按两链轮中心距的1%~5%调整。

### 4.3.5 联轴器装配

- 1) 刚性联轴器装配时, 两轴线的径向位移应小于 0.3mm。
- 2) 挠性、齿式、轮胎、链条联轴器装配时, 其装配精度应符合表 1-8-14 的规定。

表 1-8-14 联轴器装配精度 mm

联轴器轴孔直径	两轴线的同轴度允差(圆周跳动)	两轴线的角度偏差
≤100	0.05	0.05°
>100 ~ 180		
>180 ~ 250		
>250 ~ 315	0.10	0.10°
>315 ~ 450		
>450 ~ 560		
>560 ~ 630	0.15	0.20°
>630 ~ 710		
>710 ~ 800		
	0.20	0.25°
		0.30°

- 注: 1. 两个半联轴器均须进行转动测量, 这样可以补偿其外圆的圆度偏差。  
 2. 用百分表测量, 两轴径间差值是表列公差之半。  
 3. 两轴线的角度偏差, 可用百分表或塞尺检查联轴器两法兰间的间隙偏差。

### 4.3.6 制动器、离合器装配

- 1) 制动带与制动板铆接后必须贴紧, 局部间隙应符合以下要求:
  - ① 制动轮直径 < 500mm 时, 局部间隙 ≤ 0.3mm;
  - ② 制动轮直径 ≥ 500mm 时, 局部间隙 ≤ 0.5mm;
  - ③ 塞尺插入深度小于等于带宽的 1/3, 且全长上不得多于 2 处。
- 2) 制动带与制动板铆接时, 铆钉头应埋入制动带厚度的 1/3, 制动带不许有铆裂现象。
- 3) 带式制动器在自由状态时, 制动带与制动轮之间的间隙为 1 ~ 2mm。
- 4) 块式制动器在自由状态时, 制动块与制动轮之间的间隙为 0.25 ~ 0.50mm。
- 5) 片式摩擦离合器在自由状态时, 主动盘与被动盘必须彻底分离。
- 6) 干式摩擦片必须干燥、清洁, 工作面不允许沾上油污和杂物。
- 7) 离合器的摩擦片接触面积不小于总摩擦面积的 75%。

## 4.4 平衡试验及其他

- 1) 有平衡力矩要求的零、部件, 装配时应按规定进行静平衡或动平衡试验。
- 2) 对有静平衡试验要求, 而未注明具体要求时, 则按 GB/T 9239—1988《刚性转子平衡品质许用不平衡的确定》中 G16 级执行。
- 3) 对组合式转动体, 经总体平衡后不得再任意移动、调换零件。

表 1-8-15 刮研表面接触斑点

滑动速度 /m · s <sup>-1</sup>	接触面积/m <sup>2</sup>	
	≤0.20	>0.20
	接触点数(25mm × 25mm 范围)	
≤0.50	3	2
>0.50 ~ 1.50	4	3

4) 相关两个平面需要互研时, 只有在两个平面各自按平板或平尺刮研接近合格后方准互研。被刮研表面的接触斑点不少于表 1-8-15 的规定。

## 4.5 总装及试车

1) 产品出厂前必须进行总装。对于特大型产品或成套设备, 因受制造厂条件所限而不能总装的, 应进行试装。试装时必须保证所有连接或配合部位均符合设计要求。

2) 产品总装后均应按产品标准和有关技术文件的规定进行试车和检验。对于特大型产品或成套设备, 因受制造厂条件限制而不能试车时, 则应按有关合同或协议执行。

3) 产品的运转为双向旋转的, 必须双向试车; 运转为单向的, 试车方向必须与工作方向一致。

4) 凡机器产品 (包括成套设备中的单机) 都应在装配后进行空运转试车 (包括手动盘车试验)。单机空运转试车时, 对需手动盘车的设备, 应不少于 3 个全行程; 对连续运转的设备, 试车时间不少于 2h; 对往复运动的设备, 全行程往复不少于 5 次。对有多种动作程序的设备, 各动作要进行联动程序的连续操作或模拟操作, 运转 5 次以上, 各动作应平稳、到位、无故障。

5) 载荷及工艺性试车按产品标准、技术文件或合同规定进行。

6) 在试车过程中轴承温度应符合图样或工艺要求, 在图样及工艺没有规定时, 应符合表 1-8-16 规定。

7) 有压力要求的设备 (如液压机), 应对密封及系统进行密封耐压试验。其试验压力为工作压力的 100% ~ 125%, 保压 5 ~ 10min, 不得渗漏。

表 1-8-16

轴承试车时的温升要求

℃

项 目		温 升	最高温度
滚动轴承	空运转试车	≤35	≤85
	载荷试车	≤45	≤85
滑动轴承	空运转试车	≤20	≤70
	载荷试车	≤30	≤70

注: 1. 最高温度包括室温。

2. 运转规定时间内每相隔 30min 测温 1 次, 做好记录。若 30min 内温度变化 ≤0.5℃, 则为最终温度。

## 5 配管通用技术条件 (摘自 JB/T 5000.11—1998)

1) 本标准适用于油润滑、脂润滑、液压、气动和工业用水配管。但不适用于压力容器配管。

2) 管子应用锯切割, 也可以使用砂轮切割, 但不允许使用火焰切割。

3) 弯曲半径  $R$  见《焊接件通用技术要求》(JB/T 5000.3—1998)。管子弯曲后的各段尺寸及总长偏差均不大于 ±2mm (见图 1-8-10)。弯制焊接钢管时, 应使焊缝位于弯曲方向的侧面。

4) 同一机体上排列的各种管道应相互不干涉, 并便于拆装。同平面交叉的管道不得接触。

5) 装配前, 所有钢管 (包括预制成型管道) 都要进行脱脂、酸洗、中和、水洗及防锈处理。焊接后的不锈钢管只用酸洗, 不进行防锈处理。不锈钢管及铜管不用酸洗, 也不进行防锈处理。除锈要达到 JB/T 5000.12—1998《涂装通用技术条件》中附录 A 规定的 Be 级。

6) 工业用水管道经酸洗、预装完成后, 要进行通水冲洗检验 (阀类件除外), 保证达到管道清洁度要求, 见表 1-8-17; 对于脂润滑系统, 在配管完成后, 拆下各给脂装置 (分配阀等) 入口的连接, 进行油脂清洗, 直至流出的油脂清洁无异色后再进行连接; 对于普通油润滑、液压系统应通油清洗, 清洗一段时间后用清洗液清洗过的烧杯或玻璃杯采 100mL 的清洗液放在明亮的场所 30min 后, 目测确认无杂质后为合格。对于清洁度高于此要求的油润滑、液压系统应在图样上注明。

7) 管螺纹部位缠绕密封带时, 应从根部往前右方向缠绕, 顶端剩 1~2 牙, 见图 1-8-11。对小于  $\frac{1}{8}$ " 的管螺纹, 在缠绕密封胶带时, 用  $\frac{1}{2}$  胶带宽度进行缠绕。

8) 采用卡套式管接头连接的钢管应先酸洗, 然后将卡套预先紧固在管端上。卡套式管接头应按 GB/T 3765—1983《卡套式管接头技术条件》中附录 A 装配。

表 1-8-17

管道名称	入口压力、流量	出口处液体状态	出口液体过滤要求	备注
等通径的工业用水管道	选择适当的压力和流量,使管内液体达到紊流状态	液柱离开管口水平喷射长度不小于100mm	用180~240目的过滤网接2min,目测,无残留物为合格	在冲洗过程中,用木棒或塑料棒逐段敲击,使杂质冲洗下去

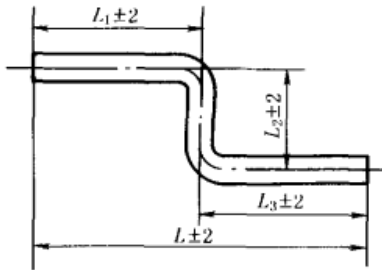


图 1-8-10 管子弯曲后的尺寸偏差

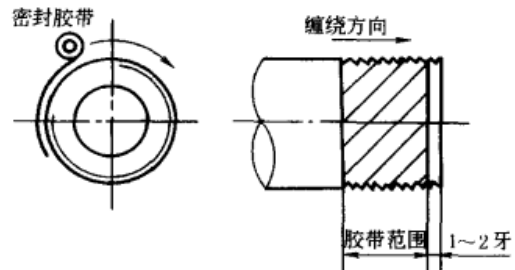


图 1-8-11 管螺纹部分密封带的缠绕

9) 预制完成的管子焊接部位都要进行耐压试验。试验压力为工作压力的1.5倍,保压10min,应无泄漏及其他异常现象发生。试验完成的管子应打标记。

10) 对装配完成的管道按不同的系统做密封及耐压试验,试验压力见表1-8-18。

表 1-8-18 管道系统试验压力

管道系统		试验压力			保压时间 /min	试压后要求
脂润滑	双线式系统	$1.25p_s$			10	检查各处应无泄漏
	非双线式系统	$p_s$				
油润滑		$1.25p_s$			10	降至工作压力进行全面检查,应无泄漏及其他异常现象发生
气压		$1.15p_s$			10	降至工作压力进行全面检查,应无泄漏和变形
液压及工业用水		$p_s < 16.0$	$p_s = 16 \sim 31.5$	$p_s > 31.5$	10	应无泄漏
		$1.50p_s$	$1.25p_s$	$1.15p_s$		

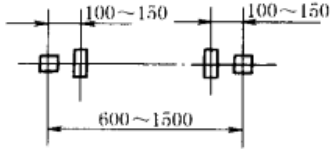
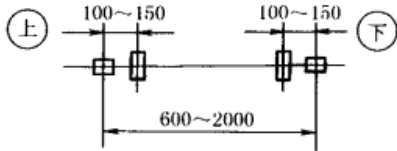
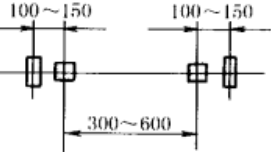
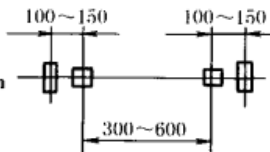
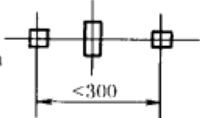
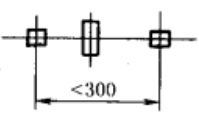
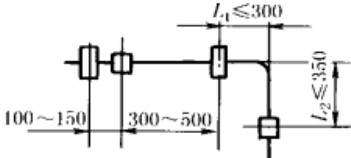
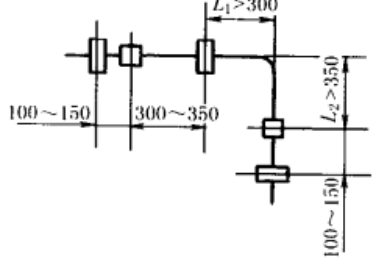
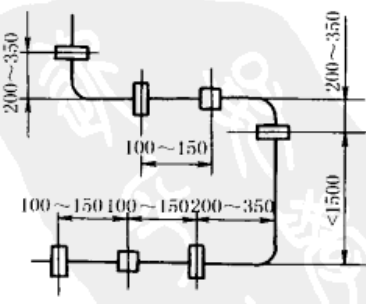
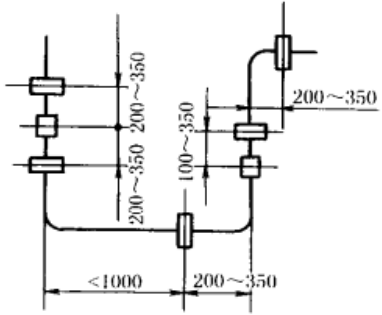
注: 1.  $p_s$  为系统工作压力, MPa。

2. 试压时要逐级增压(5MPa为一级),每级持续2~3min,严禁超压。达到试验压力后,保压时间按表中规定。

11) 固定管件的管夹装配位置及装配方法见表1-8-19。

表 1-8-19 管夹装配位置及装配方法

配管类型	管 夹 的 装 配 位 置	
	水 平 配 管	垂 直 配 管
连续直线配管没有接头的场合	间隔小于1500mm 	间隔小于2000mm 

配管类型	管 夹 的 装 配 位 置	
	水 平 配 管	垂 直 配 管
连续直线配管有管接头的场合	接头间隔 600 ~ 1500mm 	接头间隔 600 ~ 2000mm 
	接头间隔 300 ~ 600mm 	接头间隔 300 ~ 600mm 
	接头间隔小于 300mm 	接头间隔小于 300mm 
不是直线配管的场合	当 $L_1$ 不大于 300mm, 且 $L_2$ 不大于 350mm 时 	当 $L_1$ 大于 300mm, 且 $L_2$ 大于 350mm 时 
	其他情况的配管 	


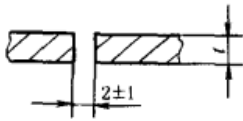

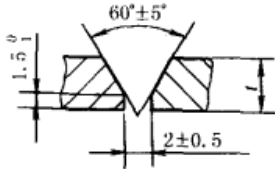
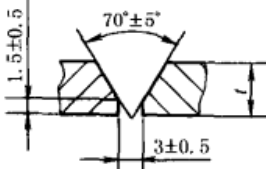

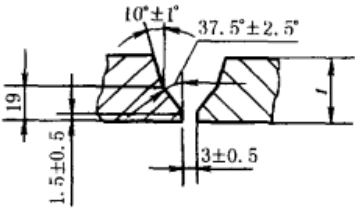
- 注：1. 本表适用于管子直径不大于 25mm 的配管用管夹的装配。  
 2. 固定管件用的支架、管夹等，可按实际需要调整并确定其位置。  
 3. 运转（包括试运转）时，如管子的振动振幅大于 1mm，应在其发生最大振幅附近装配管夹。

12) 完全按图样预装完成的管道, 要结合总装要求, 留出调整管, 最后确定尺寸。

13) 焊接钢管时, 对于液压、润滑管道必须用钨极氩弧焊或钨极氩弧焊打底, 压力超过 21MPa 时应同时在管内部通约 5L/min 氩气。其他管道一般也采用钨极氩弧焊打底。焊缝单面焊双面成形。焊缝不得有未熔合、未焊透、夹渣等现象出现。配管对接焊的坡口形状、尺寸见表 1-8-20。

表 1-8-20

mm

管壁厚 $t$	焊缝符号	图 示	用药皮焊条焊接的坡口形状	用气体保护焊焊接的坡口形状
$\leq 2.0$	I形焊缝 			
$> 2.0 \sim 20$	Y形焊缝 Y			
$> 20$	U形焊缝 U			

14) 支座等部件点焊定位时, 点焊长度  $L_1$  为 6 ~ 10mm, 点焊距离  $L$  为 100mm, 见图 1-8-12。管子点焊定位时可沿圆周均匀点焊 3 ~ 4 点。

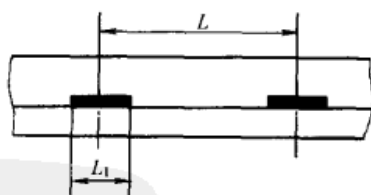


图 1-8-12 点焊定位

15) 管道应设放气阀, 充液体的管道内气体应排尽, 泵和管道末端各装一块压力表 (刻度极限值应大于试验压力的 1.5 倍)。

16) 严禁用管道 (特别是装有易燃介质的管道) 作为地线。

# 第 9 章 工程用塑料和粉末冶金零件设计要素

## 1 工程用塑料零件设计要素

### 1.1 塑料分类、成形方法及应用

塑料按其热性能可分为热塑性和热固性两类。

热塑性塑料的特点是遇热软化或熔融，冷却后又变硬，这一过程可以反复多次。典型产品有聚氯乙烯、聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲（有机玻璃）、ABS、聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、氯化聚醚、聚砜、氟塑料等。

热固性塑料的特点是在一定温度下，经过一定时间的加热或加入固化剂即可固化，质地坚硬，既不溶于溶剂，也不能用加热的方法使之再软化。典型产品有酚醛塑料、环氧树脂、不饱和聚酯树脂、氨基塑料和呋喃树脂等。

塑料按功能可分为通用性塑料、工程塑料和功能性塑料。

通用性塑料的特点是原料来源丰富，产量大，应用面广，价格便宜，成形加工容易，如 PVC、PE、PP、PS 等。

工程塑料的特点是力学性能、耐高低温性能、电性能等的综合性能好，可以代替金属作某些工程结构材料，如聚酰胺、ABS、聚碳酸酯、聚甲醛、热塑性聚酯等。

功能性塑料的特点是具有某种特殊的物理功能，如耐高温、耐烧蚀、耐辐射、导电、导磁、耐蚀、自润滑等，如聚酰亚胺、聚芳砜、聚苯硫醚、聚苯醚、聚四氟乙烯等。

表 1-9-1 塑料主要成形方法、特点及应用

成形方法	特 点	应 用
模压成形	将塑料粉及增强、耐磨、耐热等填充材料置于金属模中，用加压、加热方法制得一定形状的塑料制品	一般用于热固性塑料的成形，也适于热塑性塑料的成形
注塑成形	将颗粒状或粉状塑料置于注射机料筒内加热，使其软化后用推杆或旋转螺杆施加压力，使料筒内的物料自料筒末端的喷嘴注射到所需形状的模具中，然后冷却起模，即得所需的制品。该法适宜于加工形状复杂及大批量的制件，成本低，速度快	用于聚乙烯、ABS、SAS、聚酰胺、聚丙烯、聚苯乙烯、硬聚氯乙烯、聚碳酸酯、聚甲醛、氯化聚醚等热塑性塑料的成形。可制作形状复杂的零件。近来酚醛树脂等热固性树脂也可采用注塑成形
挤出成形	将颗粒状或粉状塑料由加料漏斗连续地加入带有加热装置的料筒中，受热软化后，用旋转的螺杆连续从模口挤出（模口的形状即为所需制品的断面形状，其长度视需要而定），冷却定型后即所需制品	用于硬聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、ABS、AS、聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯等加工成连续的管、棒、片或特种断面的制品
浇注成形	将加有填料或未加填料的流动状态树脂倒入具有一定形状的模具中，在常压或低压下置于一定温度的烘箱中烘焙使其固化，即得所需形状的制品	用于酚醛树脂、环氧树脂等热固性塑料的成形，也适用于 MC 尼龙、聚酰胺等热塑性塑料的成形。可制作大型复杂的零件
吹塑成形	先将已制成的片材、管材塑料加热软化或直接把挤压、注射成形出来的熔融状态的管状物，置于模具内，吹入压缩空气，使塑料处在高于弹性变形温度而又低于其流动温度下吹成所需的空心制品	用于聚乙烯、软聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等热塑性塑料的成形。可制作瓶子和薄壁空心制品及其他特定形状的空心制品
真空成形	将已制成的塑料片加热到软化温度，借真空的作用使之紧贴于模具上，经过一定时间的冷却使其保持模具的形状，即得所需制品	用于聚碳酸酯、聚砜、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS 等热塑性塑料的成形。可制作薄壁的杯、盘、罩、盖、壳、盒等敞口制品

## 1.2 工程常用塑料的选用

1) 根据零件使用特点和要求, 以及拟选用的塑料本身的化学、物理、力学等性能, 以及成形方法等进行综合分析后合理选用。表 1-9-2 为不同用途的零件所选用的材料。

表 1-9-2

用途	要求	应用举例	材 料
一般结构零件	强度和耐热性无特殊要求, 一般用来代替钢材或其他材料, 但由于批量大, 要求有较高的生产率, 成本低, 有时对外观有一定要求	汽车调节器盖及喇叭后罩壳、电动机罩壳、各种仪表罩壳、盖板、手轮、手柄、油管、管接头、紧固件等	低压聚乙烯、聚氯乙烯、改性聚苯乙烯(203A、204)、ABS、高冲击聚苯乙烯、聚丙烯等。这些材料只承受较低的载荷, 当受力小时, 大约在 60 ~ 80℃ 范围内使用
	同上, 并要求有一定的强度	罩壳、支架、盖板、紧固件等	聚甲醛、聚碳酸酯、聚酰胺、ABS、高冲击聚苯乙烯、玻璃增强聚丙烯、尼龙 1010
透明结构零件	除上述要求外, 必须具有良好的透明度	透明罩壳、汽车用各类灯罩、油标、油杯、视镜、光学镜片、信号灯、防爆灯、防护玻璃以及透明管道等	改性有机玻璃(372、613)、有机玻璃、AS 树脂、改性聚苯乙烯(204、203A)、聚苯乙烯、聚碳酸酯、热塑性聚酯
耐磨受力传动零件	要求有较高的强度、刚性、韧性、耐磨性、耐疲劳性, 并有较高的热变形温度、尺寸稳定	轴承、齿轮、齿条、蜗轮、凸轮、辘子、联轴器等	尼龙、MC 尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、聚酚氧、氯化聚醚、增强聚丙烯、聚苯硫醚等。这类塑料的拉伸强度都在 60MPa 以上, 使用温度可达 80 ~ 120℃
减摩自润滑零件	对机械强度要求往往不高, 但运动速度较高, 故要求具有低的摩擦因数, 优异的耐磨性和自润滑性	活塞环、机械动密封圈、填料、轴承等	聚四氟乙烯、填充的聚四氟乙烯、聚四氟乙烯填充的聚甲醛、聚全氟乙丙烯(F-46)、含油聚甲醛、超高分子量聚乙烯等; 在小载荷、低速时可采用低压聚乙烯
耐高温结构零件	除耐磨受力传动零件和减摩自润滑零件要求外, 还必须具有较高的热变形温度及高温抗蠕变性	高温工作的结构传动零件, 如汽车分速器盖、轴承、齿轮、活塞环、密封圈、阀门、阀杆、螺母等	聚砜、聚苯醚砜、氟塑料(F-4、F-46)、聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚四氟乙烯、石墨填充的聚苯醚砜和聚芳砜, 以及各种玻璃纤维增强塑料等。这些材料都可在 150℃ 以上使用
耐蚀设备与零件	对酸碱和有机溶剂等化学药品具有良好的耐蚀能力, 还具有一定的机械强度	化工容器、管道、阀门、泵、风机、叶轮、搅拌器以及它们的涂层或衬里等	聚四氟乙烯、聚全氟乙丙烯(F-46)、聚三氟氯乙烯(F-3)、氯化聚醚、ABS、聚氯乙烯、聚碳酸酯、低压聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚苯硫醚、酚醛塑料等

2) 由于塑料的导热性很差, 故选用时必须注意设计最有利的散热条件, 如采取以金属为基体的再复合塑料, 必须在塑料中加入导热性能良好的填充剂或采取利于散热的金属结构设计等。

3) 和金属材料一样, 当作为轴承材料时, 每种塑料均有其最高的使用速度 ( $v$ ) 及载荷 ( $p$ ), 即  $pv^\alpha =$  常数。不同塑料的  $\alpha$  值不相同, 如尼龙  $\alpha = 1.47$ , 聚甲醛  $\alpha = 1.2$ 。在设计使用时, 必须注意根据所采用的材料来决定其载荷、速度范围。同时还必须注意, 各种塑料均有其压力和速度极限, 如超过此极限, 不论在任何固定的速度或载荷条件下, 即使其  $pv$  乘积不超过允许的  $pv$  值, 也不能使用。材料篇列有几种适宜作为轴承的塑料及其有关性能。

4) 由于塑料受热易膨胀变形, 故在设计轴承等零件时, 必须考虑有足够的配合间隙, 一般约为  $0.005d$  ( $d$  为轴承直径), 但不同的塑料其配合间隙也不尽相同。常用几种塑料轴承的配合间隙见表 1-9-16 和表 1-9-17。



### 1.3 工程用塑料零件的结构要素

表 1-9-3 几种塑料的起模斜度 (推荐值)

塑料名称	起模斜度
聚乙烯、聚丙烯、软聚氯乙烯	30' ~ 1°
ABS、聚酰胺、聚甲醛、氟化聚醚、聚苯醚	40' ~ 1°30'
硬聚氯乙烯、聚碳酸酯、聚砜	50' ~ 2°
聚苯乙烯、有机玻璃	50' ~ 2°
热固性塑料	20' ~ 1°

表 1-9-5 热固性塑料零件的壁厚 (推荐值)

塑料名称	零件高度尺寸 mm		
	<50	50 ~ 100	>100
粉状填料的酚醛塑料	0.7 ~ 2.0	2.0 ~ 3.0	5.0 ~ 6.5
纤维状填料的酚醛塑料	1.5 ~ 2.0	2.5 ~ 3.5	6.0 ~ 8.0
氨基塑料	1.0	1.3 ~ 2.0	3.0 ~ 4.0
聚酯玻璃纤维塑料	1.0 ~ 2.0	2.4 ~ 3.2	>4.8
聚酯无机物填料的塑料	1.0 ~ 2.0	3.2 ~ 4.8	>4.8

表 1-9-7 加强筋

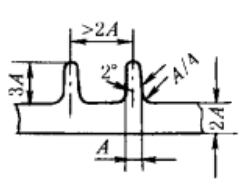
	底部宽度	高度	两筋之间中心距
		A	≤3A

表 1-9-9 孔的尺寸关系 (最小值)

孔径 d	孔深与孔径比 h/d		边距尺寸		盲孔的最小厚度 h <sub>1</sub>
	零件边孔	零件中孔	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	
≤2	2.0	3.0	0.5	1.0	1.0
>2 ~ 3	2.3	3.5	0.8	1.25	1.0
>3 ~ 4	2.5	3.8	0.8	1.5	1.2
>4 ~ 6	3.0	4.8	1.0	2.0	1.5
>6 ~ 8	3.4	5.0	1.2	2.3	2.0
>8 ~ 10	3.8	5.5	1.5	2.8	2.5
>10 ~ 14	4.6	6.5	2.2	3.8	3.0
>14 ~ 18	5.0	7.0	2.5	4.0	3.0
>18 ~ 30	—	—	4.0	4.0	4.0
>30	—	—	5.0	5.0	5.0

当 b<sub>2</sub> ≥ 0.3mm 时, 采用 h<sub>2</sub> ≤ 3b<sub>2</sub>

表 1-9-4 零件不同表面的起模斜度 (推荐值)

表面部位	连接零件与薄壁零件	其他零件
外表面	15'	30' ~ 1°
内表面	30'	1° ~ 2°
孔(深度 < 1.5d)	15'	30' ~ 1°
加强筋凸缘等	2°、3°、5°、10°	

表 1-9-6 热塑性塑料零件的壁厚 (推荐值)

塑料名称	mm			
	最小壁厚	小型零件	中型零件	大型零件
聚酰胺	0.45	0.76	1.5	2.4 ~ 3.2
聚乙烯	0.60	1.25	1.6	2.4 ~ 3.2
聚苯乙烯	0.75	1.25	1.6	3.2 ~ 5.4
有机玻璃(372)	0.80	1.50	2.2	4.0 ~ 6.5
硬聚氯乙烯	1.20	1.60	1.8	3.2 ~ 5.8
聚丙烯	0.85	1.45	1.75	2.4 ~ 3.2
聚碳酸酯	0.95	1.80	2.3	3.0 ~ 4.5
聚甲醛	0.80	1.40	1.6	3.2 ~ 5.4
氟化聚醚	0.90	1.35	1.8	2.5 ~ 3.4
聚苯醚	1.20	1.75	2.5	3.5 ~ 6.4
聚砜	0.95	1.80	2.3	3.0 ~ 4.5

注: 最小壁厚值可随成形条件而变。

表 1-9-8 塑料零件壁厚与最佳厚度的关系

塑料名称	mm				
	<20	20 ~ 50	50 ~ 80	80 ~ 150	150 ~ 250
聚酰胺模塑粉	0.8	1.0	1.3 ~ 1.5	3.0 ~ 3.5	4.0 ~ 6.0
纤维增强塑料		1.5	2.5 ~ 3.5	4.0 ~ 6.0	6.0 ~ 8.0
耐高温塑料	0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 3.0
酚醛塑料压塑粉		1.0 ~ 1.5	2.0 ~ 2.5	5.0 ~ 6.0	

表 1-9-10 开孔最小直径  
(当孔深  $h \leq 2d$  时)

mm	
材 料	$d_{min}$
聚酰胺	0.5
其他热塑性塑料	0.8
玻璃纤维增强塑料	1.0
塑压料	1.5
纤维塑料	2.5
酚醛塑料	4.0

表 1-9-11 螺孔的尺寸关系 (最小值)

螺 纹 直 径 $d$	边 距 尺 寸		盲 螺 纹 孔 最 小 底 厚
	$b_1$	$b_2$	$h_1$
	$\leq 3$	1.3	2.0
$> 3 \sim 6$	2.0	2.5	3.0
$> 6 \sim 10$	2.5	3.0	3.8
$> 10$	3.8	4.3	5.0

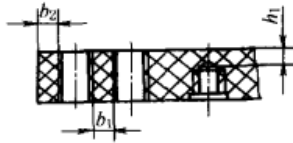


表 1-9-12

螺纹退刀尺寸

mm

螺 纹 直 径 $d_0$	螺 距 $S$		
	$\leq 0.5$	$> 0.5 \sim 1$	$> 1$
	退 刀 尺 寸 $l$		
$\leq 10$	1	2	3
$> 10 \sim 20$	2	2	4
$> 20 \sim 34$	2	4	6
$> 34 \sim 52$	3	6	8
$> 52$	3	8	10

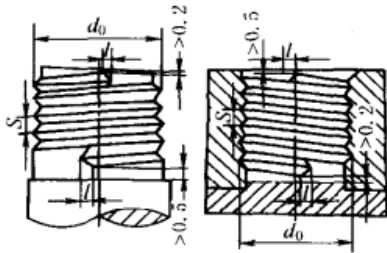


表 1-9-13

滚花尺寸 (推荐值)

mm

零 件 直 径 $D$	滚 花 的 距 离		$\frac{D}{H}$
	齿 距 $t$	半 径 $R$	
$\leq 18$	1.2 ~ 1.5	0.2 ~ 0.3	1
$> 18 \sim 50$	1.5 ~ 2.5	0.3 ~ 0.5	1.2
$> 50 \sim 80$	2.5 ~ 3.5	0.5 ~ 0.7	1.5
$> 80 \sim 120$	3.5 ~ 4.5	0.7 ~ 1	1.5

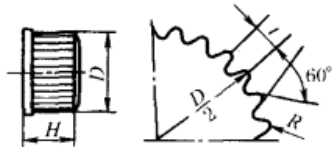
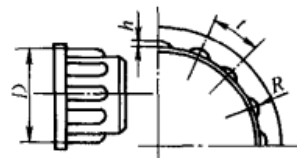


表 1-9-14

条纹设计推荐尺寸

mm

细 条 纹					粗 条 纹			
零件直径 $D$	$\leq 18$	$> 18 \sim 50$	$> 50 \sim 80$	$> 80 \sim 120$	$\leq 18$	$> 18 \sim 50$	$> 50 \sim 80$	$> 80 \sim 120$
齿 距 $t$	1.2 ~ 1.5	1.5 ~ 2.5	2.5 ~ 3.5	3.5 ~ 4.5	4R			
半 径 $R$	0.2 ~ 0.3	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 0.7	0.7 ~ 1.0	0.3 ~ 1.0	0.5 ~ 4.0	1.0 ~ 5.0	2.0 ~ 6.0
齿 高 $h$	约 0.86t				0.8R			



### 1.4 塑料零件的尺寸公差和塑料轴承的配合间隙

塑料零件的尺寸精度受各方面因素的影响。主要因素是塑料的收缩率、成形条件、几何形状、模具的制造精度等。塑料零件的尺寸公差推荐值见表 1-9-15。

表 1-9-15

塑料零件尺寸公差推荐值

mm

公称尺寸范围	热固性塑料零件及 热塑性塑料中收缩范围小的零件			热塑性塑料中收缩范围大的零件		
	精密级	中级	自由尺寸级	精密级	中级	自由尺寸级
≤6	0.06	0.10	0.20	0.08	0.14	0.24
>6~10	0.08	0.16	0.30	0.12	0.20	0.34
>10~18	0.10	0.20	0.40	0.16	0.26	0.44
>18~30	0.16	0.30	0.50	0.24	0.38	0.60
>30~50	0.24	0.40	0.70	0.36	0.56	0.80
>50~80	0.36	0.60	0.90	0.52	0.70	1.20
>80~120	0.50	0.80	1.20	0.70	1.00	1.60
>120~180	0.64	1.00	1.60	0.90	1.30	2.00
>180~260	0.84	1.30	2.10	1.20	1.80	2.60
>260~360	1.20	1.80	2.70	1.60	2.40	3.60
>360~500	1.60	2.40	3.40	2.20	3.20	4.80
>500	2.40	3.60	4.80	3.40	4.50	5.40

表 1-9-16 几种塑料轴承的配合间隙 mm


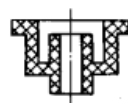

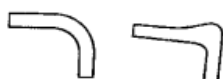

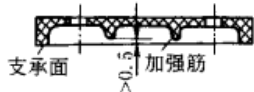
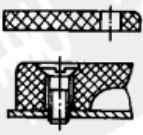
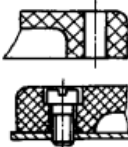
轴径	聚酰胺和高冲击聚苯乙烯	聚四氟乙烯	酚醛布基层压塑料
6	0.050~0.075	0.050~0.100	0.030~0.075
12	0.075~0.100	0.100~0.200	0.040~0.085
20	0.100~0.125	0.150~0.300	0.060~0.120
25	0.125~0.150	0.200~0.375	0.080~0.150
38	0.150~0.200	0.250~0.450	0.100~0.180
50	0.200~0.250	0.300~0.525	0.130~0.240

表 1-9-17 聚甲醛轴承的配合间隙 mm

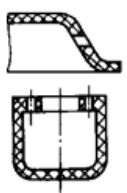
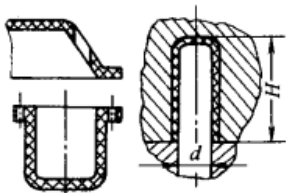
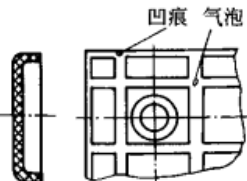
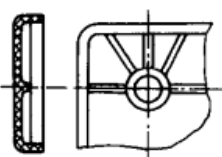
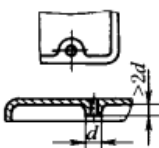
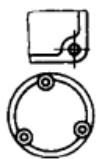
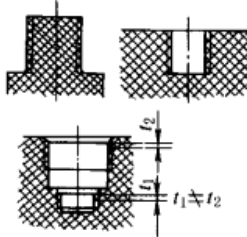
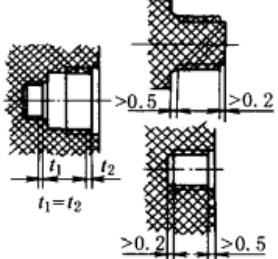
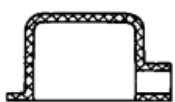
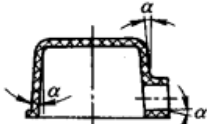
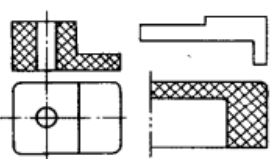
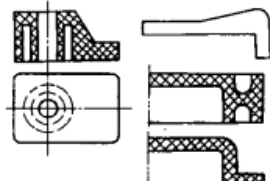

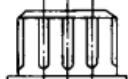

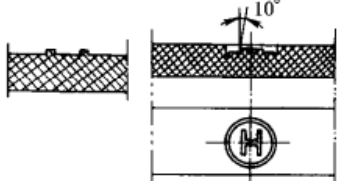
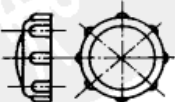

轴径	常温~60℃	常温~120℃	-45~120℃
6	0.076	0.100	0.150
13	0.100	0.200	0.250
19	0.150	0.310	0.380
25	0.200	0.380	0.510
31	0.250	0.460	0.640
38	0.310	0.530	0.710

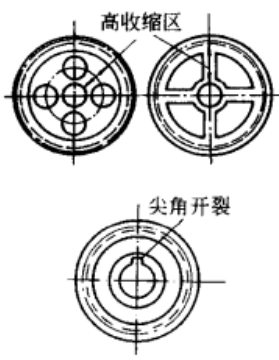
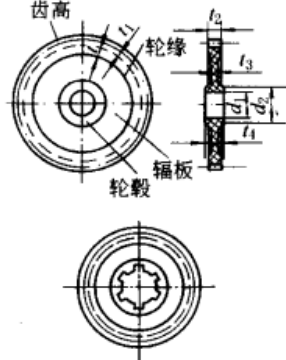
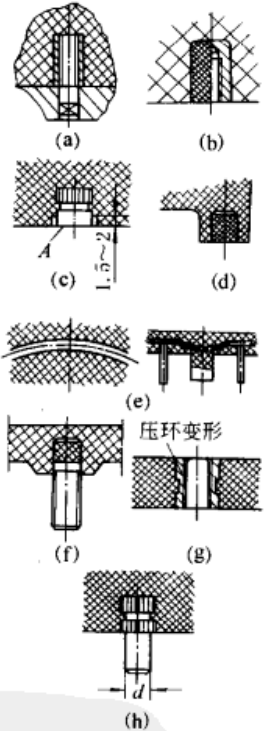
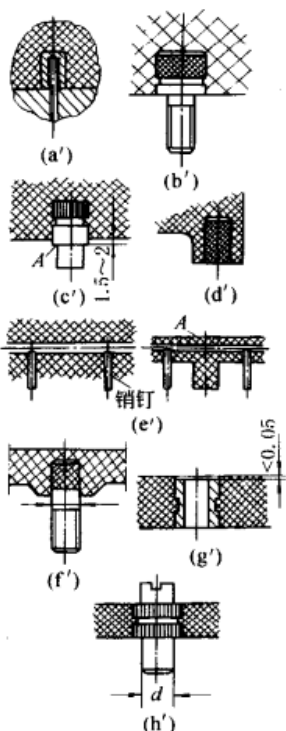
### 1.5 工程用塑料零件的设计注意事项

表 1-9-18

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
壁厚应尽可能均匀一致,防止在成形过程中由于不均匀的固化与收缩,在厚壁处产生气泡和收缩变形,在急剧过渡处因收缩应力引起裂纹		
零件内外表面相连及转角处应为圆角,以免产生应力集中,影响强度。在无特殊要求时,零件转角处的圆角半径应不小于 0.5~1mm		
避免采用整体基面作支承面,加强筋与支承面应相距 0.5mm 的高度,以免因加强筋而影响支承面的准确度		
孔尽可能设置在不易削弱零件强度的位置。除相邻孔之间以及孔到边缘之间保留适当的距离外,尽可能使有孔部分壁厚厚一些,以防止孔眼处安装零件而破裂。由于锥形埋头螺钉头对于孔的边缘有侧向力,易使边缘发生崩裂,应避免采用		

续表

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计
<p>在注塑成形零件时,由于塑料流动产生的压力不平衡,使型芯变形、弯曲或折断。通常不通孔 <math>H &lt; (3 \sim 5)d</math>; 通孔 <math>H &lt; (8 \sim 10)d</math>, 孔径 <math>&lt; \phi 1.5\text{mm}</math> 时 <math>H \approx (3 \sim 6)d</math></p> <p>侧孔和侧凹的设置要简化模具结构,以便于零件的起模,缩短生产周期,提高产品质量</p>		
<p>合理采用加强筋可减少壁厚,节省材料,提高制品的强度和刚性,防止翘曲</p> <p>加强筋的布置应考虑塑料局部集中而形成缩孔和凹痕。如左图的布置,就易产生收缩和气泡</p>		
<p>凸出部分尽量位于转角处,凸出部分的高度不应超过孔直径的 2 倍,并应有足够的倾斜角以便起模。过高的凸出部分会关住气体,使这部分强度和密度减小。凸出点不宜多于 3 个,如超过 3 个,需进行机械加工</p>		
<p>外螺纹不应延长到与支承面相连接处,以免端部螺纹脱落</p> <p>为防止螺孔内最外圈的螺纹崩裂,应增加一个台阶形的空穴</p> <p>同一零件的上下两段螺纹,其螺距与旋转方向应相同,否则其中一段螺纹就得用镶拼螺纹型芯、型腔成形或机加工制成,增加了模具结构与工艺的复杂性</p>		
<p>必须考虑有足够的起模斜度,斜度的大小与塑料的性质、收缩率、厚度、形状有关。一般推荐的起模斜度为 <math>15' \sim 1^\circ</math></p>		
<p>零件的壁与底部的厚度应均匀或尽量平缓过渡,厚薄悬殊或突变,将引起收缩不一致,产生气泡、凹陷或变形</p> <p>对于热固性塑料壁厚过渡比,模压时为 1:3,挤压时为 1:5,热塑性塑料为 1:(1.5 ~ 2)</p>		
<p>外表面有凹凸纹的手轮或手柄等零件,应使凹凸纹的条纹与起模方向一致,以便于简化模具和起模</p>		
<p>零件上的文字、符号或装饰花纹应采用凸形,以简化模具制造。如零件上不允许有凸起,或在文字、符号上需涂色时,可将凸起的文字或符号设置在凹坑内,既便于制造,又避免碰坏凸起的文字或符号</p>		
<p>成形后分型面处的飞边应易清除。右图的分型面处为一圆形飞边,容易清除</p>		

注 意 事 项	不 好 的 设 计	改 进 后 的 设 计																					
<p>齿轮设计:</p> <p>1) 齿形目前多采用标准齿廓,即分度圆压力角 <math>\alpha_{分} = 20^\circ</math>,齿高系数 <math>f = 1</math> 的形式</p> <p>2) 塑料齿轮的结构尺寸:  <math>t \geq 3t_1, t_3 \leq t_2, t_4 &gt; t_2, t_4 = d_1, d_2 = (1.5 \sim 3)d_1</math></p> <p>设计原则是保证最小的应力集中和防止成形收缩不均匀所造成的齿形歪斜,因此在结构上应避免尖角和断面的突变,尽可能使各部分厚度相同,圆角和圆弧应大些</p> <p>3) 尽量不在齿轮辐板上开孔与加筋,以防止由于各部分收缩不均而引起轮齿歪斜</p> <p>4) 与轴的连接形式:可采用花键或半圆键连接。采用花键连接时,连接精度较高,键槽工作面比压较小;而采用半圆键连接时,可降低应力集中。如采用单个平键连接,当传递转矩较大时,往往在键槽处发生压溃变形或尖角开裂</p>																							
<p>合理设计塑料零件的嵌件:</p> <p>图 a, 尽量采用不通孔或不穿的螺纹孔,这样可在设计模具时采用插入式解决嵌件的定位</p> <p>图 b, 嵌件表面需滚花或开设沟槽时,一般小嵌件的沟槽,深为 1~2mm,宽为 2~3mm,转角处为圆弧,滚花为菱形,齿高 1~2mm,如零件受力很小时,可只采用菱形滚花,不开沟槽</p> <p>图 c, 条件许可时,金属嵌件应凸起或凹入 1.5~2mm,以保证嵌件稳定</p> <p>图 d, 布置在凸耳或凸起部分的嵌件,应比凸耳或凸起部分长一些,以提高零件的机械强度</p> <p>图 e, 尽量避免采用片状、细长的嵌件。当必须采用膜片、细长的嵌件时,为防止成形时塑料对嵌件冲击而造成弯曲变形,应采用销钉支承或打孔 A 流通</p> <p>图 f, 螺杆嵌件的光杆部分与模具应为 H8/f9 配合。为防止塑料沿螺纹部分溢料,螺纹部分应留在塑料外面,如图 f' 设计</p> <p>图 g, 螺纹通孔嵌件高度应低于成形高度 0.05mm。嵌件过高易产生变形</p> <p>图 h, 嵌件的装夹定位部分应具有 H8/f9 配合,以保证金属嵌件能精确地固定在模具中</p> <p>图 i, 圆柱形或套筒形嵌件推荐结构尺寸见图,在特殊情况下 H 可加大,但不得大于 2D</p> <p>图 j, 板形、片状金属嵌件可采用此方式固定。当嵌件厚度小于 0.5mm 时,最好不用孔固定结构,而采用切口或折弯的方法固定</p> <p>图 k, 金属嵌件周围的塑料不能太薄,否则塑料会因冷却收缩而破裂。右表中列出了嵌件周围塑料层的推荐尺寸</p>		 <table border="1" data-bbox="1085 1792 1404 1971"> <thead> <tr> <th colspan="3">mm</th> </tr> <tr> <th>D</th> <th>h</th> <th>c</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤4</td> <td>1</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>&gt;4~8</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>&gt;8~12</td> <td>2.0</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>&gt;12~16</td> <td>2.5</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>&gt;16~25</td> <td>3.0</td> <td>5.0</td> </tr> </tbody> </table>	mm			D	h	c	≤4	1	1.5	>4~8	1.5	2.0	>8~12	2.0	3.0	>12~16	2.5	4.0	>16~25	3.0	5.0
mm																							
D	h	c																					
≤4	1	1.5																					
>4~8	1.5	2.0																					
>8~12	2.0	3.0																					
>12~16	2.5	4.0																					
>16~25	3.0	5.0																					

## 2 粉末冶金零件设计要素

### 2.1 粉末冶金的特点及主要用途

粉末冶金是以金属粉末（或金属粉末与非金属粉末的混合物）作原料，经过成形和烧结，制造出各种类型的金属零件和金属材料。它具有很多特点：①利用粉末冶金方法能生产具有特殊性能的零件和材料，如能控制制品的孔隙率和孔隙大小，可生产各种多孔性的材料和多孔含油轴承，能利用金属和金属、金属和非金属的组合效果，生产各种特殊性能的材料，如金属和非金属组成的摩擦材料等。②可制成无切削或少切削的机器零件，从而减少机加工量，提高劳动生产率。其尺寸精度可达公差等级12~13级，必要时也可达10级，表面粗糙度 $R_a$ 的数值低于 $1.6\mu\text{m}$ 。但粉末冶金成本高，制品的大小和形状受到一定限制。

粉末冶金材料主要用于制作机械零件、工具材料、磁性材料、电工材料、高温材料及原子能工业材料等。用于制作机械零件的粉末冶金成分、性能、特点及用途参见材料篇。

### 2.2 粉末冶金零件最小厚度、尺寸范围及其精度<sup>[41]</sup>

表 1-9-19 最小壁厚 mm

最大外径	最小壁厚
10	0.80
20	1.00
30	1.50
40	1.75
50	2.15
60	2.50

表 1-9-20 一般烧结零件的尺寸范围

材 料	最大横断面 面积/ $\text{cm}^2$	宽 度/mm		高 度/mm	
		最大	最小	最大	最小
铁基	40	120	5	40	3
铜基	50	120	5	50	3

表 1-9-21 烧结零件尺寸公差 mm

公称尺寸	宽 度						高 度		
	尺 寸 公 差								
	精 级	中 级	粗 级	精 级	中 级	粗 级			
<10	$\pm 0.05$	$\pm 0.10$	$\pm 0.30$	$\pm 0.15$	$\pm 0.30$	$\pm 0.70$			
>10~25	$\pm 0.07$	$\pm 0.20$	$\pm 0.50$	$\pm 0.20$	$\pm 0.50$	$\pm 1.20$			
>25~63	$\pm 0.10$	$\pm 0.30$	$\pm 0.70$	$\pm 0.40$	$\pm 0.70$	$\pm 1.80$			
>63~160	$\pm 0.15$	$\pm 0.50$	$\pm 1.20$						

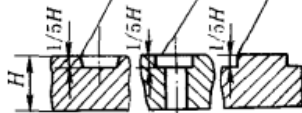
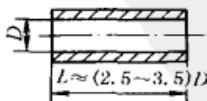
表 1-9-22 精压零件尺寸公差 mm

公称直径	尺寸公差	长 度	尺寸公差
$\leq 40$	+0 -0.025	$\leq 40$	$\pm 0.125$
>40~65	+0 -0.04	>40~75	$\pm 0.19$
>65	+0 -0.05	>75	$\pm 0.25$

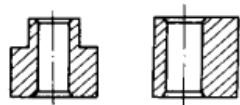
注：宽度为垂直压制方向的尺寸，高度为平行压制方向的尺寸。

### 2.3 粉末冶金零件设计注意事项<sup>[41]</sup>

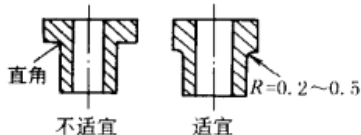
表 1-9-23

<p>1. 应使压模中的粉末受到大致相等的压缩，并能顺利地由压模中取出已经模压成形的制品。在零件压制方向如有凸起或凹槽时，则粉末在压制时各部分的密实度不易一致，因此凸起或凹槽的深度以不大于零件总高度的<math>1/5</math>为宜，并有一定的起模斜度</p>	<p>2. 当由上向下压制的结构零件较长时，其中间部分和两端的粉末密实度差别也较大。所以在实际生产中，常限制其长度为直径的<math>2.5 \sim 3.5</math>倍，壁越薄其长度与直径之比的倍数越低</p>
<p>斜度：每毫米高度<math>0.008\text{mm}</math></p> 	

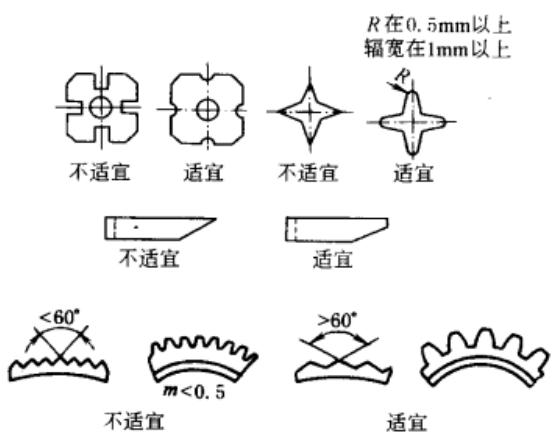
3. 当零件的壁厚急剧变化或零件的壁厚悬殊时,零件各部的密度也相差很大,这样烧结时会引起尺寸变化和变形,应尽量避免



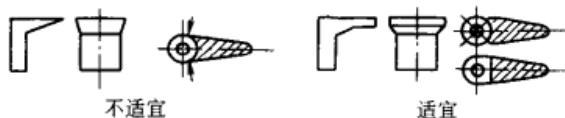
4. 设计带有凸缘或台阶的零件,其内角应设计成圆角,以利于压制时凹模中粉末的流动和便于起模,并可避免产生裂纹



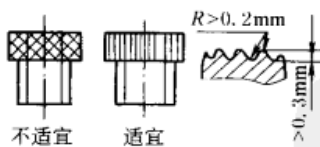
5. 尽量避免深窄的凹槽、尖角或薄边的轮廓,避免细齿滚花和细齿外形,因为这些结构装粉成形都很困难



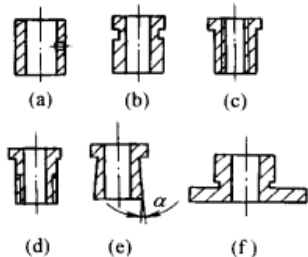
6. 避免尖边、锐角和切向过渡



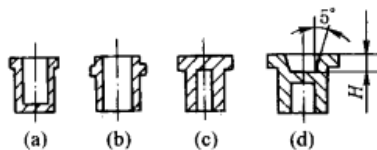
7. 零件只能设计成与压制方向平行的花纹,菱形的花纹不能成形,应避免



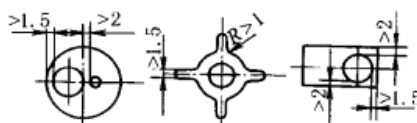
8. 与压制方向垂直的孔(见图 a)、径向凹槽(见图 b)、内螺纹及外螺纹(见图 c、d)、倒锥(见图 e)、拐角处的退刀槽(见图 f)等结构难以压制成形,当必要时可在烧结后进行切削加工



9. 底部凹陷的法兰(见图 a)、外圆中部的凸缘(见图 b)不能压制成形。上部凹陷的法兰(见图 c)为坯件,当埋头孔的面积小于压制面积的1/2,深度(H)小于零件全高的1/4左右时,要作5°的拔梢(见图 d)才可以成形



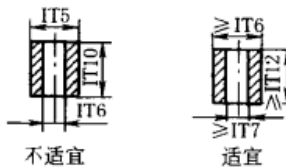
10. 从模具强度和压制件强度方面的因素考虑,并从孔与外侧间的壁厚要便于装粉考虑,制品窄条部分的最小尺寸应有一定的限度



11. 为了使凸模具有必要的刚度,使粉末容易充满型腔和便于从压模内取出制品,零件结构应避免尖锐的棱角,并适当增加横截面的面积



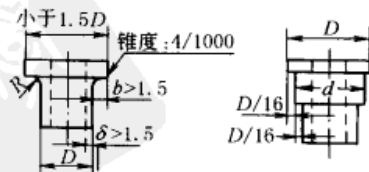
12. 避免过小的公差



13. 对于长度大于20mm的法兰制件,法兰直径不应超过轴套直径的1.5倍,在可能条件下,应尽量减小法兰的直径,以避免烧结后的变形。法兰根部的圆角半径可参考下表:

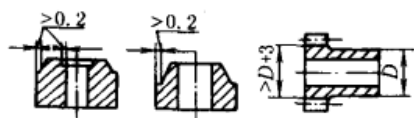
轴套直径 /mm	≤12	>12 ~ 25	>25 ~ 50	>50 ~ 65	>65
圆角半径 /mm	0.8	1.2	1.6	2.4	>2.5

轴套壁厚( $\delta$ )与法兰边宽( $b$ )都必须大于1.5mm

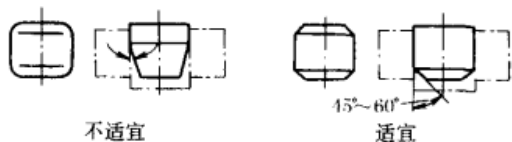


设计阶梯形制件时,阶差不应小于直径的1/16,其尺寸不应小于0.9mm

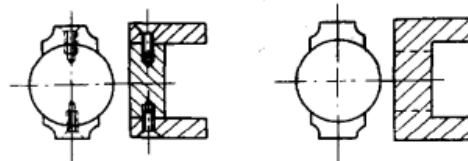
14. 粉末冶金制件的端部最好不要有过锐棱角, 并避免工具倒圆。倒角时尽可能留出 0.2mm 左右的小平面, 以延长凸模的寿命



在设计粉末冶金齿轮时, 齿根圆直径应大于轮毂直径 3mm 以上, 以减小成形中的困难

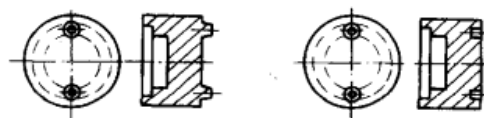


15. 在很多情况下, 粉末冶金零件适于代替机械加工比较困难或加工劳动量大、材料利用率低的一些零件。在某些情况下, 还可以代替一些本来需要加工后装配在一起的部件



需要装配的零件      不需装配的粉末冶金零件

16. 当把铸件或锻件改为粉末冶金零件时, 将粉末冶金零件上的凸部移到与其相配合的零件上, 以简化模具结构和减少制造上的困难



用模锻或铸造, 然后用  
机械加工法制造

用粉末冶金法制造



# 第10章 人机工程学有关功能参数

## 1 人体尺寸百分位数在产品中的应用

在涉及人体尺寸的产品尺寸设计时应用人体尺寸百分位数。

百分位数是一种位置指标、一个界值，以符号  $P_K$  表示。一个百分位数将群体或样本的全部观测值分为两部分，有  $K\%$  的观测值等于和小于它，有  $(100 - K)\%$  的观测值大于它。人体尺寸用百分位数表示时，称人体尺寸百分位数。即表示某一人体尺寸范围内，有百分之几的人大于或小于给定值。例如：

第 5 百分位代表“小”身材，即只有 5% 的数值低于此下限值。

第 95 百分位代表“大”身材，即只有 5% 的数值高于此上限值。

第 50 百分位代表“适中”身材，即有 50% 的数值高于和低于此值。

产品尺寸设计除根据人体尺寸百分位数设计外，还需根据下列不同情况，作适当修正。

为了保证实现产品的某项功能而对作为产品尺寸设计依据的人体尺寸百分位数所作的尺寸修正量，称为功能修正量。为了消除空间压抑感、恐惧感或为了追求美观等心理需要而作的尺寸修正量，称为心理修正量。为了保证实现产品的某项功能而设定的产品最小尺寸，称为产品最小功能尺寸（= 人体尺寸百分位数 + 功能修正量）。为了方便、舒适地实现产品的某项功能而设定的产品尺寸，是产品最佳功能尺寸（= 人体尺寸百分位数 + 功能修正量 + 心理修正量）。所设计的产品在尺寸上能满足多少人使用，以合适地使用的人占使用者群体的百分比表示，称为满足度。

### 1.1 人体尺寸百分位数的选择（摘自 GB/T 12985—1991）

(1) 产品尺寸设计的分类

1) I 型产品尺寸设计：需要两个人体尺寸百分位数作为尺寸上限值和下限值的依据，称为 I 型产品尺寸设计。又称双限值设计。

2) II 型产品尺寸设计：只需要一个人体尺寸百分位数作为尺寸上限值或下限值的依据，称为 II 型产品尺寸设计。又称单限值设计。

3) II A 型产品尺寸设计：只需要一个人体尺寸百分位数作为尺寸上限值的依据，称为 II A 型产品尺寸设计。又称大尺寸设计。

4) II B 型产品尺寸设计：只需要一个人体尺寸百分位数作为尺寸下限值的依据，称为 II B 型产品尺寸设计。又称小尺寸设计。

5) III 型产品尺寸设计：只需要第 50 百分位数 ( $P_{50}$ ) 作为产品尺寸设计的依据，称为 III 型产品尺寸设计。又称平均尺寸设计。

(2) 百分位数的选择

1) I 型产品尺寸设计时，对涉及人的健康、安全的产品，应选用  $P_{99}$  和  $P_1$  作为尺寸上、下限值的依据，这时满足度为 98%；对于一般工业产品，选用  $P_{95}$  和  $P_5$  作为尺寸上、下限值的依据，这时满足度为 90%。

2) II A 型产品尺寸设计时，对于涉及人的健康、安全的产品，应选用  $P_{99}$  或  $P_{95}$  作为尺寸上限值的依据，这时满足度为 99% 或 95%；对于一般工业产品，选用  $P_{90}$  作为尺寸上限值的依据，这时满足度为 90%。

3) II B型产品尺寸设计时,对于涉及人的健康、安全的产品,应选用 $P_1$ 或 $P_5$ 作为尺寸下限值的依据,这时满足度为99%或95%;对于一般工业产品,选用 $P_{10}$ 作为尺寸下限值的依据,这时满足度为90%。

4) III型产品尺寸设计时,选用 $P_{50}$ 作为产品尺寸设计的依据。

5) 在成年男、女通用的产品尺寸设计时,根据1)~3)的准则,选用男性的 $P_{99}$ 、 $P_{95}$ 或 $P_{90}$ 作为尺寸上限值的依据;选用女性的 $P_1$ 、 $P_5$ 或 $P_{10}$ 作为尺寸下限值的依据。

### (3) 功能修正量和心理修正量

因为GB/T 10000—1988中的表列值均为裸体测量的结果,在产品尺寸设计而采用它们时,应考虑由于穿鞋引起的高度变化量和穿着衣服引起的围度、厚度变化量。其次,在人体测量时要求躯干采取挺直姿势,但人在正常作业时,躯干采取自然放松的姿势,因此要考虑由于姿势的不同所引起的变化量。最后是为了确保实现产品的功能所需的修正量。所有这些修正量的总计为功能修正量。

#### 1) 功能修正量举例

着衣修正量:坐姿时的坐高、眼高、肩高、肘高加6mm,胸厚加10mm,臀膝距加20mm。

穿鞋修正量:身高、眼高、肩高、肘高对男子加25mm,对女子加20mm。

姿势修正量:立姿时的身高、眼高等减10mm;坐姿时的坐高、眼高减44mm。

在确定各种操纵器的布置位置时,应以上肢前展长为依据,但上肢前展长是后背至中指尖点的距离,因此对按钮、推滑板按钮、搬动按钮开关的不同操作功能应作如下的修正:按减12mm,推和搬、拨减25mm。

功能修正量通常为正值,但有时也可能为负值。例如针织弹力衫的胸围功能修正量取负值。

功能修正量通常用实验方法求得。

#### 2) 心理修正量举例

**例1** 在护栏高度设计时,对于3000~5000mm高的工作平台,只要栏杆高度略为超过人体重心高度就不会发生因人体重心高所致的跌落事故。但对于高度更高的平台来说,操作者在这样高的平台栏杆旁时,因恐惧心理而足发“酸、软”,手掌心和腋下出“冷汗”,患恐高症的人甚至会晕倒,因此只有将栏杆高度进一步加高才能克服上述心理障碍。这项附加的加高量便属于“心理修正量”。

**例2** 在确定下蹲式厕所的长度和宽度时,应以下蹲长和最大下蹲宽为尺寸依据,再加上由于衣服厚度引起的尺寸增加和上厕所时所进行的必要动作引起的变化量作为功能修正量。但这时厕所的门就几乎紧挨着鼻子,使人在心理上产生一种“空间压抑感”,因此还应增加一项心理修正量。

**例3** 在设计鞋的举例(略)中给出了各种鞋的功能修正量,但鞋类很重视款式美,这样小的放余量(设计鞋时,鞋的内底长应比足长长一些,所长出部分称为放余量)使鞋的造型较不美观,因此还需加上心理修正量——超长度,于是演变出了形形色色的鞋品种

① 素头皮鞋:放余量+14mm,超长度+2mm;

② 三节头皮鞋:放余量+14mm,超长度+11mm;

③ 网球鞋(胶鞋):放余量+14mm,超长度+2mm。

心理修正量也是用实验的方法求得的。根据被试者对不同超长度的试验鞋进行试穿实验,将被试者的主观评价量表的评分结果进行统计分析,求出心理修正量。

### (4) 产品尺寸设计举例

#### 1) I型产品尺寸设计

**例** 在汽车驾驶员的可调式座椅的调节范围设计时,为了使驾驶员的眼睛位于最佳位置、获得良好的视野以及方便地操纵驾驶盘及踩刹车,高身材驾驶员可将座椅调低和调后,低身材驾驶员可将座椅调高和调前。因此对于座椅的高低调节范围的确定需要取眼高的 $P_{90}$ 和 $P_{10}$ 为上、下限值的依据;对于座椅的前后调节范围的确定需要取臀膝距的 $P_{90}$ 和 $P_{10}$ 为上、下限值的依据。

#### 2) II A型产品尺寸设计

**例1** 在设计门的高度、床的长度时,只要考虑到高身材的人的需要,那么对低身材的人使用时必然不会产生问题。所以应取身高的 $P_{90}$ 为上限值的依据。

**例2** 为了确定防护可伸达危险点的安全距离时,应取人的相应肢体部位的可达距离的 $P_{99}$ 为上限值的依据。

#### 3) II B型产品尺寸设计

**例** 在确定工作场所采用的栅栏结构、网孔结构或孔板结构的栅栏间距,网、孔直径应取人的相应肢体部位的厚度的 $P_1$ 为下限值的依据。

#### 4) III型产品尺寸设计

**例1** 门的把手或锁孔离地面的高度、开关在房间墙壁上离地面的高度设计时,都分别只确定一个高度供不同身高的人使

用，所以应平均地取肘高的  $P_{50}$  为产品尺寸设计的依据。

例2 当工厂由于生产能力有限，对本来应采用尺寸系列的产品只能生产其中一个尺寸规格时，也取相应人体尺寸的  $P_{50}$  为设计依据。

### 1.2 以主要百分位和年龄范围的中国成人人体尺寸数据 (摘自 GB/T 10000—1988)

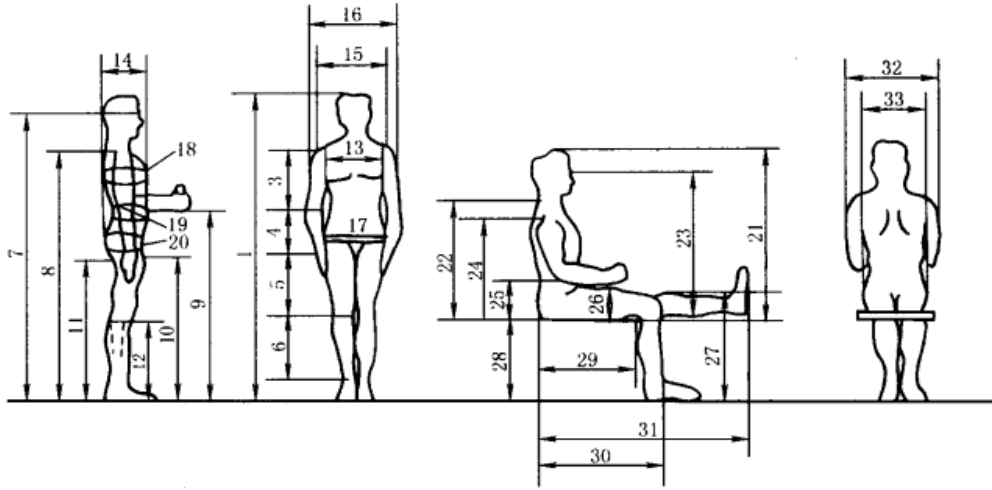


表 1-10-1

代号及测量项目	性别	百分位数	年龄分组				代号及测量项目	性别	百分位数	年龄分组			
			18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁				18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁
1. 身高 /mm	男	1	1543	1554	1545	1553	3. 上臂长 /mm	男	1	279	279	280	278
		5	1583	1591	1588	1576			5	289	289	289	289
		10	1604	1611	1608	1596			10	294	294	294	294
		50	1678	1686	1683	1667			50	313	313	314	313
		90	1754	1764	1755	1739			90	333	333	333	331
		95	1775	1789	1776	1761			95	338	339	339	337
		99	1814	1830	1815	1798			99	349	350	349	348
	女	1	1449	1457	1449	1445		女	1	252	253	253	251
		5	1484	1494	1486	1477			5	262	263	263	260
		10	1503	1512	1504	1494			10	267	268	267	265
		50	1570	1580	1572	1560			50	284	286	285	282
		90	1640	1647	1642	1627			90	303	304	304	301
		95	1659	1667	1661	1646			95	308	309	309	306
		99	1697	1709	1698	1683			99	319	319	320	317
2. 体重 /kg	男	1	44	43	45	45	4. 前臂长 /mm	男	1	206	207	205	206
		5	48	47	48	49			5	216	216	216	215
		10	50	50	50	51			10	220	221	221	220
		50	59	57	59	61			50	237	237	237	235
		90	71	66	70	74			90	253	254	253	252
		95	75	70	74	78			95	258	259	258	257
		99	83	78	80	85			99	268	269	268	267
	女	1	39	38	39	40		女	1	185	187	184	185
		5	42	40	42	44			5	195	194	194	192
		10	44	42	44	46			10	198	198	198	197
		50	52	49	51	55			50	213	214	214	213
		90	63	57	62	66			90	229	229	229	229
		95	66	60	65	70			95	234	235	234	233
		99	74	66	72	76			99	242	243	243	241

续表

代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年 龄 分 组				代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年 龄 分 组			
			18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁				18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁
5. 大 腿长 /mm	男	1	413	415	414	411	8. 肩高 /mm	男	1	1244	1245	1244	1241
		5	428	432	427	425			5	1281	1285	1283	1278
		10	436	440	436	434			10	1299	1300	1303	1295
		50	465	469	466	462			50	1367	1372	1369	1360
		90	496	500	495	492			90	1435	1442	1438	1426
		95	505	509	505	501			95	1455	1464	1456	1445
		99	523	532	521	518			99	1494	1507	1496	1482
	女	1	387	391	385	384		女	1	1166	1172	1166	1163
		5	402	406	403	399			5	1195	1199	1196	1191
		10	410	414	411	407			10	1211	1216	1212	1205
		50	438	441	438	434			50	1271	1276	1273	1265
		90	467	470	467	463			90	1333	1336	1335	1325
		95	476	480	475	472			95	1350	1353	1352	1343
		99	494	496	493	489			99	1385	1393	1385	1376
6. 小 腿长 /mm	男	1	324	327	324	322	9. 肘高 /mm	男	1	925	929	925	921
		5	338	340	338	336			5	954	957	956	950
		10	344	346	345	343			10	968	973	971	963
		50	369	372	370	367			50	1024	1028	1026	1019
		90	396	399	397	393			90	1079	1088	1081	1072
		95	403	407	403	400			95	1096	1102	1097	1087
		99	419	421	420	416			99	1128	1140	1128	1119
	女	1	300	301	299	300		女	1	873	877	873	871
		5	313	314	312	311			5	899	904	900	895
		10	319	322	319	318			10	913	916	913	908
		50	344	346	344	341			50	960	965	961	956
		90	370	371	370	367			90	1009	1013	1010	1004
		95	376	379	376	373			95	1023	1027	1025	1018
		99	390	395	389	388			99	1050	1060	1048	1042
7. 眼高 /mm	男	1	1436	1444	1437	1429	10. 手功 能高 /mm	男	1	656	659	658	651
		5	1474	1482	1478	1465			5	680	683	683	676
		10	1495	1502	1497	1488			10	693	696	695	689
		50	1568	1576	1572	1558			50	741	745	742	736
		90	1643	1653	1645	1629			90	787	792	789	782
		95	1664	1678	1667	1651			95	801	808	802	795
		99	1705	1714	1705	1689			99	828	831	828	818
	女	1	1337	1341	1335	1333		女	1	630	633	628	628
		5	1371	1380	1371	1365			5	650	653	649	646
		10	1388	1396	1389	1380			10	662	665	662	660
		50	1454	1463	1455	1443			50	704	707	704	700
		90	1522	1529	1524	1510			90	746	749	746	742
		95	1542	1541	1544	1530			95	757	760	757	753
		99	1579	1588	1581	1561			99	778	784	778	775

代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年 龄 分 组				代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年 龄 分 组			
			18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁				18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁
11. 会 阴高 /mm	男	1	701	707	703	700	14. 胸厚 /mm	男	1	176	170	177	181
		5	728	734	728	724			5	186	181	187	192
		10	741	749	742	736			10	191	186	192	198
		50	790	796	792	784			50	212	204	212	219
		90	840	848	841	832			90	237	223	233	245
		95	856	864	857	846			95	245	230	241	253
		99	887	895	886	875			99	261	241	254	266
	女	1	648	653	647	646		女	1	159	155	160	166
		5	673	680	672	668			5	170	166	171	177
		10	686	694	686	681			10	176	171	177	183
		50	732	738	732	726			50	199	191	198	208
		90	779	785	780	771			90	230	215	227	240
		95	792	797	793	784			95	239	222	236	251
		99	819	827	819	810			99	260	237	253	268
12. 胫骨 点高 /mm	男	1	394	397	394	392	15. 肩宽 /mm	男	1	330	331	331	328
		5	409	411	409	407			5	344	344	346	343
		10	417	419	417	415			10	351	351	352	350
		50	444	446	444	441			50	375	375	376	373
		90	472	475	473	469			90	397	398	398	395
		95	481	485	481	478			95	403	404	404	401
		99	498	500	498	493			99	415	417	415	415
	女	1	363	366	362	363		女	1	304	302	304	305
		5	377	379	376	375			5	320	319	320	323
		10	384	387	384	382			10	328	328	328	329
		50	410	412	410	407			50	351	351	350	350
		90	437	439	438	433			90	371	370	372	372
		95	444	446	445	441			95	377	376	378	378
		99	459	463	460	456			99	387	386	387	390
13. 胸宽 /mm	男	1	242	239	244	243	16. 最大 肩宽 /mm	男	1	383	380	386	383
		5	253	250	254	254			5	398	395	399	398
		10	259	256	260	261			10	405	403	406	406
		50	280	275	281	285			50	431	427	432	433
		90	307	298	305	313			90	460	454	460	464
		95	315	306	313	321			95	469	463	469	473
		99	331	320	327	336			99	486	482	486	489
	女	1	219	214	221	225		女	1	347	342	347	356
		5	233	228	234	238			5	363	359	363	368
		10	239	234	240	245			10	371	367	371	376
		50	260	253	260	269			50	397	391	396	405
		90	289	274	287	301			90	428	415	426	439
		95	299	282	295	309			95	438	424	435	449
		99	319	296	313	327			99	458	439	455	468

续表

代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年 龄 分 组				代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年 龄 分 组			
			18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁				18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁
17. 臀宽 /mm	男	1	273	271	272	275	20. 臀围 /mm	男	1	780	770	780	785
		5	282	280	282	285			5	805	800	805	811
		10	288	285	287	291			10	820	814	820	830
		50	306	302	305	311			50	875	860	874	895
		90	327	322	326	332			90	948	915	941	966
		95	334	327	332	338			95	970	936	962	985
		99	346	339	344	349			99	1009	974	1000	1023
	女	1	275	270	277	282		女	1	795	790	792	812
		5	290	286	290	296			5	824	815	824	843
		10	296	292	296	301			10	840	830	838	858
		50	317	311	317	323			50	900	881	900	926
		90	340	331	339	345			90	975	940	970	1001
		95	346	338	345	352			95	1000	959	992	1021
		99	360	349	358	366			99	1044	994	1030	1064
18. 胸围 /mm	男	1	762	746	772	775	21. 坐高 /mm	男	1	836	841	839	832
		5	791	778	799	803			5	858	863	862	853
		10	806	792	812	820			10	870	873	874	865
		50	867	845	869	885			50	908	910	911	904
		90	944	908	939	967			90	947	951	948	941
		95	970	925	958	990			95	958	963	959	952
		99	1018	970	1008	1035			99	979	984	983	973
	女	1	717	710	718	724		女	1	789	793	792	786
		5	745	735	747	760			5	809	811	810	805
		10	760	750	762	780			10	819	822	820	816
		50	825	802	823	859			50	855	858	857	851
		90	919	865	907	955			90	891	894	893	886
		95	949	885	934	986			95	901	903	904	896
		99	1005	930	988	1036			99	920	924	921	915
19. 腰围 /mm	男	1	620	610	625	640	22. 坐姿 颈椎 点高 /mm	男	1	599	596	600	599
		5	650	634	652	670			5	615	613	617	615
		10	665	650	669	690			10	624	622	626	625
		50	735	702	734	782			50	657	655	659	658
		90	859	771	832	900			90	691	691	692	691
		95	895	796	865	932			95	701	702	702	700
		99	960	857	921	986			99	719	718	722	719
	女	1	622	608	636	661		女	1	563	565	563	561
		5	659	636	672	704			5	579	581	579	576
		10	680	654	691	728			10	587	589	588	584
		50	772	724	775	836			50	617	618	618	616
		90	904	803	882	962			90	648	649	650	647
		95	950	832	921	998			95	657	658	658	655
		99	1025	892	993	1060			99	675	677	677	672

代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年 龄 分 组				代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年 龄 分 组			
			18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁				18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁
23. 坐姿 眼高 /mm	男	1	729	732	733	724	26. 坐姿 大腿厚 /mm	男	1	103	106	102	102
		5	749	753	753	743			5	112	114	111	110
		10	761	763	764	756			10	116	117	115	115
		50	798	801	801	795			50	130	130	130	131
		90	836	840	837	832			90	146	144	147	148
		95	847	851	849	841			95	151	149	152	152
		99	868	868	873	864			99	160	156	160	162
	女	1	678	680	679	674		女	1	107	107	107	108
		5	695	636	696	692			5	113	113	113	114
		10	704	707	705	701			10	117	116	116	118
		50	739	741	740	735			50	130	129	130	133
		90	773	774	775	769			90	146	143	145	149
		95	783	785	786	778			95	151	148	150	154
		99	803	806	806	796			99	160	156	160	164
24. 坐姿 肩高 /mm	男	1	539	538	539	538	27. 坐姿 膝高 /mm	男	1	441	443	441	439
		5	557	557	559	556			5	456	459	456	455
		10	566	565	569	564			10	464	468	464	462
		50	598	597	600	597			50	493	497	494	490
		90	631	631	633	630			90	523	527	523	518
		95	641	641	642	639			95	532	535	531	527
		99	659	658	660	657			99	549	554	553	543
	女	1	504	503	506	504		女	1	410	412	409	409
		5	518	517	520	518			5	424	428	423	422
		10	526	526	528	525			10	431	435	431	429
		50	556	555	556	555			50	458	461	458	455
		90	585	584	587	584			90	485	487	486	483
		95	594	593	596	592			95	493	494	493	490
		99	609	608	610	608			99	507	512	508	503
25. 坐姿 肘高 /mm	男	1	214	215	217	210	28. 小腿 加足高 /mm	男	1	372	375	373	370
		5	228	227	230	226			5	383	386	384	380
		10	235	234	237	234			10	389	393	391	386
		50	263	261	264	263			50	413	417	415	409
		90	291	289	291	292			90	439	444	441	435
		95	298	297	299	299			95	448	454	448	442
		99	312	311	313	313			99	463	468	462	458
	女	1	201	200	204	201		女	1	331	336	334	327
		5	215	214	217	215			5	342	346	345	338
		10	223	222	225	223			10	350	355	353	344
		50	251	249	251	251			50	382	384	383	379
		90	277	275	277	279			90	399	402	399	396
		95	284	283	284	287			95	405	408	405	401
		99	299	299	298	300			99	417	420	417	412

续表

代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年龄分组				代号及 测量 项目	性别	百分 位数	年龄分组			
			18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁				18~60岁	18~25岁	26~35岁	36~60岁
29. 坐深 /mm	男	1	407	407	405	407	31. 坐姿 下肢长 /mm	女	1	826	825	826	826
		5	421	423	421	420			5	851	854	850	848
		10	429	429	429	428			10	865	867	865	862
		50	457	457	458	457			50	912	914	912	909
		90	486	486	486	486			90	960	963	960	957
		95	494	494	493	494			95	975	978	976	972
		99	510	511	510	511			99	1005	1008	1004	996
	女	1	388	389	390	386	32. 坐姿 臀宽 /mm	男	1	284	281	283	289
		5	401	401	403	400			5	295	292	295	299
		10	408	409	409	406			10	300	297	300	304
		50	433	433	434	432			50	321	316	320	327
		90	461	460	463	461			90	347	338	344	354
		95	469	468	470	468			95	355	345	351	361
		99	485	485	485	487			99	369	360	365	375
30. 臀 膝距 /mm	男	1	499	500	497	500	33. 坐姿 两肘 间宽 /mm	女	1	295	289	295	302
		5	515	516	514	515			5	310	306	311	317
		10	524	525	523	524			10	318	313	318	325
		50	554	554	554	554			50	344	336	345	353
		90	585	585	586	585			90	374	360	372	382
		95	595	594	595	596			95	382	368	381	390
		99	613	615	611	613			99	400	382	398	411
	女	1	481	480	481	482	33. 坐姿 两肘 间宽 /mm	男	1	353	348	353	359
		5	495	495	494	496			5	371	364	372	378
		10	502	501	501	502			10	381	374	381	389
		50	529	529	529	529			50	422	410	421	435
		90	561	560	561	562			90	473	454	470	485
		95	570	568	570	572			95	489	467	485	499
		99	587	586	590	588			99	518	495	513	527
31. 坐姿 下肢长 /mm	男	1	892	893	889	892	33. 坐姿 两肘 间宽 /mm	女	1	326	320	331	344
		5	921	925	919	922			5	348	338	352	367
		10	937	939	934	938			10	360	348	362	379
		50	992	992	991	992			50	404	384	404	427
		90	1046	1050	1045	1045			90	460	426	453	481
		95	1063	1068	1064	1060			95	478	439	469	496
		99	1096	1100	1095	1095			99	509	465	500	526

造型尺寸 选用百分位 界限建议	确定造型尺寸的性质	由人体总长决定的造型尺寸	由人体某部分决定的造型尺寸	由人完成的可调尺寸			按人体尺寸确定适宜操作的最佳范围	造型尺寸需要考虑人的多项身体尺寸
	选用百分位数	第95百分位	第5百分位	第5百分位至第95百分位	第99百分位	第1百分位	第50百分位	以上述性质确定百分位后,不应以比例适中的人作为基准,应按可能出现的尺寸差距,改变造型形式加以适应
	应用举例	门、船舱口通道、床、担架	取决于臂长、腿长的坐平面高度,或调节构件必要的可及范围	坐位、坐位安全带、至调节构件的距离	至运转着的机器部件的有效半径或紧急出口的直径	人操作紧急制动杆的距离	门铃、开关、插座等的安置尺寸	同一百分位高度的人,由于比例不匀称,大腿长短不一,坐深尺寸则不相同,从而使坐位表面适合臀部的造型对人的最佳配合失去意义。若将坐位表面改为平的座椅,则可解决因坐深不同的适应问题



### 1.3 工作空间人体尺寸 (摘自 GB/T 13547—1992)

人体立姿尺寸

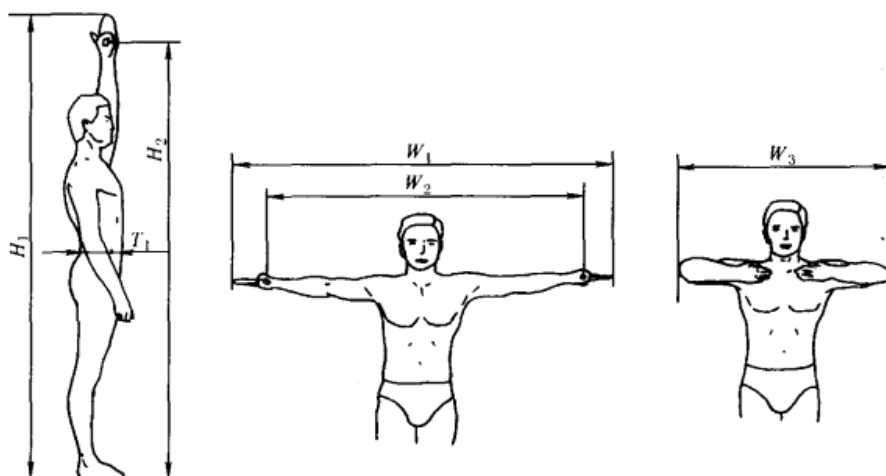


表 1-10-2

mm

	年龄分组	18~60岁							18~25岁							
	测量项目	百分位数 P														
		1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99	
男	中指指尖点上举高 $H_1$	1913	1971	2002	2108	2214	2245	2309	1930	1990	2014	2122	2231	2264	2329	
	双臂功能上举高 $H_2$	1815	1869	1899	2003	2108	2138	2203	1828	1889	1913	2018	2125	2155	2220	
	两臂展开宽 $W_1$	1528	1579	1605	1691	1776	1802	1849	1532	1585	1607	1695	1782	1810	1861	
	两臂功能展开宽 $W_2$	1325	1374	1398	1483	1568	1593	1640	1328	1378	1403	1486	1570	1600	1651	
	两肘展开宽 $W_3$	791	816	828	875	921	936	966	795	818	831	877	925	941	976	
	立姿腹厚 $T_1$	149	160	166	192	227	237	262	143	157	162	180	206	215	240	
	年龄分组	26~35岁							36~60岁							
	测量项目	百分位数 P														
		1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99	
		中指指尖点上举高 $H_1$	1917	1977	2007	2113	2218	2246	2312	1907	1959	1988	2090	2191	2224	2282
		双臂功能上举高 $H_2$	1817	1872	1903	2009	2111	2141	2205	1806	1856	1885	1987	2088	2117	2178
		两臂展开宽 $W_1$	1534	1587	1610	1698	1781	1805	1851	1522	1572	1599	1683	1767	1794	1837
		两臂功能展开宽 $W_2$	1331	1378	1402	1489	1571	1594	1639	1319	1368	1392	1477	1560	1584	1635
		两肘展开宽 $W_3$	794	818	830	877	924	937	966	788	812	825	870	915	929	956
	立姿腹厚 $T_1$	149	160	166	191	218	230	245	156	171	178	204	238	249	267	
女	年龄分组	18~55岁							18~25岁							
	测量项目	百分位数 P														
		1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99	
		中指指尖点上举高 $H_1$	1798	1845	1870	1968	2063	2089	2143	1812	1852	1882	1981	2070	2098	2154
		双臂功能上举高 $H_2$	1696	1741	1766	1860	1952	1976	2030	1711	1751	1779	1874	1960	1986	2041
		两臂展开宽 $W_1$	1414	1457	1479	1559	1637	1659	1701	1422	1460	1482	1562	1639	1663	1709
		两臂功能展开宽 $W_2$	1206	1248	1269	1344	1418	1438	1480	1216	1254	1274	1348	1420	1441	1486
		两肘展开宽 $W_3$	733	756	770	811	856	869	892	739	760	772	815	859	873	899
	立姿腹厚 $T_1$	139	151	158	186	226	238	258	135	145	151	175	204	211	230	

续表

女	年龄分组	26~35岁							36~55岁						
	测量项目	百分位数 P													
		1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99
中指指尖上举高 $H_1$	1796	1846	1874	1969	2065	2091	2150	1790	1834	1859	1953	2047	2075	2126	
双臂功能上举高 $H_2$	1692	1742	1769	1861	1955	1980	2031	1686	1732	1753	1845	1937	1964	2008	
两臂展开宽 $W_1$	1412	1459	1482	1562	1640	1661	1703	1412	1450	1472	1551	1628	1652	1689	
两臂功能展开宽 $W_2$	1206	1250	1274	1348	1421	1440	1481	1203	1241	1261	1335	1410	1430	1470	
两肘展开宽 $W_3$	731	758	770	812	859	870	892	732	753	766	805	850	863	887	
立姿腹厚 $T_1$	140	153	159	187	223	233	250	146	161	168	201	239	250	272	

## 人体坐姿、跪姿、俯卧姿及爬姿尺寸

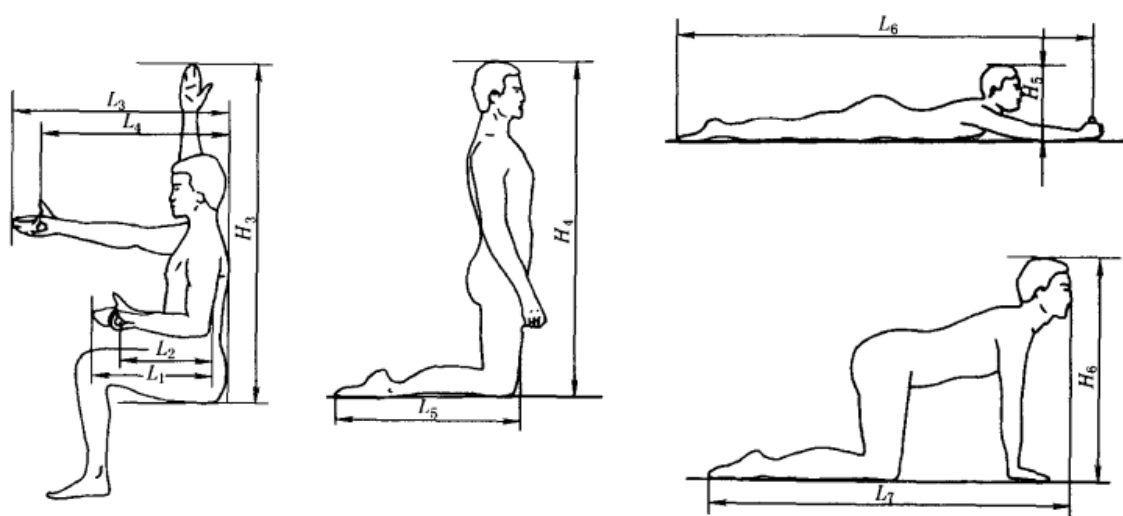


表 1-10-3

mm

人体 坐姿 尺寸 (男)	年龄分组	18~60岁							18~25岁						
	测量项目	百分位数 P													
		1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99
前臂加手前伸长 $L_1$	402	416	422	447	471	478	492	401	416	423	448	472	480	494	
前臂加手功能前伸长 $L_2$	295	310	318	343	369	376	391	295	311	319	344	369	378	393	
上肢前伸长 $L_3$	755	777	789	834	879	892	918	748	773	784	829	875	889	915	
上肢功能前伸长 $L_4$	650	673	685	730	776	789	816	648	669	682	725	772	785	810	
坐姿中指指尖上举高 $H_3$	1210	1249	1270	1339	1407	1426	1467	1218	1264	1281	1348	1416	1435	1481	
年龄分组	26~35岁							36~60岁							
测量项目	百分位数 P														
	1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99	
前臂加手前伸长 $L_1$	404	417	424	448	471	478	489	401	414	421	446	469	476	490	
前臂加手功能前伸长 $L_2$	296	311	318	344	369	375	390	296	309	317	343	368	375	390	
上肢前伸长 $L_3$	758	779	790	835	879	892	916	757	778	792	836	880	894	920	
上肢功能前伸长 $L_4$	650	675	686	731	776	788	814	652	676	688	733	779	793	819	
坐姿中指指尖上举高 $H_3$	1213	1255	1275	1343	1411	1428	1470	1202	1238	1259	1327	1393	1412	1448	

人体坐姿尺寸(女)	年龄分组	18~55岁							18~25岁						
	测量项目	百分位数 P													
		1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99
	前臂加手前伸长 $L_1$	368	383	390	413	435	442	454	368	382	389	411	434	441	454
	前臂加手功能前伸长 $L_2$	262	277	283	306	327	333	346	262	276	283	305	326	333	345
	上肢前伸长 $L_3$	690	712	724	764	805	818	841	689	710	722	762	802	813	841
	上肢功能前伸长 $L_4$	586	607	619	657	696	707	729	581	607	617	655	693	704	730
	坐姿中指指尖上举高 $H_3$	1142	1173	1190	1251	1311	1328	1361	1153	1179	1196	1259	1316	1332	1364
	年龄分组	26~35岁							36~55岁						
	测量项目	百分位数 P													
1		5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99	
前臂加手前伸长 $L_1$	369	383	391	414	437	443	455	369	384	390	412	435	442	453	
前臂加手功能前伸长 $L_2$	262	278	284	307	328	334	347	263	276	283	305	326	332	345	
上肢前伸长 $L_3$	690	712	723	765	808	820	841	692	714	726	765	806	818	840	
上肢功能前伸长 $L_4$	585	606	619	658	697	710	732	590	609	619	658	696	707	728	
坐姿中指指尖上举高 $H_3$	1143	1176	1193	1253	1313	1331	1363	1135	1166	1183	1242	1302	1319	1348	
人体跪、俯卧、爬姿尺寸(男)	年龄	18~60岁													
	尺寸项目	百分位数 P													
		1	5	10	50	90	95	99							
	跪姿体长 $L_5$	577	592	599	626	654	661	675							
	跪姿体高 $H_4$	1161	1190	1206	1260	1315	1330	1359							
	俯卧姿体长 $L_6$	1946	2000	2028	2127	2229	2257	2310							
	俯卧姿体高 $H_5$	361	364	366	372	380	383	389							
	爬姿体长 $L_7$	1218	1247	1262	1315	1369	1384	1412							
爬姿体高 $H_6$	745	761	769	798	828	836	851								
人体跪、俯卧、爬姿尺寸(女)	年龄	18~55岁													
	尺寸项目	百分位数 P													
		1	5	10	50	90	95	99							
	跪姿体长 $L_5$	544	557	564	589	615	622	636							
	跪姿体高 $H_4$	1113	1137	1150	1196	1244	1258	1284							
	俯卧姿体长 $L_6$	1820	1867	1892	1982	2076	2102	2153							
	俯卧姿体高 $H_5$	355	359	361	369	381	384	392							
	爬姿体长 $L_7$	1161	1183	1195	1239	1284	1296	1321							
爬姿体高 $H_6$	677	694	704	738	773	783	802								

注：跪、俯卧、爬姿数据计算方法见表 1-10-4。

表 1-10-4

跪姿、俯卧姿、爬姿人体尺寸的计算

静态姿势	尺寸项目/mm	推算公式	
		男	女
跪姿	跪姿体长	$18.8 + 0.362H^{①}$	$5.2 + 0.372H$
	跪姿体高	$38.0 + 0.728H$	$112.8 + 0.690H$
俯卧姿	俯卧姿体长	$-124.6 + 1.342H$	$-124.7 + 1.342H$
	俯卧姿体高	$330.7 + 0.698W^{②}$	$314.5 + 1.048W$
爬姿	爬姿体长	$115.1 + 0.715H$	$223.0 + 0.647H$
	爬姿体高	$140.1 + 0.392H$	$-56.6 + 0.506H$

①  $H$ —身高, mm。②  $W$ —体重, kg。

注: 应用举例, 计算我国成年男子第 50 百分位的跪姿体长。

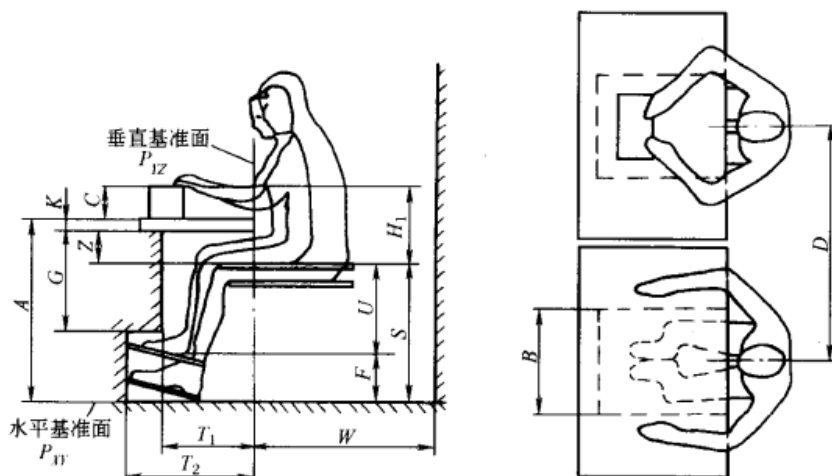
第一步, 查 GB/T 10000—1988 得全国成年男子身高第 50 百分位数值 ( $H$ ) 为 1678mm。

第二步, 将身高第 50 百分位数值  $H = 1678\text{mm}$  代入表 1-10-4 中的相应计算公式得男子第 50 百分位的跪姿体长为:

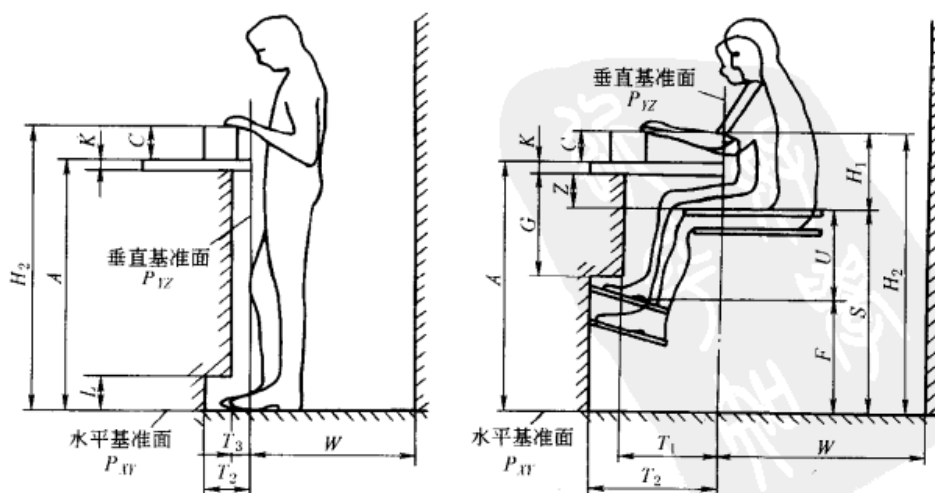
$$18.8 + 0.362H = 18.8 + 0.362 \times 1678 = 626 \text{ (mm)}$$

## 1.4 工作岗位尺寸设计的原则及其数值 (摘自 GB/T 14776—1993)

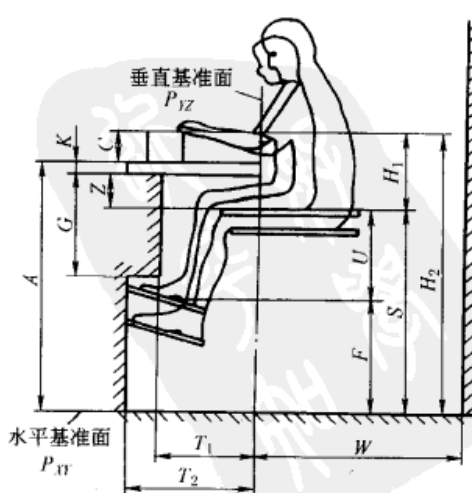
根据作业时人体的作业姿势, 工作岗位分为三种类型: 坐姿工作岗位、立姿工作岗位和坐立姿交替工作岗位。根据与作业关系的程度, 工作岗位尺寸分为与作业有关的和与作业无关的两类。



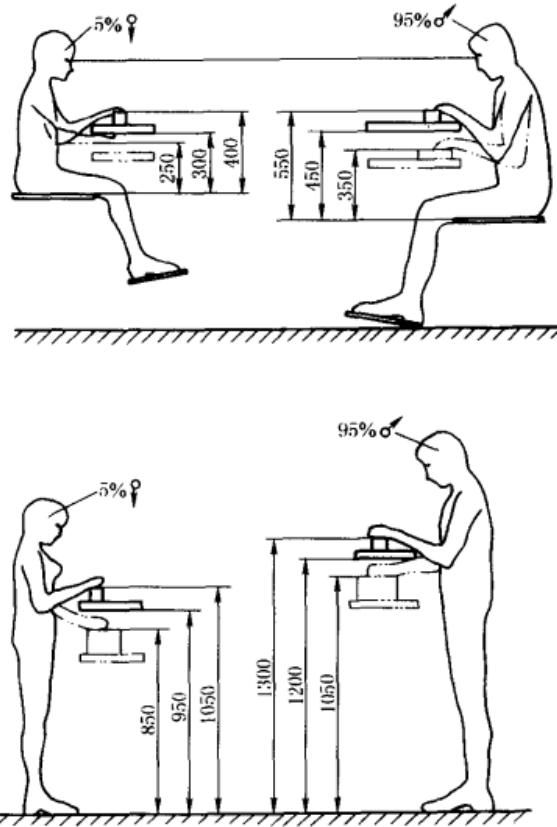
(a) 坐姿工作岗位尺寸



(b) 立姿工作岗位尺寸



(c) 坐立姿工作岗位尺寸



(d) 依作业要求确定的坐姿工作岗位相对高度  $H_1$  和立姿工作岗位的工作高度  $H_2$  数值。展示了第 5 百分位女性 (5% ♀) 和第 95 百分位男性 (95% ♂) 情况，以及对视距和手、臂姿势的影响

$P_{xy}$ —水平基准面； $P_{yz}$ —垂直基准面； $S$ —座位面高度； $H_1$ —坐姿工作岗位的相对高度； $H_2$ —立姿工作岗位的工作高度； $A$ —工作平面高度； $C$ —作业面高度； $K$ —工作台面厚度； $F$ —脚支撑高度； $U$ —小腿空间高度； $Z$ —大腿空间高度； $G$ —坐姿工作岗位的腿空间高度； $L$ —立姿工作岗位的脚空间高度； $T_1$ —腿部空间进深； $T_2$ —脚空间进深； $B$ —腿部空间宽度（图 a~图 c 中  $B$  尺寸同）； $D$ —横向活动间距（图 a~图 c 中  $D$  尺寸同）； $W$ —向后活动间距

表 1-10-5

mm

与作业无关的工作岗位尺寸	尺寸符号	坐姿工作岗位	立姿工作岗位	坐立姿工作岗位	高度 $U$ 的最小限值与最大限值 大腿空间高度 $Z$ 和小腿空间	尺寸符号	$P_5$	
	$D$		$\geq 1000$			$Z$	女性	男性
	$W$		$\geq 1000$			$U$	375	415
	$T_1$	$\geq 330$	$\geq 80$	$\geq 330$		$P_{95}$		
$T_2$	$\geq 530$	$\geq 150$	$\geq 530$	尺寸符号	女性	男性		
$G$	$\leq 340$	—	$\leq 340$	$Z$	175	175		
$L$		$\geq 120$	—	$U$	435	480		
$B$	$\geq 480$	—	$480 \leq A \leq 800$					
			$700 \leq A \leq 800$					

续表

坐姿工作 工作岗位 相对高度 $H_1$	类别	举例	$H_1$				$H_2$			
			$P_5$		$P_{95}$		$P_5$		$P_{95}$	
			女	男	女	男	女	男	女	男
立姿工作 工作岗位 工作高度 $H_2$	I	调整作业 检验工作 精密元件装配	400	450	500	550	1050	1150	1200	1300
	II	分检作业 包装作业 体力消耗大的 重大工件组装	250		350		850	950	1000	1050
	III	布线作业 体力消耗小的 小零件组装	300	350	400	450	950	1050	1100	1200

注：1. 表中的与作业无关的工作岗位尺寸是以作业人员有关身体部位的第5或第95百分位数值（见 GB/T 12985 和 GB/T 10000）推导出来的。

2. 与作业有关的工作岗位尺寸有

(1) 作业面高度  $C$  通常依据作业对象、工作面上配置的尺寸确定；对较大的或形状复杂的加工对象，以满足最佳加工条件来确定被加工对象的方位。

(2) 工作台面厚度  $K$ 。对原有设备， $K$  值是已知的；新设计情况的  $K$  值，应满足下式关系。

$$K = A - Z_{5\%} - S_{5\%} \quad (1-10-1)$$

$$K = A - Z_{95\%} - S_{95\%} \quad (1-10-2)$$

(3) 坐姿工作岗位的相对高度  $H_1$  和立姿工作岗位的工作高度  $H_2$ 。

根据作业时使用视力和臂力的情况，把作业分为三个类别。

I类：使用视力为主的手工精细作业。分别以 GB/T 10000 中坐姿、立姿女性、男性眼高的第5和第95百分位数为参照，并考虑到姿势修正量和经验，确定坐姿工作岗位的相对高度  $H_1$  和立姿工作岗位的工作高度  $H_2$ 。

II类：使用臂力为主，对视力也有一般要求的作业。分别以 GB/T 10000 中坐姿、立姿女性、男性肘高的第5和第95百分位数为参照，结合经验，确定坐姿工作岗位的相对高度  $H_1$  和立姿工作岗位的工作高度  $H_2$ 。

III类：兼顾视力和臂力的作业。以 I、II 两类相应的高度平均值分别确定坐姿、立姿工作岗位的女性、男性的第5和第95百分位数的相对高度  $H_1$  和工作高度  $H_2$ 。

(4) 工作平面高度  $A$  的最小限值

坐姿工作岗位

$$A \geq H_1 - C + S \quad (1-10-3)$$

或

$$A \geq H_1 - C + U + F \quad (1-10-4)$$

立姿工作岗位

$$A \geq H_2 - C \quad (1-10-5)$$

(5) 坐位面高度  $S$  的调整范围

$$S_{95\%} - S_{5\%} = H_{1(5\%)} - H_{1(95\%)} \quad (1-10-6)$$

(6) 脚支撑高度  $F$  的调整范围

$$F_{5\%} - F_{95\%} = S_{5\%} - S_{95\%} + U_{95\%} - U_{5\%} \quad (1-10-7)$$

$$F_{5\%} - F_{95\%} = H_{1(95\%)} - H_{1(5\%)} + U_{95\%} - U_{5\%} \quad (1-10-8)$$

### 1.4.1 工作岗位尺寸设计

(1) 工作岗位尺寸设计的一般程序

1) 确定工作岗位类型；

2) 根据表 1-10-5 确定作业要求的类别，在表中查出和作业人员性别相符的第95百分位数的相对高度  $H_1$  或

工作高度  $H_2$ 。

(2) 坐姿工作岗位

1) 工作面高度  $A$  被限定、不能升降时, 坐位面高度  $S$ 、脚支撑高度  $F$  必须满足第 5 和第 95 百分位数的作业人员身材的升降调整范围。

2) 工作面高度  $A$  可以升降时, 坐位面高度  $S$  必须可以升降调整, 以适应第 5 和第 95 百分位数身材的作业人员。

3) 在设计女性和男性共同使用的坐姿工作岗位时, 应选取男性的相对高度  $H_1$  计算工作面高度  $A$ ; 同时坐位面高度  $S$  和脚支撑高度  $F$  必须有较大的调节范围, 以适应女性作业人员。

4) 在用式 (1-10-4) 计算工作面高度  $A$  时, 必须使用小腿空间高度  $U$  和脚支撑高度  $F$  的第 95 百分位数, 保证第 95 百分位数的作业人员有必要的腿部空间高度  $G$ 。

5) 按式 (1-10-6) ~ 式 (1-10-8) 分别确定坐位平面高度  $S$  和脚支撑高度  $F$  的调节范围。

6) 检验第 5 和第 95 百分位数的大腿空间高度  $Z_{5\%}$  和  $Z_{95\%}$  是否大于表 1-10-5 中的最小限值。

如果不符合要求, 可参照下述方面进行修改

- ① 加大工作平面高度  $A$  的尺寸;
- ② 减小作业点高度  $C$ , 如改变工件、工装夹具安置方位;
- ③ 减小工作台面厚度  $K$  值。

经修改后的设计, 应再作复核。

7) 设计步骤举例见例 1。

(3) 立姿工作岗位

1) 在工作面高度  $A$  被限定情况下, 可使用踏脚台解决作业人员的适应性, 同时必须注意:

- ① 踏脚台的设置对立姿工作岗位原有灵活性的限制;
- ② 踏脚台的设置增加意外伤害的可能性;
- ③ 踏脚台对不同百分位数身材作业人员的适应性。

2) 在工作面高度  $A$  未被限定情况下可以使用工作面能升降调节的台面以适应第 5 和第 95 百分位数的作业人员。

3) 在工作平面高度  $A$  必须统一的情况下 (如生产流水线), 工作高度  $H_2$  按作业人员性别异同分两种情况确定。

① 作业人员性别一致时

$$H_2 = [H_{2(5\%)} + H_{2(95\%)}] / 2 \quad (1-10-9)$$

式中,  $H_{2(5\%)}$  和  $H_{2(95\%)}$  分别为表 1-10-5 中某一类别作业的女性或男性第 5 和第 95 百分位数立姿工作岗位高度。

② 作业人员性别不一致时, 取

$$H_2 = [H_{2(W, 95\%)} + H_{2(M, 5\%)}] / 2 \quad (1-10-10)$$

式中  $H_{2(W, 95\%)}$  ——表 1-10-5 中某一类别女性第 95 百分位数立姿工作岗位高度;

$H_{2(M, 5\%)}$  ——表 1-10-5 中该类别男性第 5 百分位数立姿工作岗位高度。

4) 用式 (1-10-5) 确定工作平面高度  $A$ 。同时必须注意:

- ① 对第 95 百分位数的男性 (或女性) 作业人员增加了视距, 应检查是否影响观察和操作;
- ② 对第 5 百分位数的女性 (或男性) 作业人员, 应该检查作业点是否可及。

5) 当作业点在垂直基准面以外 150mm 以上时, 必须保证立姿腿部空间进深  $T_1$ 、脚空间进深  $T_2$  和脚空间高度  $L$  符合表 1-10-5 中规定的数值。

(4) 坐、立姿交替工作岗位

1) 用立姿工作岗位设计方法, 确定工作高度  $H_2$  和工作平面高度  $A$ 。

2) 根据作业要求的类别, 从表 1-10-5 中查出工作高度  $H_{1(5\%)}$  和  $H_{1(95\%)}$ ; 分别按式 (1-10-6) 和式 (1-10-7) 计算坐位面高度  $S$  调整范围和脚支撑  $F$  调整范围, 核算大腿空间高度  $Z$  是否大于表 1-10-5 中规定的最小限值。

3) 检查在立姿工作时第 5 百分位数的作业人员能否触及以坐姿为主安排的工装卡具、作业对象。

## 1.4.2 工作岗位尺寸设计举例

### 例 1 坐姿工作岗位。

已知作业内容及作业要求类别：用风动改锥拧紧外罩，Ⅲ类；作业人员性别：女性；作业点高度  $C = 150\text{mm}$ ；工作台面厚度  $K = 30\text{mm}$ 。

从表 1-10-5 中查出相对高度： $H_{1(5\%)} = 300\text{mm}$ ； $H_{1(95\%)} = 400\text{mm}$ 。

按式 (1-10-4) 计算工作平面高度  $A$ ：

$$A \geq H_{1(95\%)} - C + U_{95\%} + F_{95\%}$$

式中， $U_{95\%} = 435\text{mm}$ （见表 1-10-5）。

$F_{95\%}$  是脚支撑的最低部位，按图 1-10-1 安装时， $F_{95\%} = (350/2) \sin 10^\circ + 20 \approx 50$ （mm）

$$A \geq 400 - 150 + 435 + 50 = 735 \text{ (mm)}$$

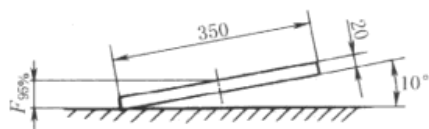


图 1-10-1 脚支撑安排

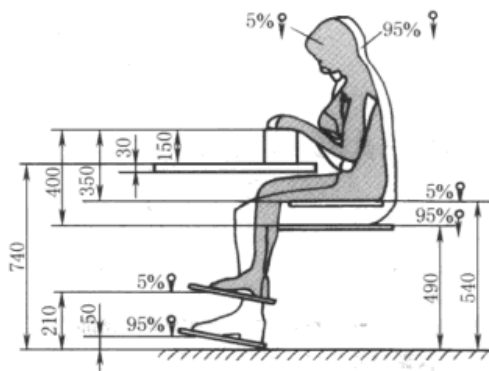


图 1-10-2 设计的工作岗位

(5%♀是第 5 百分位的女性，95%♀是第 95 百分位的女性)

计算出的  $A$  值是最小值，在实际计算中，应该按实际确定的  $A$  值进行以下的计算（例如， $A = 800\text{mm}$ ）。

按式 (1-10-3) 计算坐位面高度  $S$

$$S_{5\%} \leq A + C - H_{1(5\%)} = 735 + 150 - 300 = 585 \text{ (mm)}$$

$$S_{95\%} \leq A + C - H_{1(95\%)} = 735 + 150 - 400 = 485 \text{ (mm)}$$

按式 (1-10-7) 和式 (1-10-8) 计算第 5 百分位数身材的作业人员脚支撑高度  $F$ ：

$$F_{5\%} = S_{5\%} - U_{5\%} = 585 - 375 = 210 \text{ (mm)}$$

$$F_{95\%} = S_{95\%} - U_{95\%} = 485 - 435 = 50 \text{ (mm)}$$

与作业无关的工作岗位尺寸按表 1-10-5 所规定的数值确定。

与作业有关的尺寸汇总如下：

工作面高度  $A \geq 735\text{mm}$ ；

坐位面高度  $S$  调整范围为  $485 \sim 585\text{mm}$ ；

脚支撑高度  $F$  调整范围为  $50 \sim 210\text{mm}$ 。

坐姿工作岗位示意图 1-10-2 所示。

根据式 (1-10-1)、式 (1-10-2) 检验大腿空间高度  $Z$  是否符合表 1-10-5 中规定的最小限值。

$$Z_{5\%} = A - S_{5\%} - K = 735 - 585 - 30 = 120 \text{ (mm)}, \text{ 小于表 1-10-5 中规定的最小值 } 135\text{mm}。$$

$$Z_{95\%} = A - S_{95\%} - K = 735 - 485 - 30 = 220 \text{ (mm)}, \text{ 大于表 1-10-5 中规定的最小值 } 175\text{mm}。$$

当得出  $Z$  值小于表 1-10-5 中规定的最小值时，可在实际的设计中通过调整作业点高度  $C$  值或工作台的尺寸加以改进。



### 例2 坐、立姿交替的工作岗位。

已知作业内容及作业要求类别：电流表布线，Ⅲ类。作业人员性别：男性；作业点高度  $C = 150\text{mm}$ ，工作台面厚度  $K = 30\text{mm}$ 。

以式 (1-10-9) 和表 1-10-5 值为依据确定工作高度  $H_2$ ：

$$H_2 = [H_{2(5\%)} + H_{2(95\%)}] / 2 = (1050 + 1200) / 2 = 1125 \text{ (mm)}$$

按式 (1-10-5) 计算工作面高度  $A$ ：

$$A \geq H_2 - C = 1125 - 150 = 975 \text{ (mm)}$$

从表 1-10-5 中查出Ⅲ类、坐姿工作岗位时的男性工作高度  $H_1$ ：

$$H_{1(5\%)} = 350\text{mm}, H_{1(95\%)} = 450\text{mm}$$

按式 (1-10-3) 计算坐位面高度  $S$ ：

$$S_{5\%} \leq A + C - H_{1(5\%)} = 975 + 150 - 350 = 775 \text{ (mm)}$$

$$S_{95\%} \leq A + C - H_{1(95\%)} = 975 + 150 - 450 = 675 \text{ (mm)}$$

按式 (1-10-7) 计算脚支撑高度  $F$ ：

$$F_{5\%} = S_{5\%} - U_{5\%} = 775 - 420 = 355 \text{ (mm)}$$

$$F_{95\%} = S_{95\%} - U_{95\%} = 675 - 480 = 195 \text{ (mm)}$$

因工作面高度  $A$  为  $975\text{mm}$ ，大于  $800\text{mm}$ ，腿部空间宽度  $B$  应该选择大于或等于  $700\text{mm}$ 。与作业无关的工作岗位尺寸，按表 1-10-5 所规定的数值确定。

与作业有关的尺寸汇总如下：

工作面高度  $A \geq 975\text{mm}$ ；

坐位面高度  $S$  的调整范围为  $675 \sim 775\text{mm}$ ；

脚支撑高度  $F$  的调整范围为  $190 \sim 355\text{mm}$ 。

坐、立姿交替的工作岗位示意如图 1-10-3 所示。

最后，根据式 (1-10-1) 和式 (1-10-2) 检验大腿空间高度  $Z$  是否符合表 1-10-5 中规定的最小限值。

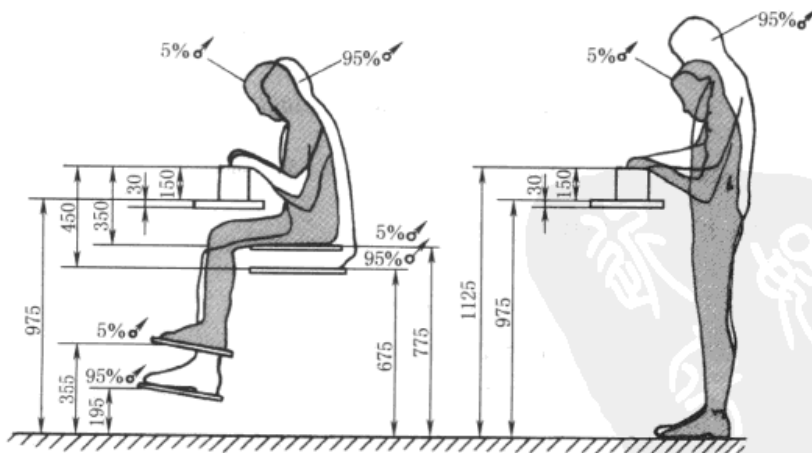


图 1-10-3 设计的坐立姿工作岗位尺寸

( $5\% \delta$  是第 5 百分位的男性,  $95\% \delta$  是第 95 百分位的男性)

## 2 人体必需和可能的活动空间<sup>[43]</sup>

### 2.1 人体必需的空间

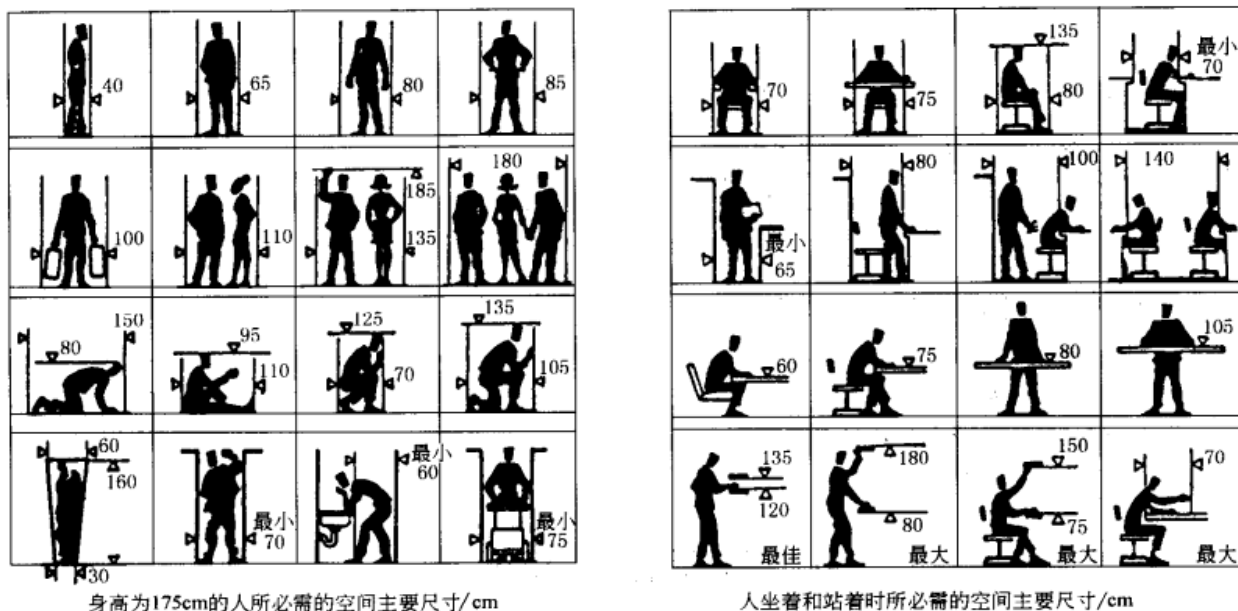


图 1-10-4 人体必需的空间

### 2.2 人手运动的范围

设计工具和装置的把手、手柄、手接触的筛板和其他产品的安全孔时，要考虑人手尺寸及其运动的可能性。图 1-10-5 和表 1-10-6 给出了手的主要尺寸的平均值，图中上部是男性手尺寸，下部是女性手尺寸。男性手最长为 21cm，女性手最长为 20.5cm。握拳时，手可摆动 135°；手指伸开时，手可摆动 150°。

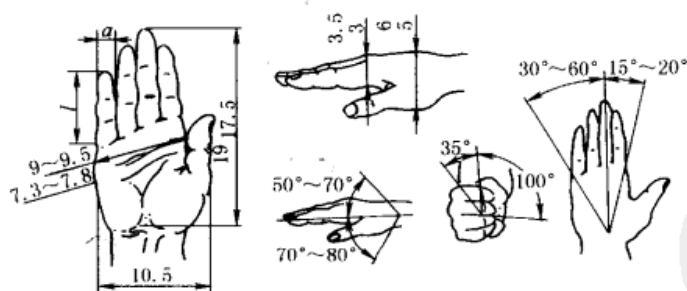


图 1-10-5

表 1-10-6 cm

	指长 $l$	指宽 $a$
大指	7.8 ~ 6.3	2.4 ~ 2.2
中指	9.6 ~ 8.5	2.1 ~ 1.9
小指	7.4 ~ 6.5	1.8 ~ 1.5

### 2.3 上肢操作时的最佳运动区域

上肢操作时的最佳运动区域如图 1-10-6 所示。

### 2.4 腿和脚运动的范围

脚各部分的比例及其弯曲范围对于研究脚部操纵机构是重要的。如自行车的结构要适应脚部尺寸和运动学，

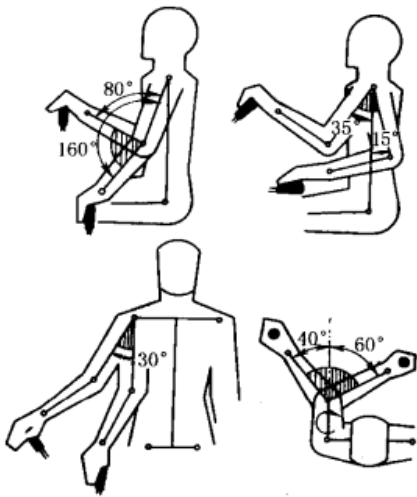


图 1-10-6 上肢操作时的最佳运动区域

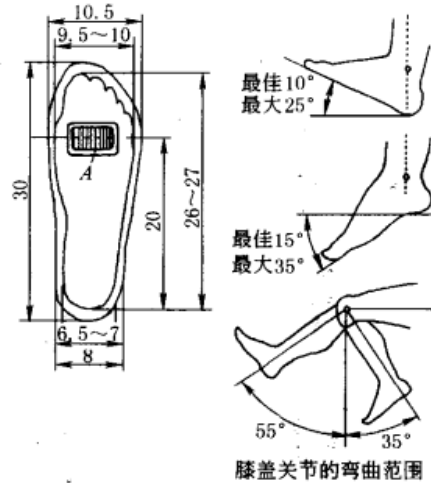


图 1-10-7 腿和脚运动的范围

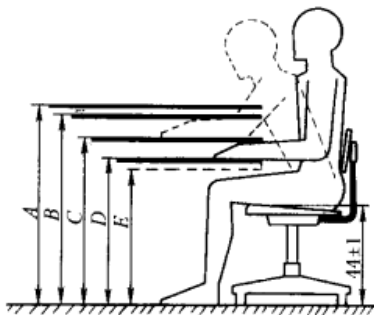
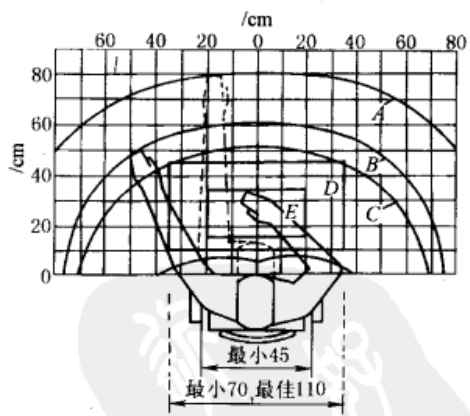
操作台或台下空间的大小取决于操作者坐着的身高和姿态，小腿高度决定坐位的最佳高度。图 1-10-7 所示为身高 175cm 男性的脚部尺寸（穿鞋和不穿鞋）。脚的长度最大为 29cm，最小为 23cm；脚的宽度最大为 10.5cm，最小为 7.8cm；脚掌与踏板接触的面积为 A。实际上还必须考虑到鞋后跟的高度。

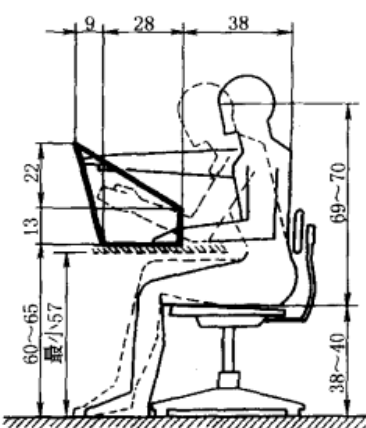
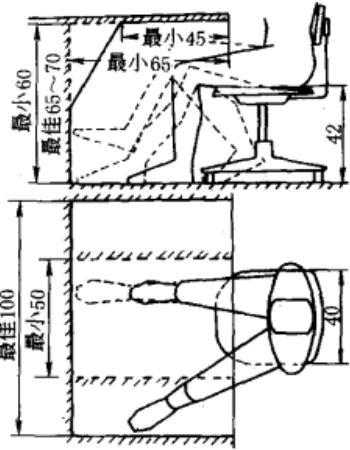
### 3 操作者有关尺寸

#### 3.1 坐着工作时手工操作的最佳尺寸

表 1-10-7

cm

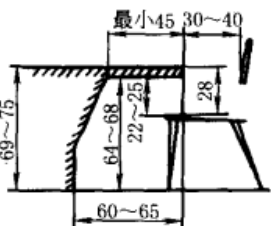
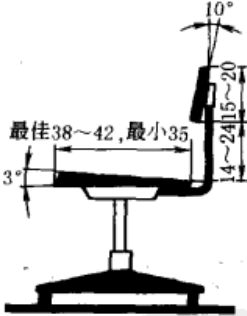
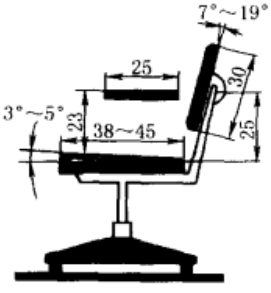
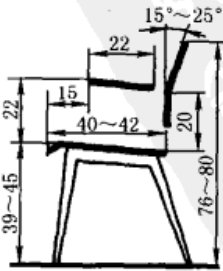
工作台高度	工作台上手的工作区域
 <p>设计原则：                      ①需力越大，应该越低                      ②要求视力越强，应该越高                      ③高度还决定于工作时人体的姿势、操纵机构的大小和操作者的身高</p> <p>A——要求手臂运动有较高精度的工作（钟表组装），88±2                      B——视力强度较高的工作，84±2                      C——一般工作台，74±2；会议桌，69~70                      D——打字桌，需要较大力气才能完成的工作的工作台，66±2                      E——放腿空间的最低高度，60</p>	 <p>手的运动区</p> <p>A——最大可达到区域，在此区内，完成手工操作需要用一定的力                      B——伸直手臂时，手指可达到区域                      C——手掌容易达到区域                      D——粗的手工作最佳的可达到区域                      E——精度和手艺要求很高的手工劳动的最佳可达到区域</p> <p>本图尺寸推荐用于中等身高的男性，坐在高 70cm 左右的工作台前。                      对于女性，到达区应该减小 10%</p>

手工操作的最佳区	工作台下肢脚活动空间
 <p>本图给出的尺寸,推荐用于身高为155~160的男性 在这些条件下,他们能够方便地用手工作(装配、安装、包装等工作,力为100N)</p>	 <p>本图尺寸适用于身高不超过181者 图上示出了腿脚七种姿势:两腿伸直;脚在右角上;腿在坐位下弯曲;一只脚在前,另一只脚在后;两腿交叉;脚放在脚踏板上;在一只腿置于另一只腿上,或对身高为200者,腿脚区高等于75~77</p>

### 3.2 工作坐位的推荐尺寸

表 1-10-8

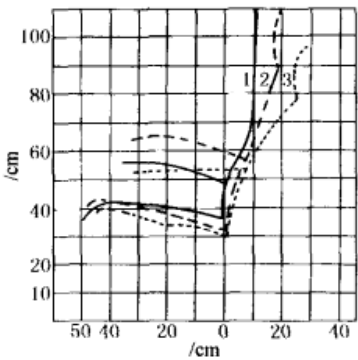
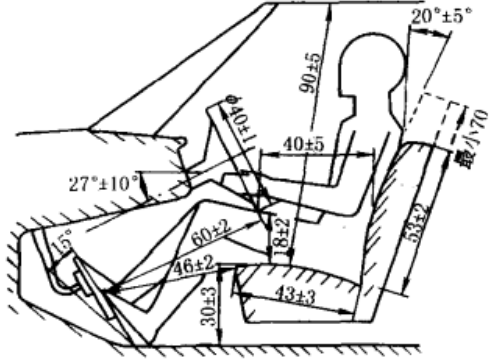
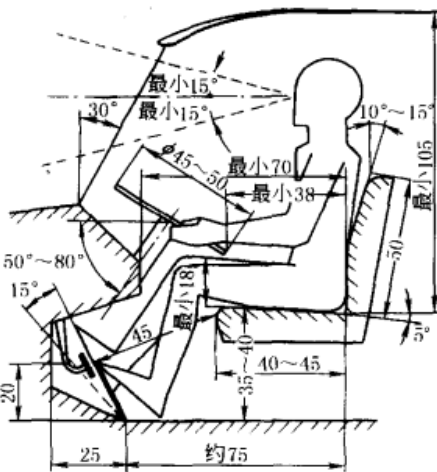
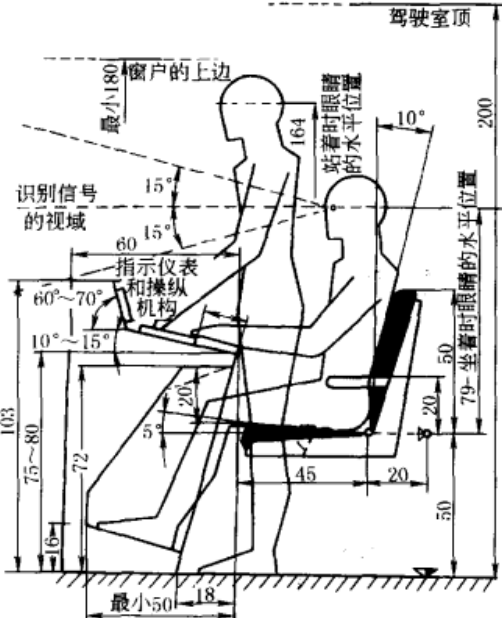
cm

<p>工作桌子与椅子的关系尺寸</p>  <p>桌子高度: 女性 69~73 男性 73~75</p>	<p>车间用椅子</p>  <p>椅子高度: 38~52 宽度: 38~40 椅背宽度: 30~32</p>
<p>操作者用沙发椅</p>  <p>坐位高度: 38~55 范围内调节 坐位宽度: 40~50 椅背宽度: 38~43 扶手最低高度: 45</p>	<p>办公室椅子</p>  <p>坐位高度: 男性 41~45 女性 39~40 坐位宽度: 40 椅背宽度: 35~40</p>

### 3.3 运输工具的坐位及驾驶室尺寸

表 1-10-9

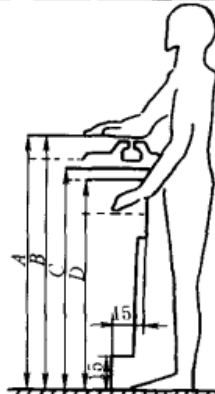
cm

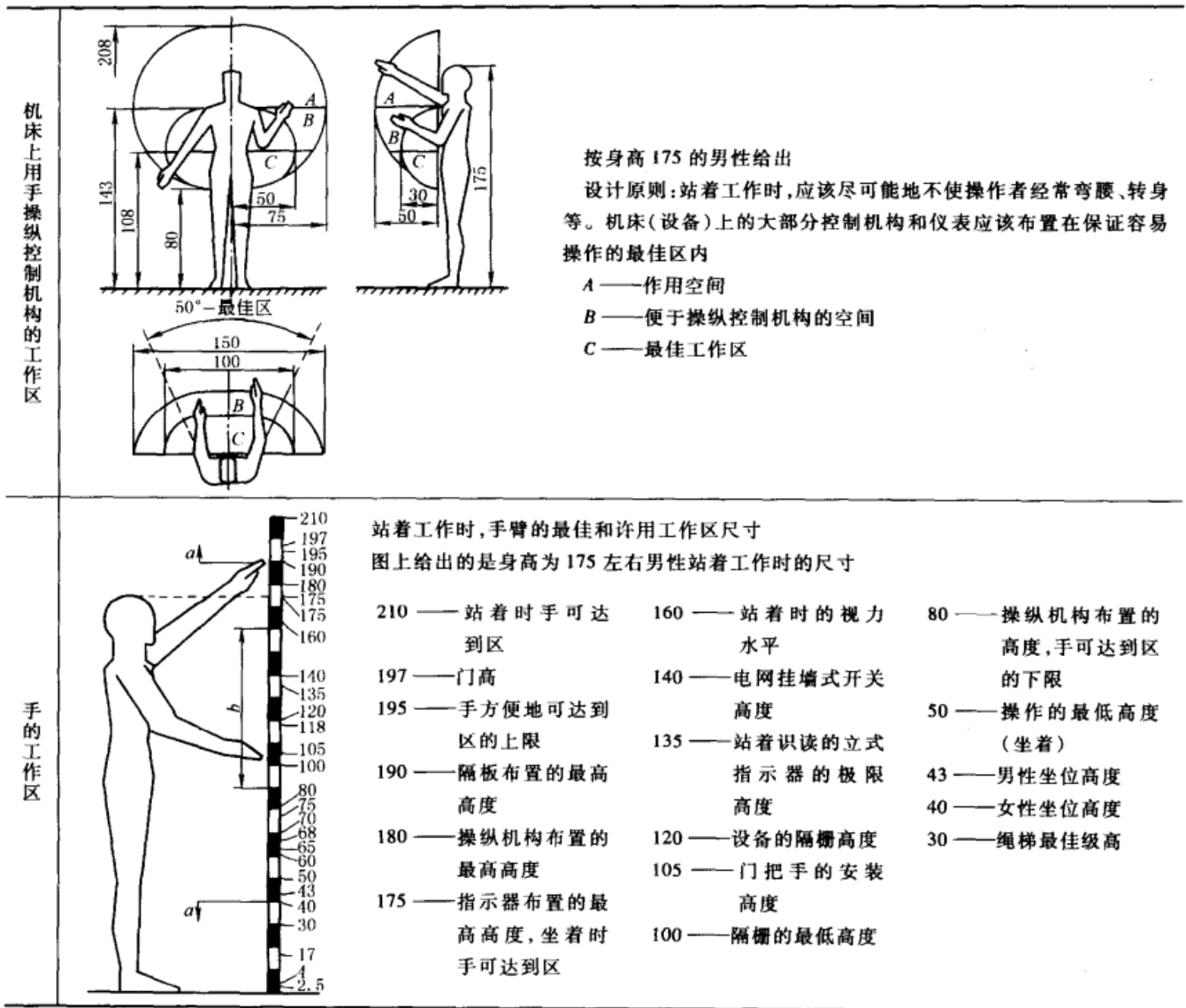
<p>运输工具内的坐位</p>  <p>1—英国航空公司飞机的坐位; 2—瑞典高速铁路火车的坐位; 3—英国铁路货车上的坐位</p>	<p>轻便小汽车的驾驶室</p>  <p>本尺寸以身高 169 ~ 180 者为基础 坐位在水 平面上可调 约 ±10, 在垂 直面上可调 ±4</p>
<p>载重汽车的驾驶室</p>  <p>本尺寸以身高 175 ± 5 者最佳。坐位水平可调 ±10, 垂直可调 ±5, 坐位最小宽度 48</p>	<p>火车头的驾驶室</p> 

### 3.4 站着工作时手工操作的有关尺寸

表 1-10-10

cm

<p>工作台的高度</p> 	<p>适于身高 175 男性, 165 女性 (括号内尺寸) 设计原则: 工作场地的高度决定于作用力、操作者操作物件的尺寸、视力要求和人的身高</p> <p>A——精密工作, 靠肘支承工作, 如在书写时, 105 ~ 115 (100 ~ 110) B——虎钳固定在工作台上的高度, 113 C——轻手工作 (包装等), 95 ~ 100 (90 ~ 95) D——用劲大的工作 (重的钳工工作), 80 ~ 95 (75 ~ 90)</p>
---	---






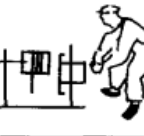


## 4 手工操作的主要数据

### 4.1 操作种类和人力关系

表 1-10-11 几种操作状态下人力发挥的作用力、速度和功率(平均值)

操作类别	操作状态	作用力 $P/N$	速度 $v$ $/m \cdot s^{-1}$	功率 $Pv$ $/N \cdot m \cdot s^{-1}$	操作类别	操作状态	作用力 $P/N$	速度 $v$ $/m \cdot s^{-1}$	功率 $Pv$ $/N \cdot m \cdot s^{-1}$
空手	空手举重	120	0.8	96	杠杆	用手上下压泵的杠杆	50	1.1	55

续表







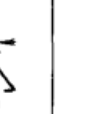
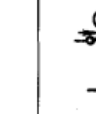






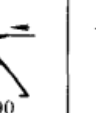
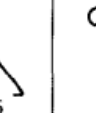
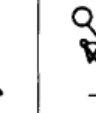

操作类别	操作状态	作用力 P/N	速度 v /m·s <sup>-1</sup>	功率 P <sub>v</sub> /N·m·s <sup>-1</sup>	操作类别	操作状态	作用力 P/N	速度 v /m·s <sup>-1</sup>	功率 P <sub>v</sub> /N·m·s <sup>-1</sup>
曲柄摇柄	 回转曲柄或摇柄	100	0.8	80	锤击	 挥锤打铁砧	120	0.4	48
推拉船槽	 水平推拉船槽	100	0.6	60	绞车	 转动的把柄提升重物	200	0.3	60
拉链	 拉滑轮链提升重物	280	0.4	112	踏车	 以自身重量上楼梯或踏水车旋转	550	0.15	82.5

注：表中数据是根据实验测得的人力平均值。体重为 65kg 的工作者，如在极短时间内动作，作用力 P 值可达表中数值的 2 倍（但是踏车情况下的 P 值仍旧一样）。

表 1-10-12

人的推拉力

N

 430	 420	 400	 390	 385	 380	 380	 370	 370
 370	 350	 330	 320	 300	 290	 285	 280	 270

注：人的两腿分开 50°。

表 1-10-13

操作物体时的最佳位置







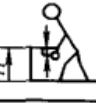
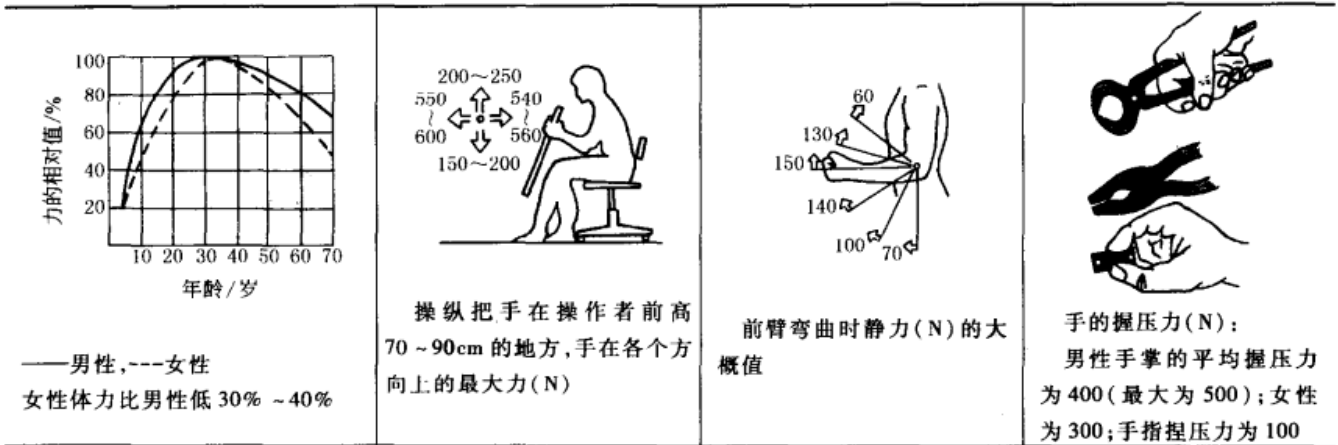
操作说明	图例	操作说明	图例
1. 用双手拿起物体的最初位置：手距地面高度为 500 ~ 600mm 左右；低于此值，拿起物体不方便		5. 用锤打物体的位置：竖打的情况下，物体的高度在 400 ~ 800mm 之间，其效果无显著差别，适宜高度为 500 ~ 600mm，横打最佳高度为 900 ~ 1000mm	
2. 手摇杠杆的位置：手摇杠杆的高度约为 750mm，适宜的行程为 250mm		6. 水平推或拉的位置：握棒的位置离地面的适宜高度为 850 ~ 950mm	
3. 双手加压物体的高度：用双手加压，最大压力的作用高度为 500mm，但 400 ~ 700mm 之间无显著差别，可施加近于体重的压力		7. 拉链时手的位置：拉链时手的位置从最高 1700mm (H <sub>1</sub> ) 拉下至 1200mm (H <sub>2</sub> ) 为最佳	
4. 手摇摇柄的位置：摇柄的中心高度为 800 ~ 900mm，力臂视力矩大小取 250 ~ 400mm			

表 1-10-14

人的体力



注:设计时需根据各地区具体情况进行修正。

表 1-10-15

健康男人骑自行车发出的平均功率<sup>[44]</sup>

骑车人	发出功率/kW	持续时间	骑车人	发出功率/kW	持续时间
一流选手	0.74	最高发出功率约 10s	中学生	0.22	最高发出功率约 10s 短时间(5~10min) 长时间(10~60min)
成年人	0.51	最高发出功率约 10s		0.15	
	0.22	短时间(5~30min)		0.07	
	0.15	长时间(30~60min)			

## 4.2 操纵机构的功能参数及其选择

操纵系统的可靠性和安全性取决于操纵机构型式选择的正确与否,选择操纵机构的型式取决于切换力、装置的精度、调节范围、切换速度(接通或断开)、调节或调整精度的等级,以及切换开关的可能位置等因素,参见表 1-10-16 ~ 表 1-10-18。

表 1-10-16

操纵机构型式及最佳力

操纵机构名称	两种		三种	四种	操纵力	
	调节位置				较小	较大
	快速开和关			精确调节的快速操纵	精确调节的慢操纵	快速操纵
操纵机构型式	按钮 	脚踏板 	旋转杠杆开关 		旋钮 	曲柄把手 
最佳力/N	10	30~50	10	10	20~40	20~80
操纵机构型式	两投杠杆转换开关 	脚踏按钮 	杠杆 	旋转把手 	手轮 	带把的手轮 
最佳力/N	5	30~50	70	30~50	20~50	20~50







操纵机构名称	两种	三种	四种	操纵力	
	调节位置			较小	较大
	快速开和关		精确调节的快速操纵	精确调节的慢操纵	快速操纵
操纵机构作用型式		光信号			

表 1-10-17

操纵力推荐值

N

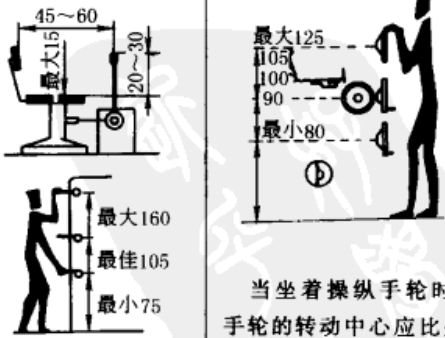
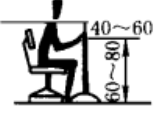


操纵方式	操纵器形式			
	按钮	操纵杆	手轮、驾驶盘	踏板
用手指	5	10	10	
用手掌	10			
用手臂		60(150)	40(150)	
用双手		90(200)	60(250)	
用脚				120(200)

注：1. 括号内的数值适用于不常用的操纵器。

2. 用双手操纵管道阀门的手动操纵杆和操纵轮，用力不得超过 450N。

表 1-10-18

操纵机构其他功能参数

工作情况	杠杆	踏板	曲柄把手	杠 杆 /cm			手轮布置位置/cm	
				布 置		相关尺寸		
1. 转动角度 2. 主要和经常使用时的行程 3. 辅助的或不经常使用时的行程	<30°	<60°	1. 最大旋转半径 <400mm 2. 旋转中心离地面高度 900 ~ 1100mm 3. 手把上的平均运动速度 <1m/s	杠杆把手的最佳布置	运动方向	操纵力/N		 <p>当坐着操纵手轮时，手轮的转动中心应比坐位高约 40cm</p>
						最大	最佳	
					→ 推	600	90 ~ 130	
	← 拉	500			50 ~ 130			
		↑ 向上		250	70 ~ 120			
		↓ 向下		250	70 ~ 120			
		← 拉向操作者		200	50 ~ 70			
		→ 向外推		150	50 ~ 70			

## 5 工业企业噪声有关数据

表 1-10-19 新建、扩建、改进企业噪声卫生标准 (试行草案)

每个工作日接触噪声时间/h	允许噪声/dB
8	85
4	88
2	91
1	94
最高不得超过	115

表 1-10-20 工作场地噪声的极限允许值 dB

极限允许值	活动型式
85	体力工作(不要求思想集中和不监听周围环境)
75	体力工作(要求精度和注意力集中或连续监听周围环境)
65	经常要求发布口头命令和声音信号的工作;要求连续监听周围环境的工作;死板性质的脑力活动为主的工作
55	脑力工作(要求注意力集中,注意周围环境)
40	脑力工作(操纵)(要求长时间注意力集中和注意周围环境),有重大责任的工作

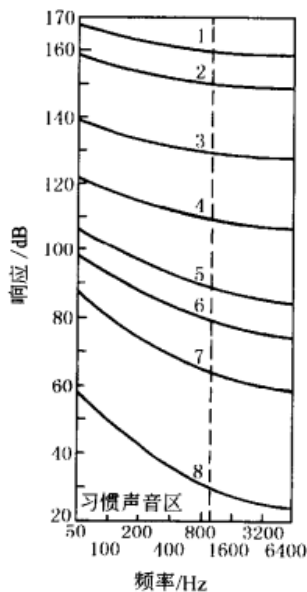
注:表中给出的噪声级是大致的,在研究具体的噪声时必须考虑到其作用的时间长短,连续或间断性质,白天或者夜间和局部条件。

表 1-10-21

不同工作场所的噪声级测量值

dB

200 ~ 800	宇宙火箭启动	75 ~ 80	焊接设备,钻床,呼喊声
190	功率巨大的火箭发动机	75	电话铃声
140	喷气式飞机	70 ~ 80	机械制造厂,机加工车间,建筑工地,电子计算机
130	飞机发动机,高压蒸汽排出	65 ~ 70	电动打字机
110 ~ 120	铆接,风动工具清除铸件	65	加重的说话声音
95 ~ 115	轧钢机	60 ~ 65	机械打字机,工厂办公室
95 ~ 110	熔炼炉和煅烧炉	50	相隔 1m 距离的谈话
90 ~ 100	锅炉房,汽笛,锯木间	30 ~ 40	机关和安静的工作地点
85 ~ 105	制模机,振动器和压机	10 ~ 12	钟表滴答声
80 ~ 90	重型加工机床,计算中心		



- 1—造成瞬时致聋或致死;
- 2—造成听觉器官严重损伤和致聋;
- 3—引起强烈的病态感觉和头晕;
- 4—产生病态感觉,开始损伤听觉器官,必须采用噪声抑制器;
- 5—引起非常不愉快的感觉,疲乏和头痛;
- 6—对听觉器官有害;
- 7—造成神经性刺激,干扰智力集中,降低工作质量;
- 8—相对噪声区,它是人心理上对噪声源有感受的噪声,随着时间的推移,对操作工作和要求智力集中很强的动作产生不良影响

图 1-10-8 噪声对人的作用

## 6 照 明

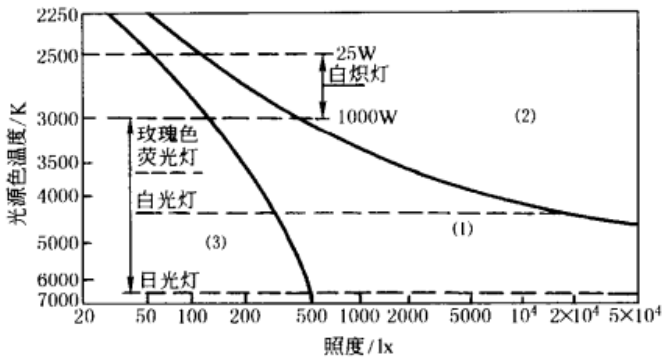


图 1-10-9 照度和颜色的影响

克劳依脱霍夫图表是一种定向的辅助手段，用此图表从美学上决定舒适的和不舒适的照明。美学上舒适的和自然的照明由区域(1)内照度(lx)和色温度(K)的交点来决定，如果交点位在区域(1)之外，那么照明不是自然光而是失真颜色(2)或者是冷光，这时会感到光线不足(3)

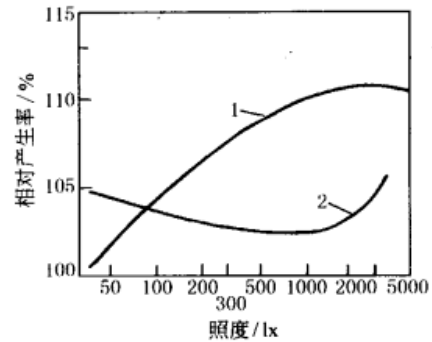


图 1-10-10 相对生产率和眼睛疲劳度同照度的关系曲线

1—相对生产率；2—眼睛疲劳度  
实验证明，在工作面上和工作地点有较强的照明时，可以提高劳动生产率和降低眼睛与机体的疲劳度。但是对每一种视力工作来说，它具有自己的界限，这是由于使眼睛发花的亮度会对视力产生不良作用

表 1-10-22 按照工作形式和视力活动特点推荐的工作地点人工照明的照度

照度/lx	视力活动特点	照度/lx	工作形式
5000	最精确的工作，认清的零件尺寸 < 0.2mm (特殊视力任务)	5000	最复杂视觉任务
		3000	精确的检查
		2000	中等对比度和弱反射时的最佳照明(仪表的生产和组装)
1000	精确的工作，区分的零件尺寸为 0.2 ~ 1mm (正常视力任务)	1500	雕刻工作
		1000	最精确的机械工作；区分颜色；机器加工的精确工作
		500	设计和绘制图纸、精确的机械试验、实验室、计算中心、机器印刷
500	中等精度工作，区分的零件尺寸为 1 ~ 10mm (简单视力任务)	300	对没有日光照明的工作地点；卫生上的最低要求；阅读、写信、机关工作、钳工工作、压力机车间工作
		160	车间总体照明卫生上的最低要求；大致的检查、加工车间、储存、包装工作、分发、铸造生产
250	粗糙的工作，区分的零件尺寸为 10 ~ 100mm	100	建筑物的入口、通道和楼梯等地方
		60	视力分析状态上最低要求的照度
125	一般地识别方位	25	安全工作的最低照度(内部交通和指向)

注：照度主要影响同眼睛工作有关的劳动生产率，提高照度在某些范围内意味着提高劳动生产率。表内列出的人工照明的照度值，必须在工作地点内全日使用。

## 7 综合环境条件的不同舒适度区域和振动引起疲劳的极限时间<sup>[46]</sup>

图 1-10-11 为综合环境不同条件给出的不同舒适度的区域，可以对比人的工作区是否适应或应加以改进，但是有些条件对人体的影响不是单一的。例如图中加速度在 (0.1 ~ 1)g (重力加速度) 为不舒适区。但对于冲击及振动等连续作用情况下，其对于人体器官的疲劳作用，与振动频率及作用时间有很明显的关系。图 1-10-12a、b 分别为由垂直振动和水平振动作用于人体器官产生不同疲劳的极限时间及其频率的关系，加速度以振动的均方值决定。

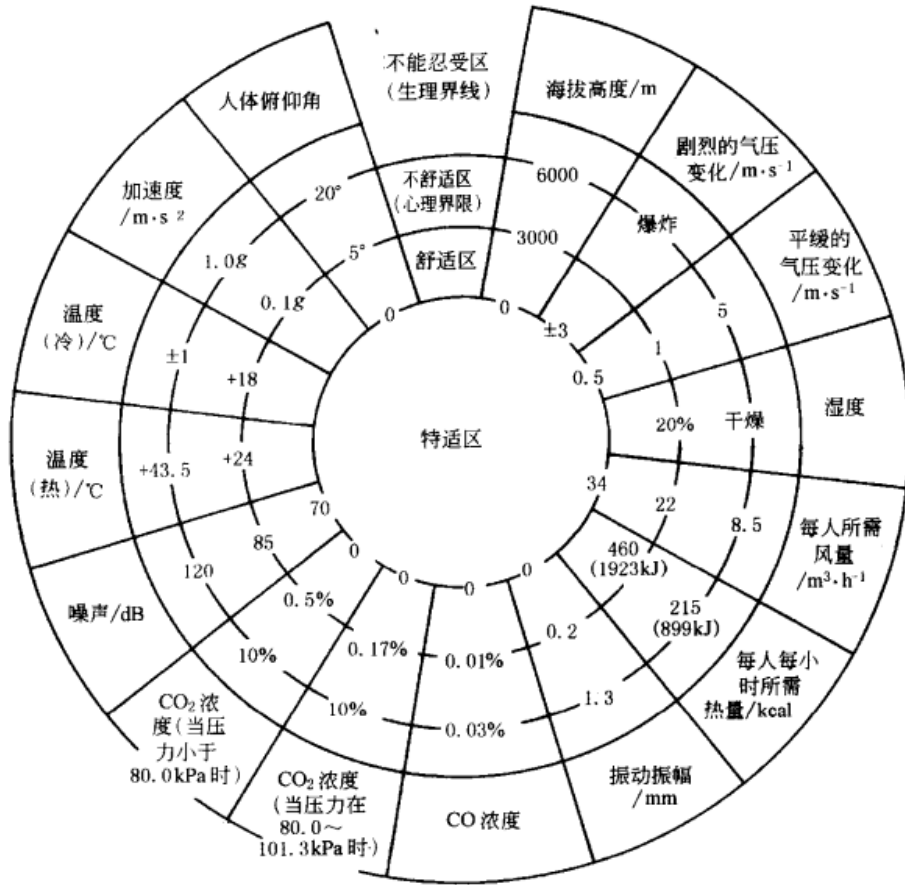


图 1-10-11 综合环境条件的不同舒适度区域

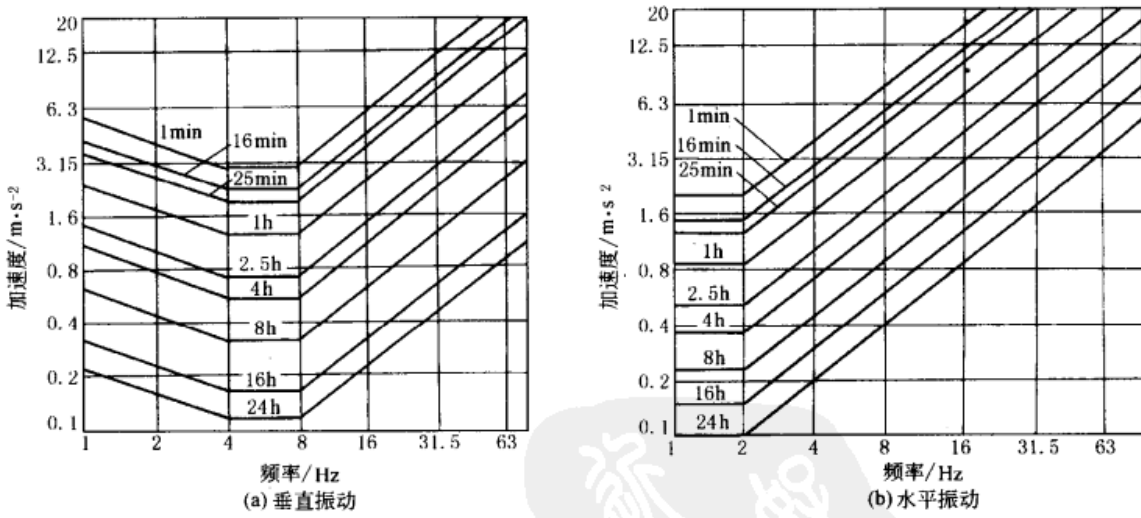


图 1-10-12 疲劳的极限时间

## 8 安全隔栅及其他

### 8.1 安全隔栅

人手经过隔栅可达到的距离，见图 1-10-13。

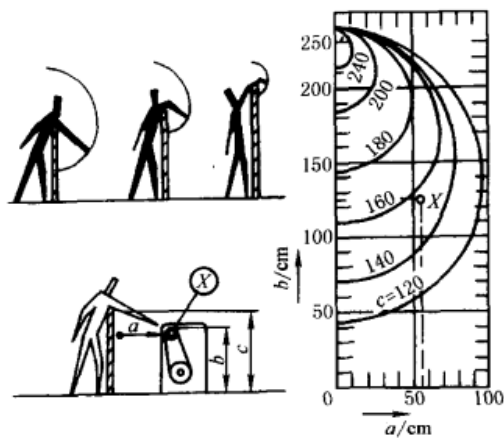


图 1-10-13 人手经过隔栅可达到的距离 (本图为身高 175cm 的人的试验结果)

## 8.2 梯子 (摘自 GB 4053.1, 4053.2—1993) 及防护栏杆 (摘自 GB 4053.3—1993)

本标准规定的固定钢斜梯和固定钢直梯安全技术条件只适用于工业企业生产中, 防护栏杆安全技术条件只适用于工业企业中的平台、人行通道、升降口等有跌落危险的场所; 钢斜梯、防护栏杆不适用于交通及其他移动设备上, 钢直梯不适用于船舶、通信塔、电线杆和烟囱上。

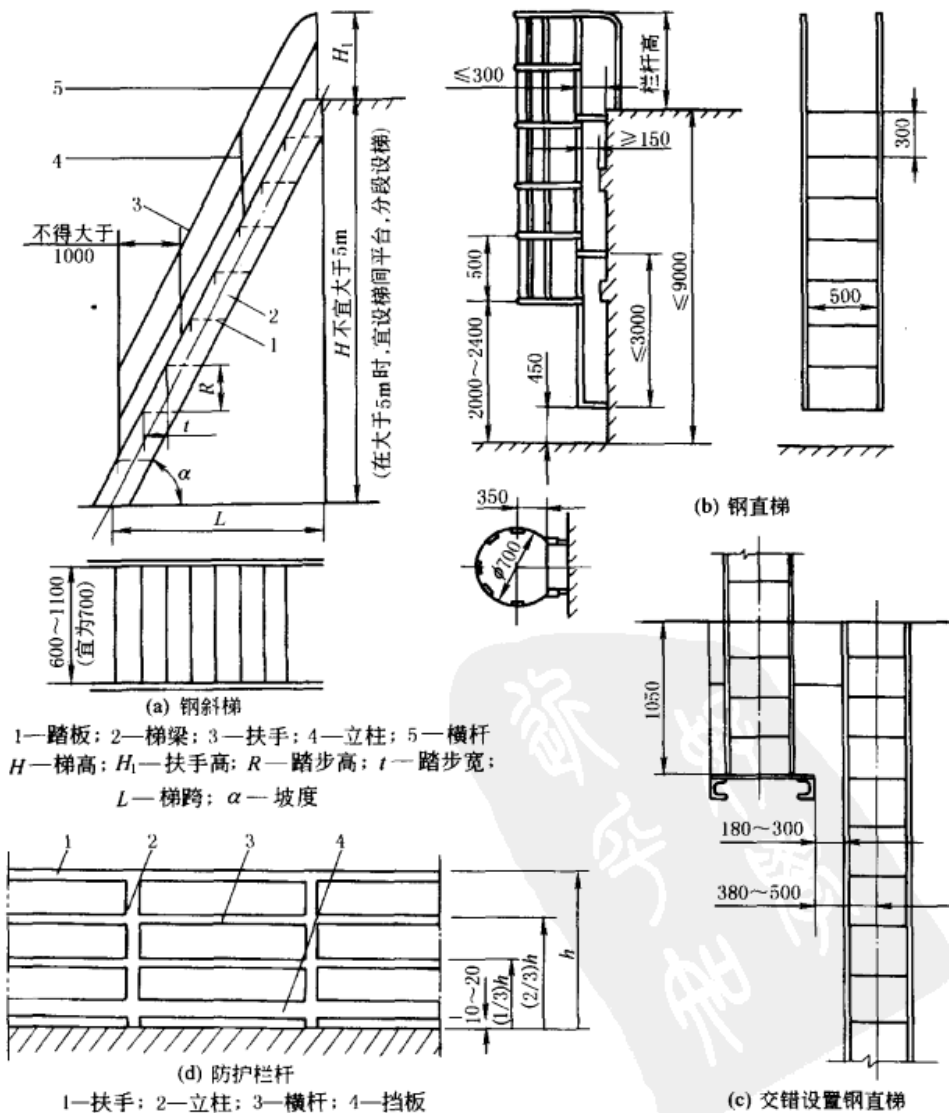


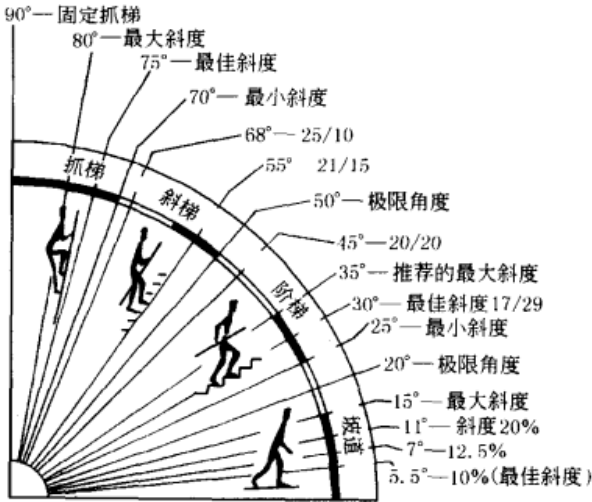
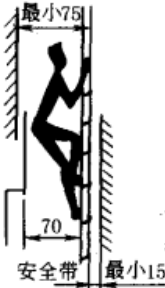
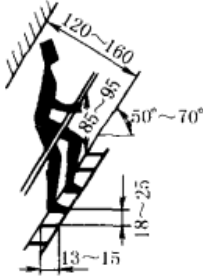


表 1-10-23

	坡度 $\alpha/(\circ)$	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	坡度 $\alpha/(\circ)$	45	51	55	59	73
	踏步高 $R/\text{mm}$	160	175	185	200	210	225	235	245	255	265	高跨比 $H:L$	1:1	1:0.8	1:0.7	1:0.5	1:0.3
	踏步宽 $t/\text{mm}$	280	250	230	200	180	150	135	115	95	75						
固定式钢 斜梯(摘自 GB 4053.2— 1993)	零件尺寸及材质	踏板: $\delta \geq 4\text{mm}$ 花纹钢板, 或经防滑处理的普通钢板, 或由 $25 \times 4$ 扁钢和小角钢组焊成的格子板 扶手: $H = 900\text{mm}$ , 或按 GB 4053.3—1993 中规定的栏杆高度; 采用外径为 $\phi 30 \sim 50\text{mm}$ , 壁厚不小于 $2.5\text{mm}$ 的管材 立柱: 用不小于 $40 \times 40 \times 4$ 角钢, 或外径为 $\phi 30 \sim 50\text{mm}$ 管材, 从第一级踏板开始设置, 间距不宜大于 $1000\text{mm}$ 横杆: 采用直径不小于 $\phi 16\text{mm}$ 圆钢或 $30 \times 4$ 扁钢, 固定在立柱中部 梯梁: 采用性能不低于 Q 235-A · F 钢材, 其截面尺寸应通过计算确定															
	载荷规定	钢斜梯活载荷应按实际要求采用, 但不得小于下列数值 ① 钢斜梯水平投影面上的活载荷标准值取 $3.5\text{kN/m}^2$ ② 踏板中点集中活载荷取 $1.5\text{kN/m}^2$ ③ 扶手顶部水平集中活载荷取 $0.5\text{kN/m}$ ④ 挠度不大于受弯构件跨度的 $1/250$															
与附在设备上的平台梁相连接时, 连接处应采用开长圆孔的螺栓连接, 其他坡度按直线插入法取值																	
固定式钢 直梯(摘自 GB 4053.1— 1993)	构件尺寸及设计有关规定	梯梁应采用不小于 $50 \times 50 \times 5$ 角钢或 $60 \times 8$ 扁钢 踏棍宜采用不小于 $\phi 20\text{mm}$ 的圆钢, 间距宜为 $300\text{mm}$ 等距离分布 支撑应采用角钢、钢板或钢板组焊成 T 形钢制作, 埋设或焊接时必须牢固可靠 无基础的钢直梯, 至少焊两对支撑, 支撑竖向间距不宜大于 $3000\text{mm}$ , 最下端的踏棍与基准面距离不宜大于 $450\text{mm}$ 钢直梯每级踏棍的中心线与建筑物或设备外表面之间的净距离不得小于 $150\text{mm}$ (见图 b) 侧进式钢直梯中心线至平台或屋面的距离为 $380 \sim 500\text{mm}$ , 梯梁与平台或屋面之间的净距离为 $180 \sim 300\text{mm}$ (见图 c) 梯段高度超过 $3000\text{mm}$ 时应设护笼, 护笼下端距基准面为 $2000 \sim 2400\text{mm}$ , 护笼上端高出基准面应与 GB 4053.3—1993 中规定的栏杆高度一致 护笼直径应为 $700\text{mm}$ , 其圆心距踏棍中心线为 $350\text{mm}$ 。水平圈采用不小于 $40 \times 4$ 扁钢, 间距为 $450 \sim 750\text{mm}$ , 在水平圈内侧均布焊接 5 根不小于 $25 \times 4$ 扁钢垂直条 钢直梯最佳宽度为 $500\text{mm}$ 。由于工作面所限, 攀登高度在 $5000\text{mm}$ 以下时, 梯宽可适当缩小, 但不得小于 $300\text{mm}$ 钢直梯上端的踏棍应与平台或屋面平齐, 其间隙不得大于 $300\text{mm}$ , 并在直梯上端设置高度不低于 $1050\text{mm}$ 的扶手 梯段高不宜大于 $9\text{m}$ 。超过 $9\text{m}$ 时宜设梯间平台, 以分段交错设梯。攀登高度在 $15\text{m}$ 以下时, 梯间平台的间距为 $5 \sim 8\text{m}$ , 超过 $15\text{m}$ 时, 每 $5\text{m}$ 设一个梯间平台, 平台应设安全防护栏杆															
	载荷规定	踏棍按在中点承受 $1\text{kN}$ 集中活载荷计算, 允许挠度不大于踏棍长度的 $1/250$ 梯梁按组焊后其上端承受 $2\text{kN}$ 集中活载荷计算 (高度按支撑间距选取, 无中间支撑时按两端固定点距离选取), 长细比不宜大于 200															
	固定注意	固定在平台上的钢直梯, 应下部固定, 其上部的支撑与平台梁固定, 在梯梁上开设长圆孔, 采用螺栓铰接 固定在设备上的钢直梯当温差较大时, 应一个支撑固定, 其余支撑均在梯梁上开设长圆孔, 采用螺栓铰接															

<p>固定式工业防护栏杆</p>	<p>构件尺寸及设计有关规定</p>	<p>防护栏杆的高度宜为 1050mm。离地高度小于 20m 的平台、通道及作业场所的防护栏杆高度不得低于 1000mm,离地高度等于或大于 20m 高的平台、通道及作业场所的防护栏杆不得低于 1200mm                  扶手宜采用外径 <math>\phi 33.5 \sim 50\text{mm}</math> 的钢管,立柱宜采用不小于 <math>50 \times 50 \times 4</math> 角钢或 <math>\phi 33.5 \sim 50\text{mm}</math> 钢管,立柱间隙宜为 1000mm                  横杆采用不小于 <math>25 \times 4</math> 扁钢或 <math>\phi 16\text{mm}</math> 的圆钢,横杆与上、下构件的净间距不得大于 380mm                  挡板宜采用不小于 <math>100 \times 2</math> 扁钢制造。如果平台设有满足挡板功能及强度要求的其他结构边沿时,允许不另设挡板                  室外栏杆、挡板与平台间隙为 10 ~ 20mm,室内不留间隙                  栏杆端部必须设置立柱或与建筑物牢固连接</p>
		<p>强度要求:栏杆的设计,必须保证其扶手所能承受水平方向垂直施加的载荷不小于 500N/m</p>
<p>钢斜梯、直梯、栏杆共同规定</p>	<p>钢斜梯梯梁、钢直梯及栏杆的全部构件采用性能不低于 Q 235-A · F 的钢材制造                  钢斜梯、钢直梯及栏杆全部采用焊接,焊接要求应符合 GBJ 205—1983 的技术规定。当栏杆不便焊接时,也可用螺栓连接,但必须保证其结构强度要求                  所有结构表面应光滑、无毛刺,安装后不应有歪斜、扭曲、变形及其他缺陷                  钢斜梯、直梯及栏杆安装后表面必须认真除锈,并做防腐涂装</p>	

### 8.3 倾斜通道

表 1-10-24

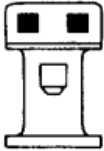
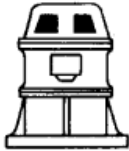
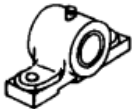





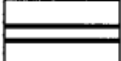
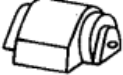

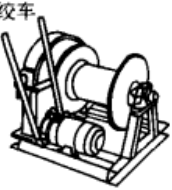
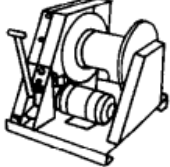
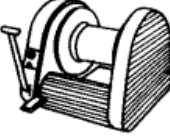

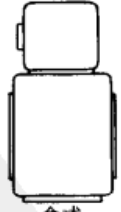

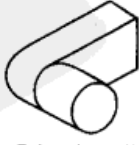
倾斜通道		抓梯
	 <p>宽度(立柱间的距离)为 40 ~ 45cm,蹬的最佳直径 3cm,蹬的最佳距离 30cm,最大高度 9m, &gt;3m 应设安全带</p>	
斜梯	台阶	坡道
 <p>对于单通道最小宽度为 60cm</p>	 <p>最小宽度为 120cm,台阶间的最佳阶高和阶距的比例为 17/29,推荐 13/37、14/34、15/33、16/31、18/27、19/25</p>	 <p>最佳宽度为 110cm(最小为 75cm),最佳斜度 5.5°(对车站入口为 12°)</p>

# 第 11 章

## 符合造型、载荷、材料等因素要求的零部件结构设计准则<sup>[45]</sup>

### 1 符合造型要求的结构设计准则

表 1-11-1

准 则	造型不合理	造型合理	准 则	造型不合理	造型合理
1. 选择合理的表达方式					
寻求一种有目的的、合理的表达方式	交流立式电动机  不稳定,头部太重	 稳定,安全站立	(2)力求形状与轮廓相似	轴承 	
	熨斗  笨重,不易动	 轻便,使用合手	(3)线缝走向合适	空调器  混淆,不协调	 方框型式   展开型式
2. 形状统一					
(1)应用少的形状变体	发电机 		3. 构造总的外形		
	绞车 	 开式结构   闭式结构	(1)用可描述的方式安置	真空泵  不可描述	 盒式
			(2)可分解成清晰的、界限分明的部分	控制装置  堆积,不可描述	 明确分段,L形

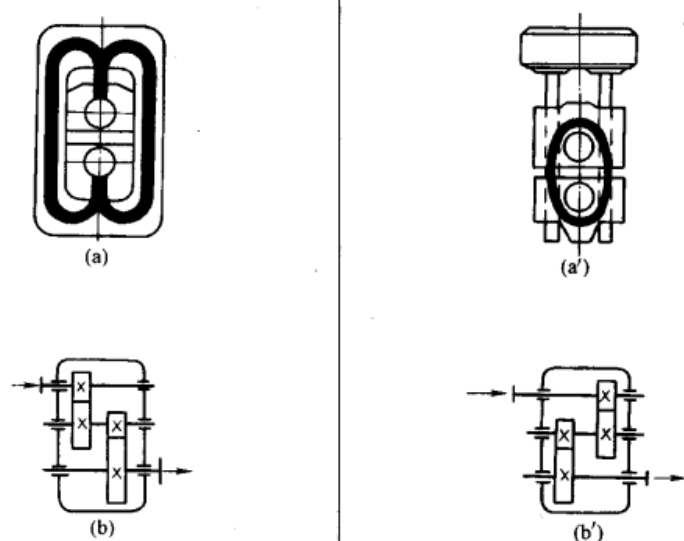
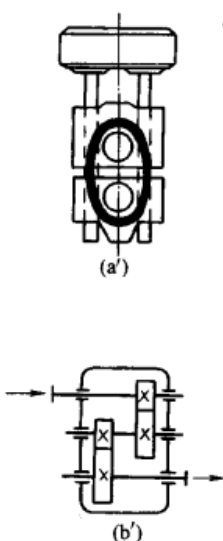
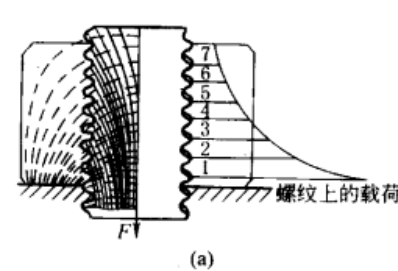
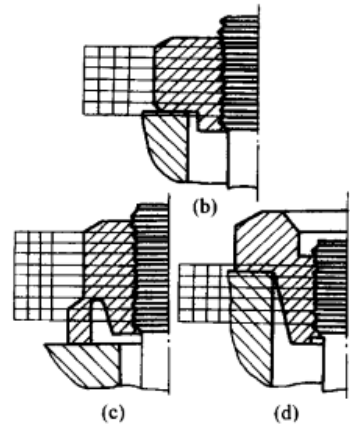
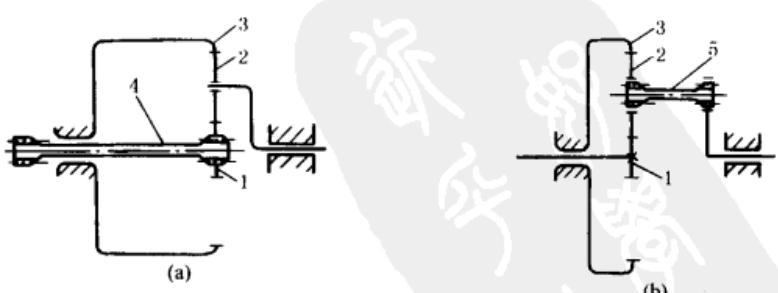
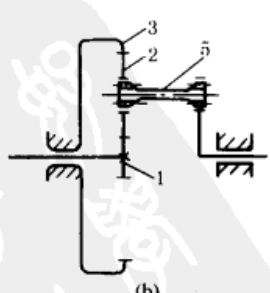


准则	造型不合理	造型合理	准则	造型不合理	造型合理
4. 通过色彩支持			5. 通过图形补充		
(1) 色彩与造型协调			(1) 采用格式相同的字体与符号		
(2) 减少色调与材料差别			(2) 力求表达一致		
(3) 规定与衬色协调的特征色			(3) 图形单元在种类、大小与色彩方面与其他部分构形相协调		

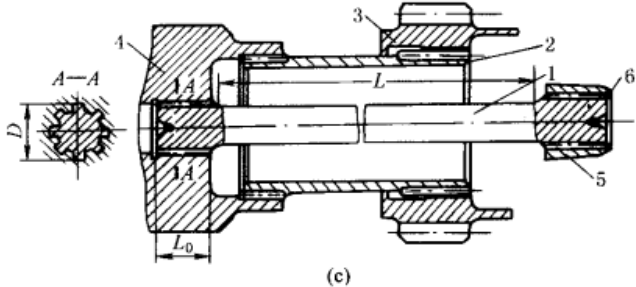
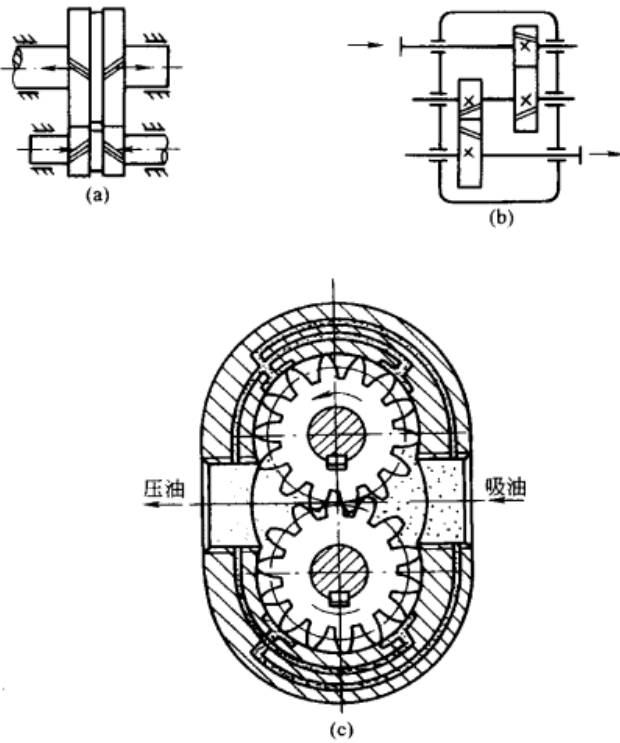
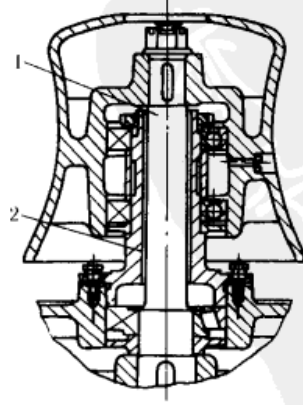
## 2 符合载荷要求的结构设计准则

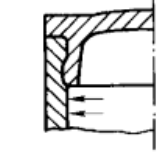
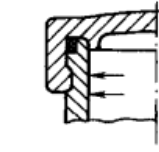
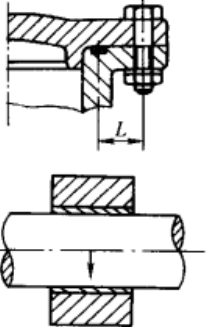
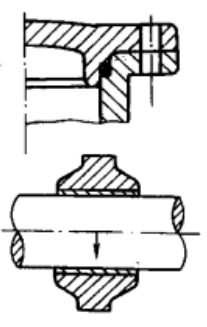
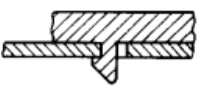

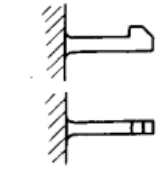
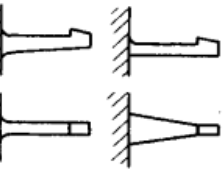
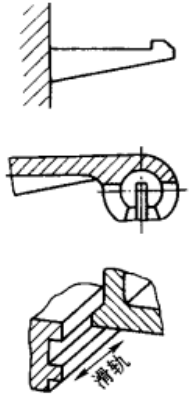
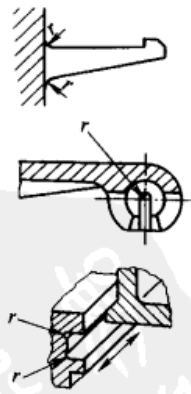
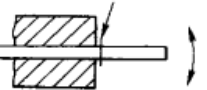

表 1-11-2

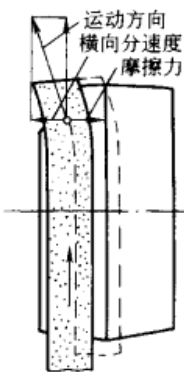
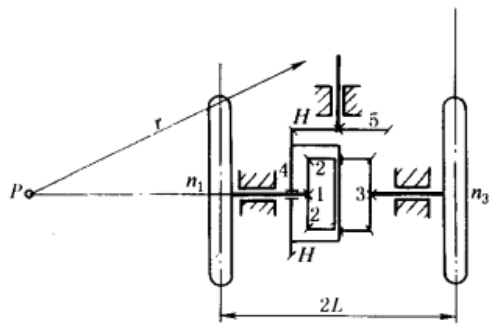
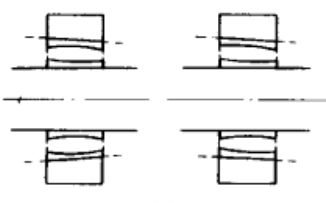
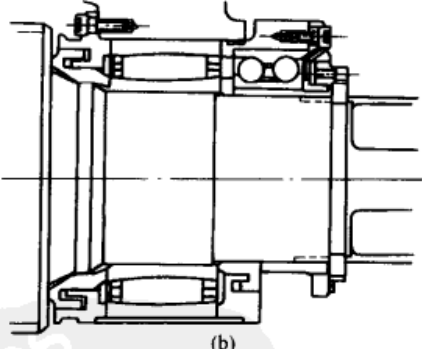
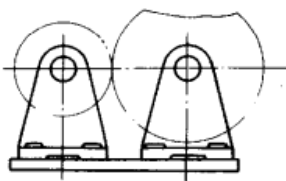
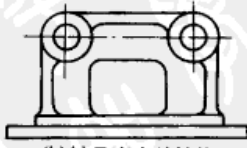
准则	改进前的设计	改进后的设计
1. 铸钢受压应力比受拉应力或扭转应力好		
2. 由于纵向弯曲的原因, 钢或塑料受拉比受压好		
3. 力求力流传递路径合理。图 a 力流在 A 处急剧转向流经齿轮, 致使 A 处应力很大, 产生较大应力集中; 图 a' 力流过渡平缓, 应力分布较均匀, 不易出现应力集中		

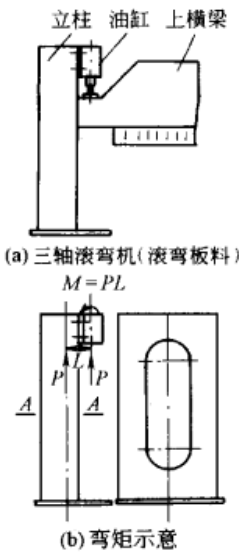
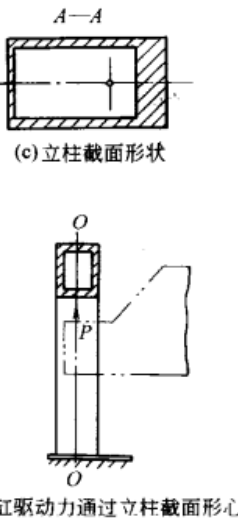
准 则	改进前的设计	改进后的设计
<p>4. 力求力流传递路线长短合理</p> <p>1) 图 a 为普通轧机, 它有一个高大的工作机架。图 a' 为无机架轧机, 由于没有机架, 其应力回线长度比普通轧机大大缩短, 这样, 整个结构尺寸和零部件尺寸均大大缩小, 变形小, 刚度增大, 提高了轧材轧制精度, 节省了材料, 因此而得名短应力线轧机</p> <p>2) 图 b' 为使力流线长更为合理的实例。这是因为在利用轴的扭转变形部分地改善因轴的弯曲变形而产生的轮齿齿面上载荷不均的程度方面, 图 b' 的齿轮布置优于图 b</p>		
<p>5. 力求载荷分布均匀化</p> <p>(1) 增加结构弹性变形</p> <p>图 a 各圈螺纹受力不均, 第 1 圈螺牙受力可为第 7 圈螺牙受力的十几倍。图 b、c、d 用降低螺母局部刚度, 以增加其弹性变形来达到均载的目的</p>		
<p>(2) 设置载荷均载装置</p> <p>行星轮系由于制造误差和工作时各构件变形, 致使各行星轮间受力不均。为使各行星轮间载荷分配均匀, 采用了均载装置 (弹性轴、弹性销轴), 如图所示。它是通过弹性构件的弹性变形来达到各行星轮均载目的的 (图中仅绘出一个行星轮)</p>		

1,3—中心轮; 2—行星轮; 4—弹性轴; 5—弹性销轴

准 则	改进前的设计	改进后的设计
<p>图 c 为某星型高速大马力柴油机曲轴自由端弹性连接结构, 曲轴通过弹性轴 1 驱动辅助机组, 通过空心弹性轴 2 驱动凸轮传动机构。弹性轴两端采用弹性卡圈定位, 这种定位结构使用较多</p>	 <p>(c)</p>	<p>1—弹性轴; 2—空心弹性轴; 3—凸轮轴传动机构的齿轮; 4—曲轴; 5—辅助机组传动机构的齿轮; 6—定位用弹性卡圈</p>
<p>6. 借助力的平衡设计部分或全部地将某些零部件由于本身结构而伴生的无用力平衡掉</p> <p>(1) 采用对称结构设计</p> <p>如图 a 人字齿轮传动, 可全部抵消; 图 b 二级圆柱斜齿减速器, 可部分抵消, 从而减轻该轴及轴承上的载荷</p> <p>(2) 设置平衡装置</p> <p>图 c 为齿轮泵简图, 为平衡液压径向力, 在泵壳或侧板上开有液压力平衡槽, 将高压油引入低压区, 同时, 又将低压油与高压区连通, 这样两个齿轮轴上的载荷由于液压力被平衡掉而仅是齿轮啮合力, 减轻了轴承上的作用载荷</p>	 <p>(a) (b) (c)</p>	
<p>7. 合理分配载荷。如图采用了卸载结构设计, 使轴承座 2 和输出轴 1 悬臂段分别只承受单一的径向力和传递单一转矩, 从而大大改善了输出轴的受力条件和蜗轮副的啮合条件</p>		<p>1—输出轴; 2—轴承座</p>

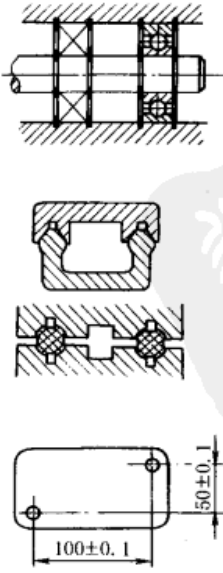
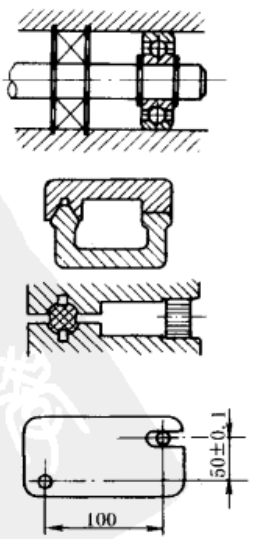
准 则	改进前的设计	改进后的设计
8. 避免因离心力而损害收缩接合(过盈连接)		
9. 避免由于变形产生的内压力造成不密封		
10. 通过增大弹簧长度减小弯曲应力(软弹簧特性)		
11. 力求具有恒定强度(应力)的梁		
12. 避免零件高应力部位的切口		
13. 在板带和绳索上通过夹紧部位的阻尼保持小的弯曲交变应力		

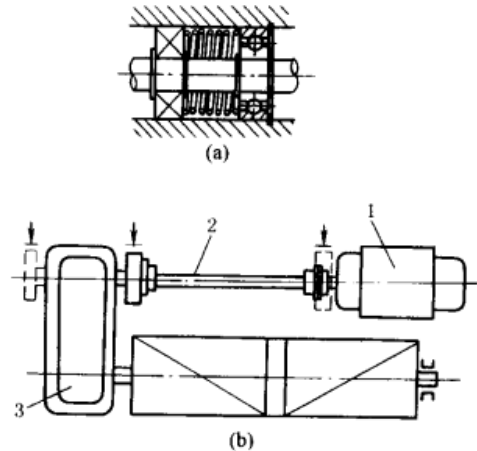
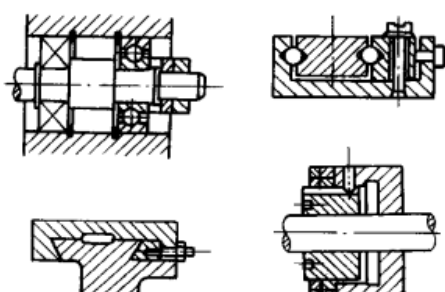
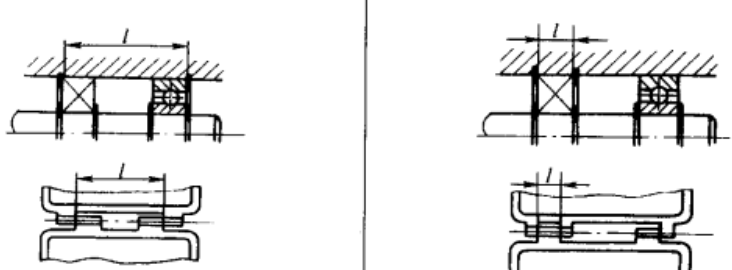

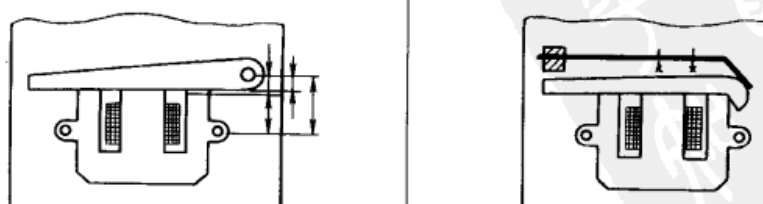
准 则	改进前的设计	改进后的设计
<p>14. 利用压力自适性。如图是中部凸起的平带轮,目的是防止平带从带轮轮面脱落下来。平带运动时,一旦出现跑偏,则借助摩擦力将平带拉回到中央,以保持带与轮面的正常接触</p>		
<p>15. 利用速度自适应。如图为汽车后轴差速器传动简图。通过差速器既可实现将驱动轴的转动转化为两个后轮轴的同步转动(汽车直行),同时又可以实现将驱动轴的转动转化成两个后轮的两个不同的转速(汽车转弯行驶,且随弯道曲率半径不同而任意组合),实现汽车两后轮轴转动速度的自适应</p>		
<p>16. 改用新轴承,提高可靠性。CARB 轴承是一种综合了短圆柱滚子轴承、球面滚子轴承和滚针轴承的优点,克服了它们的缺点的一种新型轴承。它可以调节变形、不同心和轴向位移,如图 a、图 b。因此,其承载能力比传统轴承高。它用于轧机定位端(见图 b),在轧制材料进入辊隙,轴承受到极大撞击时,可以明显降低振动幅度,提高使用寿命</p>		
<p>17. 合理地合并为整体。图 a 所示的齿轮传动,齿轮作用力通过各自的轴承座传给连接螺栓。如果将两个轴承座合并为一个整体,如图 b,则整体轴承座承受大部分作用力而且是内力,螺栓受力就小多了</p>	 <p>(a) 轴承座分开结构</p>	 <p>(b) 轴承座合并结构</p>

准 则	改进前的设计	改进后的设计
<p>18. 外力尽量作用在形心位置, 避免产生或减小附加力矩。图 a 所示结构油缸安放位置, 油缸驱动力 <math>P</math> 对立柱将产生附加弯矩(见图 b), 改成图 c, 使截面形心外移, 可减小附加力矩, 但制作易使立柱发生挠曲。如将油缸中心线安放在立柱的对称中心线上, 则使立柱受力得到很大改善。但因油缸外移, 横梁跨度加大, 对横梁的强度和刚度都不利, 故应综合分析对比, 求得整机结构设计的合理方案</p>	 <p>(a) 三轴滚弯机(滚弯板料)</p> <p>(b) 弯矩示意</p>	 <p>(c) 立柱截面形状</p> <p>(d) 油缸驱动力通过立柱截面形心</p>

### 3 符合公差要求的结构设计准则

表 1-11-3

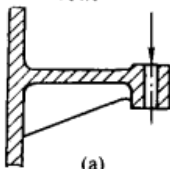
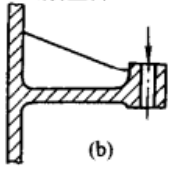
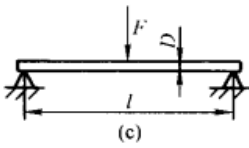
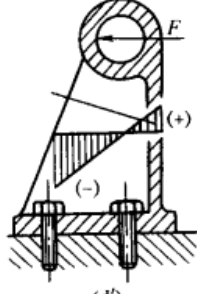
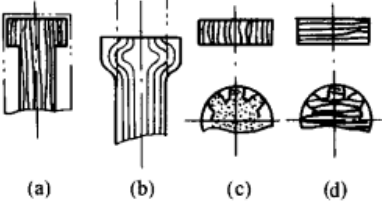
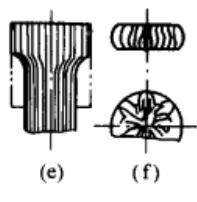
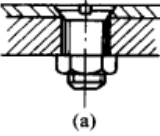
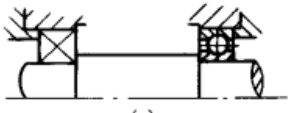
准 则	改进前的设计	改进后的设计
<p>1. 通过避免双重配合来避免小的公差</p>		

准 则	改进前的设计	改进后的设计
<p>2. 通过弹性元件来避免小的公差和消除间隙配合</p> <p>图 a 为通过弹簧</p> <p>图 b 是通过在电动机 1 和减速器 3 中引入浮动轴 2 使起升系统的力流长度加长, 弹性增加, 达到补偿制造和安装误差</p>		
<p>3. 通过采用调整元件避免小公差</p>		
<p>4. 利用小的绝对尺寸可以得到低成本的小公差</p>		
<p>5. 延伸较小的面比延伸较大的面更能低成本地实现小公差</p>		
<p>6. 通过减少中间构件的数量 (尺寸的数量或“尺寸链的长度”) 可以低成本地获得小公差</p>		

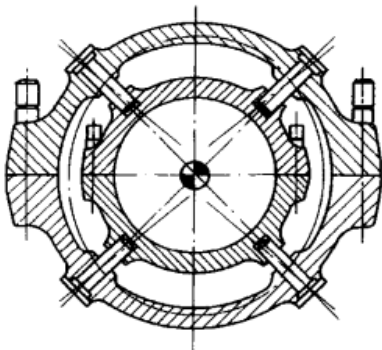
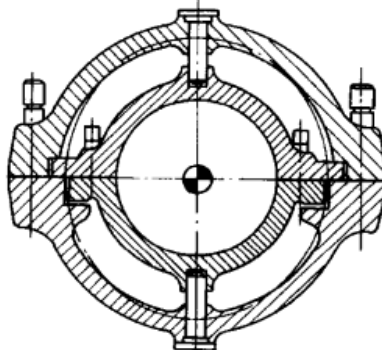
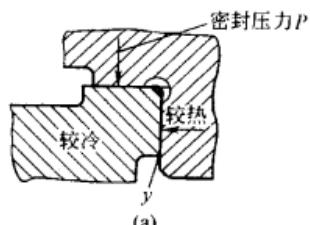
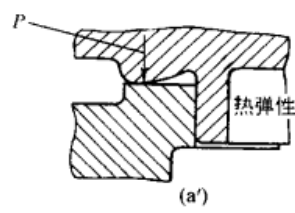
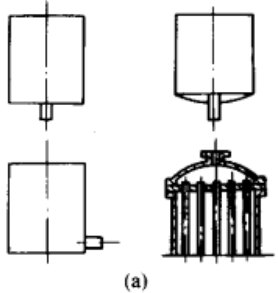
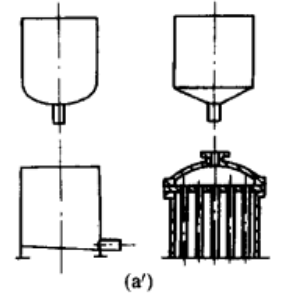
## 4 符合材料及其相关因素要求的结构设计准则

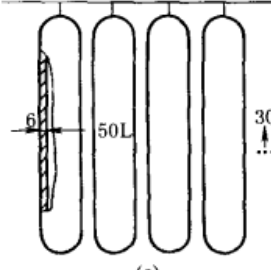
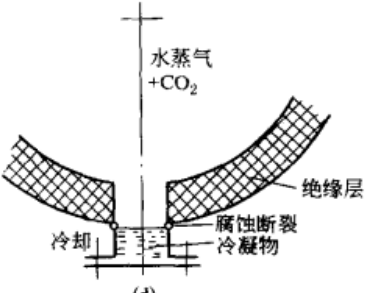
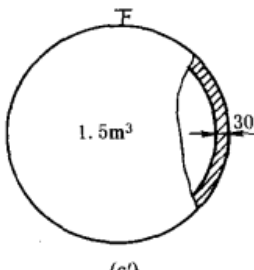
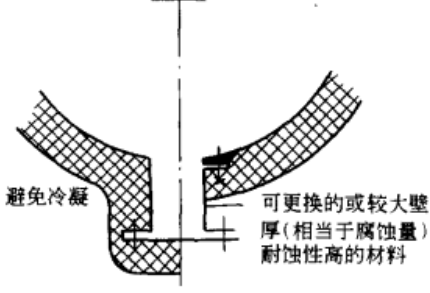

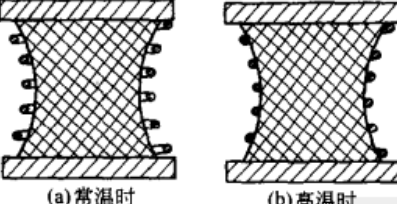
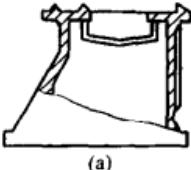

### 铸钢、铸铁件等及材料相关因素要求的结构设计准则

表 1-11-4

准 则	改进前的设计	改进后的设计
1. 零部件结构形状和受力应与材料特性相适应: 铸钢受压比受拉更好, 钢和塑料则相反, 受拉比受压好些(纵向弯曲), 如图 a 和图 b	<p>铸钢</p>  <p>(a)</p>	<p>钢、塑料</p>  <p>(b)</p>
钢材结构应以三角桁架代替简支梁, 以拉压代替受弯, 使承载能力大为提高, 如图 c'	 <p>(c)</p>	 <p>(c')</p>
铸铁抗压强度远高于抗拉强度, 铸铁支座应设计成图 d'	 <p>(d)</p>	 <p>(d')</p>
2. 重要的轴类不能用圆棒车出(见图 a), 必须锻制。而且锻制还应避免缩锻(见图 b, 但比图 a 好), 因为缩锻会使料中的轧丝破坏或容易破坏。在可能情况下, 应尽量采用伸锻(见图 c)。重要的齿轮也应应用锻制毛坯(见图 f)制造, 而不要采用热轧钢棒(见图 c)或热轧钢板(见图 d)来加工	 <p>(a) (b) (c) (d)</p>	 <p>(e) (f)</p>
3. 图 a 用埋头螺钉固定很薄的铁皮, 靠沉头部分支承是不够的, 须将下面厚板锉一 $60^\circ$ 的倒角将铁皮压入, 如图 a'	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
4. 考虑材料膨胀。图 a 由于轴受热伸长, 使轴承间间隙减小甚至卡死, 不能正常工作。改成图 a' 后右轴承可随轴伸长而自由窜动, 轴的伸长不影响工作的稳定性	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>



准 则	改进前的设计	改进后的设计
<p>在壳体及法兰盘中,特别是在加热阶段,温度的差异将引起椭圆变形。若零件不是完全回转对称,应使导轨元件设在对称线上,以防导轨卡死。图 b 导向元件安排得不符合膨胀规律,椭圆变形可能引起导轨的卡死。图 b'是符合膨胀规律的布置形式,导轨位于对称线上,不会产生椭圆变形下的卡死危险</p>	 <p>(b)</p>	 <p>(b')</p>
<p>5. 考虑材料蠕变。在图 a 中,材料在圆柱面附近蠕变,受热较快的盖体被限制在中心,同时在 y 处发生蠕变,盖体无法拆卸。改为图 a'后,尽管发生蠕变,也可以毫无损害地拆卸</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
<p>6. 考虑腐蚀</p> <p>1) 应避免潮气或腐蚀液体集中部位,如图 a</p> <p>2) 在立式冷却管中的水位线处由于高浓度而形成在气相与液相边界上的腐蚀,如图 b。改进后的图 b'通过加高水位而加以克服</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p>	 <p>(a')</p> <p>(b')</p>

准 则	改进前的设计	改进后的设计
<p>3) 图 c、c' 是两种高压气体储藏器, 图 c' 优于图 c。因为, 图 c' 受腐蚀面积仅为图 c 的 1/6; 预计 10 年后腐蚀深度为 2mm, 从强度看, 图 c 对此腐蚀量决不可忽视, 迫使增大壁厚达 8mm, 而对图 c' 来说, 2mm 腐蚀量对于 30mm 的壁厚, 几乎没有大的影响</p> <p>4) 图 d 容器出口支承没有绝缘, 由于冷却到露点以下, 形成具有强烈电解质性质的冷凝物。在冷凝物与气体的过渡处产生可能导致支承损坏的腐蚀。改进后的图 d'、图 d'', 一边采用绝缘, 另一边则采用耐蚀性好的材料制成特殊支承, 防止了损坏</p>	 <p>(c)</p>  <p>(d)</p>	 <p>(c')</p>  <p>(d') (d'')</p>
<p>7. 在冲击载荷下, 由于热塑性塑料具有蠕变这一不利特性, 因此, 塑料字头的形状应与钢不同</p>	 <p>钢 塑料</p>	
<p>8. 利用形状记忆合金防止防振橡胶耐久限下降</p> <p>如图是引擎防振支承装置。它用加入苯乙烯、丁二烯的防振橡胶制作成鼓形, 而周围用鼓形形状记忆合金制作的弹簧缠绕制成。它可将变形抑制在一定的范围内, 从而提高耐久性。当环境温度超过预定值时, 弹簧半径变小, 使橡胶收缩起到抑制(变形)器的作用, 故可防止橡胶变形增大, 从而阻止其耐久限下降</p>	 <p>(a) 常温时 (b) 高温时</p>	<p>引擎防振支承装置</p>
<p>9. 提高阻尼, 改善结构抗振性。图 a' 为机床床身, 保留砂芯的新结构由于砂芯的吸振作用, 比原结构的阻尼提高了。这时沿 Z 轴方向抗弯曲振动能力提高了 6.8 倍, Y 轴方向抗弯曲振动能力提高了 10 倍, 抗扭转振动能力提高了 0.1 倍</p>	 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>

镁合金件合理的结构设计<sup>[47,55]</sup>

表 1-11-5

根据镁合金的腐蚀特征

镁及镁合金的腐蚀类型有全面腐蚀、电偶腐蚀、高温氧化、点蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀开裂和腐蚀疲劳等。其中,电偶腐蚀、应力腐蚀开裂和腐蚀疲劳是镁合金应用中常见的和危害较大的腐蚀类型

由于镁合金中通常含有较多的电极电位较高的组元如重金属等(特别是 Fe、Cu、Ni),以及镁及其合金在实际应用中经常与其他高电位金属(如钢等)接触,从而很容易发生电偶腐蚀,因此电偶腐蚀是镁合金腐蚀的基本类型。人们常常忽视镁合金组合件的电偶腐蚀,从而出现灾难性后果,这已成为镁合金结构应用的障碍。通常,镁基体中与阴极相邻的局部区域都会产生严重的腐蚀,阴极可能是外部与镁合金相接触的其他金属,也可能是镁合金内的第二相或杂质。在盐水环境中,通过严格控制杂质含量如 Fe、Ni、Cu 及 Fe-Mn 可以减轻内部腐蚀,提高镁合金耐腐蚀性。镁与不同金属形成电偶是电化学腐蚀电动势的主要外部来源

电偶腐蚀包括阴极、阳极、电解质和导体四个基本环节。其中任何一个环节消失,电偶腐蚀就会停止。因此,可按下表所列措施与方法进行镁合金件的结构设计

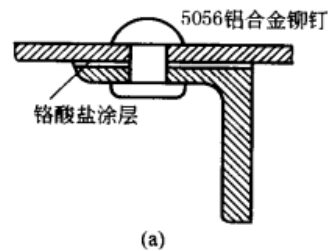
设计程序与方法	程 序	措 施	方 法	双金属接头材料择优顺序	
	消除密封的污损区域,尽量避免湿气与金属直接接触	① 选择与镁电化学相容的异种金属,或在镁上镀一层与镁电化学相容的金属 ② 采用适当的表面处理对镁和异种金属进行保护 ③ 异种金属加绝缘的垫圈或填充填料,避免出现封闭电路 ④ 在密封化合物或底漆中加入铬酸盐,抑制微电池作用	测量所用材料的含水量 采用环氧树脂、塑料带和薄膜,用蜡和橡胶保护 尽可能避免使用木头、纸张、纸板、多孔泡沫和海绵状橡皮	仔细注意结构细节,设计出完整工件,设计合适的排水孔,最小孔径为 3.2mm,防止堵塞  所有的搭接面都采用合适的密封材料,使用底漆 加长连续流体路径以减少电偶腐蚀电流	顺序
选择吸附性差、无芯的材料作为与镁接触的材料	1				5056 铝合金(线材和铆钉)
保护所有的搭接面	2				5052 铝合金(压延板材)
采用兼容金属	3				6061 铝合金(挤压材和压延板材)
选择合适的精整方法				4	6053 铝合金(挤压材和铆钉)
				顺序	镁-钢
			大多数 5000 和 6000 系列铝合金与镁兼容,镁铁连接中有锌钢板、80% Sn-20% Zn、锡或镉	1	镀锌
			双金属接头材料择优顺序见右栏	2	镀 80% 锡-20% 锌
			根据要求选择化学处理、涂层和电镀,并在安装运行前进行检测	3	镀锡
				4	镀镉

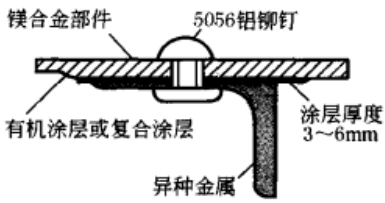
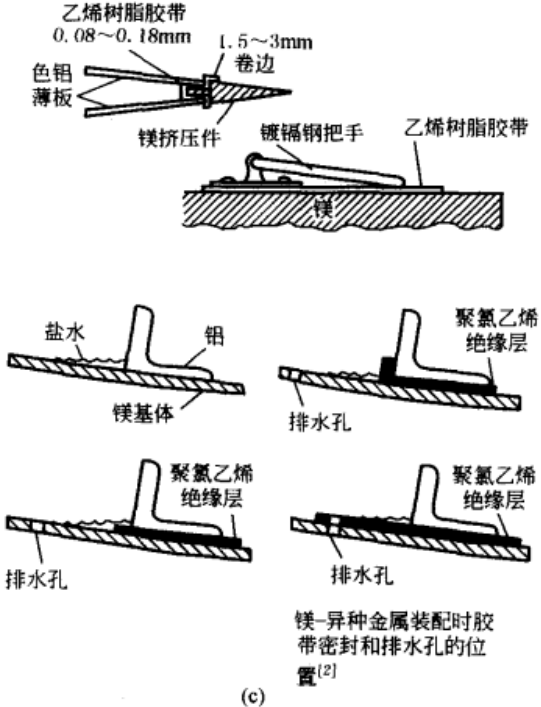

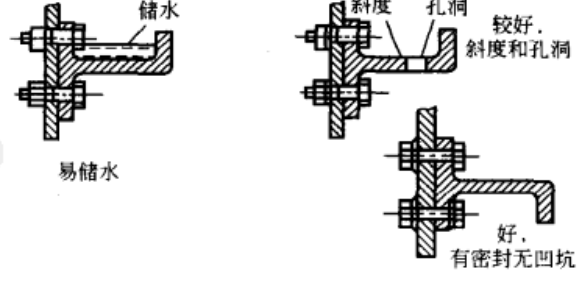
设计注意事项

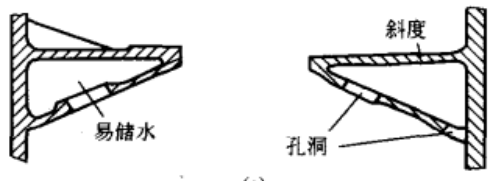
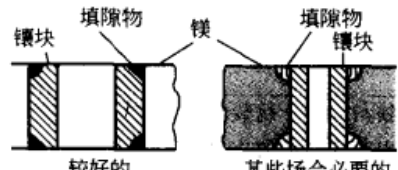
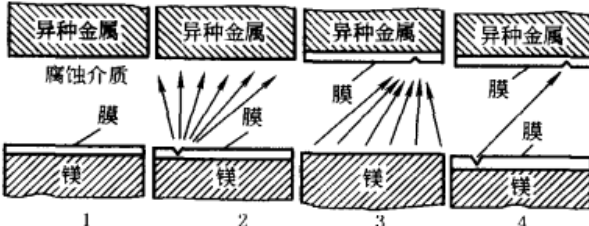
改进前的设计

改进后的设计

在许多实际使用情况下,镁合金之间的连接,由于同牌号镁合金的成分几乎保持不变,它们之间的电化学腐蚀是非常轻微的。但是,在结合处可能会出现缝隙,聚集腐蚀介质,使镁与镁合金之间产生缝隙腐蚀。因此,在装配时,需要采取一些有效的预防措施:一是在镁合金零件表面采用铬酸盐颜料涂层,或者采用在连接处用封口胶的“湿装配”技术,阻碍水由毛细管作用而进入镁合金表面;二是正确地设计接触面和配套面,如螺栓连接时,螺栓的曲度有助于减少连接的腐蚀问题。另一种保护方式是,在构件组装前涂覆底漆,组装后再涂一层漆。镁与镁装配时的正确方法如图 a 所示。镁螺栓连接装配也可以采用此方法



	设计注意事项	改进前的设计	改进后的设计
<p>镁合金构件与非金属连接</p>	<p>镁构件与非金属的组合,虽然连接的大多数非金属材料,如塑料和陶瓷,对镁构件都不会产生电化学腐蚀,但是,镁构件与木材连接时,由于木材有吸水性,木材吸水后内部的天然酸被浸析出来,使镁合金构件长期与酸接触,引起镁构件腐蚀。因此,与镁合金构件接触的木材必须采用油漆或清漆封闭,以防止吸水;并且,在接触面还必须采用镁与镁装配时所用的保护措施,如镁零件表面采用铬酸盐颜料涂层。与镁合金构件连接的碳纤维增强塑料和镁构件与木材的装配一样,在一般的电解液中,镁表面易发生电化学腐蚀,如果不加保护将导致镁的腐蚀。镁合金构件与木材或异种金属连接时正确的保护方法如图 b 所示</p>	 <p>(b) 镁与木材或异种金属连接</p>	
<p>设计示例 镁合金构件与异种金属连接</p>	<p>镁与异种金属装配时,接触金属之间的电位差和工作环境是引起镁腐蚀的主要因素。阻止或减少镁与异种金属之间的接触腐蚀,可以采用以下几种方法</p> <p>采用与镁相容的异种金属</p> <p>镁与异种金属接触时,材料的电化学相容性尤为重要,异种金属与镁合金的电化学相容性好,可以明显减少构件的电化学腐蚀。高纯度的铝(99.99%)与镁有很好的电化学相容性,但在工业铝合金中,常有铁、铜的存在,会严重破坏这种相容性;此外,在高 pH 值的水溶液中,铝与镁的接触,会导致铝的腐蚀。常用的与镁相容的异种金属有:铝合金体系(5052、6053、6061、6063)、锌和锌合金体系。这些合金体系可用来制作垫片、衬垫、紧固件和构件。当镁与其他金属,如不锈钢、钛、铜连接时,必须对其他金属进行表面处理,采取防护措施。与镁连接的金属材料,一般遵循下列优选原则</p> <p>镁合金与铝装配:5056、6061、5052、6053;镁合金与钢装配:镀锌钢、镀锌-锡(80% Sn-20% Zn)合金钢、镀锡钢</p> <p>镁合金与其他金属的装配:在腐蚀条件下镁都会发生腐蚀,因此都必须采取防护措施。镁合金与异种金属铆接的正确方法如图 a、图 b 所示</p>	 <p>(c)</p>	<p>镁-异种金属装配时胶带密封和排水孔的位置<sup>[2]</sup></p>
<p>隔开异种金属</p>	<p>隔开异种金属,避免腐蚀介质构成回路。通常在异种金属之间使用绝缘的垫圈、填料或防潮膜,使镁与异种金属(如铝或钢)分开。如采用厚度为 0.08mm 的乙烯树脂胶带或不吸水的橡胶胶带,或者在密封化合物和底漆中加入铬酸盐,避免电解液环境,以抑制电偶腐蚀,如图 c 所示</p>	 <p>螺栓连接不合理,积水能把垫圈连接起来</p> <p>5052 铝垫圈 镀锌螺栓 镁板 螺栓连接合理,没有积水</p>	
<p>表面避免积水</p>	<p>为保证镁零件有良好的腐蚀防护性,装配件连接处合理的设计是非常必要的。首先应尽量避免镁构件表面产生可能聚集水滴的结构,并且考虑排水。为避免缝隙的毛细管作用而吸水,应尽量避免在零件上形成窄的缝隙、缺口或凹槽。此外,在零件上应避免形成尖角以避免材料处于高应力状态。图 d 和图 e 分别为镁合金零件结构设计时应注意的问题</p> <p>填充缝隙,如图 f 所示,能有效降低电偶腐蚀</p>	 <p>易储水</p> <p>较好,斜度和孔洞</p> <p>好,有密封无凹坑</p>	


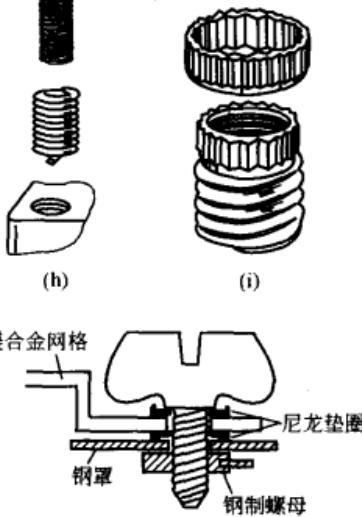
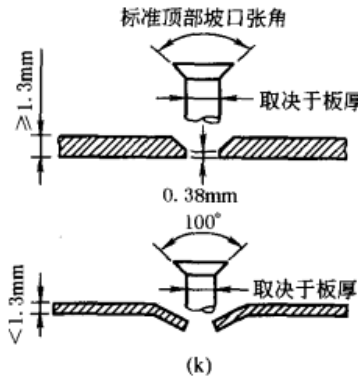
设计注意事项		改进前的设计	改进后的设计		
表面避免积水	盐雾腐蚀环境中异种金属-AZ91D压铸合金装配时的电偶腐蚀情况 <sup>[27]</sup>		(e)		
	电偶腐蚀程度			金属	
	轻微			高纯铝 ( $10 \times 10^{-6}$ Fe)、5056 铝合金、5052 铝合金、6061 铝合金、6063 铝合金	
	中等			镀锌 + 铬酸盐 + 硅酸盐 <sup>①</sup> 镀 80% Sn-20% Zn + 铬酸盐 <sup>①</sup>	
	严重			50% Sn-50% Pb、镀锡 <sup>①②</sup> 、镀铜 <sup>①②</sup> 、镀锌 <sup>①②</sup> 、铅、黄铜、钛	
非常严重	碳钢、不锈钢、镍、锌粉/无机胶黏剂/密封胶 <sup>①</sup> 、380 铸铝		(f)		
	铝粉/无机黏结剂/密封胶 <sup>①</sup> 、离子束沉积 1100 铝 ( $1000 \times 10^{-6}$ Fe) <sup>①</sup>				
① 钢紧固件上有薄膜 ② 铬酸盐将提高镀层的相容性					
对镁合金和异种金属同时采取保护措施	镁合金与异种金属接触时,用适当的表面处理保护镁和异种金属。通常对异种金属和镁都覆盖一层完整的膜,如图 g 中的 1,可以避免发生电偶腐蚀。但是,如果镁的防护膜破裂,则形成小阳极面积的镁与大阴极面积的异种金属原电池,镁的腐蚀速度显著增加,使镁发生严重的电化学腐蚀,如图 g 中的 2。一般情况下,应尽可能避免这种现象出现。同时,在使用防潮膜时,任何情况下,采用的保护膜必须是抗碱腐蚀的,这样才能避免因腐蚀而形成强碱性的氢氧化镁所引起膜的破裂。阴极与阳极的面积比对镁合金腐蚀速率的影响见右表	镁合金 AZ31B-H24 与工业纯钛连接的面积比对腐蚀速率的影响			
					
		环境气氛与暴露时间/d	腐蚀速率/ $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$		
			未配对 AZ31B-H24	阴极与阳极的面积比为 1:6	阴极与阳极的面积比为 6:1
	潮湿环境	3	17.4	26.5	88.7
		358	0.106	0.171	0.372
		715	0.095	0.156	0.235
		1087	0.082	0.125	0.207
		2563	0.077	0.115	0.204
	平均腐蚀速率	0.090	0.142	0.255	
城市环境	368	0.096	0.120	0.148	
	722	0.101	0.120	0.173	
	1087	0.096	0.120	0.161	
	2575	0.078	0.099	0.130	
	平均腐蚀速率	0.093	0.112	0.153	

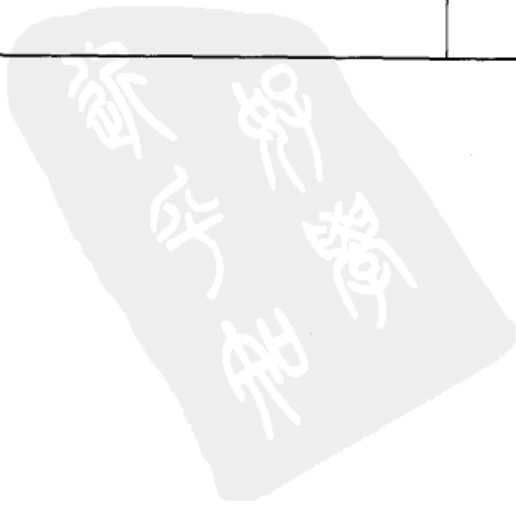
紧固件的选择

镁合金不宜用作紧固件,而绝大多数镁合金装配件需要用铆钉、螺钉、螺母这类紧固件,因此螺栓组合的设计、紧固件材料的选择对镁在盐水中的应用是非常重要的。一般情况下,非金属材料能完全避免镁合金的电化学腐蚀,可以用作镁合金部件的紧固件和绝缘的垫圈。纯铝几乎能与所有的镁合金相容,含镁、锰、硅的铝合金与镁合金相容性较好,可以用来制作镁合金部件的紧固件,如  $5 \times \times \times$  系铝合金的 5056 合金铆钉、5052 合金垫圈以及  $6 \times \times \times$  系的 6061 和 6053 合金铆钉。但铝铆钉在使用前需进行化学处理或阳极氧化处理

对于镀铬钢螺栓,一般采用 5052 铝合金垫圈。对于钢铆钉、铜铆钉、钢、镍、铝(除 5056、6053 或 6061 铝合金以外)或黄铜螺钉与螺栓,在镁合金装配件中使用时,由于其与镁不相容,不能裸露使用,而必须对这些部件先进行镀锡、锌或锡-铅合金,然后再进行化学处理才能使用

对于紧固件与镶嵌件的隔离,可采用特殊的有机涂层,如烘干的乙烯塑料溶胶、环氧树脂和耐高温的氟化烃类树脂涂层

	设计注意事项	改进前的设计	改进后的设计
<p>用于镁合金工件的两种拧入式垫圈、尼龙垫圈应用</p>	<p>螺纹垫圈可以压入或热装到镁合金工件上,但拧入式垫圈应用得较多。为了使螺纹孔与垫圈配合更好,可采用一次攻螺纹后再精攻</p> <p>拧入式垫圈有两种类型,如图 h、图 i 所示。其中一种为管状,螺纹在其外表面,它被拧入到工件的螺纹孔中,这种垫圈可以起到轴承和轴瓦的作用,见图 h。螺纹也可攻在里面,从而与螺杆、螺栓或其他螺纹紧固件连接。大螺距可以有效地增加强度,BWS 倒角螺纹或类似系列的螺纹可以减小根部应力集中。垫圈与螺栓或螺杆的强度应保证在扭曲过程中后者先失效,而不是垫圈内部的螺纹先剥落。另一种类型是由弹簧线圈精确螺旋而成的螺纹衬套,它用于攻螺纹孔与螺栓、螺钉或螺杆的配合,螺纹与美国标准系列类似,见图 i。采用热处理钢质螺栓时,垫圈塞入深度为螺栓直径的 2.5 倍效果最好。对于盲孔,垫圈厚度应为紧固件直径的 3 倍</p> <p>压入式或热装式垫圈的室温过盈不能大于垫圈紧固的极限。应变为 0.1% 时产生的残余应力很小,一般情况下不会发生问题,其中 0.03% 的应变已成功应用于生产。同时,应变为 0.3% 的过盈配合也已得到了应用,但此时产生的残余应力较大,可能导致应力腐蚀开裂,增大镁合金的疲劳破坏倾向。另外,镁合金的热膨胀系数一般比垫圈金属的大,所以在高温下装配可以增加室温过盈,从而使之在高温下保持足够的紧固力</p>	 <p>(h)</p>	 <p>(i)</p> <p>镁合金网格 尼龙垫圈 钢罩 钢制螺母</p> <p>(j) 尼龙垫圈隔离镁合金网格和不锈钢支撑螺母间的连接部位<sup>[1]</sup></p>
<p>镁合金板闪光铆接接头设计形式</p>	<p>闪光铆接可以用于镁合金的连接,其接头设计形式如图 k 所示。机械沉头孔孔深至少为 1.3mm,底部圆柱形台阶的最小高度为 0.38mm,以保证与铆钉尺寸匹配</p> <p>厚 1.3mm 左右的材料可以采用上连接板攻螺纹的闪光铆接,螺纹孔和铆钉坡口标准张角为 100°。攻螺纹前,应先冲好或钻好铆钉孔,且孔径应略小于铆钉直径;攻螺纹时,扩孔到标准尺寸。倒角圆孔将会减小边缘应力集中和接头疲劳破坏。攻螺纹必须在热态下进行,使板局部加热,其范围刚好达到攻螺纹尺寸。如果板材处于 H24 状态,加热时间应有所限制,以避免局部淬火。例如, AZ31B-H24 板材在 423K 温度下加热 5s 不会发生淬火效应</p>	 <p>标准顶部坡口张角 1.3mm 0.38mm 100° 取决于板厚</p> <p>(k)</p>	



# 第 12 章 装运要求及设备基础

## 1 装运要求

### 1.1 包装通用技术条件 (摘自 JB/T 5000.13—1998)

1) 产品在包装前应按 GB/T 4879—1999《防锈包装》的要求进行防锈、清洗、涂油。

2) 采用集装箱运输的产品,应符合集装箱的要求。集装箱外部尺寸、额定重量、最小内部尺寸和门框开口尺寸要求按 GB/T 1413—1998《系列 1 集装箱分类、尺寸和额定重量》的有关规定(见表 1-12-1 和表 1-12-2)。

表 1-12-1 系列 1 集装箱外部尺寸、允许偏差和额定重量

集装箱 型号	长度 L				宽度 W				高度 H				额定重量 R <sup>①</sup> (总重量)	
	/mm	极限偏 差/mm	/ft + /in	极限偏 差/in	/mm	极限偏 差/mm	/ft	极限偏 差/in	/mm	极限偏 差/mm	/ft + /in	极限偏 差/in	/kg	/lb
1AAA	12192	0 -10	40	0 -3/8	2438	0 -5	8	0 -3/16	2896 <sup>②</sup>	0 -5	9 + 6 <sup>②</sup>	0 -3/16	30480 <sup>②</sup>	67200 <sup>②</sup>
1AA									2591 <sup>②</sup>	0 -5	8 + 6 <sup>②</sup>	0 -3/16		
1A									2438	0 -5	8	0 -3/16		
1AX									< 2438		< 8			
1BBB	9125	0 -10	29 + 11 1/4	0 -3/16	2438	0 -5	8	0 -3/16	2896 <sup>②</sup>	0 -5	9 + 6 <sup>②</sup>	0 -3/16	25400 <sup>②</sup>	56000 <sup>②</sup>
1BB									2591 <sup>②</sup>	0 -5	8 + 6 <sup>②</sup>	0 -3/16		
1B									2438	0 -5	8	0 -3/16		
1BX									< 2438		< 8			
1CC	6058	0 -6	19 + 10 1/2	0 -1/4	2438	0 -5	8	0 -3/16	2591 <sup>②</sup>	0 -5	8 + 6 <sup>②</sup>	0 -3/16	24000 <sup>②</sup>	52900 <sup>②</sup>
1C									2438	0 -5	8	0 -3/16		
1CX									< 2438					
1D	2991	0 -5	9 + 9 3/4	2 -3/16	2438	0 -5	8	0 -3/16	2438	0 -5	8	0 -3/16	10160	22400
1DX									< 2438		< 8			

① 所示额定重量适用于各种类型集装箱。但对 1BBB、1BB、1B、1BX、1CC、1C 和 1CX 型,在某些特殊情况下,其额定重量可允许超过表列数据。也可作为 ISO 集装箱对待,但其最大总重量(R)不得超过 30480kg,并按该值进行试验和标记。

② 某些国家对车辆和装载货物的总高度有法规限制(如铁路和公路部门)。

注:1. 本表所示的外部尺寸和允许偏差适用于各种类型集装箱,但对允许降低高度的罐式集装箱、敞顶集装箱、干散货集装箱、平台集装箱和台架式集装箱除外。

2. 某些特殊运输中根据某些专用集装箱的需求,出现了有一定数量的长度和宽度类似 ISO 系列的集装箱,但其额定重量和高度超过本标准的规定。这类集装箱不能参与国际联运,其运输需作特殊安排。

表 1-12-2

系列 1 通用集装箱最小内部尺寸和门框开口尺寸

mm

集装箱型号	最小内部尺寸			最小门框开口尺寸	
	高度	宽度	长度	高度	宽度
1AAA	集装箱外部高度 尺寸减 241	2330	11998	2566	2286
1AA			11998	2261	
1A			11998	2134	
1BBB			8931	2566	
1BB			8931	2261	
1B			8931	2134	
1CC			5867	2261	
1C			5867	2134	
1D			2802	2134	

注：1. 顶角件伸入箱内的部分不作为减少集装箱的内部尺寸。

2. 内部尺寸指在不考虑顶角件伸入箱内部分的条件下，集装箱的内接最大矩形六面体的尺寸。除另有规定者外，内部尺寸与内部净空尺寸是同义词。

3. 通常对设在集装箱端部的门孔称为门框开口，也即按箱内最大平行六面体的宽度和高度设置门孔，使货物能无阻碍地进入集装箱。

3) 装箱件的清点以装箱单为依据（不管何种包装形式，均应填写装箱单）。装箱编号以分数形式表示，分母为总箱数，分子为顺序数。

4) 产品应按包装设计图样要求进行包装，图中无法绘出的加固方法应在技术要求中加以说明。

5) 内销产品在储运、装卸条件允许的情况下，尽量以完整的机器（部件）包装发至用户。但对经海运又多次装卸的产品，其每箱重量以不大于 3000kg 为宜。在一个包装箱（件）中只能装同台次产品的零部件。

6) 传动带、橡胶运输带等应拆下用牛皮纸（不得用油纸）或塑料薄膜包装，固定在箱内适当的位置，切勿与油脂接触。

7) 一般情况下，装箱时零部件不得与箱板或框架木方直接接触，其距离为 30~50mm。

8) 长度达到 5.5m 的产品应捆扎，紧固不少于 3 处，10m 以内的产品应不少于 5 处，10m 或超过 10m 的产品原则上相隔 3m 捆扎一处。薄壁管材不允许捆扎，应用木箱包装，管子层数以不大于 20 层为宜，以防压扁、压弯。

9) 对于重量超过 3t 或接近 3t 且偏重的货物，需喷涂起吊位置和重心。包装箱起吊线的位置无论上部或下部均应对称于重心线的两侧。

10) 储运标志应符合 GB 191—2000《包装储运图示标志》的规定。危险货物包装标志应符合 GB 190—1990《危险货物包装标志》的规定。外购件利用原包装箱时，应换成主机厂的标志。

11) 箱面应注明油封日期，便于按时维修保养。

12) 随每台产品供给用户的随机文件（产品证明书、说明书、安装图、易损件图、装箱单等）应用塑料袋封装，放在总箱数的第一箱内，并应在此箱面上注明“随机文件在此”的字样。

## 1.2 有关运输要求

1) 凡经铁路运输的产品，均应符合铁路部门运输的有关规定，确保产品安全地运到用户手中。

2) 包装箱或产品零部件的最大外形尺寸、重量应符合国内外运输方面有关超限超重的规定。设计产品包装时，应尽量不超过机车车辆限界尺寸，见图 1-12-1。如无法解决时，可按一、二级超限的装载限界进行包装，见图 1-12-2 及图 1-12-3。



3) 特大、特重零部件，以铁路运输需用特殊车辆时，应绘出装车加固结构图，并注明最大外形尺寸、重心位置。

4) 产品装车后，机车的重心高度从轨面起不得超过2m。产品应配置均衡，不得偏重一侧或一端。应注意体积小、重量大的零件与车体接触的面积，如砧座有可能集重，集重件应采取措施增加装载件与车体接触面积。

5) 凡经公路运送的产品，其外形尺寸应考虑运行公路沿线路面与桥梁、管线交叉时的净空尺寸。一般桥梁、管线的下部与公路路面间的最小净空尺寸如下：

- 公路与公路桥或管道交叉时，5m；
- 公路与铁路桥交叉时，5m；
- 公路与低压电力线交叉时，6m；
- 公路桥梁桥面上部的最小净空，5m。

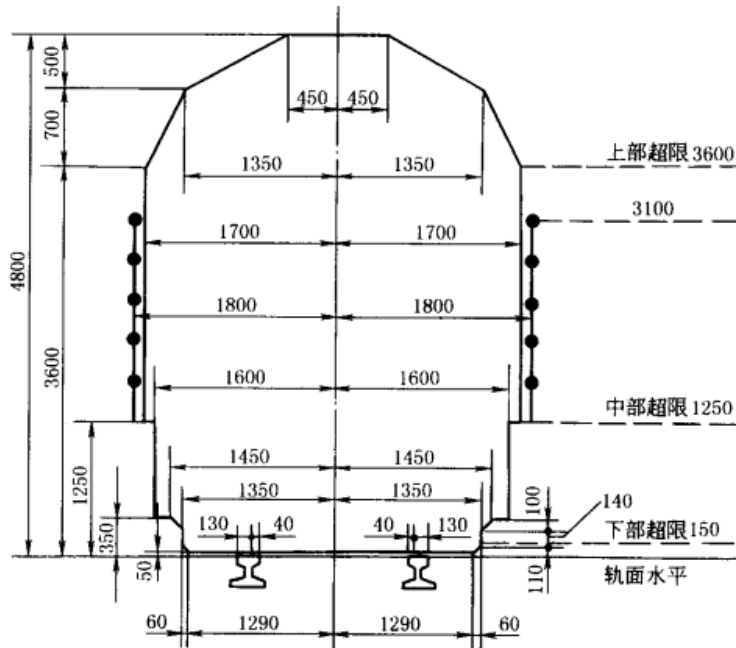


图 1-12-1 机车车辆限界图

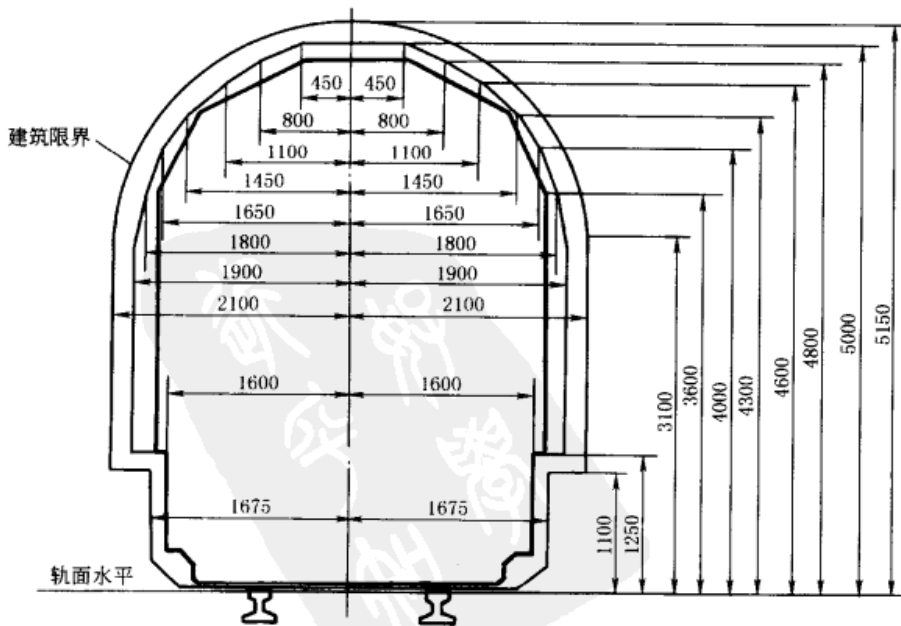


图 1-12-2 一级超限

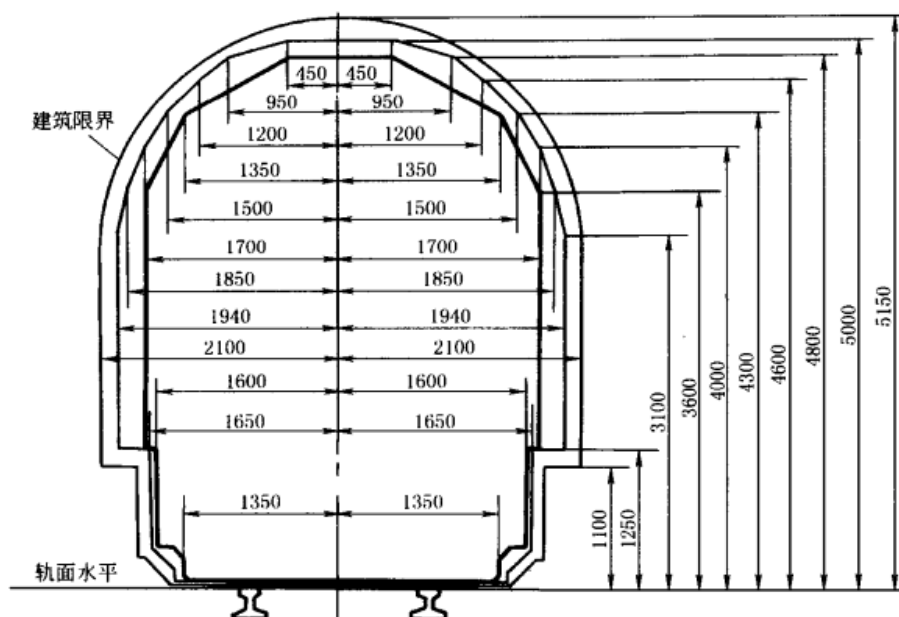


图 1-12-3 二级超限

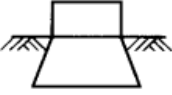


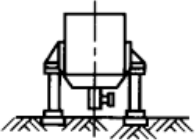

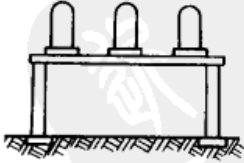
## 2 设备基础设计的一般要求

设备基础设计涉及的条件和要求较多，可参考专门的手册和规范。本章仅提出一般要求。

### 2.1 混凝土基础的类型

表 1-12-3

混凝土基础的类型		性质与应用
不同用料的基础	素混凝土基础	这类基础只用水泥、砂、石子，按一定的配比浇灌成一定形状。它主要适用于普通金属切削机床、电机及其他运转均匀的设备
	钢筋混凝土基础	这类基础不仅用水泥、砂、石子浇灌成一定形状，而且在其中放有绑扎成一定形状的钢筋骨架和钢筋网，以加强基础的强度和刚性。这类基础主要用于压缩机、轧钢机和重型金属切削机床等设备
承受不同性质载荷的基础	静力载荷基础	它主要承受设备本身及其内部物料重量的静力载荷的作用。有时还要考虑风力载荷对它产生的倾覆力矩。如石油化工企业中的塔类设备、加热炉和储罐等的基础，均属此类
	动力载荷基础	这类基础不仅承受机械设备本身重量的静力载荷作用，而且还受到机械设备在运转中所产生的动力载荷的作用。在工作中产生很大惯性力的机械设备，如往复式压缩机、破碎机、轧钢机械等的基础，均属此类

混凝土基础的类型	性质与应用
<p>不同结构外形的基础</p>	<p>单块式基础</p>  <p>(a) 实体式</p>  <p>(b) 地下室式</p>  <p>(c) 墙式</p>  <p>(d) 构架式</p>
	<p>大块式基础</p>  <p>(a) 无地下室式</p>  <p>(b) 屋顶或楼板式</p>

单块式基础是根据工艺上的要求单独建成的。它与其他基础或厂房基础无关。其顶面形状和机械设备底座相似,或稍大一些,标高以工艺要求来确定。单块式基础以其结构形状的不同,又分为下列几种:

(1) 实体式基础

它的形状见图 a,主要用于安装重量较大的塔类设备和构形简单的机械设备。这种基础顶面有方形的、矩形的和圆形的等,其外形有单节的、多节的和阶梯式的等

(2) 地下室基础

它的形状见图 b,主要用于安装重量较轻的机械设备

(3) 墙式基础

它的形状见图 c,主要用于安装回转式机械设备及储罐

(4) 构架式基础

它的形状见图 d,主要用于安装在底部操作的设备,如合成塔等

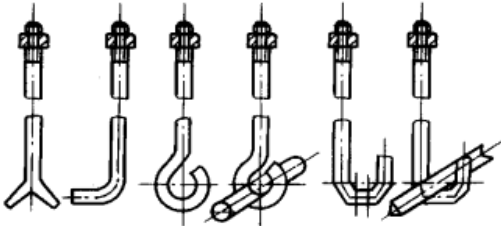
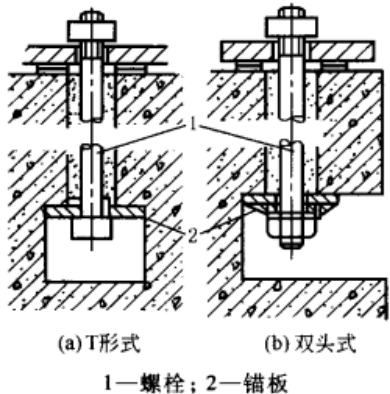
这种基础建成连续的大块形状,以供邻近的多台机械设备、辅助设备和工艺管道安装使用,见图 a。有时也可将厂房的混凝土楼板或屋顶作为大块式基础进行安装,见图 b

## 2.2 地脚螺栓

地脚螺栓的作用是将设备与基础牢固地连接起来,以免在工作时发生位移和倾覆。设备在安装过程中用垫铁找平,然后用地脚螺栓固定。

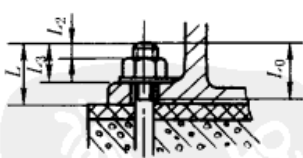
地脚螺栓的种类和选用

表 1-12-4

种类	应用	选用																																																
<p>短地脚螺栓(死地脚螺栓)</p> 	<p>① 往往与基础浇筑在一起</p> <p>② 主要用来固定工作时没有强烈振动和冲击的中、小型机械设备</p> <p>③ 长度一般为 100~1000mm</p> <p>④ 常用的死地脚螺栓头部制成开叉式或带钩的形状,如左图示。钩中穿一横杆,防止螺栓旋转或拔出</p>	<p>地脚螺栓、螺母和垫圈一般是随机带来的,应符合设计和设备安装说明书的规定。无规定时可参照下列原则选用</p> <p>地脚螺栓直径 <math>d</math> &lt; 设备底座上地脚螺栓孔径 <math>D</math>:</p> <table border="1"> <tr> <td><math>d</math></td> <td>M8</td> <td>M10</td> <td>M12</td> <td>M16</td> <td>M20</td> </tr> <tr> <td><math>D</math></td> <td>15</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>24</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td><math>d</math></td> <td>M24</td> <td>M30</td> <td>M36</td> <td>M42</td> <td>M48</td> </tr> <tr> <td><math>D</math></td> <td>34</td> <td>40</td> <td>46</td> <td>52</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td><math>d</math></td> <td>M56</td> <td>M64</td> <td>M72</td> <td>M80</td> <td>M90</td> </tr> <tr> <td><math>D</math></td> <td>66</td> <td>74</td> <td>82</td> <td>90</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td><math>d</math></td> <td>M100</td> <td>M110</td> <td>M125</td> <td>M140</td> <td>M160</td> </tr> <tr> <td><math>D</math></td> <td>110</td> <td>120</td> <td>135</td> <td>155</td> <td>175</td> </tr> </table>	$d$	M8	M10	M12	M16	M20	$D$	15	17	20	24	28	$d$	M24	M30	M36	M42	M48	$D$	34	40	46	52	58	$d$	M56	M64	M72	M80	M90	$D$	66	74	82	90	100	$d$	M100	M110	M125	M140	M160	$D$	110	120	135	155	175
$d$	M8	M10	M12	M16	M20																																													
$D$	15	17	20	24	28																																													
$d$	M24	M30	M36	M42	M48																																													
$D$	34	40	46	52	58																																													
$d$	M56	M64	M72	M80	M90																																													
$D$	66	74	82	90	100																																													
$d$	M100	M110	M125	M140	M160																																													
$D$	110	120	135	155	175																																													
<p>长地脚螺栓(活地脚螺栓)</p>  <p>(a) T形式 (b) 双头式</p> <p>1—螺栓; 2—锚板</p>	<p>① 是一种可拆卸的地脚螺栓</p> <p>② 主要用来固定工作时有强烈振动和冲击的重型设备</p> <p>③ 长度一般为 1~4m</p> <p>④ 它的形状分为两端都带螺纹及螺母的和锤形(T形式)的,如图所示</p> <p>⑤ 它和锚板一起使用。锚板可用钢板焊接或铸造成形。锚板中间带有一个矩形孔或圆孔,供穿螺栓之用</p>	<p>地脚螺栓长度按施工图规定,无规定时可按下式确定:</p> $L_1 = 15D + S + (5 \sim 10) \text{ mm}$ <p>式中 <math>L_1</math> ——地脚螺栓长度,mm  <math>D</math> ——地脚螺栓直径,mm  <math>S</math> ——垫铁高度,机座和螺母厚度以及预留余量(2~3牙)的总和,mm</p>																																																

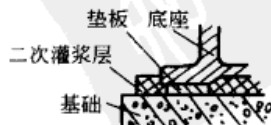
地脚螺栓的外露长度

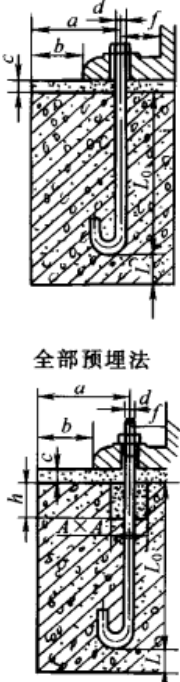
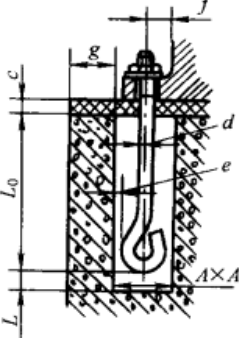
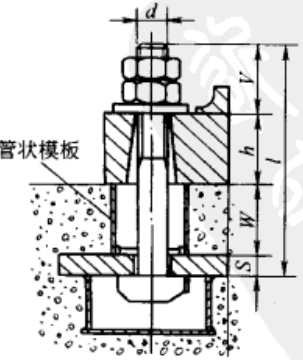
表 1-12-5

安装型式	简图	外露长度	说明
一个螺母,一个垫圈		$L_3 \approx 2d, L_0 \approx 3d$	<p><math>L</math> 及 <math>L_0</math> 太大或太小都会影响设备安装</p>
两个螺母(一个标准型,一个扁螺母),一个垫圈		$L_2 \approx (1.5 \sim 5)P$ 式中 $L_0$ ——螺纹长度 $P$ ——螺距 $L_2$ ——螺栓端部外露长度	

2.3 设备和基础的连接方法及适应范围

表 1-12-6

类型	连接方法	型式	适用范围	安装注意事项
无地脚螺栓连接	设备直接用水泥砂浆固定在基础上	 <p>垫板 底座 二次灌浆层 基础</p>	用于安装轻型和平衡良好、振动较小的设备	

类型	连接方法	型式	适用范围	安装注意事项
短地脚螺栓(死地脚螺栓)埋置  一次浇灌法	在浇灌基础时,预先把地脚螺栓埋入,与基础同时浇灌。根据螺栓埋入深度不同,可分为全部预埋和部分预埋两种形式。其优点是减少模板工程,增加地脚螺栓的稳定性、坚固性和抗振性;缺点是不便于调整	 <p>全部预埋法</p> <p>部分预埋</p>	固定动力 载荷较轻、 冲击振动较 小的轻型 设备	$a \geq 4d$ (或 $a \geq 150\text{mm}$ ) $b \geq 100\text{mm}$ A, h 按 JB/ZQ 4364—1997 的规定,并参见表 1-12-7。 $L_0$ 为最小埋入深度,按实际作用力确定或 $L_0 \approx 20d$ 。 采用 100 号混凝土时,埋入深度按表 1-12-8 选取 $f = 300 \sim 500\text{mm}$ $c = 50 \sim 100\text{mm}$ $L \geq 100\text{mm}$ $e \geq 15\text{mm}$ g 按以下要求 基础不配筋 $d < 25\text{mm}$ 时, $g \geq 100\text{mm}$ ; $d > 25\text{mm}$ 时, $g \geq 150\text{mm}$ 基础配筋时 $g \geq 50\text{mm}$
	二次浇灌法			
长地脚螺栓(活地脚螺栓)埋置	设备用可换的地脚螺栓固定在预先埋入基础孔内的锚板上。安装地脚螺栓的螺栓孔是在浇灌基础时留出来的,地脚螺栓和锚板一起使用。这类地脚螺栓可分为两种:一种是两端带有螺纹的;另一种是顶部有螺纹,下端是 T 形的	 <p>管状模板</p>	有强烈振 动和冲击载 荷的重型机 械设备	T 形地脚螺栓尺寸见 JB/ZQ 4362—1997,并见表 1-12-9 T 形地脚螺栓用锚板尺寸见 JB/ZQ 4172—1997

注: 1. 对于螺栓中心线到基础边缘尺寸  $a$ , 如设备有特殊要求, 取  $a < 4d$  时, 可对基础边沿进行加固处理。  
 2. 设备基础内地脚螺栓预留孔及埋设件的简化表示法见 JB/ZQ 4173—1997。

表 1-12-7

设备基础预留调整孔的尺寸

mm

$d$	16 ~ 18	20	24	30	36	42	48	56
$A$	80	100		130		160		180
$h$	150	200		300		400		500

表 1-12-8

地脚螺栓埋入深度

mm

地脚螺栓直径 $d$		10 ~ 20	24 ~ 30	30 ~ 42	42 ~ 48	52 ~ 64	68 ~ 80
最小埋入深度 $L_0$	弯钩式	200 ~ 400	500	600 ~ 700	700 ~ 800		
	锚定式	200 ~ 400	400	400 ~ 500	500	600	700 ~ 800

注：本表是采用 100 号混凝土时，地脚螺栓的埋入深度。

表 1-12-9

T 形地脚螺栓安装尺寸

mm

螺纹规格 ( $d \times P$ )	$S$	$V_{\min}$	$W_{\max}$	螺纹规格 ( $d \times P$ )	$S$	$V_{\min}$	$W_{\max}$
M24	20	55	800	M80 × 6	40	175	2400
M30	25	65	1000	M90 × 6	50	200	2600
M36	30	85	1200	M100 × 6	50	220	2800
M42	30	95	1400	M110 × 6	60	250	3000
M48	35	110	1600	M125 × 6	60	270	3200
M56	35	130	1800	M140 × 6	80	320	3600
M64	40	145	2000	M160 × 6	80	340	3800
M72 × 6	40	160	2200				

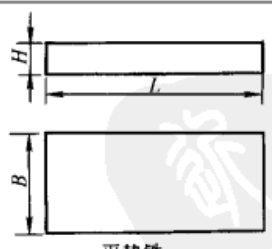
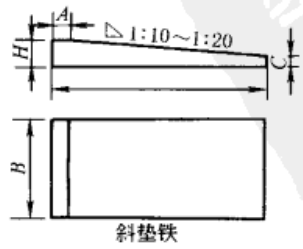
注：如果只用一个螺母，螺栓伸出长度  $V$  可适当减小。

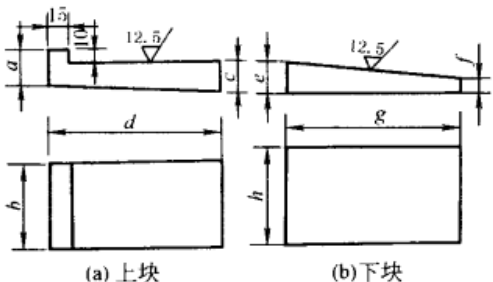
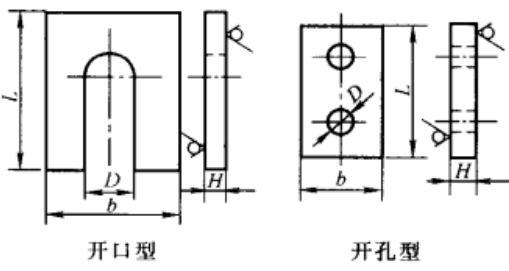
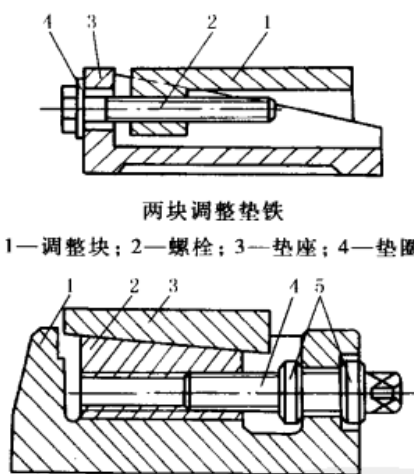
### 3 垫铁种类、型式、规格及应用

垫铁是机械设备安装找平找正用的调整件，放置在设备底座与基础之间。通过垫铁厚度的调整，可使设备安装达到所要求的标高和水平度。垫铁不仅要承受设备的重量，还要承受地脚螺栓的锁紧力。垫铁还应方便于二次灌浆。

垫铁种类、型式、规格及应用见表 1-12-10。

表 1-12-10

种类	型式	规格	应用
平垫铁 (矩形垫铁)			用于承受主要载荷和连续振动较强的设备，如一般轧钢设备
斜垫铁			用于不承受主要载荷，只起设备找正找平作用的场合，设备的主要载荷由灌浆层承受。常用于安装精度要求不高的容器设备

种类	型式	规格	应用
<p>钩头成对斜垫铁</p>	 <p>(a) 上块 (b) 下块</p>	<p><math>a \sim h</math> 按实际需要确定 (其中 <math>g \approx d + 10</math>、<math>h \approx b + 10</math>)，斜度为 1: (10 ~ 20)</p>	<p>分上、下两块成对使用，用于不需设置地脚螺栓而直接安放在地坪上的设备。垫铁承受主要载荷，底座与垫铁之间需要放置防震填料。可采用钩头垫铁找平后用电弧焊焊牢或用灌浆层固定</p>
<p>开口型和开孔型垫铁</p>	 <p>开口型 开孔型</p>	<p>尺寸与普通平垫铁相同。其开口度和开孔的大小比地脚螺栓直径大 2 ~ 5mm；宽度根据机械设备的底座尺寸而定，一般应与设备底座宽度相等，如需焊接固定时，应比底座宽度稍大些；长度比机械设备底座长度略长 20 ~ 40mm；厚度按实际需要而定</p>	<p>这种垫铁用于安设在金属结构或地坪上的机械设备，且支承面积又较小</p>
<p>可调垫铁</p>	 <p>两块调整垫铁 1—调整块；2—螺栓；3—垫座；4—垫圈</p> <p>三块调整垫铁 1—垫座；2—调整块；3—升降块；4—调整螺栓；5—挡圈</p>	<p>垫铁随机床带来，其规格和数量由设备制造厂设计</p>	<p>用于安装精度要求较高的设备，一般用于金属切削机床的安装（如精密车床、磨床、镗床、龙门刨床、导轨磨床等） 这种垫铁利用两块斜滑板相对移动，从而改变设备的调整高度</p>

注：垫铁材料有铸铁和钢两种。铸铁垫铁厚度一般在 20mm 以上，钢垫铁厚度在 0.3 ~ 20mm 之间。

## 参 考 文 献

- 1 原化工部起重运输技术中心站编. 化工起重运输设计手册(常用机械零件). 北京: 燃料化学工业出版社, 1971
- 2 中国机械工程学会编. 机械工学便览. 1968
- 3 邹振戊等编. 五金手册. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 4 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会编. 机械工程手册: 基础理论卷. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 5 《选矿设计手册》编委会编. 选矿设计手册. 北京: 冶金工业出版社, 1988
- 6 中国金属学会、中国有色金属学会编. 金属材料物理性能手册(1). 北京: 冶金工业出版社, 1987
- 7 漆贯荣等编. 理科最新常用数据手册. 西安: 陕西人民出版社, 1983
- 8 美国焊接学会编. 焊接手册. 清华大学焊接教研组 黄静文等译. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 9 张秀田等编. 法定计量单位换算手册. 北京: 石油工业出版社, 1985
- 10 汪恺主编. 机械设计标准应用手册: 第1卷. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 11 G. 尼曼著. 机械零件: 第2卷. 第2版. 余梦生等译. 北京: 机械工业出版社, 1989
- 12 《飞机设计手册》编委会编. 飞机设计手册: 第三册. 强度计算上册. 北京: 国防工业出版社, 1983
- 13 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会编. 机械工程手册: 第2版. 机械零部件设计卷. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 14 G. 尼曼著. 机械零件. 第1卷. 第2版. 余梦生等译. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 15 《建筑结构静力计算手册》编写组. 建筑结构静力计算手册. 第2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- 16 小栗富士雄著. 标准机械设计图表便览. 共立出版株式会社, 昭和29
- 17 C. B. 谢联先主编. 机械制造者手册: 第3卷. 北京: 中国工业出版社, 1965
- 18 南京工学院力学教研组编. 材料力学. 北京: 人民教育出版社, 1960
- 19 Г. С. 皮萨连柯等著. 材料力学手册. 宋俊杰等译. 石家庄: 河北人民出版社, 1982
- 20 徐灏主编. 机械设计手册: 第1卷. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 21 З. Б. Канторович. Машины химической промышленности. Москва: издательство «Машиностроение», 1965
- 22 王树良著. 机械设计工艺基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1965
- 23 徐灏主编. 机械设计手册: 第3卷. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 24 刘中青, 刘凯编著. 异种金属焊接技术指南. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 25 吴树雄编著. 电焊条选用指南. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 1996
- 26 国家机械工业委员会编. 焊接材料产品样本. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 27 方洪渊主编. 简明钎焊工手册. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 28 傅代言, 林慧国, 周人俊, 俞之亮编著. 钢的淬透性手册. 北京: 机械工业出版社, 1973
- 29 《热处理手册》编委会编. 热处理手册. 北京: 机械工业出版社, 1984
- 30 热处理工作者手册. 刘先曙, 宋黎明, 张义, 吴敏译. 北京: 机械工业出版社, 1986
- 31 岑军健主编. 新编非标准设备设计手册. 上册. 北京: 国防工业出版社, 1999
- 32 金属材料及热处理编写组. 金属材料及热处理. 上海: 上海人民出版社, 1974
- 33 《表面处理》编写组. 表面处理. 北京: 国防工业出版社, 1973
- 34 北京电镀厂. 电镀标准. 1972
- 35 曲敬信, 汪泓宏主编. 表面工程手册. 北京: 化学工业出版社, 1998
- 36 韦福水, 蒋伯平, 汪行恺, 李俊岳编著. 热喷涂技术. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 37 林春华, 葛祥荣编著. 电刷镀技术便览. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 38 张康夫, 王秀蓉, 陈孟成, 姚连琴编. 机电产品防锈、包装手册. 北京: 航空工业出版社, 1990
- 39 《表面处理工艺手册》编审委员会编. 表面处理工艺手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 40 《重型机械标准》编写委员会编. 重型机械标准: 第1卷. 北京: 中国标准出版社, 1998
- 41 北京钢铁学院粉末冶金教研组编. 铁基粉末冶金. 北京: 冶金工业出版社, 1974
- 42 中南矿冶学院粉末冶金教研室编. 粉末冶金基础. 北京: 冶金工业出版社, 1974
- 43 [捷] 施密德编著. 人机功效参数. 朱有庭译. 北京: 化学工业出版社, 1988
- 44 赖维铁编著. 机电产品造型设计. 上海: 上海科学技术出版社, 1989
- 45 [联邦德国] G. 帕尔 W. 拜茨著. 工程设计学学习与实践手册. 张直明, 毛谦德, 张子舜, 黄靖远, 冯培恩译. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 46 成大先主编. 机械设计图册. 北京: 化学工业出版社, 2000
- 47 陈振华等编著. 镁合金. 北京: 化学工业出版社, 2004
- 48 张津, 章宗和等编著. 镁合金及应用. 北京: 化学工业出版社, 2004



- 49 徐滨士, 刘世参主编. 中国材料工程大典: 第16~17卷. 材料表面工程. 北京: 化学工业出版社, 2006
- 50 钱苗根, 姚寿山, 张少宗编著. 现代表面技术. 北京: 机械工业出版社, 2003
- 51 樊东黎, 潘健生, 徐沅明, 佟晓辉主编. 中国材料工程大典: 第15卷. 材料热处理工程. 北京: 化学工业出版社, 2006
- 52 柳百成, 黄天佑主编. 中国材料工程大典: 第18~19卷. 材料铸造成形工程. 北京: 化学工业出版社, 2006
- 53 史耀武主编. 中国材料工程大典: 第22~23卷. 材料焊接工程. 北京: 化学工业出版社, 2006
- 54 李亚江主编. 焊接材料的选用. 北京: 化学工业出版社, 2004
- 55 黄伯云, 李成功, 石力开, 邱冠周, 左铁镛主编. 中国材料工程大典: 第4卷. 有色金属材料工程. 北京: 化学工业出版社, 2006





## 第 2 篇 机械制图、极限与配合、 形状和位置公差及表面结构



主要撰稿 王德夫 陶兆荣 王欣玲 韩学铨

审 稿 成大先 强 毅 邹舜卿

资源  
如  
卷

HANDBOOK



# 第 1 章 机械制图

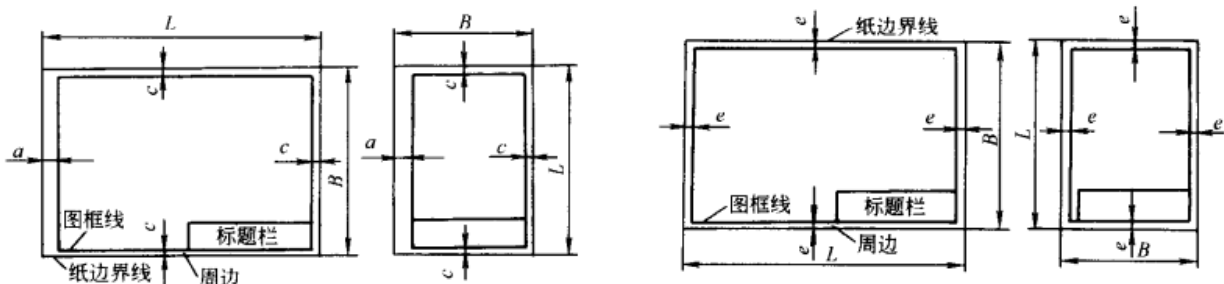
国家已颁布部分《技术制图》标准，这些技术制图标准在技术内容上，相对工业部门（如机械、造船、建筑、土木及电气等行业）的制图标准具有统一性、通用性和通则性，它处于高一层次的位置，对各行业制图标准具有指导性。仍在贯彻执行的原《机械制图》国家标准若与《技术制图》有不一致的内容时，应执行《技术制图》标准。必要时，某些内容将《技术制图》与《机械制图》同时编入，使《机械制图》中的规定作为《技术制图》的补充。

## 1 图纸幅面及格式（摘自 GB/T 14689—1993）

表 2-1-1

图纸幅面尺寸

mm



需要装订的图样

不需要装订的图样

基本幅面						加长幅面					
第一选择						第二选择		第三选择			
幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4	幅面代号	B × L	幅面代号	B × L	幅面代号	B × L
B × L	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297	A3 × 3	420 × 891	A0 × 2	1189 × 1682	A3 × 5	420 × 1486
e	20		10			A3 × 4	420 × 1189	A0 × 3	1189 × 2523	A3 × 6	420 × 1783
c	10			5		A4 × 3	297 × 630	A1 × 3	841 × 1783	A3 × 7	420 × 2080
a	25					A4 × 4	297 × 841	A1 × 4	841 × 2378	A4 × 6	297 × 1261
						A4 × 5	297 × 1051	A2 × 3	594 × 1261	A4 × 7	297 × 1471
								A2 × 4	594 × 1682	A4 × 8	297 × 1682
								A2 × 5	594 × 2102	A4 × 9	297 × 1892

注：1. 绘制技术图样时，应优先采用基本幅面。必要时，也允许选用第二选择的加长幅面或第三选择的加长幅面。

2. 加长幅面的图框尺寸，按所选用的基本幅面大一号的图框尺寸确定。例如 A2 × 3 的图框尺寸，按 A1 的图框尺寸确定，即 e 为 20（或 c 为 10），而 A3 × 4 的图框尺寸，按 A2 的图框尺寸确定，即 e 为 10（或 c 为 10）。

3. 看图方向的两种情况如下：第一种情况，按标题栏方向看图，即以标题栏中的文字方向为看图方向（如表中图示）；第二种情况，按方向符号指示的方向看图，即令画在对中符号上的等边三角形位于图纸下边



看图，此时，将 A4 图纸横放、其他基本幅面竖放后绘图时，只需将本表中图示形式逆时针旋转 90° 放置，使标题栏长边置于铅直方向，并在下图框线的对中符号处画上等边三角形即表示第二种情况的制图和看图方向。

## 2 标题栏和明细栏 (摘自 GB/T 10609.1 ~ 2—1989)

标题栏的位置应位于图纸的右下角, 其长边置于水平方向并与图纸的长边平行, 但 A4 图纸竖放, 标题栏位于图纸正下方, 其看图方向见表 2-1-1 注 3。

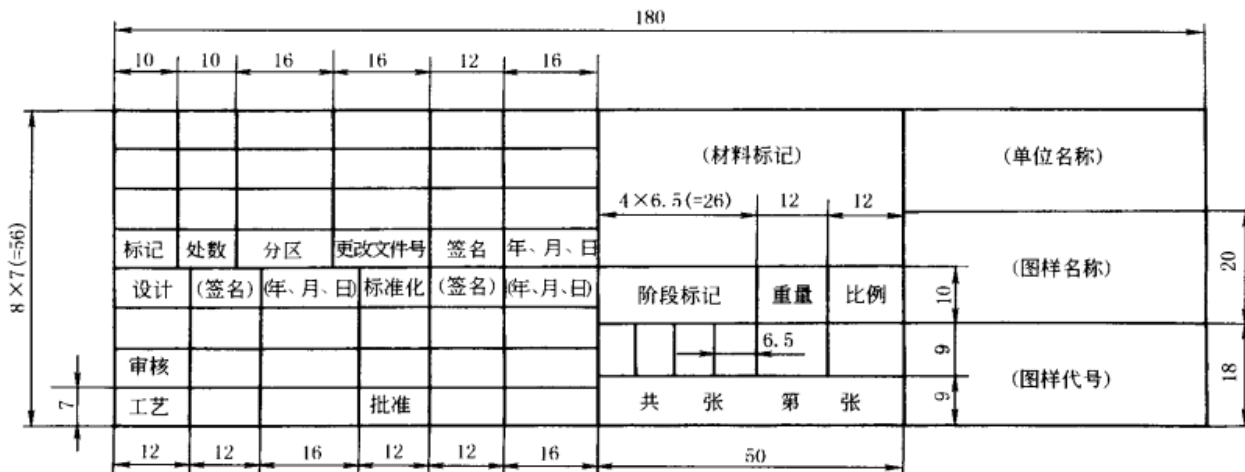


图 2-1-1 标题栏

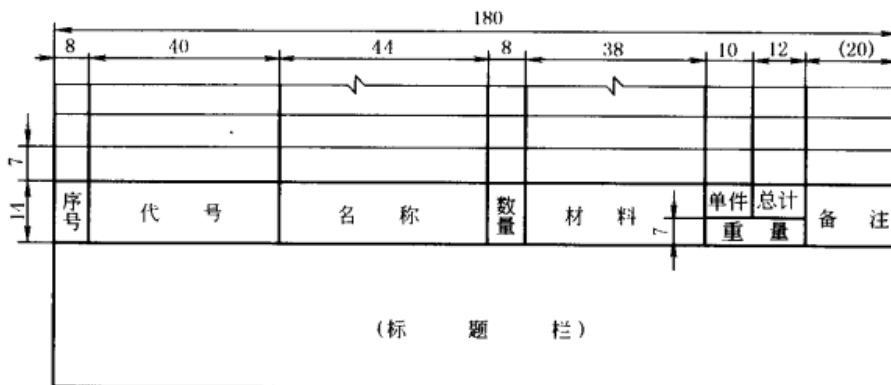


图 2-1-2 明细栏

## 3 比例 (摘自 GB/T 14690—1993)

表 2-1-2

比 例	应 用 说 明
缩小比例 1:2 1:5 1:10 1:2 × 10 <sup>n</sup> 1:5 × 10 <sup>n</sup> 1:10 × 10 <sup>n</sup> (1:1.5) (1:2.5) (1:3) (1:4) (1:6) (1:1.5 × 10 <sup>n</sup> ) (1:2.5 × 10 <sup>n</sup> ) (1:3 × 10 <sup>n</sup> ) (1:4 × 10 <sup>n</sup> ) (1:6 × 10 <sup>n</sup> )	① 绘制同一机件的各个视图时, 应尽可能采用相同的比例, 使绘图和看图都很方便 ② 比例应标注在标题栏的比例栏内, 必要时, 可在视图名称的下方或右侧标注比例, 例如: I A 向 B—B 2:1 1:10 2.5:1

续表

比 例		应 用 说 明
放大比例	2:1 5:1 10:1 2 × 10 <sup>n</sup> :1 5 × 10 <sup>n</sup> :1 10 × 10 <sup>n</sup> :1 (2.5:1) (4:1) (2.5 × 10 <sup>n</sup> :1) (4 × 10 <sup>n</sup> :1)	③ 当图形中孔的直径或薄片的厚度小于或等于 2mm, 以及斜度和锥度较小时, 可不按比例而夸大画出 ④ 表格图或空白图不必标注比例

注: 1.  $n$  为正整数。


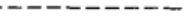
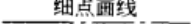
2. 必要时允许采用带括号的比例。

3. 原值比例为 1:1。

## 4 图线 (摘自 GB/T 4457.4—2002)

表 2-1-3

线型的应用

代码 No.	线 型	一 般 应 用								
01.1	 细实线	1 过渡线 2 尺寸线 3 尺寸界线 4 指引线和基准线 5 剖面线 6 重合断面的轮廓线 7 短中心线 8 螺纹牙底线 9 尺寸线的起止线 10 表示平面的对角线 11 零件成形前的弯折线 12 范围线及分界线 13 重复要素表示线, 如齿轮的齿根线 14 锥形结构的基面位置线 15 叠片结构位置线, 如变压器叠钢片 16 辅助线 17 不连续同一表面连线 18 成规律分布的相同要素连线 19 投影线 20 网格线								
	 波浪线	21 断裂处边界线; 视图与剖视图的分界线								
	 双折线	22 断裂处边界线; 视图与剖视图的分界线								
		对于波浪线或双折线在一张图样上一般采用一种线型								
01.2	 粗实线	1 可见棱边线 2 可见轮廓线 3 相贯线 4 螺纹牙顶线 5 螺纹长度终止线 6 齿顶圆(线) 7 表格图、流程图中的主要表示线 8 系统结构线(金属结构工程) 9 模样分型线 10 剖切符号用线								
02.1	 细虚线	1 不可见棱边线 2 不可见轮廓线								
02.2	 粗虚线	1 允许表面处理的表示线								
04.1	 细点画线	1 轴线 2 对称中心线 3 分度圆(线) 4 孔系分布的中心线 5 剖切线								
04.2	 粗点画线	1 限定范围表示线								
05.1	 细双点画线	1 相邻辅助零件的轮廓线 2 可动零件的极限位置的轮廓线 3 质心线 4 成形前轮廓线 5 剖切面前的结构轮廓线 6 轨迹线 7 毛坯图中制成品的轮廓线 8 特定区域线 9 延伸公差带表示线 10 工艺用结构的轮廓线 11 中断线								
图线组别和 图线宽度 /mm	线型组别	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4	2	① 在机械图样中采用粗、细两种线宽, 它们之间的比例为 2:1 ② 线型组别 0.5 和 0.7 为优先采用的图线组别 ③ 图线组别和图线宽度的选择应根据图样的类型、尺寸、比例和缩微复制的要求确定	
	与线型代 码对应的 线型宽度	01.2	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4		2
		02.2								
		04.2								
		01.1	0.13	0.18	0.25	0.35	0.5	0.7		1

注: 1. 本标准是对 GB/T 17450 的补充, 即补充规定了机械图样中各种线型的具体应用, GB/T 17450 是本标准的基础。图线标准中所涉及的基本线型的结构、尺寸、标记和绘制规则见 GB/T 17450。

2. 对图线缩微复制的要求见 GB/T 10609.4。

表 2-1-4

部分线型的应用示例

细 实 线			
	图 1 过渡线和弯折线	图 2 指引线和基准线	
图 3 短中心线	图 4 尺寸线的起止线		
图 5 范围线和分界线	图 6 锥形结构的基面表示线		
图 7 辅助线	图 8 成规律分布的相同要素连线	图 9 网格线	
粗 实 线			
	注:图形外左右两侧的符号为起模斜度符号。	图 11 剖切符号用线	
粗 虚 线 与 粗 点 画 线			
	图 12 允许表面处理的表示线	图 13 限定范围表示线(例如:限定测量热处理表面的范围)	
细 点 画 线			
	图 14 孔系分布的中心线	图 15 剖切线	图 16 分度圆(线)

续表

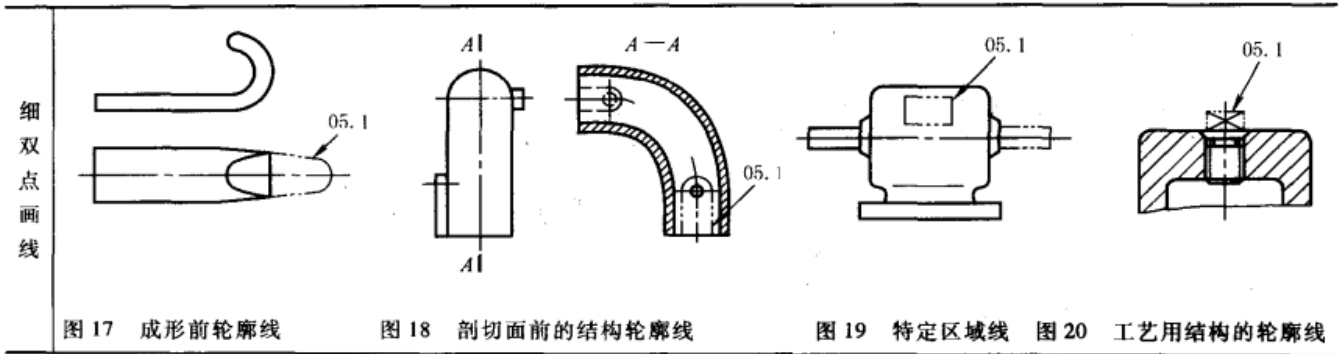


图 17 成形前轮廓线

图 18 剖切面前的结构轮廓线

图 19 特定区域线

图 20 工艺用结构的轮廓线

## 5 剖面符号 (摘自 GB/T 4457.5—1984)

表 2-1-5

剖面符号

金属材料(已有规定剖面符号者除外)		非金属材料(已有规定剖面符号者除外)	
线圈绕组元件		型砂、填砂、粉末冶金、砂轮、陶瓷刀片、硬质合金刀片等	
转子、电枢、变压器和电抗器等的叠钢片		格网(筛网、过滤网等)	
液体		钢筋混凝土	
玻璃及供观察用的其他透明材料		砖	
木质胶合板(不分层数)		木 材	纵剖面 
基础周围的泥土			
混凝土			横剖面 

注: 1. 剖面符号仅表示材料的类别, 材料的名称和代号必须另行注明。

2. 叠钢片的剖面线方向, 应与束装中叠钢片的方向一致。

3. 液面用细实线绘制。

4. 另有 GB/T 17453—2005《技术制图 图样画法 剖面区域的表示法》适用于各种技术图样, 如机械、电气、建筑和土木工程图样等, 所以机械制图应同时执行 GB/T 17453 的规定。



表 2-1-6

剖面符号的画法

① 在同一金属零件的零件图中,剖视图、剖面图的剖面线,应画成间隔相等、方向相同而且与水平成 $45^\circ$ 的平行线(图1)。当图形中的主要轮廓线与水平成 $45^\circ$ 时,该图形的剖面线应画成与水平成 $30^\circ$ 或 $60^\circ$ 的平行线,其倾斜的方向仍与其他图形的剖面线一致(图2)

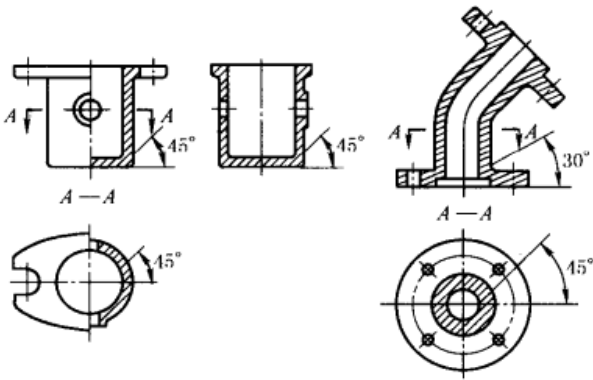


图 1

图 2

② 当绘制接合件的图样时,各零件的剖面符号应按本表第⑧条的规定绘制(图3~图5)。当绘制接合件与其他零件的装配图时,如接合件中各零件的剖面符号相同,可作为一个整体画出(图6);如不相同,则应分别画出

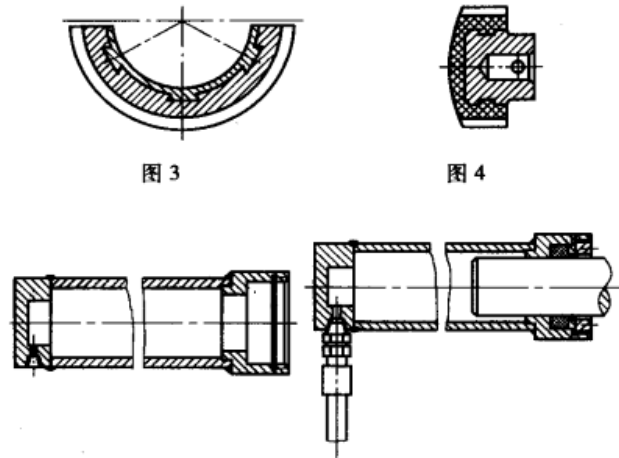


图 3

图 4

图 5

图 6

③ 相邻辅助零件(或部件),一般不画剖面符号(图7)。当需要画出时,仍按表2-1-5的规定绘制

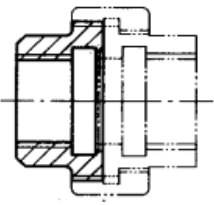


图 7

④ 当被剖部分的图形面积较大时,可以只沿轮廓的周边画出剖面符号(图8)

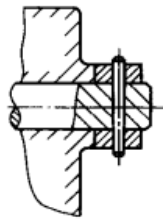


图 8

⑤ 如仅需画出剖视图中的的一部分图形,其边界又不画波浪线时,则应将剖面线绘制整齐(图9)

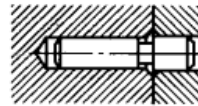


图 9

⑥ 木材、玻璃、液体、叠钢片、砂轮及硬质合金刀片等剖面符号,也可在外形视图中画出一部分或全部作为材料的标志(图10)

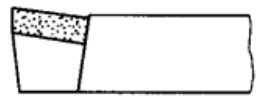


图 10

⑦ 在装配图中,宽度小于或等于2mm的狭小面积的剖面,可用涂黑代替剖面符号(图11)。如果是玻璃或其他材料,而不宜涂黑时,可不画剖面符号。当两邻接剖面均涂黑时,两剖面之间应留出不小于0.7mm的空隙(图12)

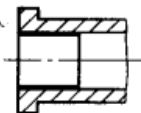


图 11



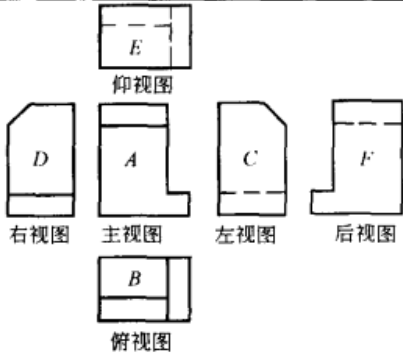
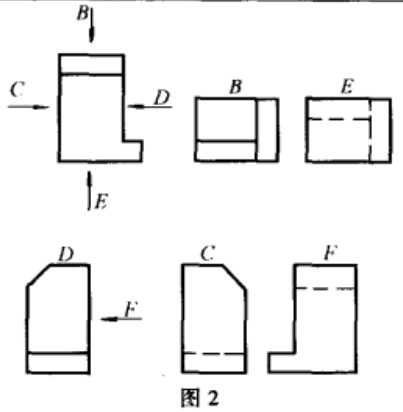
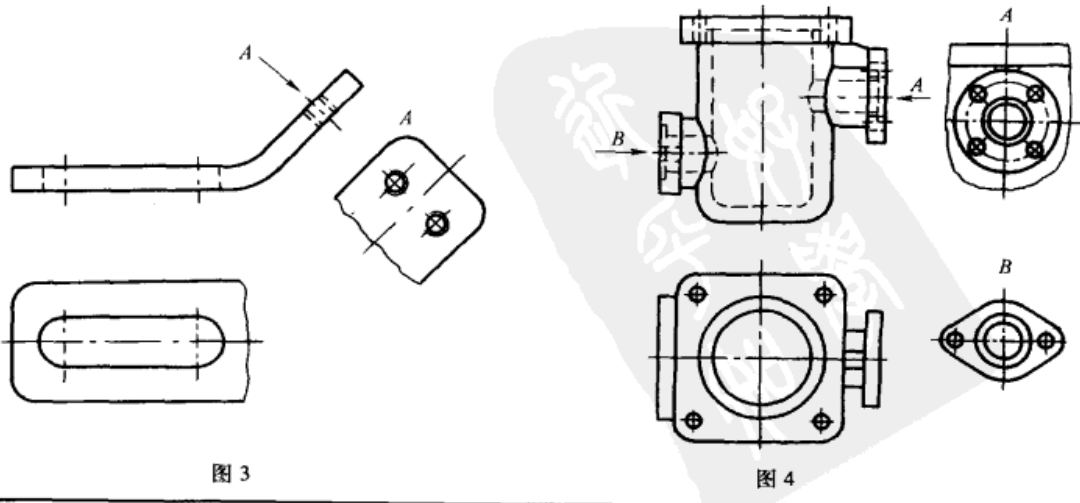
图 12

⑧ 在装配图中,相互邻接的金属零件的剖面线,其倾斜方向应相反,或方向一致而间隔不等(图8、图9)。同一装配图中的同一零件的剖面线应方向相同、间隔相等。除金属零件外,当各邻接零件的剖面符号相同时,应采用疏密不一的方法以示区别。由不同材料嵌入或粘贴在一起的成品,用其中主要材料的剖面符号表示。例如:夹丝玻璃的剖面符号,用玻璃的剖面符号表示;复合钢板的剖面符号,用钢板的剖面符号表示

## 6 图样画法

### 6.1 视图 (摘自 GB/T 17451—1998、GB/T 4458.1—2002)

表 2-1-7

基本视图	<p>基本视图是物体向基本投影面投射所得的视图。六个基本视图的配置关系如图 1 所示。在同一张图纸内按图 1 配置时,可不标注视图名称</p> <p>图样表示方法有第一角画法和第三角画法,见 GB/T 14692,优先采用第一角画法。本图所示为第一角画法,即将物体置于第一分角内,使其处于观察者与投影面之间得到的多面正投影。第三分角画法为将物体置于第三分角内,使投影面处于观察者和物体之间得到的多面正投影</p>	
向视图	<p>向视图是可自由配置的视图。在向视图的上方标注“×”(“×”为大写拉丁字母),在相应视图的附近用箭头指明投射方向,并标明相同的字母。向视图的投射方向应与基本视图的投射方向一一对应,如图 2 所示。也可在视图的下方(或上方)标注图名,如正立面图、平面图、底面图、背立面图等</p>	
局部视图	<p>局部视图是将物体的某一部分向基本投影面投射所得的视图。局部视图可按基本视图的配置形式配置(图 3 的俯视图);也可按向视图的形式配置并标注(图 4)。画局部视图时,其断裂边界用波浪线或双折线绘制,见图 3 和图 4 中的 A 向视图。当所表示的外轮廓成封闭时,则不必画出其断裂边界线,见图 4 中 B 向视图</p>	

为了节省绘图时间和图幅,对称构件或零件的视图可只画一半或四分之一,并在对称中心线的两端画出两条与其垂直的平行细实线(图5~图7)

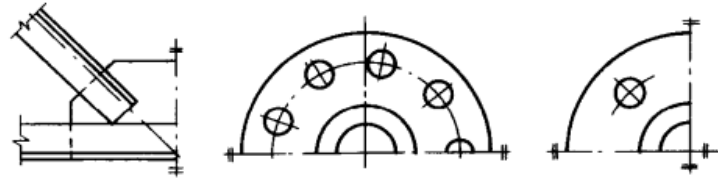


图5

图6

图7

按第三角画法(见 GB/T 14692)配置在视图上所需表示物体局部结构的附近,并用细点画线将两者相连(图8~图11)

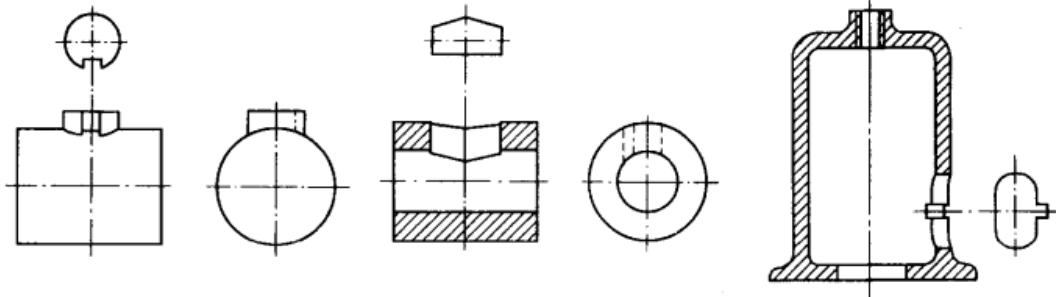


图8

图9

图10

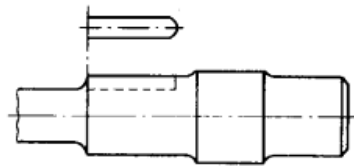


图11

标注局部视图时,通常在其上方用大写的拉丁字母标出视图的名称,在相应视图附近用箭头指明投射方向,并注上相同的字母(图4)。当局部视图按基本视图配置,中间又没有其他图形隔开时,则不必标注(图3)

局部视图

(摘自 GB/T 4458.1—2002)

斜视图是物体向不平行于基本投影面的平面投射所得的视图。斜视图通常按向视图的配置形式配置并标注(图12)。必要时,允许将斜视图旋转配置,并标注旋转符号,表示该视图名称的大写拉丁字母应靠近旋转符号的箭头端(图13),也允许将旋转角度标注在字母之后(图14)

斜视图

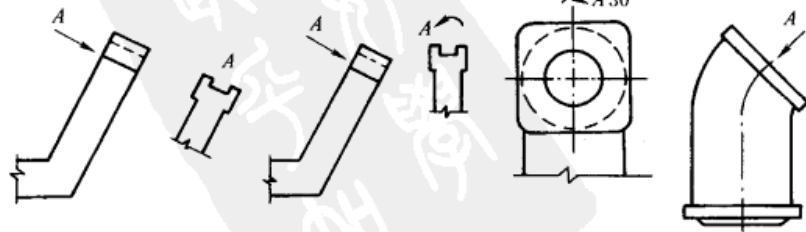
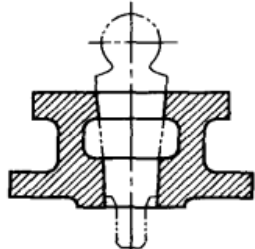
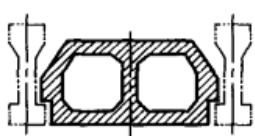
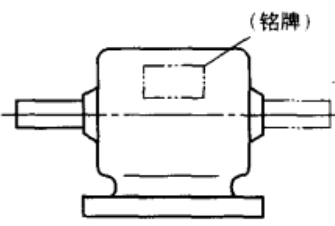
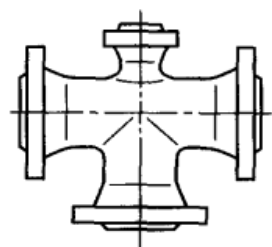
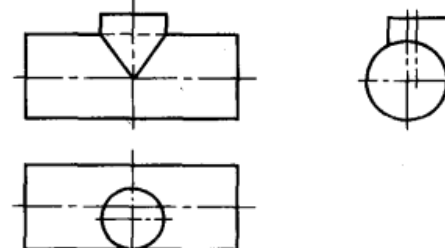
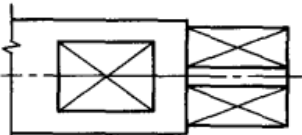

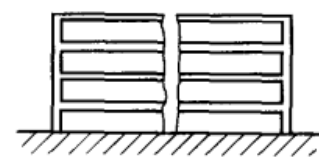
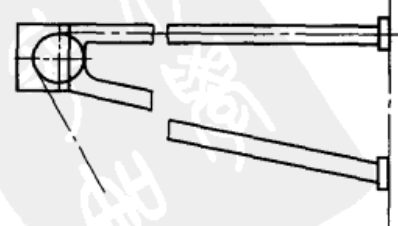


图12

图13

图14

续表

相邻的辅助零件与特定区域	<p>相邻的辅助零件用细双点画线绘制。相邻的辅助零件不应覆盖主要零件,而可以被主要零件遮挡(图 15、图 16),相邻的辅助零件的剖面区域不画剖面线</p>   <p>图 15                      图 16</p>	<p>当轮廓线无法明确绘制时,则其特定的封闭区域应用细双点画线绘制(图 17)</p>  <p>图 17</p>
表面交线	<p>过渡线应用细实线绘制,且不宜与轮廓线相连(图 18)</p>  <p>图 18</p>	<p>相贯线用粗实线绘制,不可见相贯线用细虚线绘制。相贯线若按简化画法,按 GB/T 16675.1 的规定,如图 19 中的细虚线。当使用简化画法会影响对图形的理解时,则应避免使用</p>  <p>图 19</p>
平面画法	<p>为了避免增加视图、剖视图或断面图,可用细实线绘出对角线表示平面(图 20、图 21)</p>   <p>图 20                      图 21</p>	
断裂画法	<p>较长的机件(轴、杆、型材、连杆等)沿长度方向的形状一致或按一定规律变化时,可断开绘制,其断裂边界用波浪线绘制(图 22、图 23)。断裂边界也可用双折线或细双点画线绘制</p>   <p>图 22                      图 23</p>	

零件中成规律分布的重复结构,允许只绘制出其中一个或几个完整的结构,并反映其分布情况。重复结构的数量和类型的表示应遵循 GB/T 4458.4 中的有关要求

对称的重复结构用细点画线表示各对称结构要素的位置(图 24、图 25)。不对称的重复结构则用相连的细实线代替(图 26)

重复结构要素

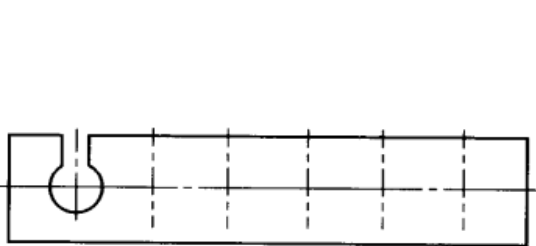


图 24

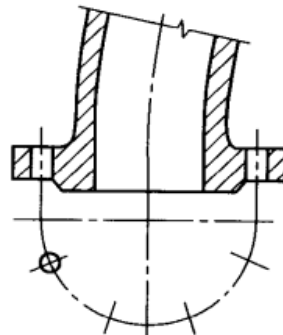


图 25

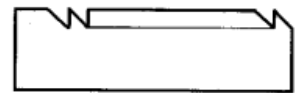


图 26

局部放大图是将机件的部分结构用大于原图形的比例所画出的图形。局部放大图可画成视图,也可画成剖视图、断面图,它与被放大部分的表达方式无关(图 27)。局部放大图应尽量配置在被放大部分的附近。绘制局部放大图时,除螺纹牙型、齿轮和链轮的齿形外,应用细实线圈出被放大的部位。当机件上被放大的部分仅一个时,在局部放大图上方只需注明所采用的比例(图 28)。同一机件上不同部位的局部放大图,当图形相同或对称时,只需画出一个(图 29)。必要时可用几个图形来表达同一个被放大部分的结构(图 30)

视图其他表示法 (摘自 GB/T 4458.1—2002)

局部放大图

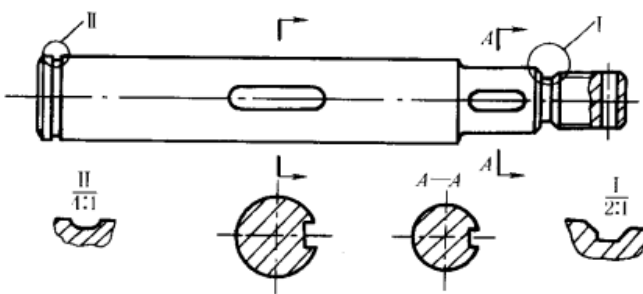


图 27

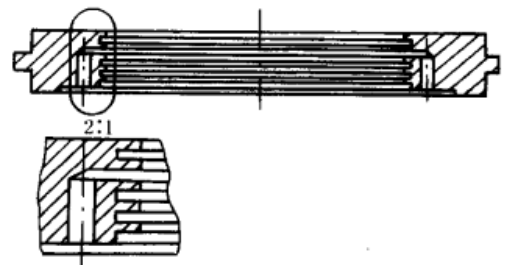


图 28

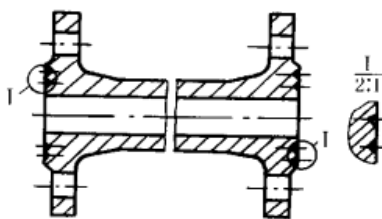


图 29

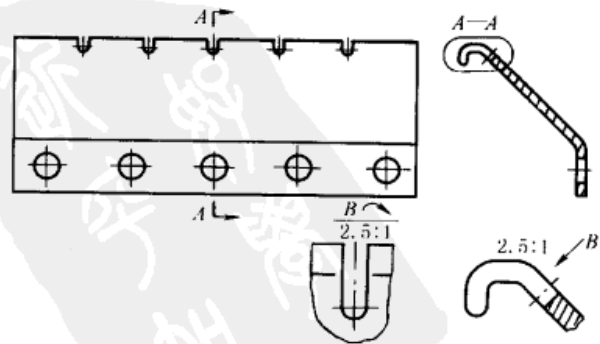
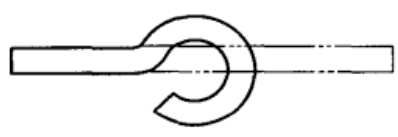
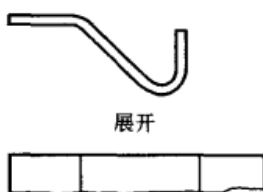
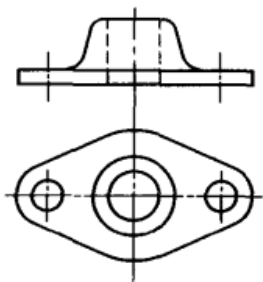
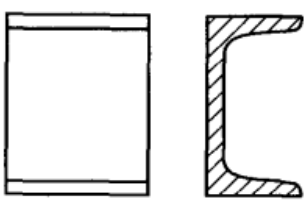
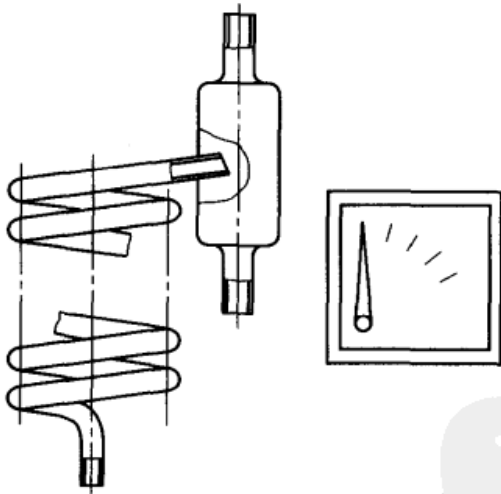
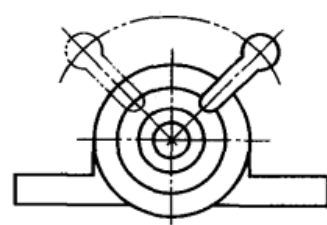
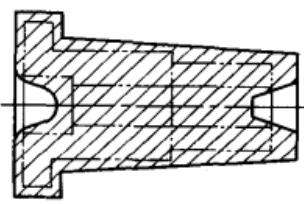
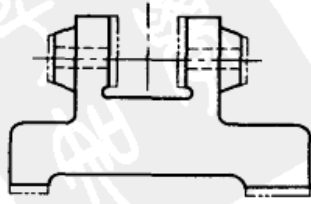


图 30

续表

初始轮廓与弯折线	<p>当有必要表示零件成形前的初始轮廓时,应用细双点画线绘制(图 31)</p>	<p>弯折线在展开图中应用细实线绘制(图 32)</p>
		
较小斜度和锥度结构	<p>机件上斜度和锥度等较小的结构,如在一个图形中已表达清楚时,其他图形可按小端画出(图 33、图 34)</p>	
		
视图其他表示法 (摘自 GB/T 4458.1—2002)	<p>透明材料制成的零件应按不透明绘制(图 35) 在装配图中,供观察用的透明材料后的零件按可见轮廓线绘制(图 36)</p>	<p>在装配图中,运动零件的变动和极限状态,用细双点画线表示(图 37)</p>
		
成形零件和毛坯件	<p>允许用细双点画线在毛坯图中画出完工零件的形状(图 38)或者在完工零件图上画出毛坯的形状(图 39)</p>	
		

分隔的相同元素的制成件和网状结构

分隔的相同元素的制成件,可局部地用细实线表示其组合情况(图40)

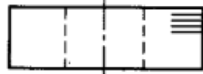


图40

滚花、槽沟等网状结构应用粗实线完全或部分地表示出来(图41)

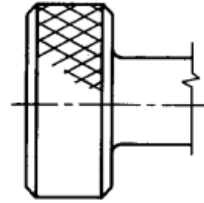


图41

纤维方向

材质的纤维方向和轧制方向,一般不必示出,必要时,应用带箭头的细实线表示(图42、图43)

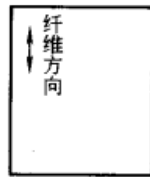


图42



图43

零件图中有两个或两个以上相同视图的表示

一个零件上有两个或两个以上图形相同的视图,可以只画一个视图,并用箭头、字母和数字表示其投射方向和位置(图44、图45)

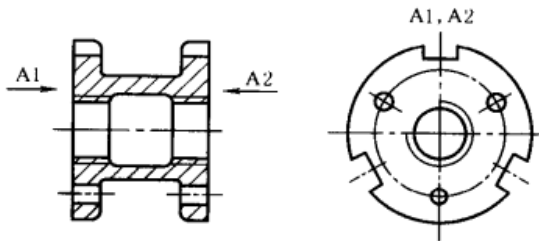


图44

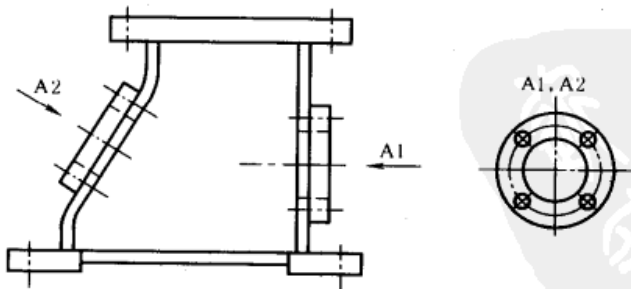
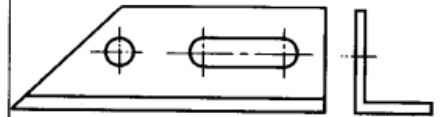


图45

对于左右手零件或装配件,可用一个视图表示(图46),并按 GB/T 16675.1 在图形下方注写必要的说明



零件1(LH)如图;  
零件2(RH)对称。

图46

镜像零件

注: 1. GB/T 4458.1—2002 规定, 本部分适用于在机械制图中用正投影法(见 GB/T 14692)绘制的技术图样, 图样画法为第一角画法。在 GB/T 17451 中规定优先采用第一角画法, 必要时可按 GB/T 14692—1993 的规定选用第三角画法, 二者不矛盾。  
2. 视图的简化画法见 GB/T 16675.1。

## 6.2 剖视图和断面图 (摘自 GB/T 17452—1998、GB/T 4458.6—2002)

剖视图是假想用剖切面剖开物体, 将处在观察者和剖切面之间的部分移去, 而将其余部分向投影面投射所得的图形。剖视图可简称为剖视。

断面图是假想用剖切面将物体的某处切断, 仅画出该剖切面与物体接触部分的图形。断面图可简称为断面。剖面区域是假想用剖切面剖开物体, 剖切面与物体的接触部分。

表 2-1-8 剖视图和断面图 (GB/T 17452)

<p>根据物体的结构特点, 可选择单一剖切面(平面或柱面)(图 1、图 2)、几个平行的剖切平面(图 3)或几个相交的剖切面(平面或柱面)(图 4)</p>				
<p>剖切面的分类</p>	<p>图 1                      图 2                      图 3                      图 4</p>			
<p>剖视图的分类</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="167 1064 566 1579"> <p><b>全剖视图</b> 用剖切面完全地剖开物体所得的剖视图(图 5)</p> <p>图 5</p> </td> <td data-bbox="582 1064 997 1579"> <p><b>半剖视图</b> 当物体具有对称平面时, 向垂直于对称平面的投影面上投射所得的图形, 可以对称中心线为界, 一半画成剖视图, 另一半画成视图(图 6)</p> <p>图 6</p> </td> <td data-bbox="1013 1064 1412 1579"> <p><b>局部剖视图</b> 用剖切面局部地剖开物体所得的剖视图(图 7)</p> <p>图 7</p> </td> </tr> </table>	<p><b>全剖视图</b> 用剖切面完全地剖开物体所得的剖视图(图 5)</p> <p>图 5</p>	<p><b>半剖视图</b> 当物体具有对称平面时, 向垂直于对称平面的投影面上投射所得的图形, 可以对称中心线为界, 一半画成剖视图, 另一半画成视图(图 6)</p> <p>图 6</p>	<p><b>局部剖视图</b> 用剖切面局部地剖开物体所得的剖视图(图 7)</p> <p>图 7</p>
<p><b>全剖视图</b> 用剖切面完全地剖开物体所得的剖视图(图 5)</p> <p>图 5</p>	<p><b>半剖视图</b> 当物体具有对称平面时, 向垂直于对称平面的投影面上投射所得的图形, 可以对称中心线为界, 一半画成剖视图, 另一半画成视图(图 6)</p> <p>图 6</p>	<p><b>局部剖视图</b> 用剖切面局部地剖开物体所得的剖视图(图 7)</p> <p>图 7</p>		
<p>断面图的分类</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="167 1594 790 1989"> <p><b>移出断面图</b> 移出断面图的图形应画在视图之外, 轮廓线用粗实线绘制, 配置在剖切线的延长线上, 或其他适当位置(图 8)</p> <p>图 8</p> </td> <td data-bbox="805 1594 1412 1989"> <p><b>重合断面图</b> 重合断面图的图形应画在视图之内, 断面轮廓线用细实线画出。当视图中轮廓线与重合断面图的图形重叠时, 视图中的轮廓线仍应连续画出, 不可间断(图 9)</p> <p>图 9</p> </td> </tr> </table>	<p><b>移出断面图</b> 移出断面图的图形应画在视图之外, 轮廓线用粗实线绘制, 配置在剖切线的延长线上, 或其他适当位置(图 8)</p> <p>图 8</p>	<p><b>重合断面图</b> 重合断面图的图形应画在视图之内, 断面轮廓线用细实线画出。当视图中轮廓线与重合断面图的图形重叠时, 视图中的轮廓线仍应连续画出, 不可间断(图 9)</p> <p>图 9</p>	
<p><b>移出断面图</b> 移出断面图的图形应画在视图之外, 轮廓线用粗实线绘制, 配置在剖切线的延长线上, 或其他适当位置(图 8)</p> <p>图 8</p>	<p><b>重合断面图</b> 重合断面图的图形应画在视图之内, 断面轮廓线用细实线画出。当视图中轮廓线与重合断面图的图形重叠时, 视图中的轮廓线仍应连续画出, 不可间断(图 9)</p> <p>图 9</p>			



一般应标注剖视图或移出断面图的名称“x-x”(x为大写拉丁字母或阿拉伯数字)。在相应的视图上用剖切符号表示剖切位置和投射方向,并标注相同的字母或数字(图5)。剖切符号、剖切线和字母的组合标注如图10所示。剖切线也可省略不画,如图11所示。

剖视图和断面图的标注

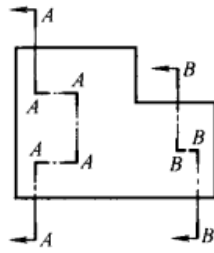


图 10

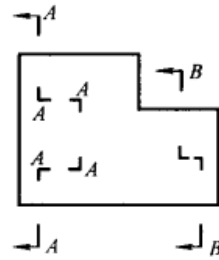


图 11

表 2-1-9

剖视图和断面图 (摘自 GB/T 4458.6)

GB/T 17451、GB/T 4458.1 中的基本视图的配置规定同样适用于剖视图和断面图(图1中的A-A、图2中的B-B)。剖视图和断面图也可按投影关系配置在与剖切符号相对应的位置(图2中的A-A),必要时允许配置在其他适当位置

基本要求

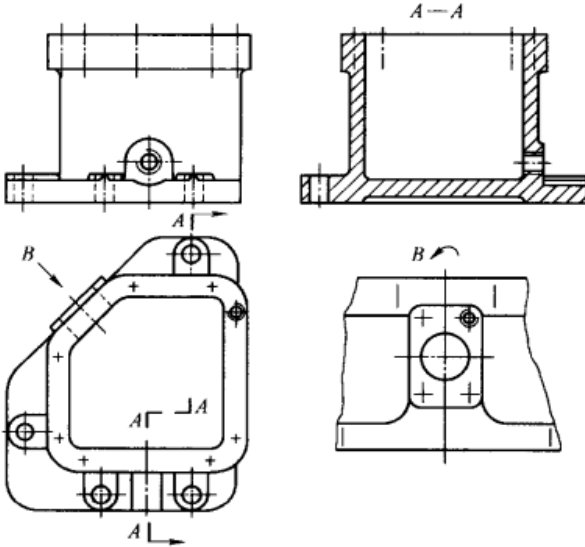


图 1

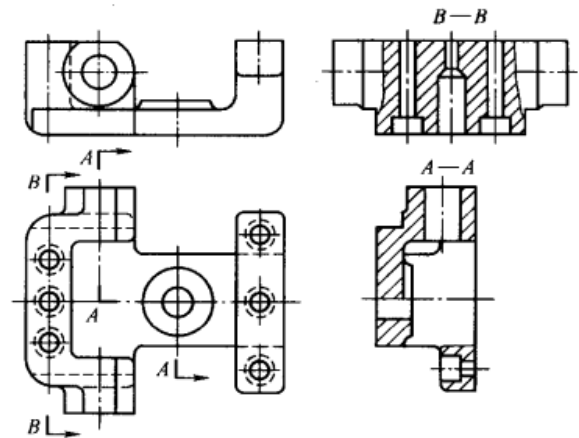


图 2

用单一剖切平面剖切(图3、图4)

剖视图

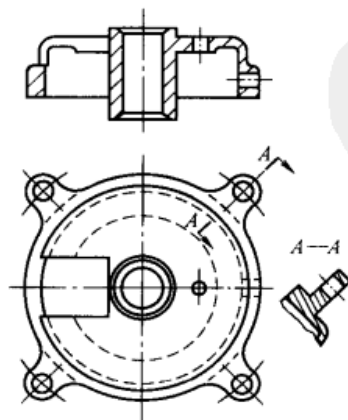


图 3

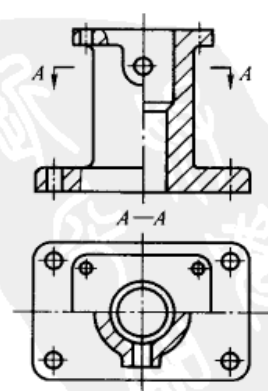


图 4

用单一柱面剖切机件,剖视图一般应展开绘制(图5中的B-B)

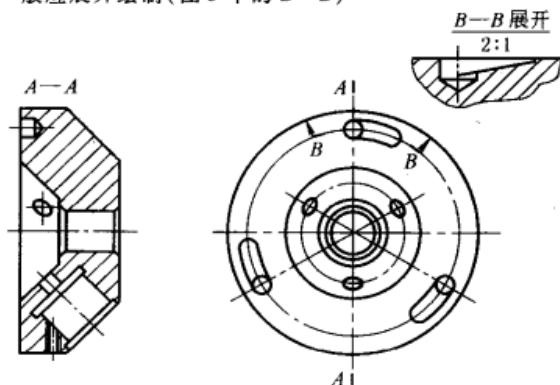


图5

用几个平行的剖切平面(图6)剖切时,在图形内不应出现不完整的要素,仅当两个要素在图形上具有公共对称中心线或轴线时,可以各画一半,此时应以对称中心线或轴线为界(图7)

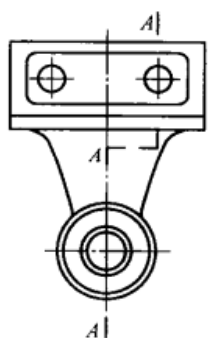


图6

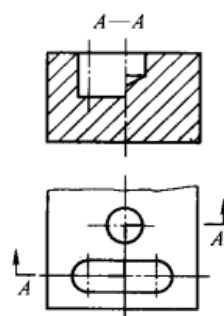
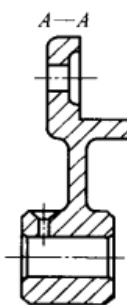


图7

剖  
视  
图

用几个相交的剖切平面获得的剖视图应旋转到一个投影平面上(图8、图9)。采用这种方法画剖视图时,先假想按剖切位置剖开机件,然后将剖切平面剖开的结构及其有关部分旋转到与选定的投影面平行再进行投射(图10~图12);或采用展开画法,此时应标注“×-×展开”(图13)。在剖切平面后的其他结构,一般仍按原来位置投影(图14中的油孔)。当剖切后产生不完整要素时,应将此部分按不剖绘制(图15中的臂)

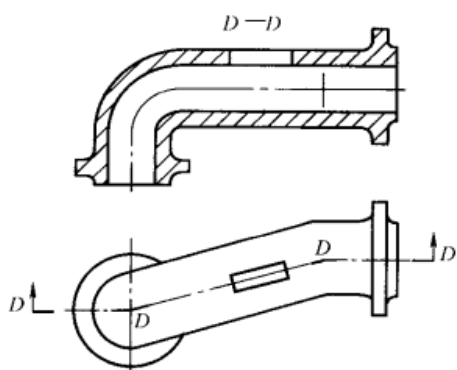


图8

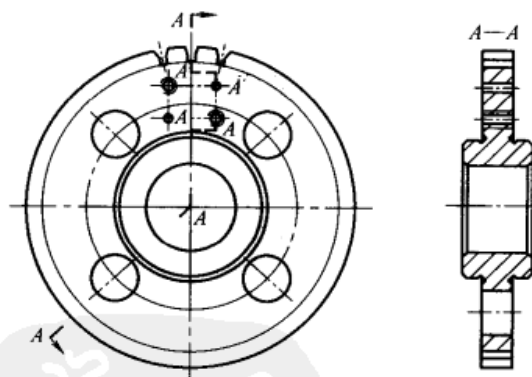


图9

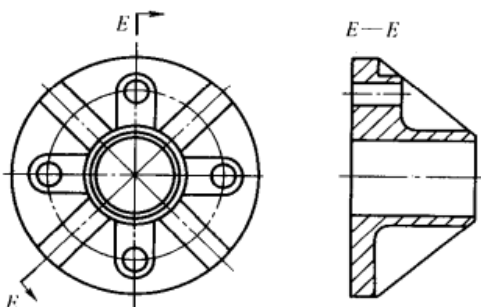


图10

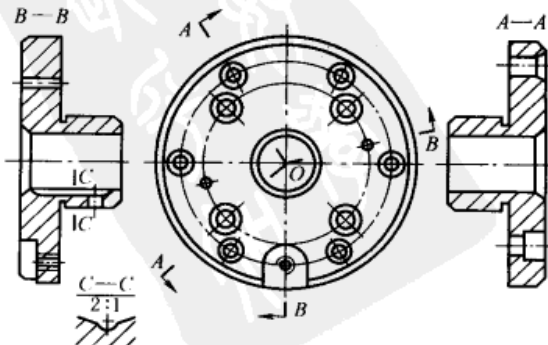


图11

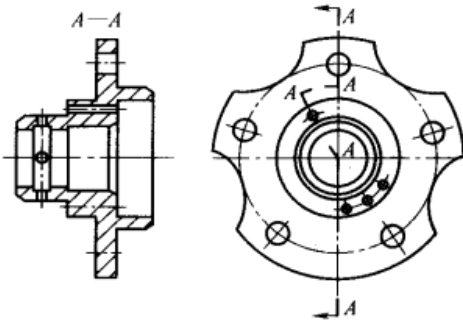


图 12

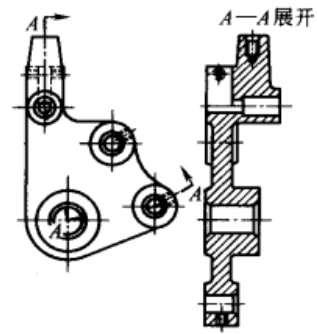


图 13

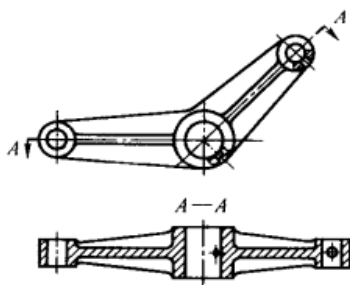


图 14

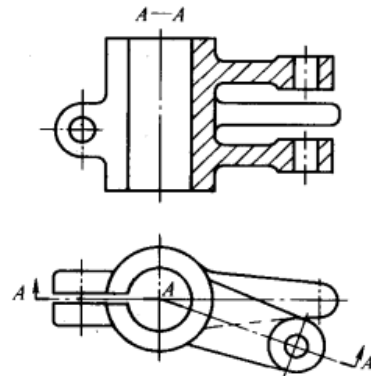


图 15

剖  
视  
图

机件的形状接近于对称,且不对称部分已另有图形表达清楚时,也可以画成半剖视图(图 16、图 17)

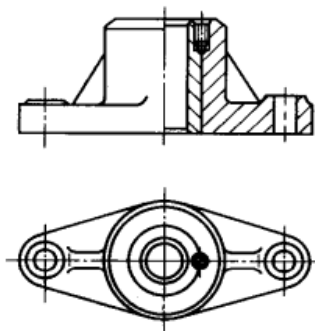


图 16

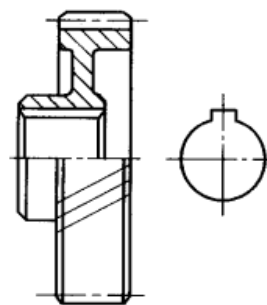


图 17

局部剖视图用波浪线或双折线分界,波浪线和双折线不应与图样上其他图线重合,当被剖切结构为回转体时,允许将该结构的轴线作为局部剖视与视图的分界线(图 18)

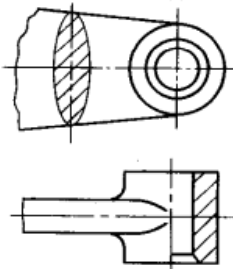


图 18

带有规则分布结构要素的回转零件,需要绘制剖视图时,可以将其结构要素旋转到剖切平面上绘制(图 19)

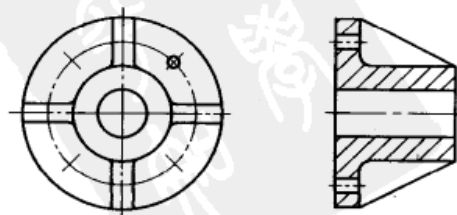


图 19

续表

当只需剖切绘制零件的部分结构时,应用细点画线将剖切符号相连,剖切面可位于零件实体之外(图20)

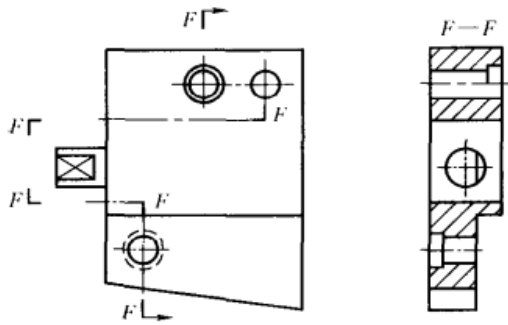


图20

用几个剖切平面分别剖开机件,得到的剖视图为相同的图形时,可按图21的形式标注

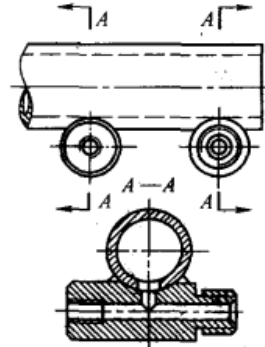


图21

剖视图

用一个公共剖切平面剖开机件,按不同方向投射得到的两个剖视图,应按图22的形式标注

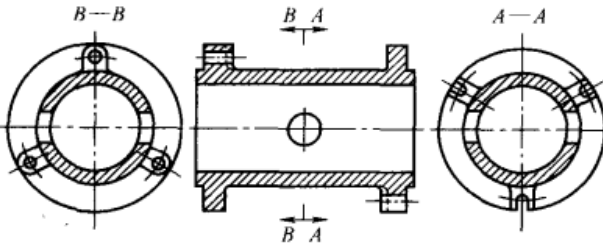


图22

可将投射方向一致的几个对称图形各取一半(或四分之一)合并成一个图形。此时应在剖视图附近标出相应的剖视图名称“x-x”(图23)

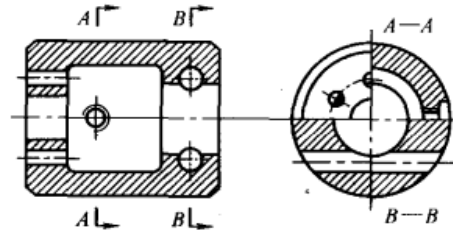


图23

一般应在剖视图的上方用大写的拉丁字母标出剖视图的名称“x-x”。在相应的视图上用剖切符号表示剖切位置和投射方向(用箭头表示),并标注相同的字母(图1、图4、图9和图20)。剖切符号之间的剖切线可省略不画

当剖视图按投影关系配置,中间又没有其他图形隔开时,可省略箭头(图5、图6、图24)

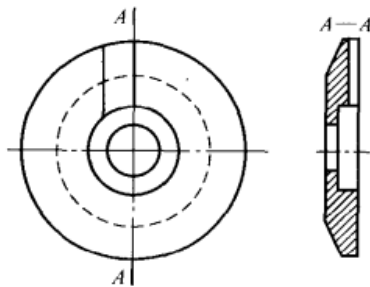


图24

当单一剖切平面通过机件的对称平面或基本对称的平面,且剖视图按投影关系配置,中间又没有其他图形隔开时,不必标注(图3中的主视图、图4中的主视图、图25中的主视图)

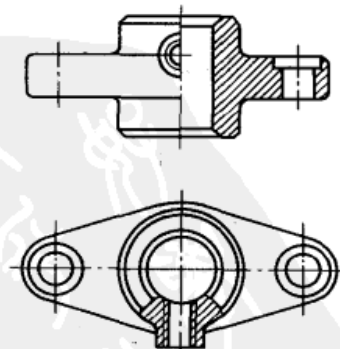


图25

当单一剖切平面的剖切位置明确时,局部剖视图不必标注(图4中主视图上的两上小孔、图25中的俯视图)

剖切位置与剖视图的标注

移出断面的轮廓线用粗实线绘制,通常配置在剖切线的延长线上(图 26)

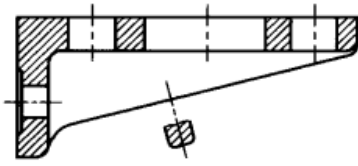


图 26

移出断面的图形对称时也可画在视图的中断处(图 27)

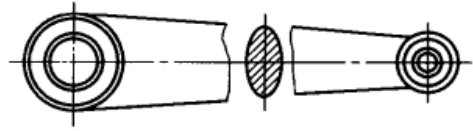


图 27

必要时可将移出断面配置在其他适当位置。在不引起误解时,允许将图形旋转,其标注形式见图 28

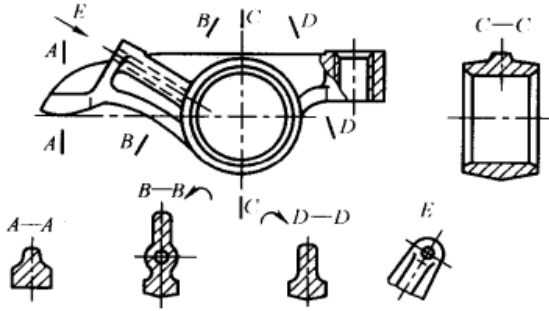


图 28

由两个或多个相交的剖切平面剖切得出的移出断面图,中间一般应断开(图 29)

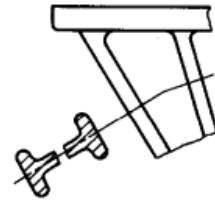


图 29

当剖切平面通过回转而形成的孔或凹坑的轴线时,则这些结构按剖视图要求绘制(图 30 中的 A-A、图 31 ~ 图 33)

断  
面  
图

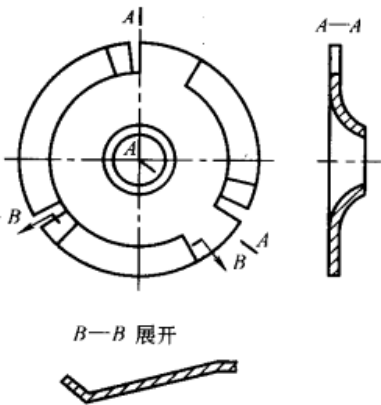


图 30

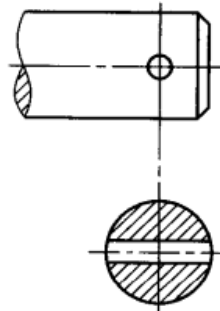


图 31

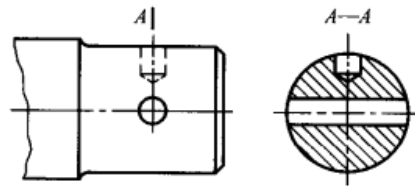


图 32

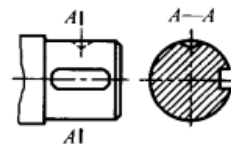


图 33

为便于读图,逐次剖切的多个断面图可按图 34 ~ 图 36 的形式配置

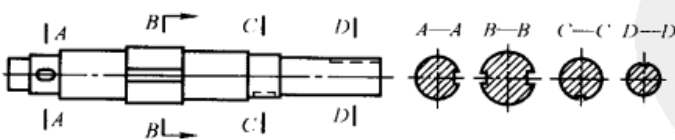


图 34

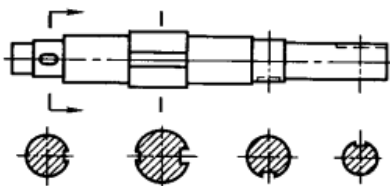


图 35

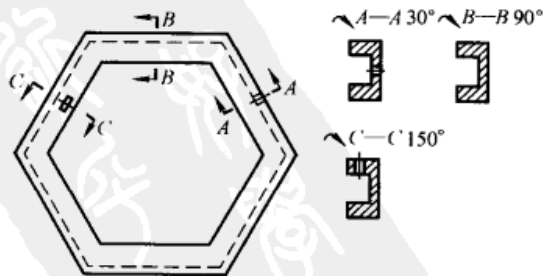


图 36

断面图

当剖切平面通过非圆孔,会导致出现完全分离的剖面区域时,则这些结构应按剖视图要求绘制(图 37)

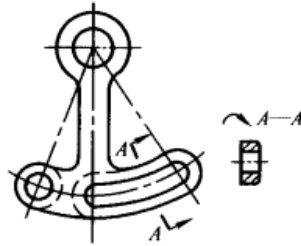


图 37

一般应用大写的拉丁字母标注移出断面图的名称“×-×”,在相应的视图上用剖切符号表示剖切位置和投射方向(用箭头表示),并标注相同的字母(图 38 中的 A-A)。剖切符号之间的剖切线可省略不画

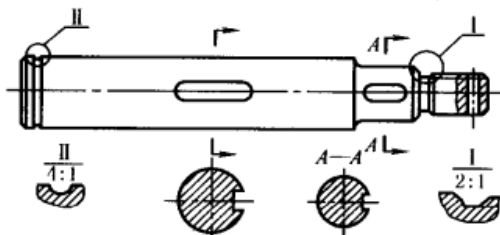


图 38

配置在剖切符号延长线上的不对称移出断面不必标注字母(图 39)。不配置在剖切符号延长线上的对称移出断面(图 28 中的 A-A、图 34 中的 C-C 和 D-D),以及按投影关系配置的移出断面(图 32 和图 33),一般不必标注箭头,配置在剖切线延长线上的对称移出断面,不必标注字母和箭头(图 31 及图 35 右边的两个断面图)

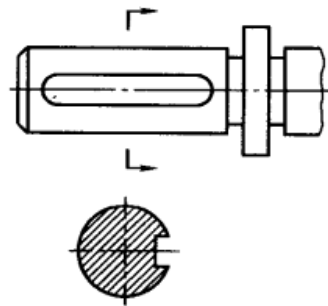


图 39

剖切位置与断面图的标注

对称的重合断面及配置在视图中断处的对称移出断面不必标注(图 40 和图 27)

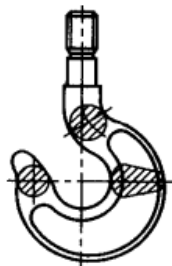


图 40

不对称的重合断面可省略标注。重合断面的轮廓线用细实线绘制,断面图形画在视图之内,当视图中的轮廓线与重合断面的图形重叠时,视图中的轮廓线仍应连续画出,不可间断(图 41)



图 41


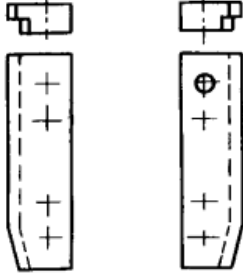
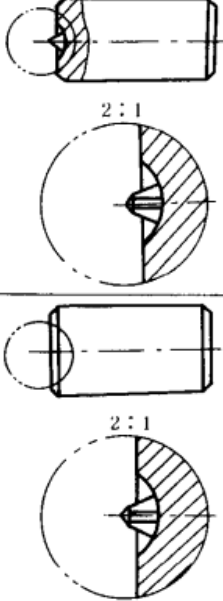
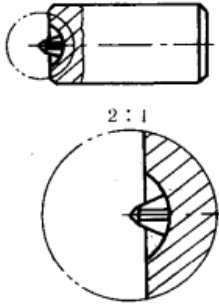
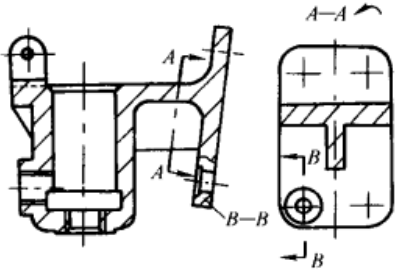
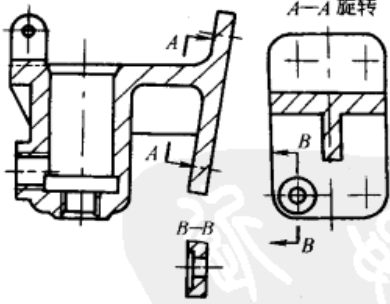
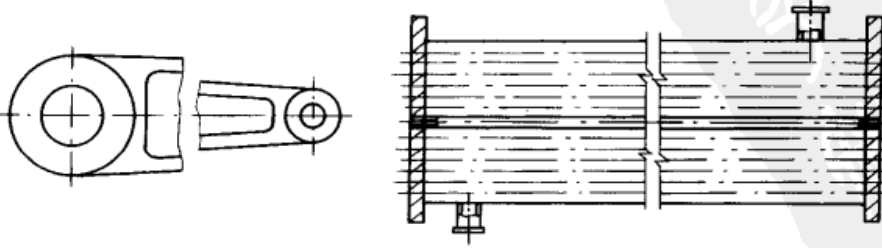
简化表示法

剖视图和断面图的简化表示法见 GB/T 16675.1

### 6.3 图样画法的简化表示法 (摘自 GB/T 16675.1—1996)

表 2-1-10

简化画法

类别	简化后	简化前	说明
左右手件画法	 <p>零件1(LH)如图 零件2(RH)对称(或镜像对称件)</p>	 <p>零件1(左件) 零件2(右件)</p>	<p>对于左右手零件和装配件,允许仅画出其中一件,另一件则用文字说明,其中“LH”为左件,“RH”为右件。</p>
特定画法			<p>在局部放大图表达完整的前提下,允许在原视图中简化被放大部位的图形</p>
剖中剖画法			<p>在剖视图的剖面中可再作一次局部剖视。采用这种方法表达时,两个剖面的剖面线应同方向、同间隔,但要互相错开,并用引出线标注其名称</p>
* 较长件画法	<p style="text-align: center;">简 化 后</p> 	<p>较长的机件沿长度方向的形状一致或按一定规律变化时,可断开后缩短绘制。断裂处的边界线可采用波浪线、细双点画线或双折线绘制</p>	

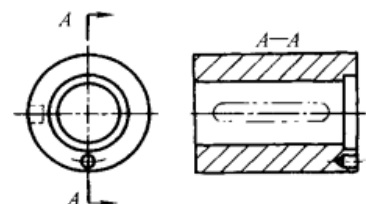
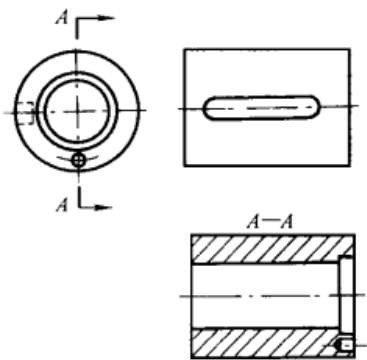
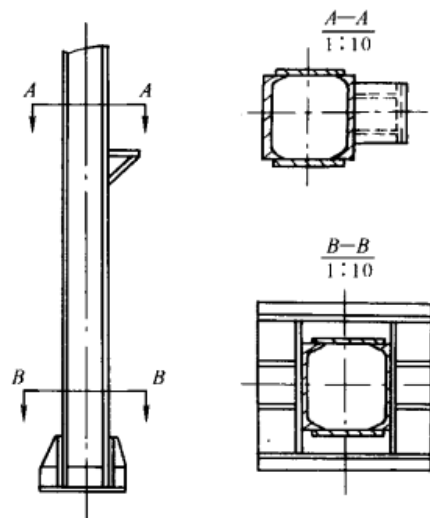
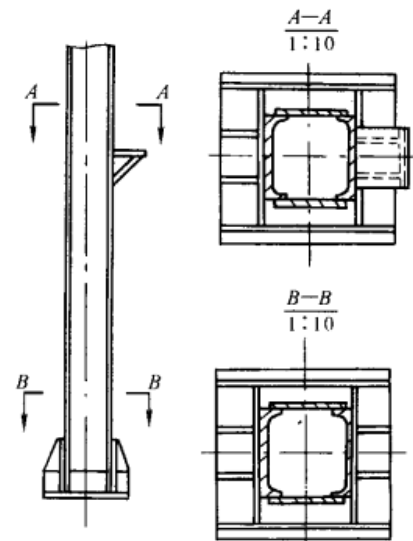
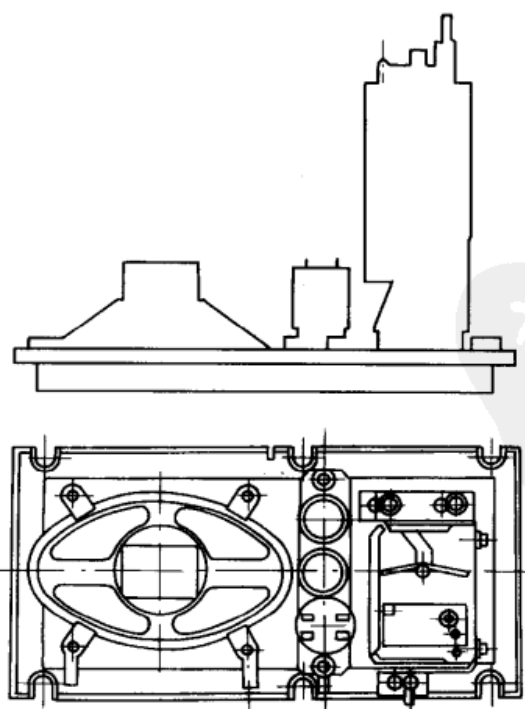
类别	简化后	说明
*复杂曲面的画法		<p>用一系列剖面表示机件上较复杂的曲面时,可只画出剖面轮廓,并可配置在同一个位置上</p>
特定画法		<p>在装配图中,可假想沿某些零件的结合面剖切(图 a 中的 B—B),或假想将某些零件拆卸后绘制,需要说明时可加注“拆去××等”(图 b)。这种表示法,允许在装配图中将一些标准件或简单零件等拆卸去,将需要表示的重要零件详细绘出,既表达了装配关系,又突出了重点</p>



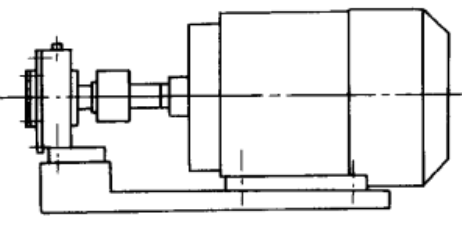
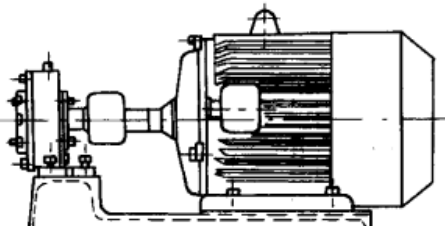
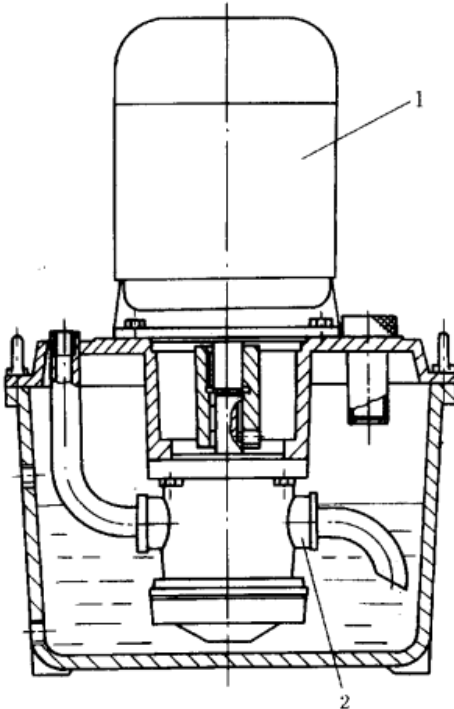
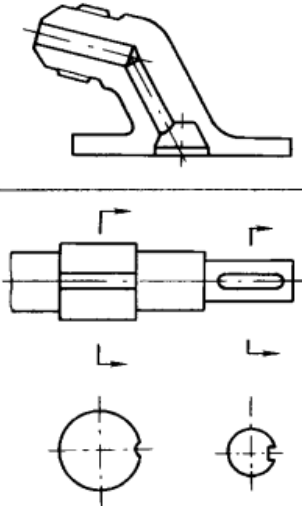
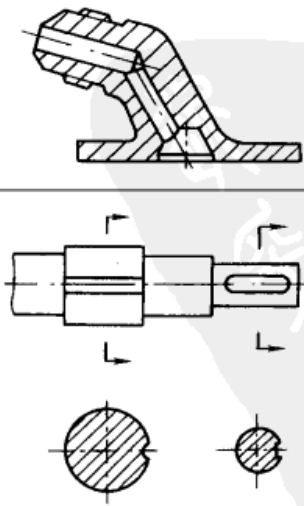
类别	简化后	说明
<p>* 拆卸画法 特定画法</p>	<p style="text-align: center;">拆去轴承盖等</p> <p style="text-align: center;">(b)</p>	<p>在装配图中,可假想沿某些零件的结合面剖切(图 a 中的 B—B),或假想将某些零件拆卸后绘制,需要说明时可加注“拆去××等”(图 b)。这种表示法,允许在装配图中将一些标准件或简单零件等拆卸去,将需要表示的重要零件详细绘出,既表达了装配关系,又突出了重点</p>
<p>* 单独绘出某一零件的画法</p>	<p style="text-align: center;">A—A</p> <p style="text-align: center;">A</p> <p style="text-align: center;">B</p> <p style="text-align: center;">泵盖 B 向</p> <p style="text-align: center;">A</p>	<p>在装配图中,可以单独画出某一零件的视图,但必须在所画视图的上方注出该零件的视图名称,在相应视图的附近用箭头指明投射方向,并注上同样字母</p>
<p>对称画法 对称结构画法</p>	<p style="text-align: center;">简化后</p> <p style="text-align: center;">A 向</p> <p style="text-align: center;">A 向</p> <p style="text-align: center;">简化前</p>	<p>零件上对称结构的局部视图,可按简化后所示方法绘制</p>

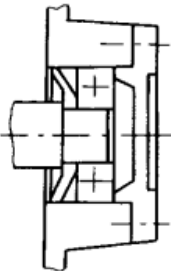
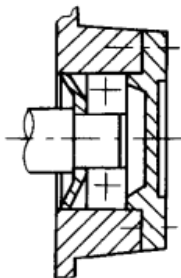
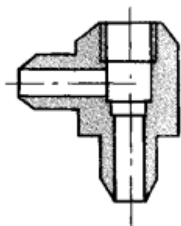
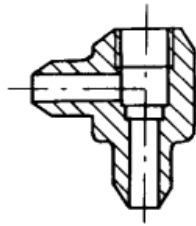
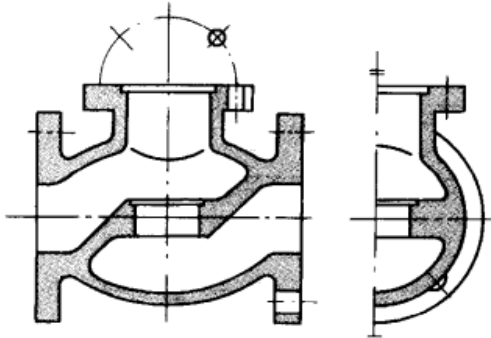
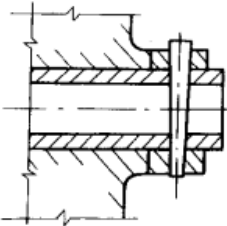
续表

类别	简化后	简化前	说明
对称结构画法			<p>零件上对称结构的局部视图,可按简化后所示方法绘制</p>
基本对称画法			<p>基本对称的零件仍可按对称零件的方式绘制,但应对其中不对称的部分加注说明。如本图的图形适当超过对称中心线,此时不画对称符号</p>
简化后			
对称画法			<p>在不致引起误解时,对于对称机件的视图可只画一半或四分之一,并在对称中心线的两端画出两条与其垂直的平行细实线(即对称符号)。这条规定不仅适用于零件图,也适用于装配图</p>
* 对称件画法			

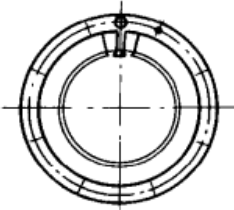
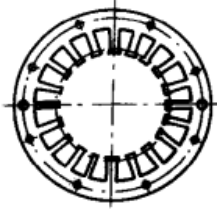
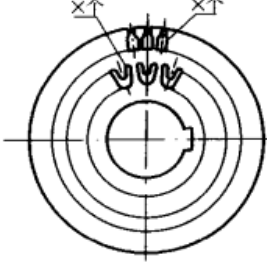
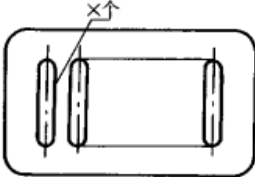

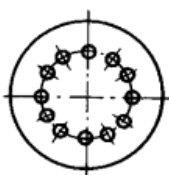
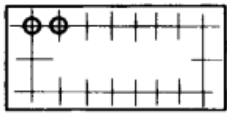
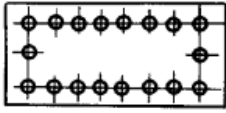
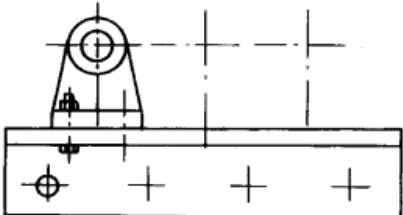
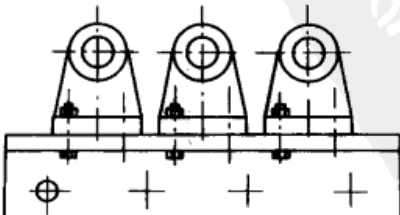
类别	简化后	简化前	说明
剖切平面前的结构画法 剖切平面前、后结构的画法			<p>在需要表示位于剖切平面前的结构时,这些结构按假想投影的轮廓线绘制</p>
剖切平面后的结构省略画法			<p>在不致引起误解时,剖切平面后不需表达的部分允许省略不画(见简化后 A-A 剖视)</p>
外形轮廓画法	<p>简化后</p> 		<p>已在一个视图中表示清楚的产品组成部分,在其他视图中可以画出其外形轮廓</p>

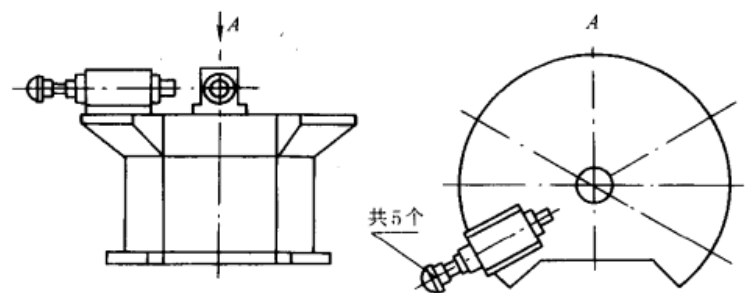
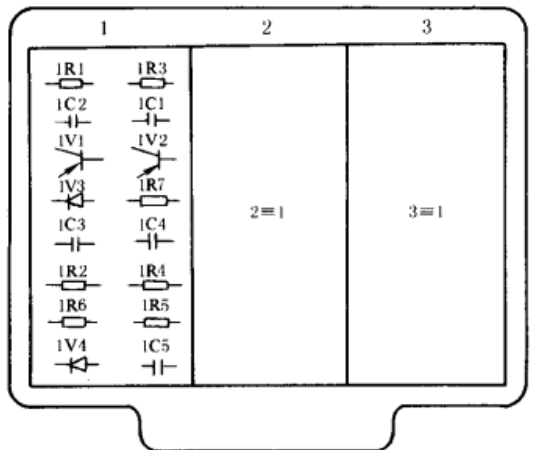
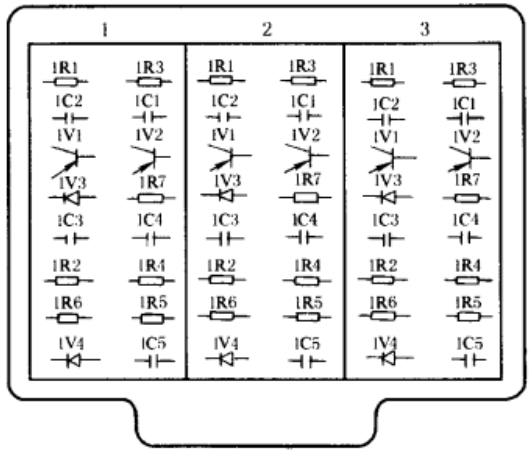
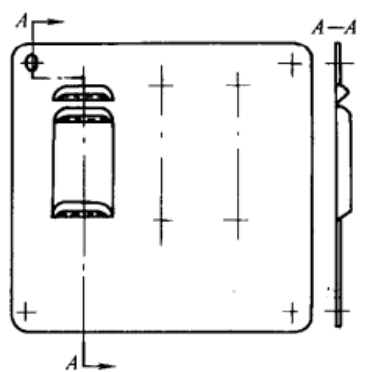
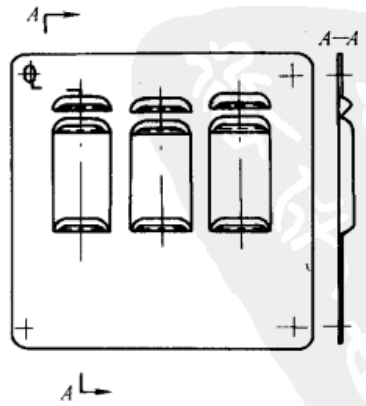
续表

类别	简化后	简化前	说明
简化轮廓画法			<p>在能够清楚表达产品特征和装配关系的条件下,装配图可仅画出其简化后的轮廓</p>
轮廓画法	简化后		<p>在装配图中,当剖切平面通过的某些部件为标准产品或该部件已由其他图形表示清楚时,可按不剖绘制,如图中件1(电动机)、件2(油泵)均为标准件,按不剖绘制</p>
* 不剖画法			
剖面符号画法	简化后	简化前	<p>在不致引起误解的情况下,剖面符号可省略</p>
省略剖面符号画法			

类别	简化后	简化前	说明
省略剖面符号画法			<p>在不致引起误解的情况下,剖面符号可省略</p>
			
剖面符号画法 涂色画法	简化后		<p>在零件图中可以用涂色代替剖面符号</p>
			
*较大剖面画法			<p>在装配图中,装配关系已清楚表达时,较大面积的剖面可只沿周边画出部分剖面符号或沿周边涂色</p>

续表

类别	简化后	简化前	说明	
若干相同结构画法			<p>当机件具有若干相同结构(如齿、槽等),并按一定规律分布时,只需要画出几个完整的结构,其余用细实线连接,在零件图中则必须注明该结构的总数</p>	
	简化后			
相同、成组结构或要素画法			<p>若干直径相同且成规律分布的孔,可以仅画出一个或少量几个,其余用细实线或“<math>\bullet</math>”表示其中心位置,规律分布不明确的孔常用符号<math>\bullet</math>表示</p>	
	简化后	简化前		
	若干相同直径孔的画法			
				
若干相同零部件组画法			<p>对于装配图中若干相同的零部件组,可仅详细地画出一组,其余只需用细实线表示出其位置</p>	

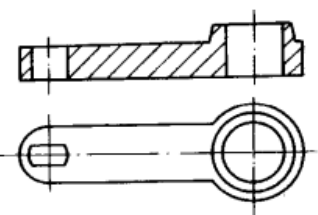
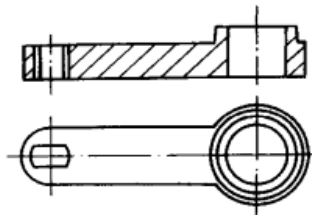
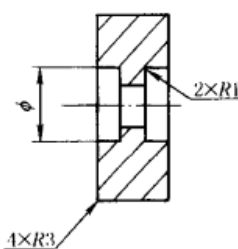
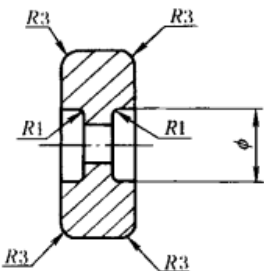
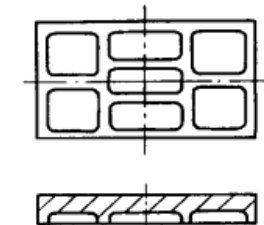
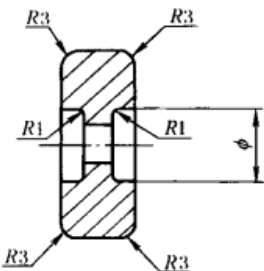
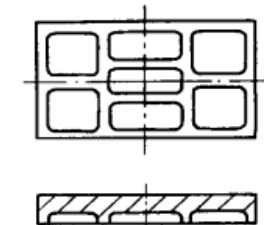
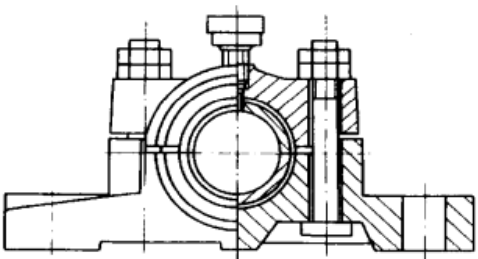
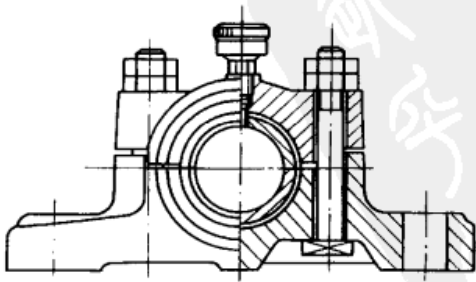
类别	简化后	说明	
若干相同零部件组画法		<p>对于装配图中若干相同的零部件组, 可仅详细地画出一组, 其余只需用细点画线表示出其位置</p>	
相同、成组结构或要素画法	<p style="text-align: center;">简化后</p> 	<p style="text-align: center;">简化前</p> 	<p>对于装配图中若干相同的单元, 可仅详细地画出一组, 其余可采用如图所示的简化方法表示</p>
成组的重复要素画法			<p>有成组的重复要素时, 可以将其中的一组表示清楚, 其余各组仅用点划线表示中心位置</p>

类别	简化后	说明
<p>相同、成组结构或要素画法</p> <p>*成组密集管子画法</p>		<p>在锅炉、化工设备等装配图中,可用细点画线表示密集的管子。如果连接管口等结构的方位已在其他图形中表示清楚时,可以将这些结构分别旋转到与投影面平行再进行投射,但必须标注</p>
<p>特定结构或要素画法</p> <p>倾斜圆或圆弧画法</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>简化后</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>简化前</p> </div> </div>	<p>与投影面倾斜角度小于或等于 <math>30^\circ</math> 的圆或圆弧,其投影可用圆或圆弧代替</p>



类别	简化后	简化前	说明
过渡线或相贯线画法			在不致引起误解时,图形中的过渡线、相贯线可以简化,例如用圆弧或直线代替非圆曲线
特定结构或要素画法			可采用模糊画法表示相贯线、过渡线。一般铸、锻、机械加工件等其相贯线、过渡线在生产过程中自然形成,只要在图样上将组成机件的各个几何体形状、大小和相对位置表示出即可
极小结构及斜度画法			当机件上较小的结构及斜度等已在一个图形中表达清楚时,在其他图形中应当简化或省略

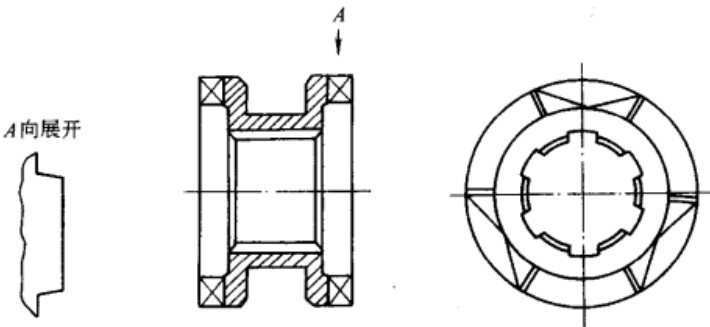
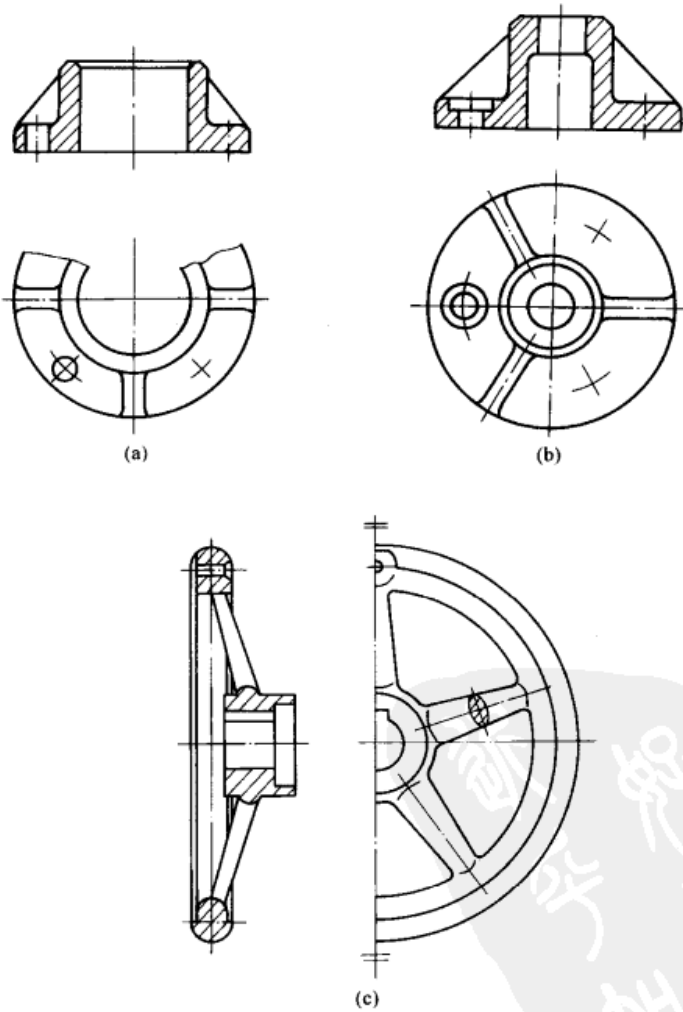
续表

类别	简化后	简化前	说明
极小结构及斜度画法			<p>当机件上较小的结构及斜度等已在一个图形中表达清楚时,在其他图形中应当简化或省略</p>
特定结构或要素画法	<p>圆角画法</p>    <p>全部铸造圆角 R5</p>	  <p>全部铸造圆角 R5</p>	<p>除确属需要表示的某些结构圆角外,其他圆角在零件图中均可不画,但必须注明尺寸或在技术要求中加以说明</p>
倒角等细节画法			<p>在装配图中,零件的倒角、圆角、凹坑、凸台、沟槽、滚花、刻线及其他细节等可不画出</p>

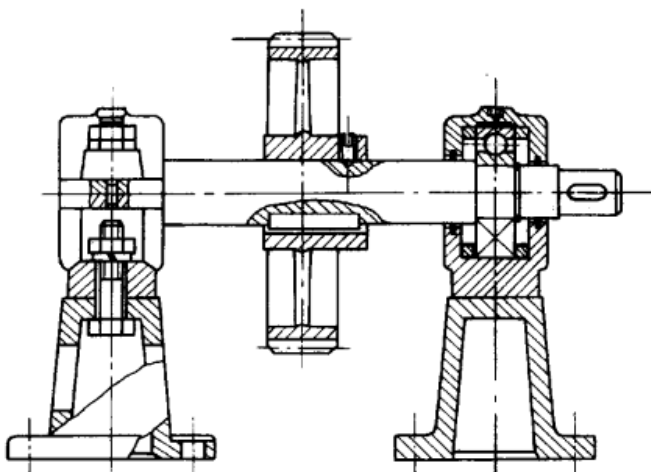
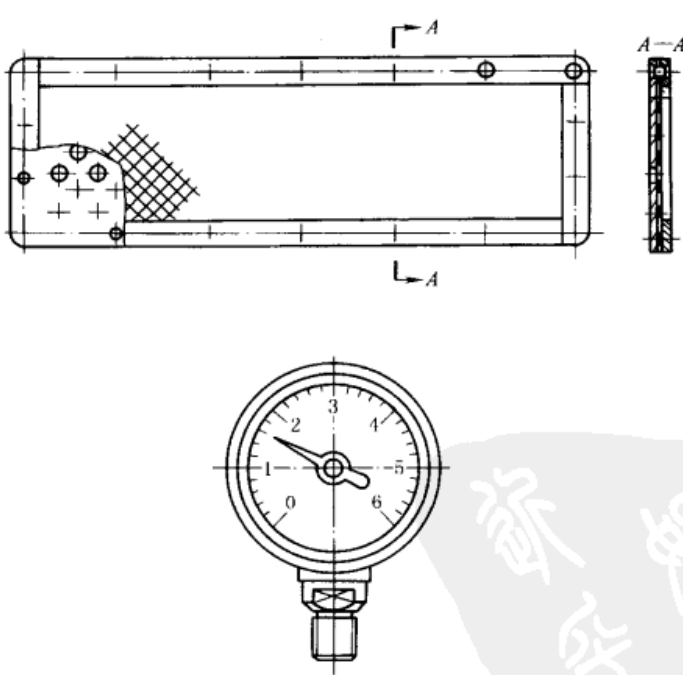
类别	简化后	简化前	说明
滚花画法			滚花一般采用在轮廓线附近用细实线局部画出的方法表示,也可省略不画
平面画法			当回转体零件上的平面在图形中不能充分表达时,可用两条相交的细实线表示这些平面
元件符号化画法		(略)	仅以焊接固定而无其他紧固工序的电子元器件,可用 GB/T 4728.4—2005、GB/T 4728.5—2005《电气图用图形符号》中规定的图形符号绘制
软管接头画法			软管接头可参照左图所示的简化表示法绘制
管子画法			管子仅在端部画出部分形状,其余用细点画线画出其中心线,如图 a 所示 若设计允许,可用与管子中心线重合的单根粗实线表示管子,如图 b 所示

类别	简化后	简化前	说明
管子画法			<p>图 a 为化工管道的简化实例</p>
	(a) 简化后	(b) 简化前	
特定件画法			<p>钢筋和钢箍可用单根粗实线表示</p>
钢筋和钢箍画法			

类别	简化后	简化前	说明
带、链条画法			<p>在装配图中,可用粗实线表示带传动中的带,用细点画线表示链传动中的链</p>
特定件画法	简化后		<p>圆柱形法兰和类似零件上均匀分布的孔可按图所示的方法表示(由机件外向该法兰端面方向投射)</p>
	* 圆柱法兰画法		
* 紧固件画法			<p>在装配图中可省略螺栓、螺母、销等紧固件的投影,而用点画线和指引线指明它们的位置。此时,表示紧固件组的公共指引线应根据其不同类型从被连接件的某一端引出,如螺钉、螺柱、销连接从其装入端引出,螺栓连接从其装有螺母的一端引出</p>

类别	简化后	说明
* 牙嵌式离合器齿画法		<p>在剖视图中,类似牙嵌式离合器的齿等相同结构可按图示简化</p>
特定件画法 * 机件的肋、轮辐及薄壁画法		<p>对于机件的肋、轮辐及薄壁等,如按纵向剖切,这些结构都不画剖面符号,而用粗实线将它与其邻接部分分开。当零件回转体上均匀分布的肋、轮辐、孔等结构不处于剖切平面上时,可将这些结构旋转到剖切平面上画出</p>

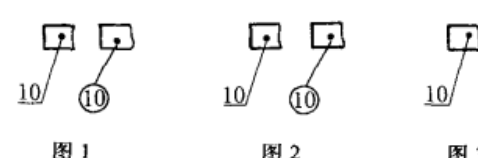
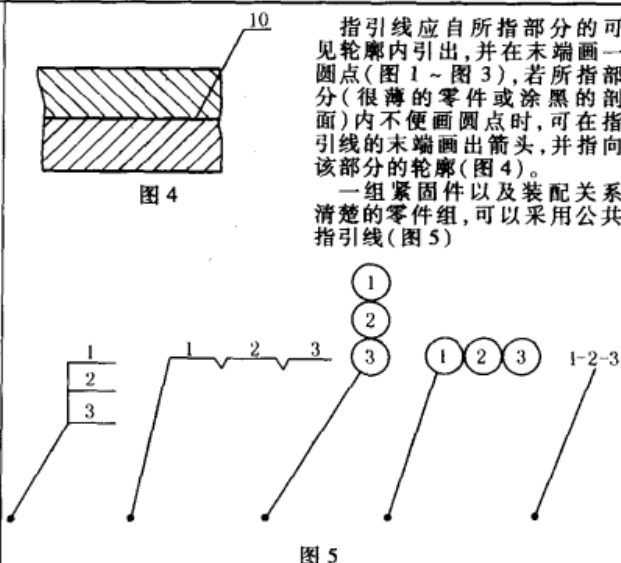


类别	简化后	说明
* 轴等实体画法	 <p>The diagram shows a horizontal shaft supported by two bearings. A gear is mounted on the shaft between the bearings. The drawing uses simplified representation: the shaft, bearings, and gear are shown in a way that avoids unnecessary detail, focusing on the assembly's structure.</p>	<p>在装配图中,对于紧固件以及轴、连杆、球、钩子、键、销等实心零件,若按纵向剖切,且剖切平面通过其对称平面或轴线时,则这些零件均按不剖绘制。如需要特别表明零件的构造,如凹槽、键槽、销孔等则可用局部剖视表示</p>
特定件画法	 <p>The diagram illustrates two specific drawing methods. The top part shows a rectangular frame with a mesh-like structure on the left side. The mesh is drawn with a cross-hatch pattern, and the area behind it is omitted. A section line 'A-A' is shown. The bottom part shows a circular gauge with a scale from 0 to 6 and a needle. The gauge is drawn as a solid object, with its internal components like the needle and scale visible.</p>	<p>被网状物挡住的部分均按不可见轮廓绘制。由透明材料制成的物体,均按不透明物体绘制。对于供观察用的刻度、字体、指针、液面等可按可见轮廓线绘制</p>

注:带\*号的内容选自标准中的附录。

### 7 装配图中零、部件序号及其编排方法 (摘自 GB/T 4458.2—2003)

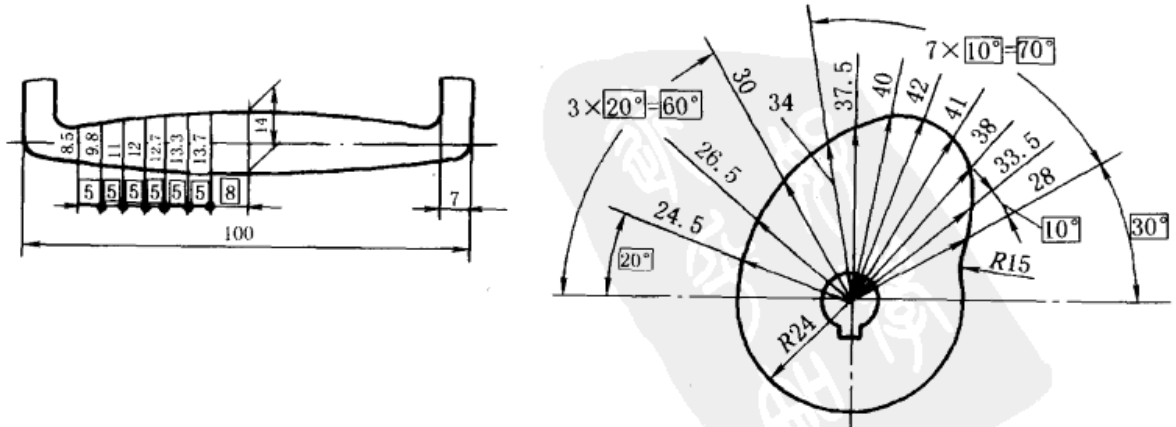
表 2-1-11

<p style="writing-mode: vertical-rl;">序号的编排方法</p>	<p>装配图中编写零、部件序号的表示方法有以下三种：在水平的基准(细实线)上或圆(细实线)内注写序号，序号字号比该装配图中所注尺寸数字的字号大一号(图1)；在水平的基准(细实线)上或圆(细实线)内注写序号，序号字号比该装配图中所注尺寸数字的字号大一号或两号(图2)；在指引线的非零件端的附近注写序号，序号字号比该装配图中所注尺寸数字的字号大一号或两号(图3)</p>  <p>图1                  图2                  图3</p> <p>同一装配图中编排序号的形式应一致。相同的零、部件用一个序号，一般只标注一次。多处出现的相同的零、部件，必要时也可重复标注。装配图中序号应按水平或垂直方向排列整齐，可按下列两种方法编排：按顺时针或逆时针方向顺次排列，在整个图上无法连续时，可在每个水平或垂直方向顺次排列；也可按装配图明细栏中的序号排列，采用此种方法时，应尽量在每个水平或垂直方向顺次排列</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl;">指引线的表示方法</p>  <p>指引线应自所指部分的可见轮廓内引出，并在末端画一圆点(图1~图3)，若所指部分(很薄的零件或涂黑的剖面)内不便画圆点时，可在指引线的末端画出箭头，并指向该部分的轮廓(图4)。</p> <p>一组紧固件以及装配关系清楚的零件组，可以采用公共指引线(图5)</p> <p>指引线不能相交。当指引线通过有剖面线的区域时，它不应与剖面线平行。指引线可以画成折线，但只可曲折一次</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">基本要求</p>	<p>装配图中所有的零、部件均应编号。装配图中一个部件可以只编写一个序号。装配图中零、部件的序号，应与明细栏中的序号一致。装配图中所用的指引线和基准线应按 GB/T 4457.2—2003《技术制图 图样画法 指引线和基准线的基本规定》的规定绘制。装配图中字体的写法应符合 GB/T 14691《技术制图 字体》的规定</p>	

## 8 尺寸注法

### 8.1 尺寸注法 (摘自 GB/T 4458.4—2003)

表 2-1-12

<p style="writing-mode: vertical-rl;">尺寸界线</p>	<p><b>曲线轮廓</b> 当表示曲线轮廓上各点的坐标时，可将尺寸线或其延长线作为尺寸界线(图1、图2)</p>  <p>图1                          图2</p> <p>图中方框中的尺寸表示理论正确尺寸，测量时由工艺装备的精度或手工调整的精度来保证</p>	
--	---	--



尺寸界线

**光滑过渡处** 尺寸界线一般应与尺寸线垂直,必要时才允许倾斜。在光滑过渡处标注尺寸时,必须用细实线将轮廓线延长,从它们的交点处引出尺寸界线(图3、图4)

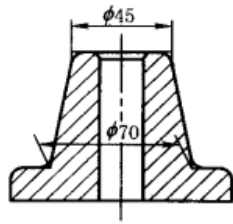


图3

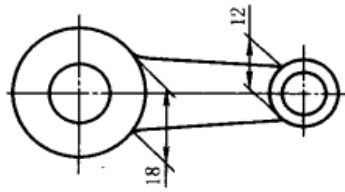


图4

**角度、弦长、弧长** 标注角度的尺寸界限应沿径向引出(图5);标注弦长的尺寸界线应平行于该弦的垂直平分线(图6);标注弧长的尺寸界线应平行于该弧所对圆心角的平分线(图7),当弧度较大时,可沿径向引出(图8)。表示弧长的尺寸数字旁加注符号“ $\overset{\frown}{}$ ”

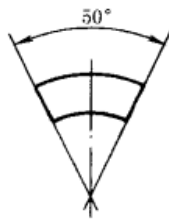


图5

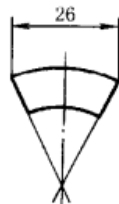


图6



图7

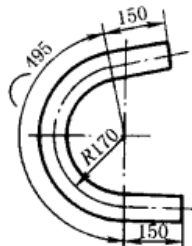


图8

尺寸线

**尺寸线及其终端** 尺寸线用细实线绘制,其终端可以有二种形式,即箭头和斜线。当尺寸线与尺寸界线相互垂直时,同一张图样中只能采用一种尺寸线终端的形式。机械图样中一般采用箭头作为尺寸线的终端。标注线性尺寸时,尺寸线应与所标注的线段平行。尺寸线不能用其他图线代替,一般也不得与其他图线重合或画在其延长线上。尺寸线的终端采用斜线形式时,尺寸线与尺寸界线应相互垂直(图9)

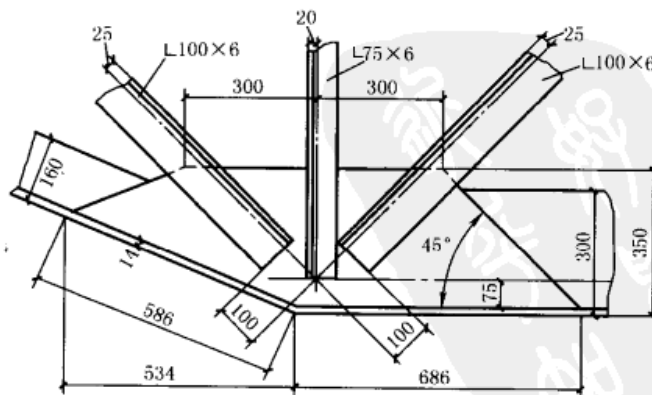


图9

**直径与半径** 圆的直径和圆弧半径的注法见图 10。当圆弧的半径过大或在图纸范围内无法标出其圆心位置时,可按图 11 的形式标注。若不需要标出其圆心时,可按图 12 的形式标注

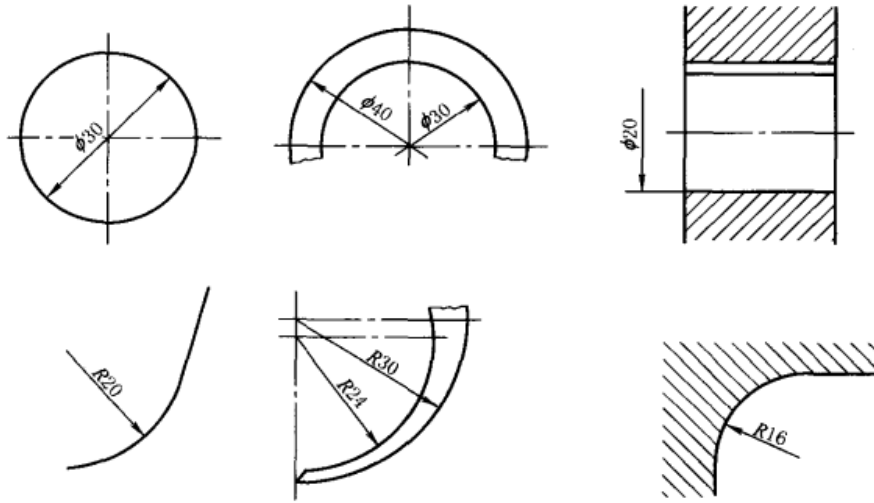


图 10

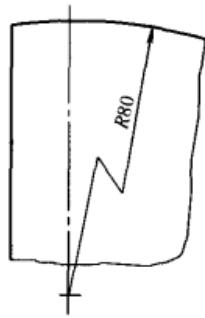


图 11

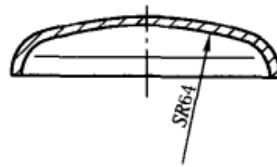


图 12

尺寸线

**角度** 标注角度时,尺寸线应画成圆弧,其圆心是该角的顶点

**对称机件** 当对称机件的图形只画出一半或略大于一半时,尺寸线应略超过对称中心线或断裂处的边界,此时仅在尺寸线的一端画出箭头(图 13、图 14)

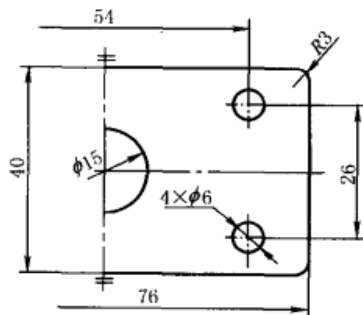


图 13

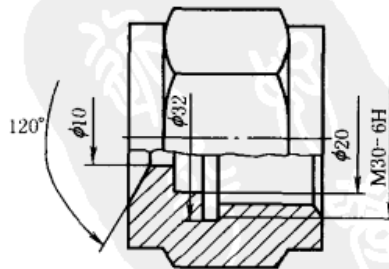


图 14

小尺寸的标注 在没有足够的位置画箭头或注写数字时,可按图 15 的形式标注,此时,允许用圆点或斜线代替箭头

尺寸线

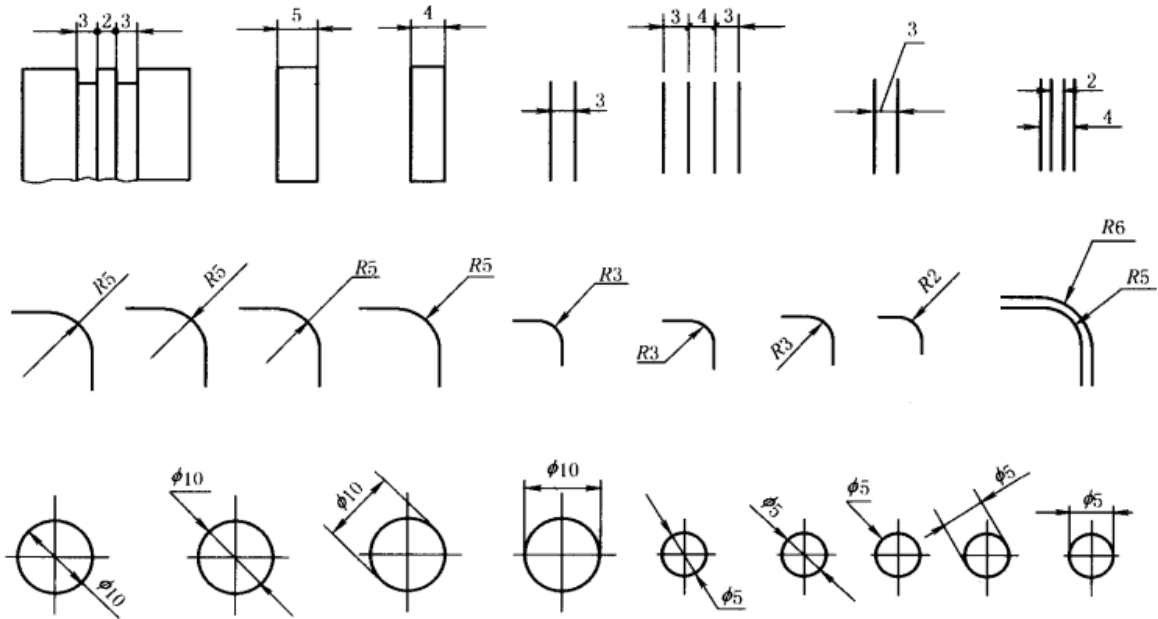


图 15

线性尺寸数字 线性尺寸的数字一般应注写在尺寸线的上方,也允许注写在尺寸线的中断处(图 16)。线性尺寸数字的方向,有以下两种注写方法:一般应采用图 17 所示的方向注写,并尽可能避免在图示 30° 范围内标注尺寸,当无法避免时可按图 18 的形式标注;在不致引起误解时,也允许采用如图 19、图 20 所示的方法标注。非水平方向的尺寸,其数字可水平地注写在尺寸线的中断处。在一张图样中,应尽可能采用同一种方法

尺寸数字

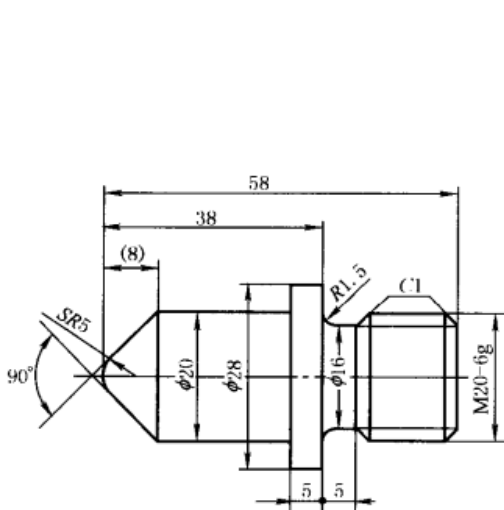


图 16

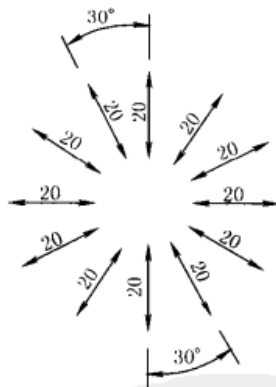


图 17

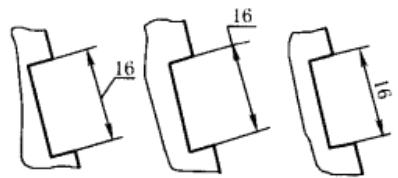


图 18



图 19

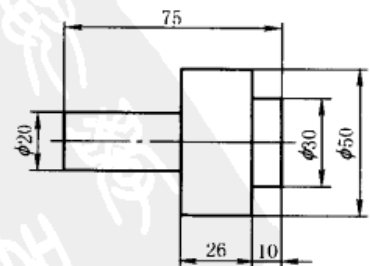


图 20

**角度数字** 角度数字一律写成水平方向,一般注写在尺寸线的中断处(图21),必要时也可按(图22)形式标注

尺寸数字不可被任何图线所通过,否则应将该图线断开(图23)

尺寸数字

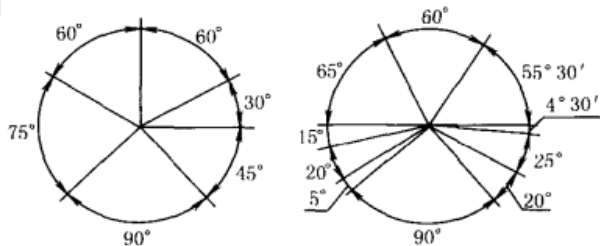


图 21

图 22

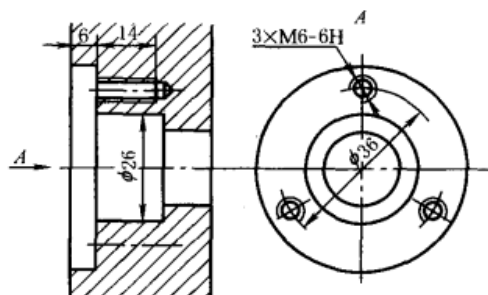


图 23

**直径、半径、球面** 标注直径时,应在尺寸数字前加注符号“ $\phi$ ”;标注半径时,应在尺寸数字前加注符号“ $R$ ”;标注球面的直径或半径时,应在符号“ $\phi$ ”或“ $R$ ”前再加注符号“ $S$ ”。对于螺钉、铆钉的头部,轴(包括螺杆)的端部以及手柄的端部,在不致引起误解的情况下可省略符号“ $S$ ”(图24)

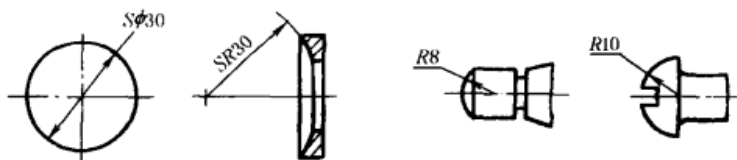


图 24

**参考尺寸** 标注参考尺寸时,应将尺寸数字加上括号(图25)

**弧长** 标注弧长时,应在尺寸数字的左方加注符号“ $\overset{\frown}$ ”(图7)

标注尺寸的符号及缩写词

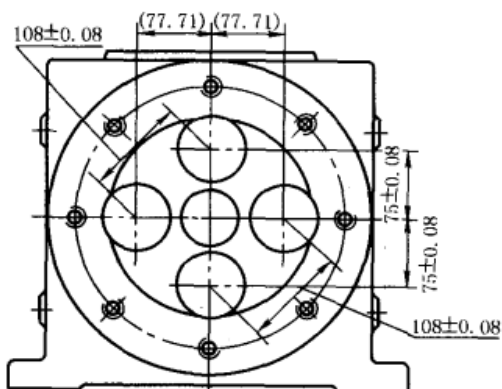


图 25

**剖面为正方形结构** 标注剖面为正方形结构的尺寸时,可在正方形边长尺寸数字前加注符号“ $\square$ ”(图26、图27)或用“ $B \times B$ ”(B为正方形的对边距离)(图28、图29)

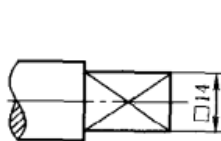


图 26

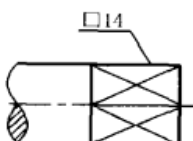


图 27

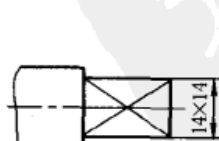


图 28

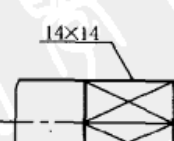


图 29

**厚度** 标注板状零件的厚度时,可在尺寸数字前加注符号“*t*”(图 30)

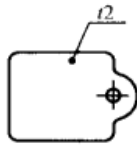


图 30

**半径尺寸有特殊要求** 当需要指明半径尺寸是由其他尺寸所确定时,应用尺寸线和符号“*R*”标出,但不要注写尺寸数字(图 31)

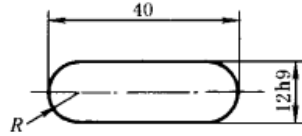


图 31

**斜度和锥度** 斜度注法如图 32 所示,锥度注法如图 33 所示

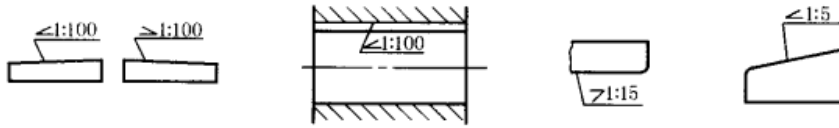


图 32

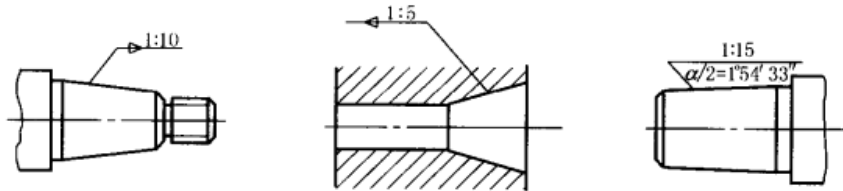


图 33

**倒角** 45°的倒角可按图 34 的形式标注,非 45°的倒角应按图 35 的形式标注

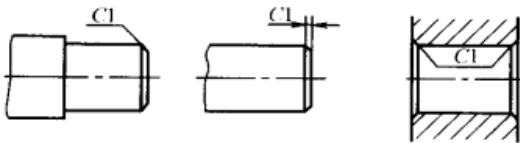


图 34

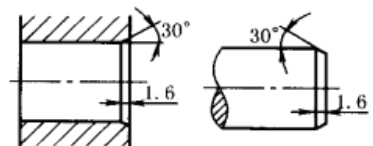


图 35

尺寸的简化注法按 GB/T 16675.2

**标注尺寸的符号及缩写词**

序号	符号及缩写词			序号	符号及缩写词		
	含义	现行	曾用		含义	现行	曾用
1	直径	$\phi$	(未变)	9	深度	$\nabla$	深
2	半径	<i>R</i>	(未变)	10	沉孔或锪平	$\sqcup$	沉孔、锪平
3	球直径	<i>S</i> $\phi$	球 $\phi$	11	埋头孔	$\nabla$	沉孔
4	球半径	<i>SR</i>	球 <i>R</i>	12	弧长	$\frown$	(仅变注法)
5	厚度	<i>t</i>	厚, $\delta$	13	斜度	$\sphericalangle$	(未变)
6	均布	EQS	均布	14	锥度	$\sphericalangle$	(仅变注法)
7	45°倒角	<i>C</i>	$l \times 45^\circ$	15	展开长	$\bigcirc \rightarrow$	(新增)
8	正方形	$\square$	(未变)	16	型材截面形状	新:GB/T 4656.1—2000 旧:GB/T 4656—1984	

GB/T 4458.4—2003 附录规定的上述标注尺寸的符号及缩写词与 GB/T 16675.2—1996 的规定一致,仅增加了“展开长”和“型材截面形状”符号。另外,GB/T 16675.2—1996 的规定中有“关联作用”符号和“分割作用”符号,见表 2-1-14

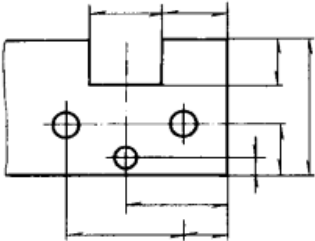
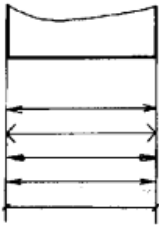
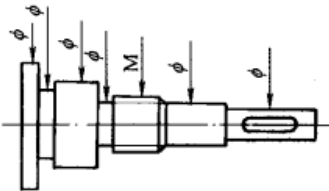
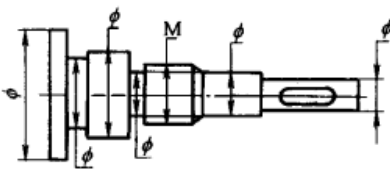
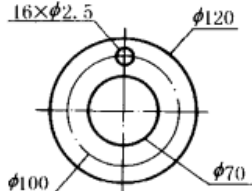
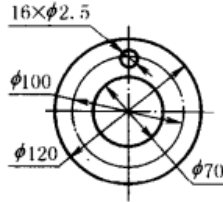
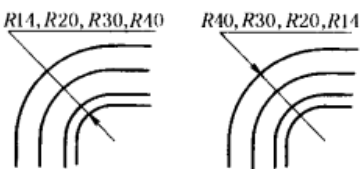
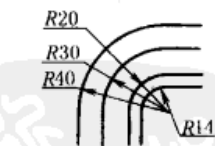
**未定义形状边的注法** 需要确切地指定边的形状和给出极限尺寸要求时,应按 GB/T 19096 进行标注

标注尺寸的符号及缩写词

## 8.2 尺寸注法的简化表示法 (摘自 GB/T 16675.2—1996)

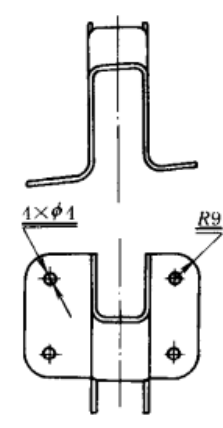
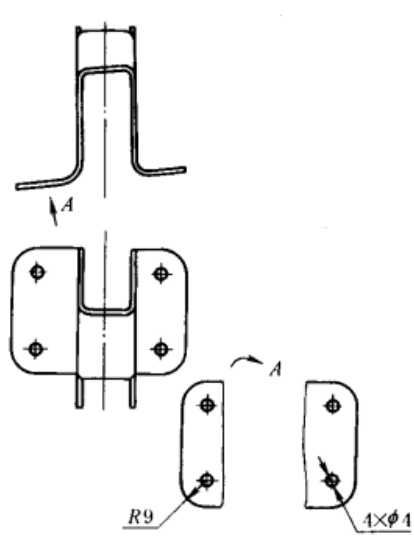
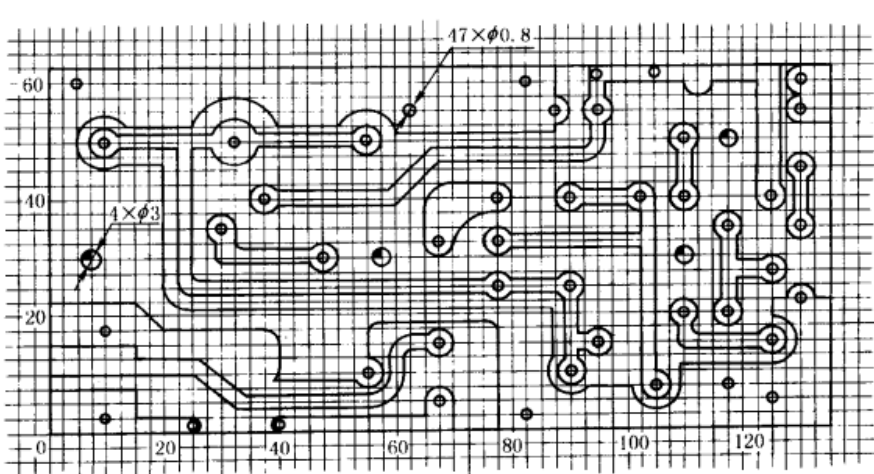
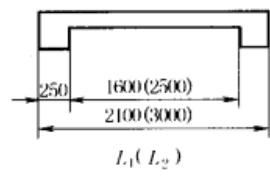
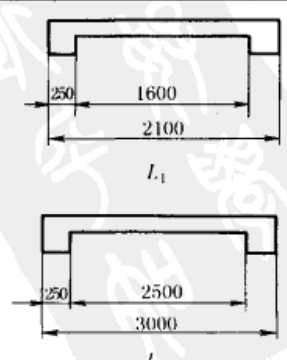
表 2-1-13

简化注法 (一)

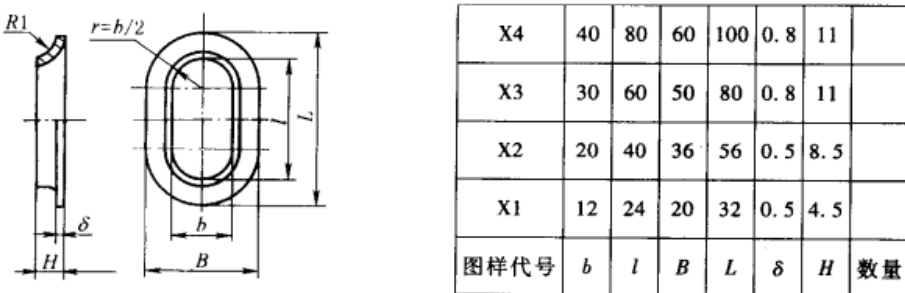
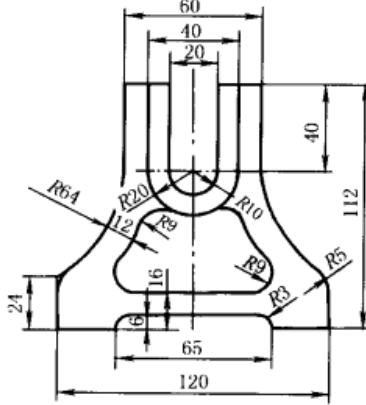
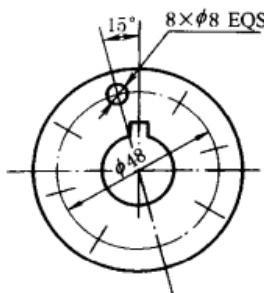
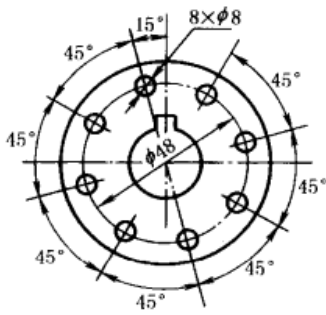
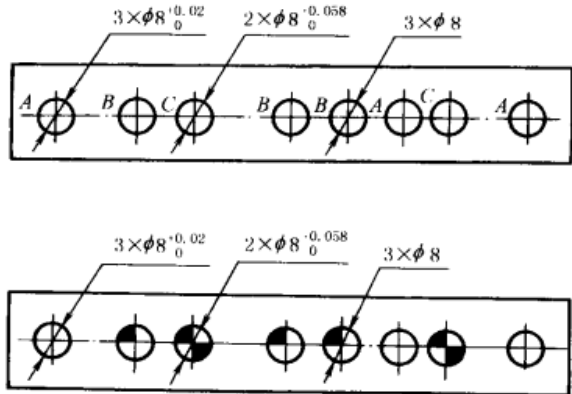
类别	简化后	简化前	说明	
单边箭头			<p>这里主要反映尺寸线箭头的简化前后的注法,但未选用相同的图形。对于机械图样应(同时)执行 GB/T 4458.4</p>	
带箭头指引线			<p>标注尺寸时,可采用带箭头的指引线</p>	
标注尺寸要素简化注法	不带箭头指引线			<p>标注尺寸时,也可采用不带箭头的指引线</p>
	(同心圆弧和不同心圆弧共用尺寸线和箭头)			<p>一组同心圆弧或圆心位于一条直线上的多个不同心圆弧的尺寸,可用共用的尺寸线和箭头依次表示</p>

类别	简化后	简化前	说明
标注尺寸要素简化注法 (同心圆和台阶孔) 共用尺寸线和箭头			一组同心圆或尺寸较多的台阶孔的尺寸,也可用共用的尺寸线和箭头依次表示
规定注法 梯式尺寸注法			从同一基准出发的尺寸可按简化后的形式标注
链式尺寸注法			间隔相等的链式尺寸,可采用简化后的形式标注

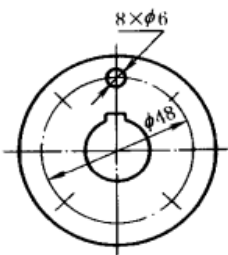
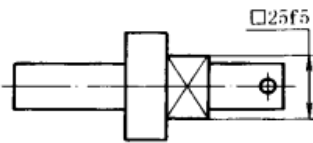
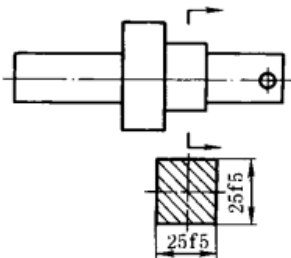
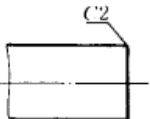
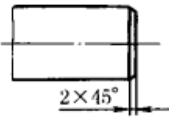
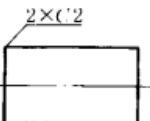
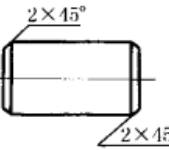
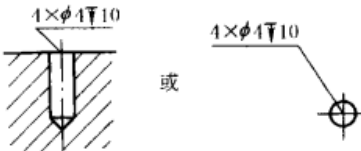
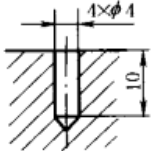
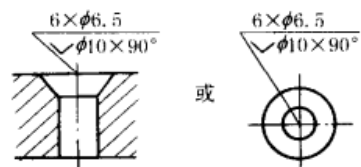
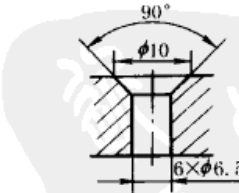
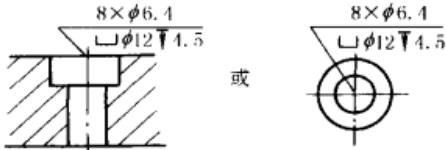
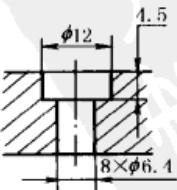
续表

类别	简化后	简化前	说明
真实尺寸注法			<p>在不反映真实大小的投影上,用在尺寸数值下加画粗实线短画的方法标注其真实尺寸。如倾斜结构,应在所注真实尺寸数值的下方加画粗实线短画</p>
规定注法	<p>简化后</p> 		<p>对于印刷板类的零件,可直接采用坐标网格法表示尺寸</p>
形状相同件注法	<p>简化后</p> 	<p>简化前</p> 	<p>两个形状相同但尺寸不同的构件或零件,可共用一张图表示,但应将另一件名称和不相同的尺寸列入括号中表示</p>



类别	简化后		说明																																								
<p>表格图注法</p>	 <table border="1" data-bbox="798 280 1252 571"> <tr> <td>X4</td> <td>40</td> <td>80</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>0.8</td> <td>11</td> <td></td> </tr> <tr> <td>X3</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>0.8</td> <td>11</td> <td></td> </tr> <tr> <td>X2</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>36</td> <td>56</td> <td>0.5</td> <td>8.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>X1</td> <td>12</td> <td>24</td> <td>20</td> <td>32</td> <td>0.5</td> <td>4.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>图样代号</td> <td>b</td> <td>l</td> <td>B</td> <td>L</td> <td>delta</td> <td>H</td> <td>数量</td> </tr> </table>		X4	40	80	60	100	0.8	11		X3	30	60	50	80	0.8	11		X2	20	40	36	56	0.5	8.5		X1	12	24	20	32	0.5	4.5		图样代号	b	l	B	L	delta	H	数量	<p>同类型或同系列的零件或构件,可采用表格图绘制</p>
X4	40	80	60	100	0.8	11																																					
X3	30	60	50	80	0.8	11																																					
X2	20	40	36	56	0.5	8.5																																					
X1	12	24	20	32	0.5	4.5																																					
图样代号	b	l	B	L	delta	H	数量																																				
<p>规定注法</p>			<p>当图形具有对称中心线时,分布在对称中心线两边的相同结构,可仅标注其中一边的结构尺寸</p>																																								
<p>重复要素尺寸注法</p>	<p>简化后</p> 	<p>简化前</p> 	<p>在同一图形中,对于尺寸相同的孔、槽等成组要素,可仅在一个要素上注出其尺寸和数量</p>																																								
<p>标记或字母注法</p>			<p>在同一图形中,如有几种尺寸数值相近而又重复的要素(如孔等)时,可采用标记(如涂色等)或用标注字母的方法来区别</p>																																								

续表

类别	简化后	简化前	说明
重复要素尺寸注法		(略)	当成组要素的定位和分布情况在图形中已明确时,可不标注其角度,并省略缩写词“EQS”
正方形注法			标注正方形结构尺寸时,可在正方形边长尺寸数字前加注“□”符号
倒角			在不致引起误解时,零件图中的倒角可以省略不画,其尺寸也可简化标注
注法			
特定结构或要素注法			各类孔(光孔、螺孔、沉孔等)可采用旁注和符号相结合的方法标注。指引线应从在装配时的装入端或孔的圆形视图的中心引出;指引线的基准线上方应注写主孔尺寸,下方应注写辅助孔等内容
			
			

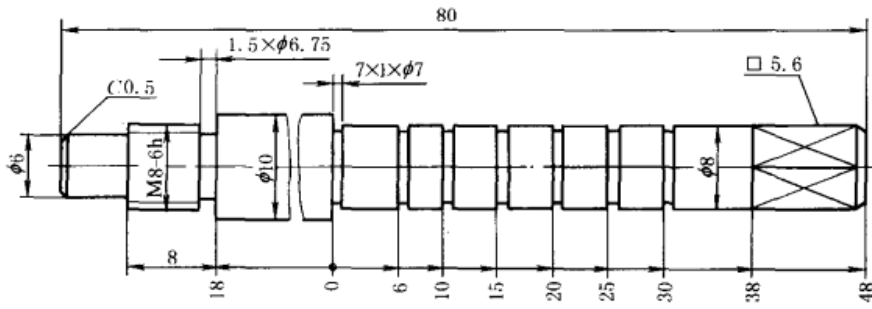
类别	简化后		说明
孔的旁注法			<p>各类孔(光孔、螺孔等)可采用符号旁注和符合的标注法。引线应从孔的引出线上方引出,并应注写主孔尺寸,下方应注写辅助孔等内容。</p>
铤平孔注法	简化后	简化前	<p>对于铤平孔,也可采用表2-1-12的符号简化标注。</p>
滚花注法			<p>滚花可采用简化后的方法标注。</p>
特定结构或要素注法			<p>滚花可采用简化后的方法标注。</p>
* 退刀槽尺寸注法			<p>一般的退刀槽可按“槽宽×直径”(图a)或“槽宽×槽深”(图b)的形式标注。</p>
* 圆锥孔尺寸注法			<p>标注圆锥孔的尺寸,应按图a和图b的形式引出标注,其中φ4和φ3都是所配的圆锥销的公称直径(小端直径)。指引线应由圆锥销装入端或销孔圆形视图中心引出标注。</p>

类别

简化后

说明

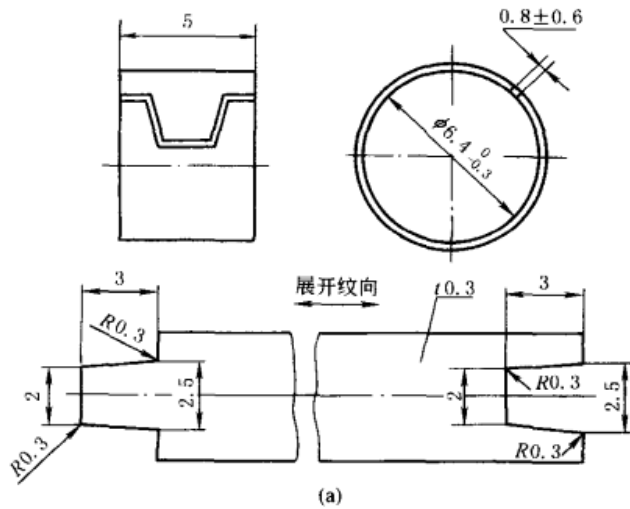
\* 不连续表面注法



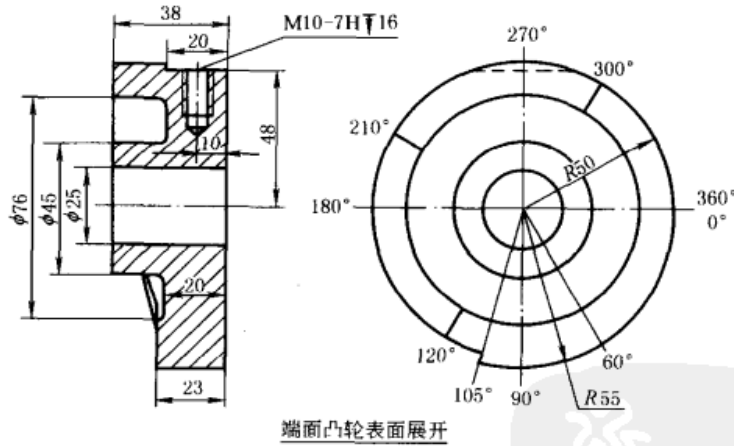
对不连续  
同一表面,可用  
细实线连接后  
标注一次尺寸

特定  
表面注  
法

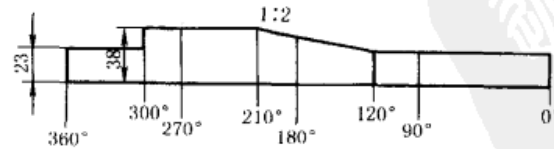
\* 凸  
轮表面  
尺寸注  
法



(a)



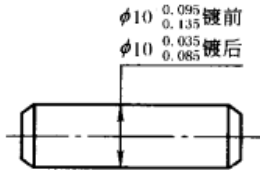
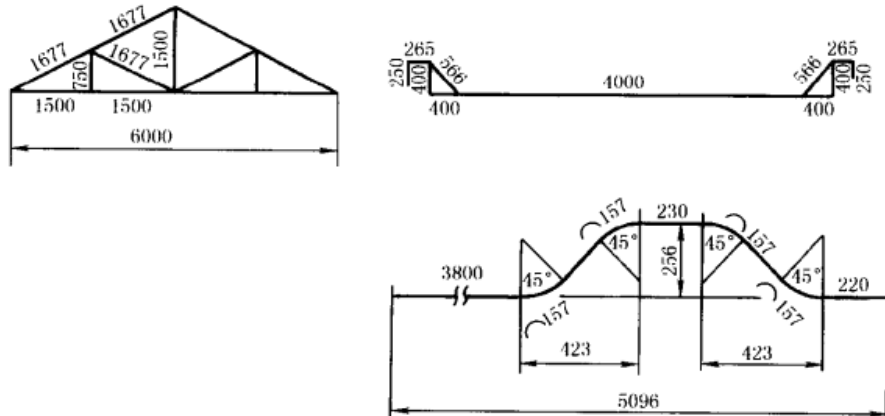
端面凸轮表面展开



径向曲线展开

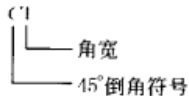
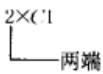
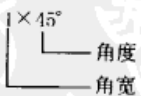
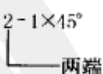
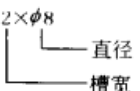
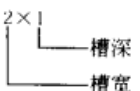


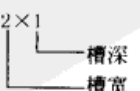

(b)

对于凸轮的  
曲面(或曲线)和处在曲  
面上的某些结  
构,其尺寸可  
标注在展开  
图上

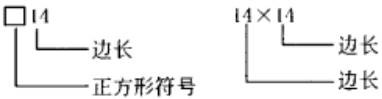
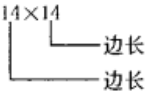
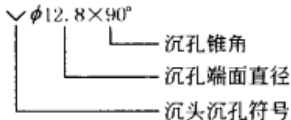
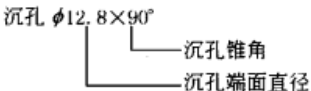
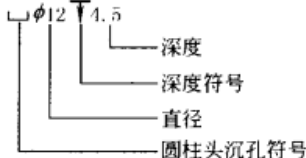
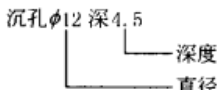
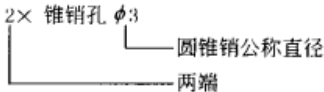
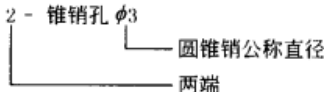
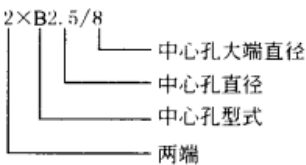
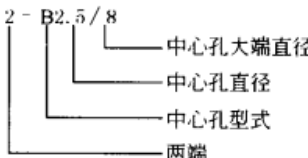
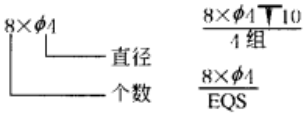
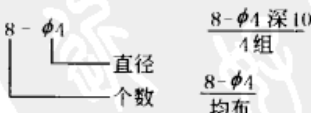
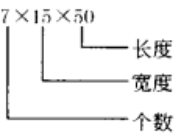
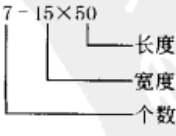
类别	简化后	说明
特定表面注法 * 镀涂表面尺寸注法		<p>对于镀涂表面的尺寸,按以下规定标注:图样中镀涂零件的尺寸应为镀涂后尺寸,即计入了镀涂层厚度,如为镀涂前尺寸,应在尺寸数字的右边加注“镀(涂)前”字样</p> <p>对于装饰性、防腐性的自由表面尺寸,可视为镀涂前尺寸,省略“镀(涂)前”字样</p> <p>对于配合尺寸,只有当镀涂层厚度不影响配合时,方可视为镀涂前的尺寸,并省略“镀(涂)前”字样</p> <p>必要时可同时标注镀涂前和镀涂后的尺寸,并注明“镀(涂)前”和“镀(涂)后”字样</p>
特定件尺寸注法 桁架、钢筋、管子长度尺寸注法		<p>单线图上,桁架、钢筋、管子等的长度尺寸可直接标注在相应的线段上,角度尺寸数字可直接填写在夹角中的相应部位</p>

注:带\*的内容选自标准中的附录。

表 2-1-14 简化注法(二)——应用举例及与曾用表示方法的对照

项目名称	GB/T 16675.2—1996	GB/T 4458.4—1984(曾用)
倒角	 	 
退刀槽 砂轮越程槽	  	  

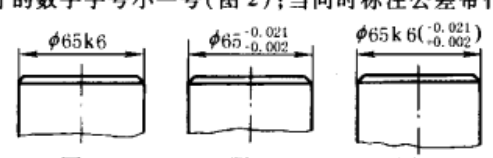
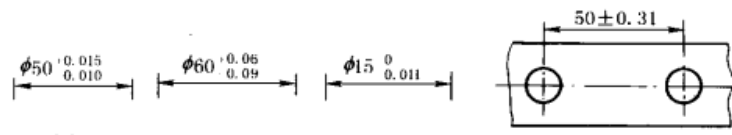
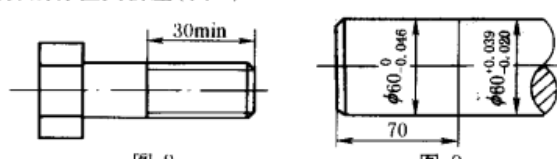
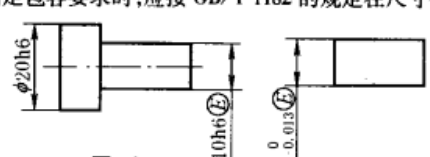
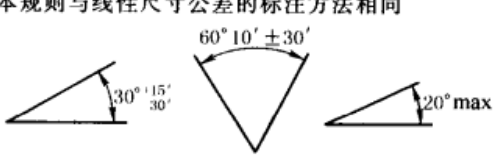
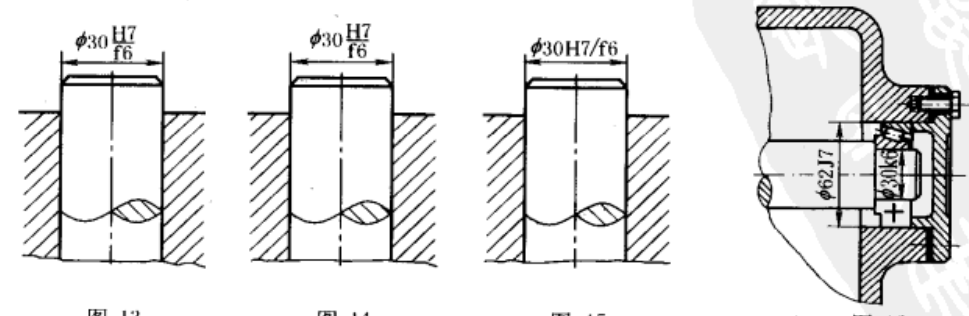
续表

项目名称	GB/T 16675.2—1996	GB/T 4458.4—1984(曾用)
方形结构		
沉头用沉孔		
圆柱头用沉孔		
锥销孔		
中心孔		
成组要素 (孔)		
成组要素 (长圆孔槽)		

项目名称	GB/T 16675.2—1996	GB/T 4458.4—1984(曾用)
<p>矩形花键</p>	<p> <math>\sqrt{\text{L}} 6 \times 23\text{H}7 \times 26\text{H}10 \times 6\text{H}11</math> GB/T 1144-2001                      标准编号                      公差带代号                      键宽                      公差带代号                      大径                      公差带代号                      小径                      键数                      矩形花键符号                 </p>	<p> <math>6 \times 23\text{H}7 \times 26\text{H}10 \times 6\text{H}11</math> GB/T 1144-2001                      标准编号                      公差带代号                      键宽                      公差带代号                      大径                      公差带代号                      小径                      键数                 </p>
<p>渐开线花键</p>	<p> <math>\sqrt{\text{L}} \text{EXT} 24\text{Z} \times 2.5\text{m} \times 30\text{R} \times 5\text{h}</math> GB/T 3478.1-1995                      标准代号                      公差带代号                      30°圆齿根                      模数                      齿数                      外花键代号                      渐开线花键符号                 </p>	<p> <math>\text{EXT} 24\text{Z} \times 2.5\text{m} \times 30\text{R} \times 5\text{h}</math> GB/T 3478.1-1995                      标准代号                      公差带代号                      30°圆齿根                      模数                      齿数                      外花键代号                 </p>
<p>链式尺寸</p>	<p> <math>4 \times 20 \pm 0.1 (=80)</math>                      总长                      每个间隔长度                      间隔数                 </p>	<p> <math>4 \times 20 \pm 0.1 (=80)</math>                      总长                      每个间隔长度                      间隔数                 </p>
<p>球直(半)径</p>	<p> <math>S\phi 30</math> 球直径符号  <math>SR30</math> 球半径符号                 </p>	<p>                     球<math>\phi 30</math> 球直径                      球R30 球半径                 </p>
<p>厚度</p>	<p> <math>t_5</math> 厚度符号                 </p>	<p> <math>\delta 5</math> 厚度符号                 </p>
<p>关联作用和分割作用标注示例</p>	<p>                     关联作用:表示同一要素间相关的关系                      分割作用:表示不相关要素间的关系                      × : <math>8 \times \phi 30</math>                      2 × C1.5                      ∴ : 渗碳深度 0.7 ~ 0.9, 56 ~ 62HRC  <math>t_p 70\%</math>, C50%                      ∙ : Fe/Ep · Cu10Ni15bCr 0.3mc                      T · 深绿 A04-9 · III · Y                      ∴ : 1: 10                 </p>	<p>                     / : <math>\phi 30\text{H}7/\text{f}6</math>                      G1/2                      A4/8.5                      - : M20 × 2LH-6H                      图线 GB/T 17450-03 × 0.25                 </p>

## 9 尺寸公差与配合的标注 (摘自 GB/T 4458.5—2003)

表 2-1-15

	<p>线性尺寸的公差应按图示三种形式之一标注:当采用公差带代号标注线性尺寸的公差时,公差带的代号应在基本尺寸的右边(图1);当采用极限偏差标注线性尺寸的公差时,上偏差应在基本尺寸的右上方,下偏差应与基本尺寸注在同一底线上,上下偏差的数字字号应比基本尺寸的数字字号小一号(图2);当同时标注公差带代号和相应的极限偏差时,则后者应加括号(图3)</p>  <p style="text-align: center;">图 1                      图 2                      图 3</p>
线性尺寸公差的标注	<p>标注极限偏差时,上、下偏差的小数点必须对齐,小数点后右端的“0”一般不予注出,为使小数点后的位数相同,也可用“0”补齐(图4,图5),当上偏差或下偏差为零时,用数字“0”标出,并与下偏差或上偏差的小数点前的个位数对齐(图6)。当公差带相对于基本尺寸对称地配置,即上、下偏差数字相同时,偏差数字只注写一次,并应在偏差与基本尺寸之间注出符号“±”,且两者数字高度相同(图7)</p>  <p style="text-align: center;">图 4                      图 5                      图 6                      图 7</p>
线性尺寸公差的标注	<p>当尺寸仅需要限制单方向的极限时,应在该极限尺寸的右边加注符号“max”或“min”(图8)。同一基本尺寸的表面,若具有不同的公差时,应用细实线分开,分别标注其公差(图9)</p>  <p style="text-align: center;">图 8                      图 9</p>
线性尺寸公差的标注	<p>如要素的尺寸公差和形状公差的关系需满足包容要求时,应按 GB/T 1182 的规定在尺寸公差的右边加注符号“M”(图10、图11)</p>  <p style="text-align: center;">图 10                      图 11</p>
角度公差的标注	<p>角度公差的标注如图12所示,其基本规则与线性尺寸公差的标注方法相同</p>  <p style="text-align: center;">图 12</p>
配合的标注	<p>在装配图中标注线性尺寸的配合代号时,必须在基本尺寸的右边用分数的形式注出,分子为孔的公差带代号,分母为轴的公差带代号(图13)。必要时也允许按图14、图15的形式标注。标注与标准件配合的零件(轴或孔)的配合要求时,可以仅标注该零件的公差带代号(图16)</p>  <p style="text-align: center;">图 13                      图 14                      图 15                      图 16</p>
	<p>当某零件需与外购件(均为非标准件)配合时,应按图13、图14及图15的形式标注</p>

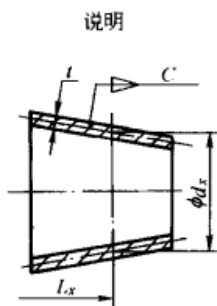
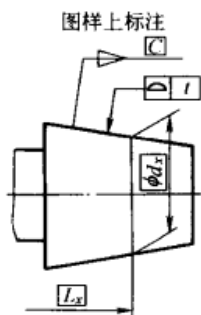


# 10 圆锥的尺寸和公差注法 (摘自 GB/T 15754—1995)

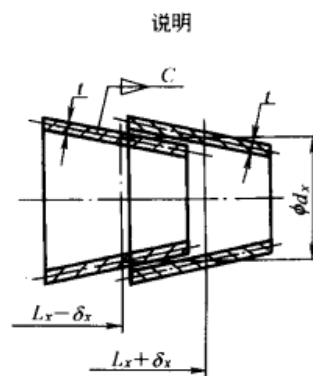
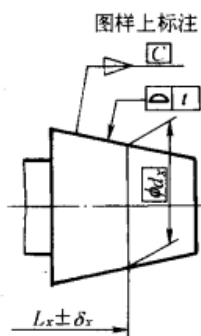
表 2-1-16

特征参数及字母符号		锥度 $C$	圆锥角 $\alpha$	最大圆锥直径 $D$	最小圆锥直径 $d$	给定横截面处圆锥直径 $d_x$	圆锥长度 $L$	总长 $L'$	给定横截面处的长度 $L_x$	
尺寸标注	优先方法	1:5 1/5	35°							
	可选方法	0.2:1 20%	0.6rad							
圆锥尺寸注法	锥度图形符号				图形符号的配置					
圆锥公差注法										
	<p>当所标注的锥度是标准圆锥系列之一(尤其是莫氏锥度或米制锥度,见 GB/T 1443)时,可用标准系列号和相应的标记表示(如下图)</p>									
圆锥公差注法	给定圆锥角的圆锥公差注法				给定锥度的圆锥公差注法					

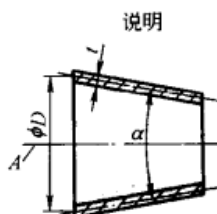
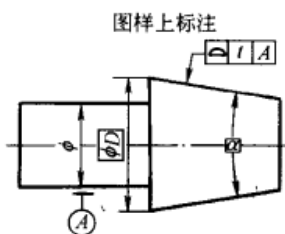
给定圆锥轴向位置的圆锥公差注法



给定圆锥轴向位置公差的圆锥公差注法

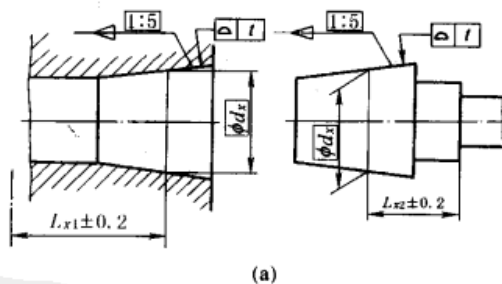


与基准线有关的圆锥公差注法

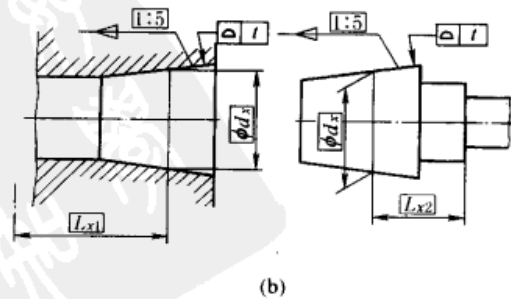


差注法

根据 GB/T 12360 的要求,相配合的圆锥应保证各装配件的径向和(或)轴向位置。标注两个相配圆锥的尺寸及公差时,应确定:具有相同的锥度或圆锥角;标注尺寸公差的圆锥直径的基本尺寸应一致;确定直径(图 a)和位置(图 b)的理论正确尺寸与两装配件的基准平面有关



(a)



(b)

相配合的圆锥公差注法

必要时,可给出限定条件以保证圆锥实际要素不超过给定的公差带。这些限定条件可在图样上直接给出或在技术要求中说明	
限定条件	<p>图样上标注</p> <p>说明</p> <p>圆锥的形状公差一般不单独给出,而是由对应的面轮廓度公差带或圆锥直径公差带限定。只有为了满足某一功能需要,对圆锥的形状公差有更高的要求时,才给出圆锥的形状公差。但它应小于面轮廓度公差 <math>t</math> 或圆锥直径公差 <math>T_D</math> 的一半。</p> <p>备注:倾斜度公差带(包括素线的直线度)在轮廓度公差带内浮动。</p>
	<p>在技术要求中说明</p> <p>如:量规涂色检验,接触率大于80%</p>

注:本标准规定的是光滑正圆锥的尺寸和公差注法。正圆锥是要求圆锥的锥顶与基本圆锥相重合,且其母线是直的。光滑圆锥是指在机械结构中所使用的具有圆锥结构的工件,这种工件利用圆锥的自动定心、自锁性好、密封性好、间隙或过盈可以自由调整等特点工作,例如圆锥滑动轴承、圆锥阀门、钻头的锥柄、圆锥心轴等。而对于像锥齿轮、锥螺纹、圆锥滚动轴承的锥形套圈等零件,它们虽然也具有圆锥结构,但其功能与前述情况不同,它们的圆锥部分的要求都由该零件的专门标准所确定,本标准不适用于这类零件。

## 11 螺纹及螺纹紧固件表示法 (摘自 GB/T 4459.1—1995)

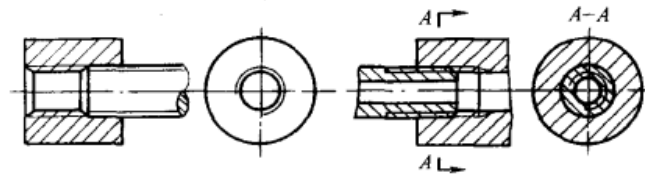
### 11.1 螺纹的表示方法

表 2-1-17

螺 纹 零 件	<p>螺纹的牙顶圆的投影用粗实线表示,牙底圆的投影用细实线表示,螺杆或螺孔的倒角或倒圆部分也应画出。在垂直于螺纹轴线的投影面的视图中,表示牙底的细实线圆只画约 3/4 圈,此时螺杆或螺孔上的倒角投影省略不画。有效螺纹的终止界线(简称螺纹终止线)用粗实线表示。螺尾部分一般不必画出,当需要表示螺纹收尾时,螺尾部分的牙底用与轴线成 30° 的细实线绘制。不可见螺纹的所有图线用虚线绘制。无论是外螺纹或内螺纹,在剖视图或断面图中剖面线都必须画到粗实线,绘制不穿通的螺孔时,一般应将钻孔深度与螺纹部分的深度分别画出</p>
	<p>不可见螺纹      需要表示螺纹牙型时</p>
	<p>圆锥形螺纹</p>
	<p>外螺纹      内螺纹</p>

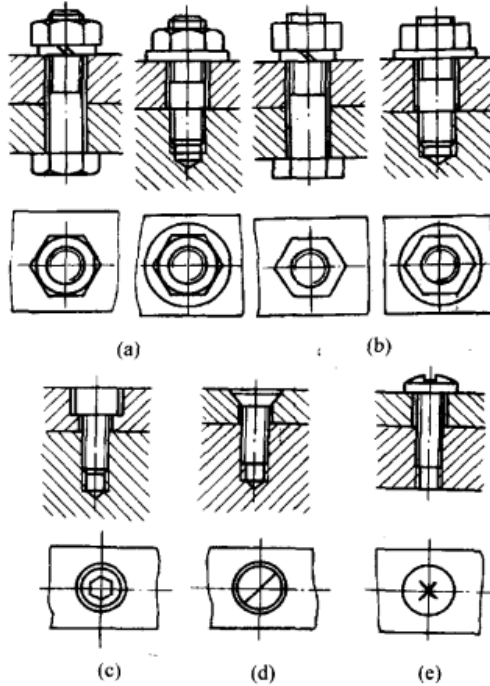
以剖视图表示内、外螺纹的连接时,其旋合部分应按外螺纹的画法绘制,其余部分仍按各自的画法表示

螺纹连接



在装配图中,当剖切平面通过螺杆的轴线时,对于螺柱、螺栓、螺母及垫圈等均按未剖切绘制(图 a),螺栓、螺钉头部及螺母也可采用简化画法(图 b)。内六角螺钉可按图 c 绘制,螺钉头部的一字槽、十字槽可按(图 d、e)绘制。在装配图中,对于不通的螺纹孔,可以不画出钻孔深度,仅按有效螺纹部分的深度(不包括螺尾)画出(图 b、c、d)

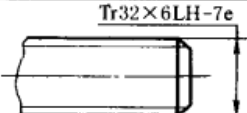
螺纹紧固件装配



### 11.2 螺纹的标记方法

表 2-1-18

螺纹类别	特征代号	公称直径	螺距	导程	线数	旋向	公差带代号	旋合长度代号	标记示例	附注
标准普通螺纹	粗牙	10				右	6H	L	 M10-6H-L	标准 GB/T 197—2003 普通螺纹粗牙不注螺距,中等旋合长度不标 N(以下同)。短、长旋合长度分别用字母 S、L 表示。右旋不标注。多线时注出 Ph(导程)、P(螺距)(下同) 螺纹副标记示例:M20 × 2LH 中等公差精度(如 6H、6g)不注公差带代号
	细牙	16	1.5			LH(左)	5g6g	S	 M16 × 1.5 LH-5g6g-S	

螺纹类别	特征代号	公称直径	螺距	导程	线数	旋向	公差带代号	旋合长度代号	标记示例	附注
小螺纹	S	0.8					4H5		S0.8 4H5	标准 GB/T 15054.4—1994 内螺纹中径公差带为 4H, 顶径公差等级为 5 级。外螺纹中径公差带为 5h, 顶径公差等级为 3 级。顶径公差带位置仅一种, 故只注等级 螺纹副标记示例: S0.9 4H5/5h3
		1.2				LH (左)	5h3		SI. 2LH5h3	
梯形螺纹	Tr	32	6			LH (左)	7e			标准 GB/T 5796.4—2005 多线螺纹螺距和导程都可参照此格式标注 螺纹副标记示例: Tr36 x 6 - 7H/7e
		40	7	14	2	LH (左)	7e	L	Tr40 x 14 (P7) LH-7e-L	
锯齿形螺纹	B	40	7	14	2	LH (左)	8c	L	B40 x 14 (P7) LH-8c-L	标准 GB/T 13576—1992 螺纹副标记示例: B40 x 7 - 7A/7e

非标准螺纹, 应画出螺纹的牙型, 并注出所需要的尺寸及有关要求 (下图)

非标准螺纹

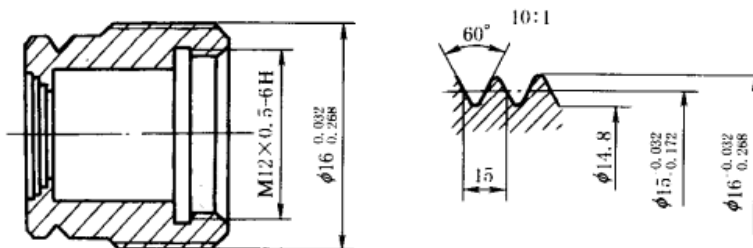
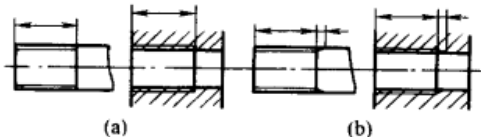
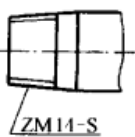


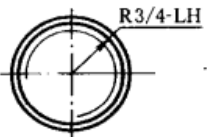
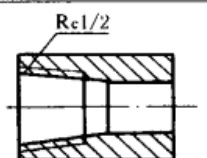
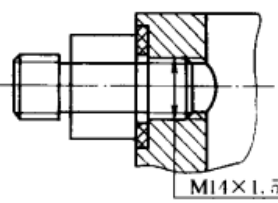
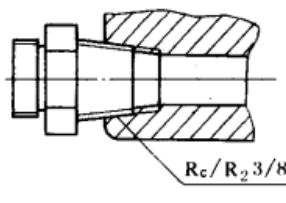
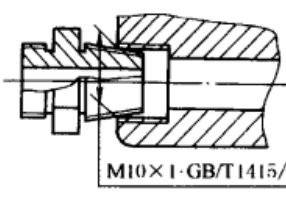
图 a 所标注的螺纹长度, 均指不包括螺尾在内的有效螺纹长度。当需要标出螺尾长度时, 其标注方法见图 b 或另加说明

螺纹长度



螺纹类别	特征代号	尺寸代号	旋向	公差等级	基距代号	标记示例	附注
米制锥螺纹	ZM	公称直径 14			S		标准 GB/T 1415—1992 S 为短基距代号, 标准基距不注代号 (下同) 螺纹副标记示例: ZM10/ZM10; M10 x 1 · GB 1415/ZM10-S
60° 密封管螺纹	圆锥管螺纹 (内、外)	3/4	LH (左)			NPT3/4-LH	标准 GB/T 12716—2002 内、外螺纹均仅有一种公差带, 故不注公差带代号 (下同)
	圆柱内螺纹					NPSC	
55° 非螺纹密封管螺纹	G	1 1/2	LH (左)			G1 1/2-LH	标准 GB/T 7307—2001 内螺纹公差等级只有一种, 不标记。外螺纹公差等级分 A 级和 B 级两种 标记螺纹副时, 仅标注外螺纹的标记代号, 如 G1 1/2A
		1/2	LH (左)	A		G1/2A-LH	

续表

螺纹类别		特征代号	尺寸代号	旋向	公差等级	基距代号	标记示例	附注
55° 螺纹密封的管 螺纹	圆锥外 螺纹	R (R <sub>1</sub> 、 R <sub>2</sub> )	3/4	LH				标准 GB/T 7306—2000 (GB/T 7306.1—2000《圆柱内螺纹与圆锥外螺纹》; GB/T 7306.2—2000《圆锥内螺纹与圆锥外螺纹》) 内、外螺纹均只有一种公差带,故省略不注 R <sub>1</sub> 表示与圆柱内螺纹相配合的圆锥外螺纹;R <sub>2</sub> 表示与圆锥内螺纹相配合的圆锥外螺纹。如 R <sub>1</sub> 3 或 R <sub>2</sub> 3 表示螺纹副时,尺寸代号只标注一次,如 R <sub>p</sub> /R <sub>1</sub> 3;R <sub>p</sub> /R <sub>2</sub> 3
	圆锥内 螺纹	R <sub>c</sub>	1/2					
	圆柱内 螺纹	R <sub>p</sub>	1/2				R <sub>p</sub> 1/2	
自攻螺钉螺纹		ST	公称 直径 3.5				ST3.5	标准 GB/T 5280—2002 使用时,应先制出螺纹底孔(预制孔)
自攻锁紧螺钉 用螺纹(粗牙 普通螺纹)		M	公称 直径 5				M5 × 20	标准 GB/T 6559—1986 使用时,先制预制孔,标记示例中的 20 为 螺杆长度
螺纹副的 标注方法		<p>装配图中螺纹副的标记与螺纹的标注方法相同。米制螺纹一般直接标注在大径的尺寸线上或其引出线上,如图 a 所示。管螺纹应采用引出线由配合部分的大径处引出标注,如图 b 所示。米制锥螺纹一般采用引出线由配合部分的大径处引出标注,也可直接标注在从基面处画出的尺寸线上,如图 c 所示。斜线分开的左边表示内螺纹,右边表示外螺纹</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(c)</p> </div> </div>						

注: 60°圆锥管螺纹和 55°螺纹密封及非螺纹密封管螺纹来源于英制, 被采用制定为我国标准螺纹时已米制化。特征代号后的数字是定性地表征螺纹大小的“尺寸代号”, 不是定量地将其数值换成毫米, 故不得称为“公称直径”。

表 2-1-19

新旧管螺纹代号对照

螺 纹 种 类	圆 锥 内 螺 纹	圆 柱 内 螺 纹	圆 锥 外 螺 纹	圆 柱 内、外 螺 纹 (非 螺 纹 密 封)	圆 锥 内、外 螺 纹
	(螺 纹 密 封)				
GB/T 4459.1—1995 规定的标准 号及管螺纹标准代号	GB/T 7306—2000 (55° 牙型 角)			GB/T 7307—2001 (55° 牙型角)	GB/T 12716—2002 (60° 牙型角)
	R <sub>c</sub>	R <sub>p</sub> *	R (R <sub>1</sub> 、R <sub>2</sub> )	G*	NPT
旧标准 GB 4459.1—1984 中的螺 纹代号	ZC	G	ZG	G	Z

注: R<sub>p</sub>\* 和 G\* 是公差不同的两种圆柱内螺纹, 不能完全互换。所以 GB 4459.1—1984 中用 G 表示两者, 不加区分是不合适的。

表 2-1-20

螺纹与花键画法比较

名称	轴线垂直于投影面的视图	中径	牙、齿	终止线	尾部	标记或代号
螺纹	小径用 3/4 圈的细实线圆绘制	规定不画出	一般不画出	一条粗实线	必要时才画出	一般由三部分组成, 见表 2-1-17
花键	小径用完整的细实线圆绘制	渐开线花键必须用点画线画出	一般应画出一个齿	两条平行的细实线	规定应画出	见标准 GB/T 1144—2001 和 GB/T 3478.1—1995 有关规定, 与螺纹完全不同, 见表 2-1-21

## 12 齿轮、花键表示法 (摘自 GB/T 4459.2—2003、GB/T 4459.3—2000)

表 2-1-21

齿顶圆和齿顶线用粗实线绘制, 分度圆和分度线用细点画线绘制, 齿根圆和齿根线用细实线绘制, 也可省略不画, 在剖视图中, 齿根线用粗实线绘制。表示齿轮、蜗轮一般用两个视图, 或者用一个视图和一个局部视图(图 1~图 3)。在剖视图中, 当剖切平面通过齿轮的轴线时, 轮齿一律按不剖处理(图 1~图 3、图 5、图 6)。如需表明齿形, 可在图形中用粗实线画出一个或两个齿; 或用适当比例的局部放大图表示(图 4~图 6)。当需要表示齿线的特征时, 可用三条与齿线方向一致的细实线表示(图 4、图 5、图 7), 直齿则不需表示。如需要注出齿条的长度时, 可在画出齿形的图中注出, 并在另一视图中用粗实线画出其范围线(图 5)

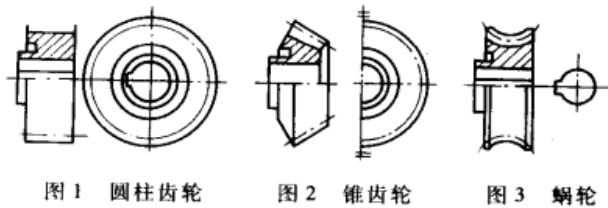


图 1 圆柱齿轮

图 2 锥齿轮

图 3 蜗轮

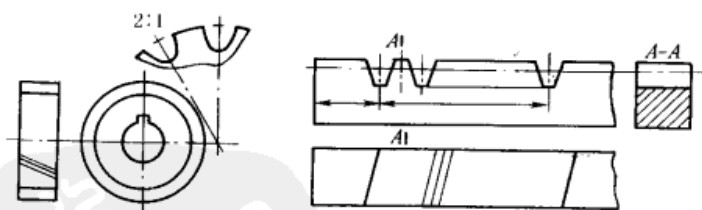


图 4 圆弧齿轮

图 5 齿条

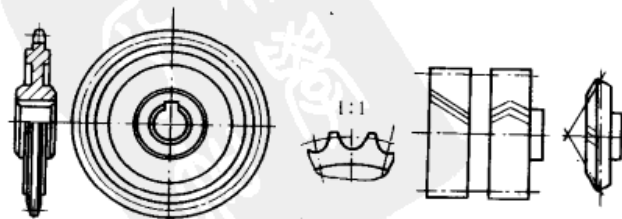


图 6 链轮

图 7 齿线

续表

在垂直于圆柱齿轮轴线的投影面的视图中,啮合区内的齿顶圆均用粗实线绘制(图8、图12),其省略画法如图9所示。在平行于圆柱齿轮、锥齿轮轴线的投影面的视图中,啮合区的齿顶线不需画出,节线用粗实线绘制,其他处的节线用细点画线绘制(图10、图14)。在啮合的剖视图中,当剖切平面通过两啮合齿轮的轴线时,在啮合区内,将一个齿轮的轮齿用粗实线绘制,另一个齿轮的轮齿被遮挡的部分用细虚线绘制(图8、图11、图16),也可省略不画(图12、图13、图15)。在剖视图中,当剖切平面不通过啮合齿轮的轴线时,齿轮一律按不剖绘制

圆柱齿轮啮合

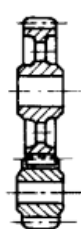


图8 外啮合

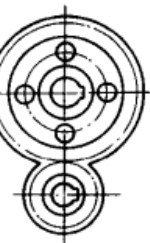
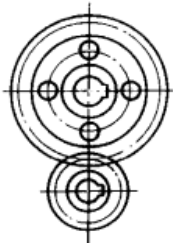


图9 外啮合

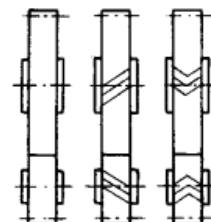


图10 外啮合



图11 内啮合

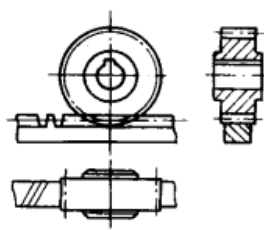
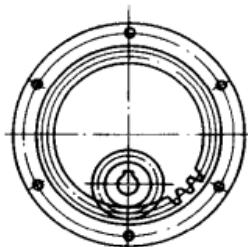


图12 齿轮齿条啮合

齿轮、蜗轮、蜗杆啮合画法

锥齿轮啮合

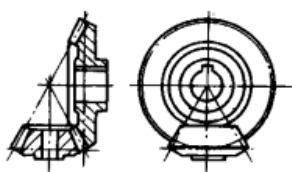


图13 轴线成正交的锥齿轮啮合

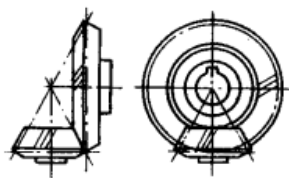


图14 轴线成正交的锥齿轮啮合

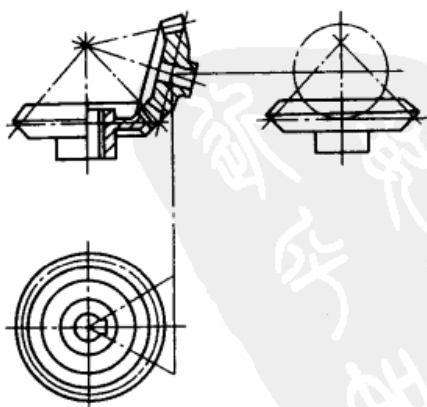


图15 轴线成斜交的锥齿轮啮合

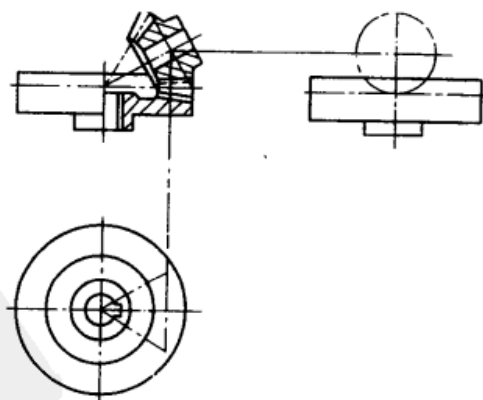


图16 轴线成斜交的平面齿轮与锥齿轮啮合



锥齿轮啮合

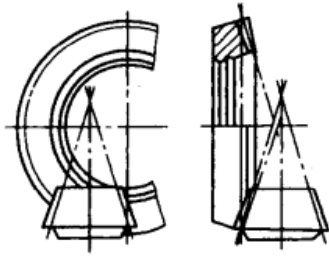


图 17 准双曲面齿轮副的啮合

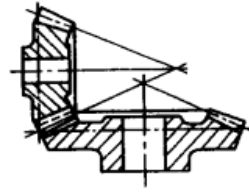


图 18 “8”字啮合锥齿轮副的啮合

螺旋齿轮啮合

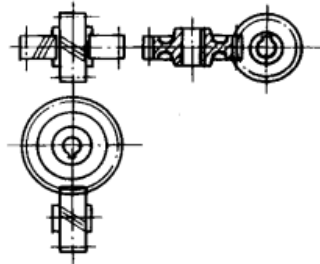


图 19 轴线成垂直交错的啮合

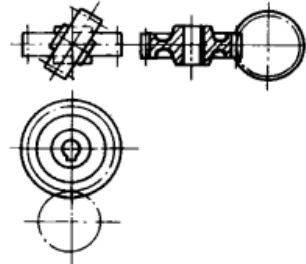


图 20 轴线成不垂直交错的啮合

齿轮、蜗轮、蜗杆啮合画法

蜗轮蜗杆啮合

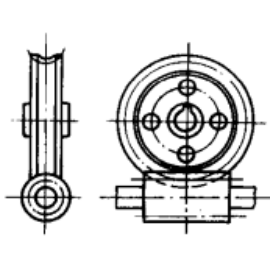


图 21 圆柱蜗杆啮合

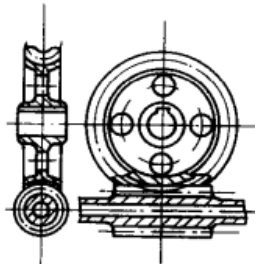
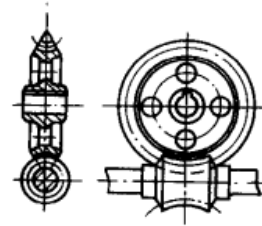


图 22 环面蜗杆啮合



圆弧齿轮啮合

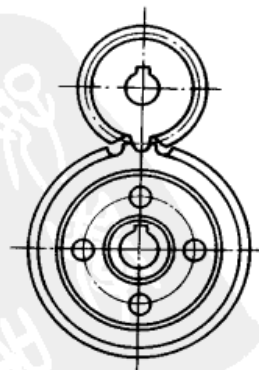


图 23 圆弧齿轮啮合

外花键大径用粗实线、小径用细实线绘制，并在断面图中画出一部分或全部齿形(图24)，外花键工作长度的终止端和尾部长度的末端均用细实线绘制，并与轴线垂直，尾部则画成斜线，其倾斜角度一般与轴线成 $30^\circ$ ，必要时，可按实际情况画出(图24)

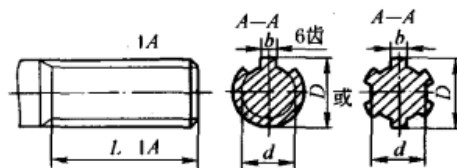


图24 外花键

内花键大径及小径均用粗实线绘制，并在局部视图中画出一部分或全部齿形(图25)

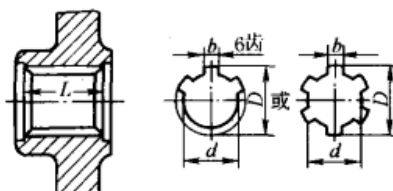


图25 内花键

外花键局部剖视的画法见图26，垂直于花键轴线的投影面的视图的画法见图27。大径、小径及键宽采用一般尺寸标注时，其注法见图24、图25。花键长度应采用以下三种形式之一标注：标注工作长度图24、图25、图28；标注工作长度和尾部长度图29；标注工作长度及全长图30

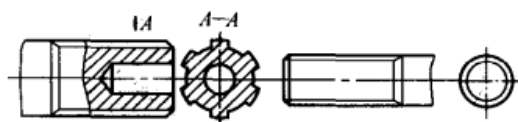


图26

图27



图28

图29

图30

除分度圆及分度线用细点划线绘制外，其余部分与矩形花键画法相同(图31)

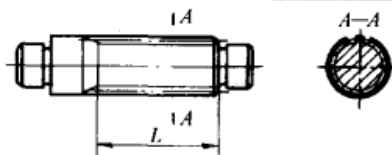


图31

花键连接用剖视图或断面图表示时，其连接部分按外花键的绘制，矩形花键的连接画法见图32，渐开线花键的连接画法见图33

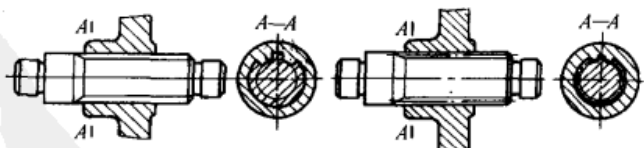


图32 矩形花键

图33 渐开线花键

花键的类型由图形符号表示，矩形花键(GB/T 1144)的图形符号见图34，渐开线花键(GB/T 3478.1)的图形符号见图35



图34



图35

花键的标记应注写在指引线的基准线上，标注方法如图36~图39所示。当所注花键标记不能全部满足要求时，则其必要的数据可在图中列表表示或在其他相关文件中说明

矩形花键

花键画法及尺寸标注

渐开线花键

花键连接

花键的标注

花键画法及尺寸标注

矩形花键及花键副的表示见图 36、图 38。标记顺序为： $N$ (键数)  $\times d$ (小径)  $\times D$ (大径)  $\times B$ (键宽)。字母代号为大写时为内花键，小写时为外花键

渐开线花键及花键副的表示见图 37、图 39。标记中代号(含义)：INT(内花键)、EXT(外花键)、INT/EXT(花键副)、 $Z$ (齿数符号)、 $m$ (模数符号)、30P(30°平齿根)、30R(30°圆齿根)、45(45°圆齿根)、5H/5h(内、外花键公差等级均为 5 级、配合类别为 H/h)

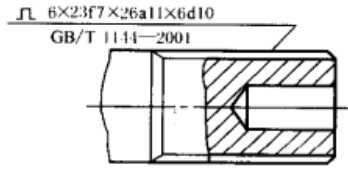


图 36

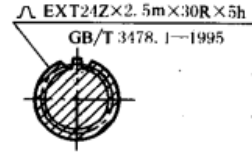


图 37

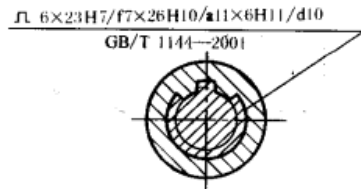


图 38

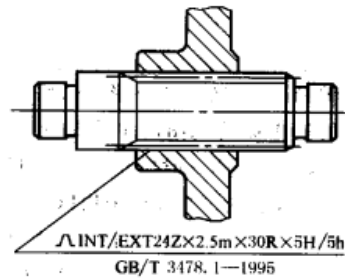


图 39

### 13 弹簧表示法 (摘自 GB/T 4459.4—2003)

表 2-1-22

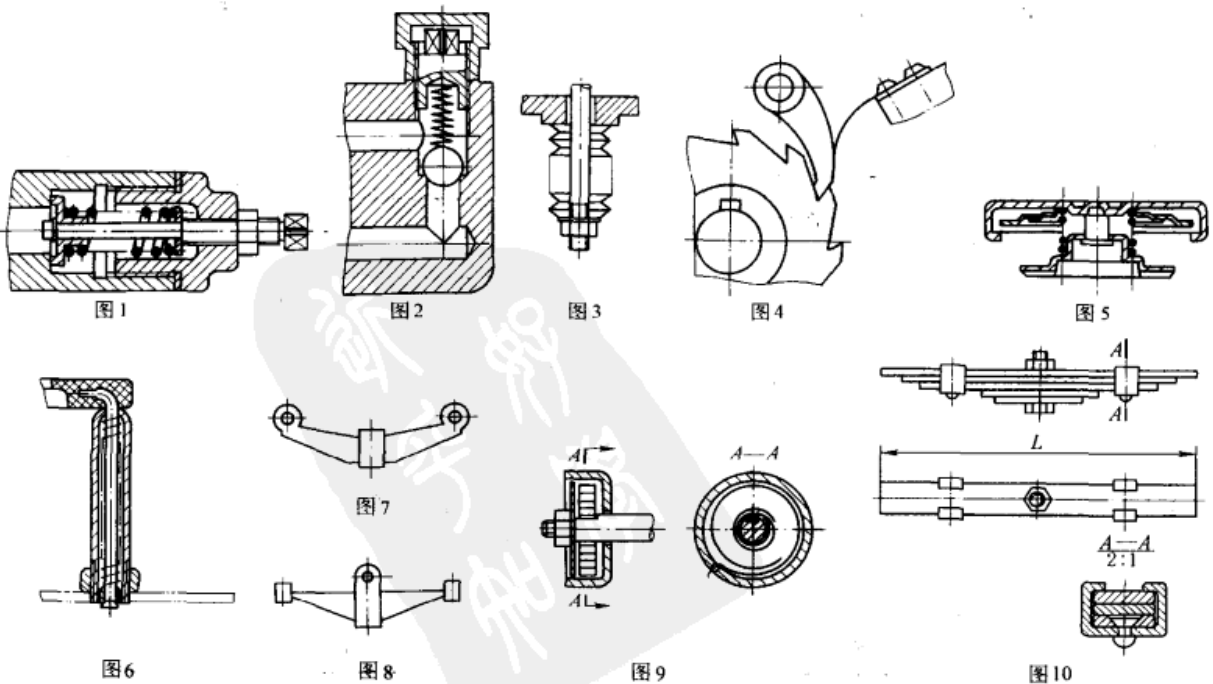
名称	视图	剖视图	示意图
圆柱螺旋压缩弹簧			
截锥螺旋压缩弹簧			
圆柱螺旋拉伸弹簧			

续表

名称	视图	剖视图	示意图
圆柱螺旋扭转弹簧			
截锥涡卷弹簧			
碟形弹簧			
平面涡卷弹簧			
说明	<p>螺旋弹簧均可画成右旋,对必须保证的旋向要求应在“技术要求”中注明,必要时也可按支承圈的实际结构绘制。螺旋压缩弹簧,如要求两端并紧且磨平时,无论支承圈数多少和末端贴紧情况如何,均按本表图示形式绘制。有效圈数在四圈以上的螺旋弹簧中间部分可以省略。圆柱螺旋弹簧中间部分省略后,允许适当缩短图形的长度。截锥涡卷弹簧中间部分省略后用细实线相连。片弹簧的视图一般按自由状态下的形式绘制</p>		




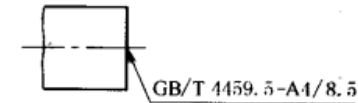
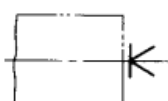
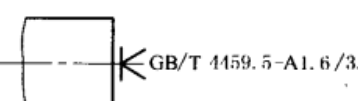
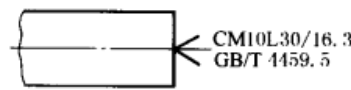

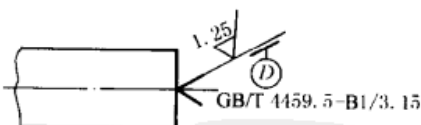
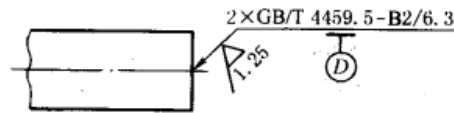

被弹簧挡住的机构一般不画出,可见部分应从弹簧的外轮廓线或从弹簧钢丝剖面的中心线画起(图1)。型材直径或厚度在图形上小于或等于2mm的螺旋弹簧、碟形弹簧、片弹簧允许用示意图绘制(图2~图4),当弹簧被剖切时,剖面直径或厚度在图形上小于或等于2mm时也可用涂黑表示(图5)。四束以上的碟形弹簧,中间部分省略后用细实线画出轮廓范围(图3)。被剖切弹簧的直径在图形上小于或等于2mm,如果弹簧内部还有零件,为了便于表达,可按图6的示意图形式绘制。板弹簧允许仅画出外形轮廓(图7、图8),平面涡卷弹簧的装配图画法见图9,弓形板弹簧由多种零件组成,其画法见图10

装配图中弹簧的画法



## 14 中心孔表示法 (摘自 GB/T 4459.5—1999)

表 2-1-23

	要 求	符 号	表示法示例	说 明
完工零件上是否保留中心孔的规定符号	在完工的零件上要求保留中心孔			采用 B 型中心孔 $D = 2.5\text{mm}$ $D_1 = 8\text{mm}$ 在完工的零件上要求保留
	在完工的零件上可以保留中心孔			采用 A 型中心孔 $D = 4\text{mm}$ $D_1 = 8.5\text{mm}$ 在完工的零件上是否保留都可以
	在完工的零件上不允许保留中心孔			采用 A 型中心孔 $D = 1.6\text{mm}$ $D_1 = 3.35\text{mm}$ 在完工的零件上不允许保留
规定表示法	<p>对于已经有相应标准规定的中心孔,在图样中可不绘制其详细结构,只需在零件轴端面绘制出对中心孔要求的符号,随后标注出其相应标记。中心孔的规定表示法示例见本表上方的表示法示例 如需指明中心孔标记中的标准编号时,也可按图 1、图 2 的方法标注</p>			
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>图 1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>图 2</p> </div> </div> <p>以中心孔的轴线为基准时,基准代号可按图 3、图 4 的方法标注。中心孔工作表面的粗糙度应在引出线上标出,如图 3、图 4 所示</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>图 3</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>图 4</p> </div> </div>			
简化表示法	<p>在不致引起误解时,可省略标记中的标准编号,如图 5 所示</p> <div style="text-align: center;">  <p>图 5</p> </div> <p>如同一轴的两端中心孔相同,可只在其一端标出,但应注出其数量,如图 4 和图 5 所示</p>			

注: 四种标准中心孔 (R 型、A 型、B 型及 C 型) 的标记说明见第 1 篇第 5 章。

## 15 动密封圈表示法 (摘自 GB/T 4459.6—1996)

本标准主要适用于在装配图中不需要确切地表示其形状和结构的旋转轴唇形密封圈、往复运动橡胶密封圈和橡胶防尘圈。按本标准绘制密封圈的各种符号、矩形线框和轮廓线均用粗实线绘制。本标准规定了动密封圈的简化画法和规定画法。简化画法可采用通用画法或特征画法,在同一图样中一般只采用通用画法或特征画法中的一种。在剖视和断面中,采用简化法绘制的密封圈一律不画剖面符号;采用规定画法绘制密封圈时,仅在金属骨架等嵌入元件上画出剖面符号或涂黑,如图 2-1-3 和图 2-1-4 所示。

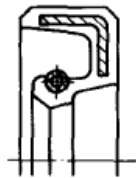


图 2-1-3

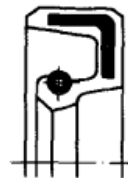


图 2-1-4

表 2-1-24

密封圈的通用画法

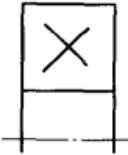
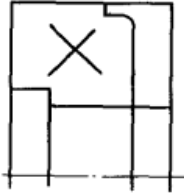
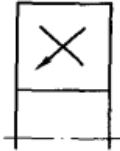
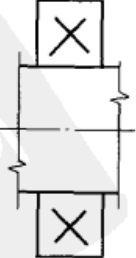
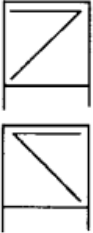
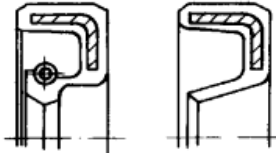
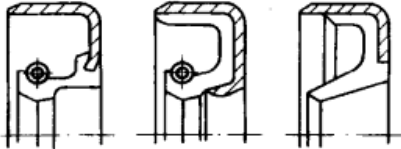
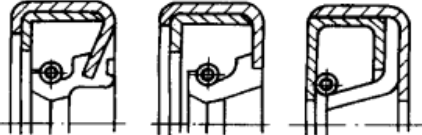
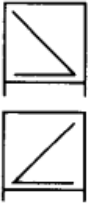
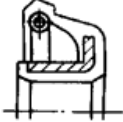
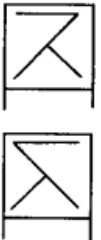
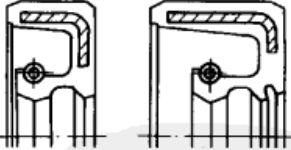
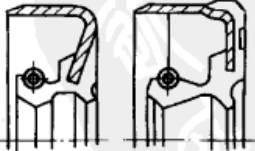
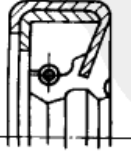
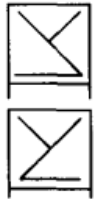
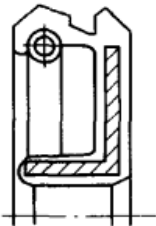
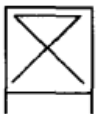
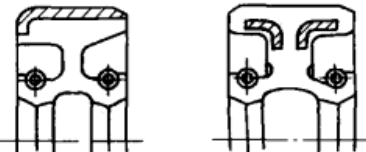
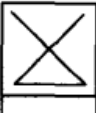
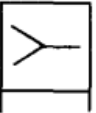
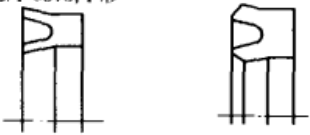


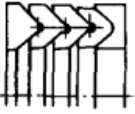
通用画法	说明	通用画法	说明
	<p>通用画法是在剖视图中,如不需要确切地表示密封圈的外形轮廓和内部结构(包括唇、骨架、弹簧等)时,可采用在矩形线框的中央画出十字交叉的对角线符号的一种表示方法(十字交叉的对角线不应与矩形线框的轮廓线接触)。由于多数已标准化的密封圈的型号已在其装配图的明细栏中注出,所以只需在装配图中明确其具体装配位置就可以了。通用画法简易方便,是本标准推荐的一种方法</p>		<p>如需要确切地表示密封圈的外形轮廓,则应画出其较详细的剖面轮廓,并在其中央画出对角线符号</p>
	<p>如需要表示密封方向,则应在对角线符号的一端画出一个箭头,指向密封的一侧,以便给装配提供指示</p>		<p>通用画法要求在轴的两侧都绘制出对角线符号</p>

表 2-1-25


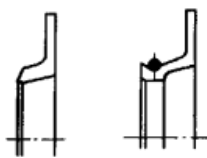




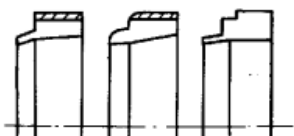
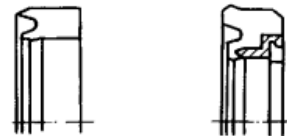

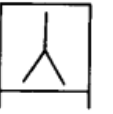


密封圈的特征画法和规定画法

特征画法	应用	规定画法
<p>特征画法是在剖视图中,如需要比较形象地表示出密封圈的密封结构特征时,可采用在矩形线框的中间画出密封要素符号的一种表示方法 与通用画法相同,特征画法应绘制在轴的两侧</p> 	<p>主要用于旋转轴唇形密封圈。也可用于往复运动活塞杆唇形密封圈及结构类似的防尘圈 (单唇形单向轴用)</p>	<p>必要时可在产品图样、产品样本、用户手册中采用规定画法绘制密封圈,这种画法可绘制在轴的两侧;也可绘制在轴的一侧,另一侧按通用画法绘制</p> <p>GB/T 9877.1, B形</p>  <p>GB/T 9877.2, W形</p>  <p>GB/T 9877.3, Z形</p> 
	<p>主要用于旋转轴唇形密封圈。也可用于往复运动活塞杆唇形密封圈及结构类似的防尘圈 (单唇形单向孔用)</p>	
	<p>主要用于有副唇的旋转轴唇形密封圈。也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈 (双唇形单向轴用)</p>	<p>GB/T 9877.1, FB形</p>  <p>GB/T 9877.2, FW形</p>  <p>GB/T 9877.3, FZ形</p> 


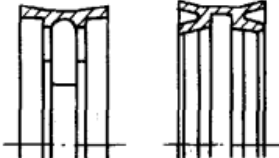
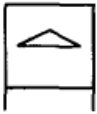
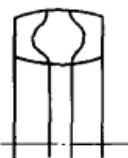
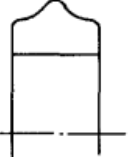
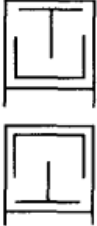
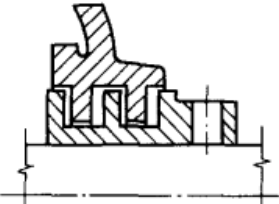
常用旋转轴唇形密封圈

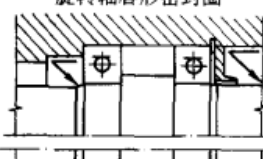
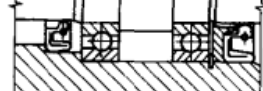
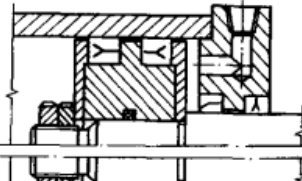

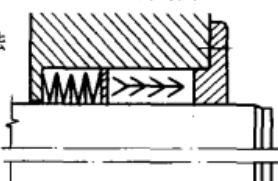

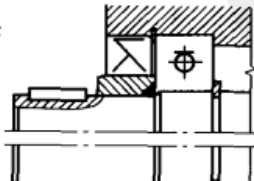

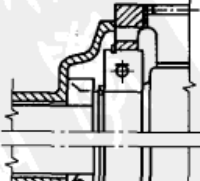

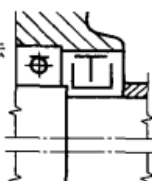

	特征画法	应用	规定画法
常用旋转轴唇形密封圈		<p>主要用于有副唇的旋转轴唇形密封圈。也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈 (双唇形单向孔用)</p>	
		<p>主要用于双向密封旋转轴唇形密封圈。也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈 (双唇形双向轴用)</p>	
		<p>主要用于双向密封旋转轴唇形密封圈。也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈 (双唇形双向孔用)</p>	
常用往复运动橡胶密封圈		<p>用于 Y 形、U 形及蕾形橡胶密封圈</p>	<p>JB/T 6375, Y形      GB/T 10708. 1, Y形</p>  <p>GB/T 10708. 1, 蕾形</p> 
		<p>用于 V 形橡胶密封圈 V 形密封圈由一个压环、数个重叠的密封环和一个支承环组成,不能单环使用,其他几种密封圈均可单独使用</p>	<p>GB/T 10708. 1, V形</p> 



特征画法	应用	规定画法
	用于 J 形橡胶密封圈	
	用于高低唇 Y 形橡胶密封圈(孔用)和橡胶防尘密封圈	GB/T 10708. 1, Y形      JB/T 6735, Y形 
	用于起端面密封和防尘功能的 V <sub>0</sub> 形橡胶密封圈	JB/T 6994, S形、A形 
	用于高低唇 Y 形橡胶密封圈(轴用)和橡胶防尘密封圈	 GB/T 10708. 1, Y形      JB/T 6375, Y形  GB/T 10708. 1, A形      GB/T 10708. 1, B形 
	用于有双向唇的橡胶防尘密封圈。也可用于结构类似的防尘密封圈(双唇形双向轴用)	 GB/T 10708. 3, C形 

常用往复运动橡胶密封圈

	特征画法	应用	规定画法
常用往复运动橡胶密封圈		用于有双向唇的橡胶防尘密封圈。也可用于结构类似的防尘密封圈 (双唇形双向孔用)	
常用往复运动橡胶密封圈		用于鼓形橡胶密封圈和山形橡胶密封圈	GB/T 10708.2, 鼓形  GB/T 10708.2, 山形 
常用迷宫式密封圈		非接触密封的迷宫式密封	

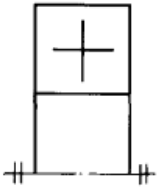
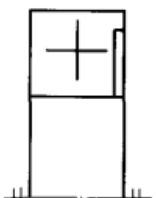
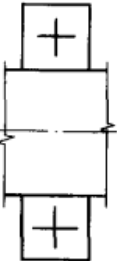
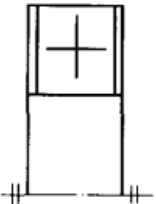
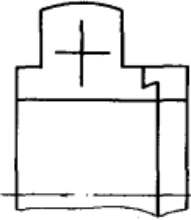
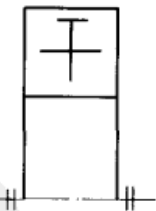
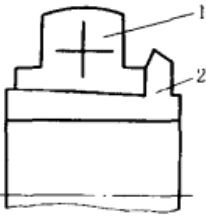
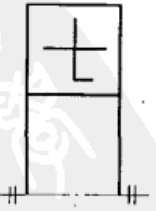
应用实例	<p>旋转轴唇形密封圈</p> <p>特征画法</p>  <p>规定画法</p> 	<p>Y形橡胶密封圈、橡胶防尘圈</p> <p>特征画法</p>  <p>规定画法</p> 	<p>V形橡胶密封圈</p> <p>特征画法</p>  <p>规定画法</p> 
	<p>带副唇的旋转轴唇形密封圈</p> <p>特征画法</p>  <p>规定画法</p> 	<p>橡胶防尘圈</p> <p>特征画法</p>  <p>规定画法</p> 	<p>迷宫式密封圈</p> <p>特征画法</p>  <p>规定画法</p> 

## 16 滚动轴承表示法 (摘自 GB/T 4459.7—1998)

本标准主要适用于在装配图中不需要确切地表示其形状和结构的标准滚动轴承。各种符号、矩形线框和轮廓线均用粗实线。本标准规定了滚动轴承的简化画法和规定画法。简化画法又分为通用画法和特征画法,在同一图中一般只采用通用画法或特征画法中的一种。采用规定画法绘制滚动轴承的剖视图时,其滚动体不画剖面线,各套圈等可画成方向和间隔相同的剖面线(见表 2-1-28 中应用实例);在不致引起误解时,也允许省略不画;若轴承带有其他零件或附件(偏心套、挡圈等)时,其剖面线应与套圈剖面线呈不同方向,在不致引起误解时,也允许省略不画。

表 2-1-26

滚动轴承的通用画法

通用画法	说明	通用画法	说明
 <p>图 1</p>	在剖视图中,当不需要确切地表示滚动轴承的外形轮廓、载荷特性、结构特征时,可用矩形线框及位于线框中央正立的十字形符号表示,十字符号不应与矩形线框接触	 <p>一面带防尘盖</p>	当需要表示滚动轴承的防尘盖和密封圈时,可分别按图示方法绘制
 <p>图 2</p>	通用画法应绘制在轴的两侧	 <p>两面带密封圈</p> <p>图 5</p>	
 <p>图 3</p>	如需确切地表示滚动轴承的外形,则应画出其剖面轮廓,并在轮廓中央画出正立的十字形符号,十字符号不应与剖面轮廓线接触	 <p>外圈无挡边</p>	当需要表示滚动轴承内圈或外圈有无挡边时,可按图示的方法绘制。在十字符号上附加一短画,表示内圈或外圈无挡边的方向
 <p>1—外球面球轴承(GB/T 3882) 2—紧定套(JB/T 7919.2)</p> <p>图 4</p>	滚动轴承带有附件或零件时,则这些附件或零件也可只画出其外形轮廓	 <p>内圈有单边挡边</p> <p>图 6</p>	

续表

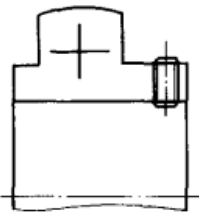
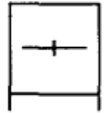
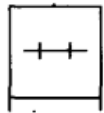
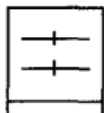
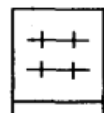


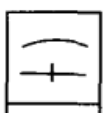

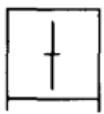
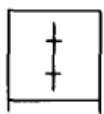
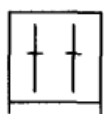
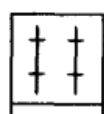
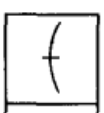
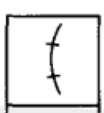
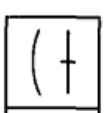
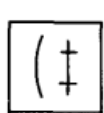
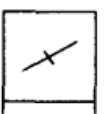


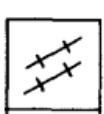




通用画法	说明
 <p style="text-align: center;">图 7</p>	<p>在装配图中,为了表达滚动轴承的安装方法,可画出滚动轴承的某些零件</p>

表 2-1-27


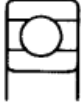


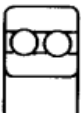

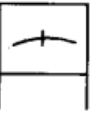
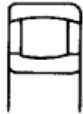
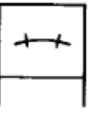


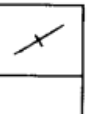
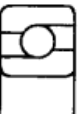

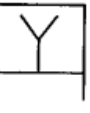


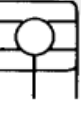
滚动轴承特征画法中要素符号的组合

轴承承载特性		轴承结构特征			
		两个套圈		三个套圈	
		单列	双列	单列	双列
径向承载	不可调心				
	可调心				
轴向承载	不可调心				
	可调心				
径向和轴向承载	不可调心				
	可调心				


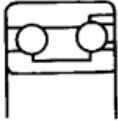
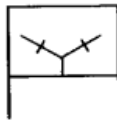
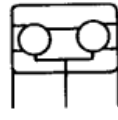

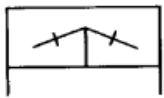

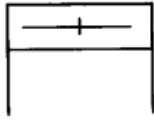
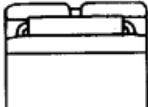

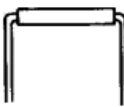
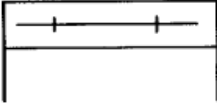
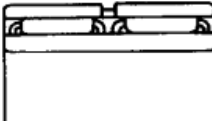
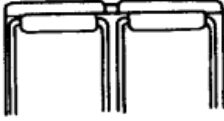
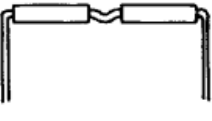
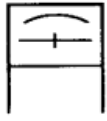


注:表中滚动轴承只画出了其轴线一侧的部分。

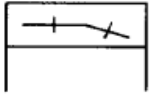
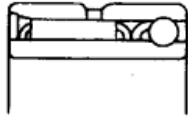
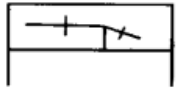
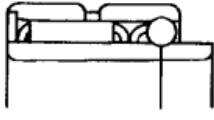
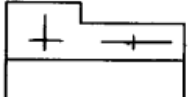
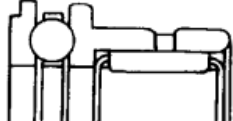
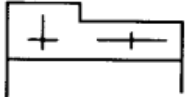
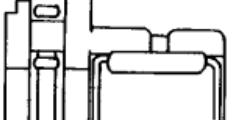
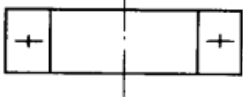
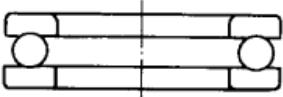
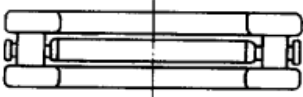



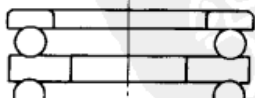
表 2-1-28

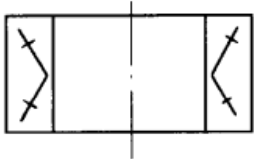
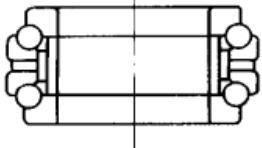
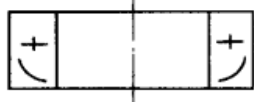
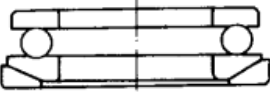
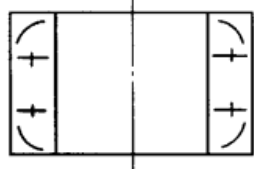
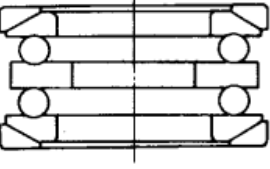
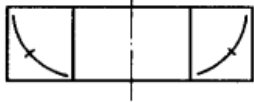

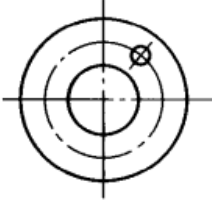
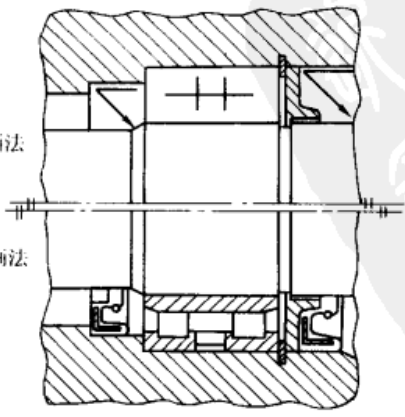
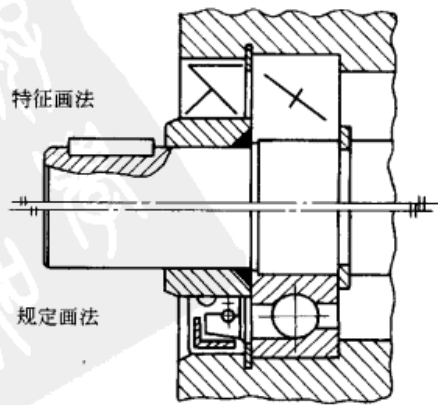
滚动轴承的特征画法及规定画法

特征画法	规定画法	
<p>在剖视图中,如需较形象地表示滚动轴承的结构特征时,可采用表中所示在矩形线框内画出其结构特征要素符号的方法表示</p> <p>表 2-1-26 中图 4 ~ 图 7 的规定也适用于特征画法。特征画法应绘在轴的两侧</p>	<p>必要时,在滚动轴承的产品图样、产品样本、用户手册和使用说明书中可采用表中的规定画法绘制。规定画法一般绘制在轴的一侧,另一侧按通用画法绘制</p>	
	球 轴 承	滚 子 轴 承
	 GB/T 276	 GB/T 283
		 GB/T 285
		
	 GB/T 281	 GB/T 288
	 GB/T 292	 GB/T 297
	 GB/T 294 (三点接触)	
	 GB/T 294 (四点接触)	

球和滚子轴承

特征画法		规定画法		
		球轴承	滚子轴承	
球 和 滚 子 轴 承		 GB/T 296		
			 GB/T 299	
				
		 GB/T 5801 JB/T 3588	 GB/T 290	 JB/T 7918
滚 针 轴 承		 GB/T 5801	 GB/T 5801	 JB/T 7918
		  GB/T 6445.1		

特征画法		规定画法	
滚针和球或滚子组合			JB 3123
			JB 3123
			JB 3122
			GB/T 16643
推力轴承		<p style="text-align: center;">球 轴 承</p>  <p style="text-align: center;">GB/T 301</p>	<p style="text-align: center;">滚 子 轴 承</p>  <p style="text-align: center;">GB/T 4663</p>  <p style="text-align: center;">JB/T 7915</p> 
		 <p style="text-align: center;">GB/T 301</p>	

特征画法		规定画法	
		球轴承	滚子轴承
		 JB/T 6362	
推 力 轴 承		 GB/T 301	
		 GB/T 301	
		 GB/T 5859	
滚 动 轴 承 特 征 画 法	 <p data-bbox="536 1335 1437 1402">在垂直于滚动轴承轴线上的投影面的视图上,无论滚动体的形状(球、柱、针等)及尺寸如何,均可按本图的方法绘制</p>		
	应 用 实 例	<p data-bbox="472 1514 639 1536">双列圆柱滚子轴承</p>  <p data-bbox="296 1671 384 1693">特征画法</p> <p data-bbox="296 1783 384 1805">规定画法</p>	<p data-bbox="1038 1536 1166 1559">角接触球轴承</p>  <p data-bbox="879 1648 967 1671">特征画法</p> <p data-bbox="879 1872 967 1895">规定画法</p>



## 17 齿轮、弹簧的图样格式

### 17.1 齿轮的图样格式 (摘自 GB/T 4459.2—2003)

参数表一般放在图样的右上角；参数表中列出的参数项目可根据需要增减，检查项目按功能要求而定；技术要求一般放在该图样的右下角。示例见图 2-1-5 ~ 图 2-1-8。

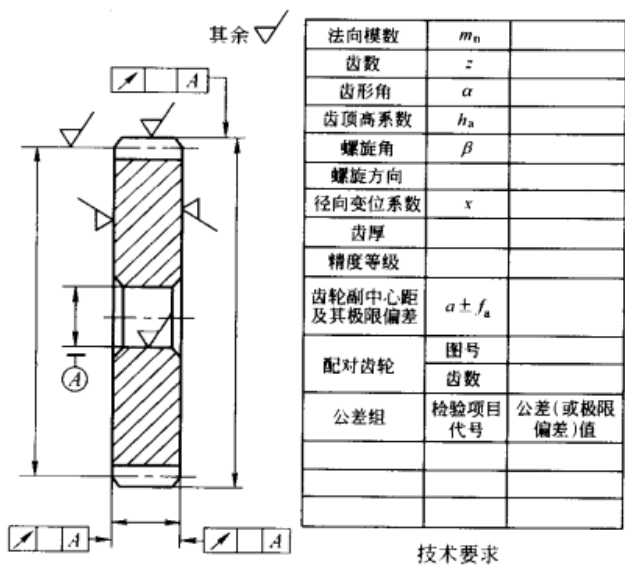


图 2-1-5 渐开线圆柱齿轮图样格式示例

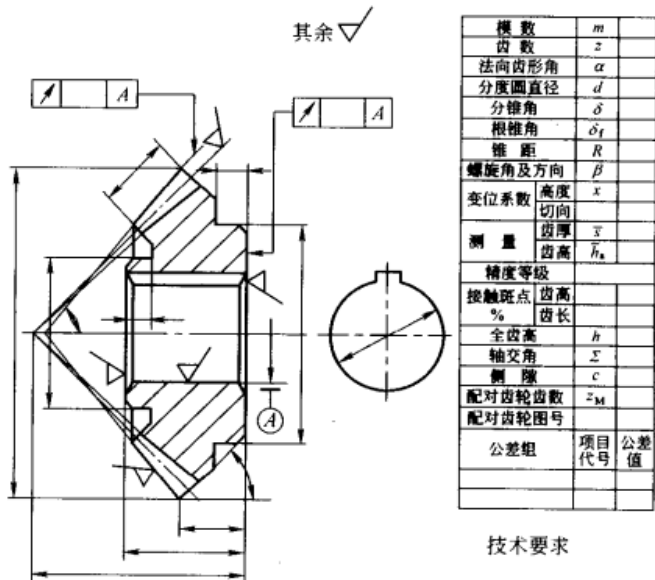


图 2-1-6 锥齿轮图样格式示例

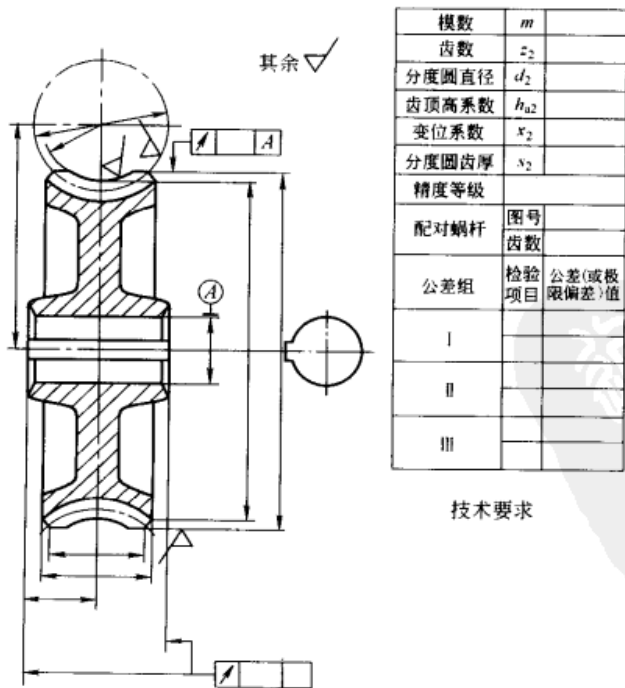


图 2-1-7 蜗轮图样格式示例

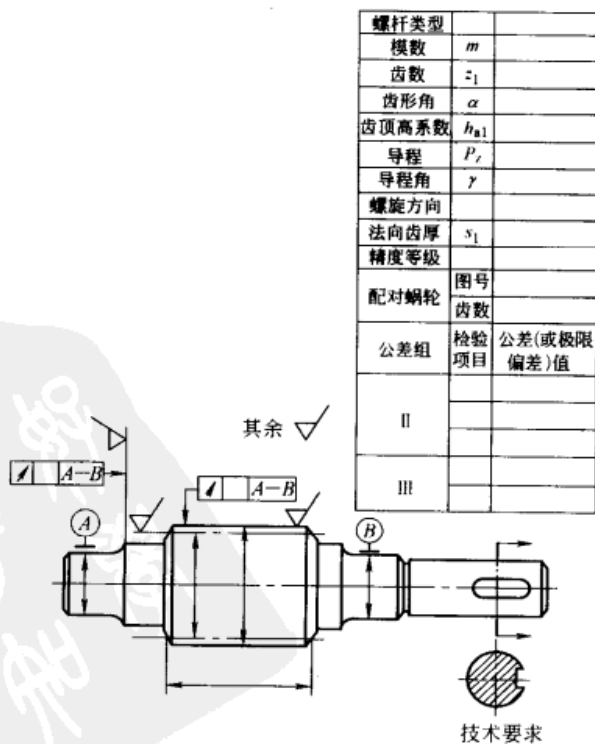
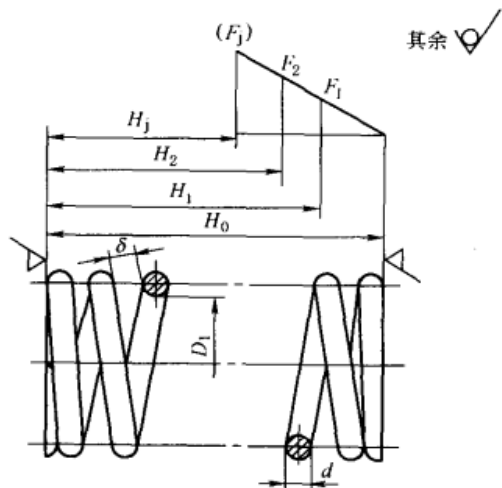


图 2-1-8 蜗杆图样格式示例

## 17.2 弹簧的图样格式 (摘自 GB/T 4459.4—2003)

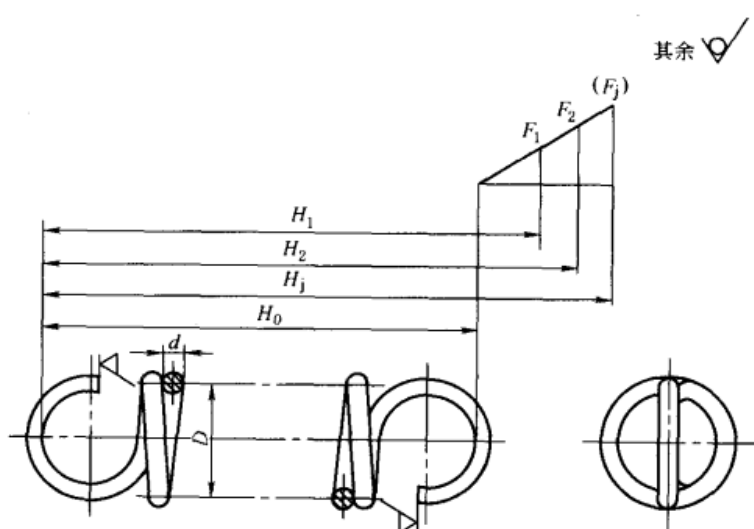
弹簧的参数应直接标注在图形上,当直接标注有困难时可在“技术要求”中说明。一般用图解方式表示弹簧特性。圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的力学性能曲线均画成直线,标注在主视图上方。圆柱螺旋扭转弹簧的力学性能曲线一般画在左视图上方,也允许画在主视图上方,性能曲线画成直线。力学性能曲线(或直线形式)用粗实线绘制。示例见图 2-1-9~图 2-1-12。弹簧的术语及代号见表 2-1-29。



技术要求

1. (旋向)
2. 有效圈数  $n =$
3. 总圈数  $n_1 =$
4. 工作极限应力  $\tau_j =$
5. (热处理要求)
6. (检验要求)
- .....

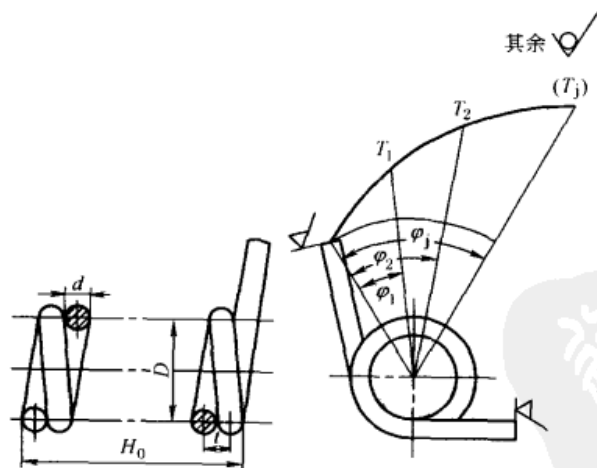
图 2-1-9 圆柱螺旋压缩弹簧的图样格式示例



技术要求

1. (旋向)
2. 有效圈数  $n =$
3. 工作极限应力  $\tau_j =$
4. (热处理要求)
5. (检验要求)
- .....

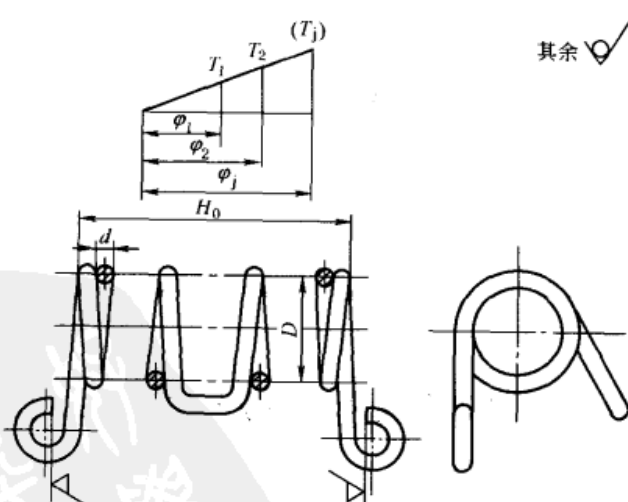
图 2-1-10 圆柱螺旋拉伸弹簧的图样格式示例



技术要求

1. (旋向)
2. 有效圈数  $n =$
3. 工作极限应力  $\tau_j =$
4. (热处理要求)
5. (检验要求)
- .....

图 2-1-11 圆柱螺旋扭转弹簧的图样格式示例 (一)



技术要求

1. 有效圈数  $n =$
2. 工作极限应力  $\tau_j =$
3. (热处理要求)
4. (检验要求)
- .....

图 2-1-12 圆柱螺旋扭转弹簧的图样格式示例 (二)

表 2-1-29

弹簧的术语及代号

序号	术 语	代 号	序号	术 语	代 号
1	工作负荷	$F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$	15	极限扭转角	$\varphi_j$
2	极限负荷	$F_j, T_j$	16	试验扭转角	$\varphi_s$
3	试验负荷	$F_s$	17	弹簧刚度	$F', T'$
4	压并负荷	$F_b$	18	初拉力	$F_0$
5	压并应力	$\tau_b$	19	有效圈数	$n$
6	变形量(挠度)	$f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$	20	总圈数	$n_1$
7	极限负荷下变形量	$f_j$	21	支承圈数	$n_s$
8	自由高度(长度)	$H_0$	22	弹簧外径	$D_2$
9	自由角度(长度)	$\Phi_0$	23	弹簧内径	$D_1$
10	工作高度(长度)	$H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$	24	弹簧中径	$D$
11	极限高度(长度)	$H_j$	25	线径	$d$
12	试验负荷下的高度(长度)	$H_s$	26	节距	$t$
13	压并高度	$H_b$	27	间距	$\delta$
14	工作扭转角	$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$	28	旋向	

## 18 技术要求的一般内容与给出方式 (摘自 JB/T 5054.2—2000)

### (1) 技术要求的一般内容

JB/T 5054.2—2000《产品图样及设计文件 图样的基本要求》对机械图样(含零件图和装配图)中的技术要求,大致分为如下五个方面的内容。

- ① 几何精度,见图 2-1-13。
- ② 加工、装配的工艺要求,是指为保证产品质量而提出的工艺要求。
- ③ 理化参数,是指对材料的成分、组织和性能方面的要求。
- ④ 产品性能及检测要求,是指使用及调试方面的要求。

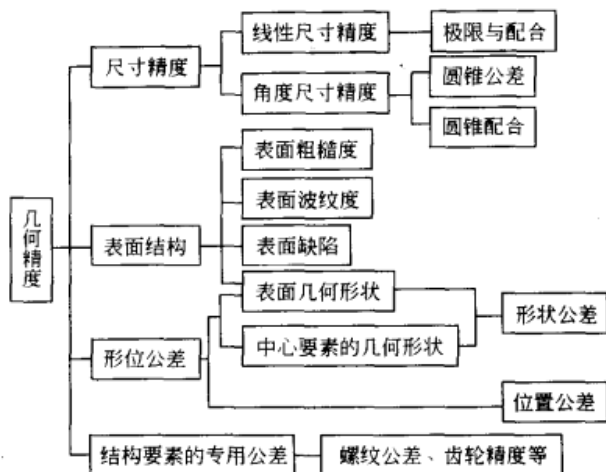


图 2-1-13 几何精度分类

## ⑤ 其他要求。

标准中较为具体地提出了如下九个方面的一般内容。

- ① 对材料、毛坯、热处理的要求（如电磁参数、化学成分、湿度、硬度、金相要求等）。
- ② 视图中难以表达的尺寸公差、形状和表面粗糙度等。
- ③ 对有关结构要素的统一要求（如圆角、倒角、尺寸等）。
- ④ 对零、部件表面质量的要求（如涂层、镀层、喷丸等）。
- ⑤ 对间隙、过盈及个别结构要素的特殊要求。
- ⑥ 对校准、调整及密封的要求。
- ⑦ 对产品、零、部件的性能和质量的要求（如噪声、抗振性、自动、制动及安全等）。
- ⑧ 试验条件和方法。
- ⑨ 其他说明。

以上是在产品、零件、部件的图样中给出技术要求时，一般应考虑的几个方面，对于每一个图样代号的零件图或装配图，上述九个方面并非都是必备的，应根据表达对象各自的具体情况提出必要的技术要求。

## (2) 技术要求的给出方式

① 标准化了的几何精度要求一般注写在图形上。对某些要素有特殊要求时，可用指引线引出，并在其基准线上注写简要的说明。

② 在标题栏附近；以“技术要求”为标题，逐条书写文字说明。

③ 以企业的形式给定技术要求。有条件统一的技术要求可制定企业的《通用技术条件》等。

④ 也可由企业总工程师签发企业标准以外的其他形式的技术文件，明令贯彻实施某种技术要求。

## (3) “技术要求”的书写

这里的“技术要求”是指书写在标题栏附近的，以“技术要求”为标题的条文性文字说明。书写技术要求时应注意以下几点。

① 对“技术要求”的标题及条文的书写位置，JB/T 5054.2 中明确规定：应“尽量置于标题栏上方或左方”。切忌将技术要求书写在远离标题栏处。不要将对于结构要素的统一要求（如“全部倒角 C1”）书写在图样右上角。

② 文字说明应以“技术要求”为标题，仅一条时不必编号，但不得省略标题。不得以“注”代替“技术要求”；更不允许将“技术要求”写成“技术条件”。“技术要求”仅是“技术条件”中的一部分。

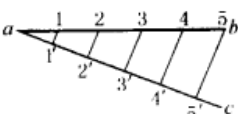
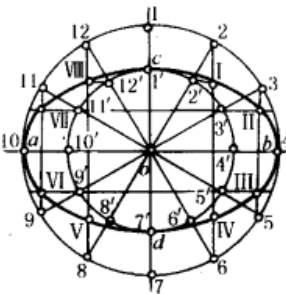
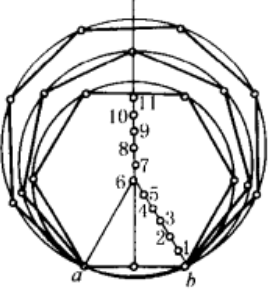
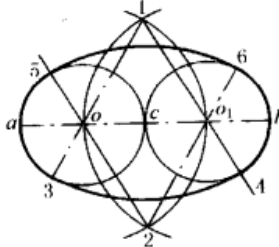
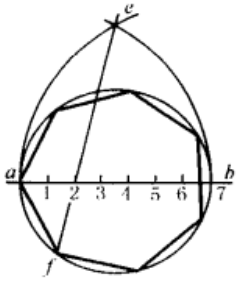
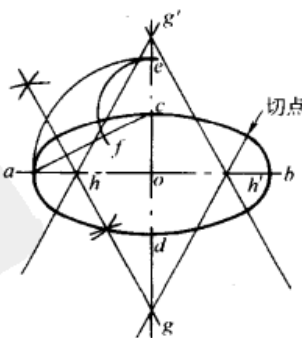
③ 条文用语应力求简明、规范，在装配图中，当表述涉及零、部件时，可用其序号或代号（图样代号）代替。

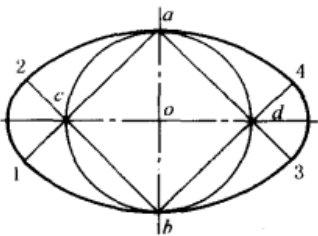
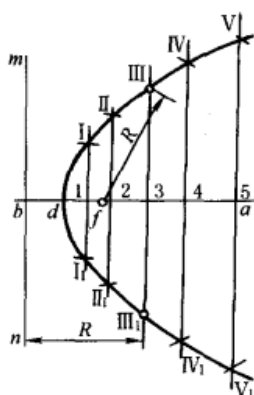
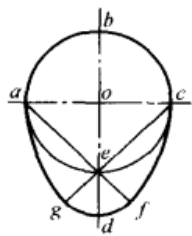
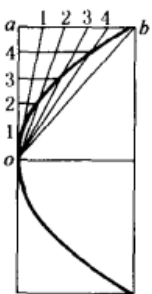
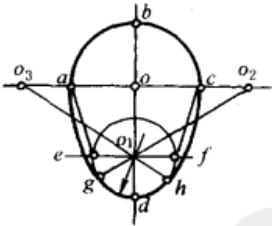
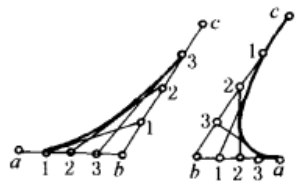
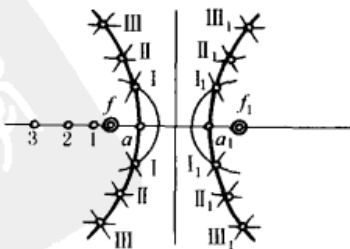
④ 对于尺寸公差和形位公差的未注公差的具体要求应在技术要求中予以明确。

⑤ 引用上级标准或企业标准时，应给出完整的标准编号和标准名称。

## 19 常用几何画法<sup>[4]</sup>

表 2-1-30

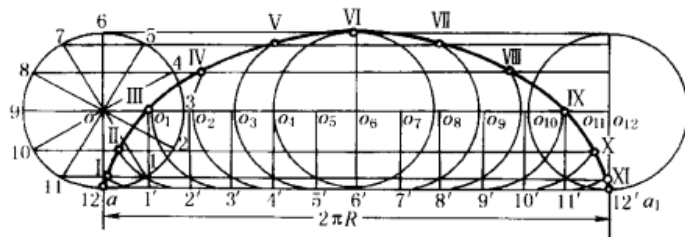
名称	画 法	名称	画 法
任意等分一直线	<p>已知一直线</p> <p>①在已知 <math>ab</math> 线上的 <math>a</math> 点作一直线 <math>ac</math>, 与 <math>ab</math> 成任一角度(最好为 <math>20^\circ \sim 40^\circ</math>)</p> <p>②由 <math>a</math> 点起在 <math>ac</math> 线上截取所求的等份(如 5 等份)得 <math>1', 2', 3', 4', 5'</math> 各点</p> <p>③连接 <math>b5'</math>, 通过 <math>4', 3', 2', 1'</math> 各点作 <math>b5'</math> 的平行线, 则在 <math>ab</math> 上所截的各点把 <math>ab</math> 分为 5 等份</p> 	椭圆	<p>已知长、短轴</p> <p>①以 <math>o</math> 为圆心, 长、短轴之半各为半径, 画两个同心圆</p> <p>②把外圆分成若干等份(如 12 等份), 得到 1、2、3、...、12 各点</p> <p>③把上述 12 个点分别同心相连, 使内圆也分成 12 等份, 得 <math>1', 2', 3', \dots, 12'</math> 各点</p> <p>④外圆上各点向内作直线平行于短轴 <math>cd</math>, 内圆上各点作直线平行于长轴 <math>ab</math>, 并与外圆各点作的直线相交, 得 I、II、...、VIII 各点</p> <p>⑤光滑连接 I、II、...、VIII 各点, 即得椭圆</p> 
任意正多边形	<p>已知一边</p> <p>①以已知边 <math>ab</math> 线上 <math>a</math> 点或 <math>b</math> 点为圆心, <math>ab</math> 为半径画一段圆弧同 <math>ab</math> 的垂直二等分线交于点 6</p> <p>②把 <math>b6</math> 边分成 6 等份, 得 1、2、3、4、5、6 各点。从点 6 起沿垂直线用 <math>b6</math> 线上 1 等份(如 <math>b1</math>) 的长度向上截取 7、8、9、10、11 各点</p> <p>③如要作正六边形, 则以点 6 为圆心, <math>a6</math> 为半径画圆; 如作正七边形, 则以点 7 为圆心, <math>a7</math> 为半径画圆, 以此类推</p> <p>④用 <math>ab</math> 长等分圆周, 连各等分点, 即为所求正多边形</p> 	扁圆	<p>已知长轴</p> <p>①把长轴 <math>ab</math> 分成 4 等份, 得 <math>ao, oc, co_1, o_1b</math></p> <p>②以 <math>o</math> 和 <math>o_1</math> 为圆心, <math>oo_1</math> 为半径各画两段圆弧, 得交点 1、2</p> <p>③连接 <math>o1, o_11, o2, o_12</math> 并延长, 同用 <math>o</math> 和 <math>o_1</math> 为圆心, 用 <math>ao</math> 为半径所画两个圆相交, 得 3、4、5、6 四点</p> <p>④以 1、2 为圆心, 2-5 (或 1-6) 为半径画圆弧, 同已画好的两圆的一部分圆周相接, 即得扁圆</p> 
已知一个圆	<p>①在已知圆内作直径 <math>ab</math></p> <p>②把 <math>ab</math> 等分成所求多边形的边数(图中分成 7 等份)</p> <p>③分别以 <math>a, b</math> 为圆心, <math>ab</math> 长为半径画圆弧交于 <math>e</math></p> <p>④连接 <math>e2</math>, 并延长交圆周于 <math>f</math> (作任意多边形都要通过点 2)</p> <p>⑤用 <math>af</math> 长等分圆周, 连各等分点, 即为所求圆内接正多边形</p> 	椭圆	<p>已知长、短轴</p> <p>①连接 <math>ac</math>, 以 <math>o</math> 为圆心, <math>oa</math> 为半径画圆弧, 与 <math>oc</math> 的延长线相交于 <math>e</math></p> <p>②以 <math>c</math> 为圆心, <math>ce</math> 为半径画圆弧与 <math>ac</math> 相交于 <math>f</math></p> <p>③画 <math>af</math> 的垂直二等分线与长轴相交于 <math>h</math>, 并与 <math>cd</math> 的延长线相交于 <math>g</math></p> <p>④利用对称性求出 <math>g', h'</math></p> <p>⑤以 <math>g, g'</math> 为圆心, <math>gc (= g'd)</math> 为半径分别画切点间的圆弧。再以 <math>h, h'</math> 为圆心, <math>ah (= bh')</math> 为半径分别画圆弧, 在切点与前两段圆弧相切地连起, 即得扁圆</p> 

名称	画法	名称	画法
扁圆 已知短轴	<p>①用已知短轴 <math>ab</math> 为直径画圆                      ②以 <math>ab</math> 为垂直中心线,画水平方向中心线,同圆周相交于 <math>c, d</math>                      ③连接 <math>ac, bc, ad, bd</math> 并延长,以 <math>a, b</math> 为圆心, <math>ab</math> 为半径各画圆弧,同四条延长线相交得 1, 2, 3, 4 各点                      ④以 <math>c, d</math> 为圆心, <math>c1</math> (或 <math>d3</math>) 为半径画圆弧,同已画好的两圆弧相接,即得扁圆</p> 	已知准线和焦点	<p>①通过焦点 <math>f</math> 作垂直于准线 <math>mn</math> 的轴线,与 <math>mn</math> 相交于 <math>b</math>                      ②等分 <math>bf</math> 得中点 <math>d</math>,则点 <math>d</math> 就是抛物线的顶点                      ③从点 <math>d</math> 沿焦点方向取任一数目的点,如 1, 2, 3 等,并通过这些点作 <math>mn</math> 的平行线                      ④以 <math>f</math> 为圆心, <math>b1, b2, b3</math> 等为半径画圆弧与上述的平行线相交于 <math>I, I_1, II, II_1, III, III_1</math> 等                      ⑤把所得各交点光滑连接即为抛物线</p> 
卵圆 已知宽度	<p>①以已知宽度 <math>ac</math> 的中点 <math>o</math> 为圆心, <math>oa</math> 为半径画圆,同垂直中心线相交于 <math>e</math>                      ②连接 <math>ae, ce</math> 并延长,以 <math>a, c</math> 为圆心, <math>ac</math> 为半径各画一圆弧同延长线相交于 <math>f, g</math>                      ③以 <math>e</math> 为圆心, <math>ef</math> 为半径画圆弧,即得卵圆</p> 	抛物线 已知抛物线宽和高	<p>①把 <math>oa</math> 和 <math>ab</math> 等分成相等数目的各点                      ②过 <math>ab</math> 上各点画线,分别与 <math>o</math> 点相连,这些线和 <math>oa</math> 上各相当点所画同轴线平行的线相交,并用同样方法求出抛物线下部各交点                      ③光滑连接各交点,即得抛物线</p> 
圆 已知长度和宽度	<p>①画相互垂直的直线相交于 <math>o</math>                      ②以 <math>o</math> 为圆心,宽度 <math>ac</math> 为直径画半圆 <math>abc</math>,在点 <math>b</math> 沿垂直线截取卵圆长度 <math>bd</math> 得点 <math>d</math>,在 <math>bd</math> 线上截 <math>do_1</math> 并小于 <math>ac</math> 的一半                      ③以 <math>o_1</math> 为圆心, <math>do_1</math> 为半径画圆,并作直径 <math>ef</math> 平行于 <math>ac</math>,连接 <math>ae, cf</math> 并延长,同 <math>o_1</math> 圆相交于 <math>g, h</math>,连接 <math>go_1, ho_1</math> 并延长,同 <math>ac</math> 相交于 <math>o_2, o_3</math>                      ④以 <math>o_2, o_3</math> 为圆心, <math>o_2g = o_3h</math> 为半径,从 <math>a</math> 到 <math>g</math> (亦从 <math>c</math> 到 <math>h</math>) 画圆弧,即得卵圆</p> 	已知任意角(钝角或锐角)	<p>①把角两边分为相同数量的等份,按图上依次记入各等分点的数字,如 1, 2, 3 等                      ②用直线连接同号数的点,即点 1 连点 1, 点 2 连点 2……                      ③从点 <math>c</math> 到点 <math>a</math> 画曲线同所有的直线段相切,所得曲线就是 <math>abc</math> 角两边相切于 <math>a, c</math> 两点的抛物线</p> 
画 法			
双曲线 已知双曲线顶点间和焦点间距离	<p>①沿着轴线,在焦点 <math>f</math> 的左面,任意截取 1, 2, 3 等各点。离开焦点愈远,截点间隔应愈大                      ②以焦点 <math>f</math> 和 <math>f_1</math> 为圆心,分别用 <math>a1</math> 和 <math>a_11</math> 为半径各作两圆弧,其交点 <math>I, I</math> 和 <math>I_1, I_1</math> 就是双曲线上的点                      ③用同样方法,求出交点 <math>II, II</math> 和 <math>II_1, II_1, III, III</math> 和 <math>III_1, III_1</math> 等点                      ④光滑连接上述各交点,即为双曲线</p>		

名称 画 法

已知长转圆普通半径摆线和导

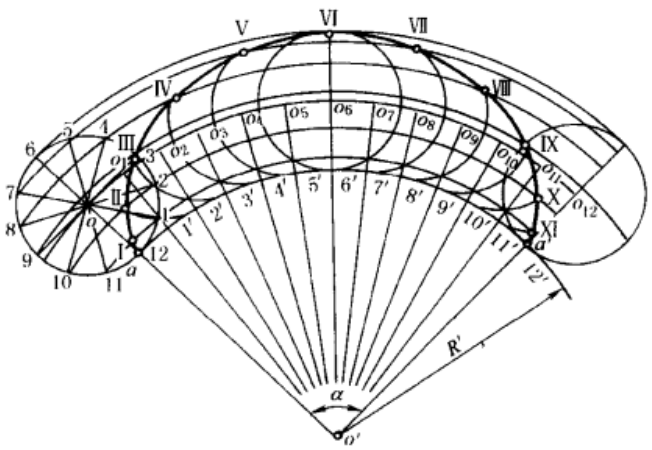
- ①以  $o$  为圆心,  $R$  为半径作转圆, 同导线  $aa_1$  相切于点  $a$
- ②从点  $a$  起分圆周成适当等份(图中为 12 等份)得分点  $1, 2, 3, \dots, 12$
- ③在导线上截取  $aa_1$  等于圆周长度, 把  $aa_1$  分成 12 等份, 得分点  $1', 2', 3', \dots, 12'$
- ④通过转圆圆心  $o$ , 作导线的平行线  $oo_{12}$ , 并从导线上各分点  $1', 2', 3', \dots, 12'$  作导线的垂直线, 同直线  $oo_{12}$  交于  $o_1, o_2, \dots, o_{12}$  点, 在转圆上各分点作导线的平行线
- ⑤以  $o_1$  为圆心,  $R$  为半径, 画圆弧同经过点  $1$  所作导线的平行线相交在点  $I$ , 用同样方法, 可求得  $II, III, IV, \dots, XI$  各点, 光滑连接, 即为普通摆线



摆

已知转圆半径和导圆半径画外摆线

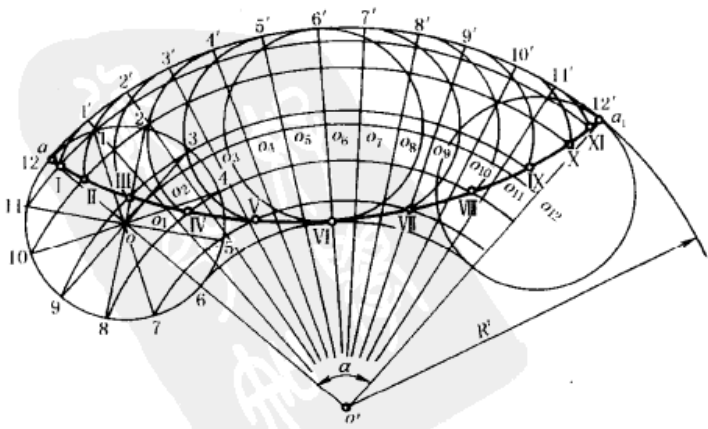
- ①以  $o'$  为圆心,  $R'$  为半径画导圆圆弧。并在圆弧上任取一点  $a$ , 连接  $o'a$  并延长, 截取  $oa = R$  (转圆半径)
- ②以  $o$  为圆心,  $R$  为半径画转圆
- ③从点  $a$  起把转圆圆周分成适当等份(图中为 12 等份), 得分点  $1, 2, 3, \dots, 12$
- ④画  $o'$  的中心角, 使  $\alpha = \frac{R}{R'} \times 360^\circ$ , 得到导圆弧  $\widehat{aa'}$ , 把  $\widehat{aa'}$  分成 12 等份, 得分点  $1', 2', 3', \dots, 12'$
- ⑤将点  $o'$  同各分点  $1', 2', 3', \dots, 12'$  相连接成直线并延长。以  $o'$  为圆心,  $oo' = R' + R$  为半径画圆弧, 同各延长线相交在点  $o_1, o_2, o_3, \dots, o_{12}$
- ⑥以  $o'$  为圆心, 作通过转圆上各分点的辅助圆弧。以  $o_1$  为圆心,  $R$  为半径画圆弧, 同通过点  $1$  的辅助圆弧相交在点  $I$ ; 以  $o_2$  为圆心,  $R$  为半径画圆弧同通过点  $2$  的辅助圆相交在点  $II$ , 用同样方法, 求得  $III, IV, V, \dots, XI$  各点, 光滑连接, 即为外摆线

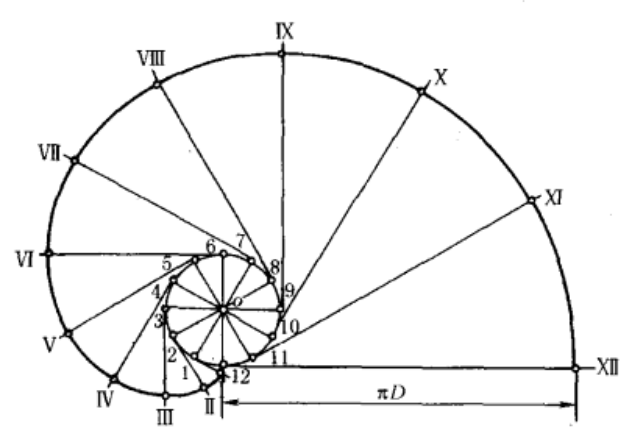
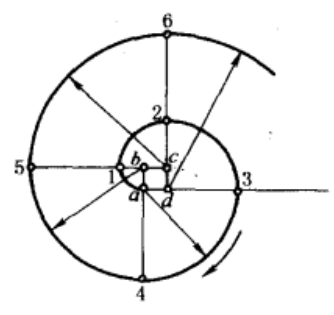
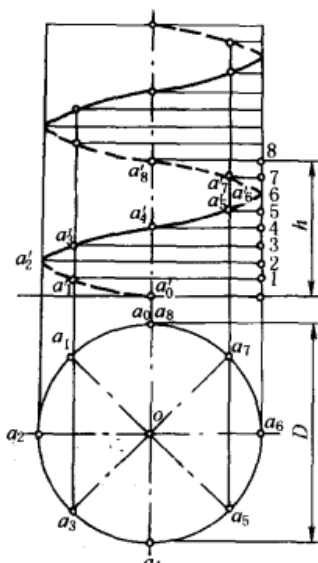
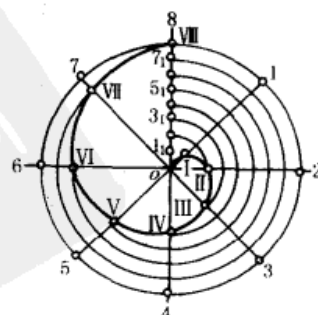


线

已知转圆半径和导圆半径画内摆线

- 与外摆线相仿, 只是取转圆各位置的圆心  $o_1, o_2, o_3, \dots, o_{12}$  时, 是以  $o'$  为圆心,  $oo' = R' - R$  为半径画圆弧来求得。其余作法均同外摆线

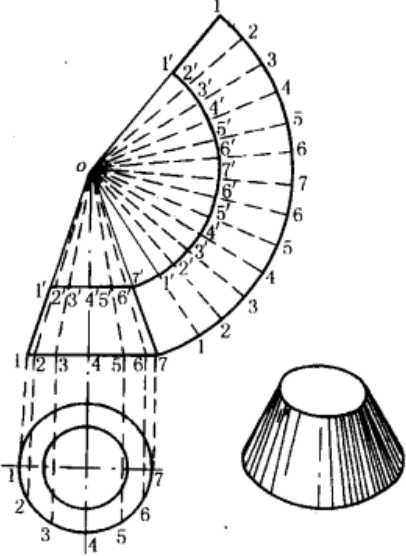
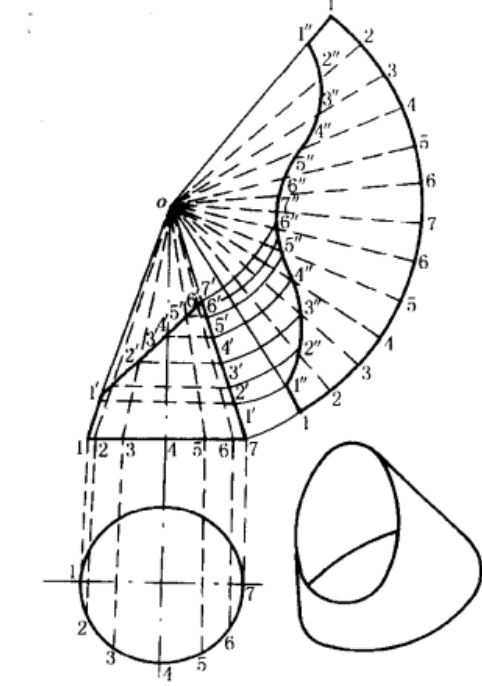


名称	画法	
渐开一个圆线	<p>①在已知圆的圆周上分成适当等份(图中为12等份),并把各分点同圆心<math>o</math>相连</p> <p>②用各分点作切点,画圆的切线</p> <p>③在切点1的切线上,截取一段等于圆弧1-12(可近似地采用1-12弦长)的长度,得到点I;再在切点2的切线上截取等于圆弧2-12(可近似地采用2倍的1-12弦长)得到点II</p> <p>④依上述方法,得到III、IV、...、XII各点,光滑连接,即为圆的渐开线</p> 	<p>①以已知正方形一边的点<math>b</math>为圆心,<math>ab</math>为半径,从<math>a</math>点起画1/4圆周得到点1</p> <p>②以<math>c</math>为圆心,<math>c1</math>为半径,从点1起画1/4圆周得到点2</p> <p>③顺序用<math>d, a, b, \dots</math>为圆心,<math>d2, a3, b4, \dots</math>为半径分别画1/4圆周,直到所需的曲线为止</p> 
正弦曲线	<p>①按已知圆柱的尺寸画两个视图——主视图、俯视图</p> <p>②在主视图上把已知导程<math>h</math>等分成适当等份(图中为8等份),把俯视图也分成相同的等份,并在两视图上分别注上等份符号</p> <p>③从主视图上各分点1、2、3、...、8画水平线,从俯视图上各相当的等分点<math>a_1, a_2, a_3, \dots, a_8</math>画垂直线,其交点<math>a'_1, a'_2, \dots, a'_8</math>就是正弦曲线的各点,光滑连接,即为正弦曲线</p>	
阿基米德螺旋线	画 法	
已知一个圆	<p>①把已知圆分成适当等份(图中为8等份)得1、2、...、8各点</p> <p>②画出各等分点的半径线。把一个半径如<math>o8</math>分成同圆周相同的等份数,从圆心开始,注上数字1、2、...、7</p> <p>③以<math>o</math>为圆心,<math>o1_1</math>为半径画圆弧,同<math>o1</math>交在点I; <math>o2_1</math>为半径画圆弧,同<math>o2</math>交在点II,用同样方法可求得III、IV、...、VIII各点,光滑连接,即得阿基米德螺旋线</p>	



## 20 展开图画法

表 2-1-31

名称	画	法
大小圆管过渡接头	<p>①用已知尺寸画出主视图和俯视图</p> <p>②12等分俯视图圆周标记1、2、3、…、7各点,并投影到主视图底线得相应的1、2、3、…、7各点,各点与锥体顶点<math>o</math>相连</p> <p>③以<math>o</math>为圆心,<math>o1</math>为半径作圆弧1-1,使弧长等于底圆周长,展开图上各弧长1-2、2-3、3-4等分别等于俯视图上的圆弧长1-2、2-3、3-4等(在一般情况下可以用弦长代替弧长直接量取,因此适当地提高圆周等分数可提高展开图的准确性),并与<math>o</math>点相连</p> <p>④以<math>o</math>为圆心,<math>o1'</math>为半径作圆弧1'-1',即得所求的展开图</p>	
	顶部斜截的正圆锥	

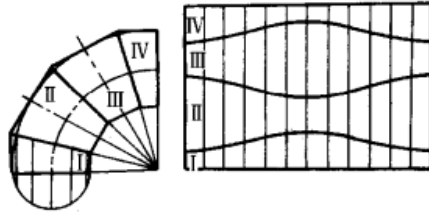
名称

画

法

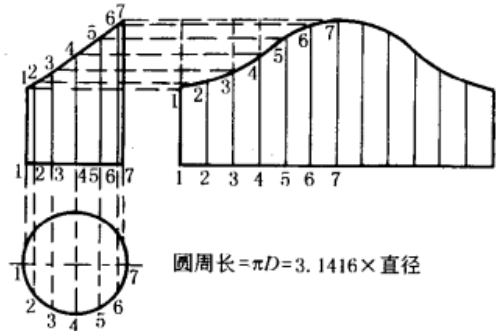
是一段圆环不可展曲面。其近似展开图可用若干节圆柱面的展开图代替。一般每节进出口之间的角度宜大于 $10^\circ$

圆筒弯管(虾米弯)



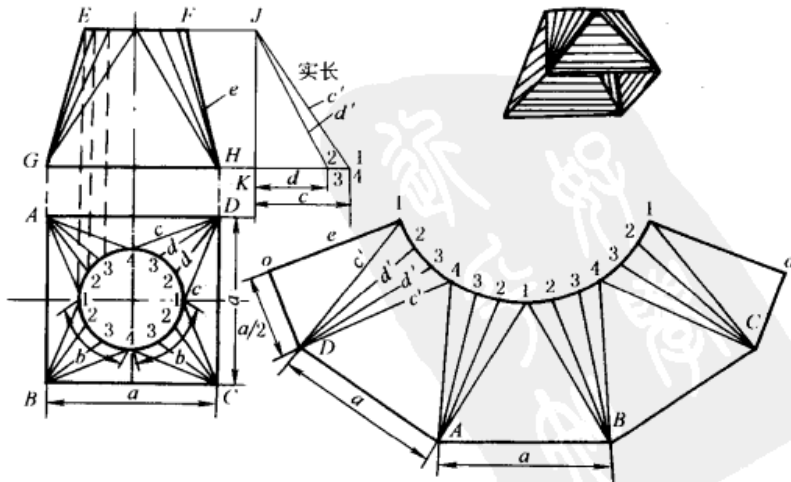
斜口圆筒

- ①用已知尺寸画出主视图和俯视图
- ②12等分俯视图圆周,在主视图上作出从等分点引出的与轴线平行的平行线 1-1、2-2、3-3、...、7-7
- ③作一直线段使其长度等于圆筒的圆周长,并分成12等份,自等分点作垂线,在各垂线上分别截取 1-1、2-2、3-3、...、7-7,使它们的长度与主视图上的 1-1、2-2、3-3、...、7-7 相等。光滑连接 1、2、3、...、7 各点,即得所求的展开图



- ①用已知尺寸画出主视图和俯视图
- ②12等分俯视图圆周,标记 1、2、3、4 各点,并分别与 A、B、C、D 连接
- ③求  $D_1$ 、 $D_2$  等展开线实长:在主视图中上下两边的延长线上作垂线 JK,取  $K-1(4)$  等于  $c$ ,  $K-2(3)$  等于  $d$ ,连  $J-1(4)$ 、 $J-2(3)$  即为实长  $c'$ 、 $d'$
- ④取水平线 AB 等于  $a$ ,分别以 A、B 为圆心,以  $c'$  为半径作弧交于 1。以 A 为圆心,  $d'$  为半径作弧,与以 1 为圆心,俯视图中 1-2 为半径作弧交于 2。同法得 3、4 点。以 4 为圆心,  $c'$  为半径作弧与以 A 为圆心,以  $a$  为半径作弧交于 D。又以同法得 3、2、1 各点。以 1 为圆心,主视图中  $e$  为半径作弧,与以 D 为圆心,  $a/2$  为半径作弧交于 o。用同样方法得出与之对称的展开图右边各点。光滑连接各点,即得所求的展开图

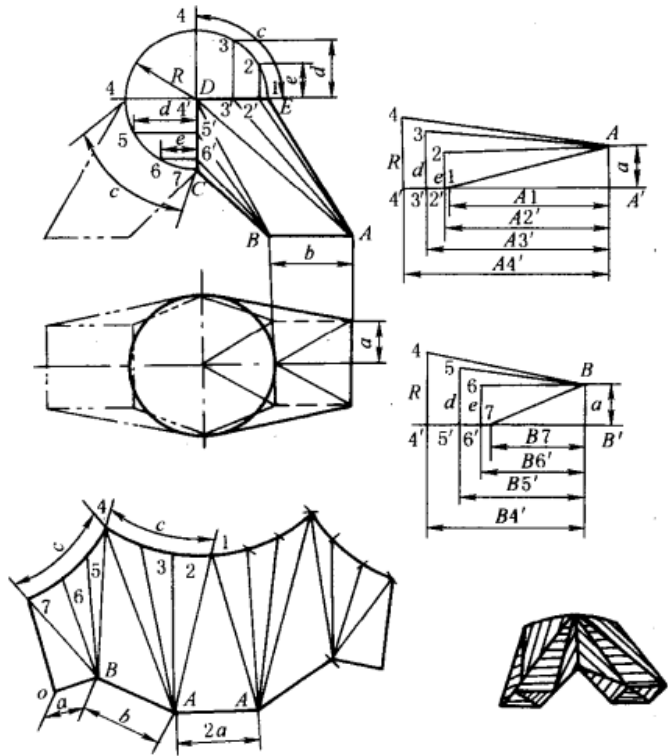
圆顶方底漏斗



名称 画 法

圆顶方底人形管

①用已知尺寸画出主视图和俯视图  
 ②设  $CD$  等于  $DE$ 。以  $D$  为圆心,  $DE$  为半径作  $3/4$  圆得  $E-4-4-C$  圆弧。三等分  $\widehat{E4}$ 、 $\widehat{4C}$  得等分点 1、2、3、...、7。分别向  $DE$ 、 $CD$  作垂线得  $2'$ 、 $3'$  和  $5'$ 、 $6'$ 。连接  $A$  与  $2'$ 、 $3'$ 、 $4'$ 、 $B$  与  $4'$ 、 $5'$ 、 $6'$   
 ③求  $A_1$ 、 $A_2'$ 、 $A_3'$ 、 $A_4'$ 、 $B_4'$ 、 $B_5'$ 、 $B_6'$ 、 $B_7$  展开线实长:画水平线  $A'4'$ , 在其上分别取长为主视图中的  $A_1$ 、 $A_2'$ 、 $A_3'$ 、 $A_4'$  得各点 1、2、3、4', 由  $A'$ 、 $2'$ 、 $3'$ 、 $4'$  点向上作垂线并依次取长为  $a$ 、 $e$ 、 $d$ 、 $R$  得  $A$ 、 $2$ 、 $3$ 、 $4$ , 连接  $A$  与 1、2、3、4 即得  $A_1$ 、 $A_2'$ 、 $A_3'$ 、 $A_4'$  各线的实长  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ , 同法求出  $B_4'$ 、 $B_5'$ 、 $B_6'$ 、 $B_7$  各线实长  $B_4$ 、 $B_5$ 、 $B_6$ 、 $B_7$   
 ④取  $AA$  为  $2a$ , 以  $A$ 、 $A$  为圆心,  $A_1$  为半径分别作弧交于 1。以 1 为圆心, 主视图中 1-2 为半径作弧, 与以  $A$  为圆心,  $A_2$  为半径作弧交于 2。同法可得 3、4。以 4 为圆心,  $B_4$  为半径作弧与以  $A$  为圆心,  $AB$  为半径作弧交于  $B$ 。以  $B$  为圆心,  $B_5$ 、 $B_6$ 、 $B_7$  为半径画同心圆弧, 与以 4 为圆心, 主视图中等分弧 4-5、5-6、6-7 为半径顺序画弧交于 5、6、7。以 7 为圆心, 主视图中  $BC$  为半径作弧, 与以  $B$  为圆心, 以  $a$  为半径作弧交于  $o$ 。用同样方法得出与之对称的展开图右边各点, 光滑连接各点, 即得所求的展开图



渐开线螺旋面

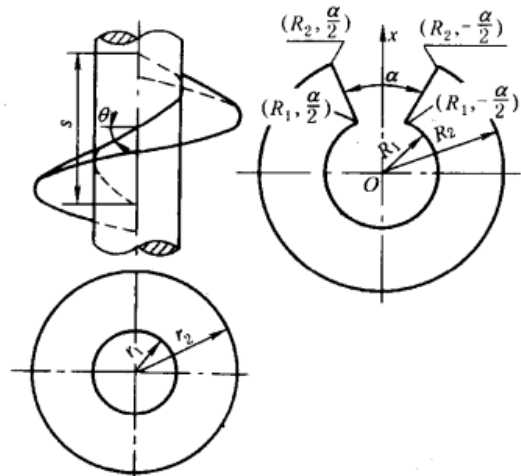
是以其内缘螺旋线为脊线的切线曲面, 用垂直于轴的截平面截它时, 截交线为渐开线, 故称渐开线螺旋面, 是可展曲面。其展开图是半径为  $R_1$  及  $R_2$  的同心圆围成的环形平面, 有圆心角为  $\alpha$  的缺口  

$$\cos\theta = \frac{2\pi r_1}{\sqrt{(2\pi r_1)^2 + s^2}}$$

$$R_1 = \frac{r_1}{\cos^2\theta} = r_1 + \frac{s^2}{4\pi^2 r_1}$$

$$R_2 = \sqrt{\frac{r_2^2 - r_1^2}{\cos^2\theta} + R_1^2}$$

$$\alpha = 2\pi(1 - \cos\theta), \alpha = (1 - \cos\theta) \times 360^\circ$$
 式中  $\theta$  为内缘螺旋线升角,  $r_1$ 、 $r_2$  分别为内、外缘螺旋线半径,  $s$  为内、外缘螺旋线导程



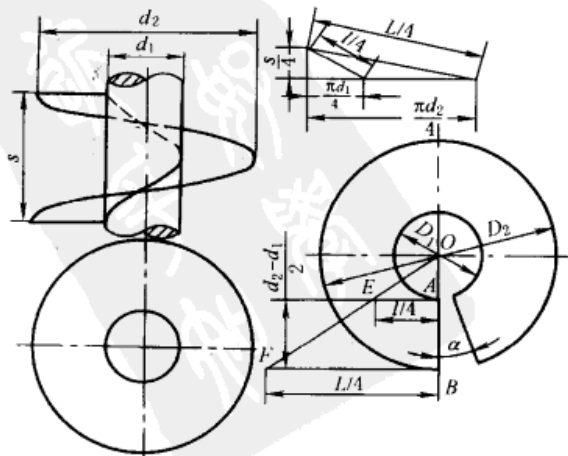
正螺旋面

其近似展开图是一带缺口的环形, 环形的内、外弧长分别等于内、外螺旋线的长度。设正螺旋面内径为  $d_1$ , 外径为  $d_2$ , 导程为  $s$ , 则  

$$D_1 = (d_2 - d_1) \frac{\sqrt{(\pi d_1)^2 + s^2}}{\sqrt{(\pi d_2)^2 + s^2} - \sqrt{(\pi d_1)^2 + s^2}}$$

$$D_2 = D_1 + (d_2 - d_1)$$

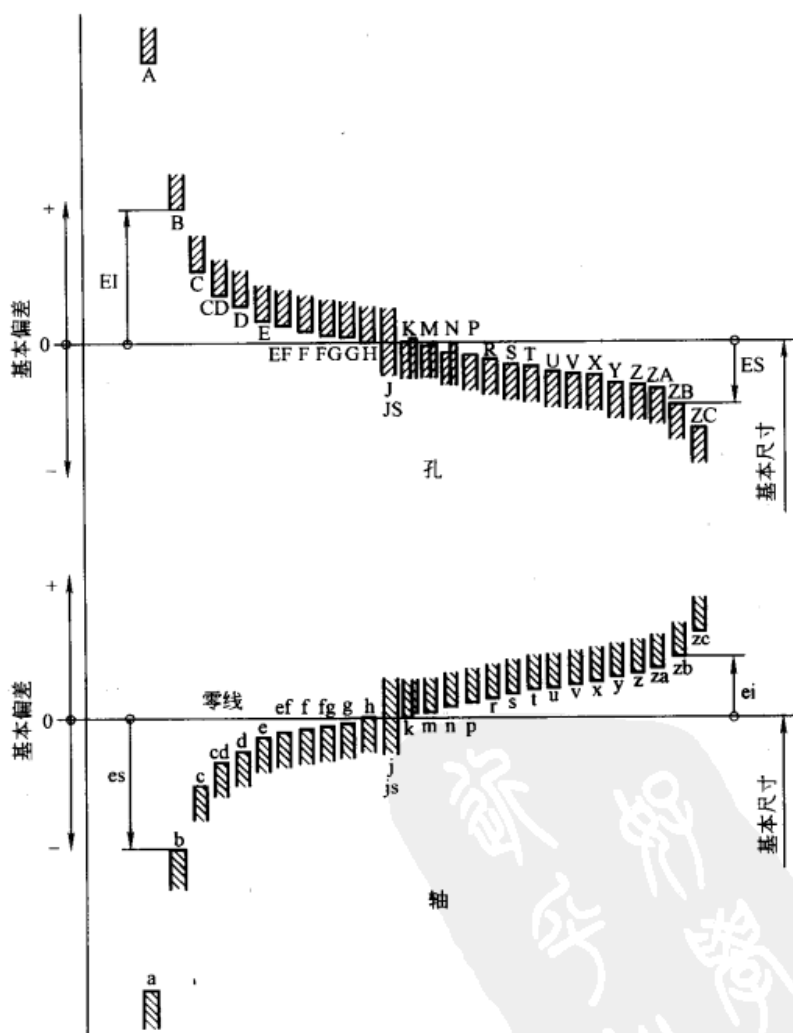
$$\alpha = \left[ \pi D_1 - \sqrt{(\pi d_1)^2 + s^2} \right] \times 360^\circ / (\pi D_1)$$
 作图步骤是: 作竖线段  $AB = \frac{d_2 - d_1}{2}$ , 过  $A$ 、 $B$  作横线  $AE$  和  $BF$ , 分别等于内、外螺旋线的长度 (图中各是该长度的  $1/4$ ), 连  $FE$  交  $BA$  的延长线于  $O$ , 以  $O$  为圆心,  $OA$ 、 $OB$  为半径便可画出此环形



# 第 2 章 极限与配合

## 1 极限与配合基础

### 1.1 术语、定义及标法 (摘自 GB/T 1800.1—1997、GB/T 1800.2—1998)



(a) 基本偏差系列示意图

注: J/j, K/k, M/m 和 N/n 的基本偏差详见图 b。

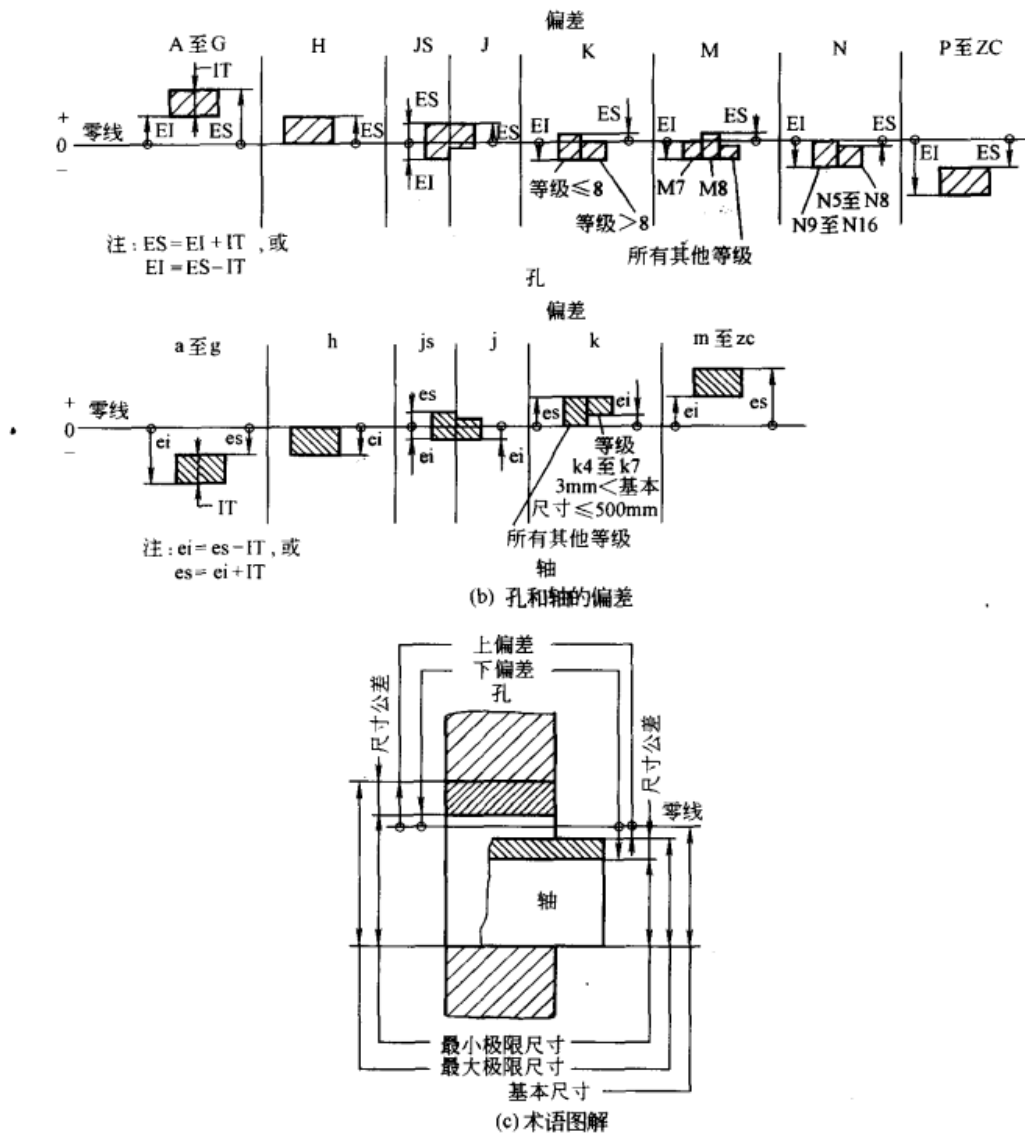
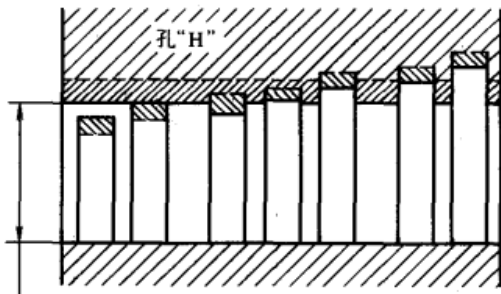
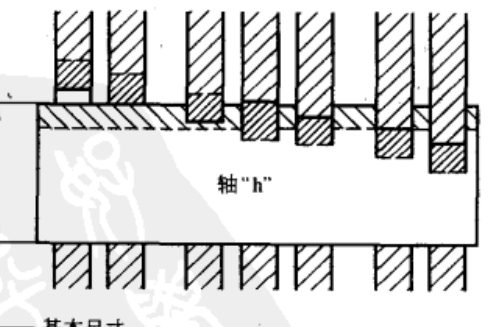


表 2-2-1

术语	定义	术语	定义
基本尺寸	通过它应用上、下偏差可算出极限尺寸的尺寸(图 c)	间隙	孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为正
实际尺寸	通过测量获得的某一孔、轴的尺寸	过盈	孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为负
极限尺寸	一个孔或轴允许的尺寸的两个极端。实际尺寸应位于其中,也可达到极限尺寸	基本偏差	在本标准极限与配合制中,确定公差带相对零线位置的那个极限偏差。它可以是上偏差或下偏差,一般为靠近零线的那个偏差 基本偏差代号,对孔用大写字母 A、…、ZC 表示,对轴用小写字母 a、…、zc 表示(图 a 和图 b),各 28 个。其中,基本偏差 H 代表基准孔;h 代表基准轴
零线	在极限与配合图解中,表示基本尺寸的一条直线,以其为基准确定偏差和公差(图 c) 通常,零线沿水平方向绘制,正偏差位于其上,负偏差位于其下		
偏差	某一尺寸(实际尺寸、极限尺寸等)减其基本尺寸所得的代数差 最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差(孔为 ES,轴为 es);最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差(孔为 EI,轴为 ei)。上、下偏差统称为极限偏差	尺寸公差(简称公差)	最大极限尺寸减最小极限尺寸之差,或上偏差减下偏差之差。它是允许尺寸的变动量。尺寸公差是一个没有符号的绝对值

术语	定义	术语	定义
标准公差与标准公差等级	<p>本标准极限与配合制中,所规定的任一公差称标准公差。在本标准极限与配合制中,同一公差等级(如IT7)对所有基本尺寸的一组公差被认为具有同等精确程度。</p> <p>标准公差等级代号用符号IT和数字表示,如IT7。当其代表基本偏差的字母一起组成公差带时,省略IT字母,如h7。标准公差等级分IT01、IT0、IT1至IT18共20级</p>		<p>基本偏差为一定的孔的公差带,与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度称基孔制配合。对本标准极限与配合制,是孔的最小极限尺寸与基本尺寸相等、孔的下偏差为零的一种配合制(见下图)</p>
公差带	<p>在公差带图解中,由代表上偏差和下偏差或最大极限尺寸和最小极限尺寸的两条直线所限定的一个区域。它由公差大小和其相对零线的位置如基本偏差来确定</p> <p>公差带用基本偏差的字母和公差等级数字表示,如孔公差带H7;轴公差带h7</p>	基孔制配合	 <p>水平实线代表孔或轴的基本偏差;虚线代表另一极限,表示孔和轴之间可能的不同组合与它们的公差等级有关</p>
最大实体极限 (MML)	<p>对应于孔或轴最大实体尺寸的那个极限尺寸,即轴的最大极限尺寸;孔的最小极限尺寸</p> <p>最大实体尺寸是孔或轴具有允许的材料量为最多时状态下的极限尺寸</p>		
最小实体极限 (LML)	<p>对应于孔或轴最小实体尺寸的那个极限尺寸,即轴的最小极限尺寸;孔的最大极限尺寸</p> <p>最小实体尺寸是孔或轴具有允许的材料量为最少时状态下的极限尺寸</p>		
配合及配合公差	<p>基本尺寸相同的,相互结合的孔和轴公差带之间的关系称配合。配合有基孔制和基轴制,分间隙配合、过渡配合和过盈配合三类。属于哪一类配合,取决于孔、轴公差带的相互关系</p> <p>组成配合的孔、轴公差之和称配合公差。它是允许间隙或过盈的变动量</p> <p>配合公差是一个没有符号的绝对值</p>	基轴制配合	<p>基本偏差为一定的轴的公差带,与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度称基轴制配合。对本标准极限与配合制,是轴的最大极限尺寸与基本尺寸相等、轴的上偏差为零的一种配合制(见下图)</p>  <p>水平实线代表孔或轴的基本偏差;虚线代表另一极限,表示孔和轴之间可能的不同组合与它们的公差等级有关</p>
注公差尺寸的表示	<p>注公差尺寸用基本尺寸后跟所要求的公差带或(和)对应的偏差值表示,如 32H7、80js15、100g6、<math>100_{-0.034}^{-0.012}</math>、<math>100g6_{-0.034}^{-0.012}</math></p>		
配合的表示	<p>配合用相同的基本尺寸后跟孔、轴公差带表示。孔、轴公差带写成分数形式,分子为孔公差带,分母为轴公差带,如 52H7/g6 或 <math>52 \frac{H7}{g6}</math></p>		

## 1.2 标准公差数值表 (摘自 GB/T 1800.3—1998)

表 2-2-2 标准公差数值

基本尺寸 /mm		标准公差等级																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm											mm						
—	3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3	6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7
500	630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0.7	1.1	1.75	2.8	4.4	7	11
630	800	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0.8	1.25	2	3.2	5	8	12.5
800	1000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0.9	1.4	2.3	3.6	5.6	9	14
1000	1250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.6	4.2	6.6	10.5	16.5
1250	1600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.1	5	7.8	12.5	19.5
1600	2000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1.5	2.3	3.7	6	9.2	15	23
2000	2500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1.75	2.8	4.4	7	11	17.5	28
2500	3150	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2.1	3.3	5.4	8.6	13.5	21	33

注: 1. 基本尺寸大于 500mm 的 IT1 至 IT5 的标准公差数值为试行的。

2. 基本尺寸小于或等于 1mm 时, 无 IT14 至 IT18。

表 2-2-3 IT01 和 IT0 的标准公差数值

基本尺寸 /mm		标准公差等级		基本尺寸 /mm		标准公差等级	
		IT01	IT0			IT01	IT0
大于	至	公差/μm		大于	至	公差/μm	
—	3	0.3	0.5	80	120	1	1.5
3	6	0.4	0.6	120	180	1.2	2
6	10	0.4	0.6	180	250	2	3
10	18	0.5	0.8	250	315	2.5	4
18	30	0.6	1	315	400	3	5
30	50	0.6	1	400	500	4	6
50	80	0.8	1.2				

## 2 公差与配合的选择

### 2.1 基准制的选择

选择基准制时，应从结构、工艺和经济性等方面来分析确定。

① 在常用尺寸范围（500mm 以内），一般应优先选用基孔制。这样可以减少刀具、量具的数量，比较经济合理。

② 基轴制通常用于下列情况。

a. 所用配合的公差等级要求不高（一般为 IT8 或更低）或直接用冷拉棒料（一般尺寸不太大）制作轴，又不需加工。

b. 如图 2-2-1 所示的结构，活塞销和活塞销孔要求为过渡配合，而销与连杆小头衬套内孔为间隙配合。如采用基孔制，活塞销应加工成阶梯轴，这会给加工、装配带来困难，而且使强度降低；而采用基轴制，则无此弊，活塞销可加工成光轴，连杆衬套孔做大一些很方便。

c. 在同一基本尺寸的各个部分需要装上不同配合的零件。

③ 与标准件配合时，基准制的选择通常依标准件而定。例如，与滚动轴承配合的轴应按基孔制，与滚动轴承外圈配合的孔应按基轴制。

④ 在某些情况下，为了满足配合的特殊需要，允许采用混合配合。即孔和轴都不是基准件，如 M7/f7, K8/d8 等，配合代号没有 H 或 h。混合配合一般用于同一孔（或轴）与几个轴（或孔）组成的配合，对每种配合性质的要求不同，而孔（或轴）又需按基轴制（或基孔制）的某种配合制造的情况。

如图 2-2-2 所示的结构，与滚动轴承相配的轴承座孔必须采用基轴制，如孔用 M7；而端盖与轴承座孔的配合，由于要求经常拆卸，配合要松一些，设计选用最小间隙为零的间隙配合，即采用  $\phi 80M7/f7$  混合配合。若采用 H7/h7，则轴承座孔要加工成微小阶梯，工艺上远不如加工光孔方便、经济。

又如图 2-2-3 所示的与滚动轴承相配合的轴，必须采用基孔制，如轴用 k6；而隔离套的作用只是隔开两个滚动轴承，为使装卸方便，需用间隙配合，且公差等级也可降低，因此采用混合配合  $\phi 60F9/k6$ 。

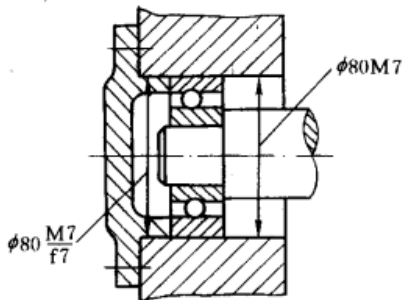


图 2-2-2 一孔与几轴的混合配合

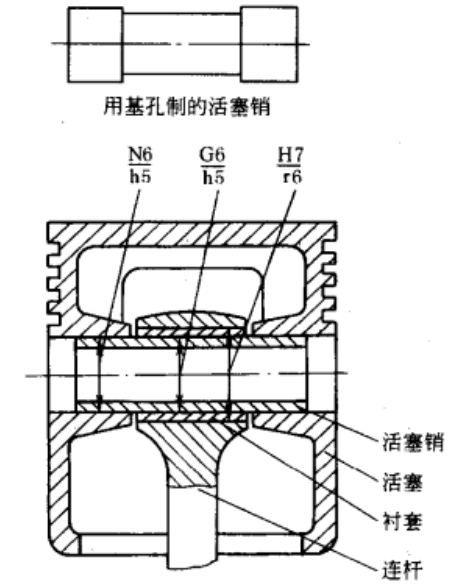


图 2-2-1 活塞销与活塞及连杆的连接

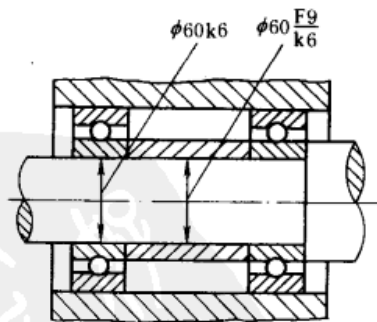


图 2-2-3 一轴与几孔的混合配合

### 2.2 标准公差等级和公差带的选择

#### 2.2.1 标准公差等级的选择

在满足使用要求的前提下，应尽可能选择较低的公差等级，以降低加工成本。公差等级的使用范围和选择可



参考表 2-2-4 及表 2-2-5, 公差等级与加工方法的关系可参考表 2-2-6, 公差等级与成本的关系可参考表 2-2-7、表 2-2-8。

在选择公差等级时, 还应考虑表面粗糙度的要求, 可参考表 2-4-18 ~ 表 2-4-20。

对于基本尺寸小于或等于 500mm 的配合, 当公差等级高于或等于 IT8 时, 推荐选择孔的公差等级比轴低一级; 对于公差等级低于 IT8 或基本尺寸大于 500mm 的配合, 推荐选用同级孔、轴配合。

表 2-2-4 标准公差等级的使用范围

应 用	公 差 等 级 (IT)																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
块规																				
量规																				
配合尺寸																				
特别精密零件的配合																				
非配合尺寸(大制造公差)																				
原材料公差																				

表 2-2-5 标准公差等级的选择

公差等级	应用条件说明	应用举例
IT5	用于机床、发动机和仪表中特别重要的配合, 在配合公差要求很小, 形状精度要求很高的条件下, 这类公差等级能使配合性质比较稳定, 它对加工要求较高, 一般机械制造中较少应用	与 5 级滚动轴承相配的机床箱体孔, 与 6 级滚动轴承孔相配的机床主轴, 精密机械及高速机械的轴径, 机床尾架套筒, 高精度分度盘轴颈, 分度头主轴, 精密丝杠基准轴颈, 高精度镗套的外径, 发动机主轴的外径, 活塞销外径与活塞的配合, 精密仪器的轴与各种传动件轴承的配合, 航空、航海工业仪表中重要的精密孔的配合, 5 级精度齿轮的基准孔及 5 级、6 级精度齿轮的基准轴
IT6	广泛用于机械制造中的重要配合, 配合表面有较高均匀性的要求, 能保证相当高的配合性质, 使用可靠	与 6 级滚动轴承相配的外壳孔及与滚子轴承相配的机床主轴轴颈, 机床制造中, 装配式齿轮、蜗轮、联轴器、带轮、凸轮的孔径, 机床丝杠支承轴颈, 矩形花键的定心直径, 摇臂钻床的立柱等, 机床夹具导向件的外径尺寸, 精密仪器、光学仪器、计量仪器的精密轴, 无线电工业、自动化仪表、电子仪器、邮电机械中特别重要的轴, 以及手表中特别重要的轴, 医疗器械中牙科车头、中心齿轮及 X 射线机齿轮箱的精密轴等, 缝纫机中重要轴类, 发动机的汽缸外套外径, 曲轴主轴颈, 活塞销, 连杆衬套, 连杆和轴瓦外径等, 6 级精度齿轮的基准孔和 7 级、8 级精度齿轮的基准轴径, 以及 1 级、2 级精度齿轮顶圆直径
IT7	应用条件与 IT6 相类似, 但精度要求可比 IT6 稍低一些, 在一般机械制造业中应用相当普遍	机械制造中装配式青铜蜗轮轮缘孔径, 联轴器、带轮、凸轮等的孔径, 机床卡盘座孔、摇臂钻床的摇臂孔、车床丝杠轴承孔等, 机床夹头导件的内孔, 发动机的连杆孔、活塞孔、铰制螺栓定位孔等, 纺织机械的重要零件, 印染机械中要求较高的零件, 手表的离合杆压簧等, 自动化仪表中的重要内孔, 缝纫机的重要轴内孔零件, 邮电机械中重要零件的内孔, 7 级、8 级精度齿轮的基准孔和 9 级、10 级精度齿轮的基准轴

续表

公差等级	应用条件说明	应用举例
IT8	在机械制造中属中等精度,在仪器、仪表及钟表制造中,由于基本尺寸较小,所以较高精度范畴配合确定性要求不太高时,应用较多的一个等级,尤其是在农业机械、纺织机械、印染机械、自行车、缝纫机、医疗器械中应用最广	轴承座衬套沿宽度方向的尺寸配合,手表中跨齿轮、棘爪拨针轮等与夹板的配合,无线电仪表工业中的一般配合,电子仪器仪表中较重要的内孔,计算机中变数齿轮孔和轴的配合,医疗器械中牙科车头的钻头套的孔与车针柄部的配合,电机制造业中铁芯与机座的配合,发动机活塞油环槽宽,连杆轴瓦内径,低精度(9~12级精度)齿轮的基准孔和11级、12级精度齿轮的基准轴,6~8级精度齿轮的顶圆
IT9	应用条件与IT8相类似,但精度要求低于IT8	机床制造中轴套外径与孔、操作件与轴、空转带轮与轴、操纵系统的轴与轴承等的配合,纺织机械、印染机械中的一般配合零件,发动机中机油泵体内孔、气门导管内孔、飞轮与飞轮套圈衬套、混合气预热阀轴、汽缸盖孔径、活塞槽环的配合等,光学仪器、自动化仪表中的一般配合,手表中要求较高零件的未注公差尺寸的配合,单键连接中键宽配合尺寸,打字机中的运动件配合等
IT10	应用条件与IT9相类似,但精度要求低于IT9	电子仪器仪表中支架上的配合,打字机中铆合件的配合尺寸,闹钟机构中的中心管与前夹板,轴套与轴,手表中尺寸小于18mm时要求一般的未注公差尺寸及大于18mm要求较高的未注公差尺寸,发动机中油封挡圈孔与曲轴带轮毂
IT11	配合精度要求较粗糙,装配后可能有较大的间隙,特别适用于要求间隙较大且有显著变动而不会引起危险的场合	机床上法兰盘止口与孔、滑块与滑移齿轮、凹槽等,农业机械、机车车厢部件及冲压加工的配合零件,钟表制造中不重要的零件,手表制造用的工具及设备中的未注公差尺寸,纺织机械中较粗糙的活动配合,印染机械中要求较低的配合,医疗器械中手术刀片的配合,磨床制造中的螺纹连接及粗糙的动连接,不作测量基准用的齿轮顶圆直径公差
IT12	配合精度要求很粗糙,装配后有很大的间隙	非配合尺寸及工序间尺寸,发动机分离杆,手表制造中工艺装备的未注公差尺寸,计算机行业切削加工中未注公差尺寸的极限偏差,医疗器械中手术刀柄的配合,机床制造中扳手孔与扳手座的连接
IT13	应用条件与IT12相类似	非配合尺寸及工序间尺寸,计算机、打字机中切削加工零件及圆片孔、两孔中心距的未注公差尺寸
IT14	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸	机床、汽车、拖拉机、冶金矿山、石油化工、电机、电器、仪器、仪表、造船、航空、医疗器械、钟表、自行车、造纸、纺织机械等工业中未注公差尺寸的切削加工零件
IT15	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸	冲压件、木模铸造零件、重型机床中尺寸大于3150mm的未注公差尺寸
IT16	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸	打字机中浇铸件尺寸,无线电制造中箱体外形尺寸,压弯延伸加工用尺寸,纺织机械中木制零件及塑料零件尺寸公差,木模制造和自由锻造时用
IT17	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸	塑料成型尺寸公差,医疗器械中的一般外形尺寸公差
IT18	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸	冷作、焊接尺寸用公差

表 2-2-6

各种加工方法所能达到的公差等级

加工方法	公差等级 (IT)																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
研磨																		
珩																		
圆磨																		
平磨																		
金刚石车																		
金刚石镗																		
拉削																		
铰孔																		
车																		
镗																		
铣																		
刨插																		
钻孔																		
滚压、挤压																		
冲压																		
压铸																		
粉末冶金成型																		
粉末冶金烧结																		
砂型铸造、气割																		
锻造																		

表 2-2-7

不同公差等级加工成本比较

尺寸	加工方法	公差等级 (IT)																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
外径	普通车削						----	----	----									
	六角车床车削																	
	自动车削																	
	外圆磨				----	----												
	无心磨						----											

续表

尺寸	加工方法	公差等级 (IT)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
内径	普通车削						----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
	六角车床车削								----	----	-----	-----	-----	-----	-----		
	自动车削								----	----	-----	-----	-----	-----	-----		
	钻									----	----	-----	-----	-----	-----		
	铰								----	----	-----	-----	-----	-----	-----		
	镗								----	----	-----	-----	-----	-----	-----		
	精镗				----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
	内圆磨				----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
	研磨		----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
长度	普通车削								----	----	-----	-----	-----	-----	-----		
	六角车床车削								----	----	-----	-----	-----	-----	-----		
	自动车削								----	----	-----	-----	-----	-----	-----		
	铣								----	----	-----	-----	-----	-----	-----		

注：虚线、实线、点画线表示成本比例为 1:2.5:5。

表 2-2-8 切削加工的经济精度

外圆柱面表面加工	加工方法	车 削			磨 削			研 磨	用钢珠或滚柱工具滚压					
		粗	半精或一次加工	精	粗	一次加工	精							
	公差等级 (IT)	12~14	10~11	6~9	8~9	7	6~7	5	5~9					
孔加工	加工方法	钻及扩钻孔		扩 孔			铰 孔			拉 孔				
		无钻模	有钻模	粗扩	铸孔或锻孔后一次扩孔	钻扩后精扩	半精	精	细	粗拉铸孔或锻孔				
	公差等级 (IT)	11~13	11~13	13	11~13	10	8~9	7~8	6~7	8~9				
	加工方法	拉孔	镗孔			磨孔			研(珩)磨	用钢球或挤压杆校正、用钢球或滚柱扩孔器挤孔				
公差等级 (IT)	7~8	13	11	8~10	6~7	8~9	7	6	6	7~10				
圆柱形深孔加工	加工方法	用麻花钻、扁钻、环孔钻钻孔			扩钻	扩孔	深孔钻钻孔或镗孔			镗刀块镗孔	铰孔	磨孔	珩磨	研磨
		刀具转	工件转	刀具工件转			刀具转	工件转	刀具工件转					
	公差等级 (IT)	11~13	11		9~11		9~11		8~9		7~9		7	5~7

续表

圆锥形孔加工	加工方法		扩孔		镗孔		铰孔		磨孔	研磨	花键孔加工	加工方法	插	拉	磨
			粗	精	粗	精	机动	手动							
	公差等级 (IT)	锥孔	11	9	9	7	7	高于7	高于7	6					
深锥孔		—		9~11		7~9		7	6~7						
平面加工	加工方法		刨削和圆柱铣刀及端铣刀铣削				拉削		磨削				研磨	用钢珠或滚柱工具滚压	
			粗	半精或一次加工	精	细	粗拉铸面及锻压表面	精拉	一次加工	粗	精	细			
	公差等级 (IT)		11~14	11~13	10	6~9	10~11	6~9	7~9	9	7	6			5
用三面刃铣刀同时加工平行表面	表面长和宽 /mm		表面高度/mm			端面加工	直径尺寸 /mm		车削		磨削				
			≤50	>50~80	>80~120				粗	精	普通	精密			
			两平行表面距离的尺寸精度/μm						端面至基准的尺寸精度/μm						
	≤120	50	60	80	≤50		150	70	30	20					
	>120~300	60	80	100	>50~120		200	100	40	25					
					>120~260		250	130	50	30					
成形铣刀加工	表面长度 /mm		粗 铣				精 铣								
			铣 刀 宽 度/mm												
			≤120		>120~180		≤120		>120~180						
			加工表面至基准的尺寸精度/μm												
	≤100		250		—		100		—						
	>100~300		350		450		150		200						
>300~600		450		500		200		250							
公制螺纹加工	加工方法		精度等级	螺纹公差 (GB/T 197—2003)		加工方法		精度等级	螺纹公差 (GB/T 197—2003)						
											车螺纹	外螺纹	1~2级	4h~6h	梳形车刀车螺纹
	内螺纹	2~3级	5H6H~7H	内螺纹	2~3级	5H6H~7H									
	圆板牙套螺纹		2~3级	6h~8h		梳形铣刀铣螺纹		2~3级	6h~8h						
	丝锥攻螺纹		1~3级	4H5H~7H		旋风铣螺纹		2~3级	6h~8h						
	带圆梳刀自动张开式板牙		1~2级	4h~6h		搓丝板搓螺纹		2级	6h						
						滚丝模滚螺纹		1~2级	4h~6h						
带径向或切向梳刀的自动张开式板牙			6h		砂轮磨螺纹		1级或更高	4h以上							
					研磨螺纹		1级	4h							

续表

花键加工	花键的最大直径 /mm		花键轴				花键孔			
			用磨制的滚铣刀		成形磨		拉削		推削	
			尺寸精度/ $\mu\text{m}$							
			花键宽	底圆直径	花键宽	底圆直径	花键宽	底圆直径	花键宽	底圆直径
	18~30		25	50	13	27	13	18	8	12
	>30~50		40	75	15	32	16	26	9	15
	>50~80		50	100	17	42	16	30	12	19
	>80~120		75	125	19	45	19	35	12	23
齿形加工	加工方法		精度等级 (GB/T 10095.1—2001) (GB/T 10095.2—2001) (GB/T 11334—2005)		加工方法		精度等级 (GB/T 10095.1—2001) (GB/T 10095.2—2001) (GB/T 11365—1989)			
	滚齿	单头滚刀 ( $m=1\sim 20\text{mm}$ )	滚刀精度等级:AA	6~7级	磨齿	成形砂轮仿形法	5~6级			
			A	8级		盘形砂轮范成法	3~6级			
			B	9级		双盘形砂轮范成法 (马格法)	3~8级			
			C	10级		蜗杆砂轮范成法	4~6级			
	多头滚刀( $m=1\sim 20\text{mm}$ )		8~10级		模数铣刀铣齿		9级以下			
	插齿	圆盘形插齿刀 ( $m=1\sim 20\text{mm}$ )	插齿刀精度等级:AA	6级	铸铁研磨轮研齿		5~6级			
			A	7级	直齿圆锥齿轮刨齿		8级			
			B	8级	螺旋齿圆锥齿轮刀盘铣齿		8级			
	剃齿	圆盘形剃齿刀 ( $m=1\sim 20\text{mm}$ )	剃齿刀精度等级:A	5级	蜗轮模数滚刀滚蜗轮		8级			
B			6级	热轧	热轧齿轮 ( $m=2\sim 8\text{mm}$ )	8~9级				
C			7级		轧后冷校准齿形	7~8级				
珩齿		6~7级		冷轧齿轮( $m\leq 1.5\text{mm}$ )		7级				

### 2.2.2 公差带的选择 (摘自 GB/T 1801—1999)

根据国家标准的标准公差和基本偏差的数值,可组成大量不同大小与位置的公差带,具有非常广泛选用公差带的可能性。从经济性出发,为避免刀具、量具的品种、规格不必要的繁杂,国家标准对公差带的选择多次加以限制。

① 孔的公差带:基本尺寸至500mm的孔公差带规定了105种(图2-2-4),相应极限偏差见表2-2-12~表2-2-26。选择时,应优先选用圆圈中的公差带,其次选用方框中的公差带,最后选用其他公差带。

基本尺寸大于500mm至3150mm的孔公差带规定了31种(图2-2-5),相应的极限偏差见表2-2-13~表2-2-23。

② 轴的公差带:基本尺寸至500mm的轴公差带规定了116种(图2-2-6),相应的极限偏差见表2-2-27~表2-2-42。选择时,应优先选用圆圈中的公差带,其次选用方框中的公差带,最后选用其他公差带。

基本尺寸大于500mm至3150mm的轴公差带规定了41种(图2-2-7),相应的极限偏差见表2-2-28~表2-2-39。

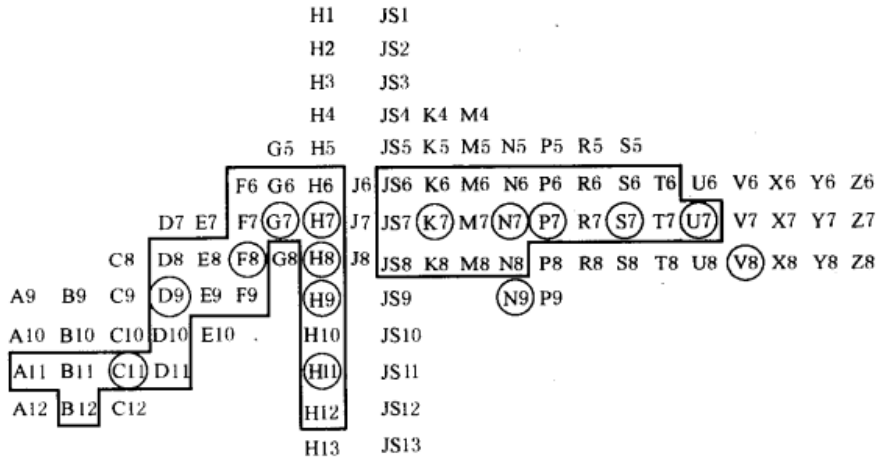


图 2-2-4 基本尺寸至 500mm 的孔的常用、优先公差带

	G6	H6	JS6	K6	M6	N6	
	F7	G7	H7	JS7	K7	M7	N7
	D8	E8	F8	H8	JS8		
	D9	E9	F9	H9	JS9		
	D10			H10	JS10		
	D11			H11	JS11		
				H12	JS12		

图 2-2-5 基本尺寸大于 500mm 至 3150mm 的孔的常用公差带

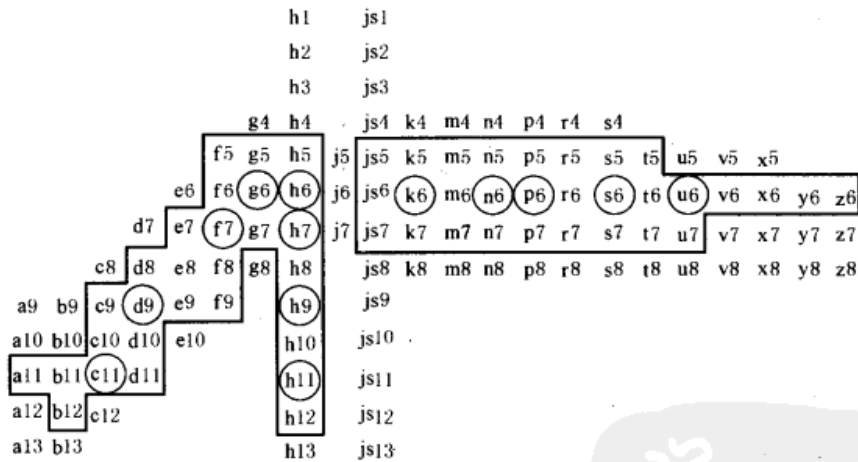


图 2-2-6 基本尺寸至 500mm 轴的常用、优先公差带

	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6	
	f7	g7	h7	js7	k7	m7	n7	p7	r7	s7	t7	u7
	d8	e8	f8	h8	js8							
	d9	e9	f9	h9	js9							
	d10			h10	js10							
	d11			h11	js11							
				h12	js12							

图 2-2-7 基本尺寸大于 500mm 至 3150mm 的轴的常用公差带

## 2.3 配合的选择

配合的选择要考虑以下几点。

① 配合件的工作情况（可参考表 2-2-10）。

a. 相对运动情况：有相对运动的配合件，应选择间隙配合，速度大则间隙大，速度小则间隙小，没有相对运动时，需综合其他因素选择，采用间隙、过盈或过渡配合均可。

b. 载荷情况：一般情况，如单位压力大则间隙小，在静连接中传力大以及有冲击振动时，过盈要大。

c. 定心精度要求：要求定心精度高时，选用过渡配合，定心精度不高时，可选用基本偏差  $g$  或  $h$  所组成的公差等级高的小间隙配合代替过渡配合，间隙配合和过盈配合不能保证定心精度。

d. 装拆情况：有相对运动、经常装拆时，采用  $g$  或  $h$  组合的配合，无相对运动装拆频繁时，一般用  $g$ 、 $h$  或  $j$ 、 $js$  组成的配合，不经常装拆时，可用  $k$  组成的配合，基本不拆的，用  $m$  或  $n$  组成的配合，另外，当机器内部空间较小时，为了装配零件方便，虽然零件装上后不需再拆，只要工作情况允许，也要选过盈不大或有间隙的配合。

e. 工作温度：当配合件的工作温度和装配温度相差较大时，必须考虑装配间隙在工作时发生的变化。

② 在高温或低温条件下工作时（ $-60 \sim 800^{\circ}\text{C}$ ），如果配合件材料的线胀系数不同，配合间隙（或过盈）需进行修正计算。可参见本章第 4 节。

③ 配合件的生产批量：单件小批量生产时，孔往往接近最小极限尺寸，轴往往接近最大极限尺寸，造成孔轴配合偏紧，因此间隙应适当放大些。

④ 应尽量优先采用优先配合，其次采用常用配合。参见表 2-2-43、表 2-2-44。

为了满足配合的特殊需要，允许采用任一孔、轴公差带组合的配合。

对于尺寸较大（大于 500mm）、公差等级较高的单件或小批量生产的配合件，应尽量采用互换性生产，当用普通方法难以达到精度要求时，可采用配制配合（GB/T 1801—1999）。

⑤ 形状公差、位置公差和表面粗糙度对配合性质的影响。

⑥ 选择过盈配合时，由于过盈量的大小对配合性质的影响比间隙更为敏感，因此，要综合考虑更多因素，如配合件的直径、长度、工件材料的力学特性、表面粗糙度、形位公差、配合后产生的应力和夹紧力，以及所需的装配力和装配方法等。可参考表 2-2-9。

表 2-2-9 间隙或过盈修正表

工作情况	过盈应增或减	间隙应增或减	工作情况	过盈应增或减	间隙应增或减
材料许用应力小	减	—	旋转速度较高	增	增
经常拆卸	减	—	有轴向运动	—	增
有冲击负荷	增	减	润滑油黏度较大	—	增
工作时孔的温度高于轴的温度	增	减	表面粗糙度较高	增	减
工作时孔的温度低于轴的温度	减	增	装配精度较高	减	减
配合长度较大	减	增	孔的材料线胀系数大于轴的材料	增	减
零件形状误差较大	减	增	孔的材料线胀系数小于轴的材料	减	增
装配时可能歪斜	减	增	单件小批生产	减	增

## 2.4 配合特性及基本偏差的应用

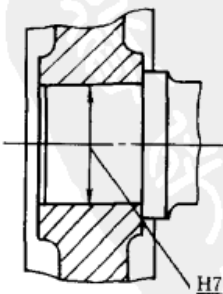
表 2-2-10 轴的各种基本偏差的应用说明

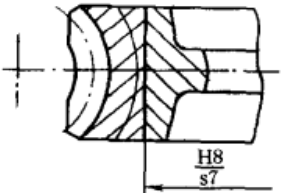
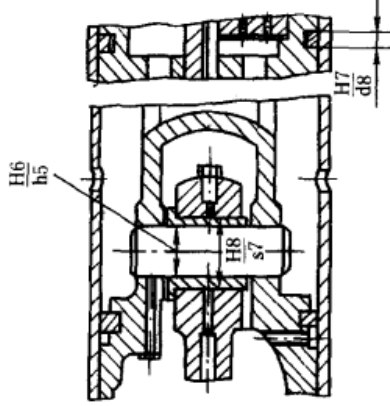
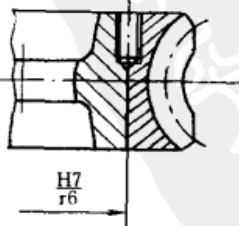
配合	基本偏差	配合特性及应用
间隙配合	a、b	可得到特别大的间隙，应用很少
	c	可得到很大的间隙，一般适用于缓慢、松弛的间隙配合。用于工作条件较差（如农业机械），受力变形，或为了便于装配，而必须保证有较大的间隙时，推荐配合为 H11/c11。其较高等级的配合，如 H8/c7 适用于轴在高温下工作的紧密动配合，如内燃机排气阀和导管



配合	基本偏差	配合特性及应用
间隙配合	d	配合一般用于 IT7 ~ 11 级,适用于松的转动配合,如密封盖、滑轮、空转带轮等与轴的配合。也适用于大直径滑动轴承配合,如透平机、球磨机、轧滚成形和重型弯曲机,及其他重型机械中的一些滑动支承
	e	多用于 IT7 ~ 9 级,通常适用于要求有明显间隙,易于转动的支承配合,如大跨距支承、多支点支承等配合。高等级的 e 轴适用于大、高速、重载支承,如蜗轮发电机、大电动机的支承及内燃机主要轴承、凸轮轴支承、摇臂支承等配合
	f	多用于 IT6 ~ 8 级的一般转动配合。当温度影响不大时,被广泛用于普通润滑油(或润滑脂)润滑的支承,如齿轮箱、小电动机、泵等的转轴与滑动支承的配合
	g	配合间隙很小,制造成本高,除很轻载荷的精密装置外,不推荐用于转动配合。多用于 IT5 ~ 7 级,最适合不回转的精密滑动配合,也用于插销等定位配合,如精密连杆轴承、活塞及滑阀、连杆销等
	h	多用于 IT4 ~ 11 级。广泛用于无相对转动的零件,作为一般的定位配合。若没有温度、变形影响,也用于精密滑动配合
过渡配合	js	为完全对称偏差( $\pm IT/2$ ),平均起来,为稍有间隙的配合,多用于 IT4 ~ 7 级,要求间隙比 h 轴小,并允许略有过盈的定位配合,如联轴器,可用手或木锤装配
	k	平均起来没有间隙的配合,适用于 IT4 ~ 7 级。推荐用于稍有过盈的定位配合,如为了消除振动用的定位配合,一般用木锤装配
	m	平均起来具有不大过盈的过渡配合,适用于 IT4 ~ 7 级,一般可用木锤装配,但在最大过盈时,要求相当的压入力
	n	平均过盈比 m 轴稍大,很少得到间隙,适用于 IT4 ~ 7 级,用锤或压力机装配,通常推荐用于紧密的组件配合。H6/n5 配合时为过盈配合
过盈配合	p	与 H6 或 H7 孔配合时是过盈配合,与 H8 孔配合时则为过渡配合。对非铁类零件,为较轻的压入配合,当需要时易于拆卸。对钢、铸铁或铜、钢组件装配是标准压入配合
	r	对铁类零件为中等打入配合,对非铁类零件,为轻打入配合,当需要时可以拆卸。与 H8 孔配合,直径在 100mm 以上时为过盈配合,直径小时为过渡配合
	s	用于钢和铁制零件的永久性和半永久性装配,可产生相当大的结合力。当用弹性材料,如轻合金时,配合性质与铁类零件的 p 轴相当,如套环压装在轴上、阀座等配合。尺寸较大时,为了避免损伤配合表面,需用热胀或冷缩法装配
	l、u、v、 x、y、z	过盈量依次增大,除 u 外一般不推荐使用

表 2-2-11 常用优先配合特性及选用举例

配合方式		装配方法	配合特性及使用条件	应用举例	
基孔	基轴				
H7	x6	温差法 特重型压入配合	用于承受很大的转矩或变载、冲击、振动载荷处,配合处不加紧固件,材料的许用应力要求很大	 <p>图 1</p>	
H7	y6				中、小型交流电机轴壳上绝缘体和接触环,柴油机传动轴壳体和分电器衬套
H7	x6				小轴肩和环
H7	v6				钢和轻合金或塑料等不同材料的配合,如柴油机销轴与壳体、汽缸盖与进气门座等的配合
H7	v6		柴油机销轴与壳体、连杆孔和衬套外径等配合		

配合方式		装配方法	配合特性及使用条件	应用举例
基孔	基轴			
$\frac{H7}{v6}$		重型压入配合	用于传递较大转矩,配合处不加紧固件即可得到十分牢固的连接。材料的许用应力要求较大	车轮轮辋与轮芯,联轴器与轴,轧钢设备中的辘子与心轴(图1),拖拉机活塞销和活塞壳,船舵尾轴和衬套等的配合  蜗轮青铜轮缘与钢轮心,安全联轴器销轴与套,螺纹车床蜗杆轴衬和箱体孔等的配合
$\frac{H7}{u6}$	$\frac{U7}{h6}$			
$\frac{H8}{u7}$				
$\frac{H6}{t5}$	$\frac{T6}{h5}$	压力机或温差中型压入配合	不加紧固件可传递较小的转矩,当材料强度不够时,可用来代替重型压入配合,但需加紧固件	齿轮孔和轴的配合  联轴器与轴,含油轴承和轴承座,农业机械中曲柄盘与销轴  柴油机连杆衬套和轴瓦,主轴承孔和主轴瓦等的配合
$\frac{H7}{t6}$	$\frac{T7}{h6}$			
$\frac{H8}{t7}$				
$\frac{H6}{s5}$	$\frac{S6}{h5}$			
$\frac{H7}{s6}$	$\frac{S7}{h6}$	轻型压入配合	用于不拆卸的轻型过盈连接,不依靠配合过盈量传递摩擦载荷,传递转矩时要增加紧固件,以及用于以高的定位精度达到部件的刚性及对中性要求	减速机中轴与蜗轮,空压机连杆头与衬套,辊道辘子和轴,大型减速机低速齿轮与轴的配合  青铜轮缘与轮心(图2),轴衬与轴承座,空气钻外壳盖与套筒,安全联轴器销钉和套,压气机活塞销和汽缸(图3),拖拉机齿轮泵小齿轮和轴等的配合
$\frac{H8}{s7}$				
$\frac{H7}{r6}$	$\frac{R7}{h6}$		重载齿轮与轴,车床齿轮箱中齿轮与衬套,蜗轮青铜轮缘与轮心(图4),轴和联轴器,可换铰套与铰模板等的配合  冲击振动的重载齿轮和轴,压缩机十字销轴和连杆衬套,柴油机缸体上口和主轴瓦,凸轮孔和凸轮轴等的配合	 <p>图2</p>  <p>图3</p>  <p>图4</p>

配合方式		装配方法	配合特性及使用条件		应用举例
基孔	基轴				
H8/p7		压力机压入	过盈概率 66.8% ~ 93.6%	用于可承受很大转矩、振动及冲击(但需附加紧固件),不经常拆卸的地方。同轴度及配合紧密性较好	升降机用蜗轮或带轮的轮缘和轮心,链轮轮缘和轮心,高压循环泵缸和套等的配合
H6/n5	N6/h5		80%		可换铰套与铰模板,增压器主轴和衬套等的配合
H7/n6	N7/h6		77.7% ~ 82.4%		爪形联轴器与轴(图5),链轮轮缘与轮心,蜗轮青铜轮缘与轮心,破碎机等振动机械的齿轮和轴,柴油机泵座与泵缸,压缩机连杆衬套和曲轴衬套,圆柱销与销孔的配合
H8/n7	N8/h7		58.3% ~ 67.6%		安全联轴器销钉和套,高压泵缸和缸套,拖拉机活塞销和活塞轭等的配合
H6/m5	M6/h5	铜锤打入	50% ~ 62.1%	用于配合紧密不经常拆卸的地方。当配合长度大于1.5倍直径时,用来代替H7/n6,同轴度好	压缩机连杆头与衬套,柴油机活塞孔和活塞销的配合
H7/m6	M7/h6				蜗轮青铜轮缘与铸铁轮心(图6),齿轮孔与轴,减速器的轴与圆链齿轮,定位销与孔的配合
H8/m7	M8/h7		50% ~ 56%		升降机构中的轴与孔,压缩机十字销轴与座的配合
H6/k5	K6/h5	手锤打入	46.2% ~ 49.1%	用于受不大的冲击荷载处,同轴度仍好,用于常拆卸部位。为广泛采用的一种过渡配合	精密螺纹车床床头箱体孔和主轴前轴承外圈的配合
H7/k6	K7/h6		41.7% ~ 45%		机床不滑动齿轮和轴,中型电机轴与联轴器或带轮,减速器蜗轮与轴,齿轮和轴的配合(图7)
H8/k7	K8/h7		41.7% ~ 54.2%		压缩机连杆孔与十字头销,循环泵活塞与活塞杆

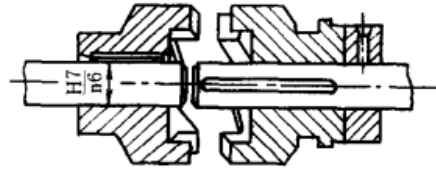


图5

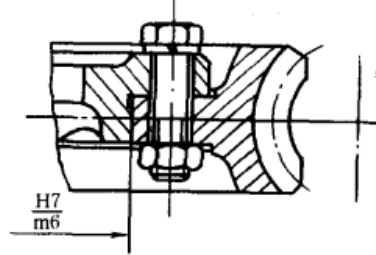


图6

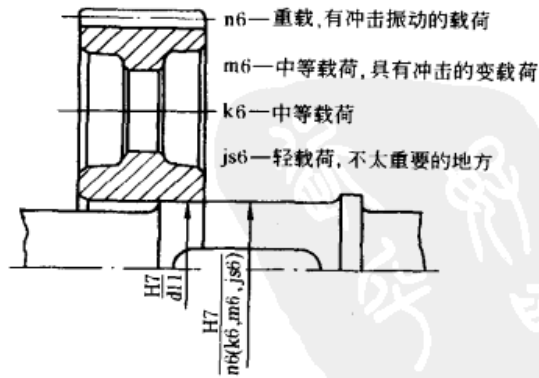


图7

配合方式		装配方法	配合特性及使用条件		应用举例
基孔	基轴				
$\frac{H6}{js5}$	$\frac{JS6}{h5}$	手锤或木锤装卸	19.2% ~ 21.1%	用于频繁拆卸、同轴度要求不高的地方,是最松的一种过渡配合,大部分都将得到间隙	木工机械中轴与轴承的配合
$\frac{H7}{js6}$	$\frac{JS7}{h6}$		18.8% ~ 20%		机床变速箱中齿轮和轴,精密仪表中轴和轴承,增压器衬套间的配合
$\frac{H8}{js7}$	$\frac{JS8}{h7}$		17.4% ~ 20.8%		机床变速箱中齿轮和轴,轴端可卸下的带轮和手轮,电机机座与端盖等的配合
$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	加油后用旋进	配合间隙较小,能较好地对准中心,一般多用于常拆卸或在调整时需移动或转动的连接处,或工作时滑移较慢并要求较好的导向精度的地方,和对同轴度有一定要求,通过紧固件传递转矩的固定连接处	剃齿机主轴与剃刀衬套,车床尾座体与套筒,高精度分度盘轴与孔,光学仪器中变焦距系统的孔轴配合	<p>图 8</p>
$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$			机床变速箱的滑移齿轮和轴,离合器与轴,滚动轴承座与箱体(图 8),风动工具活塞与缸体,往复运动的精导向的压缩机连杆孔和十字头(图 10),定心的凸缘与孔的配合(图 9),橡胶滚筒密封轴上滚动轴承座与筒体的配合(图 11)	<p>图 9</p>
$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{h7}$			安全接手销钉和套,一般齿轮和轴,带轮和轴,螺旋搅拌器叶轮与轴(图 13),离合器与轴,操纵件与轴,拨叉和导向轴,滑块和导向轴,减速器油尺与箱体孔,剖分式滑动轴承壳和轴瓦,电动机座上口和端盖,连杆螺栓同连杆头(图 12)	<p>图 10</p>
$\frac{H8}{h8}$	$\frac{H8}{h8}$	旋进	间隙定位配合,适用于同轴度要求较低、工作时一般无相对运动的配合及负载不大、无振动、拆卸方便、加键可传递转矩的情况	<p>图 11</p>	
$\frac{H9}{h9}$	$\frac{H9}{h9}$			<p>图 12</p>	

配合方式		装配方法	配合特性及使用条件	应用举例
基孔	基轴			
$\frac{H10}{h10}$	$\frac{H10}{h10}$	加油后用手旋进	间隙定位配合,适用于同轴度要求较低,工作时一般无相对运动的配合及负载不大、无振动、拆卸方便、加键可传递转矩的情况	起重链链轮与轴(图14),对开轴瓦与轴承座两侧的配合(图15),连接端盖的定心凸缘,一般的铰接,粗糙机构中拉杆、杠杆等配合
$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H11}{h11}$			
$\frac{H6}{g5}$	$\frac{G6}{h5}$	手旋进	具有很小间隙,适用于有一定相对运动、运动速度不高并且精密定位的配合,以及运动可能有冲击但又能保证零件同轴度或紧密性的配合	光学分度头主轴与轴承,刨床滑块与滑槽
$\frac{H7}{g6}$	$\frac{G7}{h6}$			精密机床主轴与轴承,机床传动齿轮与轴,中等精度分度头主轴与轴套,矩形花键定心直径,可换钻套与钻模板,柱塞燃油泵的轴承壳体与销轴,拖拉机连杆衬套与曲轴,钻套与衬套的配合(图16)
$\frac{H8}{g7}$				柴油机汽缸体与挺杆,手电钻中的配合等
$\frac{H6}{f5}$	$\frac{F6}{h5}$	手推滑进	具有中等间隙,广泛适用于普通机械中转速不大、用普通润滑油或润滑脂润滑的滑动轴承,以及要求在轴上自由转动或移动的配合场合	精密机床中变速箱、进给箱的转动件的配合,或其他重要滑动轴承、高精度齿轮轴套与轴承衬套及柴油机的凸轮轴与衬套孔等的配合
$\frac{H7}{f6}$	$\frac{F7}{h6}$			爪形离合器与轴,机床中一般轴与滑动轴承,机床夹具,钻模、镗模的导套孔,柴油机机体套孔与汽缸套,柱塞与缸体等的配合
$\frac{H8}{f7}$	$\frac{F8}{h7}$			中等速度、中等载荷的滑动轴承,机床滑移齿轮与轴,蜗杆减速器的轴承端盖与孔,离合器活动爪与轴,齿轮轴套与套(图17)

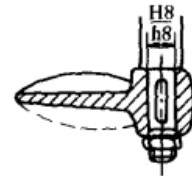


图13

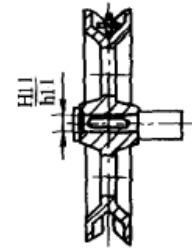


图14

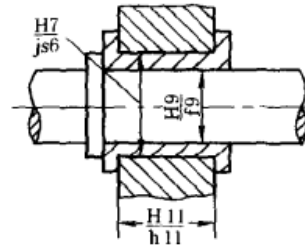


图15

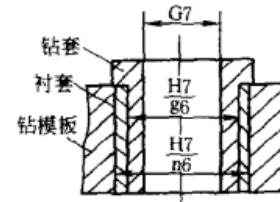


图16

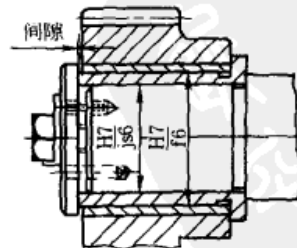
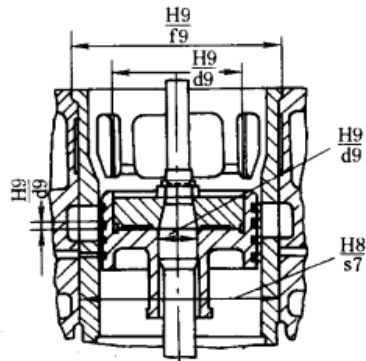
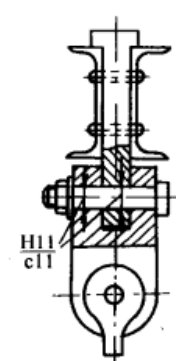
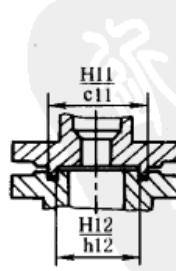
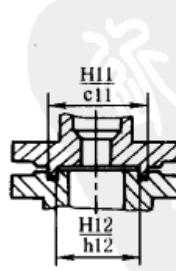


图17

配合方式		装配方法	配合特性及使用条件	应用举例
基孔	基轴			
$\frac{H8}{f8}$	$\frac{F8}{h8}$	手推滑进	配合间隙较大,能保证良好润滑,允许在工作中发热,故可用于高转速或大跨度或多支点的轴和轴承以及精度低、同轴度要求不高的在轴上转动的零件与轴的配合	 <p>图 18</p>
$\frac{H9}{f9}$	$\frac{F9}{h9}$		滑块与导向槽,控制机构中的一般轴和孔,支承跨距较大或多支承的传动轴和轴承的配合 安全联轴器轮毂与套,低精度含油轴承与轴,球体滑动轴承与轴承座及轴,链条张紧轮或皮带导轮与轴,柴油机活塞环与环槽宽等的配合	
$\frac{H8}{e7}$	$\frac{E8}{h7}$	手推轻进	配合间隙较大,适用于高转速、载荷不大、方向不变的轴与轴承的配合,或虽是中等转速,但轴跨度长或三个以上支点的轴与轴承的配合	 <p>图 19</p>
$\frac{H8}{e8}$	$\frac{E8}{h8}$		汽轮发电机、大电动机的高速轴与滑动轴承,风扇电机的销轴与衬套 外圆磨床的主轴与轴承,汽轮发电机轴与轴承,柴油机的凸轮轴与轴承,船用链轮轴及中、小型电机轴与轴承,手表中的分轮、时轮轮片与轴套的配合	
$\frac{H9}{e9}$	$\frac{E9}{h9}$	手推轻进	用于精度不高且有较松间隙的转动配合	 <p>图 20</p>
$\frac{H8}{d8}$	$\frac{D8}{h8}$		粗糙机构中衬套与轴承圈,含油轴承与座的配合 机车车辆轴承,缝纫机梭摆与梭床,空压机活塞环与环槽宽度的配合	
$\frac{H9}{d9}$	$\frac{D9}{h9}$	手推轻进	配合间隙比较大,用于精度不高、高速及负载不高或高温条件下的转动配合,以及由于装配精度不高而引起偏斜的连接	 <p>图 20</p>
$\frac{H9}{d9}$	$\frac{D9}{h9}$		通用机械中的平键连接,柴油机活塞环与环槽宽,空压机活塞与压杆(图18)、印染机械中汽缸活塞密封环,热工仪表中精度较低的轴与孔,滑动轴承及较松的带轮与轴的配合	
$\frac{H11}{c11}$	$\frac{C11}{h11}$		间隙非常大,用于转动很慢、很松的配合;用于大公差与大间隙的外露组件;要求装配方便的很松的配合	
			起重机吊钩(图19),带榫槽法兰与槽的外径配合(图20),农业机械中粗加工或不加工的轴与轴承等的配合	

2.5 应用示例

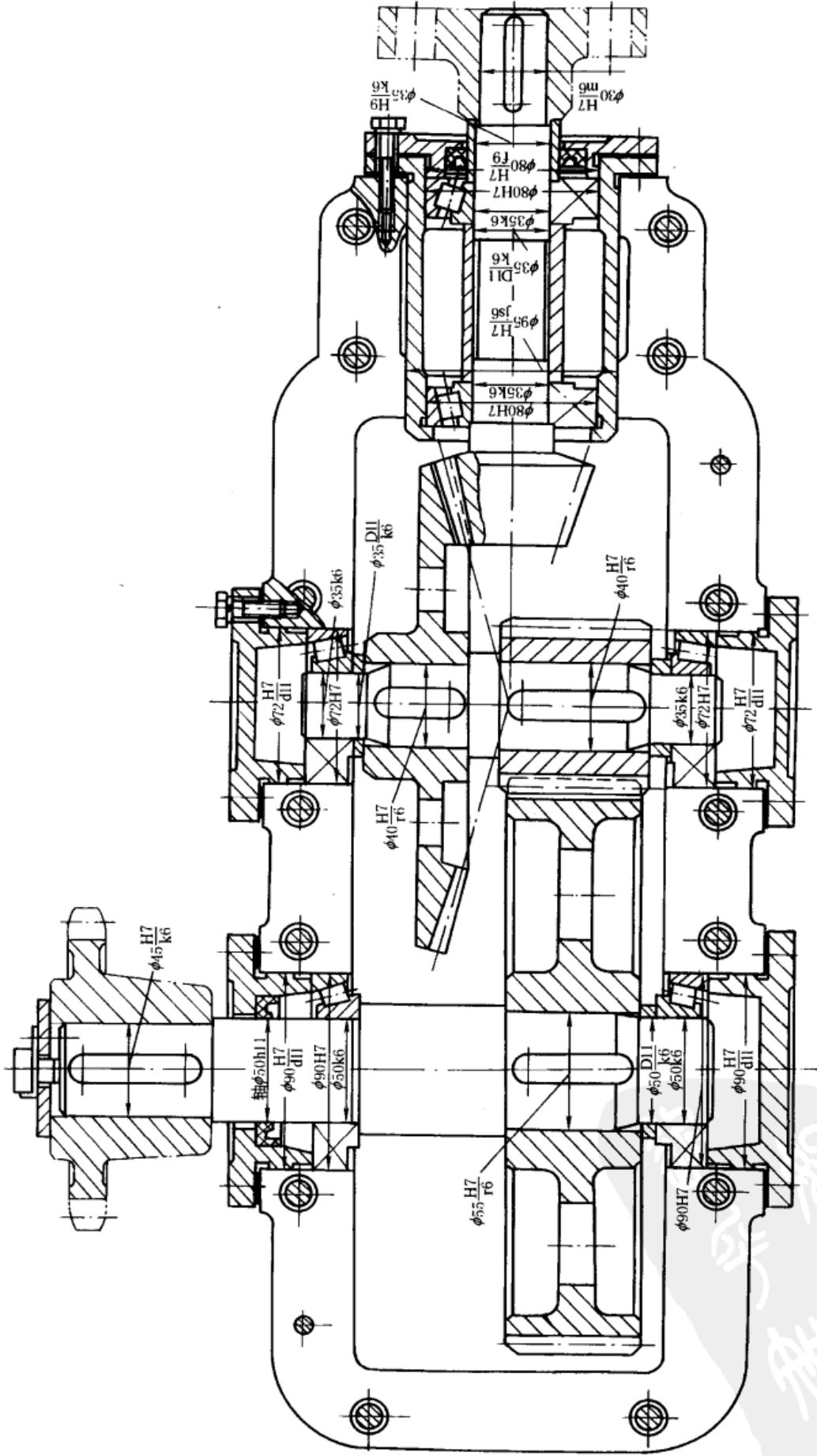


图 2-2-8 公差与配合选择示例

## 2.6 孔与轴的极限偏差数值 (摘自 GB/T 1800.4—1999)

表 2-2-12

孔 A、B 和 C 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		A					B						C					
大于	至	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12	13
—	3	+295	+310	+330	+370	+410	+154	+165	+180	+200	+240	+280	+74	+85	+100	+120	+160	+200
		+270	+270	+270	+270	+270	+140	+140	+140	+140	+140	+140	+60	+60	+60	+60	+60	+60
3	6	+300	+318	+345	+390	+450	+158	+170	+188	+215	+260	+320	+88	+100	+118	+145	+190	+250
		+270	+270	+270	+270	+270	+140	+140	+140	+140	+140	+140	+70	+70	+70	+70	+70	+70
6	10	+316	+338	+370	+430	+500	+172	+186	+208	+240	+300	+370	+102	+116	+138	+170	+230	+300
		+280	+280	+280	+280	+280	+150	+150	+150	+150	+150	+150	+80	+80	+80	+80	+80	+80
10	18	+333	+360	+400	+470	+560	+177	+193	+220	+260	+330	+420	+122	+138	+165	+205	+275	+365
		+290	+290	+290	+290	+290	+150	+150	+150	+150	+150	+150	+95	+95	+95	+95	+95	+95
18	30	+352	+384	+430	+510	+630	+193	+212	+244	+290	+370	+490	+143	+162	+194	+240	+320	+440
		+300	+300	+300	+300	+300	+160	+160	+160	+160	+160	+160	+110	+110	+110	+110	+110	+110
30	40	+372	+410	+470	+560	+700	+209	+232	+270	+330	+420	+560	+159	+182	+220	+280	+370	+510
		+310	+310	+310	+310	+310	+170	+170	+170	+170	+170	+170	+120	+120	+120	+120	+120	+120
40	50	+382	+420	+480	+570	+710	+219	+242	+280	+340	+430	+570	+169	+192	+230	+290	+380	+520
		+320	+320	+320	+320	+320	+180	+180	+180	+180	+180	+180	+130	+130	+130	+130	+130	+130
50	65	+414	+460	+530	+640	+800	+236	+264	+310	+380	+490	+650	+186	+214	+260	+330	+440	+600
		+340	+340	+340	+340	+340	+190	+190	+190	+190	+190	+190	+140	+140	+140	+140	+140	+140
65	80	+434	+480	+550	+660	+820	+246	+274	+320	+390	+500	+660	+196	+224	+270	+340	+450	+610
		+360	+360	+360	+360	+360	+200	+200	+200	+200	+200	+200	+150	+150	+150	+150	+150	+150
80	100	+467	+520	+600	+730	+920	+274	+307	+360	+440	+570	+760	+224	+257	+310	+390	+520	+710
		+380	+380	+380	+380	+380	+220	+220	+220	+220	+220	+220	+170	+170	+170	+170	+170	+170
100	120	+497	+550	+630	+760	+950	+294	+327	+380	+460	+590	+780	+234	+267	+320	+400	+530	+720
		+410	+410	+410	+410	+410	+240	+240	+240	+240	+240	+240	+180	+180	+180	+180	+180	+180
120	140	+560	+620	+710	+860	+1090	+323	+360	+420	+510	+660	+890	+263	+300	+360	+450	+600	+830
		+460	+460	+460	+460	+460	+260	+260	+260	+260	+260	+260	+200	+200	+200	+200	+200	+200
140	160	+620	+680	+770	+920	+1150	+343	+380	+440	+530	+680	+910	+273	+310	+370	+460	+610	+840
		+520	+520	+520	+520	+520	+280	+280	+280	+280	+280	+280	+210	+210	+210	+210	+210	+210
160	180	+680	+740	+830	+980	+1210	+373	+410	+470	+560	+710	+940	+293	+330	+390	+480	+630	+860
		+580	+580	+580	+580	+580	+310	+310	+310	+310	+310	+310	+230	+230	+230	+230	+230	+230
180	200	+775	+845	+950	+1120	+1380	+412	+455	+525	+630	+800	+1060	+312	+355	+425	+530	+700	+960
		+660	+660	+660	+660	+660	+340	+340	+340	+340	+340	+340	+240	+240	+240	+240	+240	+240
200	225	+855	+925	+1030	+1200	+1460	+452	+495	+565	+670	+840	+1100	+332	+375	+445	+550	+720	+980
		+740	+740	+740	+740	+740	+380	+380	+380	+380	+380	+380	+260	+260	+260	+260	+260	+260
225	250	+935	+1005	+1110	+1280	+1540	+492	+535	+605	+710	+880	+1140	+352	+395	+465	+570	+740	+1000
		+820	+820	+820	+820	+820	+420	+420	+420	+420	+420	+420	+280	+280	+280	+280	+280	+280
250	280	+1050	+1130	+1240	+1440	+1730	+561	+610	+690	+800	+1000	+1290	+381	+430	+510	+620	+820	+1110
		+920	+920	+920	+920	+920	+480	+480	+480	+480	+480	+480	+300	+300	+300	+300	+300	+300
280	315	+1180	+1260	+1370	+1570	+1860	+621	+670	+750	+860	+1060	+1350	+411	+460	+540	+650	+850	+1140
		+1050	+1050	+1050	+1050	+1050	+540	+540	+540	+540	+540	+540	+330	+330	+330	+330	+330	+330
315	355	+1340	+1430	+1560	+1770	+2000	+689	+740	+830	+960	+1170	+1490	+449	+500	+590	+720	+930	+1250
		+1200	+1200	+1200	+1200	+1200	+600	+600	+600	+600	+600	+600	+360	+360	+360	+360	+360	+360
355	400	+1490	+1580	+1710	+1920	+2240	+769	+820	+910	+1040	+1250	+1570	+489	+540	+630	+760	+970	+1290
		+1350	+1350	+1350	+1350	+1350	+680	+680	+680	+680	+680	+680	+400	+400	+400	+400	+400	+400
400	450	+1655	+1750	+1900	+2130	+2470	+857	+915	+1010	+1160	+1390	+1730	+537	+595	+690	+840	+1070	+1410
		+1500	+1500	+1500	+1500	+1500	+760	+760	+760	+760	+760	+760	+440	+440	+440	+440	+440	+440
450	500	+1805	+1900	+2050	+2280	+2620	+937	+995	+1090	+1240	+1470	+1810	+577	+635	+730	+880	+1110	+1450
		+1650	+1650	+1650	+1650	+1650	+840	+840	+840	+840	+840	+840	+480	+480	+480	+480	+480	+480

注: 基本尺寸小于 1mm 时, 各级的 A 和 B 均不采用。



表 2-2-13 孔 CD、D 和 E 的极限偏差

基本尺寸 /mm	CD										D										E									
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	11	12	13	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8	9	10					
大于																														
—	+40 +34	+44 +34	+48 +34	+59 +34	+74 +34	+26 +20	+30 +20	+34 +20	+45 +20	+60 +20	+80 +20	+120 +20	+160 +20	+18 +14	+20 +14	+24 +14	+28 +14	+39 +14	+54 +14											
3	+54 +46	+58 +46	+64 +46	+76 +46	+94 +46	+38 +30	+42 +30	+48 +30	+60 +30	+78 +30	+105 +30	+150 +30	+210 +30	+25 +20	+28 +20	+32 +20	+38 +20	+50 +20	+68 +20											
6	+65 +56	+71 +56	+78 +56	+92 +56	+114 +56	+49 +40	+55 +40	+62 +40	+76 +40	+98 +40	+130 +40	+190 +40	+260 +40	+31 +25	+34 +25	+40 +25	+47 +25	+61 +25	+83 +25											
10						+61 +50	+68 +50	+77 +50	+93 +50	+120 +50	+160 +50	+230 +50	+320 +50	+40 +32	+43 +32	+50 +32	+59 +32	+75 +32	+102 +32											
18						+78 +65	+86 +65	+98 +65	+117 +65	+149 +65	+195 +65	+275 +65	+395 +65	+49 +40	+53 +40	+61 +40	+73 +40	+92 +40	+124 +40											
30						+96 +80	+105 +80	+119 +80	+142 +80	+180 +80	+240 +80	+330 +80	+470 +80	+61 +50	+66 +50	+75 +50	+89 +50	+112 +50	+150 +50											
50						+119 +100	+130 +100	+146 +100	+174 +100	+220 +100	+290 +100	+400 +100	+560 +100	+73 +60	+79 +60	+90 +60	+106 +60	+134 +60	+180 +60											
80						+142 +120	+155 +120	+174 +120	+207 +120	+260 +120	+340 +120	+470 +120	+660 +120	+87 +72	+94 +72	+107 +72	+125 +72	+159 +72	+212 +72											
120						+170 +145	+185 +145	+208 +145	+245 +145	+305 +145	+395 +145	+545 +145	+775 +145	+103 +85	+110 +85	+125 +85	+148 +85	+185 +85	+245 +85											
180						+199 +170	+216 +170	+242 +170	+285 +170	+355 +170	+460 +170	+630 +170	+890 +170	+120 +100	+129 +100	+146 +100	+172 +100	+215 +100	+285 +100											



表 2-2-14

孔 EF 和 F 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		EF								F							
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	+12 +10	+13 +10	+14 +10	+16 +10	+20 +10	+24 +10	+35 +10	+50 +10	+8 +6	+9 +6	+10 +6	+12 +6	+16 +6	+20 +6	+31 +6	+46 +6
3	6	+16.5 +14	+18 +14	+19 +14	+22 +14	+26 +14	+32 +14	+44 +14	+62 +14	+12.5 +10	+14 +10	+15 +10	+18 +10	+22 +10	+28 +10	+40 +10	+58 +10
6	10	+20.5 +18	+22 +18	+24 +18	+27 +18	+33 +18	+40 +18	+54 +18	+76 +18	+15.5 +13	+17 +13	+19 +13	+22 +13	+28 +13	+35 +13	+49 +13	+71 +13
10	18									+19 +16	+21 +16	+24 +16	+27 +16	+34 +16	+43 +16	+59 +16	+86 +16
18	30									+24 +20	+26 +20	+29 +20	+33 +20	+41 +20	+53 +20	+72 +20	+104 +20
30	50									+29 +25	+32 +25	+36 +25	+41 +25	+50 +25	+64 +25	+87 +25	+125 +25
50	80											+43 +30	+49 +30	+60 +30	+76 +30	+104 +30	
80	120											+51 +36	+58 +36	+71 +36	+90 +36	+123 +36	
120	180											+61 +43	+68 +43	+83 +43	+106 +43	+143 +43	
180	250											+70 +50	+79 +50	+96 +50	+122 +50	+165 +50	
250	315											+79 +56	+88 +56	+108 +56	+137 +56	+186 +56	
315	400											+87 +62	+98 +62	+119 +62	+151 +62	+202 +62	
400	500											+95 +68	+108 +68	+131 +68	+165 +68	+223 +68	
500	630											+120 +76	+146 +76	+186 +76	+251 +76		
630	800											+130 +80	+160 +80	+205 +80	+280 +80		
800	1000											+142 +86	+176 +86	+226 +86	+316 +86		
1000	1250											+164 +98	+203 +98	+263 +98	+358 +98		
1250	1600											+188 +110	+235 +110	+305 +110	+420 +110		
1600	2000											+212 +120	+270 +120	+350 +120	+490 +120		
2000	2500											+240 +130	+305 +130	+410 +130	+570 +130		
2500	3150											+280 +145	+355 +145	+475 +145	+685 +145		

注：各级的 EF 主要用于精密机械和钟表制造业。

表 2-2-15

## 孔 FG 和 G 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		FG								G							
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	+6 +4	+7 +4	+8 +4	+10 +4	+14 +4	+18 +4	+29 +4	+44 +4	+4 +2	+5 +2	+6 +2	+8 +2	+12 +2	+16 +2	+27 +2	+42 +2
3	6	+8.5 +6	+10 +6	+11 +6	+14 +6	+18 +6	+24 +6	+36 +6	+54 +6	+6.5 +4	+8 +4	+9 +4	+12 +4	+16 +4	+22 +4	+34 +4	+52 +4
6	10	+10.5 +8	+12 +8	+14 +8	+17 +8	+23 +8	+30 +8	+44 +8	+66 +8	+7.5 +5	+9 +5	+11 +5	+14 +5	+20 +5	+27 +5	+41 +5	+63 +5
10	18									+9 +6	+11 +6	+14 +6	+17 +6	+24 +6	+33 +6	+49 +6	+76 +6
18	30									+11 +7	+13 +7	+16 +7	+20 +7	+28 +7	+40 +7	+59 +7	+91 +7
30	50									+13 +9	+16 +9	+20 +9	+25 +9	+34 +9	+48 +9	+71 +9	+109 +9
50	80											+23 +10	+29 +10	+40 +10	+56 +10		
80	120											+27 +12	+34 +12	+47 +12	+66 +12		
120	180											+32 +14	+39 +14	+54 +14	+77 +14		
180	250											+35 +15	+44 +15	+61 +15	+87 +15		
250	315											+40 +17	+49 +17	+69 +17	+98 +17		
315	400											+43 +18	+54 +18	+75 +18	+107 +18		
400	500											+47 +20	+60 +20	+83 +20	+117 +20		
500	630												+66 +22	+92 +22	+132 +22		
630	800												+74 +24	+104 +24	+149 +24		
800	1000												+82 +26	+116 +26	+166 +26		
1000	1250												+94 +28	+133 +28	+193 +28		
1250	1600												+108 +30	+155 +30	+225 +30		
1600	2000												+124 +32	+182 +32	+262 +32		
2000	2500												+144 +34	+209 +34	+314 +34		
2500	3150												+173 +38	+248 +38	+368 +38		

注：各级的 FG 主要用于精密机械和钟表制造业。

表 2-2-16

孔 H 的极限偏差

基本尺寸 /mm		H																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
大于	至	偏 差																	
		$\mu\text{m}$												mm					
—	3	+0.8 0	+1.2 0	+2 0	+3 0	+4 0	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+40 0	+60 0	+0.1 0	+0.14 0	+0.25 0	+0.4 0	+0.6 0		
3	6	+1 0	+1.5 0	+2.5 0	+4 0	+5 0	+8 0	+12 0	+18 0	+30 0	+48 0	+75 0	+0.12 0	+0.18 0	+0.3 0	+0.48 0	+0.75 0	+1.2 0	+1.8 0
6	10	+1 0	+1.5 0	+2.5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+15 0	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+0.15 0	+0.22 0	+0.36 0	+0.58 0	+0.9 0	+1.5 0	+2.2 0
10	18	+1.2 0	+2 0	+3 0	+5 0	+8 0	+11 0	+18 0	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+0.18 0	+0.27 0	+0.43 0	+0.7 0	+1.1 0	+1.8 0	+2.7 0
18	30	+1.5 0	+2.5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+13 0	+21 0	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	+0.21 0	+0.33 0	+0.52 0	+0.84 0	+1.3 0	+2.1 0	+3.3 0
30	50	+1.5 0	+2.5 0	+4 0	+7 0	+11 0	+16 0	+25 0	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+0.25 0	+0.39 0	+0.62 0	+1 0	+1.6 0	+2.5 0	+3.9 0
50	80	+2 0	+3 0	+5 0	+8 0	+13 0	+19 0	+30 0	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0	+0.3 0	+0.46 0	+0.74 0	+1.2 0	+1.9 0	+3 0	+4.6 0
80	120	+2.5 0	+4 0	+6 0	+10 0	+15 0	+22 0	+35 0	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0	+0.35 0	+0.54 0	+0.87 0	+1.4 0	+2.2 0	+3.5 0	+5.4 0
120	180	+3.5 0	+5 0	+8 0	+12 0	+18 0	+25 0	+40 0	+63 0	+100 0	+160 0	+250 0	+0.4 0	+0.63 0	+1 0	+1.6 0	+2.5 0	+4 0	+6.3 0
180	250	+4.5 0	+7 0	+10 0	+14 0	+20 0	+29 0	+46 0	+72 0	+115 0	+185 0	+290 0	+0.46 0	+0.72 0	+1.15 0	+1.85 0	+2.9 0	+4.6 0	+7.2 0
250	315	+6 0	+8 0	+12 0	+16 0	+23 0	+32 0	+52 0	+81 0	+130 0	+210 0	+320 0	+0.52 0	+0.81 0	+1.3 0	+2.1 0	+3.2 0	+5.2 0	+8.1 0
315	400	+7 0	+9 0	+13 0	+18 0	+25 0	+36 0	+57 0	+89 0	+140 0	+230 0	+360 0	+0.57 0	+0.89 0	+1.4 0	+2.3 0	+3.6 0	+5.7 0	+8.9 0
400	500	+8 0	+10 0	+15 0	+20 0	+27 0	+40 0	+63 0	+97 0	+155 0	+250 0	+400 0	+0.63 0	+0.97 0	+1.55 0	+2.5 0	+4 0	+6.3 0	+9.7 0
500	630	+9 0	+11 0	+16 0	+22 0	+32 0	+44 0	+70 0	+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+0.7 0	+1.1 0	+1.75 0	+2.8 0	+4.4 0	+7 0	+11 0
630	800	+10 0	+13 0	+18 0	+25 0	+36 0	+50 0	+80 0	+125 0	+200 0	+320 0	+500 0	+0.8 0	+1.25 0	+2 0	+3.2 0	+5 0	+8 0	+12.5 0
800	1000	+11 0	+15 0	+21 0	+28 0	+40 0	+56 0	+90 0	+140 0	+230 0	+360 0	+560 0	+0.9 0	+1.4 0	+2.3 0	+3.6 0	+5.6 0	+9 0	+14 0
1000	1250	+13 0	+18 0	+24 0	+33 0	+47 0	+66 0	+105 0	+165 0	+260 0	+420 0	+660 0	+1.05 0	+1.65 0	+2.6 0	+4.2 0	+6.6 0	+10.5 0	+16.5 0
1250	1600	+15 0	+21 0	+29 0	+39 0	+55 0	+78 0	+125 0	+195 0	+310 0	+500 0	+780 0	+1.25 0	+1.95 0	+3.1 0	+5 0	+7.8 0	+12.5 0	+19.5 0
1600	2000	+18 0	+25 0	+35 0	+46 0	+65 0	+92 0	+150 0	+230 0	+370 0	+600 0	+920 0	+1.5 0	+2.3 0	+3.7 0	+6 0	+9.2 0	+15 0	+23 0
2000	2500	+22 0	+30 0	+41 0	+55 0	+78 0	+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+700 0	+1100 0	+1.75 0	+2.8 0	+4.4 0	+7 0	+11 0	+17.5 0	+28 0
2500	3150	+26 0	+36 0	+50 0	+68 0	+96 0	+135 0	+210 0	+330 0	+540 0	+860 0	+1350 0	+2.1 0	+3.3 0	+5.4 0	+8.6 0	+13.5 0	+21 0	+33 0

注：1. IT14 至 IT18 只用于大于 1mm 的基本尺寸。

2. 黑框中的数值，即基本尺寸大于 500 至 3150mm，IT1 至 IT5 的偏差值为试用的。

表 2-2-17 孔 JS 的极限偏差

基本尺寸 /mm		JS																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
大于	至	偏 差																	
		mm																	
		$\mu\text{m}$																	
—	3	$\pm 0.4$	$\pm 0.6$	$\pm 1$	$\pm 1.5$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 5$	$\pm 7$	$\pm 12$	$\pm 20$	$\pm 30$	$\pm 0.05$	$\pm 0.07$	$\pm 0.125$	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$		
3	6	$\pm 0.5$	$\pm 0.75$	$\pm 1.25$	$\pm 2$	$\pm 2.5$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 9$	$\pm 15$	$\pm 24$	$\pm 37$	$\pm 0.06$	$\pm 0.09$	$\pm 0.15$	$\pm 0.24$	$\pm 0.375$	$\pm 0.6$	$\pm 0.9$
6	10	$\pm 0.5$	$\pm 0.75$	$\pm 1.25$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4.5$	$\pm 7$	$\pm 11$	$\pm 18$	$\pm 29$	$\pm 46$	$\pm 0.075$	$\pm 0.11$	$\pm 0.18$	$\pm 0.29$	$\pm 0.45$	$\pm 0.75$	$\pm 1.1$
10	18	$\pm 0.6$	$\pm 1$	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$	$\pm 4$	$\pm 5.5$	$\pm 9$	$\pm 13$	$\pm 21$	$\pm 36$	$\pm 55$	$\pm 0.09$	$\pm 0.135$	$\pm 0.215$	$\pm 0.35$	$\pm 0.55$	$\pm 0.9$	$\pm 1.35$
18	30	$\pm 0.75$	$\pm 1.25$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4.5$	$\pm 6.5$	$\pm 10$	$\pm 16$	$\pm 26$	$\pm 42$	$\pm 65$	$\pm 0.105$	$\pm 0.165$	$\pm 0.26$	$\pm 0.42$	$\pm 0.65$	$\pm 1.05$	$\pm 1.65$
30	50	$\pm 0.75$	$\pm 1.25$	$\pm 2$	$\pm 3.5$	$\pm 5.5$	$\pm 8$	$\pm 12$	$\pm 19$	$\pm 31$	$\pm 50$	$\pm 80$	$\pm 0.125$	$\pm 0.195$	$\pm 0.31$	$\pm 0.5$	$\pm 0.8$	$\pm 1.25$	$\pm 1.95$
50	80	$\pm 1$	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$	$\pm 4$	$\pm 6.5$	$\pm 9.5$	$\pm 15$	$\pm 23$	$\pm 37$	$\pm 60$	$\pm 95$	$\pm 0.15$	$\pm 0.23$	$\pm 0.37$	$\pm 0.6$	$\pm 0.95$	$\pm 1.5$	$\pm 2.3$
80	120	$\pm 1.25$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 5$	$\pm 7.5$	$\pm 11$	$\pm 17$	$\pm 27$	$\pm 43$	$\pm 70$	$\pm 110$	$\pm 0.175$	$\pm 0.27$	$\pm 0.435$	$\pm 0.7$	$\pm 1.1$	$\pm 1.75$	$\pm 2.7$
120	180	$\pm 1.75$	$\pm 2.5$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 9$	$\pm 12.5$	$\pm 20$	$\pm 31$	$\pm 50$	$\pm 80$	$\pm 125$	$\pm 0.2$	$\pm 0.315$	$\pm 0.5$	$\pm 0.8$	$\pm 1.25$	$\pm 2$	$\pm 3.15$
180	250	$\pm 2.25$	$\pm 3.5$	$\pm 5$	$\pm 7$	$\pm 10$	$\pm 14.5$	$\pm 23$	$\pm 36$	$\pm 57$	$\pm 92$	$\pm 145$	$\pm 0.23$	$\pm 0.36$	$\pm 0.575$	$\pm 0.925$	$\pm 1.45$	$\pm 2.3$	$\pm 3.6$
250	315	$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$	$\pm 11.5$	$\pm 16$	$\pm 26$	$\pm 40$	$\pm 65$	$\pm 105$	$\pm 160$	$\pm 0.28$	$\pm 0.405$	$\pm 0.65$	$\pm 1.05$	$\pm 1.6$	$\pm 2.6$	$\pm 4.05$
315	400	$\pm 3.5$	$\pm 4.5$	$\pm 6.5$	$\pm 9$	$\pm 12.5$	$\pm 18$	$\pm 28$	$\pm 44$	$\pm 70$	$\pm 115$	$\pm 180$	$\pm 0.285$	$\pm 0.445$	$\pm 0.7$	$\pm 1.15$	$\pm 1.8$	$\pm 2.85$	$\pm 4.45$
400	500	$\pm 4$	$\pm 5$	$\pm 7.5$	$\pm 10$	$\pm 13.5$	$\pm 20$	$\pm 31$	$\pm 48$	$\pm 77$	$\pm 125$	$\pm 200$	$\pm 0.315$	$\pm 0.485$	$\pm 0.775$	$\pm 1.25$	$\pm 2$	$\pm 3.15$	$\pm 4.85$
500	630	$\pm 4.5$	$\pm 5.5$	$\pm 8$	$\pm 11$	$\pm 16$	$\pm 22$	$\pm 35$	$\pm 55$	$\pm 87$	$\pm 140$	$\pm 220$	$\pm 0.35$	$\pm 0.55$	$\pm 0.875$	$\pm 1.4$	$\pm 2.2$	$\pm 3.5$	$\pm 5.5$
630	800	$\pm 5$	$\pm 6.5$	$\pm 9$	$\pm 12.5$	$\pm 18$	$\pm 25$	$\pm 40$	$\pm 62$	$\pm 100$	$\pm 160$	$\pm 250$	$\pm 0.4$	$\pm 0.625$	$\pm 1$	$\pm 1.6$	$\pm 2.5$	$\pm 4$	$\pm 6.25$
800	1000	$\pm 5.5$	$\pm 7.5$	$\pm 10.5$	$\pm 14$	$\pm 20$	$\pm 28$	$\pm 45$	$\pm 70$	$\pm 115$	$\pm 180$	$\pm 280$	$\pm 0.45$	$\pm 0.7$	$\pm 1.15$	$\pm 1.8$	$\pm 2.8$	$\pm 4.5$	$\pm 7$
1000	1250	$\pm 6.5$	$\pm 9$	$\pm 12$	$\pm 16.5$	$\pm 23.5$	$\pm 33$	$\pm 52$	$\pm 82$	$\pm 130$	$\pm 210$	$\pm 330$	$\pm 0.525$	$\pm 0.825$	$\pm 1.3$	$\pm 2.1$	$\pm 3.3$	$\pm 5.25$	$\pm 8.25$
1250	1600	$\pm 7.5$	$\pm 10.5$	$\pm 14.5$	$\pm 19.5$	$\pm 27.5$	$\pm 39$	$\pm 62$	$\pm 97$	$\pm 155$	$\pm 250$	$\pm 390$	$\pm 0.625$	$\pm 0.975$	$\pm 1.55$	$\pm 2.5$	$\pm 3.9$	$\pm 6.25$	$\pm 9.75$
1600	2000	$\pm 9$	$\pm 12.5$	$\pm 17.5$	$\pm 23$	$\pm 32.5$	$\pm 46$	$\pm 75$	$\pm 115$	$\pm 185$	$\pm 300$	$\pm 460$	$\pm 0.75$	$\pm 1.15$	$\pm 1.85$	$\pm 3$	$\pm 4.6$	$\pm 7.5$	$\pm 11.5$
2000	2500	$\pm 11$	$\pm 15$	$\pm 20.5$	$\pm 27.5$	$\pm 39$	$\pm 55$	$\pm 87$	$\pm 140$	$\pm 220$	$\pm 350$	$\pm 550$	$\pm 0.875$	$\pm 1.4$	$\pm 2.2$	$\pm 3.5$	$\pm 5.5$	$\pm 8.75$	$\pm 14$
2500	3150	$\pm 13$	$\pm 18$	$\pm 25$	$\pm 34$	$\pm 48$	$\pm 67.5$	$\pm 105$	$\pm 165$	$\pm 270$	$\pm 430$	$\pm 675$	$\pm 1.05$	$\pm 1.65$	$\pm 2.7$	$\pm 4.3$	$\pm 6.75$	$\pm 10.5$	$\pm 16.5$

注: 1. 为避免相同值的重复, 表列值以“ $\pm x$ ”给出, 可为  $ES = +x$ 、 $EI = -x$ , 例如,  $+0.23$ 、 $-0.23$  mm。

2. IT14 至 IT18 只用于大于 1mm 的基本尺寸。

3. 黑框中的数值, 即基本尺寸大于 500 至 3150mm, IT1 至 IT5 的偏差值为试用的。



表 2-2-18

孔 J 和 K 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸/mm		J			K							
大于	至	6	7	8	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	+2 -4	+4 -6	+6 -8	0 -2	0 -3	0 -4	0 -6	0 -10	0 -14	0 -25	0 -40
3	6	+5 -3	$\pm 6$	+10 -8	0 -2.5	+0.5 -3.5	0 -5	+2 -6	+3 -9	+5 -13		
6	10	+5 -4	+8 -7	+12 -10	0 -2.5	+0.5 -3.5	+1 -5	+2 -7	+5 -10	+6 -16		
10	18	+6 -5	+10 -8	+15 -12	0 -3	+1 -4	+2 -6	+2 -9	+6 -12	+8 -19		
18	30	+8 -5	+12 -9	+20 -13	-0.5 -4.5	0 -6	+1 -8	+2 -11	+6 -15	+10 -23		
30	50	+10 -6	+14 -11	+24 -15	-0.5 -4.5	+1 -6	+2 -9	+3 -13	+7 -18	+12 -27		
50	80	+13 -6	+18 -12	+28 -18			+3 -10	+4 -15	+9 -21	+14 -32		
80	120	+16 -6	+22 -13	+34 -20			+2 -13	+4 -18	+10 -25	+16 -38		
120	180	+18 -7	+26 -14	+41 -22			+3 -15	+4 -21	+12 -28	+20 -43		
180	250	+22 -7	+30 -16	+47 -25			+2 -18	+5 -24	+13 -33	+22 -50		
250	315	+25 -7	+36 -16	+55 -26			+3 -20	+5 -27	+16 -36	+25 -56		
315	400	+29 -7	+39 -18	+60 -29			+3 -22	+7 -29	+17 -40	+28 -61		
400	500	+33 -7	+43 -20	+66 -31			+2 -25	+8 -32	+18 -45	+29 -68		
500	630							0 -44	0 -70	0 -110		
630	800							0 -50	0 -80	0 -125		
800	1000							0 -56	0 -90	0 -140		
1000	1250							0 -66	0 -105	0 -165		
1250	1600							0 -78	0 -125	0 -195		
1600	2000							0 -92	0 -150	0 -230		
2000	2500							0 -110	0 -175	0 -280		
2500	3150							0 -135	0 -210	0 -330		

注：1. J9、J10 等公差带对称于零线，其偏差值可见 JS9、JS10 等。

2. 基本尺寸大于 3mm 时，大于 IT8 的 K 的偏差值不作规定。

3. 基本尺寸大于 3 至 6mm 的 J7 的偏差值与对应尺寸段的 JS7 等值。

表 2-2-19

孔 M 和 N 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		M								N								
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10	11
—	3	-2 -4	-2 -5	-2 -6	-2 -8	-2 -12	-2 -16	-2 -27	-2 -42	-4 -6	-4 -7	-4 -8	-4 -10	-4 -14	-4 -18	-4 -29	-4 -44	-4 -64
3	6	-3 -5.5	-2.5 -6.5	-3 -8	-1 -9	0 -12	+2 -16	-4 -34	-4 -52	-7 -9.5	-6.5 -10.5	-7 -12	-5 -13	-4 -16	-2 -20	0 -30	0 -48	0 -75
6	10	-5 -7.5	-4.5 -8.5	-4 -10	-3 -12	0 -15	+1 -21	-6 -42	-6 -64	-9 -11.5	-8.5 -12.5	-8 -14	-7 -16	-4 -19	-3 -25	0 -36	0 -58	0 -90
10	18	-6 -9	-5 -10	-4 -12	-4 -15	0 -18	+2 -25	-7 -50	-7 -77	-11 -14	-10 -15	-9 -17	-9 -20	-5 -23	-3 -30	0 -43	0 -70	0 -110
18	30	-6.5 -10.5	-6 -12	-5 -14	-4 -17	0 -21	+4 -29	-8 -60	-8 -92	-13.5 -17.5	-13 -19	-12 -21	-11 -24	-7 -28	-3 -36	0 -52	0 -84	0 -130
30	50	-7.5 -11.5	-6 -13	-5 -16	-4 -20	0 -25	+5 -34	-9 -71	-9 -109	-15.5 -19.5	-14 -21	-13 -24	-12 -28	-8 -33	-3 -42	0 -62	0 -100	0 -160
50	80			-6 -19	-5 -24	0 -30	+5 -41					-15 -28	-14 -33	-9 -39	-4 -50	0 -74	0 -120	0 -190
80	120			-8 -23	-6 -28	0 -35	+6 -48					-18 -33	-16 -38	-10 -45	-4 -58	0 -87	0 -140	0 -220
120	180			-9 -27	-8 -33	0 -40	+8 -55					-21 -39	-20 -45	-12 -52	-4 -67	0 -100	0 -160	0 -250
180	250			-11 -31	-8 -37	0 -46	+9 -63					-25 -45	-22 -51	-14 -60	-5 -77	0 -115	0 -185	0 -290
250	315			-13 -36	-9 -41	0 -52	+9 -72					-27 -50	-25 -57	-14 -66	-5 -86	0 -130	0 -210	0 -320
315	400			-14 -39	-10 -46	0 -57	+11 -78					-30 -55	-26 -62	-16 -73	-5 -94	0 -140	0 -230	0 -360
400	500			-16 -43	-10 -50	0 -63	+11 -86					-33 -60	-27 -67	-17 -80	-6 -103	0 -155	0 -250	0 -400
500	630				-26 -70	-26 -96	-26 -136						-44 -88	-44 -114	-44 -154	-44 -219		
630	800				-30 -80	-30 -110	-30 -155						-50 -100	-50 -130	-50 -175	-50 -250		
800	1000				-34 -90	-34 -124	-34 -174						-56 -112	-56 -146	-56 -196	-56 -286		
1000	1250				-40 -106	-40 -145	-40 -205						-66 -132	-66 -171	-66 -231	-66 -326		
1250	1600				-48 -126	-48 -173	-48 -243						-78 -156	-78 -203	-78 -273	-78 -388		
1600	2000				-58 -150	-58 -208	-58 -288						-92 -184	-92 -242	-92 -322	-92 -462		
2000	2500				-68 -178	-68 -243	-68 -348						-110 -220	-110 -285	-110 -390	-110 -550		
2500	3150				-76 -211	-76 -286	-76 -406						-135 -270	-135 -345	-135 -465	-135 -675		

注：公差带 N9、N10 和 N11 只用于大于 1mm 的基本尺寸。



表 2-2-20

孔 P 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		P							
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	-6 -8	-6 -9	-6 -10	-6 -12	-6 -16	-6 -20	-6 -31	-6 -46
3	6	-11 -13.5	-10.5 -14.5	-11 -16	-9 -17	-8 -20	-12 -30	-12 -42	-12 -60
6	10	-14 -16.5	-13.5 -17.5	-13 -19	-12 -21	-9 -24	-15 -37	-15 -51	-15 -73
10	18	-17 -20	-16 -21	-15 -23	-15 -26	-11 -29	-18 -45	-18 -61	-18 -88
18	30	-20.5 -24.5	-20 -26	-19 -28	-18 -31	-14 -35	-22 -55	-22 -74	-22 -106
30	50	-24.5 -28.5	-23 -30	-22 -33	-21 -37	-17 -42	-26 -65	-26 -88	-26 -126
50	80			-27 -40	-26 -45	-21 -51	-32 -78	-32 -106	
80	120			-32 -47	-30 -52	-24 -59	-37 -91	-37 -124	
120	180			-37 -55	-36 -61	-28 -68	-43 -106	-43 -143	
180	250			-44 -64	-41 -70	-33 -79	-50 -122	-50 -165	
250	315			-49 -72	-47 -79	-36 -88	-56 -137	-56 -186	
315	400			-55 -80	-51 -87	-41 -98	-62 -151	-62 -202	
400	500			-61 -88	-55 -95	-45 -108	-68 -165	-68 -223	
500	630				-78 -122	-78 -148	-78 -188	-78 -253	
630	800				-88 -138	-88 -168	-88 -213	-88 -288	
800	1000				-100 -156	-100 -190	-100 -240	-100 -330	
1000	1250				-120 -186	-120 -225	-120 -285	-120 -380	
1250	1600				-140 -218	-140 -265	-140 -335	-140 -450	
1600	2000				-170 -262	-170 -320	-170 -400	-170 -540	
2000	2500				-195 -305	-195 -370	-195 -475	-195 -635	
2500	3150				-240 -375	-240 -450	-240 -570	-240 -780	

表 2-2-21

孔 R 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		R								基本尺寸 /mm		R							
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10	大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	-10 -12	-10 -13	-10 -14	-10 -16	-10 -20	-10 -24	-10 -35	-10 -50	355	400			-107 -132	-103 -139	-93 -150	-114 -203		
3	6	-14 -16.5	-13.5 -17.5	-14 -19	-12 -20	-11 -23	-15 -33	-15 -45	-15 -63	400	450			-119 -146	-113 -153	-103 -166	-126 -223		
6	10	-18 -20.5	-17.5 -21.5	-17 -23	-16 -25	-13 -28	-19 -41	-19 -55	-19 -77	450	500			-125 -152	-119 -159	-109 -172	-132 -229		
10	18	-22 -25	-21 -26	-20 -28	-20 -31	-16 -34	-23 -50	-23 -66	-23 -93	500	560				-150 -194	-150 -220	-150 -260		
18	30	-26.5 -30.5	-26 -32	-25 -34	-24 -37	-20 -41	-28 -61	-28 -80	-10 -112	560	630				-155 -199	-155 -225	-155 -265		
30	50	-32.5 -36.5	-31 -38	-30 -41	-29 -45	-25 -50	-34 -73	-34 -96	-34 -134	630	710				-175 -225	-175 -255	-175 -300		
50	65			-36 -49	-35 -54	-30 -60	-41 -87			710	800				-185 -235	-185 -265	-185 -310		
65	80			-38 -51	-37 -56	-32 -62	-43 -89			800	900				-210 -266	-210 -300	-210 -350		
80	100			-46 -61	-44 -66	-38 -73	-51 -105			900	1000				-220 -276	-220 -310	-220 -360		
100	120			-49 -64	-47 -69	-41 -76	-54 -108			1000	1120				-250 -316	-250 -355	-250 -415		
120	140			-57 -75	-56 -81	-48 -88	-63 -126			1120	1250				-260 -326	-260 -365	-260 -425		
140	160			-59 -77	-58 -83	-50 -90	-65 -128			1250	1400				-300 -378	-300 -425	-300 -495		
160	180			-62 -80	-61 -86	-53 -93	-68 -131			1400	1600				-330 -408	-330 -455	-330 -525		
180	200			-71 -91	-68 -97	-60 -106	-77 -149			1600	1800				-370 -462	-370 -520	-370 -600		
200	225			-74 -94	-71 -100	-63 -109	-80 -152			1800	2000				-400 -492	-400 -550	-400 -630		
225	250			-78 -98	-75 -104	-67 -113	-84 -156			2000	2240				-440 -550	-440 -615	-440 -720		
250	280			-87 -110	-85 -117	-74 -126	-94 -175			2240	2500				-460 -570	-460 -635	-460 -740		
280	315			-91 -114	-89 -121	-78 -130	-98 -179			2500	2800				-550 -685	-550 -760	-550 -880		
315	355			-101 -126	-97 -133	-87 -144	-108 -197			2800	3150				-580 -715	-580 -790	-580 -910		

表 2-2-22

孔 S 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		S								基本尺寸 /mm		S							
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10	大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	-14 -16	-14 -17	-14 -18	-14 -20	-14 -24	-14 -28	-14 -39	-14 -54	355	400			-201 -226	-197 -233	-187 -244	-208 -297	-208 -348	
3	6	-18 -20.5	-17.5 -21.5	-18 -23	-16 -24	-15 -27	-19 -37	-19 -49	-19 -67	400	450			-225 -252	-219 -259	-209 -272	-232 -329	-232 -387	
6	10	-22 -24.5	-21.5 -25.5	-21 -27	-20 -29	-17 -32	-23 -45	-23 -59	-23 -81	450	500			-245 -272	-239 -279	-229 -292	-252 -349	-252 -407	
10	18	-27 -30	-26 -31	-25 -33	-25 -36	-21 -39	-28 -55	-28 -71	-28 -98	500	560				-280 -324	-280 -350	-280 -390		
18	30	-33.5 -37.5	-33 -39	-32 -41	-31 -44	-27 -48	-35 -68	-35 -87	-35 -119	560	630				-310 -354	-310 -380	-310 -420		
30	50	-41.5 -45.5	-40 -47	-39 -50	-38 -54	-34 -59	-43 -82	-43 -105	-43 -143	630	710				-340 -390	-340 -420	-340 -465		
50	65			-48 -61	-47 -66	-42 -72	-53 -99	-53 -127		710	800				-380 -430	-380 -460	-380 -505		
65	80			-54 -67	-53 -72	-48 -78	-59 -105	-59 -133		800	900				-430 -486	-430 -520	-430 -570		
80	100			-66 -81	-64 -86	-58 -93	-71 -125	-71 -158		900	1000				-470 -526	-470 -560	-470 -610		
100	120			-74 -89	-72 -94	-66 -101	-79 -133	-79 -166		1000	1120				-520 -586	-520 -625	-520 -685		
120	140			-86 -104	-85 -110	-77 -117	-92 -155	-92 -192		1120	1250				-580 -646	-580 -685	-580 -745		
140	160			-94 -112	-93 -118	-85 -125	-100 -163	-100 -200		1250	1400				-640 -718	-640 -765	-640 -835		
160	180			-102 -120	-101 -126	-93 -133	-108 -171	-108 -208		1400	1600				-720 -798	-720 -845	-720 -915		
180	200			-116 -136	-113 -142	-105 -151	-122 -194	-122 -237		1600	1800				-820 -912	-820 -970	-820 -1050		
200	225			-124 -144	-121 -150	-113 -159	-130 -202	-130 -245		1800	2000				-920 -1012	-920 -1070	-920 -1150		
225	250			-134 -154	-131 -160	-123 -169	-140 -212	-140 -255		2000	2240				-1000 -1110	-1000 -1175	-1000 -1280		
250	280			-151 -174	-149 -181	-138 -190	-158 -239	-158 -288		2240	2500				-1100 -1210	-1100 -1275	-1100 -1380		
280	315			-163 -186	-161 -193	-150 -202	-170 -251	-170 -300		2500	2800				-1250 -1385	-1250 -1460	-1250 -1580		
315	355			-183 -208	-179 -215	-169 -226	-190 -279	-190 -330		2800	3150				-1400 -1535	-1400 -1610	-1400 -1730		

表 2-2-23

孔 T 和 U 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		T				U					
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10
—	3					-18 -22	-18 -24	-18 -28	-18 -32	-18 -43	-18 -58
3	6					-22 -27	-20 -28	-19 -31	-23 -41	-23 -53	-23 -71
6	10					-26 -32	-25 -34	-22 -37	-28 -50	-28 -64	-28 -86
10	18					-30 -38	-30 -41	-26 -44	-33 -60	-33 -76	-33 -103
18	24					-38 -47	-37 -50	-33 -54	-41 -74	-41 -93	-41 -125
24	30	-38 -47	-37 -50	-33 -54	-41 -74	-45 -54	-44 -57	-40 -61	-48 -81	-48 -100	-48 -132
30	40	-44 -55	-43 -59	-39 -64	-48 -87	-56 -67	-55 -71	-51 -76	-60 -99	-60 -122	-60 -160
40	50	-50 -61	-49 -65	-45 -70	-54 -93	-66 -77	-65 -81	-61 -86	-70 -109	-70 -132	-70 -170
50	65		-60 -79	-55 -85	-66 -112		-81 -100	-76 -106	-87 -133	-87 -161	-87 -207
65	80		-69 -88	-64 -94	-75 -121		-96 -115	-91 -121	-102 -148	-102 -176	-102 -222
80	100		-84 -106	-78 -113	-91 -145		-117 -139	-111 -146	-124 -178	-124 -211	-124 -264
100	120		-97 -119	-91 -126	-104 -158		-137 -159	-131 -166	-144 -198	-144 -231	-144 -284
120	140		-115 -140	-107 -147	-122 -185		-163 -188	-155 -195	-170 -233	-170 -270	-170 -330
140	160		-127 -152	-119 -159	-134 -197		-183 -208	-175 -215	-190 -253	-190 -290	-190 -350
160	180		-139 -164	-131 -171	-146 -209		-203 -228	-195 -235	-210 -273	-210 -310	-210 -370
180	200		-157 -186	-149 -195	-166 -238		-227 -256	-219 -265	-236 -308	-236 -351	-236 -421
200	225		-171 -200	-163 -209	-180 -252		-249 -278	-241 -287	-258 -330	-258 -373	-258 -443
225	250		-187 -216	-179 -225	-196 -268		-275 -304	-267 -313	-284 -356	-284 -399	-284 -469
250	280		-209 -241	-198 -250	-218 -299		-306 -338	-295 -347	-315 -396	-315 -445	-315 -525
280	315		-231 -263	-220 -272	-240 -321		-341 -373	-330 -382	-350 -431	-350 -480	-350 -560

基本尺寸 /mm		T				U					
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10
315	355		-257 -293	-247 -304	-268 -357		-379 -415	-369 -426	-390 -479	-390 -530	-390 -620
355	400		-283 -319	-273 -330	-294 -383		-424 -460	-414 -471	-435 -524	-435 -575	-435 -665
400	450		-317 -357	-307 -370	-330 -427		-477 -517	-467 -530	-490 -587	-490 -645	-490 -740
450	500		-347 -387	-337 -400	-360 -457		-527 -567	-517 -580	-540 -637	-540 -695	-540 -790
500	560		-400 -444	-400 -470	-400 -510		-600 -644	-600 -670	-600 -710		
560	630		-450 -494	-450 -520	-450 -560		-660 -704	-660 -730	-660 -770		
630	710		-500 -550	-500 -580	-500 -625		-740 -790	-740 -820	-740 -865		
710	800		-560 -610	-560 -640	-560 -685		-840 -890	-840 -920	-840 -965		
800	900		-620 -676	-620 -710	-620 -760		-940 -996	-940 -1030	-940 -1080		
900	1000		-680 -736	-680 -770	-680 -820		-1050 -1106	-1050 -1140	-1050 -1190		
1000	1120		-780 -846	-780 -885	-780 -945		-1150 -1216	-1150 -1255	-1150 -1315		
1120	1250		-840 -906	-840 -945	-840 -1005		-1300 -1366	-1300 -1405	-1300 -1465		
1250	1400		-960 -1038	-960 -1085	-960 -1155		-1450 -1528	-1450 -1575	-1450 -1645		
1400	1600		-1050 -1128	-1050 -1175	-1050 -1245		-1600 -1678	-1600 -1725	-1600 -1795		
1600	1800		-1200 -1292	-1200 -1360	-1200 -1430		-1850 -1942	-1850 -2000	-1850 -2080		
1800	2000		-1350 -1442	-1350 -1500	-1350 -1580		-2000 -2092	-2000 -2150	-2000 -2230		
2000	2240		-1500 -1610	-1500 -1675	-1500 -1780		-2300 -2410	-2300 -2475	-2300 -2580		
2240	2500		-1650 -1760	-1650 -1825	-1650 -1930		-2500 -2610	-2500 -2675	-2500 -2780		
2500	2800		-1900 -2035	-1900 -2110	-1900 -2230		-2900 -3035	-2900 -3110	-2900 -3230		
2800	3150		-2100 -2235	-2100 -2310	-2100 -2430		-3200 -3335	-3200 -3410	-3200 -3530		

注：基本尺寸至 24mm 的 T5 至 T8 的偏差值未列入表内，建议以 U5 至 U8 代替。如一定要 T5 至 T8，则可按 GB/T 1800.3 计算。

表 2-2-24

孔 V、X 和 Y 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		V				X						Y				
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
—	3					-20	-20	-20	-20	-20	-20					
						-24	-26	-30	-34	-45	-60					
3	6					-27	-25	-24	-28	-28	-28					
						-32	-33	-36	-46	-58	-76					
6	10					-32	-31	-28	-34	-34	-34					
						-38	-40	-43	-56	-70	-92					
10	14					-37	-37	-33	-40	-40	-40					
						-45	-48	-51	-67	-83	-110					
14	18	-36	-36	-32	-39	-42	-42	-38	-45	-45	-45					
		-44	-47	-50	-66	-50	-53	-56	-72	-88	-115					
18	24	-44	-43	-39	-47	-51	-50	-46	-54	-54	-54	-59	-55	-63	-63	-63
		-53	-56	-60	-80	-60	-63	-67	-87	-106	-138	-72	-76	-96	-115	-147
24	30	-52	-51	-47	-55	-61	-60	-56	-64	-64	-64	-71	-67	-75	-75	-75
		-61	-64	-68	-88	-70	-73	-77	-97	-116	-148	-84	-88	-108	-127	-159
30	40	-64	-63	-59	-68	-76	-75	-71	-80	-80	-80	-89	-85	-94	-94	-94
		-75	-79	-84	-107	-87	-91	-96	-119	-142	-180	-105	-110	-133	-156	-194
40	50	-77	-76	-72	-81	-93	-92	-88	-97	-97	-97	-109	-105	-114	-114	-114
		-88	-92	-97	-120	-104	-108	-113	-136	-159	-197	-125	-130	-153	-176	-214
50	65		-96	-91	-102		-116	-111	-122	-122		-138	-133	-144		
			-115	-121	-148		-135	-141	-168	-196		-157	-163	-190		
65	80		-114	-109	-120		-140	-135	-146	-146		-168	-163	-174		
			-133	-139	-166		-159	-165	-192	-220		-187	-193	-220		
80	100		-139	-133	-146		-171	-165	-178	-178		-207	-201	-214		
			-161	-168	-200		-193	-200	-232	-265		-229	-236	-268		
100	120		-165	-159	-172		-203	-197	-210	-210		-247	-241	-254		
			-187	-194	-226		-225	-232	-264	-297		-269	-276	-308		
120	140		-195	-187	-202		-241	-233	-248	-248		-293	-285	-300		
			-220	-227	-265		-266	-273	-311	-348		-318	-325	-363		
140	160		-221	-213	-228		-273	-265	-280	-280		-333	-325	-340		
			-246	-253	-291		-298	-305	-343	-380		-358	-365	-403		
160	180		-245	-237	-252		-303	-295	-310	-310		-373	-365	-380		
			-270	-277	-315		-328	-335	-373	-410		-398	-405	-443		
180	200		-275	-267	-284		-341	-333	-350	-350		-416	-408	-425		
			-304	-313	-356		-370	-379	-422	-465		-445	-454	-497		
200	225		-301	-293	-310		-376	-368	-385	-385		-461	-453	-470		
			-330	-339	-382		-405	-414	-457	-500		-490	-499	-542		
225	250		-331	-323	-340		-416	-408	-425	-425		-511	-503	-520		
			-360	-369	-412		-445	-454	-497	-540		-540	-549	-592		

基本尺寸 /mm		V				X						Y				
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
250	280		-376 -408	-365 -417	-385 -466		-466 -498	-455 -507	-475 -556	-475 -605		-571 -603	-560 -612	-580 -661		
280	315		-416 -448	-405 -457	-425 -506		±516 ±548	-505 -557	-525 -606	-525 -655		-641 -673	-630 -682	-650 -731		
315	355		-464 -500	-454 -511	-475 -564		-579 -615	-569 -626	-590 -679	-590 -730		-719 -755	-709 -766	-730 -819		
355	400		-519 -555	-509 -566	-530 -619		-649 -685	-639 -696	-660 -749	-660 -800		-809 -845	-799 -856	-820 -909		
400	450		-582 -622	-572 -635	-595 -692		-727 -767	-717 -780	-740 -837	-740 -895		-907 -947	-897 -960	-920 -1017		
450	500		-647 -687	-637 -700	-660 -757		-807 -847	-797 -860	-820 -917	-820 -975		-987 -1027	-977 -1040	-1000 -1097		

注：1. 基本尺寸至14mm的V5至V8的偏差值未列入表内，建议以X5至X8代替。如一定要V5至V8，则可按GB/T 1800.3计算。

2. 基本尺寸至18mm的Y6至Y10的偏差值未列入表内，建议以Z6至Z10代替。如一定要Y6至Y10，则可按GB/T 1800.3计算。

表 2-2-25

孔 Z 和 ZA 的极限偏差

μm

基本尺寸 /mm		Z						ZA					
大于	至	6	7	8	9	10	11	6	7	8	9	10	11
—	3	-26 -32	-26 -36	-26 -40	-26 -51	-26 -66	-26 -86	-32 -38	-32 -42	-32 -46	-32 -57	-32 -72	-32 -92
3	6	-32 -40	-31 -43	-35 -53	-35 -65	-35 -83	-35 -110	-39 -47	-38 -50	-42 -60	-42 -72	-42 -90	-42 -117
6	10	-39 -48	-36 -51	-42 -64	-42 -78	-42 -100	-42 -132	-49 -58	-46 -61	-52 -74	-52 -88	-52 -110	-52 -142
10	14	-47 -58	-43 -61	-50 -77	-50 -93	-50 -120	-50 -160	-61 -72	-57 -75	-64 -91	-64 -107	-64 -134	-64 -174
14	18	-57 -68	-53 -71	-60 -87	-60 -103	-60 -130	-60 -170	-74 -85	-70 -88	-77 -104	-77 -120	-77 -147	-77 -187
18	24	-69 -82	-65 -86	-73 -106	-73 -125	-73 -157	-73 -203	-94 -107	-90 -111	-98 -131	-98 -150	-98 -182	-98 -228
24	30	-84 -97	-80 -101	-88 -121	-88 -140	-88 -172	-88 -218	-114 -127	-110 -131	-118 -151	-118 -170	-118 -202	-118 -248
30	40	-107 -123	-103 -128	-112 -151	-112 -174	-112 -212	-112 -272	-143 -159	-139 -164	-148 -187	-148 -210	-148 -248	-148 -308
40	50	-131 -147	-127 -152	-136 -175	-136 -198	-136 -236	-136 -296	-175 -191	-171 -196	-180 -219	-180 -242	-180 -280	-180 -340
50	65		-161 -191	-172 -218	-172 -246	-172 -292	-172 -362		-215 -245	-226 -272	-226 -300	-226 -346	-226 -416

续表

基本尺寸 /mm		Z						ZA					
大于	至	6	7	8	9	10	11	6	7	8	9	10	11
65	80		-199 -229	-210 -256	-210 -284	-210 -330	-210 -400		-263 -293	-274 -320	-274 -348	-274 -394	-274 -464
80	100		-245 -280	-258 -312	-258 -345	-258 -398	-258 -478		-322 -357	-335 -389	-335 -422	-335 -475	-335 -555
100	120		-297 -332	-310 -364	-310 -397	-310 -450	-310 -530		-387 -422	-400 -454	-400 -487	-400 -540	-400 -620
120	140		-350 -390	-365 -428	-365 -465	-365 -525	-365 -615		-455 -495	-470 -533	-470 -570	-470 -630	-470 -720
140	160		-400 -440	-415 -478	-415 -515	-415 -575	-415 -665		-520 -560	-535 -598	-535 -635	-535 -695	-535 -785
160	180		-450 -490	-465 -528	-465 -565	-465 -625	-465 -715		-585 -625	-600 -663	-600 -700	-600 -760	-600 -850
180	200		-503 -549	-520 -592	-520 -635	-520 -705	-520 -810		-653 -699	-670 -742	-670 -785	-670 -855	-670 -960
200	225		-558 -604	-575 -647	-575 -690	-575 -760	-575 -865		-723 -769	-740 -812	-740 -855	-740 -925	-740 -1030
225	250		-623 -669	-640 -712	-640 -755	-640 -825	-640 -930		-803 -849	-820 -892	-820 -935	-820 -1005	-820 -1110
250	280		-690 -742	-710 -791	-710 -840	-710 -920	-710 -1030		-900 -952	-920 -1001	-920 -1050	-920 -1130	-920 -1240
280	315		-770 -822	-790 -871	-790 -920	-790 -1000	-790 -1110		-980 -1032	-1000 -1081	-1000 -1130	-1000 -1210	-1000 -1320
315	355		-879 -936	-900 -989	-900 -1040	-900 -1130	-900 -1260		-1129 -1186	-1150 -1239	-1150 -1290	-1150 -1380	-1150 -1510
355	400		-979 -1036	-1000 -1089	-1000 -1140	-1000 -1230	-1000 -1360		-1279 -1336	-1300 -1389	-1300 -1440	-1300 -1530	-1300 -1660
400	450		-1077 -1140	-1100 -1197	-1100 -1255	-1100 -1350	-1100 -1500		-1427 -1490	-1450 -1547	-1450 -1605	-1450 -1700	-1450 -1850
450	500		-1227 -1290	-1250 -1347	-1250 -1405	-1250 -1500	-1250 -1650		-1577 -1640	-1600 -1697	-1600 -1755	-1600 -1850	-1600 -2000

表 2-2-26

孔 ZB 和 ZC 的极限偏差

μm

基本尺寸 /mm		ZB					ZC				
大于	至	7	8	9	10	11	7	8	9	10	11
—	3	-40 -50	-40 -54	-40 -65	-40 -80	-40 -100	-60 -70	-60 -74	-60 -85	-60 -100	-60 -120
3	6	-46 -58	-50 -68	-50 -80	-50 -98	-50 -125	-76 -88	-80 -98	-80 -110	-80 -128	-80 -155
6	10	-61 -76	-67 -89	-67 -103	-67 -125	-67 -157	-91 -106	-97 -119	-97 -133	-97 -155	-97 -187
10	14	-83 -101	-90 -117	-90 -133	-90 -160	-90 -200	-123 -141	-130 -157	-130 -173	-130 -200	-130 -240



基本尺寸 /mm		ZB					ZC				
大于	至	7	8	9	10	11	7	8	9	10	11
14	18	-101 -119	-108 -135	-108 -151	-108 -178	-108 -218	-143 -161	-150 -177	-150 -193	-150 -220	-150 -260
18	24	-128 -149	-136 -169	-136 -188	-136 -220	-136 -266	-180 -201	-188 -221	-188 -240	-188 -272	-188 -318
24	30	-152 -173	-160 -193	-160 -212	-160 -244	-160 -290	-210 -231	-218 -251	-218 -270	-218 -302	-218 -348
30	40	-191 -216	-200 -239	-200 -262	-200 -300	-200 -360	-265 -290	-274 -313	-274 -336	-274 -374	-274 -434
40	50	-233 -258	-242 -281	-242 -304	-242 -342	-242 -402	-316 -341	-325 -364	-325 -387	-325 -425	-325 -485
50	65	-289 -319	-300 -346	-300 -374	-300 -420	-300 -490	-394 -424	-405 -451	-405 -479	-405 -525	-405 -595
65	80	-349 -379	-360 -406	-360 -434	-360 -480	-360 -550	-469 -499	-480 -526	-480 -554	-480 -600	-480 -670
80	100	-432 -467	-445 -499	-445 -532	-445 -585	-445 -665	-572 -607	-585 -639	-585 -672	-585 -725	-585 -805
100	120	-512 -547	-525 -579	-525 -612	-525 -665	-525 -745	-677 -712	-690 -744	-690 -777	-690 -830	-690 -910
120	140	-605 -645	-620 -683	-620 -720	-620 -780	-620 -870	-785 -825	-800 -863	-800 -900	-800 -960	-800 -1050
140	160	-685 -725	-700 -763	-700 -800	-700 -860	-700 -950	-885 -925	-900 -963	-900 -1000	-900 -1060	-900 -1150
160	180	-765 -805	-780 -843	-780 -880	-780 -940	-780 -1030	-985 -1025	-1000 -1063	-1000 -1100	-1000 -1160	-1000 -1250
180	200	-863 -909	-880 -952	-880 -995	-880 -1065	-880 -1170	-1133 -1179	-1150 -1222	-1150 -1265	-1150 -1335	-1150 -1440
200	225	-943 -989	-960 -1032	-960 -1075	-960 -1145	-960 -1250	-1233 -1279	-1250 -1322	-1250 -1365	-1250 -1435	-1250 -1540
225	250	-1033 -1079	-1050 -1122	-1050 -1165	-1050 -1235	-1050 -1340	-1333 -1379	-1350 -1422	-1350 -1465	-1350 -1535	-1350 -1640
250	280	-1180 -1232	-1200 -1281	-1200 -1330	-1200 -1410	-1200 -1520	-1530 -1582	-1550 -1631	-1550 -1680	-1550 -1760	-1550 -1870
280	315	-1280 -1332	-1300 -1381	-1300 -1430	-1300 -1510	-1300 -1620	-1680 -1732	-1700 -1781	-1700 -1830	-1700 -1910	-1700 -2020
315	355	-1479 -1536	-1500 -1589	-1500 -1640	-1500 -1730	-1500 -1860	-1879 -1936	-1900 -1989	-1900 -2040	-1900 -2130	-1900 -2260
355	400	-1629 -1686	-1650 -1739	-1650 -1790	-1650 -1880	-1650 -2010	-2079 -2136	-2100 -2189	-2100 -2240	-2100 -2330	-2100 -2460
400	450	-1827 -1890	-1850 -1947	-1850 -2005	-1850 -2100	-1850 -2250	-2377 -2440	-2400 -2497	-2400 -2555	-2400 -2650	-2400 -2800
450	500	-2077 -2140	-2100 -2197	-2100 -2255	-2100 -2350	-2100 -2500	-2577 -2640	-2600 -2697	-2600 -2755	-2600 -2850	-2600 -3000

表 2-2-27

轴 a、b 和 c 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		a					b						c				
大于	至	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12
—	3	-270	-270	-270	-270	-270	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-60	-60	-60	-60	-60
		-295	-310	-330	-370	-410	-154	-165	-180	-200	-240	-280	-74	-85	-100	-120	-160
3	6	-270	-270	-270	-270	-270	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-70	-70	-70	-70	-70
		-300	-318	-345	-390	-450	-158	-170	-188	-215	-260	-320	-88	-100	-118	-145	-190
6	10	-280	-280	-280	-280	-280	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-80	-80	-80	-80	-80
		-316	-338	-370	-430	-500	-172	-186	-208	-240	-300	-370	-102	-116	-138	-170	-230
10	18	-290	-290	-290	-290	-290	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-95	-95	-95	-95	-95
		-333	-360	-400	-470	-560	-177	-193	-220	-260	-330	-420	-122	-138	-165	-205	-275
18	30	-300	-300	-300	-300	-300	-160	-160	-160	-160	-160	-160	-110	-110	-110	-110	-110
		-352	-384	-430	-510	-630	-193	-212	-244	-290	-370	-490	-143	-162	-194	-240	-320
30	40	-310	-310	-310	-310	-310	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-120	-120	-120	-120	-120
		-372	-410	-470	-560	-700	-209	-232	-270	-330	-420	-560	-159	-182	-220	-280	-370
40	50	-320	-320	-320	-320	-320	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-130	-130	-130	-130	-130
		-382	-420	-480	-570	-710	-219	-242	-280	-340	-430	-570	-169	-192	-230	-290	-380
50	65	-340	-340	-340	-340	-340	-190	-190	-190	-190	-190	-190	-140	-140	-140	-140	-140
		-414	-460	-530	-640	-800	-236	-264	-310	-380	-490	-650	-186	-214	-260	-330	-440
65	80	-360	-360	-360	-360	-360	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-150	-150	-150	-150	-150
		-434	-480	-550	-660	-820	-246	-274	-320	-390	-500	-660	-196	-224	-270	-340	-450
80	100	-380	-380	-380	-380	-380	-220	-220	-220	-220	-220	-220	-170	-170	-170	-170	-170
		-467	-520	-600	-730	-920	-274	-307	-360	-440	-570	-760	-224	-257	-310	-390	-520
100	120	-410	-410	-410	-410	-410	-240	-240	-240	-240	-240	-240	-180	-180	-180	-180	-180
		-497	-550	-630	-760	-950	-294	-327	-380	-460	-590	-780	-234	-267	-320	-400	-530
120	140	-460	-460	-460	-460	-460	-260	-260	-260	-260	-260	-260	-200	-200	-200	-200	-200
		-560	-620	-710	-860	-1090	-323	-360	-420	-510	-660	-890	-263	-300	-360	-450	-600
140	160	-520	-520	-520	-520	-520	-280	-280	-280	-280	-280	-280	-210	-210	-210	-210	-210
		-620	-680	-770	-920	-1150	-343	-380	-440	-530	-680	-910	-273	-310	-370	-460	-610
160	180	-580	-580	-580	-580	-580	-310	-310	-310	-310	-310	-310	-230	-230	-230	-230	-230
		-680	-740	-830	-980	-1210	-373	-410	-470	-560	-710	-940	-293	-330	-390	-480	-630
180	200	-660	-660	-660	-660	-660	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-240	-240	-240	-240	-240
		-775	-845	-950	-1120	-1380	-412	-455	-525	-630	-800	-1060	-312	-355	-425	-530	-700
200	225	-740	-740	-740	-740	-740	-380	-380	-380	-380	-380	-380	-260	-260	-260	-260	-260
		-855	-925	-1030	-1200	-1460	-452	-495	-565	-670	-840	-1100	-332	-375	-445	-550	-720
225	250	-820	-820	-820	-820	-820	-420	-420	-420	-420	-420	-420	-280	-280	-280	-280	-280
		-935	-1005	-1110	-1280	-1540	-492	-535	-605	-710	-880	-1140	-352	-395	-465	-570	-740
250	280	-920	-920	-920	-920	-920	-480	-480	-480	-480	-480	-480	-300	-300	-300	-300	-300
		-1050	-1130	-1240	-1440	-1730	-561	-610	-690	-800	-1000	-1290	-381	-430	-510	-620	-820
280	315	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050	-540	-540	-540	-540	-540	-540	-330	-330	-330	-330	-330
		-1180	-1260	-1370	-1570	-1860	-621	-670	-750	-860	-1060	-1350	-411	-460	-540	-650	-850
315	355	-1200	-1200	-1200	-1200	-1200	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-360	-360	-360	-360	-360
		-1340	-1430	-1560	-1770	-2090	-689	-740	-830	-960	-1170	-1490	-449	-500	-590	-720	-930
355	400	-1350	-1350	-1350	-1350	-1350	-680	-680	-680	-680	-680	-680	-400	-400	-400	-400	-400
		-1490	-1580	-1710	-1920	-2240	-769	-820	-910	-1040	-1250	-1570	-489	-540	-630	-760	-970
400	450	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-760	-760	-760	-760	-760	-760	-440	-440	-440	-440	-440
		-1655	-1750	-1900	-2130	-2470	-857	-915	-1010	-1160	-1390	-1730	-537	-595	-690	-840	-1070
450	500	-1650	-1650	-1650	-1650	-1650	-840	-840	-840	-840	-840	-840	-480	-480	-480	-480	-480
		-1805	-1900	-2050	-2280	-2620	-937	-995	-1090	-1240	-1470	-1810	-577	-635	-730	-880	-1110

注：基本尺寸小于1mm时，各级的a和b均不采用。

表 2-2-28

轴 cd 和 d 的极限偏差

μm

基本尺寸 /mm		cd						d									
大于	至	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
—	3	-34 -38	-34 -40	-34 -44	-34 -48	-34 -59	-34 -74	-20 -24	-20 -26	-20 -30	-20 -34	-20 -45	-20 -60	-20 -80	-20 -120	-20 -160	
3	6	-46 -51	-46 -54	-46 -58	-46 -64	-46 -76	-46 -94	-30 -35	-30 -38	-30 -42	-30 -48	-30 -60	-30 -78	-30 -105	-30 -150	-30 -210	
6	10	-56 -62	-56 -65	-56 -71	-56 -78	-56 -92	-56 -114	-40 -46	-40 -49	-40 -55	-40 -62	-40 -76	-40 -98	-40 -130	-40 -190	-40 -260	
10	18							-50 -58	-50 -61	-50 -68	-50 -77	-50 -93	-50 -120	-50 -160	-50 -230	-50 -320	
18	30							-65 -74	-65 -78	-65 -86	-65 -98	-65 -117	-65 -149	-65 -195	-65 -275	-65 -395	
30	50							-80 -91	-80 -96	-80 -105	-80 -119	-80 -142	-80 -180	-80 -240	-80 -330	-80 -470	
50	80							-100 -113	-100 -119	-100 -130	-100 -146	-100 -174	-100 -220	-100 -290	-100 -400	-100 -560	
80	120							-120 -135	-120 -142	-120 -155	-120 -174	-120 -207	-120 -260	-120 -340	-120 -470	-120 -660	
120	180							-145 -163	-145 -170	-145 -185	-145 -208	-145 -245	-145 -305	-145 -395	-145 -545	-145 -775	
180	250							-170 -190	-170 -199	-170 -216	-170 -242	-170 -285	-170 -355	-170 -460	-170 -630	-170 -890	
250	315							-190 -213	-190 -222	-190 -242	-190 -271	-190 -320	-190 -400	-190 -510	-190 -710	-190 -1000	
315	400							-210 -235	-210 -246	-210 -267	-210 -299	-210 -350	-210 -440	-210 -570	-210 -780	-210 -1100	
400	500							-230 -257	-230 -270	-230 -293	-230 -327	-230 -385	-230 -480	-230 -630	-230 -860	-230 -1200	
500	630									-260 -330	-260 -370	-260 -435	-260 -540	-260 -700			
630	800									-290 -370	-290 -415	-290 -490	-290 -610	-290 -790			
800	1000									-320 -410	-320 -460	-320 -550	-320 -680	-320 -880			
1000	1250									-350 -455	-350 -515	-350 -610	-350 -770	-350 -1010			
1250	1600									-390 -515	-390 -585	-390 -700	-390 -890	-390 -1170			
1600	2000									-430 -580	-430 -660	-430 -800	-430 -1030	-430 -1350			
2000	2500									-480 -655	-480 -760	-480 -920	-480 -1180	-480 -1580			
2500	3150									-520 -730	-520 -850	-520 -1060	-520 -1380	-520 -1870			

注：各级的 cd 主要用于精密机械和钟表制造业。

表 2-2-29

轴 e 和 ef 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		e						ef							
大于	至	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	-14 -18	-14 -20	-14 -24	-14 -28	-14 -39	-14 -54	-10 -12	-10 -13	-10 -14	-10 -16	-10 -20	-10 -24	-10 -35	-10 -50
3	6	-20 -25	-20 -28	-20 -32	-20 -38	-20 -50	-20 -68	-14 -16.5	-14 -18	-14 -19	-14 -22	-14 -26	-14 -32	-14 -44	-14 -62
6	10	-25 -31	-25 -34	-25 -40	-25 -47	-25 -61	-25 -83	-18 -20.5	-18 -22	-18 -24	-18 -27	-18 -33	-18 -40	-18 -54	-18 -76
10	18	-32 -40	-32 -43	-32 -50	-32 -59	-32 -75	-32 -102								
18	30	-40 -49	-40 -53	-40 -61	-40 -73	-40 -92	-40 -124								
30	50	-50 -61	-50 -66	-50 -75	-50 -89	-50 -112	-50 -150								
50	80	-60 -73	-60 -79	-60 -90	-60 -106	-60 -134	-60 -180								
80	120	-72 -87	-72 -94	-72 -107	-72 -126	-72 -159	-72 -212								
120	180	-85 -103	-85 -110	-85 -125	-85 -148	-85 -185	-85 -245								
180	250	-100 -120	-100 -129	-100 -146	-100 -172	-100 -215	-100 -285								
250	315	-110 -133	-110 -142	-110 -162	-110 -191	-110 -240	-110 -320								
315	400	-125 -150	-125 -161	-125 -182	-125 -214	-125 -265	-125 -355								
400	500	-135 -162	-135 -175	-135 -198	-135 -232	-135 -290	-135 -385								
500	630		-145 -189	-145 -215	-145 -255	-145 -320	-145 -425								
630	800		-160 -210	-160 -240	-160 -285	-160 -360	-160 -480								
800	1000		-170 -226	-170 -260	-170 -310	-170 -400	-170 -530								
1000	1250		-195 -261	-195 -300	-195 -360	-195 -455	-195 -615								
1250	1600		-220 -298	-220 -345	-220 -415	-220 -530	-220 -720								
1600	2000		-240 -332	-240 -390	-240 -470	-240 -610	-240 -840								
2000	2500		-260 -370	-260 -435	-260 -540	-260 -700	-260 -960								
2500	3150		-290 -425	-290 -500	-290 -620	-290 -830	-290 -1150								

注：各级的 ef 主要用于精密机械和钟表制造业。

表 2-2-30

轴 f 和 fg 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		f								fg							
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	-6 -8	-6 -9	-6 -10	-6 -12	-6 -16	-6 -20	-6 -31	-6 -46	-4 -6	-4 -7	-4 -8	-4 -10	-4 -14	-4 -18	-4 -29	-4 -44
3	6	-10 -12.5	-10 -14	-10 -15	-10 -18	-10 -22	-10 -28	-10 -40	-10 -58	-6 -8.5	-6 -10	-6 -11	-6 -14	-6 -18	-6 -24	-6 -36	-6 -54
6	10	-13 -15.5	-13 -17	-13 -19	-13 -22	-13 -28	-13 -35	-13 -49	-13 -71	-8 -10.5	-8 -12	-8 -14	-8 -17	-8 -23	-8 -30	-8 -44	-8 -66
10	18	-16 -19	-16 -21	-16 -24	-16 -27	-16 -34	-16 -43	-16 -59	-16 -86								
18	30	-20 -24	-20 -26	-20 -29	-20 -33	-20 -41	-20 -53	-20 -72	-20 -104								
30	50	-25 -29	-25 -32	-25 -36	-25 -41	-25 -50	-25 -64	-25 -87	-25 -125								
50	80		-30 -38	-30 -43	-30 -49	-30 -60	-30 -76	-30 -104									
80	120		-36 -46	-36 -51	-36 -58	-36 -71	-36 -90	-36 -123									
120	180		-43 -55	-43 -61	-43 -68	-43 -83	-43 -106	-43 -143									
180	250		-50 -64	-50 -70	-50 -79	-50 -96	-50 -122	-50 -165									
250	315		-56 -72	-56 -79	-56 -88	-56 -108	-56 -137	-56 -185									
315	400		-62 -80	-62 -87	-62 -98	-62 -119	-62 -151	-62 -202									
400	500		-68 -88	-68 -95	-68 -108	-68 -131	-68 -165	-68 -223									
500	630				-76 -120	-76 -146	-76 -186	-76 -251									
630	800				-80 -130	-80 -160	-80 -205	-80 -280									
800	1000				-86 -142	-86 -176	-86 -226	-86 -316									
1000	1250				-98 -164	-98 -203	-98 -263	-98 -358									
1250	1600				-110 -188	-110 -235	-110 -305	-110 -420									
1600	2000				-120 -212	-120 -270	-120 -350	-120 -490									
2000	2500				-130 -240	-130 -305	-130 -410	-130 -570									
2500	3150				-145 -280	-145 -355	-145 -475	-145 -685									

注：各级的 fg 主要用于精密机械和钟表制造业。

表 2-2-31

## 轴 g 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		g							
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	-2 -4	-2 -5	-2 -6	-2 -8	-2 -12	-2 -16	-2 -27	-2 -42
3	6	-4 -6.5	-4 -8	-4 -9	-4 -12	-4 -16	-4 -22	-4 -34	-4 -52
6	10	-5 -7.5	-5 -9	-5 -11	-5 -14	-5 -20	-5 -27	-5 -41	-5 -63
10	18	-6 -9	-6 -11	-6 -14	-6 -17	-6 -24	-6 -33	-6 -49	-6 -76
18	30	-7 -11	-7 -13	-7 -16	-7 -20	-7 -28	-7 -40	-7 -59	-7 -91
30	50	-9 -13	-9 -16	-9 -20	-9 -25	-9 -34	-9 -48	-9 -71	-9 -109
50	80		-10 -18	-10 -23	-10 -29	-10 -40	-10 -56		
80	120		-12 -22	-12 -27	-12 -34	-12 -47	-12 -66		
120	180		-14 -26	-14 -32	-14 -39	-14 -54	-14 -77		
180	250		-15 -29	-15 -35	-15 -44	-15 -61	-15 -87		
250	315		-17 -33	-17 -40	-17 -49	-17 -69	-17 -98		
315	400		-18 -36	-18 -43	-18 -54	-18 -75	-18 -107		
400	500		-20 -40	-20 -47	-20 -60	-20 -83	-20 -117		
500	630				-22 -66	-22 -92	-22 -132		
630	800				-24 -74	-24 -104	-24 -149		
800	1000				-26 -82	-26 -116	-26 -166		
1000	1250				-28 -94	-28 -133	-28 -193		
1250	1600				-30 -108	-30 -155	-30 -225		
1600	2000				-32 -124	-32 -182	-32 -262		
2000	2500				-34 -144	-34 -209	-34 -314		
2500	3150				-38 -173	-38 -248	-38 -368		

表 2-2-32 轴 h 的极限偏差

基本尺寸 /mm	h																	
	偏差																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
—	0 -0.8	0 -1.2	0 -2	0 -3	0 -4	0 -6	0 -10	0 -14	0 -25	0 -40	0 -60	0 -0.1	0 -0.14	0 -0.25	0 -0.4	0 -0.6	0 0	0 0
3	0 -1	0 -1.5	0 -2.5	0 -4	0 -5	0 -8	0 -12	0 -18	0 -30	0 -48	0 -75	0 -0.12	0 -0.18	0 -0.3	0 -0.48	0 -0.75	0 -1.2	0 -1.8
6	0 -1	0 -1.5	0 -2.5	0 -4	0 -6	0 -9	0 -15	0 -22	0 -36	0 -58	0 -90	0 -0.15	0 -0.22	0 -0.36	0 -0.58	0 -0.9	0 -1.5	0 -2.2
10	0 -1.2	0 -2	0 -3	0 -5	0 -8	0 -11	0 -18	0 -27	0 -43	0 -70	0 -110	0 -0.18	0 -0.27	0 -0.43	0 -0.7	0 -1.1	0 -1.8	0 -2.7
18	0 -1.5	0 -2.5	0 -4	0 -6	0 -9	0 -13	0 -21	0 -33	0 -52	0 -84	0 -130	0 -0.21	0 -0.33	0 -0.52	0 -0.84	0 -1.3	0 -2.1	0 -3.3
30	0 -1.5	0 -2.5	0 -4	0 -7	0 -11	0 -16	0 -25	0 -39	0 -62	0 -100	0 -160	0 -0.25	0 -0.39	0 -0.62	0 -1	0 -1.6	0 -2.5	0 -3.9
50	0 -2	0 -3	0 -5	0 -8	0 -13	0 -19	0 -30	0 -46	0 -74	0 -120	0 -190	0 -0.3	0 -0.46	0 -0.74	0 -1.2	0 -1.9	0 -3	0 -4.6
80	0 -2.5	0 -4	0 -6	0 -10	0 -15	0 -22	0 -35	0 -54	0 -87	0 -140	0 -220	0 -0.35	0 -0.54	0 -0.87	0 -1.4	0 -2.2	0 -3.5	0 -5.4
120	0 -3.5	0 -5	0 -8	0 -12	0 -18	0 -25	0 -40	0 -63	0 -100	0 -160	0 -250	0 -0.4	0 -0.63	0 -1	0 -1.6	0 -2.5	0 -4	0 -6.3
180	0 -4.5	0 -7	0 -10	0 -14	0 -20	0 -29	0 -46	0 -72	0 -115	0 -185	0 -290	0 -0.46	0 -0.72	0 -1.15	0 -1.85	0 -2.9	0 -4.6	0 -7.2
250	0 -6	0 -8	0 -12	0 -16	0 -23	0 -32	0 -52	0 -81	0 -130	0 -210	0 -320	0 -0.52	0 -0.81	0 -1.3	0 -2.1	0 -3.2	0 -5.2	0 -8.1
315	0 -6	0 -8	0 -12	0 -16	0 -23	0 -32	0 -52	0 -81	0 -130	0 -210	0 -320	0 -0.52	0 -0.81	0 -1.3	0 -2.1	0 -3.2	0 -5.2	0 -8.1





表 2-2-33 轴 js 的极限偏差

基本尺寸 /mm	js																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
大于	偏 差																	
至	mm																	
	μm																	
—	3	±0.4	±0.6	±1	±1.5	±2	±3	±5	±7	±12	±20	±30	±0.05	±0.07	±0.125	±0.2	±0.3	
3	6	±0.5	±0.75	±1.25	±2	±2.5	±4	±6	±9	±15	±24	±37	±0.06	±0.09	±0.15	±0.24	±0.375	±0.6
6	10	±0.5	±0.75	±1.25	±2	±3	±4.5	±7	±11	±18	±29	±45	±0.075	±0.11	±0.18	±0.29	±0.45	±0.75
10	18	±0.6	±1	±1.5	±2.5	±4	±5.5	±9	±13	±21	±35	±55	±0.09	±0.135	±0.215	±0.35	±0.55	±0.9
18	30	±0.75	±1.25	±2	±3	±4.5	±6.5	±10	±16	±26	±42	±65	±0.105	±0.165	±0.26	±0.42	±0.65	±1.05
30	50	±0.75	±1.25	±2	±3.5	±5.5	±8	±12	±19	±31	±50	±80	±0.125	±0.195	±0.31	±0.5	±0.8	±1.25
50	80	±1	±1.5	±2.5	±4	±6.5	±9.5	±15	±23	±37	±60	±95	±0.15	±0.23	±0.37	±0.6	±0.95	±1.5
80	120	±1.25	±2	±3	±5	±7.5	±11	±17	±27	±43	±70	±110	±0.175	±0.27	±0.435	±0.7	±1.1	±1.75
120	180	±1.75	±2.5	±4	±6	±9	±12.5	±20	±31	±50	±80	±125	±0.2	±0.315	±0.5	±0.8	±1.25	±2
180	250	±2.25	±3.5	±5	±7	±10	±14.5	±23	±36	±57	±92	±145	±0.23	±0.36	±0.575	±0.925	±1.45	±2.3
250	315	±3	±4	±6	±8	±11.5	±16	±26	±40	±65	±105	±160	±0.26	±0.405	±0.65	±1.05	±1.6	±2.6
315	400	±3.5	±4.5	±6.5	±9	±12.5	±18	±28	±44	±70	±115	±180	±0.285	±0.445	±0.7	±1.15	±1.8	±2.85
400	500	±4	±5	±7.5	±10	±13.5	±20	±31	±48	±77	±125	±200	±0.315	±0.485	±0.775	±1.25	±2	±3.15
500	630	±4.5	±5.5	±8	±11	±16	±22	±35	±55	±87	±140	±220	±0.35	±0.55	±0.875	±1.4	±2.2	±3.5
630	800	±5	±6.5	±9	±12.5	±18	±25	±40	±62	±100	±160	±250	±0.4	±0.625	±1	±1.6	±2.5	±4
800	1000	±5.5	±7.5	±10.5	±14	±20	±28	±45	±70	±115	±180	±280	±0.45	±0.7	±1.15	±1.8	±2.8	±4.5
1000	1250	±6.5	±9	±12	±16.5	±23.5	±33	±52	±82	±130	±210	±330	±0.525	±0.825	±1.3	±2.1	±3.3	±5.25
1250	1600	±7.5	±10.5	±14.5	±19.5	±27.5	±39	±62	±97	±155	±250	±390	±0.625	±0.975	±1.55	±2.5	±3.9	±6.25
1600	2000	±9	±12.5	±17.5	±23	±32.5	±46	±75	±115	±185	±300	±460	±0.75	±1.15	±1.85	±3	±4.6	±7.5
2000	2500	±11	±15	±20.5	±27.5	±39	±55	±87	±140	±220	±350	±550	±0.875	±1.4	±2.2	±3.5	±5.5	±8.75
2500	3150	±13	±18	±25	±34	±48	±67.5	±105	±165	±270	±430	±675	±1.05	±1.65	±2.7	±4.3	±6.75	±10.5

注：1. 为避免相同值的重复，表列值以“±x”给出，可为es = +x，ei = -x，例如  $\begin{matrix} +0.23 \\ -0.23 \end{matrix}$  mm。

- 2. IT14 至 IT18 只用于大于 1mm 的基本尺寸。
- 3. 黑框中的数值，即基本尺寸大于 500 至 3150mm，IT1 至 IT5 的偏差值为试用的。

表 2-2-34

轴 j 和 k 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		j				k										
大于	至	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
—	3	$\pm 2$	+4 -2	+6 -4	+8 -6	+2 0	+3 0	+4 0	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+40 0	+60 0	+100 0	+140 0
3	6	+3 -2	+6 -2	+8 -4		+2.5 0	+5 +1	+6 +1	+9 +1	+13 +1	+18 0	+30 0	+48 0	+75 0	+120 0	+180 0
6	10	+4 -2	+7 -2	+10 -5		+2.5 0	+5 +1	+7 +1	+10 +1	+16 +1	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+150 0	+220 0
10	18	+5 -3	+8 -3	+12 -6		+3 0	+6 +1	+9 +1	+12 +1	+19 +1	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+180 0	+270 0
18	30	+5 -4	+9 -4	+13 -8		+4 0	+8 +2	+11 +2	+15 +2	+23 +2	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	+210 0	+330 0
30	50	+6 -5	+11 -5	+15 -10		+4 0	+9 +2	+13 +2	+18 +2	+27 +2	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+250 0	+390 0
50	80	+6 -7	+12 -7	+18 -12			+10 +2	+15 +2	+21 +2	+32 +2	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0	+300 0	+460 0
80	120	+6 -9	+13 -9	+20 -15			+13 +3	+18 +3	+25 +3	+38 +3	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0	+350 0	+540 0
120	180	+7 -11	+14 -11	+22 -18			+15 +3	+21 +3	+28 +3	+43 +3	+63 0	+100 0	+160 0	+250 0	+400 0	+630 0
180	250	+7 -13	+16 -13	+25 -21			+18 +4	+24 +4	+33 +4	+50 +4	+72 0	+115 0	+185 0	+290 0	+460 0	+720 0
250	315	+7 -16	$\pm 16$	$\pm 26$			+20 +4	+27 +4	+36 +4	+56 +4	+81 0	+130 0	+210 0	+320 0	+520 0	+810 0
315	400	+7 -18	$\pm 18$	+29 -28			+22 +4	+29 +4	+40 +4	+61 +4	+89 0	+140 0	+230 0	+360 0	+570 0	+890 0
400	500	+7 -20	$\pm 20$	+31 -32			+25 +5	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+97 0	+155 0	+250 0	+400 0	+630 0	+970 0
500	630								+44 0	+70 0	+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+700 0	+1100 0
630	800								+50 0	+80 0	+125 0	+200 0	+320 0	+500 0	+800 0	+1250 0
800	1000								+56 0	+90 0	+140 0	+230 0	+360 0	+560 0	+900 0	+1400 0
1000	1250								+66 0	+105 0	+165 0	+260 0	+420 0	+660 0	+1050 0	+1650 0
1250	1600								+78 0	+125 0	+195 0	+310 0	+500 0	+780 0	+1250 0	+1950 0
1600	2000								+92 0	+150 0	+230 0	+370 0	+600 0	+920 0	+1500 0	+2300 0
2000	2500								+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+700 0	+1100 0	+1750 0	+2800 0
2500	3150								+135 0	+210 0	+330 0	+540 0	+860 0	+1350 0	+2100 0	+3300 0

注：j5、j6 和 j7 的某些极限值与 js5、js6 和 js7 一样，用“ $\pm x$ ”表示。

表 2-2-35

## 轴 m 和 n 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		m							n						
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	3	4	5	6	7	8	9
—	3	+4 +2	+5 +2	+6 +2	+8 +2	+12 +2	+16 +2	+27 +2	+6 +4	+7 +4	+8 +4	+10 +4	+14 +4	+18 +4	+29 +4
3	6	+6.5 +4	+8 +4	+9 +4	+12 +4	+16 +4	+22 +4	+34 +4	+10.5 +8	+12 +8	+13 +8	+16 +8	+20 +8	+26 +8	+38 +8
6	10	+8.5 +6	+10 +6	+12 +6	+15 +6	+21 +6	+28 +6	+42 +6	+12.5 +10	+14 +10	+16 +10	+19 +10	+25 +10	+32 +10	+46 +10
10	18	+10 +7	+12 +7	+15 +7	+18 +7	+25 +7	+34 +7	+50 +7	+15 +12	+17 +12	+20 +12	+23 +12	+30 +12	+39 +12	+55 +12
18	30	+12 +8	+14 +8	+17 +8	+21 +8	+29 +8	+41 +8	+60 +8	+19 +15	+21 +15	+24 +15	+28 +15	+36 +15	+48 +15	+67 +15
30	50	+13 +9	+16 +9	+20 +9	+25 +9	+34 +9	+48 +9	+71 +9	+21 +17	+24 +17	+28 +17	+33 +17	+42 +17	+56 +17	+79 +17
50	80		+19 +11	+24 +11	+30 +11	+41 +11				+28 +20	+33 +20	+39 +20	+50 +20		
80	120		+23 +13	+28 +13	+35 +13	+48 +13				+33 +23	+38 +23	+45 +23	+58 +23		
120	180		+27 +15	+33 +15	+40 +15	+55 +15				+39 +27	+45 +27	+52 +27	+67 +27		
180	250		+31 +17	+37 +17	+46 +17	+63 +17				+45 +31	+51 +31	+60 +31	+77 +31		
250	315		+36 +20	+43 +20	+52 +20	+72 +20				+50 +34	+57 +34	+66 +34	+86 +34		
315	400		+39 +21	+46 +21	+57 +21	+78 +21				+55 +37	+62 +37	+73 +37	+94 +37		
400	500		+43 +23	+50 +23	+63 +23	+86 +23				+60 +40	+67 +40	+80 +40	+103 +40		
500	630				+70 +26	+96 +26						+88 +44	+114 +44		
630	800				+80 +30	+110 +30						+100 +50	+130 +50		
800	1000				+90 +34	+124 +34						+112 +56	+146 +56		
1000	1250				+106 +40	+145 +40						+132 +66	+171 +66		
1250	1600				+126 +48	+173 +48						+156 +78	+203 +78		
1600	2000				+150 +58	+208 +58						+184 +92	+242 +92		
2000	2500				+178 +68	+243 +68						+220 +110	+285 +110		
2500	3150				+211 +76	+286 +76						+270 +135	+345 +135		

表 2-2-36

## 轴 p 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		p							
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	+8 +6	+9 +6	+10 +6	+12 +6	+16 +6	+20 +6	+31 +6	+46 +6
3	6	+14.5 +12	+16 +12	+17 +12	+20 +12	+24 +12	+30 +12	+42 +12	+60 +12
6	10	+17.5 +15	+19 +15	+21 +15	+24 +15	+30 +15	+37 +15	+51 +15	+73 +15
10	18	+21 +18	+23 +18	+26 +18	+29 +18	+36 +18	+45 +18	+61 +18	+88 +18
18	30	+26 +22	+28 +22	+31 +22	+35 +22	+43 +22	+55 +22	+74 +22	+106 +22
30	50	+30 +26	+33 +26	+37 +26	+42 +26	+51 +26	+65 +26	+88 +26	+126 +26
50	80		+40 +32	+45 +32	+51 +32	+62 +32	+78 +32		
80	120		+47 +37	+52 +37	+59 +37	+72 +37	+91 +37		
120	180		+55 +43	+61 +43	+68 +43	+83 +43	+106 +43		
180	250		+64 +50	+70 +50	+79 +50	+96 +50	+122 +50		
250	315		+72 +56	+79 +56	+88 +56	+108 +56	+137 +56		
315	400		+80 +62	+87 +62	+98 +62	+119 +62	+151 +62		
400	500		+88 +68	+95 +68	+108 +68	+131 +68	+165 +68		
500	630				+122 +78	+148 +78	+188 +78		
630	800				+138 +88	+168 +88	+213 +88		
800	1000				+156 +100	+190 +100	+240 +100		
1000	1250				+186 +120	+225 +120	+285 +120		
1250	1600				+218 +140	+265 +140	+335 +140		
1600	2000				+262 +170	+320 +170	+400 +170		
2000	2500				+305 +195	+370 +195	+475 +195		
2500	3150				+375 +240	+450 +240	+570 +240		



表 2-2-37

## 轴 r 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		r								基本尺寸 /mm		r					
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10	大于	至	4	5	6	7	8	
—	3	+12 +10	+13 +10	+14 +10	+16 +10	+20 +10	+24 +10	+35 +10	+50 +10	355	400	+132 +114	+139 +114	+150 +114	+171 +114	+203 +114	
3	6	+17.5 +15	+19 +15	+20 +15	+23 +15	+27 +15	+33 +15	+45 +15	+63 +15	400	450	+146 +126	+153 +126	+166 +126	+189 +126	+223 +126	
6	10	+21.5 +19	+23 +19	+25 +19	+28 +19	+34 +19	+41 +19	+55 +19	+77 +19	450	500	+152 +132	+159 +132	+172 +132	+195 +132	+229 +132	
10	18	+26 +23	+28 +23	+31 +23	+34 +23	+41 +23	+50 +23	+66 +23	+93 +23	500	560			+194 +150	+220 +150	+260 +150	
18	30	+32 +28	+34 +28	+37 +28	+41 +28	+49 +28	+61 +28	+80 +28	+112 +28	560	630			+199 +155	+225 +155	+265 +155	
30	50	+38 +34	+41 +34	+45 +34	+50 +34	+59 +34	+73 +34	+96 +34	+134 +34	630	710			+225 +175	+255 +175	+300 +175	
50	65		+49 +41	+54 +41	+60 +41	+71 +41	+87 +41			710	800			+235 +185	+265 +185	+310 +185	
65	80		+51 +43	+56 +43	+62 +43	+72 +43	+89 +43			800	900			+266 +210	+300 +210	+350 +210	
80	100		+61 +51	+66 +51	+73 +51	+86 +51	+105 +51			900	1000			+276 +220	+310 +220	+360 +220	
100	120		+64 +54	+69 +54	+76 +54	+89 +54	+108 +54			1000	1120			+316 +250	+355 +250	+415 +250	
120	140		+75 +63	+81 +63	+88 +63	+103 +63	+126 +63			1120	1250			+326 +260	+365 +260	+425 +260	
140	160		+77 +65	+83 +65	+90 +65	+105 +65	+128 +65			1250	1400			+378 +300	+425 +300	+495 +300	
160	180		+80 +68	+86 +68	+93 +68	+108 +68	+131 +68			1400	1600			+408 +330	+455 +330	+525 +330	
180	200		+91 +77	+97 +77	+106 +77	+123 +77	+149 +77			1600	1800			+462 +370	+520 +370	+600 +370	
200	225		+94 +80	+100 +80	+109 +80	+126 +80	+152 +80			1800	2000			+492 +400	+550 +400	+630 +400	
225	250		+98 +84	+104 +84	+113 +84	+130 +84	+156 +84			2000	2240			+550 +440	+615 +440	+720 +440	
250	280		+110 +94	+117 +94	+126 +94	+146 +94	+175 +94			2240	2500			+570 +460	+635 +460	+740 +460	
280	315		+114 +98	+121 +98	+130 +98	+150 +98	+179 +98			2500	2800			+685 +550	+760 +550	+880 +550	
315	355		+126 +108	+133 +108	+144 +108	+165 +108	+197 +108			2800	3150			+715 +580	+790 +580	+910 +580	

表 2-2-38

## 轴 s 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 /mm		s								基本尺寸 /mm		s					
大于	至	3	4	5	6	7	8	9	10	大于	至	4	5	6	7	8	9
—	3	+16 +14	+17 +14	+18 +14	+20 +14	+24 +14	+28 +14	+39 +14	+54 +14	355	400	+226 +208	+233 +208	+244 +208	+265 +208	+297 +208	+348 +208
3	6	+21.5 +19	+23 +19	+24 +19	+27 +19	+31 +19	+37 +19	+49 +19	+67 +19	400	450	+252 +232	+259 +232	+272 +232	+295 +232	+329 +232	+387 +232
6	10	+25.5 +23	+27 +23	+29 +23	+32 +23	+38 +23	+45 +23	+59 +23	+81 +23	450	500	+272 +252	+279 +252	+292 +252	+315 +252	+349 +252	+407 +252
10	18	+31 +28	+33 +28	+36 +28	+39 +28	+46 +28	+55 +28	+71 +28	+98 +28	500	560			+324 +280	+350 +280	+390 +280	
18	30	+39 +35	+41 +35	+44 +35	+48 +35	+56 +35	+68 +35	+87 +35	+119 +35	560	630			+354 +310	+380 +310	+420 +310	
30	50	+47 +43	+50 +43	+54 +43	+59 +43	+68 +43	+82 +43	+105 +43	+143 +43	630	710			+390 +340	+420 +340	+465 +340	
50	65		+61 +53	+66 +53	+72 +53	+83 +53	+99 +53	+127 +53		710	800			+430 +380	+460 +380	+505 +380	
65	80		+67 +59	+72 +59	+78 +59	+89 +59	+105 +59	+133 +59		800	900			+486 +430	+520 +430	+570 +430	
80	100		+81 +71	+86 +71	+93 +71	+106 +71	+125 +71	+158 +71		900	1000			+526 +470	+560 +470	+610 +470	
100	120		+89 +79	+94 +79	+101 +79	+114 +79	+133 +79	+166 +79		1000	1120			+586 +520	+625 +520	+685 +520	
120	140		+104 +92	+110 +92	+117 +92	+132 +92	+155 +92	+192 +92		1120	1250			+646 +580	+685 +580	+745 +580	
140	160		+112 +100	+118 +100	+125 +100	+140 +100	+163 +100	+200 +100		1250	1400			+718 +640	+765 +640	+835 +640	
160	180		+120 +108	+126 +108	+133 +108	+148 +108	+171 +108	+208 +108		1400	1600			+798 +720	+845 +720	+915 +720	
180	200		+136 +122	+142 +122	+151 +122	+168 +122	+194 +122	+237 +122		1600	1800			+912 +820	+970 +820	+1050 +820	
200	225		+144 +130	+150 +130	+159 +130	+176 +130	+202 +130	+245 +130		1800	2000			+1012 +920	+1070 +920	+1150 +920	
225	250		+154 +140	+160 +140	+169 +140	+186 +140	+212 +140	+255 +140		2000	2240			+1110 +1000	+1175 +1000	+1280 +1000	
250	280		+174 +158	+181 +158	+190 +158	+210 +158	+239 +158	+288 +158		2240	2500			+1210 +1100	+1275 +1100	+1380 +1100	
280	315		+186 +170	+193 +170	+202 +170	+222 +170	+251 +170	+300 +170		2500	2800			+1385 +1250	+1460 +1250	+1580 +1250	
315	355		+208 +190	+215 +190	+226 +190	+247 +190	+279 +190	+330 +190		2800	3150			+1535 +1400	+1610 +1400	+1730 +1400	

表 2-2-39

轴 t 和 u 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸/mm		t				u				
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9
—	3					+22 +18	+24 +18	+28 +18	+32 +18	+43 +18
3	6					+28 +23	+31 +23	+35 +23	+41 +23	+53 +23
6	10					+34 +28	+37 +28	+43 +28	+50 +28	+64 +28
10	18					+41 +33	+44 +33	+51 +33	+60 +33	+76 +33
18	24					+50 +41	+54 +41	+62 +41	+74 +41	+93 +41
24	30	+50 +41	+54 +41	+62 +41	+74 +41	+57 +48	+61 +48	+69 +48	+81 +48	+100 +48
30	40	+59 +48	+64 +48	+73 +48	+87 +48	+71 +60	+76 +60	+85 +60	+99 +60	+122 +60
40	50	+65 +54	+70 +54	+79 +54	+93 +54	+81 +70	+86 +70	+95 +70	+109 +70	+132 +70
50	65	+79 +66	+85 +66	+96 +66	+112 +66	+100 +87	+106 +87	+117 +87	+133 +87	+161 +87
65	80	+88 +75	+94 +75	+105 +75	+121 +75	+115 +102	+121 +102	+132 +102	+148 +102	+176 +102
80	100	+106 +91	+113 +91	+126 +91	+145 +91	+139 +124	+146 +124	+159 +124	+178 +124	+211 +124
100	120	+119 +104	+126 +104	+139 +104	+158 +104	+159 +144	+166 +144	+179 +144	+198 +144	+231 +144
120	140	+140 +122	+147 +122	+162 +122	+185 +122	+188 +170	+195 +170	+210 +170	+233 +170	+270 +170
140	160	+152 +134	+159 +134	+174 +134	+197 +134	+208 +190	+215 +190	+230 +190	+253 +190	+290 +190
160	180	+164 +146	+171 +146	+186 +146	+209 +146	+228 +210	+235 +210	+250 +210	+273 +210	+310 +210
180	200	+186 +166	+195 +166	+212 +166	+238 +166	+256 +236	+265 +236	+282 +236	+308 +236	+351 +236
200	225	+200 +180	+209 +180	+226 +180	+252 +180	+278 +258	+287 +258	+304 +258	+330 +258	+373 +258
225	250	+216 +196	+225 +196	+242 +196	+268 +196	+304 +284	+313 +284	+330 +284	+356 +284	+399 +284
250	280	+241 +218	+250 +218	+270 +218	+299 +218	+338 +315	+347 +315	+367 +315	+396 +315	+445 +315
280	315	+263 +240	+272 +240	+292 +240	+321 +240	+373 +350	+382 +350	+402 +350	+431 +350	+480 +350
315	355	+293 +268	+304 +268	+325 +268	+357 +268	+415 +390	+426 +390	+447 +390	+479 +390	+530 +390
355	400	+319 +294	+330 +294	+351 +294	+383 +294	+460 +435	+471 +435	+492 +435	+524 +435	+575 +435
400	450	+357 +330	+370 +330	+393 +330	+427 +330	+517 +490	+530 +490	+553 +490	+587 +490	+645 +490
450	500	+387 +360	+400 +360	+423 +360	+457 +360	+567 +540	+580 +540	+603 +540	+637 +540	+695 +540

续表

基本尺寸/mm		t				u				
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9
500	560		+444 +400	+470 +400			+644 +600	+670 +600	+710 +600	
560	630		+494 +450	+520 +450			+704 +660	+730 +660	+770 +660	
630	710		+550 +500	+580 +500			+790 +740	+820 +740	+865 +740	
710	800		+610 +560	+640 +560			+890 +840	+920 +840	+965 +840	
800	900		+676 +620	+710 +620			+996 +940	+1030 +940	+1080 +940	
900	1000		+736 +680	+770 +680			+1106 +1050	+1140 +1050	+1190 +1050	
1000	1120		+846 +780	+885 +780			+1216 +1150	+1255 +1150	+1315 +1150	
1120	1250		+906 +840	+945 +840			+1366 +1300	+1405 +1300	+1465 +1300	
1250	1400		+1038 +960	+1085 +960			+1528 +1450	+1575 +1450	+1645 +1450	
1400	1600		+1128 +1050	+1175 +1050			+1678 +1600	+1725 +1600	+1795 +1600	
1600	1800		+1292 +1200	+1350 +1200			+1942 +1850	+2000 +1850	+2080 +1850	
1800	2000		+1442 +1350	+1500 +1350			+2092 +2000	+2150 +2000	+2230 +2000	
2000	2240		+1610 +1500	+1675 +1500			+2410 +2300	+2475 +2300	+2580 +2300	
2240	2500		+1760 +1650	+1825 +1650			+2610 +2500	+2675 +2500	+2780 +2500	
2500	2800		+2035 +1900	+2110 +1900			+3035 +2900	+3110 +2900	+3230 +2900	
2800	3150		+2235 +2100	+2310 +2100			+3335 +3200	+3410 +3200	+3530 +3200	

注：基本尺寸至 24mm 的 t5 至 t8 的偏差值未列入表内，建议以 u5 至 u8 代替。如一定要 t5 至 t8，则可按 GB/T 1800.3 计算。

表 2-2-40

轴 v、x 和 y 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸/mm		v				x						y				
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
—	3					+24 +20	+26 +20	+30 +20	+34 +20	+45 +20	+60 +20					
3	6					+33 +28	+36 +28	+40 +28	+46 +28	+58 +28	+76 +28					
6	10					+40 +34	+43 +34	+49 +34	+56 +34	+70 +34	+92 +34					
10	14					+48 +40	+51 +40	+58 +40	+67 +40	+83 +40	+110 +40					
14	18	+47 +39	+50 +39	+57 +39	+66 +39	+53 +45	+56 +45	+63 +45	+72 +45	+88 +45	+115 +45					



基本尺寸/mm		v				x						y				
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
18	24	+56	+60	+68	+80	+63	+67	+75	+87	+106	+138	+76	+84	+96	+115	+147
		+47	+47	+47	+47	+54	+54	+54	+54	+54	+54	+63	+63	+63	+63	+63
24	30	+64	+68	+76	+88	+73	+77	+85	+97	+116	+148	+88	+96	+108	+127	+159
		+55	+55	+55	+55	+64	+64	+64	+64	+64	+64	+75	+75	+75	+75	+75
30	40	+79	+84	+93	+107	+91	+96	+105	+119	+142	+180	+110	+119	+133	+156	+194
		+68	+68	+68	+68	+80	+80	+80	+80	+80	+80	+94	+94	+94	+94	+94
40	50	+92	+97	+106	+120	+108	+113	+122	+136	+159	+197	+130	+139	+153	+176	+214
		+81	+81	+81	+81	+97	+97	+97	+97	+97	+97	+114	+114	+114	+114	+114
50	65	+115	+121	+132	+148	+135	+141	+152	+168	+196	+242	+163	+174	+190		
		+102	+102	+102	+102	+122	+122	+122	+122	+122	+122	+144	+144	+144		
65	80	+133	+139	+150	+166	+159	+165	+176	+192	+220	+266	+193	+204	+220		
		+120	+120	+120	+120	+146	+146	+146	+146	+146	+146	+174	+174	+174		
80	100	+161	+168	+181	+200	+193	+200	+213	+232	+265	+318	+236	+249	+268		
		+146	+146	+146	+146	+178	+178	+178	+178	+178	+178	+214	+214	+214		
100	120	+187	+194	+207	+226	+225	+232	+245	+264	+297	+350	+276	+289	+308		
		+172	+172	+172	+172	+210	+210	+210	+210	+210	+210	+254	+254	+254		
120	140	+220	+227	+242	+265	+266	+273	+288	+311	+348	+408	+325	+340	+363		
		+202	+202	+202	+202	+248	+248	+248	+248	+248	+248	+300	+300	+300		
140	160	+246	+253	+268	+291	+298	+305	+320	+343	+380	+440	+365	+380	+403		
		+228	+228	+228	+228	+280	+280	+280	+280	+280	+280	+340	+340	+340		
160	180	+270	+277	+292	+315	+328	+335	+350	+373	+410	+470	+405	+420	+443		
		+252	+252	+252	+252	+310	+310	+310	+310	+310	+310	+380	+380	+380		
180	200	+304	+313	+330	+356	+370	+379	+396	+422	+465	+535	+454	+471	+497		
		+284	+284	+284	+284	+350	+350	+350	+350	+350	+350	+425	+425	+425		
200	225	+330	+339	+356	+382	+405	+414	+431	+457	+500	+570	+499	+516	+542		
		+310	+310	+310	+310	+385	+385	+385	+385	+385	+385	+470	+470	+470		
225	250	+360	+369	+386	+412	+445	+454	+471	+497	+540	+610	+549	+566	+592		
		+340	+340	+340	+340	+425	+425	+425	+425	+425	+425	+520	+520	+520		
250	280	+408	+417	+437	+466	+498	+507	+527	+556	+605	+685	+612	+632	+661		
		+385	+385	+385	+385	+475	+475	+475	+475	+475	+475	+580	+580	+580		
280	315	+448	+457	+477	+506	+548	+557	+577	+606	+655	+735	+682	+702	+731		
		+425	+425	+425	+425	+525	+525	+525	+525	+525	+525	+650	+650	+650		
315	355	+500	+511	+532	+564	+615	+626	+647	+679	+730	+820	+766	+787	+819		
		+475	+475	+475	+475	+590	+590	+590	+590	+590	+590	+730	+730	+730		
355	400	+555	+566	+587	+619	+685	+696	+717	+749	+800	+890	+856	+877	+909		
		+530	+530	+530	+530	+660	+660	+660	+660	+660	+660	+820	+820	+820		
400	450	+622	+635	+658	+692	+767	+780	+803	+837	+895	+990	+960	+983	+1017		
		+595	+595	+595	+595	+740	+740	+740	+740	+740	+740	+920	+920	+920		
450	500	+687	+700	+723	+757	+847	+860	+883	+917	+975	+1070	+1040	+1063	+1097		
		+660	+660	+660	+660	+820	+820	+820	+820	+820	+820	+1000	+1000	+1000		

注：1. 基本尺寸至14mm的v5至v8的偏差值未列入表内，建议以x5至x8代替。如一定要v5至v8，则可按GB/T 1800.3计算。

2. 基本尺寸至18mm的y6至y10的偏差值未列入表内，建议以z6至z10代替。如一定要y6至y10，则可按GB/T 1800.3计算。



表 2-2-42

轴 zb 和 zc 的极限偏差

 $\mu\text{m}$ 

基本尺寸/mm		zb					zc				
大于	至	7	8	9	10	11	7	8	9	10	11
—	3	+50	+54	+65	+80	+100	+70	+74	+85	+100	+120
		+40	+40	+40	+40	+40	+60	+60	+60	+60	+60
3	6	+62	+68	+80	+98	+125	+92	+98	+110	+128	+155
		+50	+50	+50	+50	+50	+80	+80	+80	+80	+80
6	10	+82	+89	+103	+125	+157	+112	+119	+133	+155	+187
		+67	+67	+67	+67	+67	+97	+97	+97	+97	+97
10	14	+108	+117	+133	+160	+200	+148	+157	+173	+200	+240
		+90	+90	+90	+90	+90	+130	+130	+130	+130	+130
14	18	+126	+135	+151	+178	+218	+168	+177	+193	+220	+260
		+108	+108	+108	+108	+108	+150	+150	+150	+150	+150
18	24	+157	+169	+188	+220	+266	+209	+221	+240	+272	+318
		+136	+136	+136	+136	+136	+188	+188	+188	+188	+188
24	30	+181	+193	+212	+244	+290	+239	+251	+270	+302	+348
		+160	+160	+160	+160	+160	+218	+218	+218	+218	+218
30	40	+225	+239	+262	+300	+360	+299	+313	+336	+374	+434
		+200	+200	+200	+200	+200	+274	+274	+274	+274	+274
40	50	+267	+281	+304	+342	+402	+350	+364	+387	+425	+485
		+242	+242	+242	+242	+242	+325	+325	+325	+325	+325
50	65	+330	+346	+374	+420	+490	+435	+451	+479	+525	+595
		+300	+300	+300	+300	+300	+405	+405	+405	+405	+405
65	80	+390	+406	+434	+480	+550	+510	+526	+554	+600	+670
		+360	+360	+360	+360	+360	+480	+480	+480	+480	+480
80	100	+480	+499	+532	+585	+665	+620	+639	+672	+725	+805
		+445	+445	+445	+445	+445	+585	+585	+585	+585	+585
100	120	+560	+579	+612	+665	+745	+725	+744	+777	+830	+910
		+525	+525	+525	+525	+525	+690	+690	+690	+690	+690
120	140	+660	+683	+720	+780	+870	+840	+863	+900	+960	+1050
		+620	+620	+620	+620	+620	+800	+800	+800	+800	+800
140	160	+740	+763	+800	+860	+950	+940	+963	+1000	+1060	+1150
		+700	+700	+700	+700	+700	+900	+900	+900	+900	+900
160	180	+820	+843	+880	+940	+1030	+1040	+1063	+1100	+1160	+1250
		+780	+780	+780	+780	+780	+1000	+1000	+1000	+1000	+1000
180	200	+926	+952	+995	+1065	+1170	+1196	+1222	+1265	+1335	+1440
		+880	+880	+880	+880	+880	+1150	+1150	+1150	+1150	+1150
200	225	+1006	+1032	+1075	+1145	+1250	+1296	+1322	+1365	+1435	+1540
		+960	+960	+960	+960	+960	+1250	+1250	+1250	+1250	+1250
225	250	+1096	+1122	+1165	+1235	+1340	+1396	+1422	+1465	+1535	+1640
		+1050	+1050	+1050	+1050	+1050	+1350	+1350	+1350	+1350	+1350
250	280	+1252	+1281	+1330	+1410	+1520	+1602	+1631	+1680	+1760	+1870
		+1200	+1200	+1200	+1200	+1200	+1550	+1550	+1550	+1550	+1550
280	315	+1352	+1381	+1430	+1510	+1620	+1752	+1781	+1830	+1910	+2020
		+1300	+1300	+1300	+1300	+1300	+1700	+1700	+1700	+1700	+1700
315	355	+1557	+1589	+1640	+1730	+1860	+1957	+1989	+2040	+2130	+2260
		+1500	+1500	+1500	+1500	+1500	+1900	+1900	+1900	+1900	+1900
355	400	+1707	+1739	+1790	+1880	+2010	+2157	+2189	+2240	+2330	+2460
		+1650	+1650	+1650	+1650	+1650	+2100	+2100	+2100	+2100	+2100
400	450	+1913	+1947	+2005	+2100	+2250	+2463	+2497	+2555	+2650	+2800
		+1850	+1850	+1850	+1850	+1850	+2400	+2400	+2400	+2400	+2400
450	500	+2163	+2197	+2255	+2350	+2500	+2663	+2697	+2755	+2850	+3000
		+2100	+2100	+2100	+2100	+2100	+2600	+2600	+2600	+2600	+2600

表 2-2-43 基本尺寸至 500mm 的基孔制优先、常用配合 (GB/T 1801—1999)

基准孔	轴																				
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合					过渡配合					过盈配合										
H6						H6/f5	H6/g5	H6/h5	H6/js5	H6/k5	H6/m5	H6/n5	H6/p5	H6/r5	H6/s5	H6/t5					
H7						H7/f6	H7/g6	H7/h6	H7/js6	H7/k6	H7/m6	H7/n6	H7/p6	H7/r6	H7/s6	H7/t6	H7/u6	H7/v6	H7/x6	H7/y6	H7/z6
H8					H8/e7	H8/f7	H8/g7	H8/h7	H8/js7	H8/k7	H8/m7	H8/n7	H8/p7	H8/r7	H8/s7	H8/t7	H8/u7				
				H8/d8	H8/e8	H8/f8	H8/h8														
H9			H9/c9	H9/d9	H9/e9	H9/f9	H9/h9														
H10			H10/c10	H10/d10			H10/h10														
H11	H11/a11	H11/b11	H11/c11	H11/d11			H11/h11														
H12		H12/b12					H12/h12														

注: 1.  $\frac{H6}{n5}$ 、 $\frac{H7}{p6}$  在基本尺寸小于或等于 3mm 和  $\frac{H8}{r7}$  在基本尺寸小于或等于 100mm 时, 为过渡配合。

2. 标注 ▽ 的配合为优先配合。

表 2-2-44 基本尺寸至 500mm 的基轴制优先、常用配合 (GB/T 1801—1999)

基准轴	孔																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
	间隙配合					过渡配合					过盈配合										
h5						F6/h5	G6/h5	H6/h5	JS6/h5	K6/h5	M6/h5	N6/h5	P6/h5	R6/h5	S6/h5	T6/h5					
h6						F7/h6	G7/h6	H7/h6	JS7/h6	K7/h6	M7/h6	N7/h6	P7/h6	R7/h6	S7/h6	T7/h6	U7/h6				
h7					E8/h7	F8/h7	H8/h7	JS8/h7	K8/h7	M8/h7	N8/h7										
h8				D8/h8	E8/h8	F8/h8	H8/h8														
h9				D9/h9	E9/h9	F9/h9	H9/h9														
h10				D10/h10			H10/h10														
h11	A11/h11	B11/h11	C11/h11	D11/h11			H11/h11														
h12		B12/h12					H12/h12														

注: 标注 ▽ 的配合为优先配合。

表 2-2-45 基本尺寸至 500mm 的优先、常用配合极限间隙或极限过盈 (GB/T 1801—1999)

 $\mu\text{m}$ 

基孔制		$\frac{H6}{f5}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H7}{f6}$	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H8}{e7}$	$\frac{H8}{f7}$	$\frac{H8}{g7}$	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$	$\frac{H8}{h8}$	$\frac{H9}{c9}$	$\frac{H9}{d9}$
基轴制		$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{F7}{h6}$	$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{E8}{h7}$	$\frac{F8}{h7}$		$\frac{H8}{h7}$	$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$	$\frac{H8}{h8}$		$\frac{D9}{h9}$
基本尺寸/mm		间隙配合															
大于	至																
—	3	+16 +6	+12 +2	+10 0	+22 +6	+18 +2	+16 0	+38 +14	+30 +6	+26 +2	+24 0	+48 +20	+42 +14	+34 +6	+28 0	+110 +60	+70 +20
3	6	+23 +10	+17 +4	+13 0	+30 +10	+24 +4	+20 0	+50 +20	+40 +10	+34 +4	+30 0	+66 +30	+56 +20	+46 +10	+36 0	+130 +70	+90 +30
6	10	+28 +13	+20 +5	+15 0	+37 +13	+29 +5	+24 0	+62 +25	+50 +13	+42 +5	+37 0	+84 +40	+69 +25	+57 +13	+44 0	+152 +80	+112 +40
10	14	+35 +16	+25 +6	+19 0	+45 +16	+35 +6	+29 0	+77 +32	+61 +16	+51 +6	+45 0	+104 +50	+86 +32	+70 +16	+54 0	+181 +95	+136 +50
14	18	+42 +20	+29 +7	+22 0	+54 +20	+41 +7	+34 0	+94 +40	+74 +20	+61 +7	+54 0	+131 +65	+106 +40	+86 +20	+66 0	+214 +110	+169 +65
18	24	+42 +20	+29 +7	+22 0	+54 +20	+41 +7	+34 0	+94 +40	+74 +20	+61 +7	+54 0	+131 +65	+106 +40	+86 +20	+66 0	+214 +110	+169 +65
24	30	+42 +20	+29 +7	+22 0	+54 +20	+41 +7	+34 0	+94 +40	+74 +20	+61 +7	+54 0	+131 +65	+106 +40	+86 +20	+66 0	+214 +110	+169 +65
30	40	+52 +25	+36 +9	+27 0	+66 +25	+50 +9	+41 0	+114 +50	+89 +25	+73 +9	+64 0	+158 +80	+128 +50	+103 +25	+78 0	+244 +120	+204 +80
40	50	+52 +25	+36 +9	+27 0	+66 +25	+50 +9	+41 0	+114 +50	+89 +25	+73 +9	+64 0	+158 +80	+128 +50	+103 +25	+78 0	+244 +120	+204 +80
50	65	+62 +30	+42 +10	+32 0	+79 +30	+59 +10	+49 0	+136 +60	+106 +30	+86 +10	+76 0	+192 +100	+152 +60	+122 +30	+92 0	+288 +140	+248 +100
65	80	+62 +30	+42 +10	+32 0	+79 +30	+59 +10	+49 0	+136 +60	+106 +30	+86 +10	+76 0	+192 +100	+152 +60	+122 +30	+92 0	+288 +140	+248 +100
80	100	+73 +36	+49 +12	+37 0	+93 +36	+69 +12	+57 0	+161 +72	+125 +36	+101 +12	+89 0	+228 +120	+180 +72	+144 +36	+108 0	+344 +170	+294 +120
100	120	+73 +36	+49 +12	+37 0	+93 +36	+69 +12	+57 0	+161 +72	+125 +36	+101 +12	+89 0	+228 +120	+180 +72	+144 +36	+108 0	+344 +170	+294 +120
120	140	+86 +43	+57 +14	+43 0	+108 +43	+79 +14	+65 0	+188 +85	+146 +43	+117 +14	+103 0	+271 +145	+211 +85	+169 +43	+126 0	+400 +210	+345 +145
140	160	+86 +43	+57 +14	+43 0	+108 +43	+79 +14	+65 0	+188 +85	+146 +43	+117 +14	+103 0	+271 +145	+211 +85	+169 +43	+126 0	+400 +210	+345 +145
160	180	+86 +43	+57 +14	+43 0	+108 +43	+79 +14	+65 0	+188 +85	+146 +43	+117 +14	+103 0	+271 +145	+211 +85	+169 +43	+126 0	+400 +210	+345 +145
180	200	+99 +50	+64 +15	+49 0	+125 +50	+90 +15	+75 0	+218 +100	+168 +50	+133 +15	+118 0	+314 +170	+244 +100	+194 +50	+144 0	+470 +240	+400 +170
200	225	+99 +50	+64 +15	+49 0	+125 +50	+90 +15	+75 0	+218 +100	+168 +50	+133 +15	+118 0	+314 +170	+244 +100	+194 +50	+144 0	+470 +240	+400 +170
225	250	+99 +50	+64 +15	+49 0	+125 +50	+90 +15	+75 0	+218 +100	+168 +50	+133 +15	+118 0	+314 +170	+244 +100	+194 +50	+144 0	+470 +240	+400 +170
250	280	+111 +56	+72 +17	+55 0	+140 +56	+101 +17	+84 0	+243 +110	+189 +56	+150 +17	+133 0	+352 +190	+272 +110	+218 +56	+162 0	+560 +300	+450 +190
280	315	+111 +56	+72 +17	+55 0	+140 +56	+101 +17	+84 0	+243 +110	+189 +56	+150 +17	+133 0	+352 +190	+272 +110	+218 +56	+162 0	+560 +300	+450 +190
315	355	+123 +62	+79 +18	+61 0	+155 +62	+111 +18	+93 0	+271 +125	+208 +62	+164 +18	+146 0	+388 +210	+303 +125	+240 +62	+178 0	+640 +360	+490 +210
355	400	+123 +62	+79 +18	+61 0	+155 +62	+111 +18	+93 0	+271 +125	+208 +62	+164 +18	+146 0	+388 +210	+303 +125	+240 +62	+178 0	+640 +360	+490 +210
400	450	+135 +68	+87 +20	+67 0	+171 +68	+123 +20	+103 0	+295 +135	+228 +68	+180 +20	+160 0	+424 +230	+329 +135	+262 +68	+194 0	+750 +440	+540 +230
450	500	+135 +68	+87 +20	+67 0	+171 +68	+123 +20	+103 0	+295 +135	+228 +68	+180 +20	+160 0	+424 +230	+329 +135	+262 +68	+194 0	+750 +440	+540 +230

备注: 1. 表中“+”值为间隙量,“-”值为过盈量。

2. 标注 $\nabla$ 的配合为优先配合。

续表

基孔制		$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$	$\frac{H9}{h9}$	$\frac{H10}{c10}$	$\frac{H10}{d10}$	$\frac{H10}{h10}$	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$	$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H12}{b12}$	$\frac{H12}{h12}$	$\frac{H6}{js5}$	
基轴制		$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$	$\frac{H9}{h9}$		$\frac{D10}{h10}$	$\frac{H10}{h10}$	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$	$\frac{H11}{h11}$	$\frac{B12}{h12}$	$\frac{H12}{h12}$		$\frac{JS6}{h5}$
基本尺寸/mm		间隙配合													过渡配合	
大于	至															
—	3	+64 +14	+56 +6	+50 0	+140 +60	+100 +20	+80 0	+390 +270	+260 +140	+180 +60	+140 +20	+120 0	+340 +140	+200 0	+8 -2	+7 -3
3	6	+80 +20	+70 +10	+60 0	+166 +70	+126 +30	+96 0	+420 +270	+290 +140	+220 +70	+180 +30	+150 0	+380 +140	+240 0	+10.5 -2.5	+9 -4
6	10	+97 +25	+85 +13	+72 0	+196 +80	+156 +40	+116 0	+460 +280	+330 +150	+260 +80	+220 +40	+180 0	+450 +150	+300 0	+12 -3	+10.5 -4.5
10	14	+118	+102	+86	+235	+190	+140	+510	+370	+315	+270	+220	+510	+360	+15	+13.5
14	18	+32	+16	0	+95	+50	0	+290	+150	+95	+50	0	+150	0	-4	-5.5
18	24	+144	+124	+104	+278	+233	+168	+560	+420	+370	+325	+260	+580	+420	+17.5	+15.5
24	30	+40	+20	0	+110	+65	0	+300	+160	+110	+65	0	+160	0	-4.5	-6.5
30	40	+174	+149	+124	+320 +120	+280	+200	+630 +310	+490 +170	+440 +120	+400	+320	+670 +170	+500	+21.5	+19
40	50	+50	+25	0	+330 +130	+80	0	+640 +320	+500 +180	+450 +130	+80	0	+680 +180	0	-5.5	-8
50	65	+208	+178	+148	+380 +140	+340	+240	+720 +340	+570 +190	+520 +140	+480	+380	+790 +190	+600	+25.5	+22.5
65	80	+60	+30	0	+390 +150	+100	0	+740 +360	+580 +200	+530 +150	+100	0	+800 +200	0	-6.5	-9.5
80	100	+246	+210	+174	+450 +170	+400	+280	+820 +380	+660 +220	+610 +170	+560	+440	+920 +220	+700	+29.5	+26
100	120	+72	+36	0	+460 +180	+120	0	+850 +410	+680 +240	+620 +180	+120	0	+940 +240	0	-7.5	-11
120	140				+520 +200			+960 +460	+760 +260	+700 +200			+1060 +260			
140	160	+285 +85	+243 +43	+200 0	+530 +210	+465 +145	+320 0	+1020 +520	+780 +280	+710 +210	+645 +145	+500 0	+1080 +280	+800	+34 -9	+30.5 -12.5
160	180				+550 +230			+1080 +580	+810 +310	+730 +230			+1110 +310			
180	200				+610 +240			+1240 +660	+920 +340	+820 +240			+1260 +340			
200	225	+330 +100	+280 +50	+230 0	+630 +260	+540 +170	+370 0	+1320 +740	+960 +380	+840 +260	+750 +170	+580 0	+1300 +380	+920	+39 -10	+34.5 -14.5
225	250				+650 +280			+1400 +820	+1000 +420	+860 +280			+1340 +420			
250	280	+370 +110	+316 +56	+260 0	+720 +300 +750 +330	+610 +190	+420 0	+1560 +920 +1690 +1050	+1120 +480 +1180 +540	+940 +300 +970 +330	+830 +190	+640 0	+1520 +480 +1580 +540	+1040	+43.5 -11.5	+39 -16
315	355	+405	+342	+280	+820 +360	+670	+460	+1920 +1200	+1320 +600	+1080 +360	+930	+720	+1740 +600	+1140	+48.5	+43
355	400	+125	+62	0	+860 +400	+210	0	+2070 +1350	+1400 +680	+1120 +400	+210	0	+1820 +680	0	-12.5	-18
400	450	+445	+378	+310	+940 +440	+730	+500	+2300 +1500	+1560 +760	+1240 +440	+1030	+800	+2020 +760	+1260	+53.5	+47
450	500	+135	+68	0	+980 +480	+230	0	+2450 +1650	+1640 +840	+1280 +480	+230	0	+2100 +840	0	-13.5	-20

基孔制		$\frac{H6}{k5}$		$\frac{H6}{m5}$		$\frac{H7}{js6}$		$\frac{H7}{k6}$		$\frac{H7}{m6}$		$\frac{H7}{n6}$		$\frac{H8}{js7}$		$\frac{H8}{k7}$	
基轴制		$\frac{K6}{h5}$		$\frac{M6}{h5}$		$\frac{JS7}{h6}$		$\frac{K7}{h6}$		$\frac{M7}{h6}$		$\frac{N7}{h6}$		$\frac{JS8}{h7}$		$\frac{K8}{h7}$	
基本尺寸/mm		过渡配合															
大于	至																
—	3	+6 -4	+4 -6	+4 -6	+2 -8	+13 -3	+11 -5	+10 -6	+6 -10	±8	+4 -12	+6 -10	+2 -14	+19 -5	+17 -7	+14 -10	+10 -14
3	6	+7 -6		+4 -9		+16 -4	+14 -6	+11 -9		+8 -12		+4 -16		+24 -6	+21 -9	+17 -13	
6	10	+8 -7		+3 -12		+19.5 -4.5	+16 -7	+14 -10		+9 -15		+5 -19		+29 -7	+26 -11	+21 -16	
10	14	+10		+4		+23.5	+20	+17		+11		+6		+36	+31	+26	
14	18	-9		-15		-5.5	-9	-12		-18		-23		-9	-13	-19	
18	24	±11		+5		+27.5	+23	+19		+13		+6		+43	+37	+31	
24	30			-17		-6.5	-10	-15		-21		-28		-10	-16	-23	
30	40	+14		+7		+33	+28	+23		+16		+8		+51	+44	+37	
40	50	-13		-20		-8	-12	-18		-25		-33		-12	-19	-27	
50	65	+17		+8		+39.5	+34	+28		+19		+10		+61	+53	+44	
65	80	-15		-24		-9.5	-15	-21		-30		-39		-15	-23	-32	
80	100	+19		+9		+46	+39	+32		+22		+12		+71	+62	+51	
100	120	-18		-28		-11	-17	-25		-35		-45		-17	-27	-38	
120	140																
140	160	+22 -21		+10 -33		+52.5 -12.5	+45 -20	+37 -28		+25 -40		+13 -52		+83 -20	+71 -31	+60 -43	
160	180																
180	200																
200	225	+25 -24		+12 -37		+60.5 -14.5	+52 -23	+42 -33		+29 -46		+15 -60		+95 -23	+82 -36	+68 -50	
225	250																
250	280	+28		+12	+14	+68	+58	+48		+32		+18		+107	+92	+77	
280	315	-27		-43	-41	-16	-26	-36		-52		-66		-26	-40	-56	
315	355	+32		+15		+75	+64	+53		+36		+20		+117	+101	+85	
355	400	-29		-46		-18	-28	-40		-57		-73		-28	-44	-61	
400	450	+35		+17		+83	+71	+58		+40		+23		+128	+111	+92	
450	500	-32		-50		-20	-31	-45		-63		-80		-31	-48	-68	

续表

基孔制		$\frac{H8}{m7}$		$\frac{H8}{n7}$		$\frac{H8}{p7}$	$\frac{H6}{n5}$		$\frac{H6}{p5}$		$\frac{H6}{r5}$		$\frac{H6}{s5}$		$\frac{H6}{t5}$	$\frac{H7}{p6}$		
基轴制			$\frac{M8}{h7}$		$\frac{N8}{h7}$			$\frac{N6}{h5}$		$\frac{P6}{h5}$		$\frac{R6}{h5}$		$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$		$\frac{P7}{h6}$	
基本尺寸/mm		过渡配合					过盈配合											
大于	至																	
—	3	+12 -12	+8 -16	+10 -14	+6 -18	+8 -16	+2 -8	0 -10	0 -10	-2 -12	-4 -14	-6 -16	-8 -18	-10 -20	—	+4 -12	0 -16	
3	6	+14 -16		+10 -20	+6 -24	0 -13		-4 -17		-7 -20		-11 -24		—		0 -20		
6	10	+16 -21		+12 -25	+7 -30	-1 -16		-6 -21		-10 -25		-14 -29		—		0 -24		
10	14	+20 -25		+15 -30	+9 -36	-1 -20		-7 -26		-12 -31		-17 -36		—		0 -29		
14	18																	
18	24																	
24	30	+25 -29		+18 -36	+11 -43	-2 -24		-9 -31		-15 -37		-22 -44		—	-28 -50	-1 -35		
30	40																	
40	50	+30 -34		+22 -42	+13 -51	-1 -28		-10 -37		-18 -45		-27 -54		—	-32 -59 -38 -65	-1 -42		
50	65																	
65	80	+35 -41		+26 -50	+14 -62	-1 -33		-13 -45		-22 -54 -24 -56		-34 -66 -40 -72		-47 -79 -56 -88	-2 -51			
80	100																	
100	120	+41 -48		+31 -58	+17 -72	-1 -38		-15 -52		-29 -66 -32 -69		-49 -86 -57 -94		-69 -106 -82 -119	-2 -59			
120	140																	
140	160	+48 -55		+36 -67	+20 -83	-2 -45		-18 -61		-38 -81 -40 -83		-67 -110 -75 -118		-97 -140 -109 -152	-3 -68			
160	180																	
180	200																	
200	225	+55 -63		+41 -77	+22 -96	-2 -51		-21 -70		-48 -97 -51 -100		-93 -142 -101 -150		-137 -186 -151 -200	-4 -79			
225	250																	
250	280																	
280	315	+61 -72		+47 -86	+25 -108	-2 -57		-24 -79		-62 -97 -55 -104		-126 -181 -111 -160		-186 -241 -167 -216	-4 -88			
315	355																	
355	400	+68 -78		+52 -94	+27 -119	-1 -62		-26 -87		-72 -133 -78 -139		-154 -215 -172 -233		-232 -293 -258 -319	-5 -98			
400	450																	
450	500	+74 -86		+57 -103	+29 -131	0 -67		-28 -95		-86 -153 -92 -159		-192 -259 -212 -279		-290 -357 -320 -387	-5 -108			

备注： $\frac{H6}{n5}$ 、 $\frac{H7}{p6}$ 在基本尺寸小于或等于3mm时，为过渡配合。



基孔制		H7/r6		H7/s6		H7/t6	H7/u6		H7/v6	H7/x6	H7/y6	H7/z6	H8/r7	H8/s7	H8/t7	H8/u7
基轴制			R7/h6		S7/h6	T7/h6		U7/h6								
基本尺寸/mm		过盈配合														
大于	至															
—	3	0 -16	-4 -20	-4 -20	-8 -24	—	-8 -24	-12 -28	—	-10 -26	—	-16 -32	+4 -20	0 -24	—	-4 -28
3	6	-3 -23	-7 -27	—	-11 -31	—	-16 -36	—	-23 -43	+3 -27	-1 -31	—	-5 -35			
6	10	-4 -28	-8 -32	—	-13 -37	—	-19 -43	—	-27 -51	+3 -34	-1 -38	—	-6 -43			
10	14	-5 -34	-10 -39	—	-15 -44	—	-22 -51	—	-32 -61	+4 -41	-1 -46	—	-6 -51			
14	18	-7 -41	-14 -48	—	-20 -54	-26 -60	-33 -67	-42 -76	-52 -86	+5 -49	-2 -56	—	-8 -62			
18	24	-9 -50	-18 -59	-23 -64	-35 -76	-43 -84	-55 -96	-69 -110	-87 -128	+5 -59	-4 -68	-9 -73	-21 -85			
24	30	-11 -60	-23 -72	-36 -85	-57 -106	-72 -121	-92 -141	-114 -163	-142 -191	+5 -71	-7 -83	-20 -96	-41 -117			
30	40	-13 -62	-29 -78	-45 -94	-72 -121	-90 -139	-116 -165	-144 -193	-180 -229	+3 -73	-13 -89	-29 -105	-56 -132			
40	50	-16 -73	-36 -93	-56 -113	-89 -146	-111 -168	-143 -200	-179 -236	-223 -280	+3 -86	-17 -106	-37 -126	-70 -159			
50	65	-19 -76	-44 -101	-69 -126	-109 -166	-137 -194	-175 -232	-219 -276	-275 -332	0 -89	-25 -114	-50 -139	-90 -179			
65	80	-23 -88	-52 -117	-82 -147	-130 -195	-162 -227	-208 -273	-260 -325	-325 -390	0 -103	-29 -132	-59 -162	-107 -210			
80	100	-25 -90	-60 -125	-94 -159	-150 -215	-188 -253	-240 -305	-300 -365	-375 -440	-2 -105	-37 -140	-71 -174	-127 -230			
100	120	-28 -93	-68 -133	-106 -171	-170 -235	-212 -277	-270 -335	-340 -405	-425 -490	-5 -108	-45 -148	-83 -186	-147 -250			
120	140	-31 -106	-76 -151	-120 -195	-190 -265	-238 -313	-304 -379	-379 -454	-474 -549	-5 -123	-50 -168	-94 -212	-164 -282			
140	160	-34 -109	-84 -159	-134 -209	-212 -287	-264 -339	-339 -414	-424 -499	-529 -604	-8 -126	-58 -176	-108 -226	-186 -304			
160	180	-38 -113	-94 -169	-150 -225	-238 -313	-294 -369	-379 -454	-474 -549	-594 -669	-12 -130	-68 -186	-124 -242	-212 -330			
180	200	-42 -126	-106 -190	-166 -250	-263 -347	-333 -417	-423 -507	-528 -612	-658 -742	-13 -146	-77 -210	-137 -270	-234 -367			
200	225	-46 -130	-118 -202	-188 -272	-298 -382	-373 -457	-473 -557	-598 -682	-738 -822	-17 -150	-89 -222	-159 -292	-269 -402			
225	250	-51 -144	-133 -226	-211 -304	-333 -426	-418 -511	-533 -626	-673 -766	-843 -936	-19 -165	-101 -247	-179 -325	-301 -447			
250	280	-57 -150	-151 -244	-237 -330	-378 -471	-473 -566	-603 -696	-763 -856	-943 -1036	-25 -171	-119 -265	-205 -351	-346 -492			
280	315	-63 -166	-169 -272	-267 -370	-427 -530	-532 -635	-677 -780	-857 -960	-1037 -1140	-29 -189	-135 -295	-233 -393	-393 -553			
315	355	-69 -172	-189 -292	-297 -400	-477 -580	-597 -700	-757 -860	-937 -1040	-1187 -1290	-35 -195	-155 -315	-263 -423	-443 -603			

备注： $\frac{H8}{r7}$ 在基本尺寸小于或等于100mm时，为过渡配合。

## 3 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差 (摘自 GB/T 1804—2000)

### 3.1 线性和角度尺寸的一般公差的概念

① 一般公差是指在车间通常加工条件下可保证的公差。采用一般公差的尺寸，在该尺寸后不需注出其极限偏差数值。标准中规定了未注出公差的线性和角度尺寸的一般公差的公差等级和极限偏差数值，适用于金属切削加工的尺寸，也适用于一般的冲压加工的尺寸。非金属材料和其他工艺方法加工的尺寸可参照采用。

该标准仅适用于下列未注公差的尺寸：线性尺寸，如外尺寸、内尺寸、阶梯尺寸、直径、半径、距离、倒圆半径和倒角高度；角度尺寸，包括通常不注出角度值的角度尺寸，如直角（90°），GB/T 1184 提到的或等多边形的角度除外；机加工组装件的线性和角度尺寸。

该标准不适用于下列尺寸：其他一般公差标准涉及的线性和角度尺寸；括号内的参考尺寸；矩形框格内的理论正确尺寸。

选取图样上未注公差尺寸的一般公差的公差等级时，应考虑通常的车间精度并由相应的技术文件或标准进行具体规定。

对任一单一尺寸，如功能上要求比一般公差更小的公差或允许更大的公差并更为经济时，其相应的极限偏差要在相关的基本尺寸后注出。

在图样或有关技术文件中采用本标准规定的线性和角度尺寸的一般公差时，应按本章 3.3 的规定进行标注。

由不同类型的工艺（如切削和铸造）分别加工形成的两表面之间的未注公差的尺寸应按规定的两个一般公差数值中的较大值控制。

以角度单位规定的一般公差仅控制表面的线或素线的总方向，不控制它们的形状误差。从实际表面得到的线的总方向是理想几何形状的接触线方向。接触线和实际线之间的最大距离是最小可能值（见 GB/T 4249）。

② 构成零件的所有要素总是具有一定的尺寸和几何形状。由于尺寸误差和几何特征（形状、方向、位置）误差的存在，为保证零件的使用功能就必须对它们加以限制，超出将会损害其功能。因此，零件在图样上表达的所有要素都有一定的公差要求。

对功能上无特殊要求的要素可给出一般公差。一般公差可应用于线性尺寸、角度尺寸、形状和位置等几何要素。

采用一般公差的要素在图样上可不单独注出其公差，而是在图样上、技术要求或技术文件（如企业标准）中进行总的说明。

③ 线性和角度尺寸的一般公差是在车间普通工艺条件下，机床设备可保证的公差。在正常维护和操作情况下，它代表车间通常的加工精度。

一般公差的公差等级的公差数值符合通常的车间精度。按零件使用要求选取相应的公差等级。

线性尺寸的一般公差主要用于低精度的非配合尺寸。

采用一般公差的尺寸在正常车间精度保证的条件下，一般可不检验。

④ 对某确定的公差值，加大公差通常在制造上并不会经济。例如，适宜“通常中等精度”水平的车间加工 35mm 直径的某要素，规定  $\pm 1\text{mm}$  的极限偏差值通常在制造上对车间不会带来更大的利益，而选用  $\pm 0.3\text{mm}$  的一般公差的极限偏差值（中等级）就足够了。

当功能上允许的公差等于或大于一般公差时，应采用一般公差。只有当要素的功能允许比一般公差大的公差，而该公差在制造上比一般公差更为经济时（如装配时所钻的盲孔深度），其相应的极限偏差数值要在尺寸后注出。

由于功能上的需要，某要素要求采用比“一般公差”小的公差值，则应在尺寸后注出其相应的极限偏差数值。

⑤ 零件功能允许的公差常常是大于一般公差，所以当工件任一要素超出（偶然地超出）一般公差时零件的功能通常不会被损害。只有当零件的功能受到损害时，超出一般公差的工件才能被拒收。

### 3.2 一般公差的公差等级和极限偏差数值

#### (1) 线性尺寸

表 2-2-46 给出了线性尺寸的极限偏差数值；表 2-2-47 给出了倒圆半径和倒角高度尺寸的极限偏差数值。

表 2-2-46

线性尺寸的极限偏差数值

mm

公差等级	基本尺寸分段							
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30~120	>120~400	>400~1000	>1000~2000	>2000~4000
精密 f	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	—
中等 m	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
粗糙 c	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
最粗 v	—	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

表 2-2-47

倒圆半径和倒角高度尺寸的极限偏差数值

mm

公差等级	基本尺寸分段				公差等级	基本尺寸分段			
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30		0.5~3	>3~6	>6~30	>30
精密 f	±0.2	±0.5	±1	±2	粗糙 c	±0.4	±1	±2	±4
中等 m					最粗 v				

注：倒圆半径和倒角高度的含义参见 GB/T 6403.4。

## (2) 角度尺寸

表 2-2-48 给出了角度尺寸的极限偏差数值，其值按角度短边长度确定，对圆锥角按圆锥素线长度确定。

表 2-2-48

角度尺寸的极限偏差数值

公差等级	长度分段/mm				
	~10	>10~50	>50~120	>120~400	>400
精密 f	±1°	±30'	±20'	±10'	±5'
中等 m					
粗糙 c	±1°30'	±1°	±30'	±15'	±10'
最粗 v	±3°	±2°	±1°	±30'	±20'

## 3.3 一般公差的标注

若采用标准规定的一般公差，应在图样标题栏附近或技术要求、技术文件（如企业标准）中注出本标准号及公差等级代号。例如选取中等级时，标注为

GB/T 1804—m

## 4 在高温或低温工作条件下装配间隙的计算

工作图上标注的尺寸偏差与配合是以温度 20℃ 为基准的。但是，某些机械如化工机械、飞机、发动机等可以在 800℃ 至 -60℃ 的高温或低温条件下工作，如果结合件材料的线胀系数不同，配合间隙（或过盈）需进行修正计算，以选择比较正确的配合类别。计算公式如下：

$$x_{z\max} = x_{G\max} + d[\alpha_z(t_z - t) \mp \alpha_k(t_k - t)] \quad (2-2-1)$$

$$x_{z\min} = x_{G\min} + d[\alpha_z(t_z - t) \mp \alpha_k(t_k - t)] \quad (2-2-2)$$

式中  $x_{z\max}$ ,  $x_{z\min}$ ——最大与最小的装配间隙，mm；

$t_k$ ,  $t_z$ ——孔和轴的工作温度，℃；

$x_{G\max}$ ,  $x_{G\min}$ ——最大与最小的工作间隙，mm；

$t$ ——装配时环境的温度，℃；

$d$ ——配合的公称直径，mm；

$\alpha_k$ ,  $\alpha_z$ ——孔和轴材料的线胀系数，℃<sup>-1</sup>。

式 (2-2-1) 及式 (2-2-2) 中，负号用在当温度提高，孔的尺寸扩大的情况下；正号用在当温度提高，孔的尺寸缩小的情况下（如重量大的零件上不大的孔局部加热时，以及放置在加热壳体上的小而薄的套筒的孔，均由于温度提高使孔的尺寸缩小）。

例 铝制的活塞与钢的气缸壁在工作时的间隙范围， $x_{G\max} = 0.3\text{mm}$ ； $x_{G\min} = 0.1\text{mm}$ ，活塞与气缸配合的公称直径  $d = 150\text{mm}$ ，工作温度  $t_k = 110\text{℃}$ ； $t_z = 180\text{℃}$ ， $\alpha_k = 12 \times 10^{-6}\text{℃}^{-1}$ ， $\alpha_z = 24 \times 10^{-6}\text{℃}^{-1}$ ，装配温度  $t = 20\text{℃}$ 。试确定装配间隙。

由式 (2-2-1) 及式 (2-2-2)，其最大与最小的装配间隙为

$$x_{z\max} = 0.3 + 150 \times [24 \times 10^{-6} \times (180 - 20) - 12 \times 10^{-6} \times (110 - 20)] = 0.714(\text{mm})$$

$$x_{z\min} = 0.1 + 150 \times [24 \times 10^{-6} \times (180 - 20) - 12 \times 10^{-6} \times (110 - 20)] = 0.514(\text{mm})$$

## 5 圆锥公差与配合

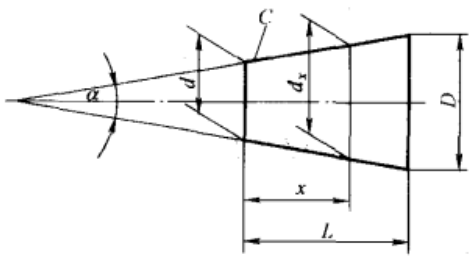
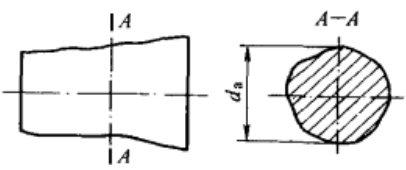
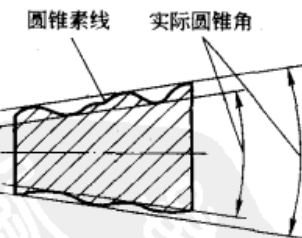
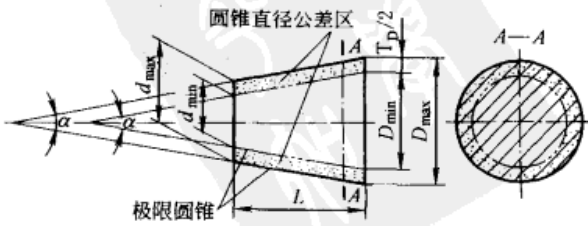
### 5.1 圆锥公差 (摘自 GB/T 11334—2005)

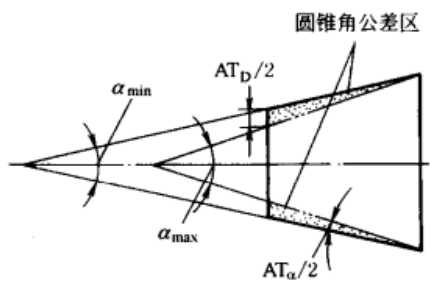
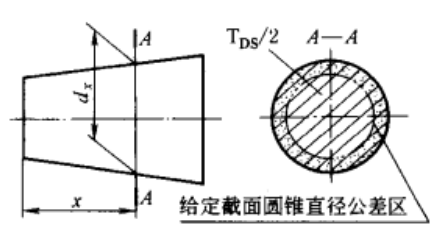
#### 5.1.1 适用范围

本标准适用于锥度  $C$  从 1:3 至 1:500、长度  $L$  从 6mm 至 630mm 的光滑圆锥。标准中的圆锥角公差也适用于棱体的角度与斜度。

#### 5.1.2 术语、定义及图例

表 2-2-49

术语	定义	图例
公称圆锥	设计给定的理想形状的圆锥,见图 1 公称圆锥可用两种形式确定: ① 一个公称圆锥直径(最大圆锥直径 $D$ 、最小圆锥直径 $d$ 、给定截面圆锥直径 $d_x$ )、公称圆锥长度 $L$ 、公称圆锥角 $\alpha$ 或公称锥度 $C$ ② 两个公称圆锥直径和公称圆锥长度 $L$	
实际圆锥	实际存在并与周围介质分离的圆锥	
实际圆锥直径 $d_s$	实际圆锥上的任一直径,见图 2	
实际圆锥角	在实际圆锥的任一轴向截面内,包容圆锥素线且距离为最小的两对平行直线之间的夹角,见图 3	
极限圆锥	与公称圆锥共轴且圆锥角相等,直径分别为上极限直径和下极限直径的两个圆锥。在垂直于圆锥轴线的任一截面上,这两个圆锥的直径差都相等,见图 4	
极限圆锥直径 $D_{\min}$ 、 $d_{\max}$ 、 $d_{\min}$	极限圆锥上的任一直径,如图 4 中的 $D_{\max}$ 、 $D_{\min}$ 、 $d_{\max}$ 、 $d_{\min}$	
极限圆锥角	允许的上极限或下极限圆锥角,见图 5	
圆锥直径公差 $T_D$	圆锥直径的允许变动量,见图 4	
圆锥直径公差区	两个极限圆锥所限定的区域。在轴向截面内的圆锥直径公差区见图 4	

术语	定义	图例
圆锥角公差 AT ( $AT_\alpha$ 或 $AT_D$ )	圆锥角的允许变动量, 见图 5	 <p style="text-align: center;">圆锥角公差区</p> <p style="text-align: center;">图 5</p>
圆锥角公差区	两个极限圆锥角所限定的区域。圆锥角公差区见图 5	
给定截面圆锥直径公差 $T_{DS}$	在垂直圆锥轴线给定截面内圆锥直径的允许变动量, 见图 6	 <p style="text-align: center;">给定截面圆锥直径公差区</p> <p style="text-align: center;">图 6</p>
给定截面圆锥直径公差区	在给定的圆锥截面内, 由两个同心圆所限定的区域。给定截面圆锥直径公差区见图 6	

注:  $T_D$ 、AT ( $AT_\alpha$  或  $AT_D$ )、 $T_{DS}$  均为没有符号的绝对值。

### 5.1.3 圆锥公差的项目和给定方法

(1) 圆锥公差的项目

- ① 圆锥直径公差  $T_D$ 。
- ② 圆锥角公差 AT, 用角度值  $AT_\alpha$  或线性值  $AT_D$  给定。
- ③ 圆锥的形状公差  $T_F$ , 包括素线直线度公差和截面圆度公差。
- ④ 给定截面圆锥直径公差  $T_{DS}$ 。

(2) 圆锥公差的给定方法

① 给出圆锥的公称圆锥角  $\alpha$  (或锥度  $C$ ) 和圆锥直径公差  $T_D$ 。由  $T_D$  确定两个极限圆锥。此时, 圆锥角误差和圆锥的形状误差均应在极限圆锥所限定的区域内。

当对圆锥角公差、圆锥的形状公差有更高的要求时, 可再给出圆锥角公差 AT、圆锥的形状公差  $T_F$ 。此时, AT 和  $T_F$  仅占  $T_D$  的一部分。

② 给出给定截面圆锥直径公差  $T_{DS}$  和圆锥角公差 AT。此时, 给定截面圆锥直径和圆锥角应分别满足这两项公差的要求。 $T_{DS}$  和 AT 的关系见图 2-2-9。

该方法是在假定圆锥素线为理想直线的情况下给出的。

当对圆锥形状公差有更高的要求时, 可再给出圆锥的形状公差  $T_F$ 。

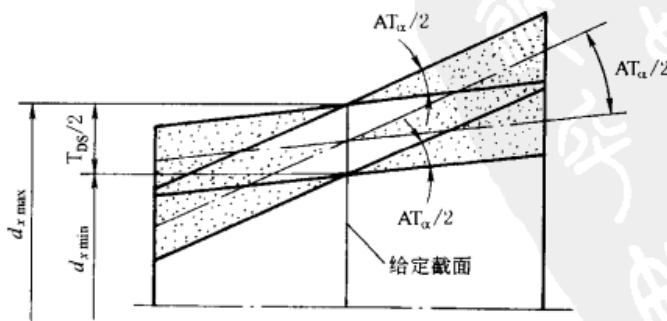


图 2-2-9  $T_{DS}$  和 AT 的关系

### 5.1.4 圆锥公差数值

#### (1) 圆锥直径公差 $T_D$

以公称圆锥直径（一般取最大圆锥直径  $D$ ）为公称尺寸，按 GB/T 1800.3 规定的标准公差选取。

#### (2) 给定截面圆锥直径公差 $T_{Ds}$

以给定截面圆锥直径  $d_s$  为公称尺寸，按 GB/T 1800.3 规定的标准公差选取。

#### (3) 圆锥角公差 AT

① 圆锥角公差 AT 共分 12 个公差等级，用 AT1、AT2、…、AT12 表示。圆锥角公差的数值见表 2-2-50。

表 2-2-50 中数值用于棱体的角度时，以该角短边长度作为  $L$  选取公差值。

如需要更高或更低等级的圆锥角公差时，按公比 1.6 向两端延伸得到。更高等级用 AT0、AT01 等表示，更低等级用 AT13、AT14 等表示。

② 圆锥角公差可用两种形式表示。

a.  $AT_\alpha$  ——以角度单位微弧度或以度、分、秒表示；

b.  $AT_D$  ——以长度单位微米表示。

$AT_\alpha$  和  $AT_D$  的关系为

$$AT_D = AT_\alpha L \times 10^{-3}$$

式中， $AT_D$  的单位为  $\mu\text{m}$ ； $AT_\alpha$  的单位为  $\mu\text{rad}$ ； $L$  的单位为  $\text{mm}$ 。

$AT_D$  值应按上式计算，表 2-2-50 中仅给出与圆锥长度  $L$  的尺寸段相对应的  $AT_D$  范围值。 $AT_D$  计算结果的尾数按 GB/T 8170 的规定进行修约，其有效位数应与表 2-2-50 中所列该  $L$  尺寸段的最大范围值的位数相同。

例  $L$  为 50mm，选用 AT7，查表 2-2-50 得  $AT_\alpha$  为  $315\mu\text{rad}$  或  $1'05''$ ，则

$$\begin{aligned} AT_D &= AT_\alpha L \times 10^{-3} = 315 \times 50 \times 10^{-3} \\ &= 15.75 (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

取  $AT_D = 15.8\mu\text{m}$ 。

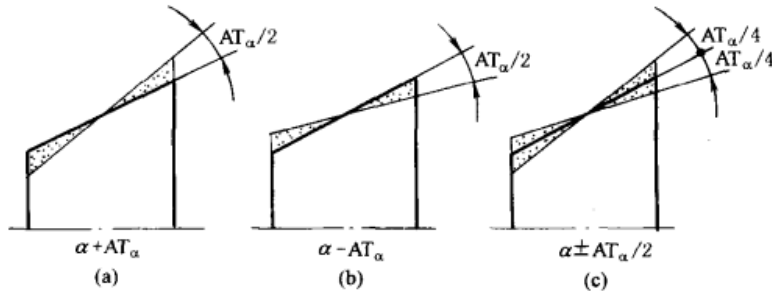


图 2-2-10 圆锥角的极限偏差

#### (4) 圆锥角的极限偏差

圆锥角的极限偏差可按单向或双向（对称或不对称）取值（图 2-2-10）。

#### (5) 圆锥的形状公差

圆锥的形状公差推荐按 GB/T 1184 中附录 B “图样上注出公差值的规定” 选取。

圆锥直径公差所能限制的最大圆锥角误差见表 2-2-51，表中给出了圆锥长度  $L$  为 100mm，圆锥直径公差  $T_D$  所能限制的最大圆锥角误差  $\Delta\alpha_{\max}$ 。

表 2-2-50

圆锥角公差

公称圆锥长度 $L/\text{mm}$		圆锥角公差等级															
		AT1				AT2				AT3				AT4			
		$AT_\alpha$		$AT_D$		$AT_\alpha$		$AT_D$		$AT_\alpha$		$AT_D$		$AT_\alpha$		$AT_D$	
大于	至	$/\mu\text{rad}$	$/(")$	$/\mu\text{m}$	$/\mu\text{rad}$	$/(")$	$/\mu\text{m}$	$/\mu\text{rad}$	$/(")$	$/\mu\text{m}$	$/\mu\text{rad}$	$/(")$	$/\mu\text{m}$	$/\mu\text{rad}$	$/(")$	$/\mu\text{m}$	
自 6	10	50	10	>0.3 ~ 0.5	80	16	>0.5 ~ 0.8	125	26	>0.8 ~ 1.3	200	41	>1.3 ~ 2.0				
10	16	40	8	>0.4 ~ 0.6	63	13	>0.6 ~ 1.0	100	21	>1.0 ~ 1.6	160	33	>1.6 ~ 2.5				
16	25	31.5	6	>0.5 ~ 0.8	50	10	>0.8 ~ 1.3	80	16	>1.3 ~ 2.0	125	26	>2.0 ~ 3.2				
25	40	25	5	>0.6 ~ 1.0	40	8	>1.0 ~ 1.6	63	13	>1.6 ~ 2.5	100	21	>2.5 ~ 4.0				

公称圆锥长度 L/mm		圆锥角公差等级											
		AT1			AT2			AT3			AT4		
		AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>	AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>	AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>	AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>
大于	至	/μrad	/(")	/μm	/μrad	/(")	/μm	/μrad	/(")	/μm	/μrad	/(")	/μm
40	63	20	4	>0.8~1.3	31.5	6	>1.3~2.0	50	10	>2.0~3.2	80	16	>3.2~5.0
63	100	16	3	>1.0~1.6	25	5	>1.6~2.5	40	8	>2.5~4.0	63	13	>4.0~6.3
100	160	12.5	2.5	>1.3~2.0	20	4	>2.0~3.2	31.5	6	>3.2~5.0	50	10	>5.0~8.0
160	250	10	2	>1.6~2.5	16	3	>2.5~4.0	25	5	>4.0~6.3	40	8	>6.3~10.0
250	400	8	1.5	>2.0~3.2	12.5	2.5	>3.2~5.0	20	4	>5.0~8.0	31.5	6	>8.0~12.5
400	630	6.3	1	>2.5~4.0	10	2	>4.0~6.3	16	3	>6.3~10.0	25	5	>10.0~16.0

公称圆锥长度 L/mm		圆锥角公差等级											
		AT5			AT6			AT7			AT8		
		AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>	AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>	AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>	AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>
大于	至	/μrad	/(")	/μm	/μrad	/(")	/μm	/μrad	/(")	/μm	/μrad	/(")	/μm
自6	10	315	1'05"	>2.0~3.2	500	1'43"	>3.2~5.0	800	2'45"	>5.0~8.0	1250	4'18"	>8.0~12.5
10	16	250	52"	>2.5~4.0	400	1'22"	>4.0~6.3	630	2'10"	>6.3~10.0	1000	3'26"	>10.0~16.0
16	25	200	41"	>3.2~5.0	315	1'05"	>5.0~8.0	500	1'43"	>8.0~12.5	800	2'45"	>12.5~20.0
25	40	160	33"	>4.0~6.3	250	52"	>6.3~10.0	400	1'22"	>10.0~16.0	630	2'10"	>16.0~25.0
40	63	125	26"	>5.0~8.0	200	41"	>8.0~12.5	315	1'05"	>12.5~20.0	500	1'43"	>20.0~32.0
63	100	100	21"	>6.3~10.0	160	33"	>10.0~16.0	250	52"	>16.0~25.0	400	1'22"	>25.0~40.0
100	160	80	16"	>8.0~12.5	125	26"	>12.5~20.0	200	41"	>20.0~32.0	315	1'05"	>32.0~50.0
160	250	63	13"	>10.0~16.0	100	21"	>16.0~25.0	160	33"	>25.0~40.0	250	52"	>40.0~63.0
250	400	50	10"	>12.5~20.0	80	16"	>20.0~32.0	125	26"	>32.0~50.0	200	41"	>50.0~80.0
400	630	40	8"	>16.0~25.0	63	13"	>25.0~40.0	100	21"	>40.0~63.0	160	33"	>63.0~100.0

公称圆锥长度 L/mm		圆锥角公差等级											
		AT9			AT10			AT11			AT12		
		AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>	AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>	AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>	AT <sub>α</sub>		AT <sub>D</sub>
大于	至	/μrad	/(")	/μm	/μrad	/(")	/μm	/μrad	/(")	/μm	/μrad	/(")	/μm
自6	10	2000	6'52"	>12.5~20	3150	10'49"	>20~32	5000	17'10"	>32~50	8000	27'28"	>50~80
10	16	1600	5'30"	>16~25	2500	8'35"	>25~40	4000	13'44"	>40~63	6300	21'38"	>63~100
16	25	1250	4'18"	>20~32	2000	6'52"	>32~50	3150	10'49"	>50~80	5000	17'10"	>80~125
25	40	1000	3'26"	>25~40	1600	5'30"	>40~63	2500	8'35"	>63~100	4000	13'44"	>100~160
40	63	800	2'45"	>32~50	1250	4'18"	>50~80	2000	6'52"	>80~125	3150	10'49"	>125~200
63	100	630	2'10"	>40~63	1000	3'26"	>63~100	1600	5'30"	>100~160	2500	8'35"	>160~250
100	160	500	1'43"	>50~80	800	2'45"	>80~125	1250	4'18"	>125~200	2000	6'52"	>200~320
160	250	400	1'22"	>63~100	630	2'10"	>100~160	1000	3'26"	>160~250	1600	5'30"	>250~400
250	400	315	1'05"	>80~125	500	1'43"	>125~200	800	2'45"	>200~320	1250	4'18"	>320~500
400	630	250	52"	>100~160	400	1'22"	>160~250	630	2'10"	>250~400	1000	3'26"	>400~630

注：1μrad等于半径为1m，弧长为1μm所对应的圆心角，5μrad≈1"（秒），300μrad≈1'（分）。

表 2-2-51 圆锥长度 L 为 100mm，圆锥直径公差 T<sub>D</sub> 所能限制的最大圆锥角误差 Δα<sub>max</sub>

圆锥直径公差等级	圆锥直径/mm												
	3	>3	>6	>10	>18	>30	>50	>80	>120	>180	>250	>315	>400
		~6	~10	~18	~30	~50	~80	~120	~180	~250	~315	~400	~500
	Δα <sub>max</sub> /μrad												
IT01	3	4	4	5	6	6	8	10	12	20	25	30	40
IT0	5	6	6	8	10	10	12	15	20	30	40	50	60
IT1	8	10	10	12	15	15	20	25	35	45	60	70	80
IT2	12	15	15	20	25	25	30	40	50	70	80	90	100
IT3	20	25	25	30	40	40	50	60	80	100	120	130	150
IT4	30	40	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200
IT5	40	50	60	80	90	110	130	150	180	200	230	250	270
IT6	60	80	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT7	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630

续表

圆锥直径 公差等级	圆锥直径/mm												
	3	>3 ~6	>6 ~10	>10 ~18	>18 ~30	>30 ~50	>50 ~80	>80 ~120	>120 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500
	$\Delta\alpha_{\max}/\mu\text{rad}$												
IT8	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
IT9	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
IT10	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
IT11	600	750	900	1000	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000
IT12	1000	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600	5200	5700	6300
IT13	1400	1800	2200	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200	8100	8900	9700
IT14	2500	3000	3600	4300	5200	6200	7400	8700	10000	11500	13000	14000	15500
IT15	4000	4800	5800	7000	8400	10000	12000	14000	16000	18500	21000	23000	25000
IT16	6000	7500	9000	11000	13000	16000	19000	22000	25000	29000	32000	36000	40000
IT17	10000	12000	15000	18000	21000	25000	30000	35000	40000	46000	52000	57000	63000
IT18	14000	18000	22000	27000	33000	39000	46000	54000	63000	72000	81000	89000	97000

注：圆锥长度不等于100mm时，需将表中的数值乘以100/L，L的单位为mm。

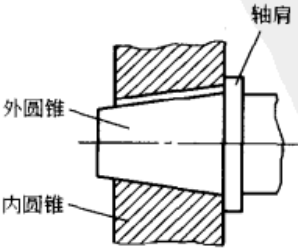
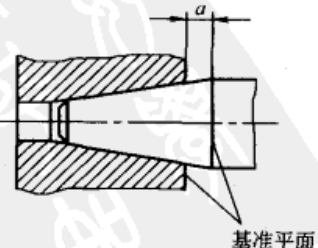
## 5.2 圆锥配合（摘自 GB/T 12360—2005）

### 5.2.1 适用范围

本标准适用于锥度  $C$  从 1:3 至 1:500，长度  $L$  从 6mm 至 630mm，直径至 500mm 光滑圆锥的配合。其公差的给定方法，按 5.1.3 中 (2) ① 的规定。

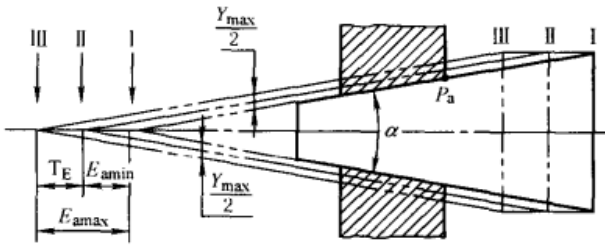
### 5.2.2 术语及定义

表 2-2-52

术语	定义
圆锥配合	圆锥配合有结构型圆锥配合和位移型圆锥配合两种
结构型圆锥配合	<p>由圆锥结构确定装配位置，内、外圆锥公差区之间的相互关系</p> <p>结构型圆锥配合可以是间隙配合、过渡配合或过盈配合。图 1 为由轴肩接触得到间隙配合的结构型圆锥配合示例，图 2 为由结构尺寸 <math>a</math> 得到过盈配合的结构型圆锥配合示例</p> <div style="text-align: center;">  <p>图 1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>图 2</p> </div>



术 语	定 义
圆锥直径配合量 $T_{Df}$	<p>圆锥配合在配合直径上允许的间隙或过盈的变动量</p> <p>① 圆锥直径配合量是一个没有符号的绝对值</p> <p>② 对于结构型圆锥配合,圆锥直径间隙配合量是最大间隙(<math>X_{max}</math>)与最小间隙(<math>X_{min}</math>)之差;圆锥直径过盈配合量是最小过盈(<math>Y_{min}</math>)与最大过盈(<math>Y_{max}</math>)之差;圆锥直径过渡配合量是最大间隙(<math>X_{max}</math>)与最大过盈(<math>Y_{max}</math>)之差。圆锥直径配合量也等于内圆锥直径公差(<math>T_{Di}</math>)与外圆锥直径公差(<math>T_{De}</math>)之和</p> <p>圆锥直径间隙配合量 <math>T_{Df} = X_{max} - X_{min}</math></p> <p>圆锥直径过盈配合量 <math>T_{Df} = Y_{min} - Y_{max}</math></p> <p>圆锥直径过渡配合量 <math>T_{Df} = X_{max} - Y_{max}</math></p> <p>圆锥直径配合量 <math>T_{Df} = T_{Di} + T_{De}</math></p> <p>③ 对于位移型圆锥配合,圆锥直径间隙配合量是最大间隙(<math>X_{max}</math>)与最小间隙(<math>X_{min}</math>)之差,圆锥直径过盈配合量是最小过盈(<math>Y_{min}</math>)与最大过盈(<math>Y_{max}</math>)之差;也等于轴向位移公差(<math>T_E</math>)与锥度(<math>C</math>)之积</p> <p>圆锥直径间隙配合量 <math>T_{Df} = X_{max} - X_{min} = T_E C</math></p> <p>圆锥直径过盈配合量 <math>T_{Df} = Y_{min} - Y_{max} = T_E C</math></p>
位移型圆锥配合	<p>内、外圆锥在装配时作一定相对轴向位移(<math>E_a</math>)确定的相互关系</p> <p>位移型圆锥配合可以是间隙配合或过盈配合。图3为给定轴向位移<math>E_a</math>得到间隙配合的位移型圆锥配合示例,图4为给定装配力<math>F_s</math>得到过盈配合的位移型圆锥配合示例</p> <p>(1) 初始位置 <math>P</math></p> <p>在不施加力的情况下,相互结合的内、外圆锥表面接触时的轴向位置</p> <p>(2) 极限初始位置 <math>P_1</math>、<math>P_2</math></p> <p>初始位置允许的界限</p> <p>极限初始位置 <math>P_1</math> 为内圆锥的下极限圆锥和外圆锥的上极限圆锥接触时的位置,见图5</p> <p>极限初始位置 <math>P_2</math> 为内圆锥的上极限圆锥和外圆锥的下极限圆锥接触时的位置,见图5</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="239 1120 558 1388"> <p>图3</p> </div> <div data-bbox="558 1120 925 1388"> <p>图4</p> </div> <div data-bbox="925 1120 1404 1388"> <p>图5</p> </div> </div> <p>(3) 初始位置公差 <math>T_p</math></p> <p>初始位置允许的变动量,等于极限初始位置 <math>P_1</math> 和 <math>P_2</math> 之间的距离,见图5</p> $T_p = \frac{1}{C} (T_{Di} + T_{De})$ <p>式中 <math>C</math> ——锥度;</p> <p><math>T_{Di}</math> ——内圆锥直径公差;</p> <p><math>T_{De}</math> ——外圆锥直径公差</p> <p>(4) 实际初始位置 <math>P_a</math></p> <p>相互结合的内、外实际圆锥的初始位置,见图3、图4。它应位于极限初始位置 <math>P_1</math> 和 <math>P_2</math> 之间</p> <p>(5) 终止位置 <math>P_f</math></p> <p>相互结合的内、外圆锥,为使其终止状态得到要求的间隙或过盈,所规定的相互轴向位置,见图3、图4</p> <p>(6) 装配力 <math>F_s</math></p> <p>相互结合的内、外圆锥,为在终止位置(<math>P_f</math>)得到要求的过盈所施加的轴向力,见图4</p>

术 语	定 义
位 移 型 圆 锥 配 合	(7) 轴向位移 $E_a$ 相互结合的内、外圆锥,从实际初始位置( $P_a$ )到终止位置( $P_f$ )移动的距离,见图 3
	(8) 最小轴向位移 $E_{amin}$ 在相互结合的内、外圆锥的终止位置上,得到最小间隙或最小过盈的轴向位移
	(9) 最大轴向位移 $E_{amax}$ 在相互结合的内、外圆锥的终止位置上,得到最大间隙或最大过盈的轴向位移 图 6 为在终止位置上得到最大、最小过盈的示例
	 <p style="text-align: center;">图 6</p> <p style="text-align: center;">I—实际初始位置; II—最小过盈位置; III—最大过盈位置</p>
	(10) 轴向位移公差 $T_E$ 轴向位移允许的变动量,等于最大轴向位移( $E_{amax}$ )与最小轴向位移( $E_{amin}$ )之差,见图 6 $T_E = E_{amax} - E_{amin}$

### 5.2.3 圆锥配合的一般规定

① 结构型圆锥配合推荐优先采用基孔制。内、外圆锥直径公差区代号及配合按 GB/T 1801 选取。如 GB/T 1801 给出的常用配合仍不能满足需要,可按 GB/T 1800.3 规定的基本偏差和标准公差组成所需配合。

② 位移型圆锥配合的内、外圆锥直径公差区代号的基本偏差推荐选用 H、h 和 Js、js。其轴向位移的极限值按 GB/T 1801 规定的极限间隙或极限过盈来计算。

③ 位移型圆锥配合的轴向位移极限值  $E_{amin}$ 、 $E_{amax}$  和轴向位移公差  $T_E$  按下列公式计算。

a. 对于间隙配合:

$$E_{amin} = \frac{1}{C} |X_{min}|$$

$$E_{amax} = \frac{1}{C} |X_{max}|$$

$$\begin{aligned} T_E &= E_{amax} - E_{amin} \\ &= \frac{1}{C} |X_{max} - X_{min}| \end{aligned}$$

式中  $C$ ——锥度;

$X_{max}$ ——配合的最大间隙量;

$X_{min}$ ——配合的最小间隙量。

b. 对于过盈配合:

$$E_{amin} = \frac{1}{C} |Y_{min}|$$

$$E_{amax} = \frac{1}{C} |Y_{max}|$$

$$T_E = E_{\text{amax}} - E_{\text{amin}}$$

$$= \frac{1}{C} |Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}|$$

式中  $C$  ——锥度；

$Y_{\text{max}}$  ——配合的最大过盈量；

$Y_{\text{min}}$  ——配合的最小过盈量。

#### 5.2.4 内、外圆锥轴向极限偏差的计算

圆锥轴向极限偏差是圆锥的某一极限圆锥与其公称圆锥轴向位置的偏离，如图 2-2-11 所示。规定下极限圆锥与公称圆锥的偏离为轴向上偏差  $es_z$ 、 $ES_z$ ；上极限圆锥与公称圆锥的偏离为轴向下偏差  $ei_z$ 、 $EI_z$ 。轴向上偏差与轴向下偏差代数差的绝对值为轴向公差  $T_z$ 。

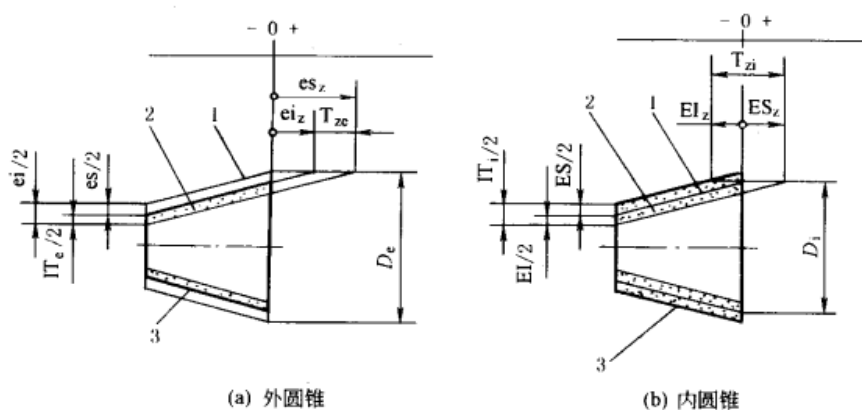


图 2-2-11 圆锥轴向极限偏差

1—公称圆锥；2—下极限圆锥；3—上极限圆锥

##### (1) 计算公式

##### ① 轴向上偏差：

外圆锥 
$$es_z = -\frac{1}{C}ei$$

内圆锥 
$$ES_z = -\frac{1}{C}EI$$

##### ② 轴向下偏差：

外圆锥 
$$ei_z = -\frac{1}{C}es$$

内圆锥 
$$EI_z = -\frac{1}{C}ES$$

##### ③ 轴向基本偏差：

外圆锥 
$$e_z = -\frac{1}{C} \times \text{直径基本偏差}$$

内圆锥 
$$E_z = -\frac{1}{C} \times \text{直径基本偏差}$$

##### ④ 轴向公差：

外圆锥 
$$T_{zc} = \frac{1}{C}IT_e$$

内圆锥 
$$T_{zi} = \frac{1}{C}IT_i$$

##### (2) 计算用表

锥度  $C$  等于 1:10 时，按 GB/T 1800.3 规定的基本偏差计算所得的外圆锥的轴向基本偏差 ( $e_z$ ) 列于表 2-2-53。

此时,按 GB/T 1800.3 规定的标准公差计算所得的轴向公差  $T_z$  的数值列于表 2-2-54。

当锥度  $C$  不等于 1:10 时,圆锥的轴向基本偏差和轴向公差按表 2-2-53、表 2-2-54 给出的数值,乘以表 2-2-55、表 2-2-56 的换算系数进行计算。

表 2-2-53 锥度  $C=1:10$  时,外圆锥的轴向基本偏差  $e_z$  数值 mm

基本偏差		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j		
公差等级																
大于	至	所有等级												5,6	7	8
—	3	+2.7	+1.4	+0.6	+0.34	+0.2	+0.14	+0.1	+0.06	+0.04	+0.02	0		+0.02	+0.04	+0.06
3	6	+2.7	+1.4	+0.7	+0.46	+0.3	+0.2	+0.14	+0.1	+0.06	+0.04	0		+0.02	+0.04	—
6	10	+2.8	+1.5	+0.8	+0.56	+0.4	+0.25	+0.18	+0.13	+0.08	+0.05	0		+0.02	+0.05	—
10	14	+2.9	+1.5	+0.95	—	+0.5	+0.32	—	+0.16	—	+0.06	0		+0.03	+0.06	—
14	18															
18	24	+3	+1.6	+1.1	—	+0.65	+0.4	—	+0.2	—	+0.07	0		+0.04	+0.08	—
24	30															
30	40	+3.1	+1.7	+1.2	—	+0.8	+0.5	—	+0.25	—	+0.09	0		+0.05	+0.1	—
40	50	+3.2	+1.8	+1.3												
50	65	+3.4	+1.9	+1.4	—	+1	+0.6	—	+0.3	—	+0.1	0		+0.07	+0.12	—
65	80	+3.6	+2	+1.5												
80	100	+3.8	+2.2	+1.7	—	+1.2	+0.72	—	+0.36	—	+0.12	0		+0.09	+0.15	—
100	120	+4.1	+2.4	+1.8												
120	140	+4.6	+2.6	+2	—	+1.45	+0.85	—	+0.43	—	+0.14	0		+0.11	+0.18	—
140	160	+5.2	+2.8	+2.1												
160	180	+5.8	+3.1	+2.3	—	+1.7	+1	—	+0.5	—	+0.15	0		+0.13	+0.21	—
180	200	+6.6	+3.4	+2.4												
200	225	+7.4	+3.8	+2.6	—	+1.9	+1.1	—	+0.56	—	+0.17	0		+0.16	+0.26	—
225	250	+8.2	+4.2	+2.8												
250	280	+9.2	+4.8	+3	—	+2.1	+1.25	—	+0.62	—	+0.18	0		+0.18	+0.28	—
280	315	+10.5	+5.4	+3.3												
315	355	+12	+6	+3.6	—	+2.3	+1.35	—	+0.68	—	+0.2	0		+0.2	+0.32	—
355	400	+13.5	+6.8	+4												
400	450	+15	+7.6	+4.4	—	+2.3	+1.35	—	+0.68	—	+0.2	0		+0.2	+0.32	—
450	500	+16.5	+8.4	+4.8												

$$e_z = \pm \frac{T_{zc}}{2}$$

续表

基本偏差		k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc		
公称尺寸		公差等级																
大于	至	<4 >7	所有等级															
—	3	0	0	-0.02	-0.04	-0.06	-0.1	-0.14	—	-0.18	—	-0.20	—	-0.26	-0.32	-0.4	-0.6	
3	6	0	-0.01	-0.04	-0.08	-0.12	-0.15	-0.19	—	-0.23	—	-0.28	—	-0.35	-0.42	-0.5	-0.8	
6	10	0	-0.01	-0.06	-0.1	-0.15	-0.19	-0.23	—	-0.28	—	-0.34	—	-0.42	-0.52	-0.67	-0.97	
10	14	0	-0.01	-0.07	-0.12	-0.18	-0.23	-0.28	—	-0.33	—	-0.4	—	-0.5	-0.64	-0.9	-1.3	
14	18									-0.33	-0.39	-0.45	—	-0.6	-0.77	-1.08	-1.5	
18	24	0	-0.02	-0.08	-0.15	-0.22	-0.28	-0.35	—	-0.41	-0.47	-0.54	-0.63	-0.73	-0.98	-1.36	-1.88	
24	30									-0.41	-0.48	-0.55	-0.64	-0.75	-0.88	-1.18	-1.6	-2.18
30	40	0	-0.02	-0.09	-0.17	-0.26	-0.34	-0.43	—	-0.48	-0.6	-0.68	-0.8	-0.94	-1.12	-1.48	-2	-2.74
40	50									-0.54	-0.7	-0.81	-0.97	-1.14	-1.36	-1.80	-2.42	-3.25
50	65	0	-0.02	-0.11	-0.2	-0.32	-0.41	-0.53	-0.66	-0.87	-1.02	-1.22	-1.44	-1.72	-2.25	-3	-4.05	
65	80																	-0.43
80	100	0	-0.03	-0.13	-0.23	-0.37	-0.51	-0.71	-0.91	-1.24	-1.46	-1.78	-2.14	-2.58	-3.35	-4.45	-5.85	
100	120																	-0.54
120	140	0	-0.03	-0.15	-0.27	-0.43	-0.63	-0.92	-1.22	-1.7	-2.02	-2.48	-3	-3.65	-4.7	-6.2	-8	
140	160																	-0.65
160	180	0	-0.03	-0.15	-0.27	-0.43	-0.68	-1.08	-1.46	-2.1	-2.52	-3.1	-3.8	-4.65	-6	-7.8	-10	
180	200																	-0.77
200	225	0	-0.04	-0.17	-0.31	-0.5	-0.80	-1.3	-1.8	-2.58	-3.1	-3.85	-4.7	-5.75	-7.4	-9.6	-12.5	
225	250																	-0.84
250	280	0	-0.04	-0.2	-0.34	-0.56	-0.94	-1.58	-2.18	-3.15	-3.85	-4.75	-5.8	-7.1	-9.2	-12	-15.5	
280	315																	-0.98
315	355	0	-0.04	-0.21	-0.37	-0.62	-1.08	-1.9	-2.68	-3.9	-4.75	-5.9	-7.3	-9	-11.5	-15	-19	
355	400																	-1.14
400	450	0	-0.05	-0.23	-0.4	-0.68	-1.26	-2.32	-3.3	-4.9	-5.95	-7.4	-9.2	-11	-14.5	-18.5	-24	
450	500																	-1.32

注：“+”表示相对于基本圆锥，外圆锥有轴向间隙；“-”表示相对于基本圆锥，外圆锥有轴向过盈。

表 2-2-54

锥度  $C=1:10$  时，轴向公差  $T_z$  数值

mm

公称尺寸		公差等级									
大于	至	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
—	3	0.02	0.03	0.04	0.06	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1
3	6	0.025	0.04	0.05	0.08	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2
6	10	0.025	0.04	0.06	0.09	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5
10	18	0.03	0.04	0.08	0.11	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8

续表

公称尺寸		公差等级									
大于	至	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
18	30	0.04	0.05	0.09	0.13	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1
30	50	0.04	0.07	0.11	0.16	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5
50	80	0.05	0.08	0.13	0.19	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3
80	120	0.06	0.1	0.15	0.22	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5
120	180	0.08	0.12	0.18	0.25	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4
180	250	0.1	0.14	0.2	0.29	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6
250	315	0.12	0.16	0.23	0.32	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2
315	400	0.13	0.18	0.25	0.36	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7
400	500	0.15	0.2	0.27	0.4	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3

表 2-2-55

一般用途圆锥的换算系数

基本值		换算系数	基本值		换算系数
系列 1	系列 2		系列 1	系列 2	
1:3		0.3		1:15	1.5
	1:4	0.4	1:20		2
1:5		0.5	1:30		3
	1:6	0.6		1:40	4
	1:7	0.7	1:50		5
	1:8	0.8	1:100		10
1:10		1	1:200		20
	1:12	1.2	1:500		50

表 2-2-56

特殊用途圆锥的换算系数

基本值	换算系数	基本值	换算系数
18°33'	0.3	1:18.779	1.8
11°54'	0.48	1:19.002	1.9
8°40'	0.66	1:19.180	1.92
7°40'	0.75	1:19.212	1.92
7:24	0.84	1:19.254	1.92
1:9	0.9	1:19.264	1.92
1:12.262	1.2	1:19.922	1.99
1:12.972	1.3	1:20.020	2
1:15.748	1.57	1:20.047	2
1:16.666	1.67	1:20.288	2

注：圆锥的尺寸和公差的注法见本篇第 1 章。

## (3) 基孔制的轴向极限偏差

按表 2-2-53 ~ 表 2-2-56 中的数值由下列公式计算。

## ① 对内圆锥:

基本偏差为 H 时

$$ES_z = 0$$

$$EI_z = -T_{zi}$$

## ② 对外圆锥:

基本偏差为 a 到 g 时

$$es_z = e_z + T_{ze}$$

$$ei_z = e_z$$

基本偏差为 h 时

$$es_z = +T_{ze}$$

$$ei_z = 0$$

基本偏差为 js 时

$$es_z = +\frac{T_{ze}}{2}$$

$$ei_z = -\frac{T_{ze}}{2}$$

基本偏差为 j 到 zc 时

$$es_z = e_z$$

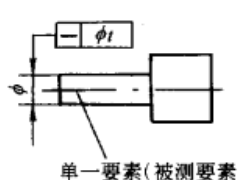
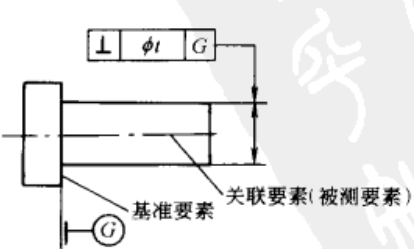
$$ei_z = e_z - T_{ze}$$



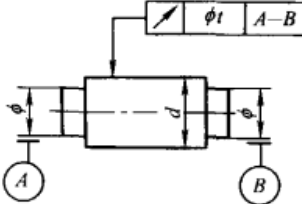
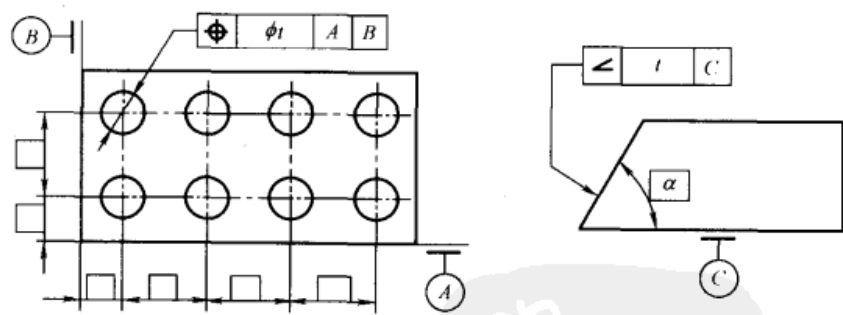
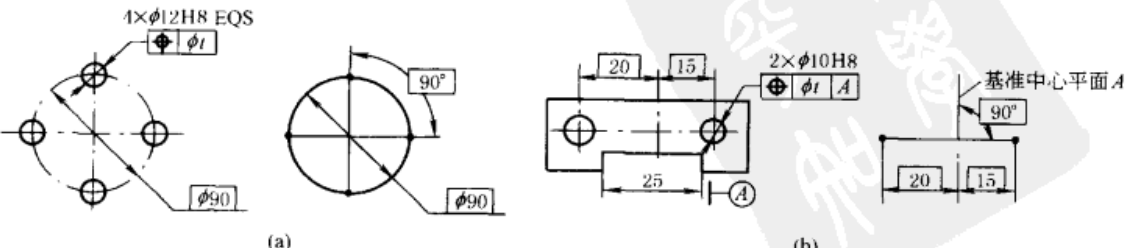
# 第 **3** 章 形状和位置公差

## 1 术语与定义 (摘自 GB/T 1182—1996、 GB/T 4249—1996、GB/T 16671—1996)

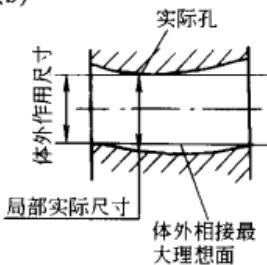
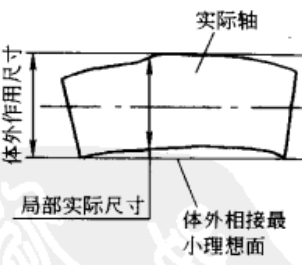
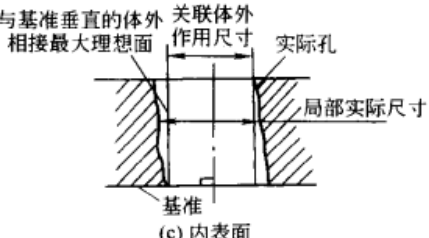
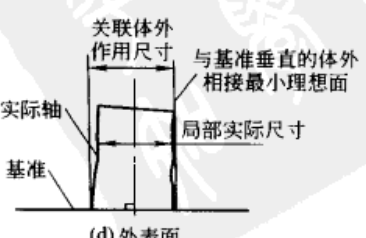
表 2-3-1

术 语	定 义
要 素 类	
要素	要素是指零件上的特征部分——点、线、面。这些要素可以是实际存在的,也可以是由实际要素取得的轴线或中心平面
* 理想要素	具有几何学意义、没有任何误差的要素,可分为轮廓要素与中心要素
* 实际要素	零件上实际存在的要素,由无限个点组成,可分为实际轮廓要素和实际中心要素
轮廓要素	零件表面上的面或线
中心要素	从一个或多个轮廓要素上获取的中心点、中心线或中心面
* 被测要素 * 单一要素	给出了形状或(和)位置公差的要素 仅对其本身给出形状公差要求的要素  <div style="text-align: center;">  <p>单一要素(被测要素)</p> </div>
* 基准要素	用来确定被测要素的方向和(或)位置的要素
* 关联要素	对其他要素有功能关系的要素
理想基准要素	确定要素间几何关系的依据,分别称为基准点、基准线和基准平面
* 单一基准要素	作为单一基准使用的单一要素  <div style="text-align: center;">  <p>基准要素      关联要素(被测要素)</p> </div>



术 语	定 义
* 组合基准要素	作为单一基准使用的一组要素。如图中 A 基准和 B 基准所组成的公共基准要素 
形位公差类	
形状公差	单一实际要素的形状对其理想要素所允许的变动量
位置公差	关联实际被测要素对具有确定方向或位置的理想要素的允许变动量。包括定向公差、定位公差、跳动公差
定向公差	关联实际被测要素对具有确定方向的理想被测要素的允许变动量
定位公差	关联实际被测要素对具有确定位置的理想被测要素的允许变动量
跳动公差	关联实际被测要素绕基准轴线作无轴向运行时回转一周或连续回转时沿给定方向所允许的最大示值跳动量。包括圆跳动和全跳动，圆跳动又分径向圆跳动、端面圆跳动和斜向圆跳动
* 形状和位置的公差带	限制实际形状要素或实际位置要素的变动区域。公差带是一个给定的区域，是误差的最大允许值，它由大小、形状、方向和位置四个因素来决定
* 延伸公差带	根据零件的功能要求，位置度和对称度公差带需延伸到被测要素的长度界限之外时，该公差带称延伸公差带
理论正确尺寸	对于要素的位置度、轮廓度或倾斜度，其尺寸由不带公差的理论正确位置、轮廓或角度确定，这种尺寸称理论正确尺寸。理论正确尺寸应围以框格，零件实际尺寸仅由在公差框格中位置度、轮廓度或倾斜度公差来限定 
* 几何图框	由理论正确尺寸确定的一组理想要素之间(图 a)或它们的基准之间(图 b)的正确几何关系的图形 

续表

术 语	定 义
* 三基面体系	由三个互相垂直的基准平面组成的基准体系,它的三个平面是确定和测量零件上各要素几何关系的起点
基准目标	由图样上指明的点、线或限定的区域作为建立基准的要素
公差原则类	
独立原则	图样上给定的每一个尺寸和形状、位置要求均是独立的,应分别满足要求的公差原则。如果对尺寸和形状、尺寸与位置之间的相互关系有特定要求应在图样上规定。独立原则是尺寸公差和形位公差相互关系遵循的基本原则
相关要求	图样上给定的形位公差和尺寸公差相互有关的公差要求。包括包容要求、最大实体要求、最小实体要求及可逆要求
局部实际尺寸(简称实际尺寸)	在实际要素的任意正截面上,两对应点之间测得的距离
边界	由设计给定的具有理想形状的极限包容面称边界。边界的尺寸为极限包容面的直径或距离
包容要求	包容要求表示实际要素应遵守其最大实体边界,其局部实际尺寸不得超出最小实体尺寸。采用包容要求的单一要素应在其尺寸极限偏差或公差带代号之后加注符号 $\textcircled{E}$
最大实体要求	被测要素的实际轮廓应遵守其最大实体实效边界,当其实际尺寸偏离最大实体尺寸时,允许其形状、定向、定位误差值超出在最大实体状态下给定的公差值的一种要求,用符号 $\textcircled{M}$ 表示
最小实体要求	被测要素的实际轮廓应遵守其最小实体实效边界,当其实际尺寸偏离最小实体尺寸时,允许其形状、定向、定位误差值超出在最小实体状态下给定的公差值的一种要求,用符号 $\textcircled{L}$ 表示
可逆要求	中心要素的形位误差值小于给出的形位公差值时,允许在满足零件功能要求的前提下扩大尺寸公差,用 $\textcircled{R}$ 表示,也可用 $0\textcircled{M}$ 或 $0\textcircled{L}$ 表示
可逆要求用于最大实体要求	被测要素的实际轮廓应遵守其最大实体实效边界,当其实际尺寸偏离最大实体尺寸时,允许其形状、定向、定位误差值超出在最大实体状态下给定的形位公差值,当其形位误差小于给定的形位公差值时,也允许其实际尺寸超出其最大实体尺寸的一种要求,用符号 $\textcircled{M}$ 、 $\textcircled{R}$ 同时表示
可逆要求用于最小实体要求	被测要素的实际轮廓应遵守其最小实体实效边界,当其实际尺寸偏离最小实体尺寸时,允许其形状、定向、定位误差值超出在最小实体状态下给定的形位公差值,当其形位误差小于给定的形位公差值时,也允许其实际尺寸超出其最小实体尺寸的一种要求,用符号 $\textcircled{L}$ 、 $\textcircled{R}$ 同时表示
体外作用尺寸	<p>在被测要素的给定长度上,与实际内表面体外相接的最大理想面或与实际外表面体外相接的最小理想面的直径或宽度(图 a、b)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a) 内表面</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b) 外表面</p> </div> </div> <p>对于关联要素,该理想面的轴线或中心平面必须与基准保持图样给定的几何关系(图 c、d)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(c) 内表面</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(d) 外表面</p> </div> </div>

术 语	定 义
<p>体内作用尺寸</p>	<p>在被测要素的给定长度上,与实际内表面体内相接的最理想面或与实际外表面体内相接的最大理想面的直径或宽度(图 a、b)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="395 376 671 651"> <p>(a) 内表面</p> </div> <div data-bbox="970 405 1326 651"> <p>(b) 外表面</p> </div> </div> <p>对于关联要素,该理想面的轴线或中心平面必须与基准保持图样给定的几何关系(图 c、d)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="395 792 791 1093"> <p>(c) 内表面</p> </div> <div data-bbox="927 792 1326 1093"> <p>(d) 外表面</p> </div> </div>
<p>最大实体状态</p>	<p>实际要素在给定长度上处处位于尺寸极限之内并具有实体最大时的状态</p>
<p>最大实体尺寸</p>	<p>实际要素在最大实体状态下的极限尺寸 对于外表面为最大极限尺寸 对于内表面为最小极限尺寸</p>
<p>最大实体实效状态</p>	<p>在给定长度上,实际要素处于最大实体状态且其中心要素的形状或位置误差等于给出公差值时的综合极限状态</p> <p>最大实体实效状态与最大实体状态的主要差别是,它涉及尺寸和形状(或位置)两种几何特性。这两种特性的综合效应可用在极限状态下与该实际要素体外相接的最大或最小理想面来表示(图 a、b、c)。如上所述,该体外相接理想面的直径或宽度为体外作用尺寸。另外,最大实体实效状态既适用于单一要素,也适用于关联要素</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="320 1592 831 1877"> <p>(a) 内表面</p> </div> <div data-bbox="890 1592 1401 1877"> <p>(b) 外表面</p> </div> </div>

续表

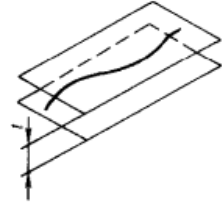
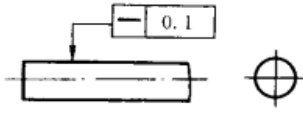

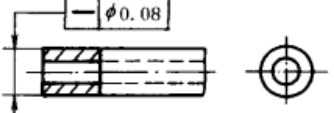

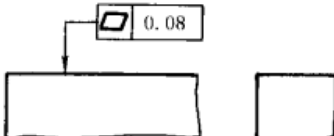
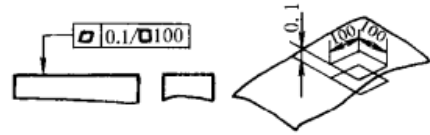
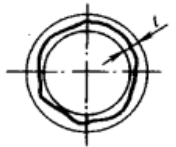
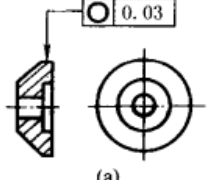
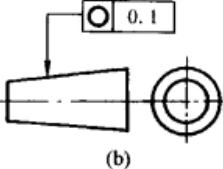
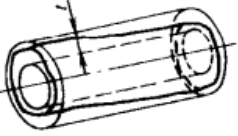
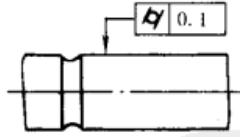

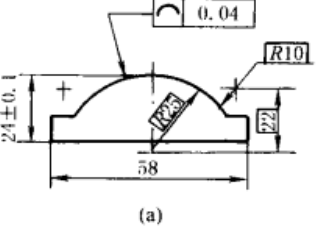
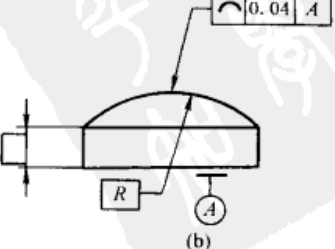
术 语	定 义
最大实体实效状态	<p>(c) 内表面</p>
最大实体实效尺寸	最大实体实效状态下的体外作用尺寸 对于外表面为最大实体尺寸加上形位公差值(加注符号Ⓜ的) 对于内表面为最大实体尺寸减去形位公差值(加注符号Ⓜ的)
最大实体边界	尺寸为最大实体尺寸的边界
最大实体实效边界	尺寸为最大实体实效尺寸的边界
最小实体状态	实际要素在给定长度上处处位于尺寸极限之内并具有实体最小时的状态
最小实体尺寸	实际要素在最小实体状态下的极限尺寸 对于外表面为最小极限尺寸 对于内表面为最大极限尺寸
最小实体实效状态	在给定长度上,实际要素处于最小实体状态且其中心要素的形状或位置误差等于给出公差值时的综合极限状态
最小实体实效尺寸	最小实体实效状态下的体内作用尺寸 对于内表面为最小实体尺寸加上形位公差值(加注符号Ⓛ的) 对于外表面为最小实体尺寸减去形位公差值(加注符号Ⓛ的)
最小实体边界	尺寸为最小实体尺寸的边界
最小实体实效边界	尺寸为最小实体实效尺寸的边界
零形位公差	被测要素采用最大实体要求或最小实体要求时,其给出的形位公差值为零,用 0 Ⓜ或 0 Ⓛ表示

注:带\*者源自 GB/T 1183—1980。

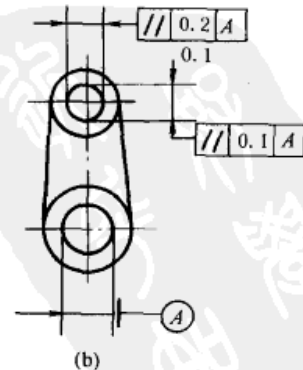
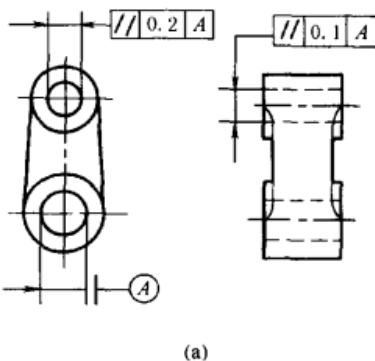
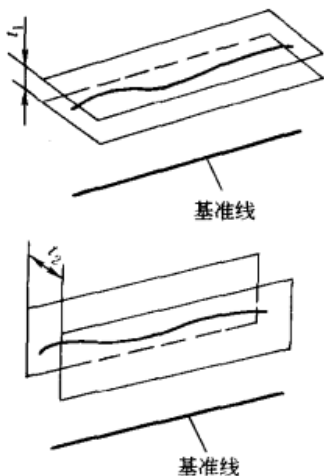
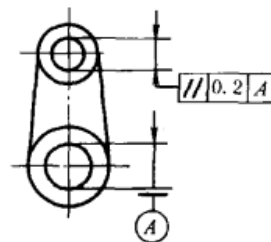
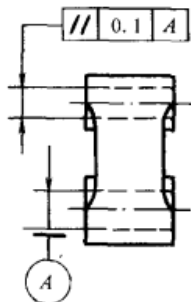
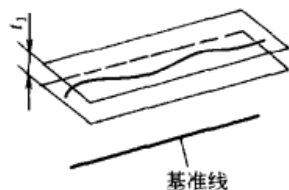
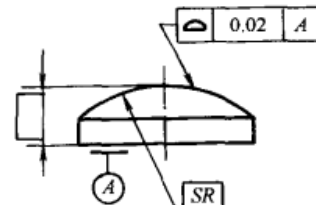
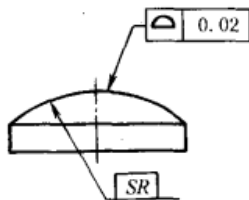
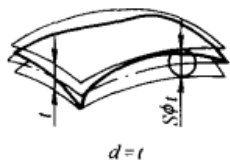
## 2 形位公差带的定义、标注和解释 (摘自 GB/T 1182—1996)

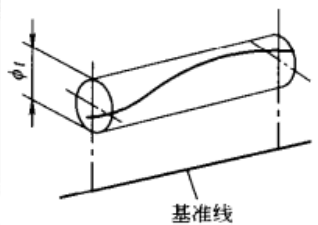
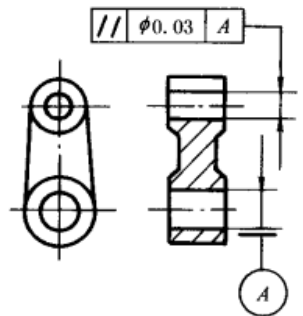
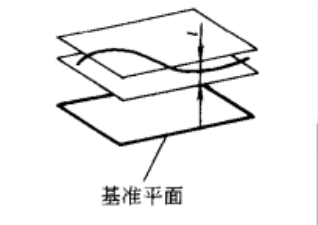
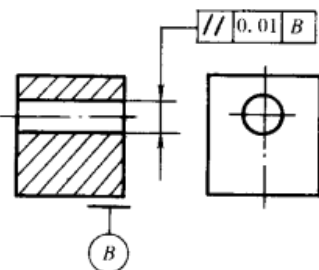
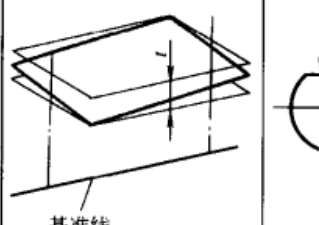
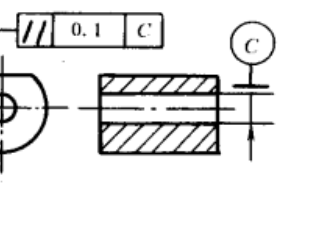
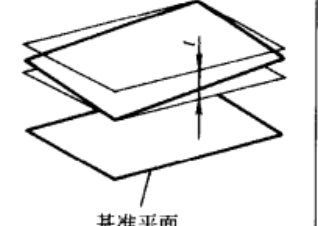
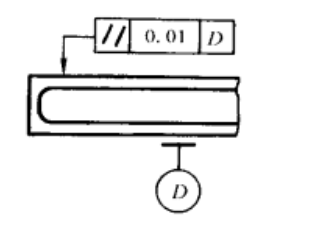
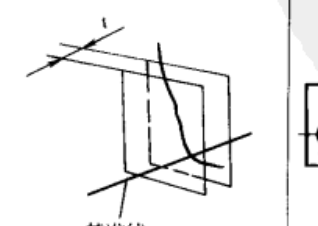
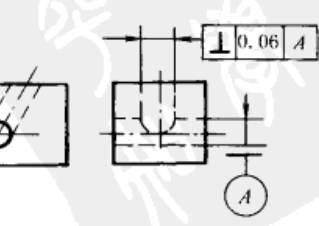
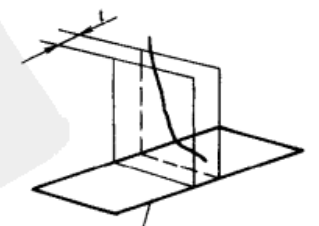
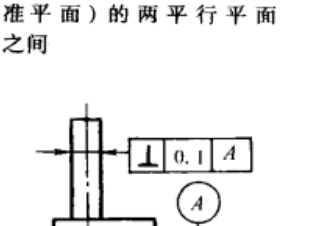
表 2-3-2

	公差带定义	标注和解释	公差带定义	标注和解释
直线度	在给定平面内,公差带是距离为公差值 $t$ 的两平行直线之间的区域 一个方向	被测表面的素线必须位于平行于图样所示投影面且距离为公差值 0.1 的两平行直线内	相互垂直的两个方向	

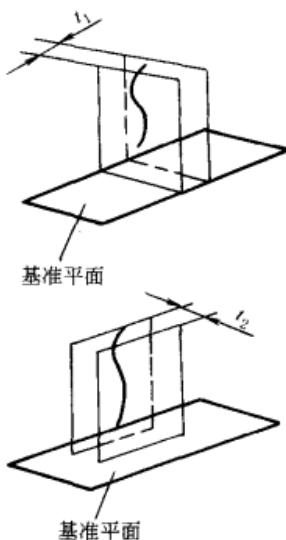
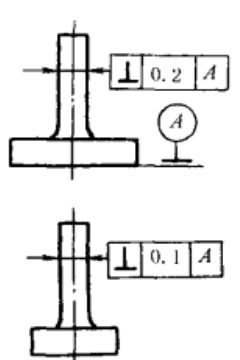
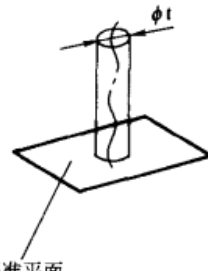
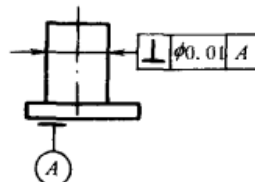
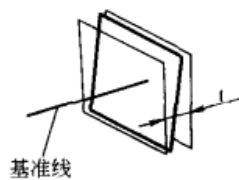
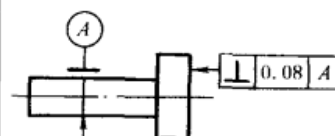
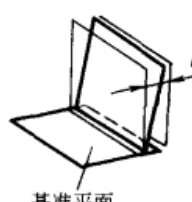
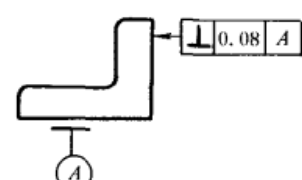
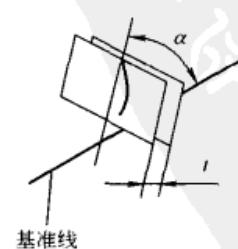
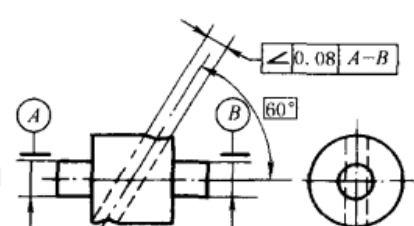
公差带定义	标注和解释	公差带定义	标注和解释
<p>在给定方向上公差带是距离为公差值 <math>t</math> 的两平行平面之间的区域</p> <p>直线度</p> 	<p>被测圆柱面的任一素线必须位于距离为公差值 0.1 的两平行平面之内</p> 	<p>如在公差值前加注 <math>\phi</math>, 则公差带是直径为 <math>t</math> 的圆柱面内的区域</p> 	<p>被测圆柱面的轴线必须位于直径为公差值 <math>\phi 0.08</math> 的圆柱面内</p> 
公差带定义	标注和解释		
<p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 的两平行平面之间的区域</p> <p>平面度</p> 	<p>被测表面必须位于距离为公差值 0.08 的两平行平面内</p>  		
<p>公差带是在同一正截面上, 半径差为公差值 <math>t</math> 的两同心圆之间的区域</p> <p>圆度</p> 	<p>被测圆柱面任一正截面的圆周必须位于半径差为公差值 0.03 的两同心圆之间(图 a)。被测圆锥面任一正截面上的圆周必须位于半径差为公差值 0.1 的两同心圆之间(图 b)</p>  		
<p>公差带是半径差为公差值 <math>t</math> 的两同轴圆柱面之间的区域</p> <p>圆柱度</p> 	<p>被测圆柱面必须位于半径差为公差值 0.1 的两同轴圆柱面之间</p> 		
<p>公差带是包络一系列直径为公差值 <math>t</math> 的圆的两包络线之间的区域。诸圆的圆心位于具有理论正确几何形状的线上</p> <p>线轮廓度</p> 	<p>在平行于图样所示投影面的任一截面上, 被测轮廓线必须位于包络一系列直径为公差值 0.04 且圆心位于具有理论正确几何形状的线上的两包络线之间</p> <p>图 a 为无基准要求的线轮廓度公差, 图 b 为有基准要求的线轮廓度公差</p>  		

	公差带定义	标注和解释
面轮廓度	<p>公差带是包络一系列直径为公差值 <math>t</math> 的球的两包络面之间的区域。诸球的球心应位于具有理论正确几何形状的面上</p>	<p>被测轮廓面必须位于包络一系列球的两包络面之间, 诸球的直径为公差值 0.02, 且球心位于具有理论正确几何形状的面上</p> <p>图 a 为无基准要求的面轮廓度公差, 图 b 为有基准要求的面轮廓度公差</p>
(1) 线对线平行度公差	<p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且平行于基准线、位于给定方向上的两平行平面之间的区域</p>	<p>被测轴线必须位于距离为公差值 0.1 且在给定方向上平行于基准轴线的两平行平面之间(图 a)</p> <p>被测轴线必须位于距离为公差值 0.2 且在给定方向上平行于基准轴线的两平行平面之间(图 b)</p>
平行度	<p>公差带是两对互相垂直的距离分别为 <math>t_1</math> 和 <math>t_2</math> 且平行于基准线的两平行平面之间的区域</p>	<p>被测轴线必须位于距离分别为公差值 0.2 和 0.1, 在给定的互相垂直方向上且平行于基准轴线的两组平行平面之间</p>

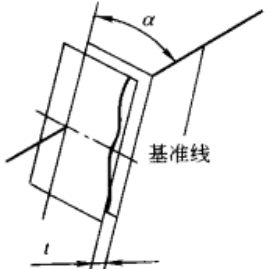
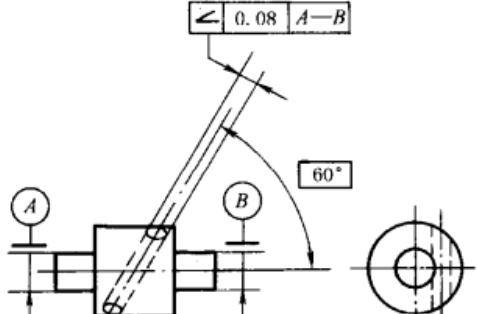
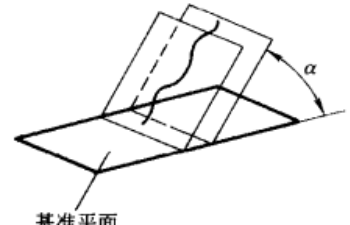
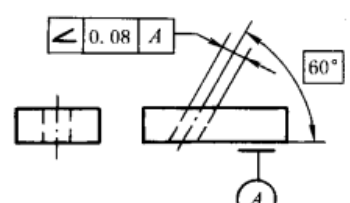
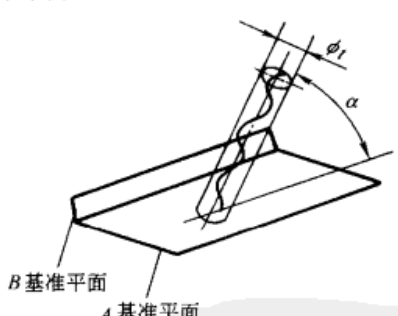
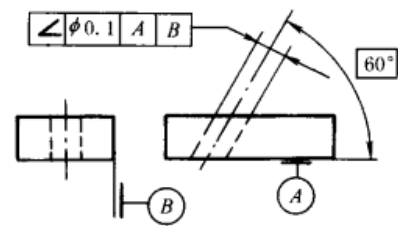
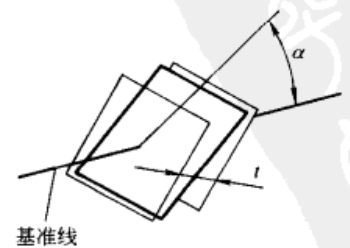
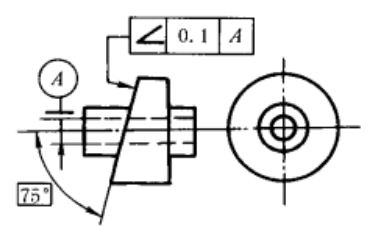


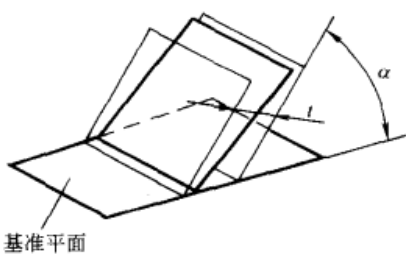
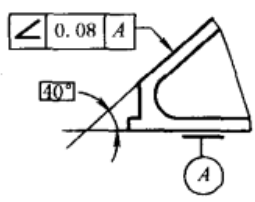
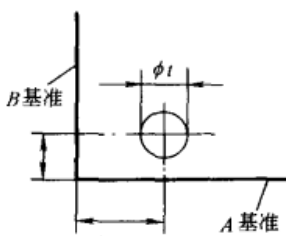
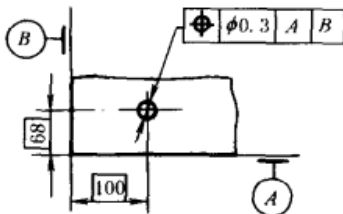
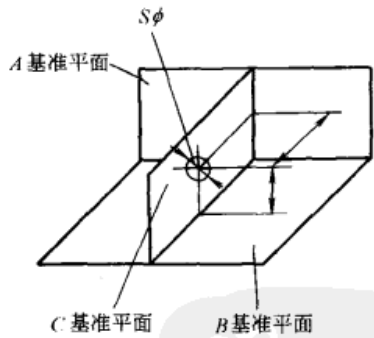
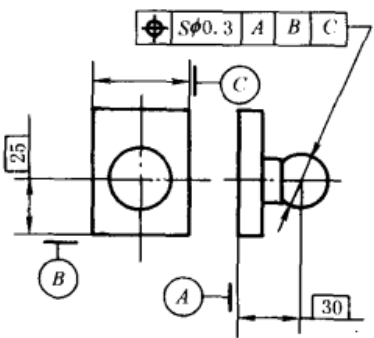
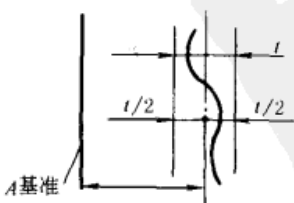
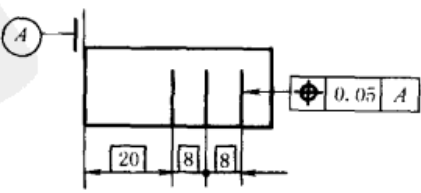
公差带定义		标注和解释		
平行度	(1) 线对线平行度公差 如在公差值前加注 $\phi$ , 公差带是直径为公差值 $t$ 且平行于基准线的圆柱面内的区域	被测轴线必须位于直径为公差值 $\phi 0.03$ 且平行于基准轴线的圆柱面内		
				
平行度	(2) 线对面平行度公差 公差带是距离为公差值 $t$ 且平行于基准平面的两平行平面之间的区域	(3) 面对线平行度公差 公差带是距离为公差值 $t$ 且平行于基准线的两平行平面之间的区域	(3) 面对线平行度公差 被测表面必须位于距离为公差值 $0.1$ 且平行于基准线 $C$ (基准轴线) 的两平行平面之间	
				
公差带定义	标注和解释			
平行度	(4) 面对面平行度公差 公差带是距离为公差值 $t$ 且平行于基准平面的两平行平面之间的区域	被测表面必须位于距离为公差值 $0.01$ 且平行于基准面 $D$ (基准平面) 的两平行平面之间		
				
公差带定义	标注和解释			
垂直度	(1) 线对线垂直度公差 公差带是距离为公差值 $t$ 且垂直于基准线的两平行平面之间的区域	(2) 线对面垂直度公差 在给定方向上, 公差带是距离为公差值 $t$ 且垂直于基准平面的两平行平面之间的区域	(2) 线对面垂直度公差 在给定方向上被测轴线必须位于距离为公差值 $0.1$ 且垂直于基准面 $A$ (基准平面) 的两平行平面之间	
				
公差带定义	标注和解释			

续表

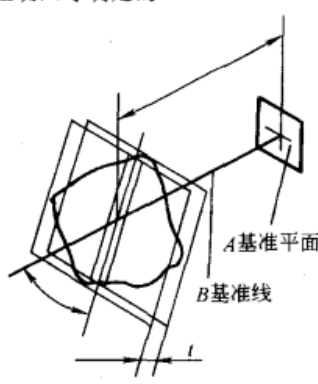
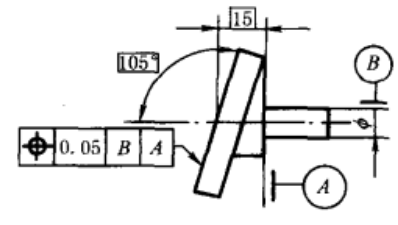
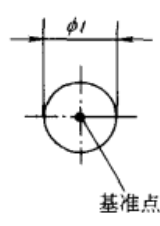
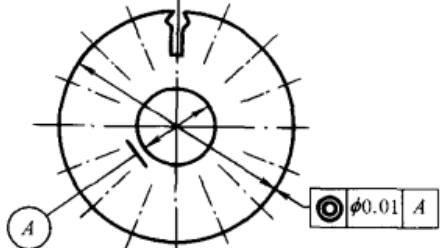
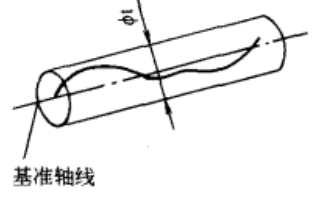
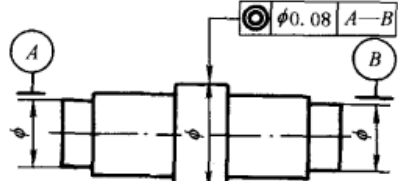
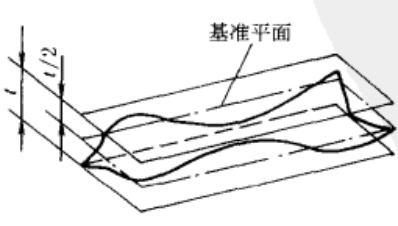
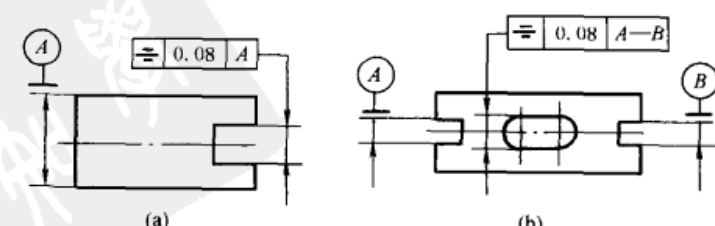
公差带定义	标注和解释	公差带定义	标注和解释
<b>(2) 线对面垂直度公差</b>			
<p>公差带是互相垂直的距离分别为 <math>t_1</math> 和 <math>t_2</math> 且垂直于基准平面的两对平行平面之间的区域</p> 	<p>被测轴线必须位于距离分别为公差值 0.2 和 0.1 的互相垂直且垂直于基准平面的两对平行平面之间</p> 	<p>如公差值前加注 <math>\phi</math>, 则公差带是直径为公差值 <math>t</math> 且垂直于基准平面的圆柱面内的区域</p> 	<p>被测轴线必须位于直径为公差值 <math>\phi 0.01</math> 且垂直于基准面 A (基准平面) 的圆柱面内</p> 
<b>(3) 面对线垂直度公差</b>		<b>(4) 面对面垂直度公差</b>	
<p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且垂直于基准线的两平行平面之间的区域</p> 	<p>被测面必须位于距离为公差值 0.08 且垂直于基准线 A (基准轴线) 的两平行平面之间</p> 	<p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且垂直于基准平面的两平行平面之间的区域</p> 	<p>被测面必须位于距离为公差值 0.08 且垂直于基准面 A (基准平面) 的两平行平面之间</p> 
公差带定义		标注和解释	
<b>(1) 线对线倾斜度公差</b>			
<p>被测线和基准线在同一平面内: 公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且与基准线成一给定角度的两平行平面之间的区域</p> 		<p>被测轴线必须位于距离为公差值 0.08 且与 A-B 公共基准线成理论正确角度 <math>60^\circ</math> 的两平行平面之间</p> 	
倾斜度			



公差带定义	标注和解释
<p>(1) 线对线倾斜度公差</p> <p>被测线与基准线不在同一平面内,公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且与基准线成一给定角度的两平行平面之间的区域。如被测线与基准线不在同一平面内,则被测线应投影到包含基准线并平行于被测线的平面上,公差带是相对于投影到该平面的线而言</p> 	<p>被测轴线投影到包含基准轴线的平面上,它必须位于距离为公差值 0.08 并与 A—B 公共基准线成理论正确角度 <math>60^\circ</math> 的两平行平面之间</p> 
<p>(2) 线对面倾斜度公差</p> <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且与基准平面成一给定角度的两平行平面之间的区域</p> 	<p>被测轴线必须位于距离为公差值 0.08 且与基准面 A (基准平面) 成理论正确角度 <math>60^\circ</math> 的两平行平面之间</p> 
<p>如在公差值前加注 <math>\phi</math>,则公差带是直径为公差值 <math>t</math> 的圆柱面内的区域,该圆柱面的轴线应与基准平面呈一给定的角度并平行于另一基准平面</p> 	<p>被测轴线必须位于直径为公差值 <math>\phi 0.1</math> 的圆柱面公差带内,该公差带的轴线应与基准表面 A (基准平面) 呈理论正确角度 <math>60^\circ</math> 并平行于基准平面 B</p> 
<p>(3) 面对线倾斜度公差</p> <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且与基准线成一给定角度的两平行平面之间的区域</p> 	<p>被测表面必须位于距离为公差值 0.1 且与基准线 A (基准轴线) 成理论正确角度 <math>75^\circ</math> 的两平行平面之间</p> 

	公差带定义	标注和解释
倾 斜 度	<p>(4) 面对面倾斜度公差</p> <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且与基准平面成一给定角度的两平行平面之间的区域</p>  <p>基准平面</p>	<p>被测表面必须位于距离为公差值 0.08 且与基准面 A (基准平面) 成理论正确角度 <math>40^\circ</math> 的两平行平面之间</p> 
	<p>(1) 点的位置度公差</p> <p>如公差值前加注 <math>\phi</math>, 公差带是直径为公差值 <math>t</math> 的圆内的区域。圆公差带的中心点的位置由相对于基准 A 和 B 的理论正确尺寸确定</p> 	<p>两条中心线的交点必须位于直径为公差值 <math>\phi 0.3</math> 的圆内, 该圆的圆心位于由相对基准 A 和 B (基准直线) 的理论正确尺寸所确定的点的理想位置上</p> 
位 置 度	<p>如公差值前加注 <math>S\phi</math>, 公差带是直径为公差值 <math>t</math> 的球内的区域。球公差带的中心点的位置由相对于基准 A、B 和 C 的理论正确尺寸确定</p>  <p>A 基准平面 C 基准平面 B 基准平面</p>	<p>被测球的球心必须位于直径为公差值 <math>S\phi 0.3</math> 的球内, 该球的球心位于由相对基准 A、B、C 的理论正确尺寸所确定的点的理想位置上</p> 
	<p>(2) 线位置度公差</p> <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且以线的理想位置为中心线对称配置的两平行直线之间的区域。中心线的位置由相对于基准 A 的理论正确尺寸确定, 此位置度公差仅给定一个方向</p>  <p>A 基准</p>	<p>每根刻线的中心线必须位于距离为公差值 0.05 且由相对于基准 A 的理论正确尺寸所确定的理想位置对称的诸两平行直线之间</p> 

公差带定义	标注和解释
<p><b>(2) 线位置度公差</b></p> <p>公差带是两对互相垂直的距离为 <math>t_1</math> 和 <math>t_2</math> 且以轴线的理想位置为中心对称配置的两平行平面之间的区域。轴线的理想位置是由相对于三基面体系的理论正确尺寸确定的, 此位置度公差相对于基准给定互相垂直的两个方向</p> <p>基准平面</p> <p>基准平面</p>	<p>各个被测孔的轴线必须分别位于两对互相垂直的距离为公差值 0.05 和 0.2, 由相对于基准面 C、A、B(基准平面) 的理论正确尺寸所确定的理想位置对称配置的两平行平面之间</p>
<p>如在公差值前加注 <math>\phi</math>, 则公差带是直径为 <math>t</math> 的圆柱面内的区域。公差带轴线的位置由相对于三基面体系的理论正确尺寸确定</p> <p>A 基准平面</p> <p>C 基准平面</p> <p>B 基准平面</p>	<p>被测轴线必须位于直径为公差值 <math>\phi 0.08</math>, 且以相对于基准面 C、A、B(基准平面) 的理论正确尺寸所确定的理想位置为轴线的圆柱面内</p> <p>每个被测轴线必须位于直径为公差值 <math>\phi 0.1</math>, 且以相对于基准面 C、A、B(基准平面) 的理论正确尺寸所确定的理想位置为轴线的圆柱面内</p>
<p>公差带分别是直径为公差值 <math>\phi t_1</math> 的圆柱面内的区域(该圆柱面轴线由相对于三基面体系的理论正确尺寸确定)和公差带为 <math>\phi t_2</math> 的圆柱面内的区域(该圆柱面的轴线垂直于基准 A)(为复合位置度)</p> <p>基准平面 A</p> <p>基准中心平面</p> <p>基准轴线</p> <p>孔组定位位置度公差带</p> <p>基准平面 A</p> <p>孔组内各孔位置度公差带</p>	<p>被测轴线必须位于公差值为 <math>\phi t_1</math> 且以相对于三基准面 A、B、C(基准平面) 所确定的理想位置为轴线的圆柱面内, 同时也必须位于公差值为 <math>\phi t_2</math>, 其轴线垂直于基准面 A 的圆柱面内</p> <p>6x phi EQS</p> <p>A B C</p> <p>A</p>

	公差带定义	标注和解释
位置度	<p>(3) 平面或中心平面的位置度公差</p> <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且以面的理想位置为中心对称配置的两平行平面之间的区域。面的理想位置是由相对于三基面体系的理论正确尺寸确定的</p> 	<p>被测表面必须位于距离为公差值 0.05, 由以相对于基准线 B (基准轴线) 和基准面 A (基准平面) 的理论正确尺寸所确定的理想位置对称配置的两平行平面之间</p> 
同轴同心度	<p>(1) 点的同轴度公差</p> <p>公差带是直径为公差值 <math>\phi t</math> 且与基准圆心同心的圆内的区域</p> 	<p>外圆的圆心必须位于直径为公差值 <math>\phi 0.01</math> 且与基准圆心同心的圆内</p> 
同轴度	<p>(2) 轴线的同轴度公差</p> <p>公差带是直径为公差值 <math>\phi t</math> 的圆柱面内的区域, 该圆柱面的轴线与基准轴线同轴</p> 	<p>大圆柱面的轴线必须位于直径为公差值 <math>\phi 0.08</math> 且与公共基准线 A-B (公共基准轴线) 同轴的圆柱面内</p> 
对称度	<p>中心平面的对称度公差</p> <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 且相对基准的中心平面对称配置的两平行平面之间的区域</p> 	<p>被测中心平面必须位于距离为公差值 0.08 且相对于基准中心平面 A 对称配置的两平行平面之间 (图 a)。被测中心平面必须位于距离为公差值 0.08 且相对于公共基准中心平面 A-B 对称配置的两平行平面之间 (图 b)</p> 

公差带定义

标注和解释

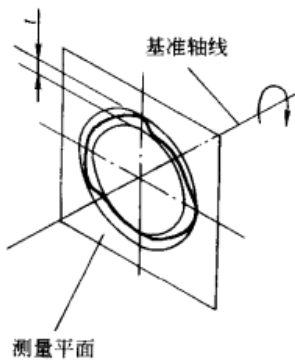
圆跳动公差是被测要素某一固定参考点围绕基准轴线旋转一周时(零件和测量仪器间无轴向位移)允许的最大变动量  $t$ , 圆跳动公差适用于每一个不同的测量位置

备注:圆跳动可能包括圆度、同轴度、垂直度或平面度误差,这些误差的总值不能超过给定的圆跳动公差

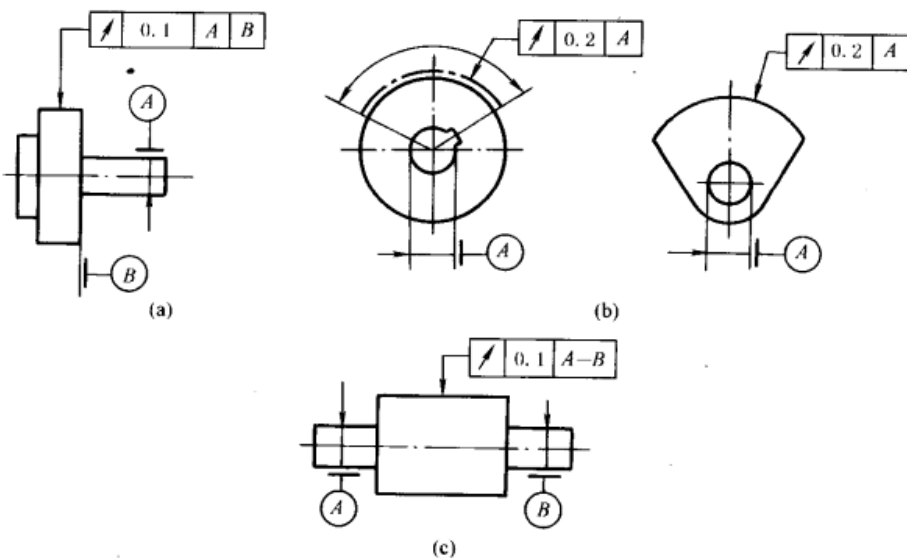
(1) 径向圆跳动公差

公差带是在垂直于基准轴线的任一测量平面内,半径差为公差值  $t$  且圆心在基准轴线上的两同心圆之间的区域

当被测要素围绕基准线  $A$  (基准轴线) 并同时受基准表面  $B$  (基准平面) 的约束旋转一周时, 在任一测量平面内的径向圆跳动量均不得大于  $0.1$  (图 a)。当被测要素绕基准线  $A$  (基准轴线) 旋转一个给定的部分圆周时, 在任一测量平面内的径向圆跳动量均不得大于  $0.2$  (图 b)。当被测要素围绕公共基准线  $A-B$  (公共基准轴线) 旋转一周时, 在任一测量平面内的径向圆跳动量均不得大于  $0.1$  (图 c)



跳动通常是围绕轴线旋转一整周,也可对部分圆周进行限制

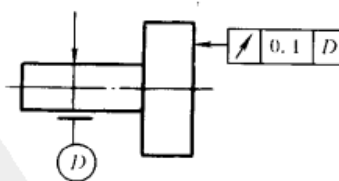
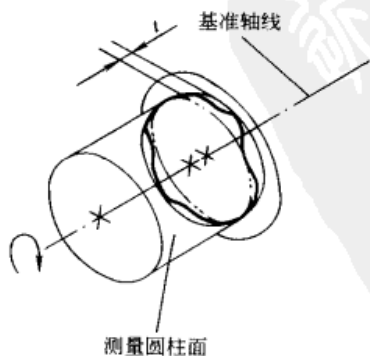


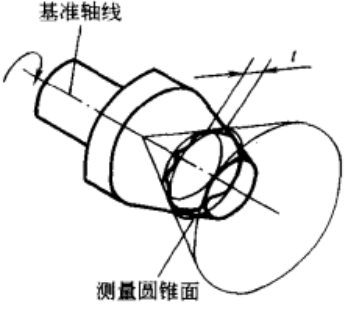
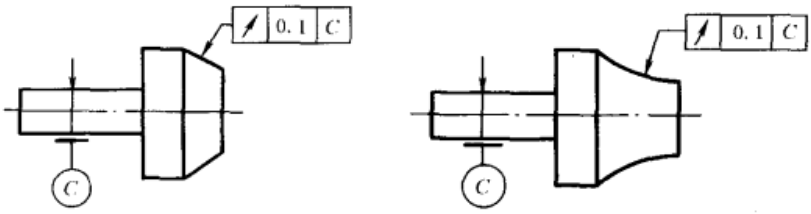
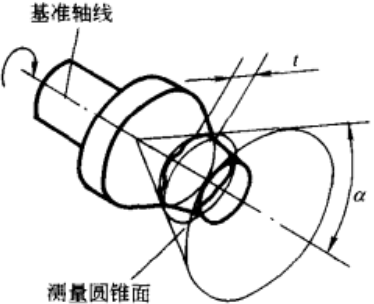
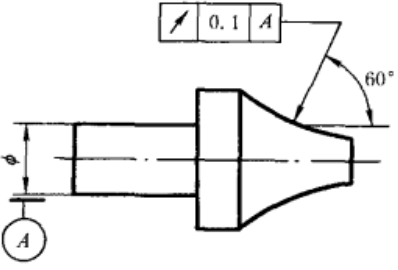
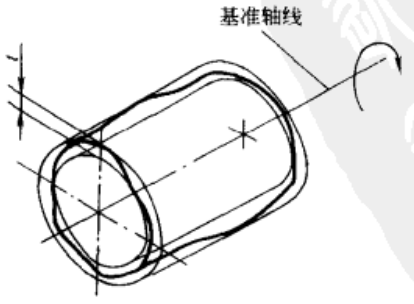
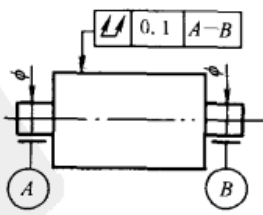
圆  
跳  
动

(2) 端面圆跳动公差

公差带是在与基准同轴的任一半径位置的测量圆柱面上距离为  $t$  的两圆之间的区域

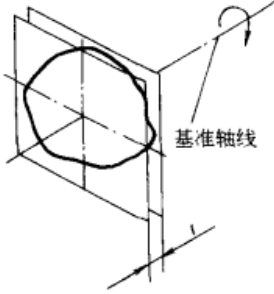
被测面围绕基准线  $D$  (基准轴线) 旋转一周时, 在任一测量圆柱面内轴向的跳动量均不得大于  $0.1$



公差带定义	标注和解释
<p>(3) 斜向圆跳动公差</p> <p>公差带是在与基准同轴的任一测量圆锥面上距离为 <math>t</math> 的两圆之间的区域 除另有规定,其测量方向应与被测面垂直</p>  <p>基准轴线</p> <p>测量圆锥面</p>	<p>被测面绕基准线 <math>C</math> (基准轴线) 旋转一周时,在任一测量圆锥面上的跳动量均不得大于 <math>0.1</math></p> <p>被测曲面绕基准线 <math>C</math> (基准轴线) 旋转一周时,在任一测量圆锥面上的跳动量均不得大于 <math>0.1</math></p> 
<p>(4) 斜向(给定角度的)圆跳动公差</p> <p>公差带是在与基准同轴的任一给定角度的测量圆锥面上,距离为 <math>t</math> 的两圆之间的区域</p>  <p>基准轴线</p> <p>测量圆锥面</p>	<p>被测面绕基准线 <math>A</math> (基准轴线) 旋转一周时,在给定角度为 <math>60^\circ</math> 的任一测量圆锥面上的跳动量均不得大于 <math>0.1</math></p> 
<p>(1) 径向全跳动公差</p> <p>公差带是半径差为公差值 <math>t</math> 且与基准同轴的两圆柱面之间的区域</p>  <p>基准轴线</p>	<p>被测要素围绕公共基准线 <math>A-B</math> (公共基准轴线) 作若干次旋转,并在测量仪器与工件间同时作轴向的相对移动时,被测要素上各点间的示值差均不得大于 <math>0.1</math>。测量仪器或工件必须沿着基准轴线方向并相对于公共基准线 <math>A-B</math> 移动</p> 

圆  
跳  
动

全  
跳  
动

公差带定义		标注和解释
全 跳 动	(2) 端面全跳动公差 公差带是距离为 $t$ 且与基准垂直的两平行平面之间的区域	被测要素围绕基准线 $D$ (基准轴线) 作若干次旋转, 并在测量仪器与工件间作径向相对移动时, 在被测要素上各点间的示值差均不得大于 $0.1$ 。测量仪器或工件必须沿着轮廓具有理想正确形状的线和相对于基准线 $D$ 的正确方向移动
		

### 3 形位公差的符号及其标注 (摘自 GB/T 1182—1996)

表 2-3-3

公差类别		特征项目	符号	有无基准	说明	符号	说明	符号			
形状公差		直线度	—	无		被测要素的标注	直接	包容要求	ⓔ		
		平面度	▭		用字母				最大实体要求	Ⓜ	
		圆度	○				基准要素的标注	最小实体要求		Ⓛ	
		圆柱度	∅		基准目标的标注				可逆要求	Ⓡ	
形状公差或位置公差		线轮廓度	⌒	有或无		基准要素的标注	延伸公差带	Ⓟ			
		面轮廓度	∩		自由状态 (非刚性零件) 条件			ⓕ			
位置公差	定向公差	平行度	//	有		基准要素的标注	理论正确尺寸	全周 (轮廓)	Ⓛ		
		垂直度	⊥		基准目标的标注				自由状态 (非刚性零件) 条件	ⓕ	
		倾斜度	∠								理论正确尺寸
	定位公差	位置度	⊕	有或无	基准目标的标注	理论正确尺寸	全周 (轮廓)	Ⓛ			
		同轴度 (同心度)	◎						理论正确尺寸	全周 (轮廓)	
		对称度	≡								理论正确尺寸
跳动公差	圆跳动	径向	↗	有	理论正确尺寸	全周 (轮廓)	Ⓛ				
		端面						↖			
		斜向							↘		
	全跳动	↗	理论正确尺寸					全周 (轮廓)		Ⓛ	
径向	↖										
端面		↘	理论正确尺寸	全周 (轮廓)	Ⓛ						

表 2-3-4

被测要素的标注方法

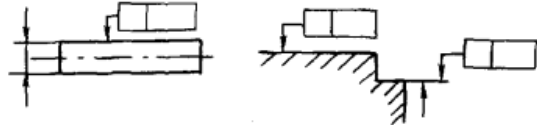
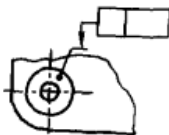
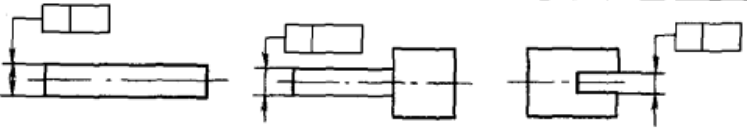
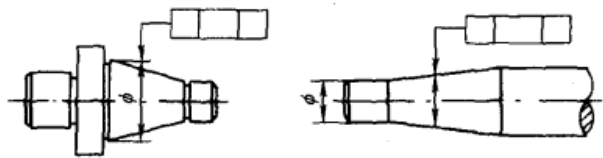
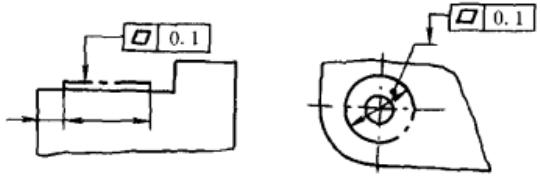

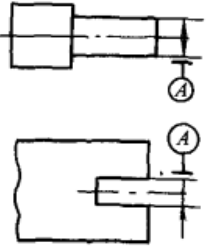

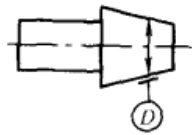
被测要素	标注方法	标注示例
被测要素由带箭头的指引线与公差框格的一端(左端或右端)相连。其箭头应指向公差带的宽度方向或直径	被测要素为轮廓要素时	<p>箭头应指在被测表面的轮廓线上,也可指在轮廓线的延长线上,但必须与尺寸线错开</p> 
	表示图中一个面的形位公差要求时,可在面上用一小黑点引出参考线,指引线箭头指在参考线上	
	如中心点、圆心、轴线、中心线、中心平面	<p>指引线箭头应与尺寸对齐,即与尺寸线的延长线重合,指引线的箭头也可代替尺寸线的一个箭头</p> 
	被测要素为圆锥体的轴线	<p>指引线箭头应与圆锥体的大端或小端尺寸线对齐,必要时,箭头也可与圆锥体上任一部位的空白尺寸线对齐</p> 
被测要素为局部要素时	<p>是某一局部时,应用粗点画线画出其局部范围,并注上这个范围必要的尺寸</p> 	

表 2-3-5

基准要素的标注方法

基准要素	标注方法	标注示例	基准要素	标注方法	标注示例
1. 基准要素为轮廓要素时	为线、表面等时	<p>基准代号中的短横线应靠近基准要素的轮廓线或轮廓面,也可靠近轮廓的延长线,但应与尺寸线错开</p> 	2. 基准要素为中心要素时	基准代号的连线应与该要素的尺寸线对齐。基准代号中的短横线可代替尺寸线的一个箭头	
	受到图形限制时	<p>基准代号也可直接注在面上,此时应在面上画一小黑点,并以此引出指引线和基准符号</p> 		基准符号中的连线应与轴线垂直,短横线应与圆锥面的方向一致	

相对于被测要素的基准,由基准字母表示。带小圆的大写字母用细实线与粗的短横线相连,表示基准的字母也应注在公差框格内



基准要素	标注方法	标注示例	基准要素	标注方法	标注示例
3. 基准要素为局部要素时	当基准要素是指某一局部时,应用粗点画线画出其局部范围,并加注必要的尺寸		7. 任选基准的标注如右图		
4. 公共基准的标注	当要求两个要素一起作为公共基准时,应在这两个要素上分别标注基准符号,并在框格中一个基准栏内注上用短横线相连的两个字母		8. 当需要在基准要素上指定某些点、线或局部表面来体现各基准平面时,应标注基准目标,可按下列方法标注: (1) 基准目标为点时,用“×”表示 (2) 基准目标为线时,用细实线表示,并在棱边上加“×” (3) 基准目标为局部表面时,用细双点画线绘出该局部表面的图形,并画上与水平线成45°的细实线		
5. 三基面体系的标注	当要求三个互相垂直的要素组成一个三基面体系为基准时,应在每一个基准要素上标注基准符号,并按基准顺序注在公差框格内				
6. 采用基准代号标注时,在公差框格中填写相应的字母: (1) 单一基准要素,用大写字母表示 (2) 由两个要素组成的公共基准,用由短横线隔开的两个大写字母表示 (3) 由两个或三个要素组成的基准体系,如多基准组合,表示基准的大写字母应按基准的优先次序从左至右分别置于各格中			9. 基准目标代号在图样中的标注如右图		

表 2-3-6

公差框格、公差数值和有关符号的标注

要 求	标 注 方 法	标 注 示 例
1. 公差要求在矩形方框中给出,该方框由两格或多格组成。框格中的内容从左到右按以下次序填写: (1)公差特征的符号 (2)公差值用线性值,如公差带是圆形或圆柱形的则在公差值前加注 $\phi$ ;如是球形的则加注“S $\phi$ ” (3)如需要,用一个或多个字母表示基准要素或基准体系		
2. 被测范围仅为被测要素的某一部分	用粗点画线表示其范围,并加注尺寸	
3. 给出被测要素任一长度(或范围)的公差值	任一长度的公差值要求用分数表示	
4. 同时给出全长和任一长度的公差值时	全长上的公差值框格并置于任一长度的公差值框格上面	
5. 被测范围不仅包括被测要素的整个表面或全长,而且延长到被测要素之外,或包括被测要素的整个表面或全长,而是在被测要素之外伸出	应采用延伸公差带标注 延伸公差带的延伸部分用细双点画线绘制,应标注其相应的尺寸,并在延伸部分的尺寸数值前,及在框格中公差数值后加注符号“ $\oplus$ ”	
6. 对形位公差有附加要求时,应在相应的公差数值后面加注有关的符号,若被测要素有误差:		
(1) 只许中间向材料外凸起	加注(+ )	
(2) 只许中间向材料内凹下	加注(- )	
(3) 只许按符号的小端方向逐渐减小	加注(>)或(<)	
7. 对同一要素有一个以上的公差特征项目要求时	可将一个框格放在另一个框格的下面	
8. 单一要素要求遵守包容要求时	在该尺寸公差后加注符号“ $\textcircled{M}$ ”	

要 求	标 注 方 法	标 注 示 例
9. 最大实体要求	用符号Ⓜ表示,此符号置于给出的公差值或基准字母的后面,或同时置于两者后面	
10. 最小实体要求	用符号Ⓛ表示,此符号置于给出的公差值或基准字母的后面,或同时置于两者后面	
11. 可逆要求	将可逆要求符号Ⓜ置于被测要素形位公差框格中形位公差值之后的符号Ⓜ或Ⓛ的后面。公差框格内加注双重符号ⓂⓂ表示可逆要求用于最大实体要求;加注双重符号ⓁⓁ表示可逆要求用于最小实体要求	
12. 自由状态条件	对于非刚性零件的自由状态条件用符号Ⓡ表示,此符号置于给定公差值后面	
13. 理论正确尺寸	理论正确尺寸应围以框格,零件实际尺寸仅由在公差框格中位置度、轮廓度或倾斜度公差来限定	

表 2-3-7

框格标注的特殊规定

项目	标 注 方 法	标 注 示 例
1. 公共公差带	<p>某些零件上的要素,由于功能的要求需要由同一个公差带来控制,这个公差带称为公共公差带。常见有共线和共面要求</p> <p>三个表面用同一公差带控制以达到共面要求,应在公差框格上方标注“共面”二字。为同一要求的另一种标注形式,即公差框格不与被测要素相连,每一个要素上标以符号及字母,框格上方标上被测要素的数量及字母代号“3×A”,并在其后标注“共面”</p>	

项目	标注方法	标注示例
2. 全周符号	某项形位公差要求适用于视图上的整个外轮廓线或整个外轮廓面时,用全周符号标注	
3. 螺纹、齿轮、花键的标注	<p>一般情况下,螺纹轴线作为被测要素或基准要素均为中径轴线,不需另加说明。如需采用螺纹大径轴线则用“MD”表示,采用小径轴线用“LD”表示,如图 a、b</p> <p>由齿轮和花键轴线作为被测要素或基准要素时,节径轴线用“PD”表示,大径(对外齿轮是顶圆直径,对内齿轮是根圆直径)轴线用“MD”表示,小径(对外齿轮是根圆直径,对内齿轮是顶圆直径)轴线用“LD”表示,如图 c、d</p>	
4. 相关要求应用于基准要素时基准符号的标注	<p>相关要求应用于基准要素 A,且其边界由采用最大实体要求的形位公差确定时的标注如图 a</p> <p>相关要求应用于基准要素 B,且其边界由采用最大实体要求的位置公差确定时的标注如图 b</p> <p>相关要求应用于基准要素 D,且其边界由采用最小实体要求的位置公差确定时的标注如图 c</p>	
5. 说明性内容的标注	<p>除框格和基准符号外,还需对形位公差要求进行说明时,可在框格上方或下方标注说明性内容</p> <p>(1) 被测要素的数量,如 4 个 <math>\phi 10H8</math> 孔、两处、6 个槽、3 组孔等均满足框格规定的公差带要求时,应标在公差框格上方</p> <p>(2) 一些其他说明内容,如对检测的要求,对公差带控制范围的要求等均应写在公差框格下方</p>	

注: \* 见 GB/T 1958—2004 中的规定。

表 2-3-8

简化标注法

项目	标注方法	标注示例
<p>1. 同一被测要素, 不同的项目要求</p>	<p>由于是同一被测要素, 可用同一根指引线与框格相连。此时要注意: 不能将轮廓要素与中心要素的公差要求用同一指引线表示</p>	
<p>2. 同一项目, 不同要求</p>	<p>虽是同一个公差项目, 但对基准要求不同或对公差值有不同要求时, 可共用同一个公差特征符号和同一根指引线</p>	
<p>3. 中心孔作基准时</p>	<p>由于中心孔一般不画详图, 而是按制图标准的规定采用符号表示法并加注规格符号。此时, 可将中心孔符号导线的一边延长, 基准符号的短横线沿符号线配制</p>	
<p>4. 几个被测要素具有相同要求</p>	<p>几个圆柱表面或几条线、几个孔、几个表面具有同一形位公差要求时, 可由同一指引线引出不同箭头指向被测表面, 也可在框格上方写明</p>	

表 2-3-9 不允许采用的一些标注方法

要素特征	被取消内容	图例	要素特征	被取消内容	图例
被测要素	被测要素为单一要素的轴线,指示箭头不允许直接指向轴线,必须与尺寸线相连		基准要素	短横线不允许直接与尺寸线相连,必须标出完整的基准代号并在框格中标出字母代号	
	被测要素为多要素的公共轴线时,指示箭头不允许直接指向轴线,而应各自分别注出			当基准要素为多个要素的公共轴线、公共中心平面时,短横线不允许直接与公共轴线相连,必须分别标注,并在框格内注出字母代号	
	任选基准必须注出基准代号,并在框格中注出基准字母			当中心孔为基准时,短横线不允许直接与中心孔的角度尺寸线相连,必须标出完整的基准代号并在框格中标出字母代号	
基准要素	短横线不允许直接与轮廓线或其延长线相连。必须标出完整的基准代号并在框格中标出字母代号				

## 4 形状和位置公差的选择

(1) 根据零件的功能要求综合考虑加工经济性、零件的结构刚性和测试条件

① 在满足零件功能要求的情况下,尽量选用较低的公差等级。形位公差等级的应用可参考表 2-3-10。

② 考虑零件的结构特点和工艺性。对于刚性差的零件(如细长件、薄壁件等)和距离远的孔轴等,由于加工和测量时都较难保证形位精度,故在满足零件功能要求下,形位公差可适当降低 1~2 级精度使用。例如,孔相对于轴,细长比较大的轴或孔;距离较大的轴或孔,宽度较大(一般大于 1/2 长度)的零件表面;线对线和线对面相对于面对面的平行度,线对线和线对面相对于面对面的垂直度。

③ 考虑相应的加工方法。几种主要加工方法达到的形位公差等级,可参考表 2-3-11~表 2-3-14。

表 2-3-10 形位公差等级应用举例

公差等级	直线度和平面度	圆度和圆柱度	面对面平行度	线对面、线对线平行度	垂直度	同轴度、对称度、圆跳动、全跳动
1	精密量具、测量仪器以及精度要求极高的精密机械零件,如 0 级样板、平尺、工具显微镜等精密测量仪器的导轨面,喷油嘴针阀体端面,油泵柱塞套端面等	高精度机床主轴、滚动轴承的滚珠和滚柱等	高精度机床、高精度测量仪器及量具等主要基准和工作面		高精度机床、高精度测量仪器以及量具等主要基准面和工作面	用于同轴度或旋转精度要求很高的零件,一般要按尺寸公差 IT5 或高于 IT5 制造的零件。1、2 级用于精密测量仪器的主轴和顶尖,柴油机喷油针阀等;3、4 级用于机床主轴轴颈,砂轮轴轴颈,汽轮机主轴,高精度滚动轴承内、外圈等
2		高压油泵柱塞及套,纺锭轴承,高速柴油机进、排气门,精密机床主轴轴颈,针阀圆柱面,喷油泵柱塞及柱塞套	精密机床,精密测量仪器、量具以及夹具的基准面和工作面	精密机床上重要箱体主轴孔对基准面及对其他孔的要求	精密机床导轨,普通机床重要导轨,机床主轴轴向定位面,精密机床主轴端面,滚动轴承座圈端面	

公差等级	直线度和平面度	圆度和圆柱度	面对面平行度	线对面、线对线平行度	垂直度	同轴度、对称度、圆跳动、全跳动
3	用于0级及1级宽平尺工作面,1级样板平尺的工作面,测量仪器圆弧导轨,测量仪器的测杆等	工具显微镜套管外圆,高精度外圆磨床主轴,磨床砂轮主轴套筒,喷油嘴针阀体,高精度微型轴承内、外圈	精密机床、精密测量仪器、量具以及夹具的基准面和工作面	精密机床上重要箱体主轴孔对基准面及对其他孔的要求	精密机床导轨,普通机床重要导轨,机床主轴轴向定位面,精密机床主轴肩端面,滚动轴承座圈端面	用于同轴度或旋转精度要求很高的零件,一般要按尺寸公差IT5或高于IT5制造的零件。1、2级用于精密测量仪器的主轴和顶尖,柴油机喷油针阀等;3、4级用于机床主轴轴颈,砂轮轴轴颈,汽轮机主轴,高精度滚动轴承内、外圈等
4	量具、测量仪器和高精度机床导轨,如测量仪器的V形导轨,高精度平面磨床的V形导轨和滚动导轨,轴承磨床床身导轨等	较精密机床主轴,精密机床主轴箱孔,高压阀门活塞、活塞销、阀体孔,高压油泵柱塞,较高精度滚动轴承配合轴,铣削动力头箱体孔等	普通车床,测量仪器、量具的基准面和工作面,高精度轴承座圈、端盖、挡圈的端面	机床主轴孔对基准面要求,重要轴承孔对基准面要求,床头箱体重要孔间要求,齿轮泵的端面等	普通机床导轨,精密机床重要零件,机床重要支承面,普通机床主轴偏摆,测量仪器、刀具、量具,液压传动轴瓦端面	应用范围较广的公差等级,用于精度要求比较高,一般按尺寸公差IT7或IT8制造的零件。5级常用在机床轴颈,汽轮机主轴,柱塞油泵转子,高精度滚动轴承外圈,一般精度滚动轴承内圈,6、7级用在内燃机曲轴,凸轮轴轴颈,水泵轴,齿轮轴,汽车后桥输出轴,电机转子,0级精度滚动轴承内圈,印刷机传墨辊等
5	平面磨床纵导轨、垂直导轨、立柱导轨和平面磨床的工作台,液压龙门刨床导轨面、六角车床床身导轨面,柴油机进、排气门导杆等	一般机床主轴,较精密机床主轴箱孔,柴油机、汽油机活塞及活塞销孔,高压空气压缩机十字头销、活塞				
6	普通车床及龙门刨床床身导轨面,滚齿机立柱导轨,床身导轨及工作台,自动车床床身导轨,平面磨床垂直导轨,卧式镗床、铣床工作台及机床主轴箱导轨,柴油机进、排气门导杆,柴油机机体上部结合面等	一般机床主轴及箱体孔,中等压力下液压装置工作面(包括泵、压缩机的活塞和汽缸),汽车发动机凸轮轴,纺机锭子,通用减速器轴颈,高速船用发动机曲轴,拖拉机曲轴轴颈	一般机床零件的工作面和基准面,一般刀具、量具、夹具	机床一般轴承孔对基准面要求,床头箱一般孔间要求,主轴花键对定心直径要求,刀具、量具、模具	普通精度机床主要基准面和工作面,回转工作台端面,一般导轨,主轴箱体孔、刀架、砂轮架及工作台回转中心,一般轴肩对其轴线	
7	机床床头箱体,滚齿机床身导轨,镗床工作台,摇臂钻底座工作台,柴油机气门导杆,液压泵盖,压力机导轨及滑块	大功率低速柴油机曲轴、活塞、活塞销、连杆、汽缸,高速柴油机箱体孔,千斤顶或压力油缸活塞,液压传动系统的分配机构,机车传动轴,水泵及一般减速器轴颈				

续表

公差等级	直线度和平面度	圆度和圆柱度	面对面平行度	线对面、线对线平行度	垂直度	同轴度、对称度、圆跳动、全跳动
8	车床溜板箱体, 机床主轴和传动箱体, 自动车床底座, 汽缸盖结合面, 汽缸座, 内燃机连杆分离面, 减速机壳体结合面	低速发动机、减速器、大功率曲柄轴轴颈, 压气机连杆, 拖拉机汽缸体、活塞, 炼胶机冷铸轴辊, 印刷机传墨辊, 内燃机曲轴, 柴油机机体孔, 凸轮轴, 拖拉机、小型船用柴油机汽缸套	一般机床零件的工作面和基准面, 一般刀具、量具、夹具	机床一般轴承孔对基准面要求, 床头箱一般孔间要求, 主轴花键对定心直径要求, 刀具、量具、模具	普通精度机床主要基准面和工作面, 回转工作台端面, 一般导轨, 主轴箱体孔、刀架、砂轮架及工作台回转中心, 一般轴肩对其轴线	用于一般精度要求, 通常按尺寸公差 IT9 ~ IT11 制造的零件。8 级用于拖拉机发动机分配轴轴颈, 9 级用于齿轮轴的配合面, 水泵叶轮, 离心泵泵体, 棉花精梳机前、后滚子, 10 级用于摩托车活塞, 印染机导布辊, 内燃机活塞环槽底径对活塞中心, 汽缸套外圈对内孔等
9	机床溜板箱, 主钻工作台, 螺纹磨床的挂轮架, 柴油机汽缸体连杆的分离面, 缸盖的结合面, 阀片, 锻压机汽缸体, 柴油机缸孔环面以及辅助机构及手动机械的支承面	空压机缸体, 通用机械杠杆与拉杆用套筒销子, 拖拉机活塞环、套筒孔	低精度零件, 重型机械滚动轴承端盖	柴油机和煤气发动机的曲轴孔、轴颈等	花键轴轴肩端面, 带式输送机法兰盘等对端面、轴线, 手动卷扬机及传动装置中轴承端面, 减速器壳体平面等	
10	自动车床床身底面, 车床挂轮架, 柴油机汽缸体, 汽车变速箱的壳体与汽车发动机缸盖结合面, 阀片以及液压管件和法兰的连接面等	印染机导布辊、绞车、吊车、起重机滑动轴承轴颈等				
11, 12	用于易变形的薄片零件, 如离合器的摩擦片, 支架等要求不高的结合面等		零件的非工作面, 卷扬机、输送机用以装减速器壳体的平面		农业机械齿轮端面等	用于无特殊要求, 一般按尺寸公差 IT12 制造的零件

注: 1. 在满足零件的功能要求前提下, 考虑到加工的经济性, 对于线对线和线对线的平行度和垂直度公差等级, 应选用低于面对面的平行度和垂直度公差等级。

2. 使用本表选择面对面平行度和垂直度时, 宽度应不大于 1/2 长度, 若大于 1/2, 则降低一级公差等级选用。



表 2-3-11

几种主要加工方法达到的直线度和平面度公差等级

加工方法		公差等级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
车	普车 立车 自动	粗										●	●
		细								●	●		
		精					●	●	●	●			
铣	万能铣	粗										●	●
		细									●	●	
		精						●	●	●	●		
刨	龙门刨 牛头刨	粗										●	●
		细								●	●		
		精							●	●	●		
磨	无心磨 外圆磨 平磨	粗								●	●	●	
		细							●	●	●		
		精		●	●	●	●	●	●				
研磨	机动 手工研磨	粗				●	●						
		细			●								
		精	●	●									
刮研	刮研 手工	粗						●	●				
		细				●	●						
		精	●	●	●								

表 2-3-12

几种主要加工方法达到的圆度、圆柱度公差等级

表面	加工方法		公差等级											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
轴	精密车削				●	●	●							
	普通车削						●	●	●	●	●	●		
	普通立车	粗						●	●	●	●	●		
		细					●	●	●					
	自动、半自动车	粗								●	●			
		细							●	●				
		精						●	●					
	外圆磨	粗					●	●	●					
		细			●	●	●							
		精	●	●	●									
	无心磨	粗						●	●					
		细		●	●	●	●							
	研磨			●	●	●	●							
精磨		●	●											

续表

表面	加工方法		公差等级											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
孔	钻								●	●	●	●	●	●
	镗	普通镗	粗							●	●	●	●	
			细					●	●	●	●			
		精				●	●							
	金刚石镗	细			●	●								
		精	●	●	●									
	铰孔						●	●	●					
	扩孔						●	●	●					
	内圆磨	细				●	●							
		精			●	●								
	研磨	细				●	●	●						
		精	●	●	●	●								
珩磨						●	●	●						

表 2-3-13 几种主要加工方法达到的平行度、垂直度公差等级

加工方法		公差等级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
面 对 面													
研 磨		●	●	●	●								
刮		●	●	●	●	●	●						
磨	粗					●	●	●	●				
	细				●	●	●						
	精		●	●	●								
铣						●	●	●	●	●	●		
刨							●	●	●	●	●		
拉							●	●	●				
插							●	●					
轴 线 对 轴 线 (或平面)													
磨	粗						●	●					
	细				●	●	●	●					
镗	粗							●	●	●			
	细							●	●				
	精						●	●					
金刚石镗				●	●	●							
车	粗									●	●		
	细							●	●	●	●		
铣						●	●	●	●	●			
钻										●	●	●	●



表 2-3-14

几种主要加工方法达到的同轴度、圆跳动公差等级

加工方法		公差等级										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
车、镗	孔				●	●	●	●	●	●		
	轴			●	●	●	●	●	●			
铰						●	●	●				
磨	孔		●	●	●	●	●	●				
	轴	●	●	●	●	●	●					
珩磨			●	●	●							
研磨		●	●	●								

## (2) 综合考虑形状、位置和尺寸三种公差的相互关系

## ① 合理考虑各项几何公差之间的关系。

在同一要素上给出的形状公差值应小于位置公差值。例如，两个平行的表面，其平面度公差值应小于平行度公差值。

圆柱形零件的形状公差（轴线的直线度除外）一般情况下应小于其尺寸公差值。

平行度公差值应小于其相应的距离公差值。

## ② 根据零件的功能要求选用合适的公差原则。可参考表 2-3-15、表 2-3-16。

对于尺寸公差与形位公差需要分别满足要求，两者不发生联系的要素，采用独立原则。

对于尺寸公差与形位公差发生联系，用理想边界综合控制的要素，采用相关要求。并根据所需用的理想边界的不同，采用包容要求或最大实体要求。

当被测要素用最大实体边界（即最大实体状态下的理想边界）控制时，采用包容要求。

当被测要素用实效边界（实效状态下的综合极限边界）控制时，采用最大实体要求。

独立原则有较好的装配使用质量，工艺性较差；最大实体要求有良好的工艺经济性，但使零件精度、装配质量有所降低。因此要结合零件的使用性能和要求，以及制造工艺、装配、检验的可能性与经济性等进行具体分析和选用。

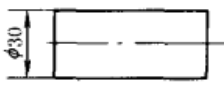
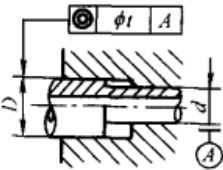
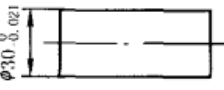
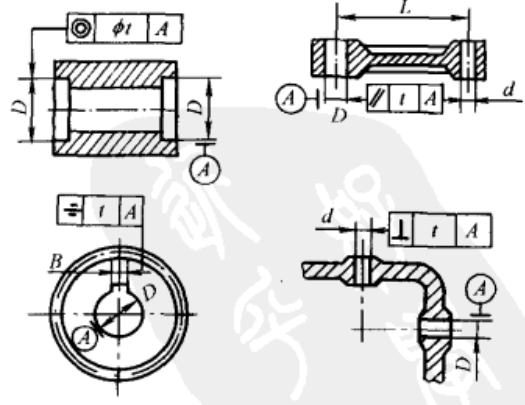
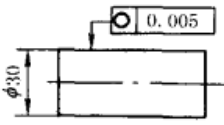
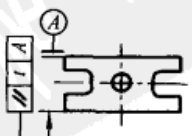
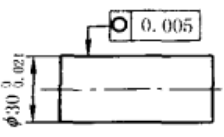
表 2-3-15

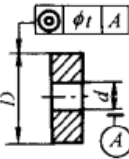
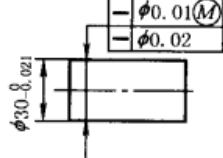
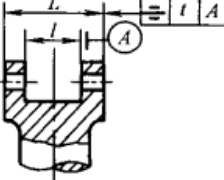
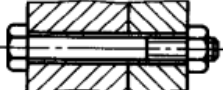
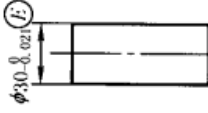
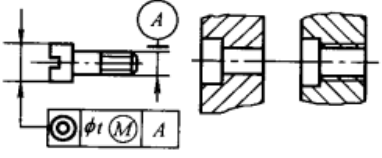
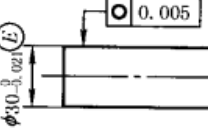
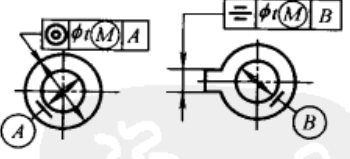
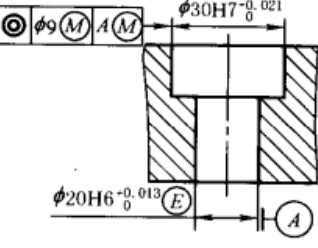
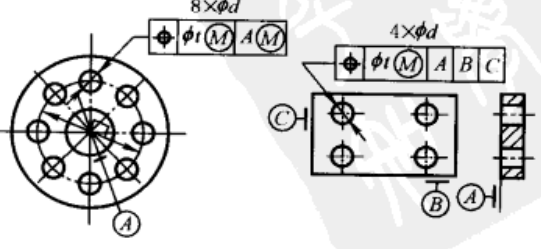
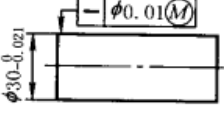
公差原则的主要应用范围

公差原则	主要应用范围
独立原则	<p>主要满足功能要求，应用很广，如有密封性、运动平稳性、运动精度、磨损寿命、接触强度、外形轮廓大小要求等场合，有时甚至用于有配合性质要求的场合。常用的有：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 没有配合要求的要素尺寸如零件外形尺寸、管道尺寸，以及工艺结构尺寸如退刀槽尺寸、肩距、螺纹收尾、倒圆、倒角尺寸等，还有未注尺寸公差的要素尺寸</li> <li>2. 有单项特殊功能的要素。其单项功能由形位公差保证，不需要或不可能由尺寸公差控制，如印染机的滚筒，为保证印染时接触均匀，印染图案清晰，滚筒表面必须圆整，而滚筒尺寸大小，影响不大，可由调整机构补偿，因此采用独立原则，分别给定极限尺寸和较严的圆柱度公差即可，如用尺寸公差来控制圆柱度误差是不经济的</li> <li>3. 非全长配合的要素尺寸。有些要素尽管有配合要求，但与其相配的要素仅在局部长度上配合，故可不必将全长控制在最大实体边界之内</li> <li>4. 对配合性质要求不严的尺寸。有些零件装配时，对配合性质要求不严，尽管由于形状或位置误差的存在，配合性质将有所改变，但仍能满足使用功能要求</li> </ol>
包容要求	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 单一要素。主要满足配合性能，如与滚动轴承相配的轴颈等，或必须遵守最大实体状态边界，如轴、孔的作用尺寸不允许超过最大实体尺寸，要素的任意局部实际尺寸不允许超过最小实体尺寸</li> <li>2. 关联要素。主要用于满足装配互换性。零件处于最大实体状态时，形位公差为零。零值公差主要应用于： <ol style="list-style-type: none"> <li>① 保证可装配性，有一定配合间隙的关联要素的零件</li> <li>② 形位公差要求较严，尺寸公差相对地要求差些的关联要素的零件</li> <li>③ 轴线或对称中心面有形位公差要求的零件，即零件的配合要素必须是包容件和被包容件</li> <li>④ 扩大尺寸公差，即由形位公差补偿给尺寸公差，以解决实际上应该合格，而经检测被判定为不合格的零件的验收问题</li> </ol> </li> </ol>

公差原则	主要应用范围
最大实体要求	主要应用于保证装配互换性,如控制螺钉孔、螺栓孔等中心距的位置度公差等 1. 保证可装配性,包括大多数无严格要求的静止配合部位,使用后不致破坏配合性能 2. 用于配合要素有装配关系的类似包容件或被包容件,如孔、槽等面和轴、凸台等面 3. 公差带方向一致的公差项目 形状公差只有直线度公差 位置公差有: ① 定向公差(垂直度、平行度、倾斜度等)的线/线、线/面、面/线,即线 $\text{M}$ /线 $\text{M}$ 、线 $\text{M}$ /面、面/线 $\text{M}$ ② 定位公差(同轴度、对称度、位置度等)的轴线或对称中心平面和中心线 ③ 跳动公差的基准轴线(测量不便) ④ 尺寸公差不能控制形位公差的情况,如销轴轴线直线度
最小实体要求	主要应用于控制最小壁厚,以保证零件具有允许的刚度和强度。提高对中度 必须用于中心要素。被测要素和基准要素均可采用最小实体要求。常见于位置度、同轴度等位置公差 $\text{E}$ ,可扩大零件合格率
可逆要求	应用于最大实体要求,但允许其实际尺寸超出最大实体尺寸。必须用于中心要素。形状公差只有直线度公差。位置公差有平行度、垂直度、倾斜度、同轴度、对称度、位置度 应用于最小实体要求,但允许实际尺寸超出最小实体尺寸。必须用于中心要素。只有同轴度和位置度等位置公差

表 2-3-16 形位公差与尺寸公差的关系及公差原则应用示例

公差原则	应用示例	公差原则	应用示例
独立原则	销轴,未注尺寸公差和形位公差 	独立原则	影响装配和工作时的过盈或间隙的均匀性,因而影响密封、压合紧度的部位 
	极限尺寸不控制轴线直线度误差和由棱圆形成的圆度误差 实际要素的局部实际尺寸由给定的极限尺寸控制,形状误差由未注形状公差控制,两者分别满足要求 		影响零件运动精度的部位 
	未注尺寸公差,注有形状公差。最大极限尺寸与最小极限尺寸之间任何实际尺寸的圆度公差都是 0.005 		影响摩擦寿命的部位,如滑块两工作表面的平行度 
	极限尺寸不控制轴线直线度误差和由棱圆形成的圆度误差 实际要素的局部实际尺寸由给定的极限尺寸控制,形状误差由圆度公差控制,两者分别满足要求 		

公差原则	应用示例	公差原则	应用示例
独立原则	<p>影响旋转平衡、强度、重量、外观等部位,如高速飞轮安装内孔A和外表面的同轴度</p> 	最大实体要求(单一要素)	<p>极限尺寸不控制形状误差,仅控制局部实际尺寸,形状误差由极限尺寸与给定的形状公差形成的实效边界(<math>\phi 30.01</math>)控制。形状误差除受实际边界的限制,并能得到极限尺寸的补偿外,还必须满足对轴线直线度公差的进一步要求。即:轴线直线度误差允许得到补偿,超过给定值<math>\phi 0.01</math>,但最大不得超过<math>\phi 0.02</math></p> 
	<p>所有量规、夹具、定位元件、引导元件的工作表面之间的相互位置公差等</p> 		<p>螺栓杆部(或通孔)及类似部位的直线度</p> 
包容要求	<p>由最大极限尺寸形成的最大实体边界(<math>\phi 30</math>)控制了轴的尺寸大小和形状误差 形状误差受极限尺寸控制,最大可达尺寸公差(0.021),不必考虑未注形状公差的控制</p> 	最大实体要求(关联要素)	<p>螺钉杆部和头部间(螺钉通孔及沉头孔间)及类似部位的同轴度</p> 
	<p>由最大极限尺寸形成的最大实体边界(<math>\phi 30</math>)控制了轴的尺寸大小和形状误差 形状误差除受极限尺寸控制外,还必须满足圆度公差的进一步要求</p> 		<p>不影响安装使用的连接件的位置公差,如衬套和垫圈零件内、外圈间的同轴度以及带舌锁紧垫圈的对称度</p> 
用于关联要素,采用零值公差		<p>圆周分布的与直角坐标分布的连接安装孔</p> 	
最大实体要求(单一要素)	<p>极限尺寸不控制形状误差,仅控制局部实际尺寸;形状误差由极限尺寸与给定的形状公差形成的实效边界(<math>\phi 30_{-0.01}</math>)控制 实际轴的形状误差在实效边界内可以得到极限尺寸的补偿,此时,不必考虑未注形状公差</p> 		

公差  
原则

应用 示例

1. 轴线位置度公差采用最小实体要求

图 a 表示孔  $\phi 8^{+0.25}_0$  的轴线对 A 基准的位置度公差采用最小实体要求。当被测要素处于最小实体状态时,其轴线对 A 基准的位置度公差为  $\phi 0.4$ ,如图 b 所示。图 c 给出了表达上述关系的动态公差图

该孔应满足下列要求:

- (1) 实际尺寸在  $\phi 8 \sim \phi 8.25$  之间
- (2) 实际轮廓不超出关联最小实体实效边界,即其关联体内作用尺寸不大于最小实体实效尺寸  $D_{LV} = D_L + t = \phi 8.25 + \phi 0.4 = \phi 8.65$

当该孔处于最大实体要求时,其轴线对 A 基准的位置误差允许达到最大值,即等于图样给出的位置度公差 ( $\phi 0.4$ ) 与孔的尺寸公差 ( $0.25$ ) 之和  $\phi 0.65$

2. 轴线位置度公差采用最小实体要求的零形位公差

图 d 表示孔  $\phi 8^{+0.65}_0$  的轴线对 A 基准的位置度公差采用最小实体要求的零形位公差

该孔应满足下列要求:

- (1) 实际尺寸不小于  $\phi 8$
- (2) 实际轮廓不超出最小实体边界,即其关联体内作用尺寸不大于最小实体尺寸  $D_L = \phi 8.65$

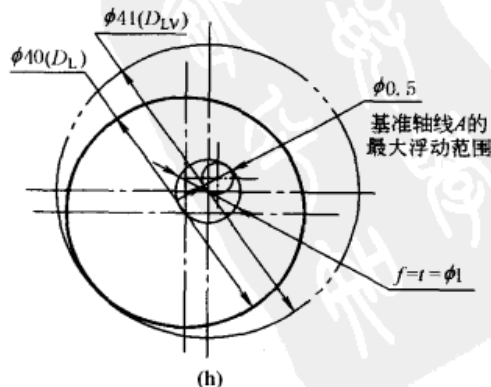
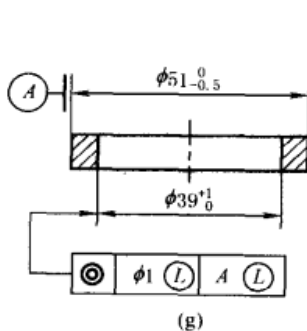
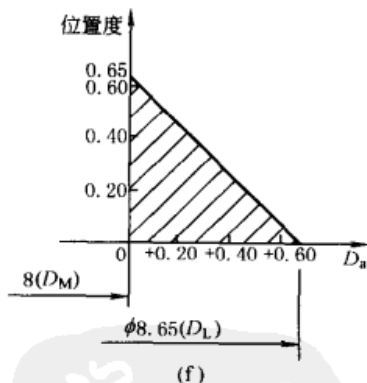
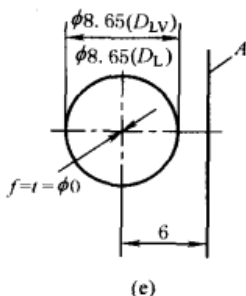
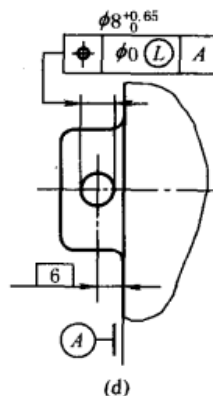
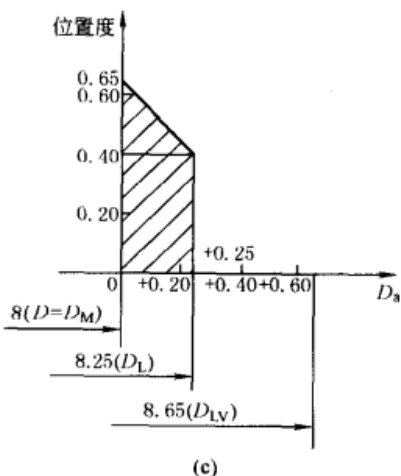
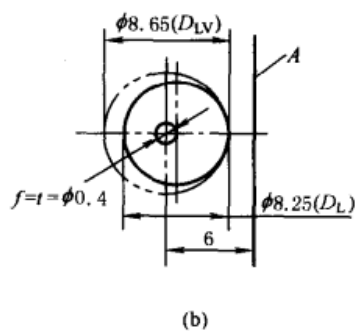
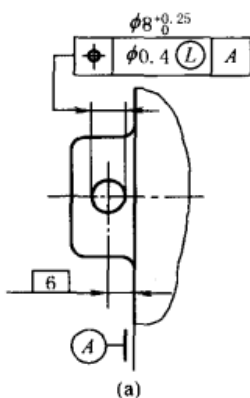
当该孔处于最小实体状态时,其轴线对 A 基准的位置度误差应为零,如图 e 所示。当该孔处于最大实体状态时,其轴线对 A 基准的位置度误差允许达到最大值,即孔的尺寸公差  $\phi 0.65$ 。图 f 给出了表达上述关系的动态公差图

3. 同轴度公差采用最小实体要求

图 g 中最小实体要求应用于孔  $\phi 39^{+1}_0$  轴线对 A 基准的同轴度公差并同时应用于基准要素。当被测要素处于最小实体状态时,其轴线对 A 基准的同轴度公差为  $\phi 1$ ,如图 h 所示

该孔应满足下列要求:

- (1) 实际尺寸在  $\phi 39 \sim \phi 40$  之间
- (2) 实际轮廓不超出关联最小实体实效边界,即其关联体内作用尺寸不大于关联最小实体实效



最  
小  
实  
体  
要  
求

公差原则

应用示例

尺寸  $D_{LV} = D_L + t = \phi 40 + \phi 1 = \phi 41$

当该孔处于最大实体状态时,基轴线对 A 基准的同轴度误差允许达到最大值,即等于图样给出的同轴度公差( $\phi 1$ )与孔的尺寸公差(1mm)之和  $\phi 2$ ,如图 i 所示

当基准要素的实际轮廓偏离其最小实体边界,即其体内作用尺寸偏离最小实体尺寸时,允许基准要素在一定范围内浮动。其最大浮动范围是直径等于基准要素的尺寸公差 0.5mm 的圆柱形区域,如图 h(被测要素处于最小实体状态)和图 i(被测要素处于最大实体状态)所示

4. 同轴度公差采用最小实体要求的零形位公差

图 j 表示最小实体要求的零形位公差应用于孔  $\phi 39^{+0.2}_0$  的轴线对 A 基准的同轴度公差,并同时应用于基准要素

该孔应满足下列要求:

(1) 实际尺寸不小于  $\phi 39$

(2) 实际轮廓不超出关联最小实体边界,即其关联体内作用尺寸不大于最小实体尺寸  $D_L = 41$

当该孔处于最小实体状态时,其轴线对 A 基准的同轴度误差应为零,如图 k 所示

当该孔处于最大实体状态时,其轴线对 A 基准的同轴度误差允许达到最大值,即图样给出的被测要素的尺寸公差值  $\phi 2$ ,如图 l 所示

5. 成组要素的位置度公差采用最小实体要求

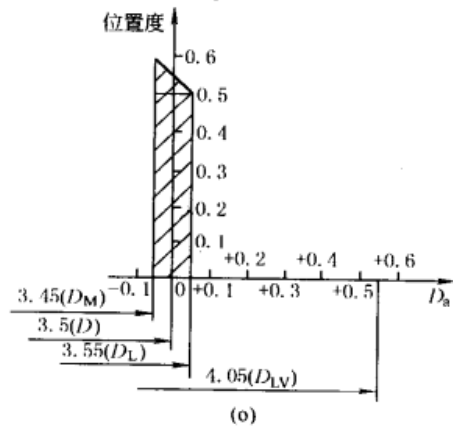
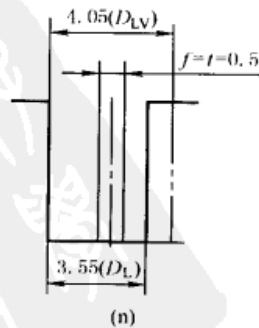
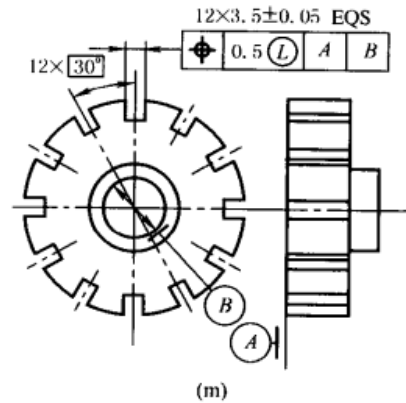
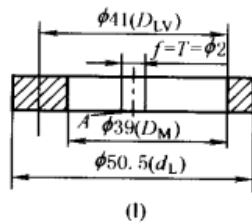
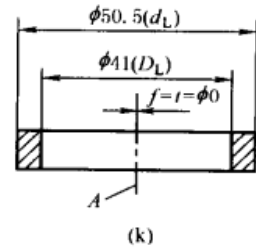
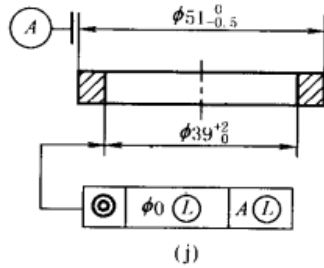
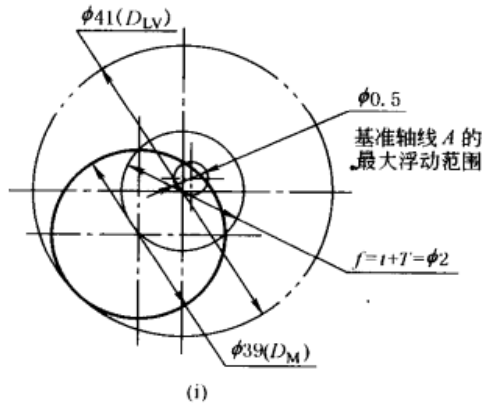
图 m 表示 12 个槽  $3.5\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$  的中心平面对 A、B 基准的位置度公差采用最小实体要求。当各槽均处于最小实体状态时,其中心平面对 A、B 基准的位置度公差为 0.5,如图 n 所示。图 o 给出了表达上述关系的动态公差图

各槽应满足下列要求:

(1) 实际尺寸在 3.45 ~ 3.55 之间

(2) 实际轮廓不超出关联最小实体实效边界,即其关联体内作用尺寸不大于关联最小实体实效尺寸  $D_{LV} = D_L + t = 3.55 + 0.5 = 4.05$

当各槽均处于最大实体状态时,其中心平面对 A、B 基准的位置度误差允许达到最大值,即等于图样给出的位置度公差(0.5)与槽的尺寸公差(0.1)之和 0.6



最小实体要求

公差  
原则

## 应用示例

## 1. 可逆要求用于最大实体要求

图 a 中的被测要素(轴)不得超出其最大实体实效边界,即其关联体外作用尺寸不超出最大实体实效尺寸  $\phi 20.2$ 。所有局部实际尺寸应在  $\phi 19.9 \sim \phi 20.2$  之间,轴线的垂直度公差可根据其局部实际尺寸在  $0 \sim 0.3$  之间变化。例如,如果所有局部实际尺寸都是  $\phi 20(d_M)$ ,则轴线的垂直度误差可为  $\phi 0.2$  (图 b);如果所有局部实际尺寸都是  $\phi 19.9(d_L)$ ,则轴线的垂直度误差可为  $\phi 0.3$  (图 c);如果轴线的垂直度误差为零,则局部实际尺寸可为  $\phi 20.2(d_{MV})$  (图 d)。图 e 给出了表达上述关系的动态公差图

## 2. 可逆要求用于最小实体要求

图 f 中的被测要素(孔)不得超出其最小实体实效边界,即其关联体内作用尺寸不超出最小实体实效尺寸  $\phi 8.65 (= \phi 8 + 0.25 + \phi 0.4)$ 。所有局部实际尺寸应在  $\phi 8 \sim \phi 8.65$  之间,其轴线的位置度误差可根据其局部实际尺寸在  $0 \sim 0.65$  之间变化。例如,如果所有局部实际尺寸均为  $\phi 8.25(D_L)$ ,则其轴线的位置度误差可为  $\phi 0.4$  (图 g);如果所有局部实际尺寸均为  $\phi 8(D_M)$ ,则轴线的位置度误差可为  $\phi 0.65$  (图 h);如果轴线的位置度误差为零,则局部实际尺寸可为  $\phi 8.65(D_{LV})$  (图 i)。图 j 给出了表达上述关系的动态公差图

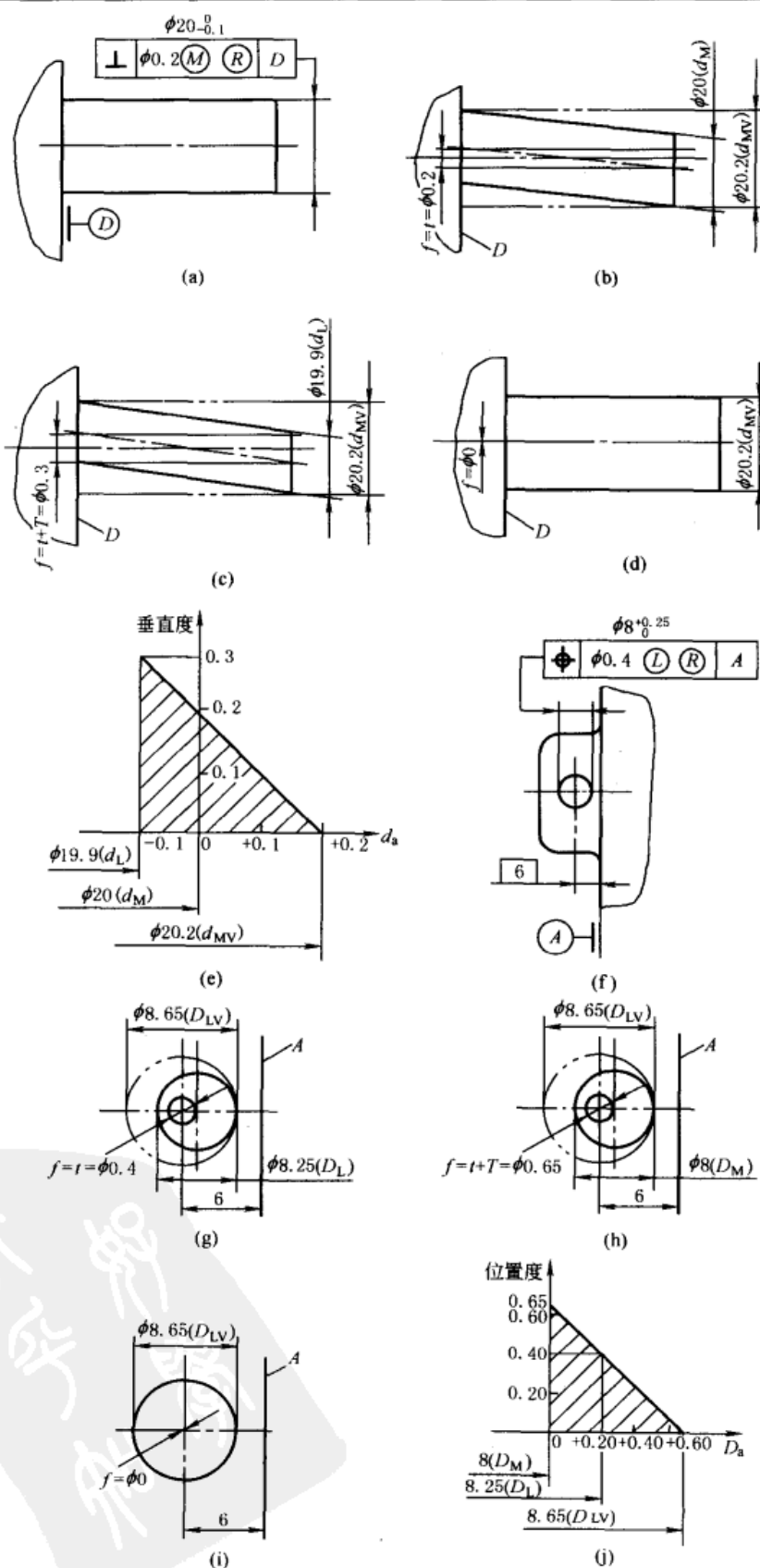
可  
逆  
要  
求



表 2-3-17

独立原则与相关要求综合归纳

公差原则	符号	应用要素	应用项目	功能要求	控制边界	允许的形位误差变化范围	允许的实际尺寸变化范围	检测方法	
								形位误差	实际尺寸
独立原则	无	轮廓要素及中心要素	各种形位公差项目	各种功能要求但互相不能关联	无边界, 形位误差和实际尺寸各自满足要求	按图样中注出或未注形位公差的要求	按图样中注出或未注尺寸公差的要求	通用量仪	两点法测量
相关要求	包容要求	② 单一尺寸要素(圆、圆柱面、两平行平面)	形状公差(线、面轮廓度除外)	配合要求	最大实体边界	各项形状误差不能超出其控制边界	最大实体尺寸不能超出其控制边界, 而局部实际尺寸不能超出其最小实体尺寸	通端极限量规及专用量仪	通端极限量规测量最大实体尺寸, 两点法测量最小实体尺寸
	最大实体要求	④ 中心要素(轴线及中心平面)	直线度、倾斜度、平行度、垂直度、同轴度、对称度、位置度	满足装配要求但无严格的配合要求时采用, 如螺栓孔轴线的位置度、两轴线的平行度等	最大实体实效边界	当局部实际尺寸偏离其最大实体尺寸时, 形位公差可获得补偿值(增大)	其局部实际尺寸不能超出尺寸公差的允许范围	综合量规(功能量规及专用量仪)	两点法测量
	最小实体要求	⑤ 中心要素(轴线及中心平面)	直线度、垂直度、同轴度、位置度等	满足临界设计值的要求, 以控制最小壁厚, 提高对中度, 满足最小强度的要求	最小实体实效边界	当局部实际尺寸偏离其最小实体尺寸时, 形位公差可获得补偿值(增大)	其局部尺寸不能超出尺寸公差的范围	通用量仪	两点法测量
	可逆要求	⑥⑦ ⑧⑨ 中心要素(轴线及中心平面)	适用于⑥的各项目 适用于⑧的各项目	对最大实体尺寸没有严格要求的场合 对最小实体尺寸没有严格要求的场合	最大实体实效边界 最小实体实效边界	当与⑥同时使用时, 形位误差变化同⑥ 当与⑧同时使用时, 形位误差变化同⑧	当形位误差小于给出的形位公差时, 可补偿给尺寸公差, 使尺寸公差增大, 其局部实际尺寸可超出给定范围	综合量规或专用量仪控制其最大实体边界 三坐标量仪控制其最小实体边界	仅用两点法测量最小实体尺寸 仅用两点法测量最大实体尺寸

表 2-3-18

圆度和圆柱度公差等级与尺寸公差等级的对应关系

尺寸公差等级 (IT)	圆度、圆柱度公差等级	公差带占尺寸公差的百分比	尺寸公差等级 (IT)	圆度、圆柱度公差等级	公差带占尺寸公差的百分比	尺寸公差等级 (IT)	圆度、圆柱度公差等级	公差带占尺寸公差的百分比
01	0	66	5	4	40	9	10	80
0	0	40		5	60		10	7
	1	80	6	95	8	20		
1	0	25	6	3	16	10	9	30
	1	50		4	26		10	50
	2	75		5	40		11	70
2	0	16	7	6	66	11	8	13
	1	33		7	95		9	20
	2	50		4	16		10	33
	3	85		5	24		11	46
3	0	10	8	6	40	12	12	83
	1	20		7	60		9	12
	2	30		8	80		10	20
	3	50		5	17		11	28
	4	80		6	28		12	50
4	1	13	9	7	43	13	10	14
	2	20		8	57		11	20
	3	33		9	85		12	35
	4	53		6	16		11	11
	5	80		7	24		12	20
5	2	15	9	8	32	15	12	12
	3	25		9	48			

与表面粗糙度对应关系

主参数	圆度和圆柱度公差等级(7、8、9为常用等级,7级为基本级)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尺寸/mm	$R_a/\mu\text{m}$ (不大于)												
$\leq 3$	0.00625	0.0125	0.0125	0.025	0.05	0.1	0.2	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	3.2
$> 3 \sim 18$	0.00625	0.0125	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5
$> 18 \sim 120$	0.0125	0.025	0.05	0.1	0.2	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	12.5
$> 120 \sim 500$	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	12.5	12.5

表 2-3-19 平行度、垂直度和倾斜度公差等级与尺寸公差等级的对应关系

平行度(线对线、面对面)公差等级	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尺寸公差等级(IT)				3,4	5,6	7,8,9	10,11,12	12,13,14	14,15,16	
垂直度和倾斜度公差等级	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尺寸公差等级(IT)		5	6	7,8	8,9	10	11,12	12,13	14	15

注: 6、7、8、9级为常用的形位公差等级, 6级为基本级。

表 2-3-20 同轴度、对称度、圆跳动和全跳动公差等级与尺寸公差等级的对应关系

同轴度、对称度、径向圆跳动、径向全跳动公差等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尺寸公差等级(IT)	2	3	4	5	6	7,8	8,9	10	11,12	12,13	14	15
端面圆跳动、斜向圆跳动、端面全跳动公差等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尺寸公差等级(IT)	1	2	3	4	5	6	7,8	8,9	10	11,12	12,13	14

注: 6、7、8、9级为常用的形位公差等级, 7级为基本级。

### (3) 单一表面的形位公差与表面粗糙度的要求

单一表面的形位公差与表面粗糙度的要求也要协调。中等尺寸可参考表 2-3-18。

### (4) 形位公差综合选用实例

图 2-3-1 所示为摇臂钻床主轴套零件图。试根据零件的功能和装配要求, 确定形位公差等级和公差数值, 并按规定标注在零件图上。

#### ① 两端 $\phi 68J6$ 孔的形位公差选择。

两端  $\phi 68J6$  孔用于安装轴承, 支承主轴运转, 所以孔自身尺寸公差要求较高, 并应有形位公差要求。

a. 为保证  $\phi 68J6$  孔的轴线与  $\phi 80h5$  轴线同轴, 应给出同轴度公差要求。考虑到测量方便, 可以给出径向圆跳动公差要求, 圆跳动公差合格了, 同轴度也必定合格。

b. 为保证装入两端  $\phi 68J6$  孔的轴承不被损坏,  $\phi 68J6$  孔表面必须有一定的圆度和圆柱度, 所以给出圆柱度公差要求。

c. 形位公差项目确定后, 根据孔尺寸公差等级较高对相应的形位公差要求也高的原则, 根据加工方法选择形位公差。如采用普通镗床加工, 查表 2-3-14 加工方法所能达到的圆跳动公差等级, 选定径向圆跳动公差等级 5 级为宜, 查表 2-3-23 取其公差值为  $0.01\text{mm}$ 。查表 2-3-12 加工方法所能达到的圆柱度公差等级, 选定圆柱度公差等级 6 级, 查表 2-3-22 取其公差值为  $0.005\text{mm}$ 。

#### ② $\phi 80h5$ 轴表面的形位公差选择。

为保证  $\phi 80h5$  外圆柱面与套筒内圆柱面配合间隙均匀, 对  $\phi 80h5$  轴表面提出了圆柱度要求。

可采用形状公差等级与尺寸公差等级或与表面粗糙度等级的对应关系(表 2-3-18)来确定形位公差等级。但从  $\phi 80h5$  与  $\phi 68J6$  的配合关系来看,  $\phi 80h5$  为间隙配合, 而  $\phi 68J6$  为过渡配合, 所以对  $\phi 80h5$  的形状公差要求相对可以降低一些, 选定为 7 级圆柱度公差等级, 查表 2-3-22 取公差值为  $0.008\text{mm}$ 。

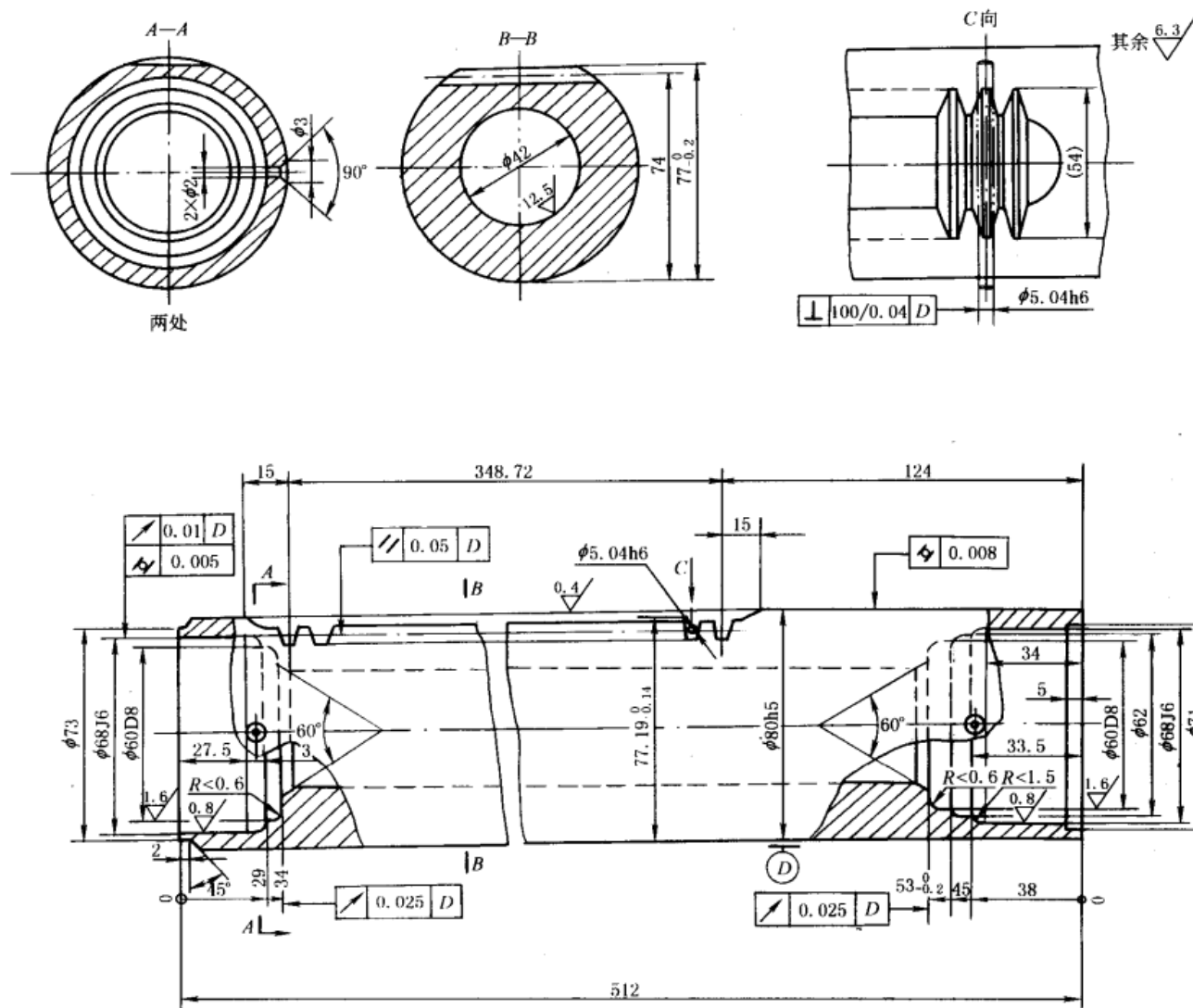


图 2-3-1 摇臂钻床主轴套

### ③ 两端 $\phi 60D8$ 孔的端面形位公差选择。

两孔是装推力轴承的, 为保证孔端面与推力轴承相接触, 应避免端面产生轴向跳动, 所以应有端面圆跳动的形位公差要求。

对端面圆跳动公差等级的选择, 可根据形位公差等级与尺寸公差等级的对应关系来确定, 查表 2-3-20 端面圆跳动一栏尺寸公差等级, 对应的较高的形位公差等级是 7 级, 查表 2-3-23 取公差值为  $0.025\text{mm}$ 。

### ④ 齿间对称中心面形位公差的选择。

为保证主轴作上下垂直滑动, 要求齿条必须垂直于  $\phi 80h5$  的轴线, 所以要由垂直度公差来保证。

对垂直度公差等级的选择, 可根据齿条的检验棒尺寸公差等级 6 级 (IT6), 齿间相当于孔相对轴, 可降低 1~2 级等级选择的原则, 齿间可选 8 级 (IT8) 尺寸公差等级, 查表 2-3-19, 8 级尺寸公差等级对应的垂直度公差等级为 6 级。按齿条长  $54\text{mm}$  的尺寸分段, 查表 2-3-24 取公差值为  $0.02\text{mm}$ 。在图纸上标注时, 应标在检验棒上, 若检验棒的长度为  $100\text{mm}$ , 公差值也应为 2 倍, 即  $0.04\text{mm}$ 。

### ⑤ 各齿条分度线形位公差的选择。

为保证主轴套作上下滑动时与套筒配合间隙均匀, 必须要求各齿条分度线构成的分度面与  $\phi 80h5$  的轴线平行, 所以要由给出的平行度公差来保证。

对平行度位置公差等级的选择, 因同一齿条均以  $\phi 80h5$  的轴线为基准, 所以, 平行度可选取与垂直度为同一形位公差等级 6 级, 查表 2-3-24, 取公差值为  $0.05\text{mm}$ 。

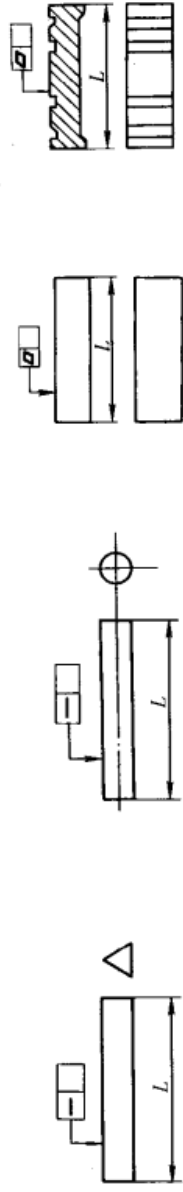
# 5 形状和位置公差的公差值或数系表及应用举例

直线度、平面度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996)

表 2-3-21

公差等级	主 参 数 L/mm															应 用 举 例	μm	
	≤10	>10 ~16	>16 ~25	>25 ~40	>40 ~63	>63 ~100	>100 ~160	>160 ~250	>250 ~400	>400 ~630	>630 ~1000	>1000 ~1600	>1600 ~2500	>2500 ~4000	>4000 ~6300			>6300 ~10000
1	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	用于精密量具、测量仪器以及精度要求极高的精密机械零件。如 0 级样板、平尺、0 级宽平尺、工具显微镜等精密测量仪器的导轨面, 喷油嘴针阀体端面, 油泵柱塞套端面等	
	$R_a$ 0.025																	
2	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	用于 0 级及 1 级宽平尺工作面, 1 级样板平尺的工作面, 测量仪器圆弧导轨, 测量仪器的测杆等	
	$R_a$ 0.05																	
3	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	用于量具、测量仪器和高精度机床导轨, 如 1 级宽平尺, 0 级平板, 测量仪器的 V 形导轨, 高精度平面磨床的 V 形导轨和滚动导轨, 轴承磨床及平面磨床床身等	
	$R_a$ 0.1																	
4	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	用于 1 级平板, 2 级宽平尺, 平面磨床的纵导轨, 垂直导轨, 立柱导轨和平面磨床的工作台, 液压龙门刨床导轨, 六角车床床身导轨, 柴油机进、排气门导杆等	
	$R_a$ 0.2																	
5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	用于普通车床床身导轨, 龙门刨床导轨, 滚齿机立柱导轨, 床身导轨及工作台, 自动车床床身导轨, 平面磨床垂直导轨, 卧式镗床、铣床工作台以及机床主轴箱导轨, 柴油机进、排气门导杆, 柴油机油机体上部结合面等	
	$R_a$ 0.4																	
6	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100		3.2
	$R_a$ 0.8																	
$R_a$ 1.6																		

7	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	用于2级平板, 0.02mm游标卡尺尺身, 机床床身箱体, 滚齿机床身导轨, 镗床工作台, 摇臂钻底座工作台, 柴油机气门导杆, 液压泵盖, 压力机导轨及滑块
	1.6																
8	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	用于2级平板, 车床溜板箱体, 机床主轴箱体, 机床传动箱体, 自动车床底座, 汽缸盖结合面, 汽缸座, 内燃机连杆分离面, 减速器壳体的结合面
	3.2																
9	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	用于3级平板, 机床溜板箱, 立钻工作台, 螺旋磨床的挂轮架, 金相显微镜的载物台, 柴油机汽缸体, 连杆的分离面, 缸盖的结合面, 阀片, 空气压缩机的缸体, 柴油机缸孔环面以及液压管件的法兰的连接面等
	12.5																
10	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	用于3级平板、自动车床床身底面, 车床挂轮架, 柴油机汽缸体, 摩托车的曲轴箱体, 汽车变速箱的壳体, 汽车发动机缸盖结合面, 阀片以及辅助机构及手动机械的支承面
	12.5																
11	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	用于易变形的薄片、薄壳零件, 如离合器的摩擦片, 汽车发动机缸盖的结合面, 手动机械支架、机床法兰等
	12.5																
12	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	
	12.5																



主参数 L 图例

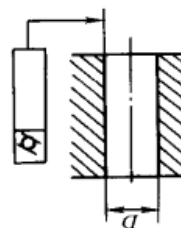
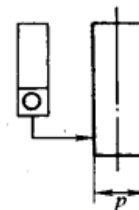
注: 表中所示的表面粗糙度值和应用举例, 仅供参考。

圆度、圆柱度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996)

表 2-3-22

公差等级	主 参 数 $d(D)/\text{mm}$												应用举例(参考)	$\mu\text{m}$								
	$\leq 3$	$>3$ ~6	$>6$ ~10	$>10$ ~18	$>18$ ~30	$>30$ ~50	$>50$ ~80	$>80$ ~120	$>120$ ~180	$>180$ ~250	$>250$ ~315	$>315$ ~400			$>400$ ~500							
0	0.1	0.1	0.12	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.6	1	1.2	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	高精度量仪主轴, 高精度机床主轴, 滚动轴承滚珠和滚柱等	
1	0.2	0.2	0.25	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	1	1.2	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	精密量仪主轴, 外套、阀套, 高压油泵柱塞及套, 纺锭轴承, 高速柴油机进、排气门, 精密机床主轴轴颈, 针阀圆柱表面, 喷油泵柱塞及柱塞套		
2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	3	4	5	6	8	10	小工具显微镜套管外圆, 高精度外圆磨床主轴, 磨床砂轮主轴套筒, 喷油嘴针阀体, 高精度微型轴承内、外圈				
3	0.5	0.6	0.6	0.8	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	精密量仪主轴, 精密机床主轴箱孔, 高压阀门活塞、活塞销、阀体孔, 小工具显微镜顶针, 高压油泵柱塞, 较高精度滚动轴承的配合轴, 铣削动力头箱体孔等								
4	0.8	1	1	1.2	1.5	1.5	2	3	4	5	6	8	10	一般量仪主轴、测杆外圆, 陀螺仪轴颈, 一般机床主轴, 较精密机床主轴箱孔, 柴油机汽油机活塞、活塞销孔, 铣削动力头轴承座孔, 高压空气压缩机十字头销、活塞等								

6	2	2.5	2.5	3	4	4	4	5	6	8	10	12	13	15	仪表端盖外圆,一般机床主轴及箱孔,中等压力下液压装置工作面(包括泵、压缩机的活塞和汽缸),汽车发动机凸轮轴,纺机锭子,通用减速器轴颈,高速船用发动机曲轴,拖拉机曲轴,主轴颈,风动绞车曲轴
7	3	4	4	5	6	7	8	10	12	15	18	20	20	20	大功率低速柴油机曲轴、活塞、活塞销、连杆、汽缸,高速柴油机箱体孔,千斤顶或压力油缸活塞,液压传动系统的分配机构,机车传动轴,水泵及一般减速器轴颈
8	4	5	6	8	9	11	13	15	18	23	25	27	27	27	低速发动机、减速器、大功率曲柄柄轴轴颈,压气机连杆盖、体,拖拉机汽缸体、活塞,炼胶机冷轴轴颈,印刷机传墨辊,内燃机曲轴,柴油机机体孔,凸轮轴,拖拉机、小型船用柴油机汽缸套
9	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	40	空气压缩机缸体、通用机械拉杆与拉杆用套筒销子、拖拉机活塞环套筒孔,氧压机机座
10	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	63	
11	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	97	印染机导布辊,绞车、吊车、起重机滑动轴承轴颈等
12	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	155	

主参数  $d(D)$  图例

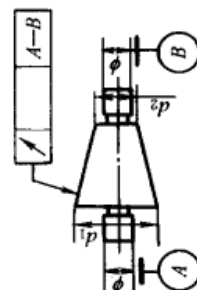
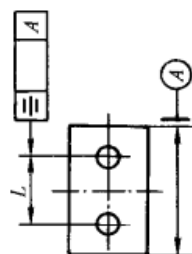
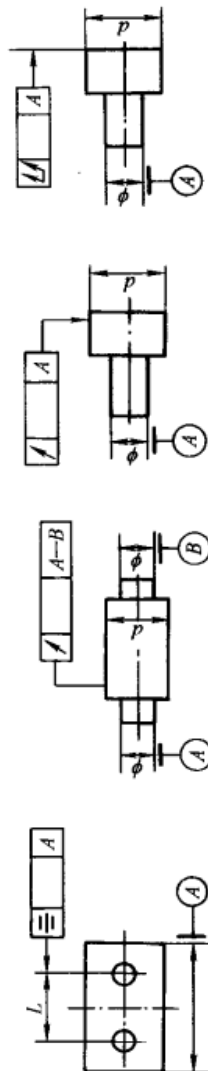
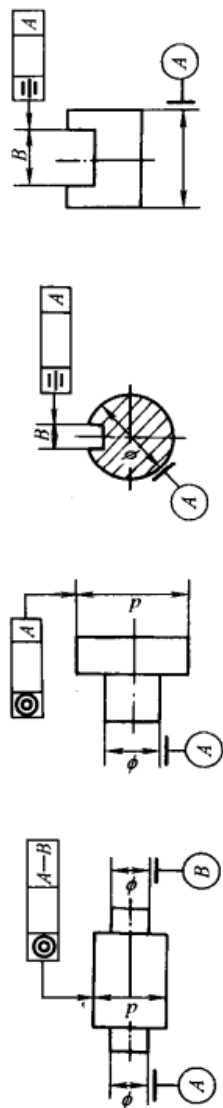


同轴度、对称度、圆跳动和全跳动公差值 (摘自 GB/T 1184—1996)

表 2-3-23

公差等级	主 参 数 $d(D)$ 、 $B$ 、 $L$ /mm															应用举例(参考)		
	$\leq 1$	$>1$ ~3	$>3$ ~6	$>6$ ~10	$>10$ ~18	$>18$ ~30	$>30$ ~50	$>50$ ~120	$>120$ ~250	$>250$ ~500	$>500$ ~800	$>800$ ~1250	$>1250$ ~2000	$>2000$ ~3150	$>3150$ ~5000		$>5000$ ~8000	$>8000$ ~10000
1	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	用于同轴度或旋转精度要求很高的零件,一般需按尺寸公差等级 IT6 或高于 IT6 制造的零件。1、2 级用于精密测量仪器的主轴和顶尖,柴油机喷嘴针阀等。
2	0.6	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	3、4 级用于机床主轴轴颈、砂轮轴轴颈,汽轮机主轴,测量仪器的小齿轮轴,高精度滚动轴承内、外圈等
3	1	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	
4	1.5	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	
5	2.5	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	应用范围较广的精度等级,用于精度要求比较高,一般按尺寸公差等级 IT7 或 IT8 制造的零件。5 级常用在机床轴颈,测量仪器的测量杆,汽轮机主轴,柱塞油泵转子,高精度滚动轴承外圈,一般精度滚动轴承内圈。6、7 级用在内燃机曲轴,凸轮轴轴颈,水泵轴,齿轮轴,汽车后桥输出轴,电机转子,0 级精度滚动轴承内圈,印刷机传墨辊等
6	4	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	
7	6	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	
8	10	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	用于一般精度要求,通常按尺寸公差等级 IT9 ~ IT11 制造的零件。8 级用于拖拉机发动机分配轴轴颈,9 级精度用于齿轮与轴的配合面,水泵叶轮,离心泵泵体,棉花精梳机前后滚子。10 级用于摩托车活塞,印染机导布辊,内燃机活环槽底直径对活塞中心,汽缸套外圆对内孔工作面等
9	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	
10	25	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	

11	40	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	用于无特殊要求,一般按尺寸公差等级 IT12 制造的零件
12	60	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	



当被测要素为圆锥面时,取

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

主参数  $d(D)$ 、 $B$ 、 $L$  图例

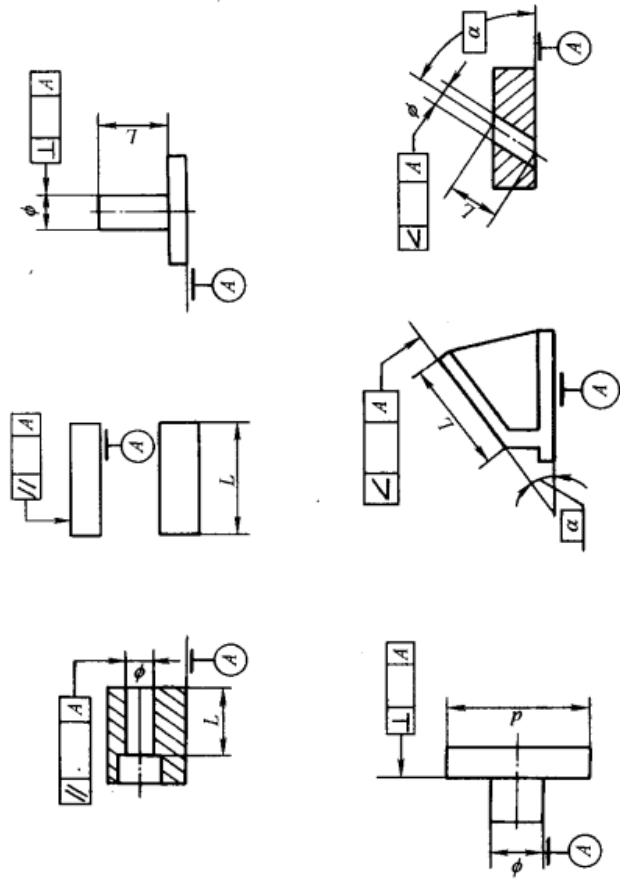


平行度、垂直度、倾斜度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996)

表 2-3-24

公差等级	主 参 数 $L, d(D)/mm$													应用举例(参考)				
	$\leq 10$	$>10$ ~16	$>16$ ~25	$>25$ ~40	$>40$ ~63	$>63$ ~100	$>100$ ~160	$>160$ ~250	$>250$ ~400	$>400$ ~630	$>630$ ~1000	$>1000$ ~1600	$>1600$ ~2500	$>2500$ ~4000	$>4000$ ~6300	$>6300$ ~10000	平行度	垂直度和倾斜度
1	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	高精度机床、测量仪器以及量具等主要基准面和工作面	精密机床导轨, 普通机床主要导轨, 机床主轴轴向定位面, 精密机床主轴轴肩端面, 滚动轴承座圈端面, 齿轮测量仪的心轴, 光学分度头心轴, 蜗轮轴端面, 精密刀具, 量具的工作面和基准面
2	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	精密机床、测量仪器、量具以及模具的基准面和工作面, 精密机床上重要箱体主轴孔对基准面的要求	精密机床导轨, 精密机床重要零件, 机床重要支承面, 普通机床主轴轴偏摆, 发动机轴和离合器凸缘, 汽缸的支承端面, 装 4、5 级轴承的箱体的凸肩, 测量仪器, 液压传动轴瓦端面, 蜗轮盘端面, 刀、量具工作面和基准面等
3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	普通机床、测量仪器、量具及模具的基准面和工作面, 高精度轴承座圈、端盖、挡圈的端面, 机床主轴孔对基准面的要求, 重要轴承孔对基准面的要求, 床头箱体重要孔同要要求, 一般减速器壳体孔, 齿轮泵的轴孔端面等	普通机床导轨, 精密机床重要零件, 机床重要支承面, 普通机床主轴轴偏摆, 发动机轴和离合器凸缘, 汽缸的支承端面, 装 4、5 级轴承的箱体的凸肩, 测量仪器, 液压传动轴瓦端面, 蜗轮盘端面, 刀、量具工作面和基准面等
4	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	一般机床零件的工作面或基准面, 压力机和锻锤的工作面, 中等精度钻模的工作面, 一般刀具、量具、模具, 机床一般轴承孔对基准面的要求, 汽缸床头箱一般孔同要求, 汽缸轴衬线, 变速器箱孔, 主轴花键对壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等	低精度机床主要基准面和工作面, 回转工作台端面, 一般导轨, 主轴箱体孔, 刀架、砂轮架及工作台回转中心, 机床轴肩, 汽缸配合面对其轴线, 活塞销孔对活塞中心线以及装 6、0 级轴承壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等
5	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	一般机床零件的工作面或基准面, 压力机和锻锤的工作面, 中等精度钻模的工作面, 一般刀具、量具、模具, 机床一般轴承孔对基准面的要求, 汽缸床头箱一般孔同要求, 汽缸轴衬线, 变速器箱孔, 主轴花键对壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等	低精度机床主要基准面和工作面, 回转工作台端面, 一般导轨, 主轴箱体孔, 刀架、砂轮架及工作台回转中心, 机床轴肩, 汽缸配合面对其轴线, 活塞销孔对活塞中心线以及装 6、0 级轴承壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等
6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	一般机床零件的工作面或基准面, 压力机和锻锤的工作面, 中等精度钻模的工作面, 一般刀具、量具、模具, 机床一般轴承孔对基准面的要求, 汽缸床头箱一般孔同要求, 汽缸轴衬线, 变速器箱孔, 主轴花键对壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等	低精度机床主要基准面和工作面, 回转工作台端面, 一般导轨, 主轴箱体孔, 刀架、砂轮架及工作台回转中心, 机床轴肩, 汽缸配合面对其轴线, 活塞销孔对活塞中心线以及装 6、0 级轴承壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等
7	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	300	400	400	一般机床零件的工作面或基准面, 压力机和锻锤的工作面, 中等精度钻模的工作面, 一般刀具、量具、模具, 机床一般轴承孔对基准面的要求, 汽缸床头箱一般孔同要求, 汽缸轴衬线, 变速器箱孔, 主轴花键对壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等	低精度机床主要基准面和工作面, 回转工作台端面, 一般导轨, 主轴箱体孔, 刀架、砂轮架及工作台回转中心, 机床轴肩, 汽缸配合面对其轴线, 活塞销孔对活塞中心线以及装 6、0 级轴承壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等
8	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	一般机床零件的工作面或基准面, 压力机和锻锤的工作面, 中等精度钻模的工作面, 一般刀具、量具、模具, 机床一般轴承孔对基准面的要求, 汽缸床头箱一般孔同要求, 汽缸轴衬线, 变速器箱孔, 主轴花键对壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等	低精度机床主要基准面和工作面, 回转工作台端面, 一般导轨, 主轴箱体孔, 刀架、砂轮架及工作台回转中心, 机床轴肩, 汽缸配合面对其轴线, 活塞销孔对活塞中心线以及装 6、0 级轴承壳体孔的轴线等, 压缩机油缸配壳面对汽缸镜面轴线的要求等

9	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1500	1000	低精度零件, 重型机械滚动轴承端盖, 柴油机和煤气发动机的曲轴孔、轴颈等	花键轴轴肩端面, 皮带输送机法兰盘等端面对轴心线, 手动车卷扬机及传动装置中轴承端面, 减速器壳体平面等
10	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	零件的非工作面, 卷扬机、运输机上用以装减速器壳体的平面	
11	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000		
12	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000				



主参数  $L, d(D)$  图例



表 2-3-25

位置度数系 (摘自 GB/T 1184—1996)

 $\mu\text{m}$ 

1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8
$1 \times 10^n$	$1.2 \times 10^n$	$1.5 \times 10^n$	$2 \times 10^n$	$2.5 \times 10^n$	$3 \times 10^n$	$4 \times 10^n$	$5 \times 10^n$	$6 \times 10^n$	$8 \times 10^n$

注:  $n$  为正整数。位置度应按本表规定的数系标注。

形位公差未注公差值 (摘自 GB/T 1184—1996)

① 直线度、平面度的未注公差值见表 2-3-26。选择公差值时, 对于直线度应按其相应线的长度选择; 对于平面度应按其表面的较长一侧或圆表面的直径选择。

表 2-3-26

直线度和平面度的未注公差值

mm

公差等级	基本长度范围					
	$\leq 10$	$> 10 \sim 30$	$> 30 \sim 100$	$> 100 \sim 300$	$> 300 \sim 1000$	$> 1000 \sim 3000$
H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
L	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6

② 圆度的未注公差值等于标准的直径公差值, 但不能大于表 2-3-29 中的径向圆跳动值。

③ 圆柱度的未注公差值不作规定。

a. 圆柱度误差由三个部分组成: 圆度、直线度和相对素线的平行度误差, 而其中每一项误差均由它们的注出公差或未注公差控制。

b. 如因功能要求, 圆柱度应小于圆度、直线度和平行度的未注公差的综合结果, 应在被测要素上按 GB/T 1182 的规定注出圆柱度公差值。

c. 采用包容要求。

④ 平行度的未注公差值等于给出的尺寸公差值, 或是直线度和平面度未注公差值中的相应公差值取较大者。应取两要素中的较长者作为基准, 若两要素的长度相等则可选任一要素为基准。

⑤ 垂直度的未注公差值见表 2-3-27。取形成直角的两边中较长的一边作为基准, 较短的一边作为被测要素; 若两边的长度相等则可取其中的任意一边作为基准。

表 2-3-27

垂直度未注公差值

mm

公差等级	基本长度范围			
	$\leq 100$	$> 100 \sim 300$	$> 300 \sim 1000$	$> 1000 \sim 3000$
H	0.2	0.3	0.4	0.5
K	0.4	0.6	0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

⑥ 对称度的未注公差值见表 2-3-28。应取两要素中较长者作为基准, 较短者作为被测要素; 若两要素长度相等则可选任一要素为基准。对称度的未注公差值用于至少两个要素中的一个为中心平面, 或两个要素的轴线相互垂直。

表 2-3-28

对称度未注公差值

mm

公差等级	基本长度范围			
	$\leq 100$	$> 100 \sim 300$	$> 300 \sim 1000$	$> 1000 \sim 3000$
H	0.5			
K	0.6		0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

⑦ 同轴度的未注公差值未作规定。在极限状况下，同轴度的未注公差值可以和表 2-3-29 中规定的径向圆跳动的未注公差值相等。应选两要素中的较长者为基准，若两要素长度相等则可选任一要素为基准。

⑧ 圆跳动（径向、端面和斜向）的未注公差值见表 2-3-29。对于圆跳动的未注公差值，应以设计或工艺给定的支承面作为基准，否则应取两要素中较长的一个作为基准；若两要素的长度相等则可选任一要素为基准。

表 2-3-29

圆跳动的未注公差值

mm

公差等级	圆跳动公差值
H	0.1
K	0.2
L	0.5

线轮廓度、面轮廓度、倾斜度、位置度和全跳动均应由各要素的注出或未注形位公差、线性尺寸公差或角度公差控制。

若采用本标准规定的未注公差值，应在标题栏附近或在技术要求、技术文件（如企业标准）中注出标准号及公差等级代号“GB/T 1184—x”。



# 第4章 表面结构

## 1 概述

### 1.1 表面结构的概念

表面结构是表面粗糙度、表面波纹度、表面缺陷、表面几何形状的总称。

表面结构的各种特性都是零件表面的几何形状误差，是在金属切削加工过程中，由于工艺等因素的不同，致使零件加工表面的几何形状误差有所不同。

表面粗糙度、表面波纹度、表面几何形状这三种特性绝非孤立存在，大多数表面是由粗糙度、波纹度及形状误差综合影响产生的结果。由于粗糙度、波纹度及形状误差的功能影响各不相同，分别测出它们是必要的（图 2-4-1）。

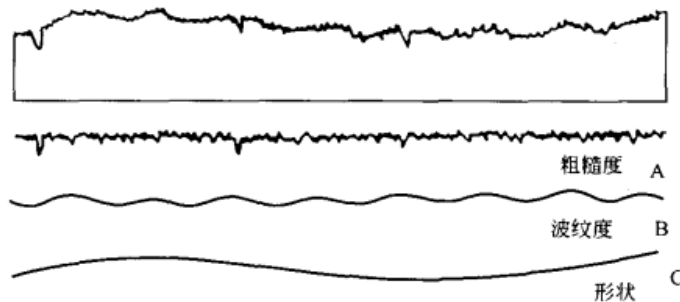


图 2-4-1 代表粗糙度、波纹度和形状误差的综合影响的表面轮廓

### 1.2 表面结构标准体系

目前我国表面结构标准体系如图 2-4-2 所示。

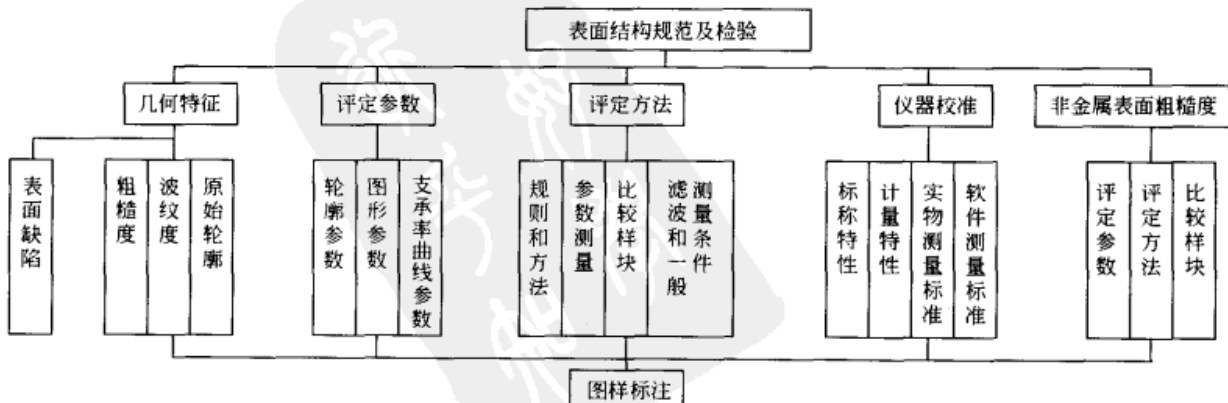


图 2-4-2 表面结构标准体系

## 2 表面结构参数及其数值

### 2.1 表面结构参数

新的表面结构标准体系建立后,在图样中要求标准的参数从原来单一粗糙度参数扩大到下面三组(共63个)参数。

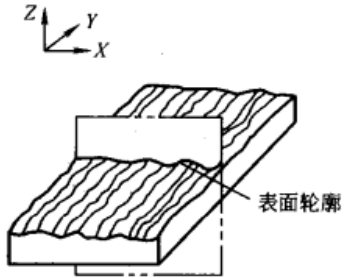
- ① 轮廓参数,包括粗糙度参数  $R$ 、波纹度参数  $W$ 、原始轮廓参数  $P$ 。
- ② 图形参数,包括粗糙度图形、波纹度图形。
- ③ 支承率曲线参数。

图形参数与支承率曲线参数尚无可供选用的参数数值,本章不编入相关内容。同样轮廓参数中的波纹度参数、原始轮廓参数的表示方法等也没有编入。

#### 2.1.1 评定表面结构的轮廓参数(摘自 GB/T 3505—2000)

##### (1) 一般术语及定义

表 2-4-1

序号	术语	定义或解释	图示
1	坐标系	确定表示结构参数的坐标体系 注:通常采用一个直角坐标体系,其轴线形成一右旋笛卡儿坐标系, $X$ 轴与中线方向一致, $Y$ 轴也处于实际表面上,而 $Z$ 轴则在从材料到周围介质的外延方向上。	
2	实际表面	物体与周围介质分离的表面	
3	表面轮廓	平面与实际表面相交所得的轮廓(见右图) 注:实际上,通常采用一条名义上与实际表面平行和在一个适当方向的法线来选择一个平面	
4	原始轮廓	在应用短波长滤波器 $\lambda_c$ 之后的总轮廓 注:原始轮廓是评定原始轮廓参数的基础	
5	粗糙度轮廓	粗糙度轮廓是对原始轮廓采用 $\lambda_c$ 滤波器抑制长波成分以后形成的轮廓,这是故意修正的轮廓 注: 1. 粗糙度轮廓的传输频带是由 $\lambda_c$ 和 $\lambda_s$ 轮廓滤波器来限定的 2. 粗糙度轮廓是评定粗糙度轮廓参数的基础 3. $\lambda_c$ 和 $\lambda_s$ 之间的关系在标准中不作规定	



序号	术语	定义或解释	图 示
6	波纹度轮廓	<p>波纹度轮廓是对原始轮廓连续应用 <math>\lambda_f</math> 和 <math>\lambda_c</math> 两个滤波器以后形成的轮廓。采用 <math>\lambda_f</math> 滤波器抑制长波成分,而采用 <math>\lambda_c</math> 滤波器抑制短波成分。这是故意修正的轮廓</p> <p>注:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在运用分离波纹度轮廓的 <math>\lambda_f</math> 滤波器以前,应首选通过最小二乘法的最佳拟合从总轮廓中提取标称的形状。对于圆的标称形式,建议将半径也包含在最小二乘的优化计算中,而不是保持固定的标称值。这个分离波纹度轮廓的过程限定了理想的波纹度运算操作</li> <li>2. 波纹度轮廓的传输频带是由 <math>\lambda_f</math> 和 <math>\lambda_c</math> 轮廓滤波器来限定的</li> <li>3. 波纹度轮廓是评定波纹度轮廓参数的基础</li> </ol>	
7	中线	具有几何轮廓形状并划分轮廓的基准线	
8	粗糙度轮廓 中线	用轮廓滤波器 $\lambda_s$ 抑制了长波轮廓成分相对应的中线	
9	波纹度轮廓 中线	用轮廓滤波器 $\lambda_f$ 抑制了长波轮廓成分相对应的中线	
10	原始轮廓 中线	用标称形式的线穿过原始轮廓,按最小二乘法拟合所确定的中线	
11	取样长度	<p>用于判别被评定轮廓的不规则特征的 X 轴方向上的长度</p> <p>注:评定粗糙度和波纹度轮廓的取样长度 <math>l_r</math> 和 <math>l_w</math> 在数值上分别与轮廓滤波器 <math>\lambda_s</math> 和 <math>\lambda_f</math> 的标志波长相等。原始轮廓的取样长度 <math>l_o</math> 则与评定长度相等</p>	
12	评定长度	<p>用于判别被评定轮廓的 X 轴方向上的长度</p> <p>注:评定长度包含一个或几个取样长度</p>	
13	轮廓滤波器	<p>把轮廓分成长波和短波成分的滤波器,如 <math>\lambda_s</math> 滤波器、<math>\lambda_c</math> 滤波器和 <math>\lambda_f</math> 滤波器</p> <p>注:在测量粗糙度、波纹度和原始轮廓的仪器中使用的三种滤波器(见右图),其传输特性相同但截止波长不同</p>	
14	$\lambda_s$ 滤波器	确定存在于表面上的粗糙度与比它更短的波的成分之间相交界限的滤波器(见右图)	
15	$\lambda_c$ 滤波器	确定粗糙度与波纹度成分之间相交界限的滤波器(见右图)	
16	$\lambda_f$ 滤波器	确定存在于表面上的波纹度与比它更长的波的成分之间相交界限的滤波器(见右图)	

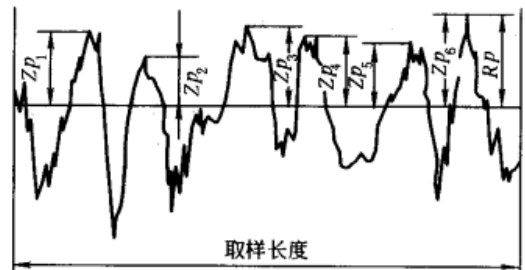
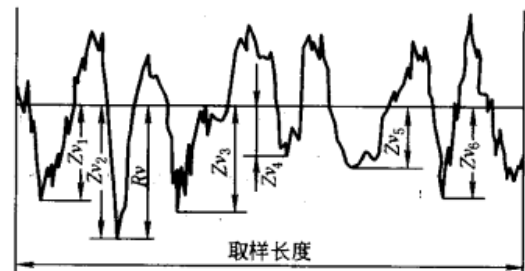
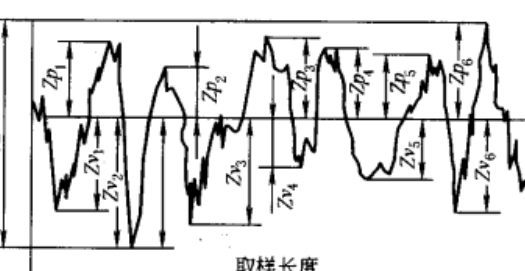
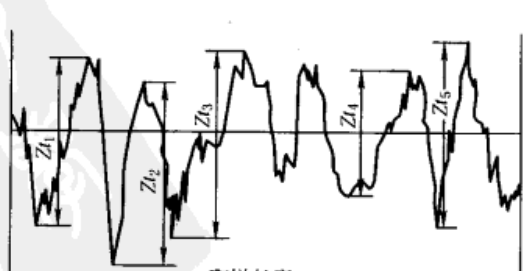
## (2) 几何参数术语及定义

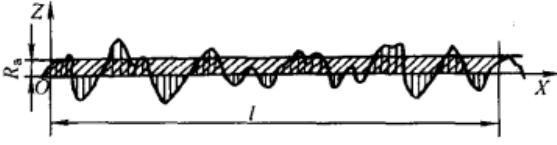
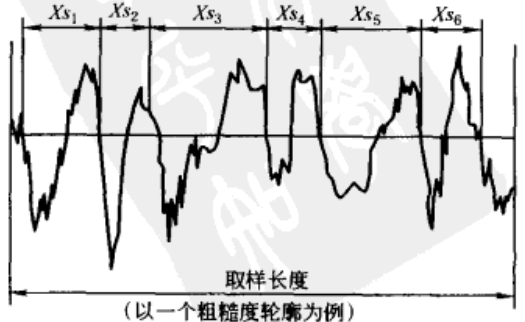
表 2-4-2

序号	术语	定义或解释	图 示
1	P 参数	从原始轮廓上计算所得的参数	
2	R 参数	从粗糙度轮廓上计算所得的参数	
3	W 参数	从波纹度轮廓上计算所得的参数	
4	轮廓峰	连接(轮廓和 X 轴)两相邻交点向外(从材料到周围介质)的轮廓部分	
5	轮廓谷	连接两相邻交点向内(从周围介质到材料)的轮廓部分	
6	高度和间距 辨别力	应计入的被评定轮廓的轮廓峰和轮廓谷的最小高度和最小间距 注:轮廓峰和轮廓谷的最小高度通常用 $P_z$ 、 $R_z$ 、 $W_z$ 取任一振幅参数的百分率来表示,最小间距则以取样长度的百分率给出	
7	轮廓单元	轮廓峰和轮廓谷的组合(见右图) 注:在取样长度始端或末端的评定轮廓的向外部分和向内部分视为一个轮廓峰或一个轮廓谷。当在若干个连续的取样长度上确定若干个轮廓单元时,在每一个取样长度的始端或末端评定的峰和谷仅在每个取样长度的始端计入一次	
8	纵坐标值 Z (x)	被评定轮廓在任一位置上距 X 轴的高度 注:若纵坐标位于 X 轴下方,该高度被视为负值,反之则为正值	
9	局部斜率 $\frac{dZ}{dX}$	评定轮廓在某一位置 $X_i$ 的斜度(见右图) 注: 1. 局部斜率和这些参数 $P\Delta q$ 、 $R\Delta q$ 、 $W\Delta q$ 的数值主要视纵坐标间距 $\Delta X$ 而定 2. 计算局部斜率的公式之一 $\frac{dZ_i}{dX} = \frac{1}{60\Delta X} (Z_{i+3} - 9Z_{i+2} + 45Z_{i+1} - 45Z_{i-1} + 9Z_{i-2} - Z_{i-3})$ 式中, $Z_i$ 为第 $i$ 个轮廓点的高度, $\Delta X$ 为相邻两轮廓点之间距	
10	轮廓峰高 $Z_p$	轮廓最高点距 X 轴的距离(见右图)	
11	轮廓谷深 $Z_v$	X 轴与轮廓谷最低点之间的距离(见右图)	
12	轮廓单元的高度 $Z_t$	轮廓单元的峰高和谷深之和(见右图)	
13	轮廓单元的宽度 $X_s$	X 轴与轮廓单元相交线段的长度(见右图)	
14	在水平位置 c 上,轮廓的实体材料长度 $MI(c)$	在给定水平位置 c,用一条平行于 X 轴的线与轮廓单元相截所获得的各段截线长度之和(见右图)	

(3) 表面轮廓参数术语及定义

表 2-4-3

序号	术语	定义或解释	图示
1	幅度参数 (峰和谷)	以峰和谷值定义的最大轮廓峰高、最大轮廓谷深、轮廓的最大高度、轮廓单元的平均线高度及轮廓的总高度等参数	
2	最大轮廓峰高 $P_p$ 、 $R_p$ 、 $W_p$	在一个取样长度内,最大的轮廓峰高 $Z_p$ (见右图)	 <p>(以一个粗糙度轮廓为例)</p>
3	最大轮廓谷深 $P_v$ 、 $R_v$ 、 $W_v$	在一个取样长度内,最大的轮廓谷深 $Z_v$ (见右图)	 <p>(以一个粗糙度轮廓为例)</p>
4	轮廓的最大高度 $P_z$ 、 $R_z$ 、 $W_z$	在一个取样长度内,最大轮廓峰高 $Z_p$ 和最大轮廓谷深 $Z_v$ 之和的高度(见右图) 注:此处的 $R_z$ 为 2000 年标准中规定的 $R_z$ , 与 GB/T 3505—1983 中的 $R_z$ “不平度十点高度”含义不同,需注意区分	 <p>(以一个粗糙度轮廓为例)</p>
5	轮廓单元的平均线高度 $P_c$ 、 $R_c$ 、 $W_c$	在一个取样长度内,轮廓单元高度 $Z_i$ 的平均值(见右图) $P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_i$ 注:对参数 $P_c$ 、 $R_c$ 、 $W_c$ 需要辨别高度和间距。除非另有要求,省略标注的高度分辨率(能力)应分别按 $P_z$ 、 $R_z$ 、 $W_z$ 的 10% 选取。省略标注的间距分辨率(能力)应按取样长度的 1% 选取。上述两个条件都应满足	 <p>(以一个粗糙度轮廓为例)</p>

序号	术语	定义或解释	图 示
6	轮廓的总高度 $P_t, R_t, W_t$	在评定长度内,最大轮廓峰高 $Z_p$ 和最大轮廓谷深 $Z_v$ 之和 注: 1. 由于 $P_t, R_t, W_t$ 是根据评定长度而不是取样长度上定义的,以下关系对任何轮廓来讲都成立: $P_t \geq P_z, R_t \geq R_z, W_t \geq W_z$ 2. 在未规定的情况下, $P_z$ 和 $P_t$ 是相等的,此时建议采用 $P_t$	
7	幅度参数 (纵坐标平均值)	以纵坐标平均值定义的评定轮廓的算术平均偏差、评定轮廓的均方根偏差、评定轮廓的偏斜度及评定轮廓的陡度等参数	
8	评定轮廓的算术平均偏差 $P_a, R_a, W_a$	在一个取样长度内,纵坐标值 $Z(x)$ 绝对值的算术平均值(见右图) $P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l  Z(x)  dx$ 式中, $l = l_p, l_r$ 或 $l_w$	
9	评定轮廓的均方根偏差 $P_q, R_q, W_q$	在一个取样长度内,纵坐标值 $Z(x)$ 的均方根值 $P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$ 式中, $l = l_p, l_r$ 或 $l_w$	
10	评定轮廓的偏斜度 $P_{sk}, R_{sk}, W_{sk}$	在一个取样长度内,纵坐标值 $Z(x)$ 三次方的平均值分别与 $P_q, R_q$ 和 $W_q$ 的三次方比值 $R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[ \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^3(x) dx \right]$ 注: 1. 上式定义了 $R_{sk}$ , 用类似的方式定义 $P_{sk}$ 和 $W_{sk}$ 2. $P_{sk}, R_{sk}$ 和 $W_{sk}$ 是纵坐标值概率密度函数不对称性的测定 3. 这些参数受离散的峰或离散的谷的影响很大	
11	评定轮廓的陡度 $P_{ku}, R_{ku}, W_{ku}$	在一个取样长度内,纵坐标值 $Z(x)$ 四次方的平均值分别与 $P_q, R_q$ 或 $W_q$ 的四次方的比值 $R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left[ \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^4(x) dx \right]$ 注: 1. 上式定义了 $R_{ku}$ , 用类似方式定义 $P_{ku}$ 和 $W_{ku}$ 2. $P_{ku}, R_{ku}$ 和 $W_{ku}$ 是纵坐标值概率密度函数锐度的测定	
12	间距参数	以轮廓单元宽度值定义的参数,如轮廓单元的平均宽度	
13	轮廓单元的平均宽度 $P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm}$	在一个取样长度内,轮廓单元宽度 $X_s$ 的平均值(见右图) $P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i}$ 注:对参数 $P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm}$ 需要辨别高度和间距。若未另外规定,省略标注的高度分辨率(能力)分别为 $R_z, R_z, W_z$ 的 10%, 省略标注的间距分辨率(能力)为取样长度的 1%。上述两个条件都应满足	 <p style="text-align: center;">(以一个粗糙度轮廓为例)</p>

序号	术语	定义或解释	图 示
14	评定轮廓的均方根斜率 $P\Delta q, R\Delta q, W\Delta q$	在一个取样长度内,纵坐标斜率 $\frac{dZ}{dX}$ 的均方根值	
15	曲线和相关参数	依据评定长度而不是在取样长度上定义,以提供稳定的曲线和相关参数,包括轮廓的支承长度率、轮廓的支承长度率曲线、轮廓截面高度差、相对支承比例及轮廓幅度分布曲线等	
16	轮廓的支承长度率 $Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c)$	在给定的水平位置 $c$ 上,轮廓的实体材料长度 $MI(c)$ 与评定长度的比率 $Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) = \frac{MI(c)}{ln}$	
17	轮廓的支承长度率曲线	表示轮廓支承率随水平位置而变化的关系曲线(见右图) 注:该曲线为在一个评定长度内的各坐标值 $Z(x)$ 采样累积的分布概率函数	
18	轮廓截面高度差 $P\delta c, R\delta c, W\delta c$	给定支承比率的两个水平截面之间的垂直距离 $R\delta c = C(Rmr1) - C(Rmr2)$ $Rmr1 < Rmr2$ 注:以上公式定义了 $R\delta c$ ,用类似方法可定义 $P\delta c$ 和 $W\delta c$	
19	相对支承比率 $Pmr, Rmr, Wmr$	在一个轮廓水平截面 $R\delta c$ 确定的,与起始零位 $C_0$ 相关的支承比率(见右图) $Pmr, Rmr, Wmr = Pmr, Rmr, Wmr(C_1)$ 其中 $C_1 = C_0 - R\delta c \text{ (或 } P\delta c \text{ 或 } W\delta c)$ $C_0 = C(Pmr0, Rmr0, Wmr0)$	
20	轮廓幅度分布曲线	在评定长度内,纵坐标值 $Z(x)$ 采样的概率密度函数(见右图) 注:有关轮廓幅度分布曲线的各参数见本表中序号 7~11 的相应内容	

注:GB/T 3505—1983 中的  $R_s$  和 GB/T 3505—2000 中的  $R_z$  含义不同,因而测量仪器和测量结果会有区别。目前仍按 GB/T 1031—1995 中规定的数值标注  $R_s$  的参数数值。

## 2.1.2 基本术语和表面结构参数的新旧标准对照

表 2-4-4 基本术语的对照

基本术语	GB/T 3505—1983	GB/T 3505—2000
取样长度	$l$	$l_p, l_w, l_r$
评定长度	$l_n$	$l_n$
纵坐标值	$y$	$Z(x)$
局部斜率	—	$\frac{dZ}{dX}$
轮廓峰高	$y_p$	$Z_p$
轮廓谷深	$y_v$	$Z_v$
轮廓单元的高度	—	$Z_t$
轮廓单元的宽度	—	$X_s$
在水平位置 $c$ 上轮廓的实体材料长度	$\eta_p$	$MI(c)$

注： $l_p$ 、 $l_w$  和  $l_r$  为给定的三种不同的轮廓的取样长度，分别对应于  $P$ 、 $W$  和  $R$  参数。

表 2-4-5 表面结构参数对照

参 数	GB/T 3505—1983	GB/T 3505—2000	在测量范围内	
			评定长度 $l_n$	取样长度
最大轮廓峰高	$R_p$	$R_p$		√
最大轮廓谷深	$R_m$	$R_v$		√
轮廓的最大高度	$R_y$	$R_z$		√
轮廓单元的平均线高度	$R_c$	$R_c$		√
轮廓的总高度	—	$R_t$	√	
评定轮廓的算术平均偏差	$R_a$	$R_a$		√
评定轮廓的均方根偏差	$R_q$	$R_q$		√
评定轮廓的偏斜度	$S_k$	$R_{sk}$		√
评定轮廓的陡度	—	$R_{ku}$		√
轮廓单元的平均宽度	$S_m$	$RS_m$		√
评定轮廓的均方根斜率	$\Delta_q$	$R\Delta_q$		√
轮廓的支承长度率	—	$Rmr(c)$	√	
轮廓截面高度差	—	$R\delta_c$	√	
相对支承比率	$t_p$	$Rmr$	√	
十点高度	$R_z$	—		

注：1. GB/T 3505—2000 规定了三个轮廓参数  $P_a$ （原始轮廓）、 $R_a$ （粗糙度轮廓）、 $W_a$ （波纹度轮廓），表中只列出了粗糙度轮廓参数。

2. 表中符号“√”表示在测量范围内采用的标准评定长度和取样长度。

2.1.3 表面粗糙度参数数值及取样长度  $l$  与评定长度  $l_n$  数值（摘自 GB/T 1031—1995）

GB/T 1031—1995《表面粗糙度 参数及其数值》标准中参数定义的依据是 GB/T 3505—1983、GB/T 1031—

1995 与修订后的 GB/T 3505—2000 在参数分类、定义和代号等方面均有些不同，但 GB/T 1031 至今仍为现行标准，因此本节表面粗糙度数值及其选用原则仍按 GB/T 1031 介绍。

当表 2-4-6 中的  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_y$  系列值不能满足要求时，可选用标准附录中补充系列值，见表 2-4-7。

表 2-4-6 表面粗糙度参数数值及取样长度  $l$  与评定长度  $l_n$  数值 (摘自 GB/T 1031—1995)

高度参数	$R_a/\mu\text{m}$	0.012			0.2			3.2			50								
		0.025			0.4			6.3			100								
		0.05			0.8			12.5											
		0.1			1.6			25											
高度参数	$R_z, R_y/\mu\text{m}$	0.025			0.4			6.3			100								
		0.05			0.8			12.5			200								
		0.1			1.6			25			400								
		0.2			3.2			50			800								
附加评定参数	$S_m, S/\text{mm}$	0.006						0.1						1.6					
		0.0125						0.2						3.2					
		0.025						0.4						6.3					
		0.05						0.8						12.5					
	$t_p/\%$	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90							
取样长度与评定长度	$R_a/\mu\text{m}$	$\geq 0.008 \sim 0.02$			$> 0.02 \sim 0.1$			$> 0.1 \sim 2.0$			$> 2.0 \sim 10.0$			$> 10.0 \sim 80.0$					
	$R_z, R_y/\mu\text{m}$	$\geq 0.025 \sim 0.1$			$> 0.1 \sim 0.5$			$> 0.5 \sim 10.0$			$> 10.0 \sim 50.0$			$> 50.0 \sim 320$					
	$l/\text{mm}$	0.08			0.25			0.8			2.5			8.0					
	$l_n = 5l/\text{mm}$	0.4			1.25			4.0			12.5			40.0					

注：1. 在规定表面粗糙度要求时，必须给出表面粗糙度值和测定时的取样长度值两项基本要求，必要时也可规定表面加工纹理、加工方法或加工顺序和不同区域的粗糙度等附加要求。

2. 一般情况下，在测量  $R_a$ 、 $R_z$  和  $R_y$  时推荐按本表选用对应的取样长度值，此时取样长度值的标注在图样上或技术文件中可省略。当有特殊要求时应给出相应的取样长度值，并在图样上或技术文件中注出。

3. 由于  $R_a$  既能反映加工表面的微观几何形状特征又能反映凸峰高度，且测量时便于数值处理，因此推荐优先选用  $R_a$  来评定轮廓表面。在高度特性参数常用的参数值范围内 ( $R_a$  为  $0.025 \sim 6.3\mu\text{m}$ ， $R_z$  为  $0.1 \sim 25\mu\text{m}$ ) 推荐优先选用  $R_a$ 。

4. 根据表面功能的需要，在三项高度参数不能满足要求的情况下，可选用附加评定参数  $S_m$  和  $S$  一般不单独使用， $t_p$  可单独使用。例如，必须控制零件表面加工痕迹的疏密度时，应增加附加评定参数  $S_m$  或  $S$ ，当零件要求具有良好的耐磨性能时，则应增加选用  $t_p$  参数。

5. 根据表面功能和生产的经济合理性，当选用表中  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_y$ 、 $S_m$  和  $S$  系列不能满足要求时，可选取初充系列值，见 GB/T 1031 附录 A。 $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_y$  的补充系列值见表 2-4-7。

6. 选用轮廓支承长度率  $t_p$  参数时必须同时给出轮廓水平截距  $C$  值。它可用微米或  $R_y$  的百分数表示。百分数系列如下： $R_y$  的 5%、10%、15%、20%、25%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%。如“ $t_p 70\%$ ， $C 50\%$ ”，表示水平截距  $C$  在轮廓最大高度  $R_y$  的 50% 的位置上，支承长度率的最小允许值为 70%。

7. 轮廓的单峰（谷） $S$  的最小间距规定为取样长度  $l$  的 1%。轮廓峰（谷、单峰、单谷）的最小高度规定为轮廓最大高度  $R_y$  的 10%。对评定  $R_a$ 、 $R_z$  和  $R_y$  参数也适用。

8. 当两个零件的配合表面给出相同的  $C$  时，若  $t_p$  值小，则表明零件配合的实际接触面积小，表面磨损较快。反之， $t_p$  值越大，则配合表面实际接触面积越大，表面的耐磨性就越好。

9. 为了限定和减弱表面波纹度对表面粗糙度测得的结果的影响，评定表面粗糙度时应选择一段基准线长度作为取样长度  $l$ 。对于微观不平度间距较大的端铣、滚铣及其他大进给走刀量的加工表面，应按标准中本表规定的取样长度系列选取较大的取样长度值。

10. 由于加工表面的不均匀性，在评定表面粗糙度时其评定长度应根据不同的加工方法和相应的取样长度来确定。一般情况下，当测量  $R_a$ 、 $R_z$  和  $R_y$  时推荐按本表选取相应的评定长度值。如被测表面均匀性较好，测量时可选用小于  $5l$  的评定长度值；均匀性较差的表面可选用大于  $5l$  的评定长度值。

表 2-4-7

补充系列值

$R_z/\mu\text{m}$	0.008	0.125	2.0	32	$S_m, S/\text{mm}$	0.002	2.0
	0.010	0.160	2.5	40		0.003	2.5
	0.016	0.25	4.0	63		0.004	4.0
	0.020	0.32	5.0	80		0.005	5.0
	0.032	0.50	8.0			0.008	8.0
	0.040	0.63	10.0			0.010	10.0
	0.063	1.00	16.0			0.016	
	0.080	1.25	20			0.020	
						0.032	
$R_x, R_y/\mu\text{m}$	0.032	0.50	8.0	125		0.040	
	0.040	0.63	10.0	160		0.063	
	0.063	1.00	16.0	250		0.080	
	0.080	1.25	20	320		0.125	
	0.125	2.0	32	500		0.160	
	0.160	2.5	40	630		0.25	
	0.25	4.0	63	1000		0.32	
	0.32	5.0	80	1250		0.5	
						0.63	
					1.00		
					1.25		

注：在 GB/T 3505—2000 中，轮廓微观不平度的平均间距  $S_m$  称为轮廓单元的平均宽度，用  $RS_m$  表示。

## 2.2 轮廓法评定表面结构的规则和方法（摘自 GB/T 10610—1998）

在评定表面结构参数时，必须遵守下面的规则。

- ① GB/T 3505 中定义的各种表面结构参数测得值和公差极限值相比较的规则。
- ② 应用 GB/T 6062 规定的触针式仪器测量由 GB/T 3505 给出的粗糙度轮廓参数时选用截止波长  $\lambda_c$  的特殊规则。

### 2.2.1 参数测定

(1) 在取样长度上定义的参数

- ① 参数测定：仅由一个取样长度测得的数据计算出参数值的一次测定。
- ② 平均参数测定：把所有按单个取样长度算出的参数值，取算术平均求得一个平均参数的测定。

当取 5 个（标准个数）取样长度测定粗糙度轮廓参数时，不需要在参数符号后面做标记。

如果是在不等于 5 个取样长度上测得的参数值，则必须在参数符号后面附注取样长度的个数，如  $Rz1$ 、 $Rz3$ 。

(2) 在评定长度上定义的参数

对于在评定长度上定义的参数  $Pt$ 、 $Rt$  和  $Wt$ ，是由一个评定长度（等于标准化的 5 个取样长度）上的测量数据计算出参数值的一次测定。

(3) 曲线及有关参数

对于曲线及有关参数的测定，首先以评定长度为基础求解这条曲线，再利用这条曲线上测得的数据计算出某一参数数值。

(4) 未注评定长度

如果在图样上或产品技术文件中没有其他指示，评定长度遵循以下规定： $R$  系列参数，按表 2-4-6 给定的评定长度； $P$  系列参数，评定长度应满足被测性能的长度。

### 2.2.2 测得值与公差极限值相比较的规则

(1) 被检区域的特征

正在检验中的工件各个部位的表面结构，可能呈现均匀一致状况，也可能差别很大。这点通过目测表面就能看出。在表面结构看来均匀的情况下，将采用整体表面上测得的参数值和图样上或产品技术文件中给定的技术要求相比较。

如果个别区域的表面结构有明显差异，应将每个应用区域上测定的参数值分别和图样上或产品技术文件中给定的技术要求相比较。

由于按参数的上限值规定要求，所用表面的个别区域可能会出现最大参数值。



### (2) 16% 规则

对于按一个参数的上限值 (GB/T 131) 规定要求时, 如果在所选参数都用同一评定长度上的全部实测值中, 大于图样或技术文件中规定值的个数不超过总数的 16%, 则该表面是合格的。

对于给定表面参数下限值的场合, 如果在同一评定长度上的全部测得值中, 小于图样或技术文件中规定值的个数不超过总数的 16%, 该表面也是合格的。

为了指明参数的上、下限值, 所用参数符号没有“max”标记。

### (3) 最大规则

检验时, 若规定了参数的最大值要求, 则在被检的整个表面上测得的参数值一个也不应超过图样或技术文件中的规定值。为了指明参数的最大值, 应在参数符号后面增加一个“max”的标记, 如  $Rz1\max$ 。

### (4) 测量不确定度

为了验证是否符合技术要求, 将测得参数值和规定公差极限值进行比较时, 应根据有关工件和计量器具的测量检验是否符合技术要求的判定规则把测量不确定度考虑进去。在对测量结果和上限值或下限值进行比较时, 估算测量不确定度不用考虑表面的不均匀性, 因为这在允许 16% 超差中已计及。

## 2.2.3 参数评定

### (1) 概述

表面结构参数不能用来描述表面缺陷。因此在检验表面结构时, 不应把表面缺陷如划痕、气孔等考虑进去。

为了判定工件表面是否符合技术要求, 必须采用表面结构参数的一组测量值, 其中每个单元的数值是从一个评定长度上测定的。

判定被检表面是否符合技术要求的可靠性, 以及由同一表面获得的表面结构参数平均值的精度取决于获得表面参数单元值的评定长度内取样长度的个数, 而且也取决于评定长度的个数, 即在表面的测量次数。

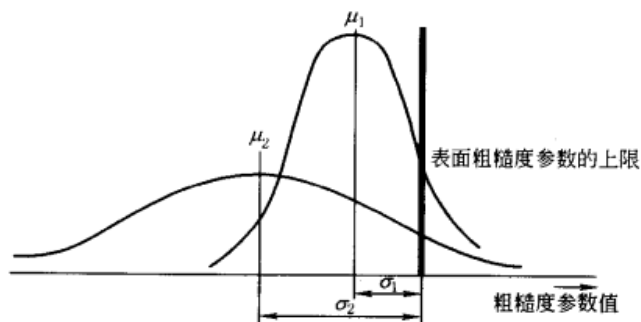


图 2-4-3

### (2) 粗糙度轮廓参数

对于 GB/T 3505 有关的粗糙度系列参数, 如果评定长度不等于 5 个取样长度, 则上、下限值应重新计算, 而且将其和等于 5 个取样长度的评定长度联系起来, 图 2-4-3 中所示每个  $\sigma$  等于  $\sigma_5$ 。

$\sigma_n$  和  $\sigma_5$  的关系, 由下式给出:

$$\sigma_5 = \sigma_n \sqrt{n/5}$$

式中,  $n$  为所用取样长度的个数 (小于 5)。

测量的次数愈多、评定长度愈长, 则判别被检表面是否符合要求的可靠性愈高, 测量参数平均值的

不确定度也愈小。

然而, 测量次数的增加将导致测量时间和成本的增加。因此, 检验方法必须考虑一个兼顾可靠性和成本的折中方案 (参见附录 A)。

## 2.2.4 用触针式仪器检验的规则和方法

### (1) 粗糙度轮廓参数测量中确定截止波长的基本原则

当工业产品文件或图样的技术条件中已规定取样长度时, 截止波长  $\lambda_c$  应与取样长度值相同。

若在图样或产品文件中没有出现粗糙度的技术规范或在给出的粗糙度规范中没有规定取样长度, 可由 (2) 给出的方法选定截止波长。

### (2) 粗糙度轮廓参数的测量

当没有指定测量方向时, 工件的安放应使其测量截面方向与粗糙度高度参数 ( $Ra$ 、 $Rz$ ) 的最大值方向相一致, 该方向垂直于被测表面的加工纹理。对无方向性的表面, 测量截面的方向可以是任意的。

应该在被测表面可能产生极值的部位进行测量, 这可通过目测来估计。应在表面这一部位均匀分布的位置上分别测量, 以获得各个独立的测量结果。

为了确定粗糙度轮廓参数的测得值, 应首先观察表面并判断粗糙度轮廓是周期性的还是非周期性的。若没有其他指示, 基于这一判别, 则应分别遵照下面①或②中一个规定的程序执行。如果采用特殊的测量程序, 必须在

技术文件和测量记录中加以说明。

① 非周期性粗糙度轮廓的测量程序。

对于具有非周期粗糙度轮廓的表面应遵循下列步骤进行测量。

a. 待求的粗糙度轮廓参数  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  或  $RSm$  的数值, 择优选用以下手段, 如目测、用粗糙度比较样块、全轮廓轮迹的图解分析等方法来估计。

b. 利用 a. 中估计的  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  或  $RSm$  的数值, 按表 2-4-8、表 2-4-9 或表 2-4-10 预选取样长度。

表 2-4-8 测量  $R_a$  值的取样长度

$R_a/\mu\text{m}$	粗糙度取样长度 $l_r/\text{mm}$	粗糙度评定长度 $l_n/\text{mm}$
$(0.006) < R_a \leq 0.02$	0.08	0.4
$0.02 < R_a \leq 0.1$	0.25	1.25
$0.1 < R_a \leq 2$	0.8	4
$2 < R_a \leq 10$	2.5	12.5
$10 < R_a \leq 80$	8	40

表 2-4-9 测量  $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  值的取样长度

$R_z^{\text{①}}, R_{z1 \max}^{\text{②}}/\mu\text{m}$	粗糙度取样长度 $l_r/\text{mm}$	粗糙度评定长度 $l_n/\text{mm}$
$(0.025) < R_z, R_{z1 \max} \leq 0.1$	0.08	0.4
$0.1 < R_z, R_{z1 \max} \leq 0.5$	0.25	1.25
$0.5 < R_z, R_{z1 \max} \leq 10$	0.8	4
$10 < R_z, R_{z1 \max} \leq 50$	2.5	12.5
$50 < R_z, R_{z1 \max} \leq 200$	8	40

①  $R_z$  是在测量  $R_z$ 、 $R_v$ 、 $R_p$ 、 $R_c$  和  $R_t$  时使用。

②  $R_{z1 \max}$  仅在测量  $R_{z1 \max}$ 、 $R_{v1 \max}$ 、 $R_{p1 \max}$  和  $R_{c1 \max}$  时使用。

表 2-4-10 测量  $RSm$  值的取样长度

$RSm/\mu\text{m}$	粗糙度取样长度 $l_r/\text{mm}$	粗糙度评定长度 $l_n/\text{mm}$
$0.013 < RSm \leq 0.04$	0.08	0.4
$0.04 < RSm \leq 0.13$	0.25	1.25
$0.13 < RSm \leq 0.4$	0.8	4
$0.4 < RSm \leq 1.3$	2.5	12.5
$1.3 < RSm \leq 4$	8	40

c. 利用测量仪器, 按 b. 中预选的取样长度, 完成  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  或  $RSm$  的一次典型测量。

d. 将测得的  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  或  $RSm$  的数值和表 2-4-8、表 2-4-9 或表 2-4-10 中预先取样长度所对应的  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  或  $RSm$  的数值范围相比较。

如果测得值超出了预选取样长度对应的数值范围, 则应按测得值指示的取样长度来设定, 即把仪器调整至相应的较高或较低的取样长度。然后应用这一调定的取样长度测得一组典型数值, 并再次与表 2-4-8、表 2-4-9 或表 2-4-10 中数值相比。此时, 测得值应达到由表 2-4-8、表 2-4-9 或表 2-4-10 建议的测得值和取样长度的组合。

e. 如果以前在 d. 步骤评定时没有采用过更短的取样长度, 则把取样长度调至更短些获得一组  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  或  $RSm$  的数值, 检查所得到的  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  或  $RSm$  的数值和取样长度的组合是否也满足表 2-4-8、表 2-4-9 或表 2-4-10 的规定。

f. 只要 d. 步骤中最后的设定与表 2-4-8、表 2-4-9 或表 2-4-10 相符合, 则设定的取样长度和  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  或  $RSm$  的数值二者是正确的。如果 c. 步骤也产生一个满足表 2-4-8、表 2-4-9 或表 2-4-10 规定的组合, 则这个较短的取样长度设定值和相对应的  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{z1 \max}$  或  $RSm$  的数值是正确的。

g. 运用上述步骤中预选出的截止波长 (取样长度) 完成一次典型的要求的参数测量。

② 周期性粗糙度轮廓的测量程序。

对于具有周期性粗糙度轮廓的表面应采用下述步骤进行测量。

a. 用图解法估计待求粗糙度的表面参数  $RSm$  的数值。

b. 按估计的  $RSm$  的数值, 由表 2-4-10 确定推荐的取样长度作为截止波长。

c. 必要时, 如在有争议的情况下, 利用由 b. 选定的截止波长值测量  $RSm$  值。

d. 如果按照 c. 步骤相应的  $RSm$  值由表 2-4-10 查出的取样长度比 b. 步骤的较小或较大, 则应采用这较小或较大的取样长度作为截止波长。

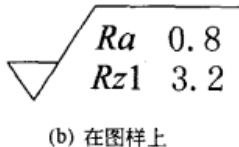
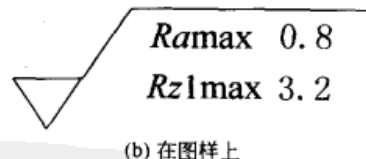
e. 用上述步骤中预选的截止波长 (取样长度) 完成一次典型的要求的参数测量。

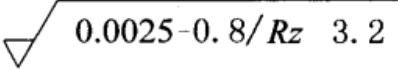
### 3 产品几何技术规范 (GPS) 技术产品文件中表面结构的表示法 (摘自 GB/T 131—2006)

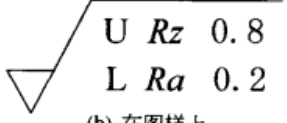
#### 3.1 标注表面结构的方法

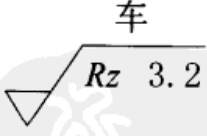
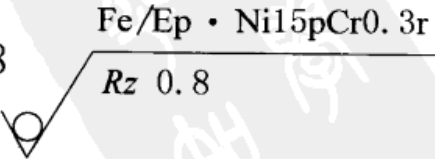
表 2-4-11

		符 号	意义及说明
1. 标注表面结构的图形符号	基本图形符号		表示对表面结构有要求的图形符号。当不标注粗糙度参数值或有关说明(如表面处理、局部热处理状况等)时,仅适用于简化代号标注,没有补充说明时不能单独使用
	扩展图形符号		要求去除材料的图形符号。在基本图形符号上加一短横,表示指定表面是用去除材料的方法获得,如通过机械加工获得的表面
			不允许去除材料的图形符号。在基本图形符号上加一个圆圈,表示指定表面是用不去除材料方法获得
	完整图形符号		当要求标注表面结构特征的补充信息时,应在基本图形符号和扩展图形符号的长边上加一横线 允许任何工艺 去除材料 不去除材料
工件轮廓各表面的图形符号		当在图样某个视图上构成封闭轮廓的各表面有相同的表面结构要求时,应在完整图形符号上加一圆圈,标注在图样中工件的封闭轮廓线上。如果标注会引起歧义时,各表面应分别标注 注:图示的表面结构符号是指对图形中封闭轮廓的六个面的共同要求(不包括前后面)	
2. 表面结构完整图形符号的组成	<p>为了明确表面结构要求,除了标注表面结构参数和数值外,必要时应标注补充要求,补充要求包括传输带、取样长度、加工工艺、表面纹理及方向、加工余量等。即在完整图形符号中,对表面结构的单一要求和补充要求,注写在图1所示位置。为了保证表面的功能特征,应对表面结构参数规定不同要求。图中 a~e 位置注写以下内容:</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>图1 表面结构完整图形符号的组成</p> <p>a——注写表面结构的单一要求,标注表面结构参数代号、极限值和传输带(传输带是两个定义的滤波器之间的波长范围,见 GB/T 6062 和 GB/T 1877)或取样长度。为了避免误解,在参数代号和极限值间应插入空格。传输带或取样长度后应有一斜线“/”,之后是表面结构参数代号,最后是数值            示例 1: 0.0025—0.8/Rz6.3(传输带标注) 示例 2: -0.8/Rz6.3(取样长度标注)</p> <p>a, b——注写两个或多个表面结构要求,在位置 a 注写第一个表面结构要求,在位置 b 注写第二个表面结构要求。如果要注写第三个或更多个表面结构要求,图形符号应在垂直方向扩大,以空出足够的空间。扩大图形符号时, a 和 b 的位置随之上移</p> <p>c——注写加工方法、表面处理、涂层或其他加工工艺要求,如车、磨、镀等</p> <p>d——注写表面纹理和方向,如“≡”、“X”及“M”</p> <p>e——注写加工余量,以毫米为单位给出数值</p>		

<p>3. 文本中用文字表达图形符号</p>	<p>在报告和合同的文本中用文字表达完整图形符号时,应用字母分别表示:APA,允许任何工艺;MRR,去除材料;NMR,不去除材料 示例:MRR Ra 0.8; Rz1 3.2</p>																																									
<p>4. 表面结构参数的标注</p>	<p>给出表面结构要求时,应标注其参数代号和相应数值,并包括要求解释的以下四项重要信息:三种轮廓(<math>R</math>、<math>W</math>、<math>P</math>)中的一种;轮廓特征;满足评定长度要求的取样长度的个数;要求的极限值</p>																																									
	<p>根据 GB/T 3505 定义的轮廓参数标注三个(<math>R</math>、<math>W</math>、<math>P</math>)主要表面结构参数时,应使用完整符号。由于波纹度 <math>W</math> 和原始轮廓 <math>P</math> 的轮廓参数目前缺乏数值,所以此二者参数代号未编入。同样,图形参数和支承率曲线参数也缺乏数值未编入</p> <table border="1" data-bbox="359 548 1463 761"> <thead> <tr> <th rowspan="2">参数代号的标注</th> <th colspan="10">高度参数</th> <th rowspan="2">间距参数</th> <th rowspan="2">混合参数</th> <th colspan="3" rowspan="2">曲线和相关参数</th> </tr> <tr> <th colspan="5">峰谷值</th> <th colspan="5">平均值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R</math> 轮廓参数 (粗糙度参数)</td> <td><math>R_p</math></td> <td><math>R_v</math></td> <td><math>R_z</math></td> <td><math>R_c</math></td> <td><math>R_t</math></td> <td><math>R_a</math></td> <td><math>R_q</math></td> <td><math>R_{sk}</math></td> <td><math>R_{ku}</math></td> <td><math>R_{Sm}</math></td> <td><math>R_{\Delta q}</math></td> <td><math>R_{mr}(c)</math></td> <td><math>R_{\delta c}</math></td> <td><math>R_{mr}</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>如果标注参数代号后无“max”,则是引用给定极限的默认解释(即 GB/T 10610 定义的 16% 规则,见本章 2.2.2 的内容),否则应用最大规则(即 GB/T 10610 定义的最大规则,见本章 2.2.2 的内容)解释其给定的极限</p>	参数代号的标注	高度参数										间距参数	混合参数	曲线和相关参数			峰谷值					平均值					$R$ 轮廓参数 (粗糙度参数)	$R_p$	$R_v$	$R_z$	$R_c$	$R_t$	$R_a$	$R_q$	$R_{sk}$	$R_{ku}$	$R_{Sm}$	$R_{\Delta q}$	$R_{mr}(c)$	$R_{\delta c}$	$R_{mr}$
	参数代号的标注		高度参数															间距参数	混合参数	曲线和相关参数																						
		峰谷值					平均值																																			
	$R$ 轮廓参数 (粗糙度参数)	$R_p$	$R_v$	$R_z$	$R_c$	$R_t$	$R_a$	$R_q$	$R_{sk}$	$R_{ku}$	$R_{Sm}$	$R_{\Delta q}$	$R_{mr}(c)$	$R_{\delta c}$	$R_{mr}$																											
<p>评定长度(<math>l_n</math>)的标注</p> <p>若所注参数代号后无“max”,则采用的是有关标准中默认的评定长度。<math>R</math> 轮廓粗糙度参数默认评定长度在 GB/T 10610 中定义,默认评定长度 <math>l_n</math> 由 5 个取样长度 <math>l_r</math> 构成,即 <math>l_n = 5 \times l_r</math>。若不存在默认的评定长度时,参数代号中应标注取样长度个数,如 <math>R_{p3}</math>、<math>R_{v3}</math>、<math>R_{z3}</math>、<math>R_{c3}</math>、<math>R_{t3}</math>、<math>R_{a3}</math>、<math>R_{Sm3}</math> 等(要求评定长度为 3 个取样长度)。其他如 <math>W</math> 轮廓、<math>P</math> 轮廓、图形参数、支承率曲线参数的评定长度的注法未编入</p>																																										
<p>极限值判断规则的标注</p> <p>表面结构要求中给定极限值的判断规则有两种(见 GB/T 10610):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 16% 规则:是所有表面结构要求标注的默认规则,见图 2</li> <li>② 最大规则:此规则用于表面结构要求时,则参数代号中应加上“max”,见图 3</li> </ol> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="494 1164 989 1288"> <p>MRR Ra 0.8; Rz1 3.2</p> <p>(a) 在文本中</p> </div> <div data-bbox="1053 1142 1292 1288">  <p>(b) 在图样上</p> </div> </div> <p>图 2 当应用 16% 规则(默认传输带)时参数的注法</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="383 1355 1021 1523"> <p>MRR Ramax 0.8; Rz1max 3.2</p> <p>(a) 在文本中</p> </div> <div data-bbox="1053 1366 1420 1523">  <p>(b) 在图样上</p> </div> </div> <p>图 3 当应用最大规则(默认传输带)时参数的注法</p> <p>16% 规则和最大规则均适用于 GB/T 3505 中定义的轮廓参数。图形参数和支承率曲线的参数标注未编入</p>																																										
<p>传输带和取样长度的标注</p> <p>① 当参数代号中没有标注传输带时(图 2、图 3),表面结构要求采用默认的传输带(默认传输带定义见 GB/T 131—2006 附录 G,而传输带是评定时的波长范围,传输带的波长范围在两个定义的滤波器(见 GB/T 6062)之间。传输带被一个截止短波的滤波器(短波滤波器)和另一个截止长波的滤波器(长波滤波器)所限制。长波滤波器的截止波长值也就是取样长度。其数值见表 2-4-6。</p> <p>如果表面结构参数没有定义默认传输带、默认的短波滤波器或默认的取样长度(长波滤波器),则表面结构标注应该指定传输带,即短波滤波器或长波滤波器,以保证表面结构明确的要求。传输带应标注在参数代号的前面,并用斜线“/”隔开,见图 4。传输带标注包括滤波器截止波长(mm),短波滤波器在前,长波滤波器在后,并用连字号“-”隔开,见图 4</p>																																										

4. 表面结构参数的标注	<p><b>MRR 0.0025-0.8/Rz 3.2</b></p> <p>(a) 在文本中</p>	 <p>(b) 在图样上</p>
	<p>图4 与表面结构要求相关的传输带的注法</p> <p>在某些情况下,在传输带中只标注两个滤波器中的一个。如果存在第二个滤波器,使用默认的截止波长值。如果只标注一个滤波器,应保留连字号“-”来区分是短波滤波器还是长波滤波器                  示例 1: 0.008-(短波滤波器标注) 示例 2: -0.25(长波滤波器标注)                  ② R 轮廓参数参见 GB/T 3505。                  如果标注传输带,可能只需要标注长波滤波器 λ<sub>c</sub>(如“-0.8”)。短波滤波器 λ<sub>s</sub>值由 GB/T 6062—2002 的 4.4 表 1 中给定,即轮廓滤波器截止波长的标准值系列为 0.08mm、0.25mm、0.8mm、2.5mm、8mm                  如果要求控制用于粗糙度参数的传输带内的短波滤波器和长波滤波器,二者应与参数代号一起标注轮廓参数中的 W、P 及图形参数、支承率曲线参数的传输带和取样长度的标注未编入</p>	

单向极限或双向极限的标注	<p>表面结构参数的单向极限:当只标注参数代号、参数值和传输带时,它们应默认为参数的上限值(16%规则或最大化规则的极限值);当参数代号、参数值和传输带作为参数的单向下限值(16%规则或最大化规则的极限值)标注时,参数代号前应加 L                  示例: L Ra 0.32                  表面结构参数的双向极限:在完整符号中表示双向极限时应标注极限代号,上限值在上方用 U 表示,下限值在下方用 L 表示,上、下极限值为 16% 规则或最大化规则的极限值(图 5)。如果同一参数具有双向极限要求,在不引起歧义的情况下,可以不加 U、L                  上、下极限值可以用不同的参数代号和传输带表达</p>	
	<p><b>MRR U Rz 0.8; L Ra 0.2</b></p> <p>(a) 在文本中</p>	 <p>(b) 在图样上</p>
<p>图5 双向极限的注法</p>		

5. 加工方法或相关信息的标注	<p>轮廓曲线的特征对实际表面的表面结构参数值影响很大。标注的参数代号、参数值和传输带只作为表面结构要求,有时不一定能够完全准确地表示表面功能。加工工艺在很大程度上决定了轮廓曲线的特征,因此,一般应注明加工工艺。加工工艺用文字按图 6 和图 7 所示方式在完整符号中注明。图 7 表示的是镀覆的示例,使用了 GB/T 13911《金属镀覆和化学处理表示方法》中规定的符号</p>	
	<p><b>MRR 车 Rz 3.2</b></p> <p>(a) 在文本中</p>	 <p>(b) 在图样上</p>
<p>图6 加工工艺和表面粗糙度要求的注法</p>		
<p><b>NMR Fe/Ep · Ni15pCr0.3r; Rz 0.8</b></p> <p>(a) 在文本中</p>		 <p>(b) 在图样上</p>
<p>图7 镀覆和表面粗糙度要求的注法</p>		

续表

表面纹理及其方向用下面规定的符号按图 8 标注在完整符号中。采用定义的符号标注表面纹理(如图 8 中的垂直符号)不适用于文本标注  
注:纹理方向是指表面纹理的主要方向,通常由加工工艺决定

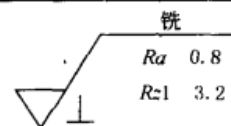


图 8 垂直于视图所在投影面的表面纹理方向的注法

符号	解释和示例	符号	解释和示例
=	纹理平行于视图所在的投影面  纹理方向	C	纹理呈近似同心圆且圆心与表面圆心相关 
⊥	纹理垂直于视图所在的投影面  纹理方向	R	纹理呈近似放射状且与表面圆心相关 
X	纹理呈两斜向交叉且与视图所在的投影面相交  纹理方向	P	纹理呈微粒、凸起,无方向 
M	纹理呈多方向 		注:如果表面纹理不能清楚地用这些符号表示,必要时,可以在图样上加注说明

7. 加工余量的标注

只有在同一图样中有多个加工工序的表面可标注加工余量,例如,在表示完工零件形状的铸锻件图样中给出加工余量(图 9)。加工余量可以是加注在完整符号上的唯一要求,也可以同表面结构要求一起标注(如图 9)。图 9 中给出加工余量的这种方式不适用于文本

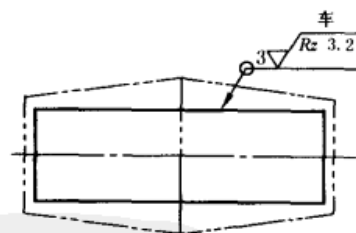


图 9 在表示完工零件的图样中给出加工余量的注法  
(示例为所有表面均有 3mm 加工余量)

8. 表面结构要求及数值标注方法的总结

技术图样上标注的表面结构要求,由本表第 1 项中至少一个符号和相关的要求按本表第 2 项至第 7 项中的规定进行标注  
独立使用图形符号作为表面结构要求,只有在下列两情况下才有意义:  
① 根据本表第 9 项中“表面结构要求的简化注法”进行简化标注时  
② 当基本图形符号使用在加工工艺的图样中时,即无论是通过不去除材料的方法还是通过其他方法获得的特定表面,判断其合格与否,其状态由最后一道加工工序确定,并根据 GB/T 18779.1—2002 判定一个特定的表面是否符合表面结构要求。此外,应考虑本标准的解释规则和相关的标准规定

表面结构要求对每一表面一般只标注一次,并尽可能注在相应的尺寸及其公差在同一视图上。除非另有说明,所标注的表面结构要求是对完工零件表面的要求

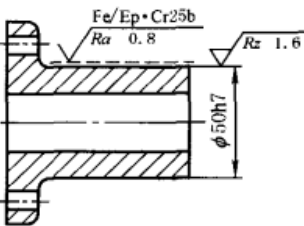
	图 例	意义及说明
总原则	<p>图 10 表面结构要求标注总原则</p>	<p>总原则是根据 GB/T 4458.4—2003 《机械制图 尺寸注法》的规定,使表面结构的注写和读取方向与尺寸的注写和读取方向一致,见图 10</p>
标注在轮廓线上或指引线上	<p>图 11 表面结构要求在轮廓线上的标注</p> <p>图 12 用指引线引出标注表面结构要求</p>	<p>表面结构要求可标注在轮廓线上,其符号应从材料外指向并接触表面,见图 11。必要时,表面结构符号也可用带箭头或黑点的指引线引出标注,见图 12</p>
标注在特征尺寸的尺寸线上	<p>图 13 标注在特征尺寸的尺寸线上</p>	<p>在不致引起误解时,表面结构要求可以标注在给定的尺寸线上,见图 13</p>
标注在形位公差的框格上	<p>图 14 标注在形位公差的框格上(一)</p> <p>图 15 标注在形位公差的框格上(二)</p>	<p>表面结构要求可标注在形位公差框格的上方,见图 14、图 15</p>

9. 表面结构要求在图样和其他技术产品文件中的标注

表面结构符号、代号的标注位置与方向

		图 例	意义及说明
9. 表面结构要求在图样和其他技术产品文件中的标注	表面结构符号、代号的标注位置与方向	<p>图 16 标注在延长线上</p>	<p>表面结构要求可以直接标注在延长线上,或用带箭头的指引线引出标注,见图 16</p>
	标注在圆柱和棱柱表面上	<p>图 17 标注在圆柱或棱柱表面上</p>	<p>圆柱和棱柱表面的表面结构要求只标注一次,见图 16。如果每个棱柱表面有不同的表面结构要求,则应分别单独标注,见图 17</p>
	有相同表面结构要求的简化注法	<p>图 18 简化注法(一)      图 19 简化注法(二)</p>	<p>如果在工件的多数(包括全部)表面有相同的表面结构要求,则其表面结构要求可统一标注在图样的标题栏附近。此时,表面结构要求的符号后面应有:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 在圆括号内给出无任何其他标注的基本符号,见图 18</li> <li>② 在圆括号内给出不同的表面结构要求,见图 19。不同的表面结构要求应直接标注在图形中,见图 18、图 19</li> </ol>
	表面结构要求的简化注法	<p>当多个表面具有相同的表面结构要求或图纸空间有限时,可以采用简化注法</p> <p>图 20 简化注法(三)</p>	<p>可用带字母的完整符号,以等式的形式,在图形或标题栏附近,对有相同表面结构要求的表面进行简化标注,见图 20</p>
多个表面有共同要求的注法	<p>图 21 简化注法(四)</p> <p>图 22 简化注法(五)</p> <p>图 23 简化注法(六)</p>	<p>可用本表第 1 项的基本图形符号和扩展图形符号,以等式的形式给出对多个表面共同的表面结构要求,见图 21 ~ 图 23</p>	



9. 表面结构要求在图样和其他技术产品文件中的标注	图 例	意义及说明
10. 控制表面功能的最少标注(标准附录 D)	 <p>图 24 两种或多种工艺获得的同一表面的注法</p>	<p>由几种不同的工艺方法获得的同一表面,当需要明确每种工艺方法的表面结构要求时,可按图 24 进行标注(表面处理的有关代号见第 1 篇第 7 章表面处理)</p>

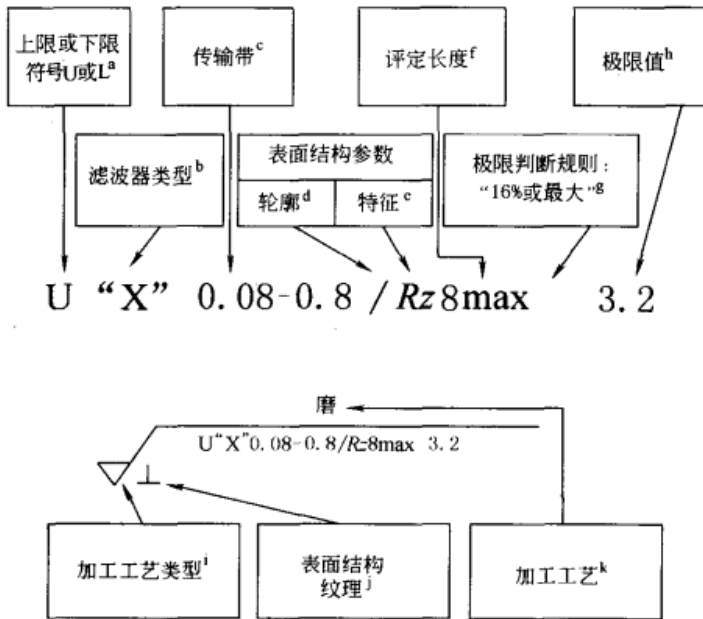


图 25 控制表面功能的最少标注

- a 上限或下限符号 U 或 L, 详见本表第 4 项“单项极限或双向极限的标注”
- b 滤波器类型“X”。标准滤波器是高斯滤波器(GB/T 18777)。以前的标准滤波器是 2RC 滤波器。将来也可能对其他滤波器进行标准化。在转换期间,在图样上标注滤波器类型对某些公司比较方便。滤波器类型可以标注为“高斯滤波器”或“2RC”。滤波器名称并没有标准化,但这里所建议的标注名称是明确的,无争议的
- c 传输带标注为短波或长波滤波器,详见本表第 4 项“传输带和取样长度的标注”
- d 轮廓(R、W 或 P), 详见本表第 4 项“参数代号的标注”
- e 特征/参数, 详见本表第 4 项
- f 评定长度包含若干取样长度, 详见本表第 4 项“评定长度(Ln)的标注”
- g 极限判断规则(“16% 规则”或“最大化规则”), 详见本表第 4 项“极限值判断规则的标注”
- h 以微米为单位的极限值
- i 加工工艺类型, 详见本表第 1 项“标注表面结构的图形符号”
- j 表面结构纹理, 详见本表第 6 项“表面纹理的标注”
- k 加工工艺, 详见本表第 5 项“加工方法或相关信息的标注”

表面结构要求通过几个不同的控制元素建立,它们可以是图样中标注的一部分或在其他文件中给出的文本标注,这些元素见图 25

经验证明,所有这些元素对于表面结构要求和表面功能之间形成明确关系是必要的。只有在很少的情况下,当不会导致歧义时,其中的一些元素才可以省略。而多数元素对于设置仪器的测量条件(图 25 中 b、c、d、e、f)是必要的,其余元素对于明确评价测量结果并与所要求的极限进行比较也是必要的

为了简化表面结构要求的标注,定义了一系列的默认值,例如,极限值判断规则、传输带和评定长度(如标注 Ra1.6 和 Rz6.3),如果默认定义不存在,全部的信息都应该标注在图样的表面结构要求中

当表面结构参数存在默认定义时,标注有如下的两种可能性:

- ① 使用全部默认定义(标准中给出),在图样中虽能简化注法,但它不能保证按照标准的默认定义作出的选择适合于具体的表面功能控制任务
- ② 在图样中标注所有可能的要求和细节,是根据表面结构要求和表面功能之间已知的客观关系确定。此情况通常应用于对工件功能重要的表面,即表面结构对功能是关键

## 3.2 表面结构要求图形标注的新旧标准对照

表 2-4-12

GB/T 131 的版本			
GB/T 131—1983 <sup>①</sup>	GB/T 131—1993 <sup>②</sup>	GB/T 131—2006 <sup>③</sup>	说明主要问题的示例
			Ra 只采用“16%规则”
			除了 Ra “16%规则”的参数
— <sup>④</sup>			“最大规则”
			Ra 加取样长度
— <sup>④</sup>	— <sup>④</sup>		传输带
			除 Ra 外其他参数及取样长度
			Ra 及其他参数
— <sup>④</sup>			评定长度中的取样长度个数如果不是 5
— <sup>④</sup>	— <sup>④</sup>		下限值
			上、下限值

① 既没有定义默认值也没有其他的细节，尤其是无默认评定长度、无默认取样长度、无“16%规则”或“最大规则”。

② 在 GB/T 3505—1983 和 GB/T 10610—1989 中定义的默认值和规则仅用于参数 Ra、Ry 和 Rz（十点高度）。此外，GB/T 131—1993 中存在参数代号书写不一致问题，标准正文要求参数代号第二个字母标注为下标，但在所有的图表中，第二个字母都是小写，而当时所有的其他表面结构标准都使用下标。

③ 新的 Rz 为原 Ry 的定义，原 Ry 的符号不再使用。

④ 表示没有该项。

## 3.3 表面结构代号的含义及表面结构要求的标注示例

表 2-4-13 表面结构代号的含义示例

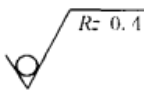
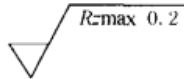
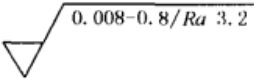
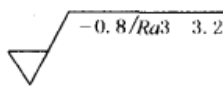
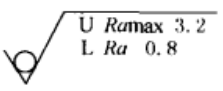
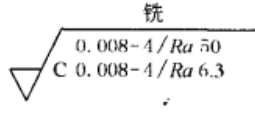
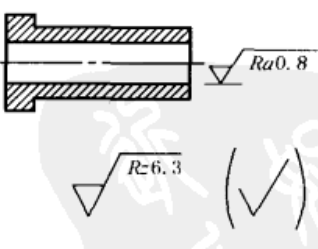
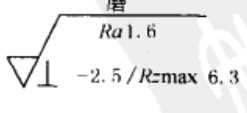
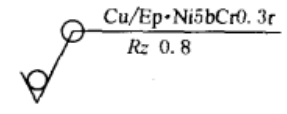
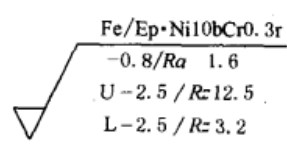
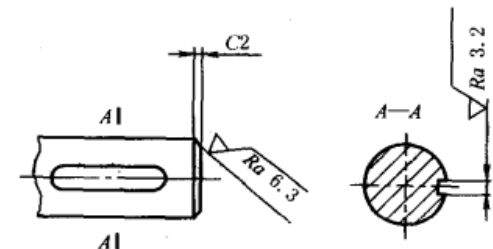
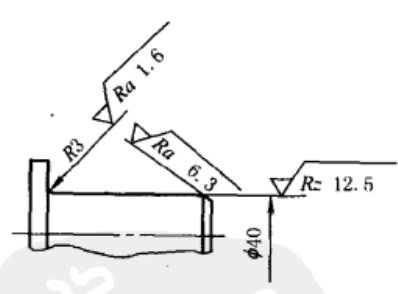
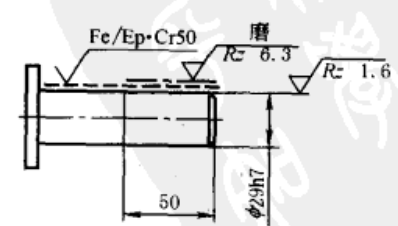
代 号	含 义
	表示不允许去除材料,单向上限值,默认传输带, $R$ 轮廓,粗糙度的最大高度 $0.4\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认),“16%规则”(默认)
	表示去除材料,单向上限值,默认传输带, $R$ 轮廓,粗糙度最大高度的最大值 $0.2\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认),“最大规则”
	表示去除材料,单向上限值,传输带 $0.008 - 0.8\text{mm}$ , $R$ 轮廓,算术平均偏差 $3.2\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认),“16%规则”(默认)
	表示去除材料,单向上限值,传输带——根据 GB/T 6062,取样长度 $0.8\mu\text{m}$ ( $\lambda_s$ 默认 $0.0025\text{mm}$ ), $R$ 轮廓,算术平均偏差 $3.2\mu\text{m}$ ,评定长度包含 3 个取样长度,“16%规则”(默认)
	表示不允许去除材料,双向极限值,两极限值均使用默认传输带, $R$ 轮廓,上限值——算术平均偏差 $3.2\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认),“最大规则”,下限值——算术平均偏差 $0.8\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认),“16%规则”(默认)

表 2-4-14 表面结构要求的标注示例

要 求	示 例
<p>表面粗糙度:</p> <p>双向极限值;上限值为 <math>Ra = 50\mu\text{m}</math>,下限值为 <math>Ra = 6.3\mu\text{m}</math>;均为“16%规则”(默认);两个传输带均为 <math>0.008-4\text{mm}</math>;默认的评定长度 <math>5 \times 4\text{mm} = 20\text{mm}</math>;表面纹理呈近似同心圆且圆心与表面中心相关;加工方法为铣削;不会引起争议时,不必加 <math>U</math> 和 <math>L</math></p>	
<p>除一个表面以外,所有表面的粗糙度:</p> <p>单向上限值;<math>Rz = 6.3\mu\text{m}</math>;“16%规则”(默认);默认传输带;默认评定长度 (<math>5 \times \lambda_s</math>);表面纹理没有要求;去除材料的工艺</p> <p>不同要求的表面的表面粗糙度</p> <p>单向上限值;<math>Ra = 0.8\mu\text{m}</math>;“16%规则”(默认);默认传输带;默认评定长度 (<math>5 \times \lambda_s</math>);表面纹理没有要求;去除材料的工艺</p>	
<p>表面粗糙度:</p> <p>两个单向上限值;</p> <p>① <math>Ra = 1.6\mu\text{m}</math> 时:“16%规则”(默认)(GB/T 10610);默认传输带(GB/T 10610 和 GB/T 6062);默认评定长度 (<math>5 \times \lambda_s</math>)(GB/T 10610);</p> <p>② <math>Rz_{\text{max}} = 6.3\mu\text{m}</math> 时:最大规则;传输带 <math>-2.5\mu\text{m}</math>(GB/T 6062);评定长度默认 <math>5 \times 2.5\text{mm}</math>;表面纹理垂直于视图的投影面;加工方法为磨削</p>	

要 求	示 例
<p>表面粗糙度: 单向上限值; <math>R_z = 0.8 \mu\text{m}</math>; “16% 规则”(默认)(GB/T 10610); 默认传输带(GB/T 10610 和 GB/T 6062); 默认评定长度(<math>5 \times \lambda_c</math>)(GB/T 10610); 表面纹理没有要求; 表面处理为铜件, 镀镍/铬; 表面要求对封闭轮廓的所有表面有效</p>	 <p>Cu/Ep·Ni5bCr0.3r <math>R_z 0.8</math></p>
<p>表面粗糙度: 单向上限和一个双向极限值; ① 单向 <math>R_a = 1.6 \mu\text{m}</math> 时, “16% 规则”(默认)(GB/T 10610); 传输带 <math>-0.8\text{mm}</math> (<math>\lambda_c</math> 根据 GB/T 6062 确定); 评定长度 <math>5 \times 0.8 = 4\text{mm}</math> (GB/T 10610); ② 双向 <math>R_z</math> 时, 上限值 <math>R_z = 12.5 \mu\text{m}</math>, 下限值 <math>R_z = 3.2 \mu\text{m}</math>; “16% 规则”(默认); 上、下极限传输带均为 <math>-2.5\text{mm}</math> (<math>\lambda_c</math> 根据 GB/T 6062 确定); 上、下极限评定长度均为 <math>5 \times 2.5 = 12.5\text{mm}</math> (GB/T 10610), 即使不会引起争议, 也可以标注 U 和 L 符号; 表面处理为铜件, 镀镍/铬</p>	 <p>Fe/Ep·Ni10bCr0.3r <math>-0.8/R_a 1.6</math> U <math>-2.5 / R_z 12.5</math> L <math>-2.5 / R_z 3.2</math></p>
<p>表面结构和尺寸可以标注在同一尺寸线上 键槽侧壁的表面粗糙度: 一个单向上限值; <math>R_a = 3.2 \mu\text{m}</math>; “16% 规则”(默认)(GB/T 10610); 默认评定长度(<math>5 \times \lambda_c</math>)(GB/T 10610); 默认传输带(GB/T 10610 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 去除材料的工艺 倒角的表面粗糙度: 一个单向上限值; <math>R_a = 6.3 \mu\text{m}</math>; “16% 规则”(默认)(GB/T 10610); 默认评定长度(<math>5 \times \lambda_c</math>)(GB/T 10610); 默认传输带(GB/T 10610 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 去除材料的工艺</p>	
<p>表面结构和尺寸可以一起标注在延长线上或分别标注在轮廓线和尺寸界线上 示例中的三个表面粗糙度要求: 单向上限值; 分别是 <math>R_a = 1.6 \mu\text{m}</math>; <math>R_a = 6.3 \mu\text{m}</math>; <math>R_z = 12.5 \mu\text{m}</math>; “16% 规则”(默认)(GB/T 10610); 默认评定长度(<math>5 \times \lambda_c</math>)(GB/T 10610); 默认传输带(GB/T 10610 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 去除材料的工艺</p>	
<p>表面结构、尺寸和表面处理的标注: 该示例是三个连续的加工工序 第一道工序: 单向上限值; <math>R_z = 1.6 \mu\text{m}</math>; “16% 规则”(默认)(GB/T 10610); 默认评定长度(<math>5 \times \lambda_c</math>)(GB/T 10610); 默认传输带(GB/T 10610 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 去除材料的工艺 第二道工序: 镀铬, 无其他表面结构要求 第三道工序: 一个单向上限值, 仅对长为 50mm 的圆柱表面有效; <math>R_z = 6.3 \mu\text{m}</math>; “16% 规则”(默认)(GB/T 10610); 默认评定长度(<math>5 \times \lambda_c</math>)(GB/T 10610); 默认传输带(GB/T 10610 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 磨削加工工艺</p>	

## 4 表面结构参数的选择

### 4.1 表面粗糙度对零件功能的影响

#### (1) 对配合性质的影响

配合性质要求稳定的结合面、动配合配合间隙小的表面、要求连接牢固可靠承受载荷大的静配合表面  $R_a$  值要低。尺寸要求愈精确、公差值愈小的表面粗糙度数值要求愈低。同一公差等级的小尺寸比大尺寸（特别是 1~3 级公差等级）或同一公差等级的轴比孔的  $R_a$  值要低。配合性质相同，零件尺寸愈小的表面，它的  $R_a$  值愈低。同一零件上工作表面的粗糙度值比非工作表面的低。

#### (2) 对摩擦面的影响

摩擦表面比非摩擦表面、滚动摩擦表面比滑动摩擦表面、运动速度高的表面比运动速度低的表面、单位压力大的摩擦面比单位压力小的摩擦面的  $R_a$  值要低。

#### (3) 对抗疲劳强度的影响

受循环载荷的表面及易引起应力集中的部分如圆角、沟槽处的  $R_a$  值要低。粗糙度对零件疲劳强度的影响程度随其材料不同而异，对铸铁件的影响不甚明显，对于钢件则强度愈高影响愈大。

#### (4) 对接触刚度的影响

两粗糙表面接触时，在外力作用下，易产生接触变形，因此，降低  $R_a$  值可提高结合件的接触刚度。

#### (5) 对冲击强度的影响

钢件表面的冲击强度随表面粗糙度  $R_a$  值的降低而提高，在低温状态下，尤为明显。

#### (6) 对耐腐蚀性的影响

表面粗糙则零件表面上的腐蚀性气体或液体易于积聚，而且向零件表面层渗透，加剧腐蚀，因此，在有腐蚀性气体或液体条件下工作的零件表面的  $R_a$  值要低。

#### (7) 对结合处密封性的影响

表面愈粗糙，泄漏愈厉害。对有相对滑动的动力密封表面，由于相对运动，其微观不平度一般为  $4 \sim 5 \mu\text{m}$ ，用以储存润滑油较为有利，如表面太光滑，不仅不利于储存润滑油，反而会引起摩擦磨损。此外，密封性的好坏也和加工纹理方向有关。

#### (8) 对振动和噪声的影响

机械设备的运动副表面粗糙不平，运转中会产生振动及噪声，以高速运转的滚动轴承、齿轮及发动机曲轴、凸轮轴等零部件，这类现象更为明显，因此，运动副表面粗糙度  $R_a$  值愈低，则运动件愈平稳无声。

#### (9) 对表面电流的影响

当高频电流在导体表面流通时，电流聚集在导体表面  $1 \mu\text{m}$  深的薄层中，由于表面粗糙度的影响，表面电阻的实际值要超过理论值。

#### (10) 对金属表面涂镀质量的影响

工件镀锌、铬、铜后，其表面微观不平度的深度比镀前增加一倍，而镀镍后，则会比镀前减小一半。又因粗糙的表面能吸收喷涂金属层冷却时产生的拉伸应力，故不易产生裂纹，在喷涂金属前需使其表面有一定的粗糙度。

#### (11) 对测量精度的影响

由于工件表面有微观不平度，测量时，测量杆实际接触在峰顶上，虽然测量力不大，但接触面积小，单位面积上的力却不小，于是引起一定的接触变形。由于表面微观不平度有一定的峰谷起伏，如测量时，测量头和被测表面间要作相对滑动，这使测量杆也随被测表面的峰谷起伏而上下波动，影响到示值也有波动。

在用光波干涉法测量量块时，由于光射到表面上再反射回来的过程中，对各种不同材料的表面有不同的微量透入深度，致使反射出的光波和入射光波之间产生一个相移。在石英、玻璃等绝缘体表面上，透入深度实际为零，而在钢等导体表面上就不一样。对很好抛光过的钢的表面，透入深度约为  $0.018 \mu\text{m}$ 。所以当钢制量块粘合在石英平晶上作干涉测量时，对所测量的结果要加一个  $+0.018 \mu\text{m}$  的修正量。表面粗糙度对光透入材料的深度有影响。量块表面的  $R_a$  值一般为  $0.007 \sim 0.012 \mu\text{m}$ ，这使光的透入深度也发生变化。在同一套量块中相差可达  $0.06 \mu\text{m}$ 。

## (12) 对流体流动阻力的影响

流体在管道中流动时,受到阻力。当管道内发生紊流时,摩擦阻力就大。管壁的粗糙度  $\varepsilon = R_z/r$  ( $r$  为管孔半径) 的数值可作为是否发生紊流的一个指标。管径愈小,流速愈大,管壁表面粗糙度对摩擦损失的影响愈大。摩擦阻力和微观不平度深度与层流层厚度之比有关,也和微观不平度轮廓形状有关,特别是和微观不平度峰谷侧面的倾斜角有关。

表面粗糙度参数 (GB/T 1031—1995) 与零件功能之间的影响关系见表 2-4-15。

表 2-4-15 表面粗糙度参数影响零件功能的情况

零件功能		$R_a$	$R_z$	$R_y$	$S_m$	$S$	$t_p$	$r$	$r'$	表面加工纹理
耐磨性	干摩擦	(+)	(+)	(+)	(+)		+	+		+
	摩擦	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+	(+)	+
	带润滑摩擦	+	(+)	(+)	+	(+)	+	(+)	(+)	+
	选择性转移	(+)	(+)	(+)	(+)		(+)	(+)	(+)	+
疲劳强度		(+)	(+)	+	(+)				+	+
接触刚度		(+)	(+)	(+)	(+)		+	+		+
抗振性		(+)	(+)	(+)	+		+	+		+
耐腐蚀性		(+)	(+)	(+)	+	(+)	(+)		(+)	
过盈连接强度		(+)	(+)		(+)		+	+		+
连接密封性		+	(+)	(+)	(+)	(+)	+			+
涂层粘贴强度		(+)	+	(+)	+		(+)	(+)	(+)	+
流体流动阻力		(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	(+)	+	+

注:  $r$  为轮廓峰顶曲率半径;  $r'$  为轮廓谷底曲率半径; + 表示此参数对所指零件功能有一定的影响; (+) 表示此参数对所指零件功能有较大的影响。

## 4.2 表面粗糙度参数的选择

① 轮廓算术平均偏差  $R_a$  是各国普遍采用的一个参数,在表面粗糙度的常用参数值范围内 (即  $R_a$  为  $0.025 \sim 6.3 \mu\text{m}$ ,  $R_z$  为  $0.1 \sim 25 \mu\text{m}$  范围内) 推荐优先选用  $R_a$ 。 $R_a$  既能反映加工表面的微观几何形状特征又能反映凸峰高度。微观不平度十点高度  $R_z$  概念较严密、直观,也用得较多,但反映的表面信息较局限,只能反映被测表面轮廓突出的五个峰和谷的数值,不能全面反映轮廓微观几何特征。由于工厂现有测量仪器只能测得  $R_z$  的范围为  $R_z > 6.3 \mu\text{m}$ 、 $R_z < 0.025 \mu\text{m}$ , 因此这些范围适于选用  $R_z$ , 且在零件表面不需评定其综合微观几何形状特征时用。轮廓最大高度  $R_y$  只能反映表面轮廓的最大高度,不能反映轮廓的微观几何形状特征,对某些表面不允许出现微观较深的加工痕迹 (影响疲劳强度) 和小零件表面 (如轴承、仪表等) 有其实用意义。 $R_y$  可和  $R_z$  或  $R_a$  同时选用,以控制多功能的要求,但  $R_z$  和  $R_a$  不能同时选用。

② 对于零件表面,一般选用高度参数  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_y$  控制表面粗糙度已能满足功能要求,但对某些关键零件有更多的功能要求时,如由于涂漆性能、抗振性、耐腐蚀性、减小流体流动摩擦阻力等附加要求,就要选用  $S_m$  或  $S$  来控制表面微观不平度横向间距的细密度。对耐磨性、接触刚度要求高的零件 (如轴瓦、轴承、量具等) 要附加选用形状参数  $t_p$ , 以控制加工表面质量。在给定  $t_p$  值时,必须同时给出轮廓水平截距  $C$  的值。附加评定参数  $S_m$ 、 $S$ 、 $t_p$  见标准 GB/T 1031—1995 全文。

## 4.3 表面粗糙度参数值的选择

零件表面粗糙度参数值的合理选用直接关系到零件的性能、产品的质量、使用寿命和生产成本。每个零件按照它的功能要求,其表面都有一个相应的合理参数值范围。在满足零件表面功能的前提下,应尽量选用较大的粗糙度参数值。

### 4.3.1 选用原则

通常表面粗糙度参数值的选用可以考虑下列一些原则。

- ① 同一零件上,工作表面的粗糙度应小于非工作表面的粗糙度值。
- ② 工作过程中摩擦表面粗糙度参数值应小于非摩擦表面的粗糙度参数值,滚动摩擦表面的粗糙度参数值应小于滑动摩擦表面的粗糙度参数值。
- ③ 对承受变动载荷的零件表面及最易产生应力集中的部位应选用较小的粗糙度参数值。
- ④ 接触刚度要求较高的表面,应选取较小的粗糙度参数值。
- ⑤ 运动精度要求高的表面,应选取较小的粗糙度参数值。
- ⑥ 承受腐蚀的零件表面,应选取较小的粗糙度参数值。
- ⑦ 配合性质和公差相同的零件、基本尺寸较小的零件以及要求配合稳定可靠的零件表面,其粗糙度参数值应选取较小的值。
- ⑧ 在间隙配合中,间隙越小,粗糙度参数值也应越小;在条件相同时,间隙配合表面的粗糙度参数值应比过盈配合表面的粗糙度参数值小;在过盈配合中,为了保证连接强度,应选取较小的粗糙度参数值。
- ⑨ 同样尺寸公差精度等级的轴表面的粗糙度参数值应比孔的参数值小。
- ⑩ 一般情况下尺寸公差要求越小,表面应越光滑。但对于操作件等外露件,如机床的手柄、手轮以及食用工具、卫生用品等,虽然它们没有配合或装配功能要求,尺寸公差往往较大,但为了美观和使用安全,应选用较小的粗糙度参数值。

### 4.3.2 表面粗糙度参数值选用实例

- ① 一些常见表面的粗糙度参数值的选用(表2-4-16、表2-4-17)。

表 2-4-16 表面粗糙度选用举例

$R_a/\mu\text{m}$ (不大于)	相当表面 光洁度	表面状况	加工方法	应用举例
100	▽1	明显可见的 刀痕	粗车、镗、刨、钻	粗加工的表面,如粗车、粗刨、切断等表面,用粗锉刀和粗砂轮等加工的表面,一般很少采用
25、50	▽2 ▽3			粗加工后的表面,焊接前的焊缝、粗钻孔壁等
12.5	▽4 ▽3	可见刀痕	粗车、刨、铣、钻	一般非结合表面,如轴的端面、倒角、齿轮及带轮的侧面、键槽的非工作表面,减重孔眼表面等
6.3	▽5 ▽4	可见加工痕迹	车、镗、刨、钻、 铣、锉、磨、粗铰、 铣齿	不重要零件的非配合表面,如支柱、支架、外壳、衬套、轴、盖等的端面,紧固件的自由表面,紧固件通孔的表面,内、外花键的非定心表面,不作为计量基准的齿轮顶圆表面等
3.2	▽6 ▽5	微见加工痕迹	车、镗、刨、铣、刮 1~2点/cm <sup>2</sup> 、拉、 磨、锉、滚压、铣齿	和其他零件连接不形成配合的表面,如箱体、外壳、端盖等零件的端面;要求有定心及配合特性的固定支承面如定心的轴肩,键和键槽的工作表面;不重要的紧固螺纹的表面;需要滚花或氧化处理的表面等
1.6	▽7 ▽6	看不清加工 痕迹	车、镗、刨、铣、 铰、拉、磨、滚压、刮 1~2点/cm <sup>2</sup> 、铣齿	安装直径超过80mm的0级轴承的外壳孔,普通精度齿轮的齿面,定位销孔,V带轮的表面,外径定心的内花键外径,轴承盖的定中心凸肩表面等
0.8	▽8 ▽7	可辨加工痕迹 的方向	车、镗、拉、磨、立 铣、刮3~10点/ cm <sup>2</sup> 、滚压	要求保证定心及配合特性的表面,如锥销与圆柱销的表面,与0级精度滚动轴承相配合的轴颈和外壳孔;中速转动的轴颈,直径超过80mm的5.6级滚动轴承配合的轴颈与外壳孔及内、外花键的定心内径,外花键键侧及定心外径,过盈配合IT7级的孔(H7),间隙配合IT8、IT9级的孔(H8、H9),磨削的轮齿表面等

续表

$R_a/\mu\text{m}$ (不大于)	相当表面 光洁度	表面状况	加工方法	应用举例
0.4	▽9 ▽8	微辨加工痕迹 的方向	铰、磨、锉、拉、刮 3 ~ 10 点/cm <sup>2</sup> 、 滚压	要求长期保持配合性质稳定的配合表面, IT7 级的轴、孔配合表面, 精度较高的轮齿表面, 受变应力作用的重要零件, 与直径小于 80mm 的 5.6 级轴承配合的轴颈表面, 与橡胶密封件接触的轴表面, 尺寸大于 120mm 的 IT13 ~ IT16 级孔和轴用量规的测量表面
0.2	▽10 ▽9	不可辨加工痕迹 的方向	布轮磨、磨、研 磨、超级加工	工作时受变应力作用的重要零件的表面; 保证零件的疲劳强度、防腐性和耐久性, 并在工作时不破坏配合性质的表面, 如轴颈表面、要求气密的表面和支承表面、圆锥定心表面等; IT5、IT6 级配合表面, 高精度齿轮的齿面, 与 4 级滚动轴承配合的轴颈表面, 尺寸大于 315mm 的 IT7 ~ IT9 级孔和轴用量规及尺寸大于 120 至 315mm 的 IT10 ~ IT12 级孔和轴用量规的测量表面等
0.1	▽11 ▽10	暗光泽面	超级加工	工作时承受较大变应力作用的重要零件的表面; 保证精确定心的锥体表面; 液压传动用的孔表面; 汽缸套的内表面, 活塞销的外表面, 仪器导轨面, 阀的工作面; 尺寸小于 120mm 的 IT10 ~ IT12 级孔和轴用量规测量面等
0.05	▽12 ▽11	亮光泽面		保证高度气密性的接合表面, 如活塞、柱塞和汽缸内表面; 摩擦离合器的摩擦表面; 对同轴度有精确要求的轴和孔; 滚动导轨中的钢球或滚子和高速摩擦的工作表面
0.025	▽13 ▽12	镜状光泽面		高压柱塞泵中柱塞和柱塞套的配合表面, 中等精度仪器零件配合表面, 尺寸大于 120mm 的 IT6 级孔用量规、小于 120mm 的 IT7 ~ IT9 级孔和轴用量规测量表面
0.012	▽14 ▽13	雾状镜面		仪器的测量表面和配合表面, 尺寸超过 100mm 的块规工作面
0.008	▽14			块规的工作表面, 高精度测量仪器的测量面, 高精度仪器摩擦机构的支承表面

表 2-4-17

常用工作表面的表面粗糙度  $R_a$

$\mu\text{m}$

	公差等级	表面	基本尺寸/mm			
			≤50	>50 ~ 500		
配合表面(间隙过渡)	5	轴	0.2	0.4		
			孔	0.4	0.8	
	6	轴		0.4	0.8	
			孔	0.4 ~ 0.8	0.8 ~ 1.6	
	7	轴		0.4 ~ 0.8	0.8 ~ 1.6	
孔			0.8	1.6		
	8	轴	0.8	1.6		
孔			0.8 ~ 1.6	1.6 ~ 3.2		
	过盈配合	公差等级	表面	基本尺寸/mm		
≤50				>50 ~ 120	>120 ~ 500	
压入装配		5	轴	0.1 ~ 0.2	0.4	0.4
				孔	0.2 ~ 0.4	0.8
		6,7	轴		0.4	0.8
				孔	0.8	1.6
8	轴	0.8	0.8 ~ 1.6		1.6 ~ 3.2	
		孔	1.6	1.6 ~ 3.2	1.6 ~ 3.2	
热装	—		轴	1.6		
		孔		1.6 ~ 3.2		



分组装配的零件表面	表面	分组公差/ $\mu\text{m}$					
		<2.5	2.5	5	10	20	
	轴孔	0.05 0.1	0.1 0.2	0.2 0.4	0.4 0.8	0.8 1.6	
高定心精度的配合表面	表面	径向跳动公差/ $\mu\text{m}$					
		2.5	4	6	10	16	25
	轴孔	0.05 0.1	0.1 0.2	0.1 0.2	0.2 0.4	0.4 0.8	0.8 1.6
滑动轴承表面	表面	公差等级			流体润滑		
		IT6 ~ IT9		IT10 ~ IT12			
	轴孔	0.4 ~ 0.8 0.8 ~ 1.6		0.8 ~ 3.2 1.6 ~ 3.2		0.1 ~ 0.4 0.2 ~ 0.8	
滚压系统的油缸活塞等表面	表面	高压		普通压力	低压		
		直径 $\leq 10\text{mm}$	直径 $> 10\text{mm}$				
	轴孔	0.025 0.05	0.05 0.1	0.1 0.2	0.2 0.4		
密封材料处的孔轴表面	密封材料		速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$				
			$\leq 3$	5	$> 5$		
	橡胶		0.8 ~ 1.6 抛光	0.4 ~ 0.8 抛光	0.2 ~ 0.4 抛光		
	毛毡		0.8 ~ 1.6 抛光				
	迷宫式的		3.2 ~ 6.3				
涂油槽的		3.2 ~ 6.3					
导轨面	性质	速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	平面度公差/ $\mu\text{m} \cdot (100\text{mm})^{-1}$				
			$\leq 6$	10	20	60	$> 60$
	滑动	$\leq 0.5$	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2
		$> 0.5$	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
	滚动	$\leq 0.5$	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
$> 0.5$		0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	
端面支承表面、端面轴承等	速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		端面跳动公差/ $\mu\text{m}$				
			$\leq 6$	16	25	$> 25$	
	$\leq 0.5$		0.1	0.4	0.8 ~ 1.6	3.2	
		$> 0.5$	0.1	0.2	0.8	1.6	
球面支承	面轮廓度公差/ $\mu\text{m}$						
	$\leq 30$			$> 30$			
	0.8			1.6			
端面接触不动的支承面(法兰等)	垂直度公差/ $\mu\text{m} \cdot (100\text{mm})^{-1}$						
	$\leq 25$		60		$> 60$		
	1.6		3.2		6.3		

续表

箱体分界面(减速箱)	类 型		有 垫 片			无 垫 片					
	密封的		3.2~6.3			0.8~1.6					
	不密封的		6.3~12.5			6.3~12.5					
与其他零件接触但不是配合面			3.2~6.3								
凸轮和靠模工作面	类 型		线轮廓度公差/ $\mu\text{m}$								
			$\leq 6$	30	50	> 50					
	用刀口或滑块		0.4	0.8	1.6	3.2					
		用滚柱	0.8	1.6	3.2	6.3					
V带轮和平带轮工作面			带轮直径/mm								
			$\leq 120$	> 120~315		> 315					
			1.6	3.2		6.3					
摩擦传动中的工作面			与尺寸大小及工作条件有关								
			0.2~0.8								
摩擦件工作面	摩擦片、离合器		压块式		离合器		片式				
			1.6~3.2		0.8~1.6		0.1~0.8				
	制动鼓轮		鼓轮直径/mm								
			$\leq 500$				> 500				
		0.8~1.6		1.6~6.3							
圆锥结合工作面			密封结合		对中结合		其他				
			0.1~0.4		0.4~1.6		1.6~6.3				
键结合	类型		键		轴上键槽		毂上键槽				
	不动结合	工作面	3.2		1.6~3.2		1.6~3.2				
		非工作面	6.3~12.5		6.3~12.5		6.3~12.5				
	用导向键	工作面	1.6~3.2		1.6~3.2		1.6~3.2				
		非工作面	6.3~12.5		6.3~12.5		6.3~12.5				
渐开线花键结合	类型		孔槽	轴齿	定心面		非定心面				
					孔	轴	孔	轴			
	不动结合		1.6~3.2	1.6~3.2	0.8~1.6	0.4~0.8	3.2~6.3	1.6~6.3			
	动结合		0.8~1.6	0.4~0.8	0.8~1.6	0.4~0.8	3.2	1.6~6.3			
螺 纹	类型		螺纹精度等级								
			4,5		6,7		8,9				
	紧固螺纹		1.6		3.2		3.2~6.3				
	在轴上、杆上和套上螺纹		0.8~1.6		1.6		3.2				
	丝杠和起重螺纹		—		0.4		0.8				
丝杠螺母和起重螺母		—		0.8		1.6					
齿轮和蜗轮传动	类型		精度等级								
			3	4	5	6	7	8	9	10	11
	直齿、斜齿、人字齿 蜗轮(圆柱)齿面		0.1~ 0.2	0.2~ 0.4	0.2~ 0.4	0.4	0.4~ 0.8	1.6	3.2	6.3	6.3
	圆锥齿轮齿面				0.2~ 0.4	0.4~ 0.8	0.4~ 0.8	0.8~ 1.6	1.6~ 3.2	3.2~ 6.3	6.3
	蜗杆牙型面		0.1	0.2	0.2	0.4	0.4~ 0.8	0.8~ 1.6	1.6~ 3.2		
	根圆		与工作面同或接近的更粗些的优先数								
顶圆		3.2~12.5									
链 轮	类型		应用精度								
			普通的				提高的				
	工作面		3.2~6.3				1.6~3.2				
	根圆		6.3				3.2				
	顶圆		3.2~12.5				3.2~12.5				

分度机构表面如分度板、插销		定位精度/ $\mu\text{m}$					
		$\leq 4$	6	10	25	63	$> 63$
		0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2
齿轮、链轮和蜗轮的非工作端面	3.2 ~ 12.5	影响零件平衡的表面		直径			
孔和轴的非工作表面	6.3 ~ 12.5			$\leq 180$	$> 180 \sim 500$	$> 500$	
倒角、倒圆、退刀槽等	3.2 ~ 12.5			1.6 ~ 3.2	6.3	12.5 ~ 25	
螺栓、螺钉等用的通孔	25	光学读数的精密刻度尺		0.025 ~ 0.05			
精制螺栓和螺母	3.2 ~ 12.5	普通精度刻度尺		0.8 ~ 1.6			
半精制螺栓和螺母	25	刻度盘		0.8			
螺钉头表面	3.2 ~ 12.5	操纵机构表面(如手轮、手柄)		0.4 ~ 1.6			
压簧支承表面	12.5 ~ 25	指示表面、其他需光整表面		抛光或镀层			
床身、箱体上的槽和凸起	12.5 ~ 25	离合器、支架、轮辐等和其他件不接触的表面		6.3 ~ 12.5			
准备焊接的倒棱	50 ~ 100						
在水泥、砖或木质基础上的表面	100 或更大	高速转动的凸出面(轴端等)		1.6 ~ 6.3			
对疲劳强度有影响的非结合表面	0.2 ~ 0.4 抛光	外观要求高的表面		6.3			
影响蒸汽和气流的面	特别精密	0.2 抛光	其他表面	中、小零件	3.2 ~ 12.5		
	一般	0.8 ~ 1.6		大零件	6.3 ~ 25		

注：本表数据仅供参考。

② 参考尺寸公差、形状公差与表面粗糙度的关系选择表面粗糙度(表 2-4-18 ~ 表 2-4-20)。

一般情况下，表面形状公差值  $t$ 、尺寸公差值  $T$  与  $R_a$ 、 $R_z$  之间，有如下的经验对应关系：

$$\begin{aligned} \text{若 } t \approx 0.6T \quad \text{则 } R_a &\leq 0.05T; R_z \leq 0.2T \\ t \approx 0.4T \quad R_a &\leq 0.025T; R_z \leq 0.1T \\ t \approx 0.25T \quad R_a &\leq 0.012T; R_z \leq 0.05T \\ t < 0.25T \quad R_a &\leq 0.15t; R_z \leq 0.6t \end{aligned}$$

表 2-4-18 轴、孔公差等级与表面粗糙度的对应关系

公差等级	轴		孔		公差等级	轴		孔	
	基本尺寸 /mm	粗糙度参数 $R_a/\mu\text{m}$	基本尺寸 /mm	粗糙度参数 $R_a/\mu\text{m}$		基本尺寸 /mm	粗糙度参数 $R_a/\mu\text{m}$	基本尺寸 /mm	粗糙度参数 $R_a/\mu\text{m}$
IT5	$\leq 6$	0.10	$\leq 6$	0.10	IT9	$\leq 6$	0.80	$\leq 6$	0.80
	$> 6 \sim 30$	0.20	$> 6 \sim 30$	0.20		$> 6 \sim 120$	1.60	$> 6 \sim 120$	1.60
	$> 30 \sim 180$	0.40	$> 30 \sim 180$	0.40		$> 120 \sim 400$	3.20	$> 120 \sim 400$	3.20
	$> 180 \sim 500$	0.80	$> 180 \sim 500$	0.80		$> 400 \sim 500$	6.30	$> 400 \sim 500$	6.30
IT6	$\leq 10$	0.20	$\leq 50$	0.40	IT10	$\leq 10$	1.60	$\leq 10$	1.60
	$> 10 \sim 80$	0.40	$> 50 \sim 250$	0.80		$> 10 \sim 120$	3.20	$> 10 \sim 180$	3.20
	$> 80 \sim 250$	0.80	$> 250 \sim 500$	1.60		$> 120 \sim 500$	6.30	$> 180 \sim 500$	6.30
	$> 250 \sim 500$	1.60			IT11	$\leq 10$	1.60	$\leq 10$	1.60
				$> 10 \sim 120$		3.20	$> 10 \sim 120$	3.20	
IT7	$\leq 6$	0.40	$\leq 6$	0.40	IT12	$> 120 \sim 500$	6.30	$> 120 \sim 500$	6.30
	$> 6 \sim 120$	0.80	$> 6 \sim 80$	0.80		$\leq 80$	3.20	$\leq 80$	3.20
	$> 120 \sim 500$	1.60	$> 80 \sim 500$	1.60	$> 80 \sim 250$	6.30	$> 80 \sim 250$	6.30	
IT8	$\leq 3$	0.40	$\leq 3$	0.40	IT13	$\leq 80$	3.20	$\leq 80$	3.20
	$> 3 \sim 50$	0.80	$> 3 \sim 30$	0.80		$> 250 \sim 500$	12.50	$> 250 \sim 500$	12.50
	$> 50 \sim 500$	1.60	$> 30 \sim 250$	1.60		$\leq 30$	3.20	$\leq 30$	3.20
			$250 \sim 500$	3.20		$> 30 \sim 120$	6.30	$> 30 \sim 120$	6.30
					$> 120 \sim 500$	12.50	$> 120 \sim 500$	12.50	

表 2-4-19

与常用、优先公差带相适应的表面粗糙度  $R_a$  $\mu\text{m}$ 

公差带代号	基本尺寸/mm												
	$\leq 3$	>3 ~6	>6 ~10	>10 ~18	>18 ~30	>30 ~50	>50 ~80	>80 ~120	>120 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500
h1, js1, H1, JS1	>0.02 ~ 0.04 (0.025)												
h2, js2, H2, JS2													
h3, js3, H3, JS3	>0.04 ~ 0.08 (0.05)												
g4, h4, js4, k4, m4, n4, r4, s4													
H4, JS4, K4, M4	>0.08 ~ 0.16 (0.1)												
f5, g5, h5, j5, js5, k5, m5, n5, p5, r5, s5, t5, u5, v5, x5, y5, z5													
G5, H5, JS5, K5, M5, N5, P5, R5, S5	>0.08 ~ 0.16 (0.1)												
e6, f6, g6, h6, j6, js6, k6, m6, n6, p6, r6, s6, t6, u6, v6, x6, y6, z6													
F6, G6, H6, J6, JS6, K6, M6, N6, P6, R6, S6, T6, U6, V6, X6, Y6, Z6	>0.16 ~ 0.32 (0.2)												
d7, e7, f7, g7, h7, j7, js7, k7, m7, n7, p7, r7, s7, t7, u7, v7, x7, y7, z7													
D7, E7, F7, G7, H7, J7, JS7, K7, M7, N7, P7, S7, T7, U7, V7, X7, Y7, Z7	>0.16 ~ 0.32 (0.2)												
c8, d8, e8, f8, g8, h8, js8, k8, m8, n8, p8, r8, s8, t8, u8, v8, x8, y8, z8													
C8, D8, E8, F8, G8, H8, J8, JS8, K8, M8, N8, P8, R8, S8, T8, U8, V8, Y8, Z8	>0.32 ~ 0.63 (0.4)												
a9, b9, c9, d9, e9, f9, h9, js9													
A9, B9, C9, D9, E9, F9, H9, JS9, N9, P9	>0.32 ~ 0.63 (0.4)												
a10, b10, c10, d10, e10, h10, js10													
A10, B10, C10, D10, E10, H10, JS10	>0.63 ~ 1.25 (0.8)												
a11, b11, c11, d11, h11, js11													
A11, B11, C11, D11, H11, JS11	>0.63 ~ 1.25 (0.8)												
a12, b12, c12, h12, js12													
A12, B12, C12, H12, JS12	>1.25 ~ 2.5 (1.6)												
a13, b13, c13, h13, js13, H13, JS13													
	>2.5 ~ 5 (3.2)												
	>5 ~ 10 (6.3)												
	>10 ~ 20 (12.5)												

注：1. 本表适用于一般通用机械，并且不考虑形状公差对表面粗糙度的要求。

2. 对于特殊的配合件，如配合件孔、轴公差等级相差较多时，应按其较高等级的公差带选取。

3. 对于重型机械中采用配制配合时，应仍按完全互换性配合要求的公差选取。

4. 括号内数据为常用数据。

表 2-4-20

间隙或过盈配合与表面粗糙度的对应关系

间隙或过盈/ $\mu\text{m}$	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	
	轴	孔
$\leq 2.5$	0.025	0.05
$> 2.5 \sim 4$	0.05	0.10
$> 4 \sim 6.5$		0.20
$> 6.5 \sim 10$	0.10	0.40
$> 10 \sim 16$	0.20	
$> 16 \sim 25$		
$> 25 \sim 40$	0.40	0.80

③ 表面粗糙度与加工方法有密切的关系，在确定表面粗糙度时，应考虑可能采用的加工方法（表 2-4-21 ~ 表 2-4-23）。

表 2-4-21

不同加工方法可能达到的表面粗糙度  $R_a$  值

加工方法	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$													
	0.012	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.60	3.20	6.30	12.5	25	50	100
砂模铸造														
型壳铸造														
金属模铸造														
离心铸造														
精密铸造														
蜡模铸造														
压力铸造														
热轧														
模锻														
冷轧														
挤压														
冷拉														
铰														
刮削														
刨削	粗													
	半精													
	精													
插削														
钻孔														
扩孔	粗													
	精													
金刚镗孔														
镗孔	粗													
	半精													
	精													



加工方法		表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$													
		0.012	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.60	3.20	6.30	12.5	25	50	100
切割	气割														
	锯														
	车														
	铣														
	磨														
螺纹加工	丝锥板牙														
	梳洗														
	滚														
	车														
	搓螺纹														
	滚压														
	磨														
齿轮及花键加工	研磨														
	刨														
	滚														
	插														
	磨														
	刺														

注：本表作为一般情况参考。

表 2-4-22 不同加工方法能达到的  $R_z$  值

加工方法	$R_z/\mu\text{m}$									
	0.16	0.4	1.0	2.5	6	16	40	100	250	
火焰切割										
砂型铸造										
壳型铸造										
压力铸造										
锻造										
爆破成形										
成形加工										
钻孔										
铣削										
铰孔										
车削										
磨削										
珩磨										
研磨										
抛光										

表 2-4-23

不同加工方法所能达到的  $S_m$ 、 $S$  和  $t_p$  值

加工方法			参 数 值			
			$S_m/mm$	$S/mm$	$t_p (C=20\%)/\%$	
外 圆 表 面	车加工	粗	0.32 ~ 1.25	0.32 ~ 1.25	10 ~ 15	
		半精	0.16 ~ 0.40	0.16 ~ 0.40	10 ~ 15	
		精	0.08 ~ 0.16	0.05 ~ 0.16	10 ~ 15	
		精细	0.02 ~ 0.10	0.01 ~ 0.10	10 ~ 15	
	磨加工	粗	0.063 ~ 0.20	0.032 ~ 0.16	10	
		精	0.025 ~ 0.10	0.010 ~ 0.08	10	
		精细	0.008 ~ 0.025	0.003 ~ 0.016	40	
	超精磨			0.006 ~ 0.020	0.003 ~ 0.016	10
	抛光			0.008 ~ 0.025	0.002 ~ 0.080	10
	研磨			0.006 ~ 0.040	0.002 ~ 0.032	10 ~ 15
	滚压			0.025 ~ 1.25	0.025 ~ 1.25	10 ~ 70
	振动滚压			0.010 ~ 1.25	0.008 ~ 0.16	10 ~ 70
	电机机械加工			0.025 ~ 1.25	0.025 ~ 1.25	10 ~ 70
	磁磨粒加工			0.008 ~ 1.25	0.032 ~ 0.16	10 ~ 30
内 圆 表 面	钻孔		0.160 ~ 0.80	0.080 ~ 0.63	10 ~ 15	
	扩孔	粗	0.160 ~ 0.80	0.063 ~ 0.40	10 ~ 15	
		精	0.080 ~ 0.25	0.050 ~ 0.16	10 ~ 15	
	铰孔	粗	0.080 ~ 0.20	0.040 ~ 0.16	10 ~ 15	
		精	0.0125 ~ 0.04	0.008 ~ 0.02	10 ~ 15	
		精细	0.080 ~ 0.25	0.040 ~ 0.20	10 ~ 15	
	拉孔	粗	0.080 ~ 0.25	0.040 ~ 0.20	10 ~ 15	
		精	0.020 ~ 0.10	0.008 ~ 0.08	10 ~ 15	
	镗孔	粗	0.25 ~ 1.00	0.25 ~ 1.00	10 ~ 15	
		半精	0.125 ~ 0.32	0.125 ~ 0.32	10 ~ 15	
		精	0.080 ~ 0.16	0.050 ~ 0.16	10 ~ 15	
		精细	0.020 ~ 0.10	0.010 ~ 0.10	10 ~ 15	
	磨孔	粗	0.063 ~ 0.25	0.032 ~ 0.16	10	
		精	0.025 ~ 0.10	0.010 ~ 0.08	10	
		精细	0.008 ~ 0.025	0.003 ~ 0.016	10	
	珩磨	粗	0.063 ~ 0.26	0.080 ~ 0.16	10	
		精	0.020 ~ 0.10	0.008 ~ 0.08	10	
		精细	0.006 ~ 0.020	0.003 ~ 0.016	10	
	研磨			0.005 ~ 0.04	0.002 ~ 0.02	10 ~ 15
	滚压			0.025 ~ 1.00	0.025 ~ 1.00	10 ~ 70
振动滚压			0.010 ~ 1.25	0.008 ~ 0.16	10 ~ 70	
滚光			0.025	0.020	10	



加工方法		参数值			
		$S_m/mm$	$S/mm$	$t_p(C=20\%)/\%$	
平 面	端铣	粗	0.160~0.40	0.160~0.40	10~15
		精	0.080~0.20	0.063~0.20	10~15
		精细	0.025~0.10	0.016~0.08	10~15
	平铣	粗	1.25~5.0	1.25~5.0	10
		精	0.50~2.0	0.50~2.0	10
		精细	0.160~0.63	0.100~0.63	10~15
	刨	粗	0.20~1.60	0.20~1.60	10~15
		精	0.080~0.25	0.063~0.25	10~15
		精细	0.025~0.125	0.0125~0.100	10~15
	端车	粗	0.20~1.25	0.20~1.25	10~15
		精	0.080~0.25	0.063~0.25	10~15
		精细	0.025~0.125	0.025~0.100	10~15
	拉	粗	0.160~2.0	0.160~2.0	10~15
		精	0.050~0.5	0.032~0.5	10~15
	磨	粗	0.100~0.32	0.063~0.25	10
		精	0.025~0.125	0.0125~0.080	10
		精细	0.010~0.032	0.005~0.025	10
	刮	粗	0.200~1.00	0.125~1.00	10~15
			0.063~0.25	0.032~0.20	10~15
		精	0.040~0.125	0.020~0.100	10~15
0.016~0.050			0.008~0.032	10~15	
滚柱钢球滚压		0.025~5.0	0.020~5.0	10~70	
振动滚压		0.025~12.5	0.020~5.0	10~70	
振动抛光		0.010~0.032	0.004~0.025	10	
研磨		0.008~0.040	0.004~0.032	10~15	
花 键 侧 表 面	花键铣	粗	1.00~5.0	1.00~5.0	10~15
		精	0.10~2.0	0.05~2.0	10~15
	花键刨		0.08~2.5	0.05~2.5	10~15
	花键拉		0.08~2.0	0.05~2.0	10~15
	花键磨	粗	0.100~0.320	0.063~0.250	10
		精	0.032~0.100	0.016~0.063	10
	插削		0.080~5.00	0.063~5.00	10~15
	滚压		0.063~2.00	0.032~1.25	10~70

续表

加工方法		参数值			
		$S_m/mm$	$S/mm$	$t_p(C=20\%)/\%$	
齿轮齿面	铣齿	1.25 ~ 5.00	1.00 ~ 5.00	10 ~ 15	
	滚齿	0.32 ~ 1.60	0.20 ~ 1.60	10 ~ 15	
	插齿	0.20 ~ 1.25	0.125 ~ 1.25	10 ~ 15	
	拉齿	0.08 ~ 2.0	0.05 ~ 2.0	10 ~ 15	
	辗齿	0.080 ~ 5.0	0.063 ~ 5.0	10 ~ 15	
	剃齿	0.125 ~ 0.50	0.080 ~ 0.50	10 ~ 15	
	磨齿	0.040 ~ 0.100	0.025 ~ 0.063	10	
	滚压齿	0.063 ~ 2.00	0.032 ~ 1.25	10 ~ 70	
	研磨	0.032 ~ 0.50	0.020 ~ 0.16	10 ~ 70	
螺纹侧面	车刀或梳刀车		0.080 ~ 0.25	0.032 ~ 0.16	10 ~ 15
	攻螺纹和板牙或自动板牙头切		0.063 ~ 0.200	0.025 ~ 0.125	10 ~ 15
	铣螺纹	粗	0.125 ~ 0.320	0.063 ~ 0.200	10
		精	0.032 ~ 0.125	0.016 ~ 0.800	10
	滚压		0.040 ~ 0.100	0.032 ~ 0.080	10 ~ 20

④ 一些零件表面的粗糙度高度参数值、附加参数值的要求和取样长度的选取 (表 2-4-24)。

表 2-4-24 一些零件表面的粗糙度高度参数值、附加参数值要求和取样长度的选取

表面	$R_a$ / $\mu m$	$t_p(C=20\%)$ /%	$l$ /mm	表面	$R_a$ / $\mu m$	$t_p(C=20\%)$ /%	$l$ /mm	
与滑动轴承配合的支承轴颈	0.32 $R_y = 1\mu m$	30	0.8	铸铁箱体的主要孔	1.0 ~ 2.0		0.8	
				钢箱体上的主要孔	0.63 ~ 1.6		0.8	
与青铜轴瓦配合的支承轴颈	0.4	15	0.8	箱体和盖的结合面	$R_z = 10\mu m$		2.5	
与巴氏合金轴瓦配合的支承轴颈	0.25	20	0.25	机床滑动导轨	普通的	0.63	0.8	
与铸铁轴瓦配合的支承轴颈	0.32	40	0.8		高精度的	0.1	15	0.25
与石墨片轴瓦配合的支承轴颈	0.32	40	0.8		重型的	1.6		0.25
与滚动轴承配合的支承轴颈、滚动轴承的钢球和滚柱的工作面	0.8		0.8	滚动导轨	0.16		0.25	
				缸体工作面	0.4	40	0.8	
				活塞环工作面	0.25		0.25	
保证摩擦为选择性转移情况的表面	0.25	15	0.25	曲轴轴颈	0.32	30	0.8	
				曲轴连杆轴颈	0.25	20	0.25	
与齿轮孔配合的轴颈	1.6		0.8	活塞侧缘	0.8		0.8	
按疲劳强度设计的轴表面		60	0.8	活塞上的活塞销孔	0.5		0.8	
喷镀过的滑动摩擦面	0.08	10	0.25	活塞销	0.25	15	0.25	
准备喷镀的表面	$R_x = 125\mu m$	$S_m = 0.5mm$	0.8	分配轴轴颈和凸轮部分	0.32	30	0.8	
电化学镀层前的表面	0.2 ~ 0.8			油针偶件	0.08	15	0.25	
齿轮配合孔	0.5 ~ 2.0		0.8	摇杆小轴孔和轴颈	0.63		0.8	
齿轮齿面	0.63 ~ 1.25		0.8	腐蚀性的表面	0.063	10	0.25	
蜗杆牙侧面	0.32		0.25					

注：本表仅供参考。

# 第 5 章 孔间距偏差

## 1 孔间距偏差的计算公式

孔间距偏差根据轴（即螺栓、双头螺栓、螺钉、销钉等）与孔的配合性质而定。其计算通常用尺寸链中极大极小法。在计算孔间距偏差时一般作下列假设：孔的位置尺寸偏差取决于配合间隙的大小和连接方法，而与孔间距本身尺寸无关；孔与轴的尺寸为已知，即最小间隙已知。

孔间隙的作用，在于使轴能自由通过孔进行连接，即用这个间隙来补偿两个被连接件孔间距在制造过程中所引起的误差。

在连接中必须分清两种不同的连接结构：螺栓（穿孔孔），见图 2-5-1；螺钉（双头螺栓、销钉、铆钉等），见图 2-5-2。

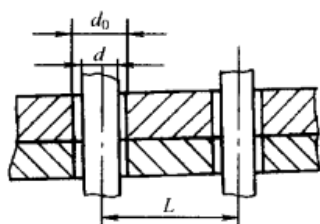


图 2-5-1

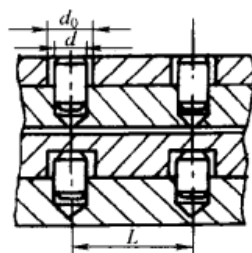
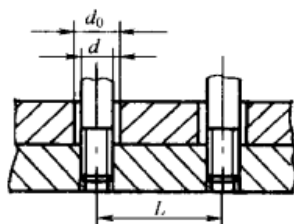


图 2-5-2

最小间隙  $S_M$  为

$$S_M = d_0 - d$$

式中  $d_0$  ——孔的最小极限尺寸；  
 $d$  ——轴的最大极限尺寸。

当在一条直线上有很多孔（大于 3 个）时，偏差值根据尺寸标注的方法不同，其值也不相同，计算式按表 2-5-1。

孔数  $n > 3$  一般不推荐按链式法标注，因偏差值随孔数增加而减少，孔数愈多，孔间距偏差愈小，加工愈困难，若按阶梯式法标注，其孔间距偏差与孔数无关。

对于鱼眼孔及沉头螺孔以及类似这类连接的其他孔，其孔间距偏差  $\Delta L'$  推荐按表 2-5-2 中的公式计算。

表 2-5-1 链式与阶梯式孔间距偏差的计算

尺寸标注法	简图	偏差计算式
链式		$\Delta L = \frac{S_M}{n-1}$
阶梯式		$\Delta L = \frac{S_M}{2}$
链式与阶梯混合式		$\Delta L = \frac{S_M}{2}$ $\Delta L = \frac{S_M}{n-1}$

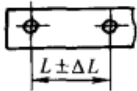
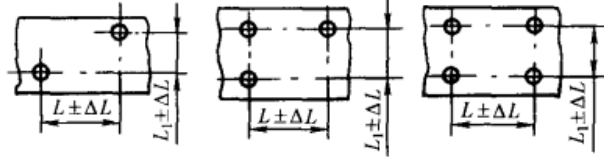
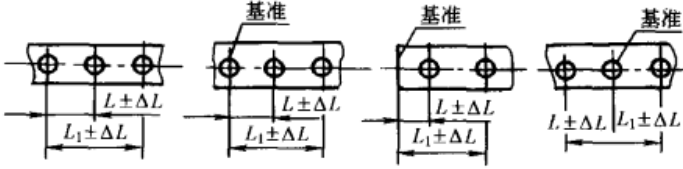
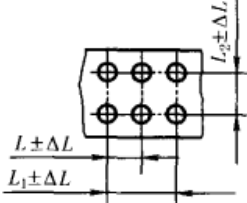
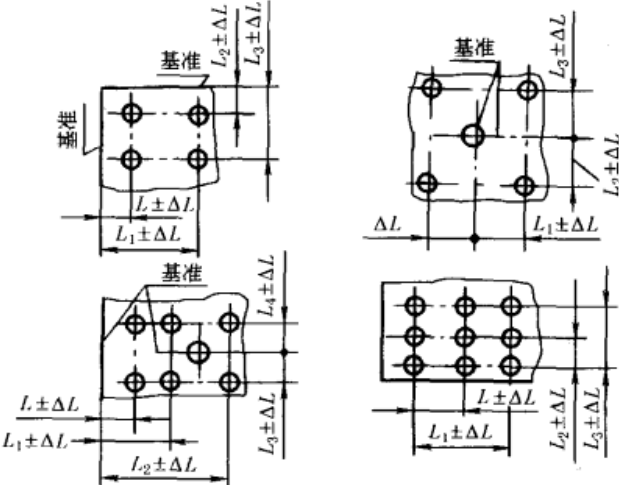
表 2-5-2 带沉头的螺钉连接孔间距偏差的计算

名称	简图	偏差计算式	说明
鱼眼孔		$\Delta L' = (0.7 \sim 0.8) \Delta L$	$\Delta L$ 按表 2-5-4 ~ 表 2-5-7 选取
沉头孔		$\Delta L' = (0.5 \sim 0.6) \Delta L$	

## 2 按直接排列孔间距允许偏差

### 2.1 连接型式及特性

表 2-5-3

连接型式	简 图	特 性 说 明
I		无基准要求的 2 个孔(指一个对另一个孔而言)
II		沿直角排列, 并无基准要求的 2 ~ 4 个孔
III		<p>排列在一条直线上, 并无基准要求的 3 个或 3 个以上的孔(以第一个孔为基准)</p> <p>排列在一条直线上, 并有基准要求的 1 个或 1 个以上的孔(装配时, 以零件所依据的基准面为基准)</p>
IV		双排排列, 而每排有 3 个或 3 个以上的孔(并无基准要求)
V		<p>要求具有互相垂直基准面的 1 个或 1 个以上的孔(装配时其中每一个孔均要以垂直基准面为准)</p> <p>排列在 3 排或 3 排以上, 无基准要求的 3 个或 3 个以上的孔</p>

注: 图中  $\pm \Delta L$  值均按表 2-5-4 和表 2-5-5 选取。

## 2.2 一般精度用孔的孔间距允许偏差

表 2-5-4

连接型式	连接特性及计算公式	最小间隙 $S_M/mm$												
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	2	3	4	5	6
		允许偏差 $\pm \Delta L/mm$												
I	螺栓 $\Delta L = \pm S_M$	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	1	2	3	4	5	6
	螺钉 $\Delta L = \pm 0.5S_M$	0.15	0.2	0.25	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5	1	1.5	2	2.5	3
II	螺栓 $\Delta L = \pm 0.7S_M$	0.2	0.25	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	1.4	2	2.8	3.5	4.2
	螺钉 $\Delta L = \pm 0.35S_M$	0.1	0.12	0.15	0.2	0.2	0.25	0.3	0.35	0.7	1	1.4	1.8	2
III	螺栓 $\Delta L = \pm 0.5S_M$	0.15	0.2	0.25	0.3	0.3	0.35	0.4	0.5	1	1.5	2	2.5	3
	螺钉 $\Delta L = \pm 0.25S_M$	0.08	0.1	0.12	0.15	0.15	0.18	0.2	0.25	0.5	0.8	1	1.25	1.5
IV	螺栓 $\Delta L = \pm 0.45S_M$	0.12	0.18	0.2	0.25	0.25	0.3	0.35	0.45	0.9	1.3	1.8	2.2	2.7
	螺钉 $\Delta L = \pm 0.225S_M$	0.06	0.09	0.1	0.12	0.12	0.15	0.18	0.22	0.45	0.6	0.9	1.1	1.3
V	螺栓 $\Delta L = \pm 0.35S_M$	0.1	0.12	0.15	0.2	0.2	0.25	0.3	0.35	0.7	1	1.4	1.8	2
	螺钉 $\Delta L = \pm 0.175S_M$	0.05	0.07	0.08	0.1	0.1	0.12	0.15	0.18	0.35	0.5	0.7	0.9	1

注：黑线左侧的偏差值  $\pm \Delta L$ ，已考虑到最小间隙  $S_M$  有可能增大。连接型式的意义见表 2-5-3。

## 2.3 精确用孔的孔间距允许偏差

表 2-5-5

连接型式			I		II		III		IV		V	
连接特性			螺栓 $\Delta L = \pm S_M$	螺钉或销 钉 $\Delta L = \pm 0.5S_M$	螺栓 $\Delta L = \pm 0.7S_M$	螺钉或销 钉 $\Delta L = \pm 0.35S_M$	螺栓 $\Delta L = \pm 0.5S_M$	螺钉或销 钉 $\Delta L = \pm 0.25S_M$	螺栓 $\Delta L = \pm 0.45S_M$	螺钉或销 钉 $\Delta L = \pm 0.225S_M$	螺栓 $\Delta L = \pm 0.35S_M$	螺钉或销 钉 $\Delta L = \pm 0.175S_M$
螺栓和销 钉直径	配合	最小间隙 $S_M$	允许偏差 $\pm \Delta L/mm$									
2~3	H7/f7	0.008	0.008		0.006							
3~6		0.010	0.010		0.007		0.005					
6~10		0.013	0.013		0.009	0.005	0.006		0.006		0.005	
10~18		0.016	0.016		0.011	0.006	0.008		0.007		0.006	
2~3	H7/e8	0.012	0.012	0.006	0.008		0.006		0.005			
3~6		0.017	0.017	0.009	0.012	0.006	0.008		0.007		0.006	
6~10		0.023	0.023	0.012	0.016	0.008	0.011	0.006	0.010	0.005	0.008	
10~18		0.030	0.030	0.015	0.021	0.010	0.015	0.008	0.013	0.006	0.011	0.005
2~3	H7/d8	0.018	0.018	0.009	0.013	0.006	0.009	0.005	0.008		0.006	
3~6		0.025	0.025	0.013	0.018	0.009	0.013	0.006	0.011	0.005	0.009	
6~10		0.035	0.035	0.018	0.025	0.012	0.018	0.009	0.016	0.008	0.012	0.006
10~18		0.045	0.045	0.023	0.032	0.016	0.023	0.011	0.020	0.010	0.016	0.008
2~3	H8/f9	0.007	0.007		0.005							
3~6		0.011	0.011	0.006	0.008		0.006		0.005			
6~10		0.015	0.015	0.008	0.011	0.006	0.008		0.007		0.005	
10~18		0.020	0.020	0.010	0.014	0.007	0.010	0.005	0.009		0.007	
2~3	H8/d9	0.017	0.017	0.009	0.012	0.006	0.009		0.007		0.006	
3~6		0.025	0.025	0.013	0.018	0.009	0.013	0.006	0.011	0.005	0.009	
6~10		0.035	0.035	0.018	0.025	0.012	0.018	0.009	0.016	0.008	0.012	0.006
10~18		0.045	0.045	0.023	0.032	0.016	0.023	0.011	0.020	0.010	0.016	0.008

注：1. 计算公式和偏差值是按零件完全互换条件下计算的。当大批生产或连续生产以及当单件或部分调整时，偏差可增大 1.3 倍 ( $\Delta L' = 1.3\Delta L$ )。

2. 连接型式的意义见表 2-5-3。

### 3 按圆周分布的孔间距允许偏差

#### 3.1 用两个以上的螺栓及螺钉连接的孔间距允许偏差

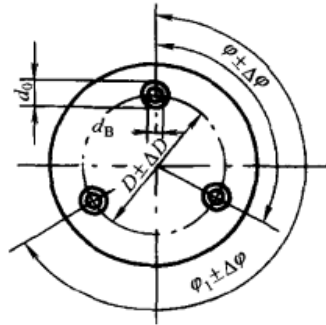


表 2-5-6

D /mm	最小间隙 $S_M$ /mm													
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	2	3	4	5	6
	允许偏差 $\pm \Delta D$ 及 $\pm \Delta\varphi$													
螺 栓 连 接														
1 ~ 12	$\frac{0.1}{30'}$	$\frac{0.2}{1^\circ}$	$\frac{0.3}{1^\circ}$	$\frac{0.4}{1.5^\circ}$	$\frac{0.4}{2^\circ}$	$\frac{0.4}{2^\circ}$	$\frac{0.6}{2^\circ}$							
12 ~ 20	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.2}{1^\circ}$	$\frac{0.3}{1^\circ}$	$\frac{0.4}{1^\circ}$	$\frac{0.4}{1.5^\circ}$	$\frac{0.5}{1.5^\circ}$	$\frac{0.6}{1.5^\circ}$						
20 ~ 40	$\frac{0.1}{8'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.3}{30'}$	$\frac{0.4}{35'}$	$\frac{0.4}{45'}$	$\frac{0.5}{45'}$	$\frac{0.6}{1^\circ}$	$\frac{0.7}{1^\circ}$	$\frac{1}{2.5^\circ}$				
40 ~ 60	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.3}{15'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.4}{30'}$	$\frac{0.5}{30'}$	$\frac{0.6}{30'}$	$\frac{0.7}{45'}$	$\frac{1}{2^\circ}$				
60 ~ 80		$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.4}{25'}$	$\frac{0.4}{30'}$	$\frac{0.4}{30'}$	$\frac{0.6}{45'}$	$\frac{1}{1.5^\circ}$				
80 ~ 100		$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.4}{25'}$	$\frac{0.4}{30'}$	$\frac{0.4}{30'}$	$\frac{0.8}{1^\circ}$				
100 ~ 120		$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.3}{15'}$	$\frac{0.3}{15'}$	$\frac{0.4}{15'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.4}{25'}$	$\frac{0.8}{50'}$				
120 ~ 160		$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.4}{10'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.8}{40'}$	$\frac{1.2}{1^\circ}$				
160 ~ 200			$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.3}{8'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.4}{10'}$	$\frac{0.4}{15'}$	$\frac{0.8}{30'}$	$\frac{1.2}{45'}$	$\frac{1.6}{1^\circ}$		
200 ~ 250				$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.3}{15'}$	$\frac{0.6}{25'}$	$\frac{1}{45'}$	$\frac{1.6}{50'}$		
250 ~ 300				$\frac{0.2}{4'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.3}{8'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.6}{20'}$	$\frac{1}{30'}$	$\frac{1.6}{40'}$	$\frac{1.6}{45'}$	
300 ~ 400				$\frac{0.2}{4'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{6'}$	$\frac{0.2}{7'}$	$\frac{0.3}{8'}$	$\frac{0.6}{15'}$	$\frac{1}{25'}$	$\frac{1.6}{30'}$	$\frac{1.6}{40'}$	$\frac{2}{50'}$
400 ~ 500				$\frac{0.2}{3'}$	$\frac{0.2}{4'}$	$\frac{0.2}{4'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{6'}$	$\frac{0.3}{6'}$	$\frac{0.6}{12'}$	$\frac{1}{20'}$	$\frac{1.4}{25'}$	$\frac{1.6}{30'}$	$\frac{2}{40'}$
500 ~ 700									$\frac{0.3}{5'}$	$\frac{0.5}{10'}$	$\frac{1}{15'}$	$\frac{1.4}{18'}$	$\frac{2}{22'}$	$\frac{2}{30'}$
700 ~ 1000									$\frac{0.3}{4'}$	$\frac{0.5}{7'}$	$\frac{1}{10'}$	$\frac{1.4}{12'}$	$\frac{2}{16'}$	$\frac{2}{20'}$

D /mm	最小间隙 $S_M$ /mm														
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	2	3	4	5	6	
	允许偏差 $\pm \Delta D$ 及 $\pm \Delta \varphi$														
螺 栓 连 接															
1000 ~ 1300											$\frac{0.5}{5'}$	$\frac{1}{8'}$	$\frac{1.4}{11'}$	$\frac{2}{12'}$	$\frac{2}{16'}$
1300 ~ 1600											$\frac{0.5}{4'}$	$\frac{1}{6'}$	$\frac{1.6}{8'}$	$\frac{2}{10'}$	$\frac{2}{12'}$
1600 ~ 2000												$\frac{1}{5'}$	$\frac{2}{6'}$	$\frac{2}{8'}$	$\frac{2}{10'}$
D /mm	最小间隙 $S_M$ /mm														
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	2	3	4	5	6	
	允许偏差 $\pm \Delta D$ 及 $\pm \Delta \varphi$														
螺 钉 连 接															
1 ~ 12	$\frac{0.16}{15'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.2}{35'}$	$\frac{0.2}{45'}$	$\frac{0.2}{1^\circ}$	$\frac{0.2}{1^\circ 20'}$									
12 ~ 20	$\frac{0.08}{15'}$	$\frac{0.16}{15'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.2}{45'}$	$\frac{0.2}{1^\circ}$	$\frac{0.2}{1^\circ}$								
20 ~ 40	$\frac{0.08}{8'}$	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.16}{15'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.2}{25'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.3}{35'}$	$\frac{0.6}{1.5^\circ}$						
40 ~ 60	$\frac{0.08}{5'}$	$\frac{0.1}{8'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.6}{45'}$						
60 ~ 80		$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.3}{15'}$	$\frac{0.6}{35'}$						
80 ~ 100			$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.3}{15'}$	$\frac{0.6}{25'}$						
100 ~ 120			$\frac{0.16}{5'}$	$\frac{0.16}{5'}$	$\frac{0.16}{8'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.6}{20'}$						
120 ~ 160				$\frac{0.16}{5'}$	$\frac{0.16}{5'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.3}{8'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.6}{30'}$					
160 ~ 200					$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.3}{5'}$	$\frac{0.4}{15'}$	$\frac{0.6}{25'}$	$\frac{0.8}{30'}$				
200 ~ 250							$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.5}{25'}$	$\frac{0.8}{25'}$				
250 ~ 300								$\frac{0.2}{5'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.5}{15'}$	$\frac{0.8}{20'}$	$\frac{0.8}{22'}$			
300 ~ 400									$\frac{0.16}{4'}$	$\frac{0.3}{8'}$	$\frac{0.5}{12'}$	$\frac{0.8}{15'}$	$\frac{0.8}{20'}$	$\frac{1}{25'}$	
400 ~ 500									$\frac{0.16}{3'}$	$\frac{0.3}{6'}$	$\frac{0.5}{10'}$	$\frac{0.6}{12'}$	$\frac{0.8}{15'}$	$\frac{1}{20'}$	
500 ~ 700										$\frac{0.3}{5'}$	$\frac{0.5}{8'}$	$\frac{0.6}{9'}$	$\frac{1}{11'}$	$\frac{1}{15'}$	
700 ~ 1000										$\frac{0.3}{3'}$	$\frac{0.5}{5'}$	$\frac{0.6}{6'}$	$\frac{1}{8'}$	$\frac{1}{10'}$	
1000 ~ 1300											$\frac{0.5}{4'}$	$\frac{0.6}{6'}$	$\frac{1}{6'}$	$\frac{1}{8'}$	
1300 ~ 1600											$\frac{0.5}{3'}$	$\frac{0.8}{4'}$	$\frac{1}{5'}$	$\frac{1}{6'}$	
1600 ~ 2000											$\frac{0.5}{3'}$	$\frac{1}{3'}$	$\frac{1}{4'}$	$\frac{1}{5'}$	

注：表中分子为  $\Delta D$  值（单位 mm），分母为  $\Delta \varphi$  值。

### 3.2 用两个螺栓或螺钉及任意数量螺栓连接的孔间距允许偏差

两个螺栓或螺钉连接 (无基准)

任意数量螺栓连接 (以中心孔为基准)



表 2-5-7

R /mm	最小间隙 $S_M$ /mm												
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	2	3	4	5	6
	允许偏差 $\pm \Delta R$ 及 $\pm \Delta \phi$												
	两个螺栓或螺钉连接(无基准)												
1 ~ 6	$\frac{0.15}{2^\circ}$	$\frac{0.2}{3^\circ}$	$\frac{0.3}{3^\circ}$	$\frac{0.4}{4^\circ}$	$\frac{0.4}{4^\circ}$	$\frac{0.5}{5^\circ}$							
6 ~ 10	$\frac{0.15}{1^\circ}$	$\frac{0.2}{1.5^\circ}$	$\frac{0.3}{2^\circ}$	$\frac{0.4}{2^\circ}$	$\frac{0.4}{3^\circ}$	$\frac{0.5}{3^\circ}$	$\frac{0.6}{3^\circ}$						
10 ~ 20	$\frac{0.1}{45'}$	$\frac{0.2}{1^\circ}$	$\frac{0.3}{1^\circ}$	$\frac{0.3}{1.5^\circ}$	$\frac{0.4}{1.5^\circ}$	$\frac{0.5}{1.5^\circ}$	$\frac{0.6}{1.5^\circ}$	$\frac{0.7}{2^\circ}$	$\frac{1}{3^\circ}$				
20 ~ 30	$\frac{0.1}{30'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.3}{45'}$	$\frac{0.3}{1^\circ}$	$\frac{0.4}{1^\circ}$	$\frac{0.5}{1^\circ}$	$\frac{0.6}{1^\circ}$	$\frac{0.7}{1.5^\circ}$	$\frac{1}{3^\circ}$				
30 ~ 40	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.2}{25'}$	$\frac{0.2}{45'}$	$\frac{0.3}{45'}$	$\frac{0.4}{45'}$	$\frac{0.4}{1^\circ}$	$\frac{0.4}{1^\circ}$	$\frac{0.6}{1.5^\circ}$	$\frac{1}{2.5^\circ}$				
40 ~ 50	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.2}{25'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.3}{40'}$	$\frac{0.4}{40'}$	$\frac{0.4}{45'}$	$\frac{0.4}{1^\circ}$	$\frac{0.4}{1^\circ}$	$\frac{0.8}{2^\circ}$				
50 ~ 60	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.2}{25'}$	$\frac{0.3}{25'}$	$\frac{0.4}{25'}$	$\frac{0.4}{30'}$	$\frac{0.4}{45'}$	$\frac{0.4}{1^\circ}$	$\frac{0.8}{1^\circ 45'}$				
60 ~ 80		$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.4}{30'}$	$\frac{0.4}{45'}$	$\frac{0.8}{1.5^\circ}$	$\frac{1.2}{2^\circ}$			
80 ~ 100		$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.3}{15'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.4}{30'}$	$\frac{0.8}{1^\circ}$	$\frac{1.2}{1.5^\circ}$	$\frac{1.6}{2^\circ}$		
100 ~ 125			$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.3}{30'}$	$\frac{0.6}{1^\circ}$	$\frac{1}{1.5^\circ}$	$\frac{1.6}{1^\circ 40'}$		
125 ~ 150			$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.6}{45'}$	$\frac{1}{1^\circ}$	$\frac{1.6}{1^\circ 20'}$	$\frac{1.6}{1.5^\circ}$	
150 ~ 200			$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{12'}$	$\frac{0.2}{14'}$	$\frac{0.3}{16'}$	$\frac{0.6}{30'}$	$\frac{1}{50'}$	$\frac{1.6}{1^\circ}$	$\frac{1.6}{1.5^\circ}$	$\frac{2}{1^\circ 40'}$
200 ~ 250			$\frac{0.2}{6'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{12'}$	$\frac{0.3}{12'}$	$\frac{0.6}{24'}$	$\frac{1}{40'}$	$\frac{1.4}{50'}$	$\frac{1.6}{1^\circ}$	$\frac{2}{1^\circ 20'}$
250 ~ 350				$\frac{0.2}{6'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.3}{10'}$	$\frac{0.5}{20'}$	$\frac{1}{30'}$	$\frac{1.4}{36'}$	$\frac{2}{44'}$	$\frac{2}{1^\circ}$
350 ~ 500						$\frac{0.2}{6'}$	$\frac{0.2}{8'}$	$\frac{0.3}{8'}$	$\frac{0.5}{14'}$	$\frac{1}{20'}$	$\frac{1.4}{24'}$	$\frac{2}{32'}$	$\frac{2}{40'}$
500 ~ 650									$\frac{0.5}{10'}$	$\frac{1}{16'}$	$\frac{1.4}{22'}$	$\frac{2}{24'}$	$\frac{2}{32'}$
650 ~ 800									$\frac{0.5}{8'}$	$\frac{1}{12'}$	$\frac{1.6}{16'}$	$\frac{2}{20'}$	$\frac{2}{24'}$
800 ~ 1000										$\frac{1}{10'}$	$\frac{2}{12'}$	$\frac{2}{16'}$	$\frac{2}{20'}$



R /mm	最小间隙 $S_M$ /mm												
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	2	3	4	5	6
	允许偏差 $\pm \Delta R$ 及 $\pm \Delta \varphi$												
	任意数量螺栓连接(以中心孔为基准)												
1~6	$\frac{0.1}{1^\circ}$	$\frac{0.15}{1^\circ}$	$\frac{0.2}{1^\circ 30'}$	$\frac{0.2}{2^\circ}$	$\frac{0.2}{2^\circ}$	$\frac{0.3}{2^\circ}$							
6~10	$\frac{0.1}{30'}$	$\frac{0.1}{1^\circ}$	$\frac{0.15}{1^\circ}$	$\frac{0.2}{1^\circ}$	$\frac{0.2}{1^\circ 30'}$	$\frac{0.25}{1^\circ 30'}$	$\frac{0.3}{1^\circ 30'}$						
10~20	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.15}{20'}$	$\frac{0.15}{30'}$	$\frac{0.2}{35'}$	$\frac{0.2}{45'}$	$\frac{0.25}{45'}$	$\frac{0.3}{1^\circ}$	$\frac{0.35}{1^\circ}$	$\frac{0.5}{2.5^\circ}$				
20~30	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.15}{15'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.25}{30'}$	$\frac{0.3}{30'}$	$\frac{0.35}{45'}$	$\frac{0.5}{2^\circ}$				
30~40	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.1}{20'}$	$\frac{0.15}{20'}$	$\frac{0.2}{25'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.3}{45'}$	$\frac{0.5}{1.5^\circ}$				
40~50	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.15}{20'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.2}{25'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.2}{30'}$	$\frac{0.4}{1^\circ}$				
50~60	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.15}{15'}$	$\frac{0.15}{15'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.2}{25'}$	$\frac{0.4}{50'}$				
60~80		$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.15}{10'}$	$\frac{0.15}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.4}{40'}$	$\frac{0.6}{1^\circ}$			
80~100		$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{8'}$	$\frac{0.15}{8'}$	$\frac{0.15}{10'}$	$\frac{0.15}{10'}$	$\frac{0.2}{10'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.4}{30'}$	$\frac{0.6}{45'}$	$\frac{0.8}{1^\circ}$		
100~125				$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{8'}$	$\frac{0.15}{10'}$	$\frac{0.15}{15'}$	$\frac{0.3}{25'}$	$\frac{0.5}{45'}$	$\frac{0.8}{50'}$		
125~150				$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{8'}$	$\frac{0.15}{8'}$	$\frac{0.15}{10'}$	$\frac{0.3}{20'}$	$\frac{0.5}{30'}$	$\frac{0.8}{40'}$	$\frac{0.8}{45'}$	
150~200					$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{6'}$	$\frac{0.1}{7'}$	$\frac{0.15}{8'}$	$\frac{0.3}{15'}$	$\frac{0.5}{25'}$	$\frac{0.8}{30'}$	$\frac{0.8}{40'}$	$\frac{1}{50'}$
200~250					$\frac{0.1}{4'}$	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{6'}$	$\frac{0.15}{6'}$	$\frac{0.3}{12'}$	$\frac{0.5}{20'}$	$\frac{0.7}{25'}$	$\frac{0.8}{30'}$	$\frac{1}{40'}$
250~350								$\frac{0.15}{5'}$	$\frac{0.25}{10'}$	$\frac{0.5}{15'}$	$\frac{0.7}{18'}$	$\frac{1}{22'}$	$\frac{1}{30'}$
350~500								$\frac{0.15}{4'}$	$\frac{0.25}{7'}$	$\frac{0.5}{10'}$	$\frac{0.7}{12'}$	$\frac{1}{16'}$	$\frac{1}{20'}$
500~650									$\frac{0.25}{5'}$	$\frac{0.5}{8'}$	$\frac{0.7}{11'}$	$\frac{1}{12'}$	$\frac{1}{16'}$
650~800									$\frac{0.25}{4'}$	$\frac{0.5}{6'}$	$\frac{0.8}{8'}$	$\frac{1}{10'}$	$\frac{1}{12'}$
800~1000										$\frac{0.5}{5'}$	$\frac{1}{6'}$	$\frac{1}{8'}$	$\frac{1}{10'}$

注：表中分子为  $\Delta R$  值（单位 mm），分母为  $\Delta \varphi$  值。

### 3.3 用任意数量螺钉连接的孔间距允许偏差

螺钉连接以中心孔为基准

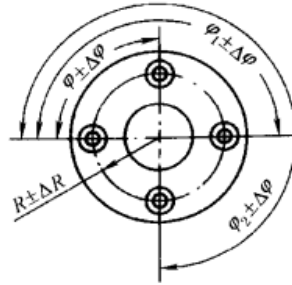


表 2-5-8

R /mm	最小间隙 $S_M$ /mm													
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	2	3	4	5	6	
允许偏差 $\Delta R$ 及 $\Delta\phi$														
1 ~ 6	$\frac{0.08}{15'}$	$\frac{0.1}{30'}$	$\frac{0.1}{35'}$	$\frac{0.1}{45'}$	$\frac{0.1}{1^\circ}$	$\frac{0.1}{1^\circ 20'}$								
6 ~ 10	$\frac{0.04}{15'}$	$\frac{0.08}{15'}$	$\frac{0.1}{20'}$	$\frac{0.1}{30'}$	$\frac{0.1}{45'}$	$\frac{0.1}{1^\circ}$	$\frac{0.1}{1^\circ}$							
10 ~ 20	$\frac{0.04}{8'}$	$\frac{0.05}{15'}$	$\frac{0.08}{15'}$	$\frac{0.1}{20'}$	$\frac{0.1}{25'}$	$\frac{0.1}{30'}$	$\frac{0.1}{30'}$	$\frac{0.15}{35'}$	$\frac{0.3}{1^\circ 30'}$					
20 ~ 30	$\frac{0.04}{5'}$	$\frac{0.05}{8'}$	$\frac{0.1}{8'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.1}{20'}$	$\frac{0.15}{20'}$	$\frac{0.3}{45'}$					
30 ~ 40		$\frac{0.05}{5'}$	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{8'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.1}{15'}$	$\frac{0.15}{15'}$	$\frac{0.3}{35'}$					
40 ~ 50			$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{8'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.15}{15'}$	$\frac{0.3}{25'}$					
50 ~ 60			$\frac{0.08}{5'}$	$\frac{0.08}{5'}$	$\frac{0.08}{8'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.1}{10'}$	$\frac{0.15}{10'}$	$\frac{0.3}{20'}$					
60 ~ 80				$\frac{0.08}{5'}$	$\frac{0.08}{5'}$	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{8'}$	$\frac{0.15}{8'}$	$\frac{0.2}{20'}$	$\frac{0.3}{30'}$				
80 ~ 100					$\frac{0.05}{5'}$	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.15}{5'}$	$\frac{0.2}{15'}$	$\frac{0.3}{25'}$	$\frac{0.4}{30'}$			
100 ~ 125							$\frac{0.05}{5'}$	$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.15}{10'}$	$\frac{0.25}{25'}$	$\frac{0.4}{25'}$			
125 ~ 150								$\frac{0.1}{5'}$	$\frac{0.15}{10'}$	$\frac{0.25}{15'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.4}{22'}$		
150 ~ 200								$\frac{0.08}{4'}$	$\frac{0.15}{8'}$	$\frac{0.25}{12'}$	$\frac{0.4}{15'}$	$\frac{0.4}{20'}$	$\frac{0.5}{25'}$	
200 ~ 250								$\frac{0.08}{3'}$	$\frac{0.15}{6'}$	$\frac{0.25}{10'}$	$\frac{0.3}{12'}$	$\frac{0.4}{15'}$	$\frac{0.5}{20'}$	
250 ~ 350									$\frac{0.15}{5'}$	$\frac{0.25}{8'}$	$\frac{0.3}{9'}$	$\frac{0.5}{11'}$	$\frac{0.5}{15'}$	
350 ~ 500									$\frac{0.15}{3'}$	$\frac{0.25}{5'}$	$\frac{0.3}{6'}$	$\frac{0.5}{8'}$	$\frac{0.5}{10'}$	
500 ~ 650										$\frac{0.25}{4'}$	$\frac{0.3}{6'}$	$\frac{0.5}{6'}$	$\frac{0.5}{8'}$	
650 ~ 800										$\frac{0.25}{3'}$	$\frac{0.4}{4'}$	$\frac{0.5}{5'}$	$\frac{0.5}{6'}$	
800 ~ 1000										$\frac{0.25}{3'}$	$\frac{0.5}{3'}$	$\frac{0.5}{4'}$	$\frac{0.5}{5'}$	

注：表中分子为  $\Delta R$  值（单位 mm），分母为  $\Delta\phi$  值。

### 参 考 文 献

- 1 成凤文主编. 机械制图. 北京: 中国标准出版社, 2006
- 2 王之煦编著. 几何作图. 北京: 机械工业出版社, 1965
- 3 汪恺主编. 机械设计标准应用手册·第1卷. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 4 汪恺主编. 形状和位置公差标准应用指南. 北京: 中国标准出版社, 2000





## 第 3 篇 常用机械工程材料



主要撰稿 王德夫 孙东辉 房庆久 陶兆荣

审 稿 成大先 李福君

资源  
如  
乎  
卷

HANDBOOK



# 第 1 章 黑色金属材料

## 1 黑色金属材料的表示方法

钢铁产品牌号中化学元素的符号 (摘自 GB/T 221—2000)

表 3-1-1

元素名称	铁	锰	铬	镍	钴	铜	钨	钼	钒	钛	铝	铌	钽	锂	铍	镁	钙	锆	锡	铅
化学元素符号	Fe	Mn	Cr	Ni	Co	Cu	W	Mo	V	Ti	Al	Nb	Ta	Li	Be	Mg	Ca	Zr	Sn	Pb
元素名称	铋	铯	钡	镧	铈	铈	钐	铈	硼	碳	硅	硒	碲	砷	硫	磷	氮	氧	氢	
化学元素符号	Bi	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Ac	B	C	Si	Se	Te	As	S	P	N	O	H	

注：混合稀土元素符号用“RE”表示。

钢铁产品牌号中表示名称、用途、特性和工艺方法的符号 (摘自 GB/T 221—2000)

表 3-1-2

名 称	采用的汉字及汉语拼音		采用符号	字 体	位 置
	汉 字	汉语拼音			
炼钢用生铁	炼	LIAN	L	大写	牌号头
铸造用生铁	铸	ZHU	Z	大写	牌号头
球墨铸铁用生铁	球	QIU	Q	大写	牌号头
脱碳低磷粒铁	脱炼	TUO LIAN	TL	大写	牌号头
含钒生铁	钒	FAN	F	大写	牌号头
耐磨生铁	耐磨	NAI MO	NM	大写	牌号头
碳素结构钢	屈	QU	Q	大写	牌号头
低合金高强度钢	屈	QU	Q	大写	牌号头
耐候钢	耐候	NAI HOU	NH	大写	牌号尾
保证淬透性钢			H	大写	牌号尾
易切削非调质钢	易非	YI FEI	YF	大写	牌号头
热锻用非调质钢	非	FEI	F	大写	牌号头
易切削钢	易	YI	Y	大写	牌号头
电工用热轧硅钢	电热	DIAN RE	DR	大写	牌号头
电工用冷轧无取向硅钢	无	WU	W	大写	牌号中
电工用冷轧取向硅钢	取	QU	Q	大写	牌号中
电工用冷轧取向高磁感硅钢	取高	QU GAO	QG	大写	牌号中
(电信用)取向高磁感硅钢	电高	DIAN GAO	DG	大写	牌号头
电磁纯铁	电铁	DIAN TIE	DT	大写	牌号头
碳素工具钢	碳	TAN	T	大写	牌号头
塑料模具钢	塑模	SU MO	SM	大写	牌号头
(滚珠)轴承钢	滚	GUN	G	大写	牌号头
焊接用钢	焊	HAN	H	大写	牌号头
钢轨钢	轨	GUI	U	大写	牌号头
铆螺钢	铆螺	MAO LUO	ML	大写	牌号头

名称	采用的汉字及汉语拼音		采用符号	字体	位置
	汉字	汉语拼音			
锚链钢	锚	MAO	M	大写	牌号头
地质钻探钢管用钢	地质	DI ZHI	DZ	大写	牌号头
船用钢			国际符号		
汽车大梁用钢	梁	LIANG	L	大写	牌号尾
矿用钢	矿	KUANG	K	大写	牌号尾
压力容器用钢	容	RONG	R	大写	牌号尾
桥梁用钢	桥	QIAO	q	小写	牌号尾
锅炉用钢	锅	GUO	g	小写	牌号尾
焊接气瓶用钢	焊瓶	HAN PING	HP	大写	牌号尾
车辆车轴用钢	辆轴	LIANG ZHOU	LZ	大写	牌号头
机车车轴用钢	机轴	JI ZHOU	JZ	大写	牌号头
管线用钢			S	大写	牌号头
沸腾钢	沸	FEI	F	大写	牌号尾
半镇静钢	半	BAN	b	小写	牌号尾
镇静钢	镇	ZHEN	Z	大写	牌号尾
特殊镇静钢	特镇	TE ZHEN	TZ	大写	牌号尾
质量等级		A、B、C、D、E		大写	牌号尾

注：没有汉字及汉语拼音的，采用符号为英文字母。

钢铁产品牌号表示方法举例（摘自 GB/T 221—2000、GB/T 700—2006）

表 3-1-3

产品名称	牌号举例	牌号表示方法说明
生铁	L10 Z30	<p>L 10 — 平均含硅量为 10‰                      Z 30 — 平均含硅量为 30‰                      炼钢用生铁 — L                      铸造用生铁 — Z</p>
铸铁	HT100 QT400-17	<p>铸铁代号后，一组数字表示抗拉强度，两组数字时，第一组表示抗拉强度，第二组表示伸长率</p> <p>HT 100 — 抗拉强度 (MPa)                      QT 400-17 — 抗拉强度 (MPa) 和 伸长率 (%)                      灰铸铁 — HT                      球墨铸铁 — QT</p>
铸钢	ZG25 ZG200-400	<p>铸造碳钢 — ZG                      一般工程用铸钢 — ZG</p> <p>ZG 25 — 碳的名义万分含量                      ZG 200-400 — 抗拉强度 (MPa) 和 屈服强度 (MPa)                      铸钢 — ZG</p>
碳素结构钢和合金结构钢	Q235A Q235B Q235C Q235D	<p>碳素结构钢</p> <p>Q 235 A F — 屈服强度数值 (MPa)                      脱氧方法 — A、B、C、D、E                      质量等级代号，共分 A、B、C、D 四个级别，其区别见表 3-1-5 和表 3-1-6                      标注 F 表示沸腾钢 (不脱氧钢)                      不标此符号表示镇静钢 (Z) 或特殊镇静钢 (TZ)。Z、TZ 可省略，也可不省略 (全脱氧钢)</p> <p>代表“屈服强度”</p>
	Q345A Q345B Q345C Q345D Q345E	<p>低合金结构钢</p> <p>Q 345 C — 屈服强度数值 (MPa)                      质量等级代号，共分 A、B、C、D、E 五个级别，见表 3-1-8                      代表“屈服强度”</p>

产品名称	牌号举例	牌号表示方法说明
碳素结构钢和合金结构钢	Q345R Q295HP Q390g Q420q Q340NH	<p>专用结构钢</p> <p>Q 345 R ———— 压力容器 Q 295 HP ———— 焊接气瓶</p> <p>——— 屈服点数值 (MPa) ——— 代表“屈服点”</p>
<p>优质碳素钢和优质碳素弹簧钢</p> <p>普通含锰量优质碳素结构钢</p> <p>较高含锰量优质碳素结构钢</p> <p>专用优质碳素结构钢</p>	<p>08F 45 20A 45E</p> <p>40Mn 70Mn</p> <p>20g</p>	<p>——— 两位数字, 平均含碳量为万分之几</p> <p>——— 脱氧方法、化学元素符号、质量等级或规定的代表产品用途的符号</p> <p>08 F ———— 平均含碳量为 0.08% 的沸腾钢 45 ———— 平均含碳量为 0.45% 的镇静钢 20 A ———— 平均含碳量为 0.20% 的高级优质碳素结构钢 45 E ———— 平均含碳量为 0.45% 的特级优质碳素结构钢 40 Mn ———— 平均含碳量为 0.40%、含锰量较高(0.70% ~ 1.00%) 的镇静钢 20 g ———— 平均含碳量为 0.20% 的锅炉用钢</p> <p>优质碳素弹簧钢的牌号表示方法与优质碳素结构钢相同</p>
合金结构钢和合金弹簧钢	<p>30CrMnSi 20Cr2Ni4 20CrNi3 30CrMnSiA 30CrMnSiE</p> <p>ML30CrMnSi</p> <p>60Si2Mn 60Si2MnA</p>	<p>采用阿拉伯数字和规定的合金元素符号表示。合金元素含量表示方法为：平均含量小于 1.5% 时，牌号中仅标明元素，一般不标含量；平均含量为 1.5% ~ 2.49%、2.5% ~ 3.49%、3.5% ~ 4.49%、4.5% ~ 5.49%、... 时，在合金元素后相应注写 2、3、4、5、...。高级和特级优质合金结构钢在牌号尾部加符号“A”</p> <p>——— 专用合金结构钢在牌号头部加代表产品用途的符号</p> <p>——— 平均含碳量为万分之几</p> <p>30CrMnSi ———— 碳、铬、锰、硅的平均含量分别为 0.30%、0.95%、0.85%、1.05%</p> <p>20Cr2Ni4 ———— 碳、铬、镍的平均含量分别为 0.20%、1.5%、3.5%</p> <p>60Si2MnA ———— 碳、硅、锰的平均含量分别为 0.60%、1.75%、0.75% 的高级优质弹簧钢</p> <p>ML30CrMnSi ———— 碳、铬、锰、硅的平均含量分别为 0.30%、0.95%、0.85%、1.05% 的铆螺合金钢</p>
工具钢	T9 T12A T8Mn	<p>——— 碳素工具钢</p> <p>——— 平均含碳量为千分之几</p> <p>T 9 ———— 平均含碳量为 0.9% 的普通含锰量碳素工具钢 T 12A ———— 平均含碳量为 1.2% 的高级优质碳素工具钢 T 8Mn ———— 平均含碳量为 0.8%、含锰量较高(0.40% ~ 0.60%) 的碳素工具钢</p>



产品名称	牌号举例	牌号表示方法说明
工 具 钢	合金工 具钢和 高速工 具钢	Cr4W2MoV Cr12MoV 8MnSi  合金工具钢和高速工具钢表示方法与合金结构钢相同,但平均含碳量 $\geq 1.00\%$ 的,一般不标表示含碳量的数字,平均含碳量 $< 1.00\%$ ,可采用一位数字表示含碳量的千分之几 平均含碳量为千分之几 Cr4W2MoV——平均含碳量为1.19%、平均含铬量为3.75%、平均含钨量为2.25%、平均含钼量为1.0%、平均含钒量为0.95%的模具钢 Cr12MoV——平均含碳量为1.6%、平均含铬量为11.75%、平均含钼量为0.5%、平均含钒量为0.22%的合金工具钢 8MnSi——平均含碳量为0.8%、平均含硅量为0.45%、平均含锰量为0.95%的合金工具钢 平均含铬量以千分之几计,在含铬量前加数字“0” Cr06——平均含铬量为0.6%的合金工具钢
	低铬合 金工具 钢(平 均含 铬量 小 于 1%)	Cr06
	塑料模 具钢	SM45 SM3Cr2Mo  在牌号头部加符号“SM”,牌号表示法与优质碳素钢和合金工具钢相同 塑料模具钢 SM45——平均含碳量为0.45%的碳素塑料模具钢 SM3Cr2Mo——平均含碳量为0.34%、平均含铬量为1.7%、平均含钼量为0.42%的合金塑料模具钢
轴 承 钢	高碳铬 轴承钢	GCr15  在牌号头部加符号“G”,但不标明含碳量,含铬量以千分之几计,其他合金元素含量按合金结构钢的合金元素含量表示 GCr15——平均含铬量为1.5%的轴承钢
	渗碳 轴承钢	G20CrNiMo G20CrNiMoA  在牌号头部加符号“G”,采用合金结构钢的表示方法。高级优质渗碳轴承钢,在牌号尾部加符号“A” G20CrNiMo——平均含碳量为0.20%、平均含铬量为0.5%、平均含镍量为0.55%、平均含钼量为0.23%的渗碳轴承钢
	高碳 铬不 锈钢 轴承 钢和 高温 轴承 钢	9Cr18 10Cr14Mo4  采用不锈钢和耐热钢的牌号表示方法,牌号头部不加符号“G” 9Cr18——平均含碳量为0.9%、平均含铬量为18%的高碳铬不锈钢 10Cr14Mo4——平均含碳量为1.02%、平均含铬量为14%、平均含钼量为4%的高温轴承钢
不 锈 钢 和 耐 热 钢	不锈 钢和 耐热 钢	2Cr13 11Cr17 0Cr18Ni9  一般在牌号前用阿拉伯数字表示平均含碳量为千分之几;当含碳量上限 $< 0.10\%$ ,以一个“0”表示含碳量;当 $0.01\% < \text{含碳量上限} \leq 0.03\%$ (超低碳)以“03”表示含碳量;当含碳量上限 $\leq 0.01\%$ (极低碳),以“01”表示含碳量。合金元素含量表示方法同合金结构钢
	超低 碳不 锈钢	03Cr19Ni10  易切削不锈钢和耐热钢在牌号头部加符号“Y” 2Cr13——平均含碳量为0.20%、平均含铬量为13%的不锈钢 11Cr17——平均含碳量为1.10%、平均含铬量为17%的高碳铬不锈钢
	极低 碳不 锈钢	01Cr19Ni11  0Cr18Ni9——含碳量上限为0.08%、平均含铬量为18%、平均含镍量为9%的镍铬不锈钢 03Cr19Ni10——含碳量上限为0.03%、平均含铬量为19%、平均含镍量为10%的超低碳不锈钢 01Cr19Ni11——含碳量上限为0.01%、平均含铬量为19%、平均含镍量为11%的极低碳不锈钢
	易切 削不 锈钢	Y1Cr17  Y1Cr17——含碳量上限为0.12%、平均含碳量为17%的加硫易切削铬不锈钢

续表

产品名称	牌号举例	牌号表示方法说明
易切削钢	加硫易切削钢和加硫、磷易切削钢 Y15 Y40Mn	在牌号头部加符号“Y”,用阿拉伯数字表示平均含碳量为万分之几 Y15——平均含碳量为0.15%的易切削钢,在后面不加易切削元素符号 Y40Mn——平均含碳量为0.40%、平均含锰量为1.20%~1.55%的较高含锰量易切削钢
	含钙、铅易切削钢 Y45Ca Y15Pb	Y45Ca——平均含碳量为0.45%、平均含钙量为0.002%~0.006%的易切削钢,后面加易切削元素钙的符号 Y15Pb——平均含碳量为0.15%、平均含铅量为0.15%~0.35%的易切削钢,后面加易切削元素铅的符号
非调质机械结构钢	易切削非调质机械结构钢 YF35V	在牌号头部加符号“F”,易切削非调质机械结构钢在牌号头部再加符号“Y” YF35V——平均含碳量为0.35%、平均含钒量为0.06%~0.13%的易切削非调质机械结构钢 F45V——平均含碳量为0.45%、平均含钒量为0.06%~0.13%的热锻用非调质机械结构钢
	热锻用非调质机械结构钢 F45V	
焊接用钢	H08 H08Mn2Si H1Cr19Ni9 H08Mn2SiA	焊接用钢包括焊接用碳素钢、焊接用合金钢和焊接用不锈钢等 在各类焊接用钢牌号头部加符号“H”,高级优质焊接用钢在牌号尾部加符号“A”
电工用硅钢片	电工用热轧硅钢 DR440-50 DR1750G-35	DR 440-50 ——公称厚度为0.50mm的100倍数字 ——最大允许铁损为4.40W/kg的100倍数字,其后无“G”表示在50Hz下检验 ——电工热轧
	电工用冷轧无取向硅钢和取向硅钢 30Q130 35W300 27QG100	DR1750G-35——公称厚度为0.35mm,最大允许铁损为17.50W/kg的电工用热轧硅钢 ——“G”表示在高频率(400Hz)下检验 ——公称厚度(mm)的100倍数字 30Q130 35W300 27QG100
	电信取向高磁感硅钢 DG5	——铁损值的100倍数字 ——“Q”表示取向硅钢,“W”表示无取向硅钢,“QG”表示高磁感硅钢 ——电信取向高磁感硅钢 DG5——数字表示电磁性能级别,从1至6表示电磁性能从低到高
电磁纯铁	DT3 DT4 DT4A DT4C DT4E	DT4A ——电磁性能不同的质量等级符号(如A、C、E) ——数字表示不同牌号的顺序号 ——电磁纯铁

产品名称	牌号举例	牌号表示方法说明
高电阻电热合金	0Cr25Al5	采用规定的化学元素和阿拉伯数字表示。牌号表示方法与不锈钢和耐热钢相同(镍铬基合金不标出含碳量) 0Cr25Al5——平均含铬为25%、平均含铝量为5%、平均含碳量不大于0.06%的高电阻电热合金(其余为铁)

注: 1. 各牌号中化学元素含量, 一般为质量分数(%), 采用阿拉伯数字表示。

2. 本表表示方法的依据是 GB/T 221—2000 和 GB/T 700—2006, 对原标准 GB 221—1979 进行了部分修改, 许多现在仍然有效的钢铁产品标准是按 GB 221—1979 表示方法制定的, 所以有部分钢铁标准(如不锈钢、耐热钢 GB/T 1220—1992) 的表示方法与本标准(GB/T 221—2000) 表示方法并不一致, 提醒读者注意。

3. 表中铸铁和铸钢的表示方法分别摘自 GB/T 5612—1985 和 GB/T 5613—1995。

### 金属材料力学性能代号及其含义

表 3-1-4

代号	名称	单位	含 义
$R_m(\sigma_b)$ $\sigma_{bc}$ $\sigma_{bb}$	抗拉强度 抗压强度 抗弯强度	MPa 或 N/mm <sup>2</sup>	材料试样受拉力时, 在拉断前所承受的最大应力 材料试样受压力时, 在压坏前所承受的最大应力 材料试样受弯曲力时, 在破坏前所承受的最大应力
$\tau$ $\tau_b$	抗剪强度 抗扭强度		材料试样受剪力时, 在剪断前所承受的最大切应力 材料试样受扭转力时, 在扭断前所承受的最大切应力
$\sigma_s$ $\sigma_{0.2}$ $R_{eH}$ $R_{eL}$ $R_p$	屈服点 屈服强度 上屈服强度 下屈服强度 规定非比例延伸强度		材料试样在拉伸过程中, 负荷不增加或开始有所降低而变形继续发生的现象称为屈服, 屈服时的最小应力称为屈服点或屈服极限。当金属材料出现屈服现象时, 在试验期间塑性变形发生而力不增加的应力点称为屈服强度。应区分上屈服强度和下屈服强度。试样发生屈服而力首次下降前的最高应力为上屈服强度。在屈服期间, 不计初始瞬时效应时的最低应力称为下屈服强度。 对某些屈服现象不明显的金属材料, 测定屈服强度比较困难, 为便于测量, 通常将其产生永久变形量等于试样原长 0.2% 时的应力称为屈服强度或条件屈服强度。 $R_{p0.2}$ 表示规定非比例伸长率为 0.2% 时的应力
$\sigma_e$ $\sigma_p$	弹性极限 比例极限		材料能保持弹性变形的最大应力称弹性极限。真实的弹性极限难以测定, 标准规定按残余伸长为 0.01% 时的应力值表示 在弹性变形阶段, 材料应力和应变成正比关系的最大应力, 称比例极限。 $\sigma_p$ 与 $\sigma_e$ 两数值很接近, 常以规定的 $\sigma_p$ 代替 $\sigma_e$ 。
$E$ $G$	弹性模量 切变模量		弹性模量与切变模量是在比例极限的范围内, 应力与应变成正比时的比例常数, 是衡量材料刚度的指标 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\varepsilon \text{ 为试样的纵向线应变})$ $G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (\gamma \text{ 为试样的切应变})$
$\mu$	泊松比	—	在弹性范围内, 试样横向线应变与纵向线应变的比值 $\mu = \left  \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right , \quad \varepsilon' = -\mu\varepsilon \quad (\varepsilon' \text{ 为试样横向线应变})$
$\sigma_{-1}$ $\sigma_{-1n}$	疲劳极限	MPa 或 N/mm <sup>2</sup>	金属材料在交变负荷作用下, 经无限次应力循环而不产生断裂的最大循环应力称为疲劳极限。国家标准规定, 对于钢铁材料, 应力循环次数采用 $10^7$ 次, 对于有色金属材料采用 $10^8$ 或更多的周次。 $\sigma_{-1}$ 表示光滑试样的对称弯曲疲劳极限; $\sigma_{-1n}$ 表示缺口试样的对称弯曲疲劳极限

续表

代号	名称	单位	含 义
$\sigma_{\frac{\text{温度}}{\text{应变}/\text{时间}}}$	蠕变强度	MPa 或 N/mm <sup>2</sup>	金属材料在高于一定温度下受到应力作用,即使应力小于屈服强度,试件也会随着时间的增长而缓慢地产生塑性变形,这种现象称为蠕变。在给定温度下和规定的使用时间内,使试样产生一定蠕变变形量的应力称为蠕变强度。例如, $\sigma_{\frac{500}{1/100000}} = 100\text{MPa}$ ,表示材料在 500℃ 温度下,10 <sup>5</sup> h 后应变量为 1% 的蠕变强度为 100MPa。蠕变强度是材料在高温长期负荷下对塑性变形抗力的性能指标
$\sigma_b$ 温度/时间	持久强度		金属材料在高温条件下,经过规定时间发生断裂时的应力称为持久强度。通常所指的持久强度,是在一定的温度条件下,试样经 10 <sup>5</sup> h 后的断裂强度。 $\sigma_{b/100}^{700}$ 表示在试验温度为 700℃ 时,持久时间为 100h 的应力
$A(\delta)$ $A_{11.3}(\delta_5)$ $\delta_{10}$	伸长率	%	$\delta$ 为材料试样被拉断后,标距长度的增加量与原标距长度之比的百分数 $\delta_5$ 为试样的标距等于 5 倍直径时的伸长率 $\delta_{10}$ 为试样的标距等于 10 倍直径时的伸长率 对于比例试样, $A_{11.3}$ 表示原始标距 ( $L_0$ ) 为 $11.3\sqrt{S_0}$ ( $S_0$ 为平行于长度的原始横截面积) 的断后伸长率。对于非比例试样,符号 $A$ 应附以下脚注说明所使用的原始标距,以 mm 表示,如 $A_{80\text{mm}}$ 表示原始标距 ( $L_0$ ) 为 80mm 的断后伸长率
$Z(\psi)$	断面收缩率		断面收缩率为材料试样在拉断后,其断裂处横截面积的缩减量与原横截面积之比的百分数。 收缩率和伸长率均用来表示材料塑性的指标
$a_{kU}$ 或 $a_{kV}$	冲击韧度	J/cm <sup>2</sup>	在摆锤式一次试验机上,将一定尺寸和形状的标准试样冲断所消耗的功 $A_k$ 与断口横截面积的比值称为冲击韧度 $a_k$ 。按国家标准规定, $a_{kU}$ 为夏比 U 形缺口试样冲击韧度, $A_{kU}$ 为夏比 U 形缺口试样冲断时所消耗的冲击吸收功 (J); $a_{kV}$ 为夏比 V 形缺口试样冲击韧度, $A_{kV}$ 为夏比 V 形缺口试样冲断时所消耗的冲击吸收功 (J)。
$A_{kU}$ 或 $A_{kV}$	冲击吸收功	J	由于 $a_k$ 值的大小不仅取决于材料本身,同时还随试样尺寸、形状的改变及试验温度的不同而变化,因而 $a_k$ 值只是一个相对指标。目前国际上许多国家直接采用冲击吸收功 $A_k$ 作为冲击韧性的指标,我国将逐步用 $A_k$ 代替 $a_k$
HB (HBS 或 HBW)	布氏硬度	kgf/mm <sup>2</sup> (一般不标注)	硬度是指金属抵抗硬的物体压入其表面的能力 用淬硬小钢球或硬质合金球压入金属表面,保持一定时间待变形稳定后卸载,以其压痕面积除加在钢球上的载荷,所得之商,即为金属的布氏硬度值。硬度小于或等于 450HBS 时使用钢球测定。硬度小于或等于 650HBW (见 GB/T 231.1) 时使用硬质合金球测定 当试验力单位为 N 时,布氏硬度值为 $HB = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kgf/mm}^2)$ 式中 $F$ —— 钢球上的载荷, N; $D$ —— 钢球直径, mm; $d$ —— 压痕直径, mm 如果试验力单位为 kgf, 则式中系数 0.102 应为 1

代号	名称	单位	含 义
HRC	洛氏硬度 C 级	—	用 1471N 载荷,将顶角为 120°的圆锥形金刚石的压头,压入金属表面,取其压痕的深度来计算硬度的大小,即为金属的 HRC 硬度,HRC 用来测量硬度为 230 ~ 700HB 的金属材料,主要用于测定淬火钢、调质钢等较硬的金属材料(见 GB/T 230,下同)
HRA	洛氏硬度 A 级	—	指用 588.4N 载荷和顶角为 120°的圆锥形金刚石的压头所测定出来的硬度,一般用来测定硬度很高或硬而薄的金属材料,如碳化物、硬质合金或表面淬火层,HRA 用来测量硬度大于 700HB 的金属材料
HRB	洛氏硬度 B 级	—	指用 980.7N 载荷和直径为 1.5875mm (即 1/16in)的淬硬钢球所测得的硬度。主要用于测定硬度为 60 ~ 230HB 的较软的金属材料,如软钢、退火钢、正火钢、铜、铝等有色金属
HRN HRT	表面洛氏硬度	—	试验原理同洛氏硬度,不同的是试验载荷较轻,HRN 的压头是顶角为 120°金刚石圆锥体,HRT 的压头是直径为 1.5875mm 的淬硬钢球。二者的载荷均为 15kgf、30kgf 和 45kgf。二者的标注分别为 HRN15、HRN30、HRN45 和 HRT15、HRT30、HRT45。表面洛氏硬度只适用于钢材表面渗碳、渗氮等处理的表面层硬度,以及较薄、较小试件的硬度测定,数值比较准确(见 GB/T 1818)
HV	维氏硬度	kgf/mm <sup>2</sup> (一般不标注)	用 49.03 ~ 980.7N(分 6 级)的载荷,将顶角为 136°的金刚石四方角锥体压头压入金属的表面,经一定的保荷时间后卸载,以其压痕表面积除载荷所得之商,即为维氏硬度值。HV 只适用于测定很薄(0.3 ~ 0.5mm)的金属材料、金属薄镀层或化学热处理后的表面层硬度(如镀铬、渗碳、氮化、碳氮共渗层等)(见 GB/T 4340.1)

$$HR = K - \frac{\bar{bd}}{0.002}$$

式中  $K$ ——常数,HRC 及 HRA 的  $K$  值为 100,HRB 的  $K$  值为 130;

$\bar{bd}$ ——压痕深度,mm;

0.002——试验机刻度盘上每一小格所代表的压痕深度(每一小格即表示洛氏硬度一度),mm

$$\left. \begin{array}{l} HRN \\ HRT \end{array} \right\} = 100 - 1000t$$

式中  $t$ ——主载荷与初载荷两次加载的压痕深度的差值,mm

$$HV = 0.102 \frac{2P}{d^2} \sin \frac{136^\circ}{2}$$

$$= 0.1891 \frac{P}{d^2}$$

式中  $P$ ——压头上的负荷,N;  
 $d$ ——压痕对角线长度,mm

续表

代号	名称	单位	含义
HS	肖氏硬度		<p>以一定重量的冲头,从一定的高度落于被测试样的表面,以其冲头的回跳高度表示的硬度,适用于测定表面光滑的一些精密量具或不易搬动的大型机件(见 GB/T 4341—2001)</p> $HS = \frac{Kh}{h_0}$ <p>K——肖氏硬度系数; h——金刚石冲头落前距被测表面的高度; h<sub>0</sub>——冲头从被测表面回跳的高度</p>

注:部分性能名称和符号的新旧对照如下。

新标准(GB/T 228—2002)		旧标准(GB/T 228—1987)		新标准(GB/T 228—2002)		旧标准(GB/T 228—1987)	
性能名称	符号	性能名称	符号	性能名称	符号	性能名称	符号
断面收缩率	Z	断面收缩率	$\psi$	上屈服强度	R <sub>eH</sub>	上屈服点	$\sigma_{su}$
伸长率	A	伸长率	$\delta_5$	下屈服强度	R <sub>eL</sub>	下屈服点	$\sigma_{sl}$
	A <sub>11.3</sub> A <sub>xmm</sub>		$\delta_{10}$ $\delta_{xmm}$	规定非比例延伸强度	R <sub>p</sub> 如 R <sub>p0.2</sub>	规定非比例伸长应力	$\sigma_p$ 如 $\sigma_{p0.2}$
最大力总伸长率	A <sub>gt</sub>	最大力下的总伸长率	$\delta_{gt}$	规定总延伸强度	R <sub>t</sub> 如 R <sub>t0.5</sub>	规定总伸长应力	$\sigma_t$ 如 $\sigma_{t0.5}$
最大力非比例伸长率	A <sub>g</sub>	最大力下的非比例伸长率	$\delta_g$		规定残余延伸强度		R <sub>r</sub> 如 R <sub>r0.2</sub>
屈服点伸长率	A <sub>e</sub>	屈服点伸长率	$\delta_s$	抗拉强度	R <sub>m</sub>	抗拉强度	$\sigma_b$
屈服强度	—	屈服点	$\sigma_s$				

## 2 钢铁材料的分类及技术条件

### 2.1 一般用钢

碳素结构钢 (摘自 GB/T 700—2006)

表 3-1-5 碳素结构钢的化学成分

牌号	等级	厚度 (或直径) /mm	化学成分(质量分数)/% ≤					脱氧 方法	用途(参考)		
			C	Mn	Si	P	S				
Q195	—	—	0.12	0.50	0.30	0.035	0.040	F、Z	载荷小的零件、铁丝、垫铁、垫圈、开口销、拉杆、冲压件及焊接件		
Q215	A	—	0.15	1.20	0.35	0.045	0.050	F、Z	拉杆、套圈、垫圈、渗碳零件及焊接件		
	B						0.045				
Q235	A	—	0.22	1.40	0.35	0.045	0.050	F、Z	金属结构件,心部强度要求不高的渗碳或氰化零件,拉杆、连杆、吊钩、车钩、螺栓、螺母、套筒、轴及焊接件,C、D级用于重要的焊接结构		
	B		0.20				0.045				
	C		0.17				0.040			0.040	Z
	D						0.035			0.035	TZ
Q275	A	—	0.24	1.50	0.35	0.045	0.050	F、Z	转轴、心轴、吊钩、拉杆、摇杆楔等强度要求不高的零件,焊接性尚可		
	B		≤40				0.21			0.045	Z
			>40				0.22	0.040	0.040	Z	
	C		—				0.20	0.040	0.040	TZ	轴类、链轮、齿轮、吊钩等强度要求较高的零件
D	0.035	0.035		TZ							

注:1.本标准适用于一般交货状态(钢材一般以热轧、控轧或正火状态交货),通常用于焊接、铆接、栓接工程构件用热轧钢板、钢带、型钢和棒钢。

2.经需方同意,Q235B的含碳量可不大于0.22%。

3.在保证钢材力学性能符合本标准的情况下,各牌号A级钢的碳、锰、硅含量可不作为交货条件,但应在质量证明书中注明其含量。

4.镇静钢脱氧完全,性能较半镇静钢和沸腾钢优良。沸腾钢脱氧不完全,化学成分不均匀,内部杂质较多,耐腐蚀性和机械强度较差,冲击韧度较低,冷脆倾向及时效敏感较大,不适用于高冲击负荷和低温下工作,但成材率高,成本低,没有集中缩孔,表面质量及深冲性能好,一般结构可大量采用。新标准取消半镇静钢。

表 3-1-6 碳素结构钢的力学性能

牌号	等级	屈服强度 $R_{eH}/\text{MPa}$ , $\geq$					抗拉强度 $R_m/\text{MPa}$	断后伸长率 $A/\%$ , $\geq$				冲击试验(V形缺口)		冷弯试验 $B=2a, 180^\circ$		
		厚度(或直径)/mm						厚度(或直径)/mm				冲击吸收功 (纵向)/J $\geq$	温度/ $^\circ\text{C}$	试样方向	钢材厚度(直径)/mm	
		$\leq 16$	$>16$ ~40	$>40$ ~60	$>60$ ~100	$>100$ ~150		$>150$ ~200	$\leq 40$	$>40$ ~60	$>60$ ~100				$>100$ ~150	$>150$ ~200
Q195	—	195	185	—	—	—	315 ~ 430	33	—	—	—	—	—	纵	0	—
													横	0.5a	—	
Q215	A	215	205	195	185	175	335 ~ 450	31	30	29	27	26	—	纵	0.5a	1.5a
	B												+20	横	a	2a
													—	纵	a	2a
													+20	横	1.5a	2.5a
Q235	A	235	225	215	205	195	370 ~ 500	26	25	24	22	21	—	纵	a	2a
	B												+20	横	1.5a	2.5a
	C												0	纵	1.5a	2.5a
	D												-20	横	1.5a	2.5a
Q275	A	275	265	255	245	225	410 ~ 540	22	21	20	18	17	—	纵	1.5a	2.5a
	B												+20	横	1.5a	2.5a
	C												0	纵	1.5a	2.5a
	D												-20	横	2a	3a

注: 1. 冷弯试验中  $B$  为试样宽度,  $a$  为钢材厚度(直径)。

2. Q195 的屈服强度仅供参考, 不作为交货条件。

3. 进行拉伸和冷弯试验时, 型钢和钢棒取纵向试样, 钢板和钢带取横向试样, 断后伸长率允许比表中降低 2% (绝对值)。窄钢带取横向试样, 如果受宽度限制时可取纵向试样。

4. 各牌号 A 级钢冷弯试验合格时, 抗拉强度上限可以不作为交货条件。

5. 用 Q195 和 Q235B 沸腾钢轧制的钢材, 其厚度(直径)不大于 25mm。

6. 厚度不小于 12mm 或直径不小于 16mm 的钢材应进行冲击试验, 厚度为 6 ~ 12mm 或直径为 12 ~ 16mm 的钢材, 经供需双方协议可进行冲击试验。

7. 厚度大于 100mm 的钢材, 抗拉强度下限允许降低 20MPa。宽带钢(包括剪切钢板)抗拉强度上限不作为交货条件。

优质碳素结构钢 (摘自 GB/T 699—1999) 和锻件用碳素结构钢 (摘自 GB/T 17107—1997)

表 3-1-7 优质碳素结构钢的化学成分和力学性能

钢号	化学成分(质量分数)/%			标准号	推荐热处理 /°C			试样尺寸 (GB/T 699) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能				交货状态硬度 HBS10/3000		特性和用途	
	C	Si	Mn		正火	淬火	回火		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ ( $\sigma_{0.2}$ ) /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /°	$A_{KU}$ /J	未热 处理		退火
08F	0.05~0.11	$\leq 0.03$	0.25~0.50	930			295	175	35	60	—	131	—	这种钢强度不高,而塑性和韧性甚高,有良好的冲压、拉伸和弯曲性能,焊接性好。可制作深拉、冲压等零件,如机罩、壳盖、管子、垫片;心部强度要求不高的渗碳和氰化零件,如套筒、短轴、离合器等		
08	0.05~0.11	0.17~0.37	0.35~0.65	930			325	195	33	60	—	131	—			
10F	0.07~0.13	$\leq 0.07$	0.25~0.50	930			315	185	33	55	—	137	—			
10	0.07~0.13	0.17~0.37	0.35~0.65	930			335	205	31	55	—	137	—		屈服点和抗拉强度比值较低,塑性和韧性均高,在冷状态下容易模压成形。一般用于制作拉杆、卡头、垫片、铆钉。无回火脆性倾向,焊接性甚好,冷拉或正火状态的切削加工性能比退火状态好	
15F	0.12~0.18	$\leq 0.07$	0.25~0.50	920			355	205	29	55	—	143	—	塑性、韧性和冷冲性能均极好,但强度较低。用于受力不大、韧性要求较高的零件、渗碳零件、紧固件、冲模锻件及不要热处理的低负荷零件,如螺栓、螺钉、拉条、法兰盘及化工容器、蒸汽锅炉,冷拉或正火状态的切削性能比退火状态好		
15	0.12~0.18	0.17~0.37	0.35~0.65	920			375	225	27	55	—	143	—		塑性、韧性和冷冲性能均极好,但强度较低。用于受力不大、韧性要求较高的零件、渗碳零件、紧固件、冲模锻件及不要热处理的低负荷零件,如螺栓、螺钉、拉条、法兰盘及化工容器、蒸汽锅炉,冷拉或正火状态的切削性能比退火状态好	
	0.17~0.23	0.17~0.37	0.35~0.65	910			410	245	25	55	—			冷变形塑性高,一般供弯曲、压延用,为了获得好的深冲压性能,板材应正火或高温回火 用于不经很大应力而要求很高韧性的机械零件,如拉杆、轴套、螺钉、起重钩等。还可用于表面硬度高而心部强度要求不高的渗碳与氰化零件。冷拉或正火状态的切削加工性较退火状态好		
				正火或正火 + 回火			340	215	24	50	43					
20	0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65				330	195	23	45	39		103~156			
							320	185	22	40	39					



续表

钢号	化学成分(质量分数)/%			标准号	推荐热处理 /°C			试样尺寸 (GB/T 699) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					交货状态硬度 HBS10/3000		特性和用途
	C	Si	Mn		正 火	淬 火	回 火		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ ( $\sigma_{0.2}$ ) /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{KU}$ /J	未热 处理	退火钢	
25	0.22~0.29	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 699	900	870	600	25	450	275	23	50	71	170	性能与20钢相似,钢的焊接性及冷应变能力均高,无回火脆性倾向,用于制造焊接设备,以及经锻造、热冲压和机械加工的承受高应力的零件,如轴、辘子、连接器、垫圈、螺栓、螺钉、螺母	
	0.22~0.30	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 17107	正火或正火+回火			$\leq 100$	420	235	22	50	39	112~170		
30	0.27~0.34	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 699	880	860	600	25	490	295	21	50	63	179	一般在正火状态下使用,截面尺寸不大时,淬火并回火后呈索氏体组织,从而可获得良好的综合力学性能,用于制作螺钉、拉杆、轴、套筒、机座	
	0.27~0.35	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 17107	正火或正火+回火			$\leq 100$	470	245	19	48	31	126~179		
35	0.32~0.39	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 699	870	850	600	25	530	315	20	45	55	197	有好的塑性和中等的强度,切削加工性较好,多在正火和调质状态下使用。焊接性能尚可,但焊前要预热,焊后需进行回火处理,一般不进行焊接。用于制作曲轴、转轮、机身、法兰、螺栓、螺母	
	0.32~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 17107	正火或正火+回火			$\leq 100$	510	265	18	43	28	149~187		
40	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 699	调质			$\leq 100$	470	235	17	37	24	147~187	有较高的强度,加工性能良好,冷变形时塑性中等,焊接性能差,焊前需预热,焊后应进行热处理,多在正火和调质状态下使用,用于制作辘子、轴、曲柄销、活塞杆等	
	0.37~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 17107	正火+回火			$\leq 100$	550	295	19	48	47	156~207		
					调质			100~300	470	245	13	30	20	—		
					正火+回火			300~500	450	225	12	28	20	—		
					调质			500~750	430	215	11	24	16	—		
					860	840	600	25	570	335	19	45	47	217	187	
					正火+回火			$\leq 100$	550	275	17	40	24	143~207		
					调质			100~250	530	265	17	36	24	—		
					调质			250~500	510	255	16	32	20	—		
					调质			$\leq 100$	615	340	18	40	39	196~241		
					调质			100~250	590	295	17	35	31	189~229		
					调质			250~500	560	275	17	—	—	163~219		

续表

钢号	化学成分(质量分数)/%			标准号	推荐热处理 /°C		试样尺寸 (GB/T 699) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					交货状态硬度 HBS10/3000		特性和用途	
	C	Si	Mn		正火	回火		σ <sub>b</sub> (σ <sub>0.2</sub> ) /MPa	δ <sub>5</sub> /%	ψ	A <sub>ku</sub> /J	σ <sub>b</sub>	ψ	未热 处理		退火钢
45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 699	850	840	600	25	600	16	40	39	229	197	强度高,塑性和韧性尚好,切削性良好,调质后有很好的综合力学性能。用于制作承受载荷较大的小截面调质件和应力较小的大型正火零件,以及对心部强度要求不高的表面淬火件,如曲轴、传动轴、齿轮、蜗杆、键、销等。水淬时有形成裂纹的倾向,形状复杂的零件应在热水或油中淬火。焊接性差,但仍可焊接,焊前预热,焊后退火	
									590	15	38	23	170~217			
									570	15	35	19	163~217			
									550	14	32	19	163~217			
50	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 17107	调质	调质	调质	≤100	630	18	40	31	207~302	强度高,塑性、韧性较差,弹性较好,切削性中等,焊接性差,水淬有形成裂纹倾向。一般在正火、调质状态下使用,用于制作要求较高强度、耐磨性或弹性,动载荷及冲击负荷不大的零件,如齿轮、轧辊、机床主轴、连杆、次要弹簧等		
									590	17	35	31	197~286			
									540	10	25	16	—			
									520	10	23	16	—			
55	0.47~0.55	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 699	830	830	600	25	630	14	40	31	241	207	强度高,塑性、韧性较差,弹性较好,切削性中等,焊接性差,水淬有形成裂纹倾向。一般在正火、调质状态下使用,用于制作要求较高强度、耐磨性或弹性,动载荷及冲击负荷不大的零件,如齿轮、轧辊、机床主轴、连杆、次要弹簧等	
									610	13	35	23	—			
									590	12	33	19	—			
									570	12	30	19	—			
55	0.52~0.60	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 17107	820	820	600	25	645	13	35	—	255	217	强度高,塑性、韧性较差,弹性较好,切削性中等,焊接性差,水淬有形成裂纹倾向。一般在正火、调质状态下使用,用于制作要求较高强度、耐磨性或弹性,动载荷及冲击负荷不大的零件,如齿轮、轧辊、机床主轴、连杆、次要弹簧等	
									380	13	35	—	187~229			
									320	12	35	23	187~229			
									625	11	28	19	187~229			
55	0.52~0.60	0.17~0.37	0.50~0.80	GB/T 17107	正火	正火	回火	≤100	610	10	22	19	187~229	强度高,塑性、韧性较差,弹性较好,切削性中等,焊接性差,水淬有形成裂纹倾向。一般在正火、调质状态下使用,用于制作要求较高强度、耐磨性或弹性,动载荷及冲击负荷不大的零件,如齿轮、轧辊、机床主轴、连杆、次要弹簧等		
									305	10	22	19	187~229			
									610	10	22	19	187~229			
									610	10	22	19	187~229			



续表

钢号	化学成分(质量分数)/%			标准号	推荐热处理 /°C			试样尺寸 (GB/T 699) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					交货状态硬度 HBS10/3000		特性和用途
	C	Si	Mn		正火	淬火	回火		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ ( $\sigma_{0.2}$ ) /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	$A_{ku}$ /J	未热 处理	退火钢	
60	0.57~0.65	0.17~0.37	0.50~0.80	810			25	675	400	12	35	—	255	229	强度、硬度和弹性均相当高,切削性、焊接性差,水淬有裂纹倾向,小件才能进行淬火,大件多采用正火。用于制作轧辊、轴、轮箍、弹簧、离合器、钢丝绳等受力较大、要求耐磨性和一定弹性的零件	
65	0.62~0.70	0.17~0.37	0.50~0.80	810			25	695	410	10	30	—	255	229	经适当热处理后,可得到较高的强度与弹性。在淬火、中温回火状态下,用于制作截面较小、形状简单的弹簧及弹簧式零件,如气门弹簧、弹簧垫圈等。在正火状态下,用于制作耐磨性高的零件,如轧辊、轴、凸轮、钢丝绳等。淬透性差,水淬有裂纹倾向,截面尺寸小于15mm时一般油淬,截面较大时水淬	
70	0.67~0.75	0.17~0.37	0.50~0.80	790			25	715	420	9	30	—	269	229	强度较70钢稍高,而弹性略低,其他性能相近,淬透性仍较差。用于制作截面不大(一般不大于20mm)、强度不太高的板簧、螺旋弹簧以及要求耐磨的零件	
75	0.72~0.80	0.17~0.37	0.50~0.80	820	480		试样	1080	880	7	30	—	285	241		
80	0.77~0.85	0.17~0.37	0.50~0.80	820	480		试样	1080	930	6	30	—	285	241		
85	0.82~0.90	0.17~0.37	0.50~0.80	820	480		试样	1130	980	6	30	—	302	255		

续表

钢号	化学成分(质量分数)/%			标准号	推荐热处理/°C		试样尺寸 (GB/T 699) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					交货状态硬度 HBS10/3000		特性和用途	
	C	Si	Mn		正火	回火		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ ( $\sigma_{0.2}$ ) /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	$A_{ku}$ /J	未热 处理	退火钢		
																$\geq$
15Mn	0.12~0.18	0.17~0.37	0.70~1.00		920				410	245	26	55	—	163	—	是高锰低碳渗碳钢,性能与15钢相似,但淬透性、强度和塑性比15钢高。用于制作心部力学性能要求高的渗碳零件,如凸轮轴、齿轮、联轴器等,焊接性尚可
20Mn	0.17~0.23	0.17~0.37	0.70~1.00		910			450	275	24	50	—	197	—		
25Mn	0.22~0.29	0.17~0.37	0.70~1.00	GB/T 699	900	870	600	25	490	295	22	50	71	207	—	
30Mn	0.27~0.34	0.17~0.37	0.70~1.00		880	860	600		540	315	20	45	63	217	187	
35Mn	0.32~0.39	0.17~0.37	0.70~1.00		870	850	600		560	335	18	45	55	229	197	
35Mn2	0.32~0.39	0.17~0.37	1.40~1.80	GB/T 17107	正火+回火			$\leq 100$	620	315	18	45	—	207~241		可在正火状态下应用,也可在淬火与回火状态下应用。切削加工性好,冷变形时的塑性中等,焊接性不良。用于制作承受疲劳负荷的零件,如轴辊及高应力下工作的螺钉、螺母等
40Mn	0.37~0.44	0.17~0.37	0.70~1.00	GB/T 699	860	840	600	$> 100 \sim 300$	580	295	18	43	23	207~241		
45Mn2	0.42~0.49	0.17~0.37	1.40~1.80	GB/T 17107	调质			$\leq 100$	745	590	16	50	47	229~269		
								$> 100 \sim 300$	690	490	16	45	47	229~269		
								25	590	355	17	45	47	229	207	
45Mn	0.42~0.50	0.17~0.37	0.70~1.00	GB/T 699	正火+回火			$\leq 100$	690	355	16	38	—	187~241		用于制作受磨损的零件,如转轴、心轴、齿轮、啮合杆、螺栓、螺母,还可制作离合器盘、花键轴、万向节、凸轮轴、曲轴、汽车后轴、地脚螺栓等。焊接性较差
								$> 100 \sim 300$	670	335	15	35	—	187~241		
								25								
45Mn	0.42~0.50	0.17~0.37	0.70~1.00	GB/T 699	850	840	600		620	375	15	40	39	241	217	
50Mn	0.48~0.56	0.17~0.37	0.70~1.00		830	830	600		645	390	13	40	31	255	217	
				GB/T 17107	正火或正火+回火			$< 250$	645	390	13	40	31		217	弹性、强度、硬度均高,多在淬火与回火后应用,在某些情况下也可在正火后应用。焊接性差。用于制作耐磨性要求很高、在高负荷作用下的热处理零件,如齿轮、凸轮轴、摩擦盘和截面在80mm以下的心轴等



续表

钢号	化学成分(质量分数)/%			标准号	推荐热处理 /°C		试样尺寸 (GB/T 699) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					交货状态硬度 HBS10/3000		特性和用途
	C	Si	Mn		正火	回火		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ ( $\sigma_{0.2}$ ) /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{ku}$	未热 处理	退火 钢	
60Mn	0.57~0.65	0.17~0.37	0.70~1.00	810		25	695	410	11	35	—	269	229	强度高,淬透性较碳素弹簧钢好,脱碳倾向小,但有过热敏感性,易产生淬火裂纹,并有回火脆性。用于制作螺旋弹簧、板簧,各种扁、圆弹簧,弹簧环、片,以及冷拔钢丝(≤7mm)和发条	
65Mn	0.62~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	830		25	735	430	9	30	—	285	229	强度高,淬透性较大,脱碳倾向小,但有过热敏感性,易形成淬火裂纹,并有回火脆性。适宜制作较大尺寸的各种扁、圆弹簧与发条,以及其他经受摩擦的农机零件,如犁、切刀等,也可制作轻载汽车离合器弹簧	
70Mn	0.67~0.75	0.17~0.37	0.90~1.20	790		25	785	450	8	30	—	285	229	用于制作弹簧圈、盘簧、止推环、离合器盘、锁紧圈	

注: 1. GB/T 699 一般适用于直径或厚度不大于 250mm 的优质碳素结构钢棒材, 尺寸超出 250mm 者需由供需双方协商。其化学成分也适用于锭、坯及其制品。

2. GB/T 699 牌号后面加“E”者为高级优质钢, 牌号后面加“E”者为特级优质钢。按使用加工方法分为压力加工用钢和切削加工用钢。

3. GB/T 699 各牌号的 Cr 含量不大于 0.25% (08、08F 不大于 0.10%; 10、10F 不大于 0.15%); Ni 含量不大于 0.30%; Cu 含量不大于 0.25%。优质钢的 P、S 含量均不大于 0.035%; 高级优质钢的 P、S 含量均不大于 0.030%, 特级优质钢的 P、S 含量均不大于 0.025%。

GB/T 17107 各牌号的 Cr、Ni、Cu 含量均不大于 0.25%。P、S 含量均不大于 0.035%。本表仅编入 GB/T 17107 中的部分牌号。

4. 表中 GB/T 699 所列力学性能为试样毛坯经正火后制成试样测定的钢材的纵向力学性能 (不包括冲击吸收功  $A_{kv}$  为试样毛坯经淬火 + 回火后制成试样测定而得。钢号 75、80 及 85 的力学性能是用留有加工余量的试样进行热处理 (淬火 + 回火) 而得。交货状态硬度栏的未热处理表示轧制状态。

5. 表中 GB/T 699 所列力学性能仅适用于截面尺寸不大于 80mm 的钢材。

6. GB/T 17107 规定的截面尺寸为锻件截面尺寸 (直径或厚度) 非试样尺寸。

7. 锻件用结构钢适用于冶金、矿山、船舶、工程机械等设备经整体热处理后取试样测定力学性能的一般锻件。表中所列力学性能不适用于高温、高转速的主轴、转子、叶轮和压力容器等。

## 低合金结构钢 (摘自 GB/T 1591—1994)

低合金结构钢的化学成分和力学性能

表 3-1-8

牌号	质量等级	化学成分(质量分数)/%										力学性能						特性与用途	与旧标准 (GB 1519— 1988) 的对应牌号	
		C ≤	Mn	V	Al ≥	Cr ≤	屈服点 $\sigma_s$ /MPa			抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%	冲击吸收功(纵向) $A_{kv}$ /J			180° 弯曲试验					
							厚度(直径、边长)/mm					≥	+20℃	0℃	-20℃	-40℃	d = 弯心直径 a = 试样厚度 (直径)			钢材厚度 (直径)/mm
							≤16	>16 ~ ~35	>35 ~ ~50											
Q295	A	0.16	0.80 ~1.50	0.02 ~0.15	—	—	295	275	255	235	390 ~570	23				d = 2a	d = 3a	具有良好的塑性和较好的冲击韧性、冷弯性和焊接性。一般在热轧或正火状态下使用。用于制作冲压件、拖拉机轮胎和各种容器、低压锅炉气包及中、低压化工容器和油罐、铁路车辆、造船和有低温要求的结构,可用于-50 ~ -70℃的条件	09Mn2V、 09MnNb、 09Mn2、12Mn	
	B	0.16	0.80 ~1.50	0.02 ~0.15	—	—	295	275	255	235	390 ~570	23	34			d = 2a	d = 3a			
Q345	A	0.20	1.00 ~1.60	0.02 ~0.15	—	—	345	325	295	275	470 ~630	21				d = 2a	d = 3a	综合力学性能良好,低温性能尚可,塑性和焊接性良好,用于制作中、低压容器、油罐、车辆、起重机械、矿山设备、电站、桥梁等承受动荷载的结构、机械零件、建筑结构、一般金属结构件,热轧或正火状态使用,可用于-40℃以下寒冷地区的各种结构	12MnV、16Mn、 14MnNb、 16MnRE、18Nb	
	B	0.20	1.00 ~1.60	0.02 ~0.15	—	—	345	325	295	275	470 ~630	21	34			d = 2a	d = 3a			
	C	0.20	1.00 ~1.60	0.02 ~0.15	0.015	—	345	325	295	275	470 ~630	22	34			d = 2a	d = 3a			
	D	0.18	1.00 ~1.60	0.02 ~0.15	0.015	—	345	325	295	275	470 ~630	22	34			d = 2a	d = 3a			
	E	0.18	1.00 ~1.60	0.02 ~0.15	0.015	—	345	325	295	275	470 ~630	22		27		d = 2a	d = 3a			

续表

牌号	质量等级	力学性能										与旧标准 (GB 1519— 1988) 的对应牌号	特性和用途		
		化学成分(质量分数)/%				屈服点 $\sigma_s$ /MPa		抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%	冲击吸收功(纵向) $A_{kv}$ /J				180°弯曲试验 $d$ = 弯心直径 $a$ = 试样厚度 (直径)	
		C	Mn	V	Al	Cr	厚度(直径、边长)/mm			温度					
		≤	1.00 ~1.60	0.02 ~0.20	—	0.30	≤16 ~35 >35 ~50 >50	390 370 350 330	490 ~650	19	+20℃ ~20℃ 0℃ -40℃			≥	≤16 >16~ 100
Q390	A	0.20	1.00 ~1.60	0.02 ~0.20	—	0.30	390 370 350 330	490 ~650	19				$d=2a$ $d=3a$	15MnV、 15MnTi、 16MnNb	具有良好的综合力学性能,冲击韧性较好、正火状态下使用,焊接性良好,推荐使用温度为 -20 ~ 520℃,用于高、中压锅炉和化工容器,大型船舶、桥梁、车辆、起重机械及较高载荷的焊接结构。热轧状态厚度大于 8mm 的钢板,其塑性、韧性均差
	B	0.20	1.00 ~1.60	0.02 ~0.20	—	0.30	390 370 350 330	490 ~650	19	34			$d=2a$ $d=3a$		
	C	0.20	1.00 ~1.60	0.02 ~0.20	0.015	0.30	390 370 350 330	490 ~650	20	34	34		$d=2a$ $d=3a$		
	D	0.20	1.00 ~1.60	0.02 ~0.20	0.015	0.30	390 370 350 330	490 ~650	20		34		$d=2a$ $d=3a$		
	E	0.20	1.00 ~1.60	0.02 ~0.20	0.015	0.30	390 370 350 330	490 ~650	20			27	$d=2a$ $d=3a$		

续表

牌号	质量等级	力学性能										与旧标准 (GB 1519— 1988) 的对应牌号	特性和用途					
		化学成分(质量分数)/%				屈服点 $\sigma_s$ /MPa		抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa		伸长率 $\delta_5$ /%				冲击吸收功(纵向) $A_{kv}$ /J		180°弯曲试验 $d$ = 弯心直径 $a$ = 试样厚度 (直径)		
		C ≤	Mn	V	Al ≥	Cr ≤	厚度(直径、边长)/mm		强度		≥			钢材厚度 (直径)/mm				
							≤16	>16	>35	>50	+20℃			0℃	-20℃	-40℃	≤16	>16~100
Q420	A	0.20	1.00 ~1.70	0.02 ~0.20	—	0.40	420	400	380	360	520 ~680	18	34	34	34	27	15MnVN、 14MnVTiRE	小截面钢材在热轧状态下使用,板厚大于17mm的钢材经正火后使用。综合力学性能、焊接性能良好,低温韧性很好,用于大型船舶、桥梁、车辆、高压容器、重型机械及其他焊接结构
	B	0.20	1.00 ~1.70	0.02 ~0.20	—	0.40	420	400	380	360	520 ~680	18	34	34	34	27		
	C	0.20	1.00 ~1.70	0.02 ~0.20	0.015	0.40	420	400	380	360	520 ~680	19	34	34	34	27		
	D	0.20	1.00 ~1.70	0.02 ~0.20	0.015	0.40	420	400	380	360	520 ~680	19	34	34	34	27		
Q460	E	0.20	1.00 ~1.70	0.02 ~0.20	0.015	0.40	460	440	420	400	550 ~720	17	34	34	34	27		
	C	0.20	1.00 ~1.70	0.02 ~0.20	0.015	0.70	460	440	420	400	550 ~720	17	34	34	34	27		
	D	0.20	1.00 ~1.70	0.02 ~0.20	0.015	0.70	460	440	420	400	550 ~720	17	34	34	34	27		

注: 1. 本标准适用于热轧、控轧、正火、正火加回火及淬火加回火状态供应的工程用钢和一般结构用厚度不小于3mm的钢板、钢带及型钢、钢棒,一般在供应状态下使用。  
 2. 牌号表示举例: Q390A中Q为钢材屈服点的“屈”字汉语拼音的首字母; 390为屈服点数值,单位为MPa; A为质量等级符号。  
 3. 化学成分中Si含量不大于0.55%, Nb含量为0.015%~0.060%, Ti含量为0.02%~0.20%, Q295、Q345无Ni含量, Q390、Q420、Q460的Ni含量不大于0.70%。  
 4. Q460和各牌号D、E级钢一般不供应型钢、钢棒。



合金结构钢 (摘自 GB/T 3077—1999) 和银件用合金结构钢 (摘自 GB/T 17107—1997)

合金结构钢的化学成分和力学性能

表 3-1-9

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能				供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火 温度/℃	回火 温度 /℃	冷却 剂	力 学 性 能								
										$\sigma_b$ /MPa		$\sigma_s$	$\delta_5$	$\psi$	$A_{kV}$ /J			
20Mn2	0.17~0.24 0.17~0.37	0.17~0.37 0.17~0.37	1.40~1.80 1.40~1.80				850 880	水、油 水、油	200 440	水、空 水、空	15	785 590	10	40	47	≤187	GB/T 3077	截面较小时,相当于20Cr钢,可 制作渗碳小齿轮、小轴、活塞销、 气门推杆、缸套等。渗碳后硬度 56~62HRC  制作冷墩的螺栓及截面较大的 调质零件  截面小时(≤15mm)与40Cr相 当,制作载重汽车冷墩的各种重 要螺栓及小轴等,表淬硬度 40~50HRC  截面较小时,与40Cr相当,直径 在50mm以下时可代替40Cr制作 重要螺栓及零件,一般在调质状 态下使用  强度、耐磨性和淬透性均较高, 调质后有良好的综合力学性能, 也可正火后使用。截面尺寸在 50mm以下可代替40Cr,表淬硬度 45~55HRC  用于汽车花键轴,重型机械的 内齿轮、齿轮轴等高应力与磨损 条件的零件,直径小于80mm的零 件可代替45Cr  相当于20CrNi的渗碳钢,用于 制作高压容器、冷冲件、矿用链 环等
30Mn2	0.27~0.34 0.17~0.37	0.17~0.37 0.17~0.37	1.40~1.80 1.40~1.80				840	水	500	水	25	785 635	12	45	63	≤207		
35Mn2	0.32~0.39 0.17~0.37	0.17~0.37 0.17~0.37	1.40~1.80 1.40~1.80				840	水	500	水	25	835 685	12	45	55	≤207		
40Mn2	0.37~0.44 0.17~0.37	0.17~0.37 0.17~0.37	1.40~1.80 1.40~1.80				840	水、油	540	水	25	885 735	12	45	55	≤217		
45Mn2	0.42~0.49 0.17~0.37	0.17~0.37 0.17~0.37	1.40~1.80 1.40~1.80				840	油	550	水、油	25	885 735	10	45	47	≤217		
50Mn2	0.47~0.55 0.17~0.37	0.17~0.37 0.17~0.37	1.40~1.80 1.40~1.80				820	油	550	水、油	25	930 785	9	40	39	≤229		
20MnV	0.17~0.24 0.17~0.37	0.17~0.37 0.17~0.37	1.30~1.60 1.30~1.60			V0.07 ~0.12	880	水、油	200	水、空	15	785 590	10	40	55	≤187		

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /°	$A_{10}$ /°				
							温度/°C	第二次冷却剂	温度/°C	冷却剂									
																第一次 淬火			
20MnMo	0.17~0.23	0.17~0.37	0.90~1.30		0.15~0.25		调质		调质		500~470	305~275	14~14	40~40	39~39	—	GB/T 17107	焊接性良好,用于中温高压容器,如封头、底盖、筒体等	
20MnMoNb	0.16~0.23	0.17~0.37	1.20~1.50		0.45~0.60	Nb0.02~0.45	调质		调质		635~490	490~440	15~15	45~45	47~39	187~187	GB/T 17107	耐高温 500~530°C 以下,焊接性和加工性良好,可制作化工高压容器、水压机工作缸、水轮机大轴等	
42MnMoV	0.38~0.45	0.17~0.37	1.20~1.50		0.20~0.30	V0.10~0.20	调质		调质		765~705	590~540	12~12	40~35	31~23	241~229	GB/T 17107	代替 42CrMo 制作轴和齿轮,表淬硬度 45~55HRC	
20SiMn	0.16~0.22	0.60~0.80	1.00~1.30				正火+回火		正火+回火		470~450	265~255	15~14	30~30	39~39	—		具有一定的强度和韧性,焊接性良好。用于电渣焊和大截面厚壁零件	
27SiMn	0.24~0.32	1.10~1.40	1.10~1.40				920	水	450	水、油	980	835	12	40	39	≤217	GB/T 3077	是低淬透性的调质钢。在调质状态下用于要求高韧性和耐磨性的热冲压件,也可在正火或热轧状态下使用,如拖拉机履带销等	
35SiMn	0.32~0.40	1.10~1.40	1.10~1.40				900	水	570	水、油	885	735	15	45	47	≤229	GB/T 17107	如要求低温冲击值不高时可代替 40Cr 制作调质件,耐磨及耐疲劳性较好,用于轴、齿轮及 430°C 以下的重要紧固件	



续表

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{10}$ /J			
							温度/°C	第一次 淬火	第二次 冷却剂	温度 /°C									
42SiMn	0.39 ~ 0.45	1.10 ~ 1.40	1.10 ~ 1.40				880	水	590	水	885	735	15	40	47	≤229	GB/T 3077	与 35SiMn 同,但主要用来制作截面较大需表面淬火的零件,如齿轮、轴等,韧性较差,表淬易裂	
							调质				785	510	15	45	31	229 ~ 286			
50SiMn	0.46 ~ 0.54	1.10 ~ 1.10	1.10								735	460	14	35	23	217 ~ 269	GB/T 17107	有高的强度和良好的韧性,不宜焊接,可代替 40Cr 制作大型齿圈及中、小截面轴类零件	
							调质				685	440	13	30	23	215 ~ 255			
20SiMn2MoV	0.17 ~ 0.23	0.90 ~ 1.20	2.20 ~ 2.60		0.30 ~ 0.40	V0.05 ~ 0.12	900	油	200	水、空	1380	—	10	45	55	≤269	GB/T 3077	淬火并低温回火后,强度高、韧性好,可代替调质状态下使用的 35CrMo、35CrNi3MoA 等,用来制作石油机械中的吊环、吊卡等	
							900	油	200	水、空	1470	—	10	40	47	≤269			
37SiMn2MoV	0.33 ~ 0.39	0.60 ~ 0.90	1.60 ~ 1.90		0.40 ~ 0.50	V0.05 ~ 0.12	870	水、油	650	水、空	980	835	12	50	63	≤269	GB/T 3077	有较高的淬透性,860 ~ 900°C 淬火,650 ~ 680°C 回火后的综合力学性能最好,低温韧性良好,有较高的高温强度,用来制作大截面承受重载的轴、转子、齿轮和高压容器,表淬硬度 50 ~ 55HRC	
40B	0.37 ~ 0.44	0.17 ~ 0.37	0.60 ~ 0.90		B0.0005 ~ 0.0035		840	水	550	水	785	635	12	45	55	≤207	GB/T 3077	淬透性及强度稍高于 40 钢。可制作稍大截面的调质零件,可代替 40Cr 制作要求不高的小尺寸零件	
45B	0.42 ~ 0.49	0.17 ~ 0.37	0.60 ~ 0.90		B0.0005 ~ 0.0035		840	水	550	水	835	685	12	45	47	≤217	GB/T 3077	淬透性、强度、耐磨性稍高于 45 钢,用于制作截面较 45 钢稍大、要求较高的调质件,可代替 40Cr 制作小尺寸零件	

续表

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					标准号	特性和用途		
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	$A_{KU}$ /J	供应状态 硬度 HB 10/3000				
							温度/°C	第一次 淬火	第二次 冷却剂	温度 /°C									冷却 剂	
																				≥
50B	0.47~0.55	0.17~0.37	0.60~0.90			B0.0005 ~0.0035		840	油		600	空	20	785	540	10	45	39	≤207	调质后综合力学性能优于50钢,主要用于代替50、50Mn及50Mn2制作要求强度高、截面大的调质零件
40MnB	0.37~0.44	0.17~0.37	1.10~1.40			B0.0005 ~0.0035		850	油		500	水、油	25	980	785	10	45	47	≤207	性能接近40Cr,常用来制作汽车、拖拉机中等、小截面的重要调质件,还可代替40Cr制作较大截面零件,如制作 $\phi 250 \sim 320$ mm的卷扬机中间轴
45MnB	0.42~0.49	0.17~0.37	1.10~1.40			B0.0005 ~0.0035		840	油		500	水、油	25	1030	835	9	40	39	≤217	常用来代替40Cr、45Cr、45Mn2制作较耐磨的中、小截面的调质件和高频淬火件,如机床上的齿轮、钻床主轴花键轴等
20MnMoB	0.16~0.22	0.17~0.37	0.90~1.20		0.20~0.30	B0.0005 ~0.0035		880	油		200	油、空	15	1080	885	10	50	55	≤207	常用来代替20CrMnTi和12CrNi3A制作心部强度要求高的中等负荷的汽车、拖拉机使用的齿轮及负荷大的机床齿轮等
15MnVB	0.12~0.18	0.17~0.37	1.20~1.60			V0.07~0.12 B0.0005 ~0.0035		860	油		200	水、空	15	885	635	10	45	55	≤207	淬火低温回火后制作重要的螺栓,如汽车上的连杆螺栓、半轴螺栓、汽缸盖螺栓等,代替40Cr制作调质件,也可制作中等负荷小尺寸的渗碳件,如小轴、小齿轮等
20MnVB	0.17~0.23	0.17~0.37	1.20~1.60			V0.07~0.12 B0.0005 ~0.0035		860	油		200	水、空	15	1080	885	10	45	55	≤207	用来代替20CrMnTi、20CrNi、20Cr制作模数较大、负荷较重的中、小尺寸渗碳件,如重型机床上的齿轮与轴、汽车后桥齿轮等



续表

钢号	化学成分(质量分数)/%					热处理			试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能				供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火			回火	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$				$A_{k0}$ /J						
							温度/°C	冷却剂										温度/°C	冷却剂				
40MnVB	0.37 ~ 0.17 ~ 1.10 ~					V0.05 ~	850	油	520	水、油	10	45	47	≤207	GB/T 3077	调质后有良好的综合力学性能, 优于 40Cr, 用来代替 40Cr、42CrMo、40CrNi 制作汽车、拖拉机和机床上的重要调质件, 如轴、齿轮等							
	0.44 0.37 1.40				B0.0005 ~ 0.0035	850											油	520	水、油	10	45	47	≤207
20MnTiB	0.17 ~ 0.17 ~ 1.30 ~					Ti0.04	860	油	200	水、空	10	45	55	≤187	GB/T 3077	用于代替 20CrMnTi 制作较高级的渗碳件, 如汽车、拖拉机上截面较小、中等负荷的齿轮							
	0.24 0.37 1.60				~0.10 B0.0005 ~0.0035	860											油	200	水、空	10	45	55	≤187
25MnTiBRE	0.22 ~ 0.20 ~ 1.30 ~					Ti0.04	860	油	200	水、空	10	40	47	≤229	GB/T 3077	有较高的弯曲强度、接触疲劳强度, 可代替 20CrMnTi、20CrMnMo、20CrMo, 广泛用于中等负荷的拖拉机渗碳件, 如齿轮, 使用性能优于 20CrMnTi							
	0.28 0.45 1.60				~0.10 B0.0005 ~0.0035 RE 加入 量 0.05	860											油	200	水、空	10	40	47	≤229
15Cr	0.12 ~ 0.17 ~ 0.40 ~ 0.70 ~						880	水、油	200	水、空	11	45	55	≤179	GB/T 17107	用来制作截面尺寸小于 30mm、形状简单、心部强度和韧性要求较高、表面受磨损的渗碳或氧化件, 如齿轮、凸轮活塞销等、渗碳表面硬度 56 ~ 62HRC							
	0.18 0.37 0.70 1.00					780 ~ 820											水、油	200	水、空	11	45	55	≤179
15CrA	0.12 ~ 0.17 ~ 0.40 ~ 0.70 ~						880	水、油	180	油、空	12	45	55	≤179	GB/T 17107	用来制作截面尺寸小于 30mm、形状简单、心部强度和韧性要求较高、表面受磨损的渗碳或氧化件, 如齿轮、凸轮活塞销等、渗碳表面硬度 56 ~ 62HRC							
	0.17 0.37 0.70 1.00					770 ~ 820											水、油	180	油、空	12	45	55	≤179
20Cr	0.18 ~ 0.17 ~ 0.50 ~ 0.70 ~	0.24 0.37 0.80 1.00					正火 + 回火	正火 + 回火	200	水、空	18	35	31	123 ~ 167	GB/T 17107								
																	≤100	430	215	19	40	31	123 ~ 179
																	101 ~ 300	430	215	18	35	31	123 ~ 167
							调质	调质	200	水、空	20	40	35	137 ~ 179									
									200	水、空	19	40	31	137 ~ 197									

续表

钢号	化学成分(质量分数)/%					热处理			试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能				供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途		
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火			回火		$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%				$\psi$	$A_{ku}$ /J
							温度/°C	冷却剂		温度/°C	冷却剂							
30Cr	0.27 ~ 0.34	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.80 ~ 1.10			860	油	500	水、油	885	11	45	47	≤187	GB/T 3077	用于磨损及很大冲击负荷下工作的重要零件,如轴、滚子、齿轮及重要螺栓等	
	0.32 ~ 0.39	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.80 ~ 1.10			860	油	500	水、油	930	11	45	47	≤207			
35Cr							850	油	520	水、油	980	9	45	47	≤207	GB/T 3077	调质后有良好的综合力学性能,是应用广泛的调质钢,用于轴类零件及曲轴、曲柄、汽车转向节、连杆、螺栓、齿轮等。表淬硬程度 48 ~ 55HRC。截面尺寸在 50mm 以下时,油淬后有较高的疲劳极限,一定条件下可用 40MnB、45MnB、35SiMn、42SiMn 等代替	
	0.37 ~ 0.44	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.80 ~ 1.10							735	15	45	39	241 ~ 286			
40Cr	0.44	0.37	0.80	1.10							685	14	45	31	241 ~ 286	GB/T 17107	用于拖拉机离合器、齿轮及柴油机连杆、螺栓、挺杆等	
	0.37 ~ 0.44	0.37	0.80	1.10							635	10	35	23	229 ~ 269			
45Cr	0.42 ~ 0.49	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.80 ~ 1.10			840	油	520	水、油	1030	9	40	39	≤217	GB/T 3077	用于支承轴、强度和耐磨性要求高的轴、齿轮、油膜轴承的轴套等。在油中淬火与回火后能获得很高的强度	
	0.47 ~ 0.54	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.80 ~ 1.10			830	油	520	水、油	1080	9	40	39	≤229			
50Cr	0.47 ~ 0.54	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.80 ~ 1.10							835	10	40	—	241 ~ 286	GB/T 17107	比 40Cr 的淬透性好,低温冲击韧性较高,一般用于制作直径为 30 ~ 40mm、强度和耐磨性要求较高的零件,如汽车、拖拉机上的轴、齿轮、气阀等	
	0.43	1.30	0.60	1.60			900	油	600	水、油	980	12	50	55	≤255			
38CrSi	0.35 ~ 0.43	1.00 ~ 1.30	0.30 ~ 0.60	1.30 ~ 1.60			900	油	600	水、油	410	24	60	110	≤179	GB/T 3077	蒸汽温度达 510°C 的主汽管,管壁温度不高于 540°C 的蛇形管、导管	
12CrMo	0.08 ~ 0.15	0.17 ~ 0.37	0.40 ~ 0.70	0.40 ~ 0.70	0.40 ~ 0.55		900	空	650	空								

续表

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{10}$ /J			
							温度/°C 第一次 淬火	第二次 淬火	温度/°C	冷却 剂									
15CrMo	0.12~0.17	0.17~0.40	0.40~0.80	0.80~1.10	0.40~0.55		900	空	650	空	440	295	22	60	94	≤179	GB/T 3077	蒸汽温度达510℃的主汽管,管壁温度不高于540℃的蛇形管、导管	
	0.18	0.37	0.70	1.10	0.55		880	水、油	500	水、油	885	685	12	50	78	≤197			
20CrMo	0.17~0.24	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	0.15~0.25						780	600	14	55	—	—	GB/T 17107	强度和韧性较好,在500℃以下有足够的的高温强度,焊接性能良好(当Mn、Cr、Mo含量在下列限时),用于轴、活塞连杆等	
	0.29	0.37	0.80	1.20	0.30						690	450	15	60	—	—			
30CrMo	0.26~0.34	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	0.15~0.25		880	水、油	540	水、油	930	785	12	50	63	≤229	GB/T 3077	调质后有很好的综合力学性能,高温(低于550℃)下也有较高强度,用于制作截面较大的零件,如主轴、高负荷螺栓等及500℃以下受高压的法兰和螺栓,尤适于29MPa、400℃条件下工作的管道与紧固件	
	0.33	0.37	0.70	1.10	0.25		880	油	540	水、油	930	735	12	50	71	≤229			
30CrMoA	0.26~0.33	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	0.15~0.25		850	油	550	水、油	980	835	12	45	63	≤229	GB/T 3077	强度、韧性、淬透性均高,淬火时变形极小,用于制作大截面齿轮和重型传动轴,如轧钢机人字齿轮、大电机轴、汽轮机主轴及锅炉上400℃以下的螺栓、500℃以下的螺母,可代替40CrNi使用,表淬硬度不低于40~45HRC	
	0.40	0.37	0.70	1.10	0.25						735	540	15	45	47	207~269			
35CrMo	0.32~0.40	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	0.15~0.25						685	490	15	40	39	207~269	GB/T 17107	强度和淬透性比35CrMo有所增高,调质后有较高的疲劳极限和抗多次冲击能力,低温冲击韧性良好。用于制作调质断面更大的锻件,如机车牵引用的大齿轮、后轴、连杆、减速器、万向联轴节,表淬硬度不低于54~60HRC	
	0.40	0.37	0.70	1.10	0.25						635	440	15	35	31	207~269			
42CrMo	0.38~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	0.90~1.20	0.15~0.25		850	油	560	水、油	1080	930	12	45	63	≤217	GB/T 3077		
	0.40	0.37	0.80	1.20	0.25														

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	$A_{ku}$ /J				
							温度/°C	第一次 淬火	第二次 冷却剂	温度 /°C										冷却 剂
42CrMo	0.38 ~ 0.17 ~ 0.50 ~ 0.90 ~ 0.15 ~	0.37	0.80	1.20	0.30		调质				900	650	12	50	—	GB/T 17107	强度和淬透性比 35CrMo 有所增高,调质后有较高的疲劳极限和抗多次冲击能力,低温冲击韧性良好。用于制作调质断面更大的锻件,如机车牵引用的大齿轮、后轴、连杆、减速器、万向联轴器,表淬硬度不低于 54 ~ 60HRC			
	0.45										550	13	50	—						
50CrMo	0.46 ~ 0.17 ~ 0.50 ~ 0.90 ~ 0.15 ~	0.37	0.80	1.20	0.25	调质				900	700	12	50	—						
	0.54									850	13	50	—							
										800	14	50	—							
										740	14	—	—							
										690	490	15	—	—						
12CrMoV	0.08 ~ 0.17 ~ 0.40 ~ 0.25 ~	0.37	0.70	0.60	0.35	V0.15 ~				970	440	225	22	50	78	GB/T 3077	用于制作蒸汽温度达 540°C 的主导管、转向导叶环、汽轮机隔板、隔板外环以及管壁温度低于 570°C 的各种过热器管、导管和相应的锻件			
	0.15										440	225	22	50	≤241					
35CrMoV	0.30 ~ 0.17 ~ 0.40 ~ 0.20 ~	0.37	0.70	1.30	0.30	V0.10 ~				900	1080	930	10	50	71					
	0.38										1080	930	10	50	≤241					
12Cr1MoV	0.08 ~ 0.17 ~ 0.40 ~ 0.25 ~	0.37	0.70	1.20	0.35	V0.15 ~				970	490	245	22	50	71					
	0.15										490	245	22	50	≤179					



续表

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{ku}$ /J				
							温度/°C	第一次 淬火	第二次 冷却剂	温度 /°C										冷却 剂
25Cr2MoVA	0.22~0.17 0.29	0.17~0.37	0.40~0.70	1.50~1.80	0.25~0.35	V0.15~0.30		900		油	640	空	930	785	14	55	63	≤241	GB/T 3077	用于汽轮机整体转子套筒、 阀、主汽阀、调节阀、蒸汽温度 在 535~550℃ 的螺母及 530℃ 以下的螺栓、氮化零件如阀杆、 齿轮等 用于蒸汽温度 565℃ 的汽轮 机前气缸、螺栓、阀杆等
25Cr2Mo- 1VA	0.22~0.17 0.29	0.17~0.37	0.50~0.80	2.10~2.50	0.90~1.10	V0.30~0.50	1040		空	700	空	735	590	16	50	47	≤241			
38CrMoAl	0.35~0.42	0.20~0.45	0.30~0.60	1.35~1.65	0.15~0.25	Al0.70~1.10	940			水、油	640	水、油	980	835	14	50	71	≤229	GB/T 3077	高级氮化钢,用于高耐磨性, 高疲劳极限和较高强度、热处 理后尺寸精度高的氮化零件, 如阀杆、阀门、气缸套及橡胶塑 料挤压机等,渗氮后,表面硬度 达 1000~1200HV
40CrV	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	0.80~1.10		V0.10~0.20	880		油	650	水、油	885	735	10	50	71	≤241			
50CrVA	0.47~0.54	0.17~0.37	0.50~0.80	0.80~1.10		V0.10~0.20	860		油	500	水、油	1280	1130	10	40	—	≤255	GB/T 17107	用于重要零件,如曲轴、齿 轮、受强力的双头螺栓、机车连 杆、高压锅炉给水泵轴等 用于蒸汽温度低于 400℃ 的 重要零件及负荷大、疲劳极限 高的大型弹簧	
15CrMn	0.12~0.18	0.17~0.37	1.10~1.40	0.40~0.70			880		油	200	水、空	785	590	12	50	47	≤179			
16CrMn	0.14~0.19	0.17~0.37	1.00~1.30	0.80~1.10			渗碳 + 淬火 + 回火				780	590	10	40	—	—	≤30 31~63	GB/T 17107	是一种较好的渗碳钢,有较 高的淬透性和良好的切削性, 用于尺寸较大的部件时,能得 到满意的表面硬度和耐磨性, 主要用于齿轮、齿联轴、蜗轮 轴、蜗杆等,表淬硬度不低于 57~62HRC	

续表

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{10}$ /J			
							温度/°C	第一次 淬火	第二次 冷却剂	温度 /°C									
20CrMn	0.17~0.23 0.17~0.23	0.17~0.37 0.17~0.37	0.90~1.20 0.90~1.20	0.90~1.20 0.90~1.20	0.90~1.20 0.90~1.20		850	油	200	水、空	930	735	10	45	47	≤187	GB/T 3077	用于无级变速器、摩擦轮、齿轮与轴,性能相当于20CrNi,热处理后性能比20Cr好	
20CrMn	0.17~0.22 0.17~0.22	0.15~0.37 0.15~0.37	1.00~1.40 1.00~1.40	1.10~1.30 1.10~1.30			渗碳+淬火+回火				980 790	680 540	8 10	35 35	— —	— —	GB/T 17107	是一种性能良好的渗碳钢,可作为调质钢用,焊接性能差,可制作断面不大,承受中等压力又无冲击负荷的零件,如齿轮、主轴、联轴器、万向联轴器,表淬硬度57~62HRC	
40CrMn	0.37~0.45 0.37~0.45	0.17~0.37 0.17~0.37	0.90~1.20 0.90~1.20	0.90~1.20 0.90~1.20			840	油	550	水、油	980	835	9	45	47	≤229		对于截面不太大或温度不太高的零件,可代替42CrMo和40CrNi,用于在高速度与高弯曲负荷下工作的齿轮轴、齿轮、水泵转子、离合器,在化工容器上可用于高压容器盖板螺栓等	
20CrMnSi	0.17~0.23 0.17~0.23	0.90~1.20 0.90~1.20	0.80~1.10 0.80~1.10	0.80~1.10 0.80~1.10			880	油	480	水、油	785	635	12	45	55	≤207	GB/T 3077	是强度和韧性较高的低碳合金钢,用于制作要求强度较高的焊接件和要求韧性较高的拉力件、矿山用的较大截面的链条、螺栓等,适合冷冲压、冷拉	
25CrMnSi	0.22~0.28 0.22~0.28	0.90~1.20 0.90~1.20	0.80~1.10 0.80~1.10	0.80~1.10 0.80~1.10			880	油	480	水、油	1080	885	10	40	39	≤217		用于制作重要的焊接件和冲压件	
30CrMnSi	0.27~0.34 0.27~0.34	0.90~1.20 0.90~1.20	0.80~1.10 0.80~1.10	0.80~1.10 0.80~1.10			880	油	520	水、油	1080	885	10	45	39	≤229		淬火、回火后具有很高的强度和足够的韧性,淬透性也好,用于在振动负荷下工作的焊接结构和铆接结构,如高压鼓风机叶片,高速高负荷的砂轮轴、齿轮、链轮、离合器,以及温度不高而要求耐磨的零件	
30CrMnSiA	0.28~0.34 0.28~0.34	0.90~1.20 0.90~1.20	0.80~1.10 0.80~1.10	0.80~1.10 0.80~1.10			880	油	540	水、油	1080	835	10	45	39	≤229			



钢号	化学成分(质量分数)/%					热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能						供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$	$\psi$	$A_{ku}$ /J				
							温度/°C	冷却剂	温度/°C							冷却剂			
35CrMnSiA	0.32~1.10 0.39	1.10~1.40 1.10	0.80~1.10 1.40	1.10~1.40			第一次	油	230	空、油	1620	1280	9	40	31	≤241	GB/T 3077	强度比 30CrMnSiA 提高许多,而韧性下降不明显,其他特性和 30CrMnSiA 相同,用于制 作重负荷、中等转速的高强度 零件,如高压鼓风机叶轮、飞机 上的高强度零件	
							第二次												950
20CrMnMo	0.17~0.23 0.23	0.17~0.37 0.37	0.90~1.20 1.20	1.10~1.40 1.40	0.20~0.30		渗碳 + 淬火 + 回火				1080	785	7	40	—	—	GB/T 17107	高级渗碳钢,渗碳淬火后具有 较高的抗弯强度和耐磨性, 有良好的低温冲击韧性,用于 制作要求表面硬度高、耐磨性 能好的渗碳件,如齿轮、凸轮轴 连杆、活塞销等,渗碳表淬硬度 不低于 56~62HRC	
							850	油	200	水、空									1180
40CrMnMo	0.37~0.45 0.45	0.17~0.37 0.37	0.90~1.20 1.20	0.90~1.20 1.20	0.20~0.30		850	油	600	水、油	980	785	10	45	63	≤217	GB/T 3077	高级调质钢,调质后具有较 高的综合力学性能,淬透性好, 有较高的回火稳定性,适宜制 作截面较大的重负荷齿轮、齿 轮轴、轴类零件、螺栓、螺母、销 子等可代替 40CrNiMo	
							调质				885	735	12	45	39	—	—		GB/T 17107
20CrMnTi	0.17~0.23 0.23	0.17~0.37 0.37	0.80~1.10 1.10	1.00~1.30		Ti0.04 ~0.10	880	油	200	水、空	1080	835	10	45	55	≤217	GB/T 3077	用于制作渗碳零件,渗碳淬 火后有良好的耐磨性和抗弯强 度,有较高的低温冲击韧性,切 削加工性能良好,广泛用于汽 车、拖拉机工业,截面尺寸在 30mm 以下,承受高速、中载或 重载以及冲击和摩擦的主要零 件,如齿轮、凸轮轴、十字轴	
							调质				735	480	12	35	23	—	—		GB/T 17107

续表

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{KU}$ /J				
							温度/°C	冷却剂	温度/°C	冷却剂										
30CrMnTi	0.24~0.32	0.17~0.37	0.80~1.10	1.00~1.30		Ti0.04 ~0.10	880	850	油	200	水、空	1470	—	9	40	47	≤229	GB/T 3077	主要作为渗碳钢使用,强度和淬透性高,冲击韧性略低,用于制作截面尺寸在60mm以下,心部强度要求特别高的高速、高负荷工作的重要渗碳零件,如汽车、拖拉机上的主动圆锥齿轮、后主齿轮、齿轮轴、蜗杆等	
20CrNi	0.17~0.23	0.17~0.37	0.40~0.70	0.45~0.75		Nil.00 ~1.40	850		水、油	460	水、油	785	590	10	50	63	≤197			用于制作高负荷下工作的重要渗碳件,如齿轮、轴、键、活塞销、花键轴等,也可用于制作具有高冲击韧性的调质小轴零件
40CrNi	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	0.45~0.75		Nil.00 ~1.40	820		油	500	水、油	980	785	10	45	55	≤241			
45CrNi	0.42~0.49	0.17~0.37	0.50~0.80	0.45~0.75		Nil.00 ~1.40	820		油	530	水、油	980	785	10	45	55	≤255	性能基本与40CrNi相同,但具有更高的强度和淬透性,用来制作截面尺寸较大的齿轮和轴类零件		
50CrNi	0.47~0.54	0.17~0.37	0.50~0.80	0.45~0.75		Nil.00 ~1.40	820		油	500	水、油	1080	835	8	40	39	≤255		淬火低温回火后有良好的塑性和韧性,适用于要求心部韧性和强度高、强度不太高、受力较复杂的中、小型渗碳件,如齿轮、花键轴、活塞销等	
12CrNi2	0.10~0.17	0.17~0.37	0.30~0.60	0.60~0.90		Nil.50 ~1.90	860	780	水、油	200	水、空	785	590	12	50	63	≤207			

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{ku}$ /J			
							温度/°C 第一次 第二次	冷却 剂	温度 /°C	冷却 剂									
12CrNi3	0.10 ~ 0.17 0.17	0.17 ~ 0.37 0.37	0.30 ~ 0.60 0.60	0.60 ~ 0.90 0.90		Ni2.75 ~3.15	860 780	油	200	水、空	930	685	11	50	71	≤217	GB/T 3077	淬火低温回火或高温回火后 都有良好的综合力学性能,有 较高的淬透性,可用于截面稍 大的零件,用于要求强度高、表 面硬度高、韧性高的渗碳件,如 齿轮、凸轮轴、万向联轴器十字 头、油泵转子等	
20CrNi3	0.17 ~ 0.24 0.24	0.17 ~ 0.37 0.37	0.30 ~ 0.60 0.60	0.60 ~ 0.90 0.90		Ni2.75 ~3.15	830	水、油	480	水、油	930	735	11	55	78	≤241	GB/T 3077	调质后有良好的综合力学性 能,低温冲击韧性也较好,多用 于制作高负荷条件下工作的零 件,如齿轮、轴、蜗杆等	
30CrNi3	0.27 ~ 0.33 0.33	0.17 ~ 0.37 0.37	0.30 ~ 0.60 0.60	0.60 ~ 0.90 0.90		Ni2.75 ~3.15	820	油	500	水、油	980	785	9	45	63	≤241	GB/T 3077	性能基本同 20CrNi3,淬透性 较好,用于重要的较大截面的 零件,如曲轴、连杆、齿轮、轴等	
37CrNi3	0.34 ~ 0.41 0.41	0.17 ~ 0.37 0.37	0.30 ~ 1.20 1.60			Ni3.00 ~3.50	820	油	500	水、油	1130	980	10	50	47	≤269		用于制作大截面、高负荷、在 冲击的重要调质零件,如汽轮 机叶轮、转子轴等	
12Cr2Ni4	0.10 ~ 0.16 0.16	0.17 ~ 0.37 0.37	0.30 ~ 1.25 1.65			Ni3.25 ~3.65	860 780	油	200	水、空	1080	835	10	50	71	≤269		用于制作截面较大、负荷较 高,在交变应力下工作的重要 渗碳件,如齿轮、蜗轮、蜗杆、万 向接头叉等	
15Cr2Ni2	0.12 ~ 0.17 0.17	0.17 ~ 0.37 0.37	0.30 ~ 1.40 1.70			Ni1.40 ~1.70	渗碳 + 淬火 + 回火				880 780	640 540	9 10	40 40	— —	— —	GB/T 17107	是渗碳钢,具有很高的强度 和韧性,用于承受高负荷的传 动齿轮、万向联轴器、活塞杆、 轴类零件等,渗碳表淬硬度不 低于 57~62HRC	

续表

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{kv}$ /J			
							温度/°C	冷却剂	温度/°C	冷却剂									
20Cr2Ni4	0.17~0.17	0.17~0.30	0.30~1.25	~		Ni3.25	调质	780	油	200	水、空	1080	10	45	62	—	GB/T 17107	是优良的铬镍不锈钢,由于含镍量较高,而具有很高的强度和韧性,淬碳后硬度及耐磨性很高,淬透性也高,用于制作承受高负荷的渗碳件,如传动齿轮、蜗杆、轴、万向接头叉等	
	0.23	0.37	0.60	1.65	~3.65	880													油
20CrNiMo	0.17~0.17	0.17~0.60	0.40~0.20	~		Ni0.35	调质	850	油	200	空	980	9	40	47	—	GB/T 3077	淬透性与 20CrNi 相近,强度比 20Cr 高,常用于制作中、小型汽车、拖拉机发动机与传动系统的齿轮,可代替 12CrNi3 制件,心部要求较高的渗碳件,如矿山牙轮钻头的牙爪与牙轮体	
	0.23	0.37	0.95	0.70	0.30	~0.75													850
40CrNiMoA	0.37~0.17	0.50~0.60	0.15~			Ni1.25	调质	850	油	600	水、油	980	12	55	78	—	GB/T 3077	是优质调质钢,调质后有良好的综合力学性能,低温冲击韧性很高,淬火低温回火或高温回火后均有较高的疲劳极限和低的缺口敏感性,中等淬透性,用于截面较大的、受冲击负荷的高强度零件,如锻造机的传动偏心轴、液压机的曲轴等	
	0.44	0.37	0.80	0.90	0.25	~1.65													850
40CrNiMo	0.37~0.17	0.50~0.60	0.15~			Ni1.25	调质	850	油	600	水、油	980	12	55	78	—	GB/T 3077	是优质调质钢,调质后有良好的综合力学性能,低温冲击韧性很高,淬火低温回火或高温回火后均有较高的疲劳极限和低的缺口敏感性,中等淬透性,用于截面较大的、受冲击负荷的高强度零件,如锻造机的传动偏心轴、液压机的曲轴等	
	0.44	0.37	0.80	0.90	0.25	~1.65													850
17Cr2Ni2Mo	0.14~0.17	0.30~1.50	0.25~			Ni1.40	调质	850	油	600	水、油	980	8	35	—	GB/T 17107	是优质的渗碳钢,有高的强度和韧性,用于齿轮等传动件、摩擦件等,渗碳表淬硬度不低于 57~62HRC		
	0.19	0.37	0.60	1.80	0.35	~1.70												850	油



钢号	化学成分(质量分数)/%					热处理				试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途			
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{k0}$ /J						
							温度/°C	第一次 淬火	第二次 淬火										冷却 剂	温度 /°C	冷却 剂
30Cr2Ni2Mo	0.26~0.34	0.17~0.37	0.30~0.60	1.80~2.20	0.30~0.50	Ni1.80 ~2.20	调质				1100	900	10	45	—	—	是优质调质钢,有很高的强度、韧性及淬透性。用于重型机械高负荷大截面的零部件,如汽轮机转子、叶片及高负荷的传动件、紧固件、曲轴、齿轮等				
34Cr2Ni2Mo	0.30~0.38	0.17~0.37	0.40~0.70	1.40~1.70	0.15~0.30	Ni1.40 ~1.70	调质				1000	800	11	50	—	—	性能与用途同 30Cr2Ni2Mo, 表淬硬度不低于 52~58HRC。用于螺钉、传动丝杠、蜗轮轴、小齿轮轴、齿条、齿轮等				
34CrNi3Mo	0.30~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	0.70~1.10	0.25~0.40	Ni2.75 ~3.25	调质				900	785	14	40	54	269~341	性能、用途与 30Cr2Ni2Mo 相似				
18CrNiMnMoA	0.15~0.21	0.17~0.37	1.10~1.40	1.00~1.30	0.20~0.30	Ni1.00 ~1.30	830	—	油	200	空	1180	885	10	45	71	269	强度高,淬透性也较高,主要用于制作振动载荷条件下工作的减振器、重型汽车等承受高负荷的零件,飞机发动机曲轴、起落架,中、小型火箭壳体等高强度结构零件、扭力轴、离合器轴等,淬火低温或中温回火后使用,也可制作调质件			
45CrNiMoVA	0.42~0.49	0.17~0.37	0.50~0.80	0.80~1.10	0.20~0.30	V0.10~0.20 Ni1.30~1.80	860		油	460	油	1470	1330	7	35	31	≤269				

续表

钢号	化学成分(质量分数)/%						热处理			试样毛坯 (GB/T 3077) 或截面尺寸 (GB/T 17107) /mm	力学性能					供应状态 硬度 HB 10/3000	标准号	特性和用途	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	其他	淬火		回火		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_{kU}$ /J				
							温度/°C 第一次 淬火	第二次 淬火											冷却 剂
18Cr2Ni4WA	0.13~0.17 0.19	0.17~0.30 0.37	0.30~1.35 0.60	1.35~1.65	W0.80 ~1.20 Ni4.00 ~4.50		950	850	空	200	水、空	15	1180	835	10	45	78	GB/T 3077	是渗碳钢,用于制作大截面、高强度而又需要良好韧性和缺口敏感性低的重要渗碳件,如大齿轮、传动轴、花键轴、曲轴,也可作为调质钢使用
18Cr2Ni4W	0.13~0.17 0.19	0.17~0.30 0.37	0.30~1.35 0.60	1.35~1.65	W0.80~1.20 Ni4.00 ~4.50	淬火+回火						≤80 81~100 101~150 151~250	1180 835 1180 835	10 9 8 7	45 40 35 30	78 74 70 66	GB/T 17107	用于承受动负荷、要求高强度的零件,与18Cr2Ni4WA基本相同	
25Cr2Ni4WA	0.21~0.28 0.28	0.17~0.30 0.37	0.30~1.35 0.60	1.35~1.65	W0.80~1.20 Ni4.00 ~4.50	850		油	550	水、油	25	1080	930	11	45	71	GB/T 3077	是调质钢,有优良的低温冲击韧性及淬透性,用于制作大截面、高负荷的调质件,如汽轮机主轴、叶轮等	

- 注: 1. GB/T 3077 标准适用于直径或厚度不大于 250mm 的合金结构钢棒材, 尺寸大于 250mm 的棒材应供需双方协商。其化学成分也适用于锭、坯及其制品。  
 2. GB/T 3077 标准中的力学性能是试样毛坏(其截面尺寸为试样尺寸留有一定加工余量)经热处理后,制成试样测出钢材的纵向力学性能,该性能适用于截面尺寸小于或等于 80mm 的钢材。尺寸为 81~100mm 的钢材,允许其伸长率、断面收缩率及冲击吸收功较表中规定分别降低 1% (绝对值)、5% (绝对值)及 5%; 尺寸为 101~150mm 的钢材允许三者分别降低 2% (绝对值)、10% (绝对值)及 10%; 尺寸为 151~250mm 的钢材允许三者分别降低 3% (绝对值)、15% (绝对值)及 15%。尺寸大于 80mm 的钢材允许将取用坯改锻(轧)成 70~80mm 后取样检验,其结果应符合表中规定。  
 3. 对于 GB/T 3077 标准的钢材通常以热轧或热锻状态交货,如需方要求也可以热处理(正火、退火或高温回火)状态交货。表中供应状态硬度为退火或高温回火供应状态的硬度。  
 4. GB/T 3077 标准按质量分为优质钢、高级优质钢(牌号后加“A”)和特级优质钢(牌号后加“E”),按使用加工用途分为压力加工用钢(热压力加工或锻、冷拔)和切削加工用钢。  
 5. GB/T 3077 标准规定磷、硫及残余铜的含量符合下列数值(% , 不大于):

	P	S	Cu
优质钢	0.035	0.035	0.30
高级优质钢	0.025	0.025	0.25
特级优质钢	0.025	0.015	0.25

6. 试样毛坏中为“试样”者,表示力学性能直接由“试样”经热处理后所得,拉力试样的试样直径一般为 10mm,最大为 25mm。  
 7. GB/T 17107 标准中的截面尺寸为锻件尺寸,个别为试样毛坏尺寸,在表中已注明。该标准中所列硬度为热处理后的硬度。  
 8. 锻件用结构钢(GB/T 17107)适用于冶金、矿山、船舶、工程机械等设备中,经整体热处理后取样测定力学性能的一般锻件。本表所列力学性能不适用于高温高转速的主轴、转子、叶轮和压力容器等锻件。





弹簧钢及轴承钢 (摘自 GB/T 1222—1984、GB/T 18254—2002)

表 3-1-10

弹簧钢的化学成分和力学性能 (GB/T 1222—1984)

钢号	化学成分(质量分数)/%										热处理			力学性能 $\geq$					交货状态	HB $\leq$	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S	其他		淬火温度/ $^{\circ}$ C	淬火剂	回火温度/ $^{\circ}$ C	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$			
									Mo	B											
65	0.62~0.70											油	500	785	980	9	35		285	热处理后强度高,具有适宜的塑性和韧性,但淬透性低,只能淬透12~15mm的直径。用于制作汽车、拖拉机、机车车辆及一般机械用的板弹簧及螺旋弹簧	
70	0.62~0.75	0.50~0.80									油	480	835	1030	8						
85	0.82~0.90	0.17~0.37									油	480	980	1130	6						
65Mn	0.62~0.70	0.90~1.20	$\leq 0.25$			0.035	0.035				油	540	785	980	8	30		302	强度高,淬透性较好,可淬透20mm的直径,脱碳倾向小,但有过热敏感性,易产生淬火裂纹,并有回火脆性。适于制作较大尺寸的扁圆弹簧、座垫板簧、弹簧发条、弹簧环、气门簧、冷卷簧等		
55Si2Mn	0.52~0.60	1.50~2.00									油	480	1175	1275	6						
60Si2Mn	0.56~0.64	1.60~2.00	$\leq 0.35$			0.25					油	480	1175	1275	5	25					
60Si2MnA											油	440	1375	1570					高温回火后,有良好的综合力学性能。主要用于制作铁路机车车辆、汽车和拖拉机上用的板簧、螺旋弹簧(弹簧截面尺寸可达25mm),安全阀和止回阀用弹簧,以及其他高应力下工作的重簧等。还可制作耐热( $<250^{\circ}$ C)弹簧等		
60Si2CrA											油	420	1570	1765	6	20		321			
60Si2CrVA											油	410	1665	1865							
55CrMnA	0.52~0.60	0.65~0.95	0.70~1.00			0.030	0.030				油	460~510	( $\sigma_{0.2}$ ) 1225	1080	9				综合力学性能很好,强度高,冲击韧性好,过热敏感性较低,高温性能较稳定。用于制作高应力的弹簧,制作最重要的、高负荷、耐冲击或耐热( $\leq 250^{\circ}$ C)弹簧		
60CrMnA	0.56~0.64	0.17~0.37	0.70~1.00								油	460~520	( $\sigma_{0.2}$ ) 1225	1080	9						
60CrMnMoA			0.70~0.90								油										

钢号	化学成分(质量分数)/%										热处理			力学性能 $\geq$					交货状态	HB $\leq$	特性和用途
	C	Si	Mn	Cr	Ni	$\leq$			其他	淬火温度/°C	淬火剂	回火温度/°C	/MPa			/%					
						Cu	P	S					$\sigma_s$	$\sigma_b$	$\delta_5$		$\delta_{10}$	$\psi$			
55SiMnVB	0.52 ~ 0.60	0.70 ~ 1.00	1.00 ~ 1.30	$\leq 0.35$		0.040	0.040	0.040	V0.08 ~ 0.16 B0.0005 ~ 0.0035	860	油	460	1225	1375	5	30		淬透性很高,综合力学性能很好。制作大截面和较重要的板簧、螺旋弹簧			
50CrVA	0.46 ~ 0.54	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80 0.80	0.80 ~ 1.10					V0.10 ~ 0.20	850	油	500	1130	1275	10	40	热轧	具有较高的综合力学性能,良好的冲击韧性,回火后强度高,高温性能稳定。淬透性很高,适于制作大截面(50mm)的高应力或耐热(<350°C)螺旋弹簧			
30W4Cr2VA	0.26 ~ 0.34		$\leq 0.40$	2.00 ~ 2.50	0.35	0.25	0.030	0.030	W4.00 ~ 4.50 V0.50 ~ 0.80	1050 ~ 1100	油	600	1325	1470	7		热轧 + 热处理	是高强度耐热弹簧钢,淬透性特别高。制作高温( $\leq 500^\circ\text{C}$ )条件下使用的弹簧			
60CrMnBA	0.56 ~ 0.64	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.70 ~ 1.00					B0.0005 ~ 0.0040	830 ~ 860	油	460 ~ 520	( $\sigma_{0.2}$ ) 1080	1225	9	20					

注: 1. GB/T 1222 适用于热轧, 锻制和冷拉圆、方、扁及异形截面弹簧钢钢材。热轧圆、方钢应符合 GB/T 702 的规定, 冷拉圆钢应符合 GB/T 905 的规定。锻制圆、方钢应符合 GB/T 908 的规定。热轧扁钢的尺寸见后面型材。

2. 表中力学性能指标是采用热处理毛坯制成试样测定的纵向力学性能, 适用于截面尺寸不大于 80mm 的钢材。

3. 热轧钢材以热处理或不热处理状态交货, 表中硬度值为交货状态布氏硬度, 所有冷拉钢材以热处理状态交货, 交货状态硬度均不高于 321HB。

表 3-1-11 高碳铬轴承钢 (摘自 GB/T 18254—2002)

牌号	化学成分(质量分数)/%										性能特点	应用举例
	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Ni	Cu	钢材布氏硬度 HBW		
GCr4	0.95~1.05	0.15~0.30	0.15~0.30	0.35~0.50	≤0.08	0.025	0.020	0.25	0.20	179~207	低铬轴承钢,耐磨性比相同含碳量的碳素工具钢高,冷加工塑性变形和切削加工性能尚好,有回火脆性倾向	用于一般载荷不大、形状简单的机械转动轴上的钢球和滚子
GCr15	0.95~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	1.40~1.65	≤0.10	0.025	0.025	0.30	0.25	179~207	高碳铬轴承钢的代表钢种,综合性能良好,淬火与回火后具有均匀而高的硬度和耐磨性,高的接触疲劳寿命,热加工变形性能和切削加工性能均好,但焊接性差,对白点形成较敏感,有回火脆性倾向	用于制造壁厚不大于12mm、外径不大于250mm的各种轴承套圈,也用于制造尺寸范围较宽的滚动体,如钢球、圆锥滚子、圆柱滚子、球面滚子、滚针等;还用于制造模具、精密量具以及其他要求高耐磨性、高弹性极限和高接触疲劳强度的机械零部件
GCr15SiMn	0.95~1.05	0.45~0.75	0.95~1.25	1.40~1.65	≤0.10	0.025	0.025	0.30	0.50	179~217	在GCr15的基础上适当增加硅、锰含量,其淬透性、弹性极限、耐磨性均有明显提高,冷加工塑性中等,切削加工性能稍差,焊接性能不好,对白点形成较敏感,有回火脆性倾向	用于制作大尺寸的轴承套圈、钢球、圆锥滚子、圆柱滚子、球面滚子等,轴承零件的工作温度小于180℃;还用于制作模具、量具、丝锥及其他要求硬度高且耐磨的零件
GCr15SiMo	0.95~1.05	0.65~0.85	0.20~0.40	1.40~1.70	0.30~0.40	0.027	0.020	0.30		179~217	在GCr15的基础上提高硅含量,并添加钼而开发的新型轴承钢。综合性能良好,淬透性高,耐磨性好,接触疲劳寿命高,其他性能与GCr15SiMn相近	用于制作大尺寸的轴承套圈、滚珠、滚柱,还用于制作模具、精密量具以及其他要求硬度高且耐磨的零件
GCr18Mo	0.95~1.05	0.20~0.40	0.25~0.40	1.65~1.95	0.15~0.25	0.025	0.020	0.25		179~207	相当于瑞典SKF24轴承钢。是在GCr15的基础上加入钼,并适当提高铬含量,从而提高了钢的淬透性。其他性能与GCr15相近	用于制作各种轴承套圈,壁厚从不大于16mm增加到不大于20mm,扩大了使用范围;其他用途和GCr15基本相同

注: 1. 本表为熔炼分析的化学成分。模注钢氧的含量不大于  $15 \times 10^{-6}$ , 连铸钢氧的含量不大于  $12 \times 10^{-6}$ 。

2. 成品钢材的化学成分分析仅当需方要求, 并在合同中注明时, 供方才进行此项分析。

3. 钢材应逐支用火火花法或看谱镜检验。

4. 球化或软化退火钢材硬度按本表规定。

5. 钢材按下列几种交货状态提供, 交货状态应在合同中注明。

热轧和热锻不退火圆钢 WHR (简称: 热轧、热锻); 热轧和热锻软化退火圆钢 WHSTAR (简称: 热轧软退、热锻软退); 热轧球退、热锻球退; 热轧退火圆钢 WHTCFR (简称: 热轧球退); 热轧和热锻软化退火剥皮圆钢 WHSTASFR (简称: 热轧软剥、热锻软剥); 冷拉 (轧) 圆钢 WCR; 冷拉 (轧) 磨光圆钢 WCSPR; 热轧钢管 WHT; 热轧退火剥皮钢管 WHTASFT; 冷拉 (轧) 钢管 WCT; 盘条 (热轧或球化退火) WHWY。

6. 钢材按加工用途交货, 如热压力加工用钢 (热压加)、冷压力加工用钢 (冷压加)、切削加工用钢 (切削) 或双方协定的其他加工用途要求交货, 均应在合同中注明。

不锈钢、耐热钢 (摘自 GB/T 1220—1992、GB/T 1221—1992)

表 3-1-12 不锈钢的化学成分 (摘自 GB/T 1220—1992)

类别	牌 号	化学成分(质量分数)/%											其 他
		C≤	Si≤	Mn≤	P≤	S≤	Ni	Cr	Mo				
	1Cr17Mn6Ni5N	0.15	1.00	5.50~7.50	0.060	0.030	3.50~5.50	16.00~18.00			N≤0.25		
	1Cr18Mn8Ni5N	0.15	1.00	7.50~10.00	0.060	0.030	4.00~6.00	17.00~19.00			N≤0.25		
	1Cr18Mn10Ni5Mo3N	0.10	1.00	8.50~12.00	0.060	0.030	4.00~6.00	17.00~19.00	2.80~3.50		N≤0.20~0.30		
	1Cr17Ni7	0.15	1.00	2.00	0.035	0.030	6.00~8.00	16.00~18.00					
	1Cr18Ni9	0.15	1.00	2.00	0.035	0.030	8.00~10.00	17.00~19.00					
	Y1Cr18Ni9	0.15	1.00	2.00	0.20	0.15	8.00~10.00	17.00~19.00					
	Y1Cr18Ni9Se	0.15	1.00	2.00	0.20	0.060	8.00~10.00	17.00~19.00			Se≥0.15		
	0Cr18Ni9	0.07	1.00	2.00	0.035	0.030	8.00~11.00	17.00~19.00					
	00Cr19Ni10	0.030	1.00	2.00	0.035	0.030	8.00~12.00	18.00~20.00					
	0Cr19Ni9N	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	7.00~10.50	18.00~20.00			N0.10~0.25		
	0Cr19Ni10NbN	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	7.50~10.50	18.00~20.00			N0.15~0.30		
	00Cr18Ni10N	0.030	1.00	2.00	0.035	0.030	8.50~11.50	17.00~19.00			N0.12~0.22		
	1Cr18Ni12	0.12	1.00	2.00	0.035	0.030	10.50~13.00	17.00~19.00					
	0Cr23Ni13	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	12.00~15.00	22.00~24.00					
	0Cr25Ni20	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	19.00~22.00	24.00~26.00					
	0Cr17Ni12Mo2	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	10.00~14.00	16.00~18.50	2.00~3.00				
	1Cr18Ni12Mo2Ti*	0.12	1.00	2.00	0.035	0.030	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50		Ti5×(C%-0.02)~0.80		
	0Cr18Ni12Mo2Ti	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50		Ti5×(C%-0.70)		
	00Cr17Ni14Mo2	0.030	1.00	2.00	0.035	0.030	12.00~15.00	16.00~18.00	2.00~3.00				
	0Cr17Ni12Mo2N	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	10.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00		N0.10~0.22		
	00Cr17Ni13Mo2N	0.030	1.00	2.00	0.035	0.030	10.50~14.50	16.00~18.50	2.00~3.00		N0.12~0.22		
	0Cr18Ni12Mo2Cu2	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	10.00~14.50	17.00~19.00	1.20~2.75		Cu1.00~2.50		
	00Cr18Ni14Mo2Cu2	0.030	1.00	2.00	0.035	0.030	12.00~16.00	17.00~19.00	1.20~2.75		Cu1.00~2.50		
	0Cr19Ni13Mo3	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	11.00~15.00	18.00~20.00	3.00~4.00				
	00Cr19Ni13Mo3	0.030	1.00	2.00	0.035	0.030	11.00~15.00	18.00~20.00	3.00~4.00				

奥 氏 体 型

类别	牌 号	化学成分(质量分数)/%											其 他
		C ≤	Si ≤	Mn ≤	P ≤	S ≤	Ni	Cr	Mo				
奥氏体 型	1Cr18Ni12Mo3Ti*	0.12	1.00	2.00	0.035	0.030	11.00~14.00	16.00~19.00	2.50~3.50	Ti5 × (C% - 0.02) ~ 0.80			
	0Cr18Ni12Mo3Ti	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	11.00~14.00	16.00~19.00	2.50~3.50	Ti5 × (C% - 0.70)			
	0Cr18Ni16Mo5	0.04	1.00	2.00	0.035	0.030	15.00~17.00	16.00~19.00	4.00~6.00				
	1Cr18Ni9Ti*	0.12	1.00	2.00	0.035	0.030	8.00~11.00	17.00~19.00		Ti5 × (C% - 0.02) ~ 0.80			
	0Cr18Ni10Ti	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	9.00~13.00	17.00~19.00		Ti ≥ 5 × C%			
	0Cr18Ni11Nb	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	9.00~13.00	17.00~19.00		Nb ≥ 10 × C%			
	0Cr18Ni9Cu3	0.08	1.00	2.00	0.035	0.030	8.50~10.50	17.00~19.00		Cu3.00~4.00			
	0Cr18Ni13Si4	0.08	3.00~ 5.00	2.00	0.035	0.030	11.50~15.00	15.00~20.00					
	0Cr26Ni5Mo2	0.08	1.00	1.50	0.035	0.030	3.00~6.00	23.00~28.00	1.00~3.00				
奥氏体 铁素体 型	1Cr18Ni11Si4AlTi	0.10~ 0.18	3.40~ 4.00	0.80	0.035	0.030	10.00~12.00	17.50~19.50		Al0.10~0.30 Ti0.40~0.70			
	00Cr18Ni5Mo3Si2	0.030	1.30~ 2.00	1.00~ 2.00	0.035	0.030	4.50~5.50	18.00~19.50	2.50~3.00				
	0Cr13Al	0.08	1.00	1.00	0.035	0.030		11.50~14.50		Al0.10~0.30			
	00Cr12	0.030	1.00	1.00	0.035	0.030		11.00~13.00					
铁素体 型	1Cr17	0.12	0.75	1.00	0.035	0.030		16.00~18.00					
	Y1Cr17	0.12	1.00	1.25	0.060	0.15		16.00~18.00					
	1Cr17Mo	0.12	1.00	1.00	0.035	0.030		16.00~18.00	0.75~1.25				
	00Cr30Mo2	0.010	0.40	0.40	0.030	0.020		28.50~32.00	1.50~2.50	N ≤ 0.015			
	00Cr27Mo	0.010	0.40	0.40	0.030	0.020		25.00~27.50	0.75~1.50	N ≤ 0.015			
	1Cr12	0.15	0.50	1.00	0.035	0.030		11.50~13.00					
1Cr13	0.15	1.00	1.00	0.035	0.030		11.50~13.50						

类别	牌 号	化学成分(质量分数)/%											其 他
		C $\leq$	Si $\leq$	Mn $\leq$	P $\leq$	S $\leq$	Ni	Cr	Mo				
马 氏 体 型	0Cr13	0.08	1.00	1.00	0.035	0.030		11.50~13.50					
	1Cr13Mo	0.08~0.18	0.60	1.00	0.035	0.030		11.50~14.00	0.30~0.60				
	Y1Cr13	0.15	1.00	1.25	0.060	0.15		12.00~14.00					
	2Cr13	0.16~0.25	1.00	1.00	0.035	0.030		12.00~14.00					
	3Cr13	0.26~0.35	1.00	1.00	0.035	0.030		12.00~14.00					
	3Cr13Mo	0.28~0.35	0.80	1.00	0.035	0.030		12.00~14.00	0.50~1.00				
	Y3Cr13	0.26~0.40	1.00	1.25	0.060	0.15		12.00~14.00					
	4Cr13	0.36~0.45	0.60	0.80	0.035	0.030		12.00~14.00					
	1Cr17Ni2	0.11~0.17	0.80	0.80	0.035	0.030	1.50~2.50	16.00~18.00					
	7Cr17	0.60~0.75	1.00	1.00	0.035	0.030		16.00~18.00					
	8Cr17	0.75~0.95	1.00	1.00	0.035	0.030		16.00~18.00					
	9Cr18	0.90~1.00	0.80	0.80	0.035	0.030		17.00~19.00					
	11Cr17	0.95~1.20	1.00	1.00	0.035	0.030		16.00~18.00					
	Y11Cr17	0.95~1.20	1.00	1.25	0.060	0.15		16.00~18.00					
	9Cr18Mo	0.95~1.10	0.80	0.80	0.035	0.030		16.00~18.00	0.40~0.70				
	9Cr18MoV	0.85~0.95	0.80	0.80	0.035	0.030		17.00~19.00	1.00~1.30				
沉 淀 硬 化 型	0Cr17Ni4Cu4Nb	0.07	1.00	1.00	0.035	0.030	3.00~5.00	15.50~17.50				Cu3.00~5.00, Nb0.15~0.45	
	0Cr17Ni7Al	0.09	1.00	1.00	0.035	0.030	6.50~7.75	16.00~18.00				Cu $\leq$ 0.50, Al0.75~1.50	
	0Cr15Ni7Mo2Al	0.09	1.00	1.00	0.035	0.030	6.50~7.50	14.00~16.00	2.00~3.00			Al0.75~1.50	

注: 1. 本标准适用于尺寸不大于250mm的热轧和锻制不锈钢棒(包括圆钢、方钢、六角钢及扁钢)。不锈钢冷加工钢棒的类型、牌号和化学成分见GB 4226。  
2. 钢材的形状和尺寸应符合方、圆钢(GB/T 702)、六角钢(GB/T 705)、扁钢(GB/T 704)和锻制方、圆钢(GB/T 908)相应标准的规定。  
3. 带\*的钢号除专用外, 一般情况下不推荐使用。

表 3-1-13 不锈钢的力学性能与用途 (摘自 GB/T 1220—1992)

类别	牌 号	热 处 理				力 学 性 能						特性和用途		
		固溶处理 /°C	退 火 /°C	淬 火 /°C	回 火 /°C	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	$A_k$ /J	能			
											HB		HRB	HV
奥 氏 体 型	1Cr17Mn6Ni5N	1010 ~ 1120 快冷				275	520	40	45		241	100	253	节镍钢种, 代替 1Cr17Ni7。冷加工后具有磁性。铁道车辆用
	1Cr18Mn8Ni5N					275	520	40	45		207	95	218	
	1Cr18Mn10Ni5Mo3N	1100 ~ 1150 快冷				345	685	45	65					节镍钢种, 代替 1Cr18Ni9 对尿素有良好的耐腐蚀性, 可制作耐尿素腐蚀的设备
	1Cr17Ni7					205	520	40	60		187	90	200	
	1Cr18Ni9				205	520	40	60		187	90	200	经冷加工有高的强度, 但伸长率比 1Cr17Ni7 稍差。建筑装饰部件用	
	Y1Cr18Ni9				205	520	40	50		187	90	200	提高切削性、耐腐蚀性。最适用于自动车床、螺栓、螺母	
	Y1Cr18Ni9Se				205	520	40	50		187	90	200	提高切削性、耐腐蚀性。最适用于自动车床、铆钉、螺钉	
	0Cr18Ni9				205	520	40	60		187	90	200	作为不锈钢耐热钢使用最广泛, 食品用设备, 一般化工设备, 原子能工业用	
	00Cr19Ni10	1010 ~ 1150 快冷				177	480	40	60		187	90	200	比 0Cr19Ni9 含碳量更低的钢, 耐晶间腐蚀性优越, 为焊接后不进行热处理部件类
	0Cr19Ni9N					275	550	35	50		217	95	220	在 0Cr19Ni9 基础上加 N, 强度提高, 塑性不降低。使材料的厚度减小。作为结构用强度部件
	0Cr19Ni10NbN				345	685	35	50		250	100	260	在 0Cr19Ni9 基础上加 N 和 Nb, 具有与 0Cr19Ni9 相同的特性和用途	
	00Cr18Ni10N				245	550	40	50		217	95	220	在 00Cr19Ni11 基础上加 N, 具有与其同样的特性, 用途与 0Cr19Ni9N 相同, 但耐晶间腐蚀性更好	
1Cr18Ni12				177	480	40	60		187	90	200	与 0Cr19Ni9 相比, 加工硬化性低。旋压加工、特殊拉拔、冷墩用		
0Cr23Ni13	1030 ~ 1150 快冷				205	520	40	60		187	90	200	耐腐蚀性、耐热性均比 0Cr19Ni9 好	
0Cr25Ni20	1030 ~ 1180 快冷				205	520	40	50		187	90	200	抗氧化性比 0Cr23Ni13 好。实际上多作为耐热钢使用	

续表

类别	牌号	热处理				力学性能						特性和用途		
		固溶处理 /°C	退火 /°C	淬火 /°C	回火 /°C	$\sigma_{0.2}$ /MPa $\geq$	$\sigma_b$	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	$A_k$ /J	HB		HRB	HV
	0Cr17Ni12Mo2	1010 ~ 1150 快冷				205	520	40	60		187	90	200	在海水和其他各种介质中,耐腐蚀性比0Cr19Ni9好。主要作为耐点蚀材料
	1Cr18Ni12Mo2Ti	1000 ~ 1100 快冷				205	530	40	55		187	90	200	用于抵抗硫酸、磷酸、蚁酸、醋酸的设备,有良好的耐晶间腐蚀性
	0Cr18Ni12Mo2Ti					205	530	40	55		187	90	200	
	00Cr17Ni14Mo2					177	480	40	60		187	90	200	为0Cr17Ni12Mo2的超低碳钢,比0Cr17Ni12Mo2耐晶间腐蚀性好
	0Cr17Ni12Mo2N					275	550	35	50	217	95	220	在牌号0Cr17Ni12Mo2中加入N,提高强度,不降低塑性,使材料的厚度减薄。制作耐腐蚀性较好的、强度较高的部件	
	00Cr17Ni13Mo2N					245	550	40	50	217	95	220	在牌号00Cr17Ni14Mo2中加入N,具有与其相同的特性,用途与0Cr17Ni12Mo2N相同,耐晶间腐蚀性更好	
	0Cr18Ni12Mo2Cu2	1010 ~ 1150 快冷				205	520	40	60	187	90	200	耐腐蚀性、耐点蚀性比0Cr17Ni12Mo2好。作为耐硫酸材料	
	00Cr18Ni14Mo2Cu2					177	400	40	60	187	90	200	为0Cr18Ni12Mo2Cu2的超低碳钢,比0Cr18Ni12Mo2Cu2的耐晶间腐蚀性好	
	0Cr19Ni13Mo3					205	520	40	60	187	90	200	耐点蚀性比0Cr17Ni12Mo2好,作为染色设备材料等	
	00Cr19Ni13Mo3					177	480	40	60	187	90	200	为0Cr19Ni13Mo3的超低碳钢,比0Cr19Ni13Mo3耐晶间腐蚀性好	
	1Cr18Ni12Mo3Ti	1000 ~ 1100 快冷				205	530	40	55	187	90	200	用于抵抗硫酸、磷酸、蚁酸、醋酸的设备,有良好的耐晶间腐蚀性	
	0Cr18Ni12Mo3Ti					205	530	40	55	187	90	200		
	0Cr18Ni16Mo5	1030 ~ 1180 快冷				177	480	40	45	187	90	200	制作吸取含氯离子溶液的热交换器、醋酸设备、磷酸设备、漂白装置等,在00Cr17Ni14Mo2和00Cr19Ni13Mo3不能适用的环境中使用	
	1Cr18Ni9Ti					205	520	40	50	187	90	200	制作焊芯、抗磁仪表、医疗器械、耐酸容器及设备衬里、输送管道等设备和零件	
	0Cr18Ni10Ti	920 ~ 1150 快冷				205	520	40	50	187	90	200	添加Ti提高耐晶间腐蚀性,不推荐制作装饰部件	
	0Cr18Ni11Nb	980 ~ 1150 快冷				205	520	40	50	187	90	200	含Nb提高耐晶间腐蚀性	





类别	牌号	热处理				力学性能							特性和用途	
		固溶处理 /°C	退火 /°C	淬火 /°C	回火 /°C	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_b$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_k$	能			
											HB	HRB		HV
奥氏体型	0Cr18Ni9Cu3					177	480	40	60		187	90	200	在0Cr19Ni9中加入Cu,提高了冷加工性。 冷敏用
	0Cr18Ni13Si4	1010~1150快冷				205	520	40	60		207	95	218	在0Cr19Ni9中增加Ni,添加Si,提高耐应力 腐蚀断裂性。用于含氯离子环境
奥氏体、铁素体型	0Cr26Ni5Mo2	950~1100快冷				390	590	18	40		277	29	292	具有双相组织,抗氧化性、耐点蚀性好。具 有高的强度。作耐海水腐蚀性
	1Cr18Ni11Si4AlTi	930~1050快冷				440	715	25	40	63				制作抗高温浓硝酸介质的零件和设备
	00Cr18Ni5Mo3Si2	920~1150快冷				390	590	20	40			30	300	具有双相组织,耐应力腐蚀破裂性能好,耐 点蚀性能与00Cr17Ni13Mo2N相当,具有较高 的强度,适用于含氯离子的环境,用于炼油、化 肥、造纸、石油、化工等工业热交换器和冷凝 器等
铁素体型	0Cr13Al		780~830 空冷或缓冷			177	410	20	60	78	183			从高温下冷却不产生显著硬化。用于汽轮 机材料,淬火用部件,复合钢材
	00Cr12		700~820 空冷或缓冷			196	265	22	60		183			比0Cr13含碳量低,焊接部位弯曲性能、加 工性能、耐高温氧化性能好。制作汽车排气处 理装置,锅炉燃烧室、喷嘴
	1Cr17		780~850 空冷或缓冷			205	450	22	50		183			耐蚀性良好的通用钢种,建筑内装饰、重油 燃烧器部件、家庭用具、家用电器部件用
	Y1Cr17		680~820 空冷或缓冷			205	450	22	50		183			比1Cr17切削性能好,自动车床及螺栓、螺 母用
	1Cr17Mo		780~850 空冷或缓冷			205	450	22	60		183			为1Cr17的改良钢种,比1Cr17抗盐溶液能 力强,作汽车外装饰材料用

续表

类别	牌号	热处理				力学性能						特性和用途		
		固溶处理 /°C	退火 /°C	淬火 /°C	回火 /°C	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_b$	$\delta_5$ /%	$\psi$	$A_k$	退火			
											HB		HRC	
铁素体型	00Cr30Mo2		900~1050 快冷			295	450	20	45		228		高Cr-Mo系,C、N含量降至极低,耐腐蚀性很好,制作与醋酸、乳酸等有机酸有关的设备及苛性碱设备。耐卤离子应力腐蚀,耐点腐蚀	
	00Cr27Mo					245	410	20	45	219			性能、用途、耐腐蚀性和软磁性与00Cr30Mo2类似	
马氏体型	1Cr12					390	590	25	55	118	170	200	作为汽轮机叶片及高应力部件之良好的不锈钢耐热钢	
	1Cr13		800~900 缓冷或约 750快冷	950~1000 油冷	700~750 快冷	345	540	25	55	78	159	200	具有良好的耐腐蚀性、机械加工性,一般用途及刀具类用	
	0Cr13					345	490	24	60			183	制作较高韧性及受冲击载荷的零件,如汽轮机叶片、结构架、不锈钢设备、衬里、螺栓、螺母等	
	1Cr13Mo		830~900 缓冷或约 750快冷	970~1020 油冷	650~750 快冷	490	685	20	60	78	192	200	为比1Cr13耐腐蚀性高的高强度钢钢种,制作汽轮机叶片、高温用部件	
	Y1Cr13			950~1000 油冷	700~750 快冷	345	540	25	55	78	159	200	不锈钢中切削性能最好的钢种。自动车床用	
	2Cr13					440	635	20	50	63	192	223	淬火状态下硬度高,耐腐蚀性良好,制作汽轮机叶片	
	3Cr13			800~900 缓冷或约 750快冷	920~980 油冷	600~750 快冷	540	735	12	40	24	217	235	比2Cr13淬火后的硬度高,制作刀具、喷嘴、阀座、阀门等
	3Cr13Mo			1025~1075 油冷	200~300 油、水、 空冷							207	50	制作较高硬度及高耐磨性的热油泵轴、阀片、阀门轴承、医疗器械弹簧等零件



续表

类别	牌号	热处理				力学性能						特性和用途	
		固溶处理 /°C	退火 /°C	淬火 /°C	回火 /°C	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	$A_k$ /J	HB		退火 HB
马氏体型	Y3Cr13		800~900 缓冷或约 750 快冷	920~980 油冷	600~750 快冷	540	735	12	40	≥24	≥217	≤235	改善 3Cr13 切削性能的钢种
	4Cr13			1050~1100 油冷	200~300 空冷						HRC ≥50	≤201	制作较高硬度及高耐磨性的热油泵轴、阀片、阀门、轴承、医疗器械、弹簧等零件
	1Cr17Ni2		680~700 高温回火空冷	950~1050 油冷	275~350 空冷		1080	10		≥39		≤285	制作具有较高强度的耐硝酸及有机酸腐蚀的零件、容器和设备
	7Cr17			1010~1070 油冷	100~180 快冷						HRC ≥54	≤255	硬化状态下坚硬,但比 8Cr17、11Cr17 韧性强。制作刀具、量具、轴承
	8Cr17										HRC ≥56	≤255	硬化状态下,比 7Cr17 硬,而比 11Cr17 韧性强,制作刀具、阀门
	9Cr18		800~920 缓冷	1000~1050 油冷	200~300 油、空冷						HRC ≥55	≤255	制作不锈钢片机械刀具及剪片刀具、手术刀片、高耐磨设备零件等
	11Cr17			1010~1070 油冷	100~180 快冷						HRC ≥58	≤269	在所有不锈钢、耐热钢中,硬度最高。制作喷嘴、轴承
	Y11Cr17										HRC ≥58	≤269	比 11Cr17 提高了切削性。自动车床用
	9Cr18Mo		800~900 缓冷	1000~1050 油冷	200~300 空冷						HRC ≥55	≤269	轴承套圈及滚动体用的高碳铬不锈钢
	9Cr18MoV		800~920 缓冷	1050~1075 油冷	100~200 空冷						HRC ≥55	≤269	制作不锈钢切片机械刀具及剪切工具、手术刀片、高耐磨设备零件等
沉淀硬化型	0Cr17Ni4Cu4Nb	1020~1060 快冷	固溶处理后,分别经 480、550、580、620 时效			不同温度的固溶处理及时效后的力学性能详见原标准						添加铜的沉淀硬化型钢种。制作轴类、汽轮机部件	
	0Cr17Ni7Al	1000~1100 快冷	固溶处理后,分别经 565、510 时效									添加铝的沉淀硬化型钢种。制作弹簧、垫圈、机器部件	
	0Cr15Ni7Mo2Al											用于有一定耐蚀要求的高强度容器、零件及结构件	

注: 1. 本标准适用于热轧和锻制不锈钢棒。表列为热处理交货状态时的常温力学性能。

2. 钢棒一般为热处理状态交货。切削加工用奥氏体-铁素体型钢棒不进行固溶处理, 热压力加工用钢棒不进行固溶处理。马氏体型钢棒应进行退火处理。沉淀硬化型钢棒应进行固溶处理。

3. 表中的数值, 对于奥氏体钢适用于直径、边长、厚度小于 180mm, 对于其他类别钢适用于直径、边长、厚度小于 75mm。

4. 热处理用试样毛坯尺寸一般为 25mm, 当钢棒尺寸小于 25mm 时, 用原尺寸钢棒进行热处理。

5. 奥氏体-铁素体、铁素体-铁素体型的硬度均指热处理后硬度。一个牌号有两种以上硬度时, 供方可根据尺寸或状态任选一种方法测定。马氏体钢中“退火 HB”为退火硬度, “HB”或“HRC”为淬火、回火后硬度。

6. 1Cr18Ni9Ti 与 0Cr18Ni10Ti、1Cr18Ni12Mo2Ti、1Cr18Ni12Mo3Ti 与 0Cr18Ni12Mo3Ti 与 0Cr18Ni12Mo3Ti 牌号, 力学性能指标一致, 仅耐蚀性能有差别。

表 3-1-14 奥氏体耐热钢的化学成分和力学性能 (摘自 GB/T 1221—1992)

钢 号	化学成分(质量分数)/%										其 他
	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S				
	≤	≤	≤			≤	≤				
5Cr21Mn9Ni4N	0.48~0.58	0.35	8.0~10.0	3.25~4.50	20.00~22.0	0.040	0.030				NO.35~0.50
2Cr21Ni12N	0.15~0.28	0.75~1.25	1.0~1.6	10.50~12.50	20.0~22.0	0.035	0.030				NO.15~0.30
2Cr23Ni13	0.20	1.00	2.0	12.0~15.0	22.0~24.0	0.035	0.030				
2Cr25Ni20	0.25	1.50	2.0	19.0~22.0	24.0~26.0	0.035	0.030				
1Cr16Ni35	0.15	1.50	2.0	33.0~37.0	14.0~17.0	0.035	0.030				
0Cr15Ni25Ti2MoAlVB	0.08	1.00	2.0	24.0~27.0	13.5~16.0	0.035	0.030				Mo1.0~1.5, V0.1~0.5, Ti1.9~2.35, Al<0.35
0Cr18Ni9	0.07	1.00	2.0	8.0~11.0	17.0~19.0	0.035	0.030				
0Cr23Ni13	0.08	1.00	2.0	12.0~15.0	22.0~24.0	0.035	0.030				
0Cr25Ni20	0.08	1.50	2.0	19.0~22.0	24.0~26.0	0.035	0.030				
0Cr17Ni12Mo2	0.08	1.00	2.0	10.0~14.0	16.0~18.0	0.035	0.030				Mo2.0~3.0
4Cr14Ni14W2Mo	0.40~0.50	0.80	0.7	13.0~15.0	13.0~15.0	0.035	0.030				Mo0.25~0.40, W2.00~2.75
3Cr18Mn12Si2N	0.22~0.30	1.40~2.20	10.5~12.5	—	17.0~19.0	0.060	0.030				NO.22~0.33
2Cr20Mn9Ni2Si2N	0.17~0.26	1.80~2.70	8.5~11.0	2.00~3.00	18.0~21.0	0.060	0.030				NO.22~0.30
0Cr19Ni13Mo3	0.08	1.00	2.0	11.00~15.00	18.0~20.0	0.035	0.030				Mo3.0~4.0
1Cr18Ni9Ti*	0.12	1.00	2.0	8.00~11.00	17.0~19.0	0.035	0.030				Ti=5×(C%-0.02)~0.8
0Cr18Ni10Ti	0.08	1.00	2.0	9.00~13.00	17.0~19.0	0.035	0.030				Ti≥5×C%
0Cr18Ni11Nb	0.08	1.00	2.0	9.00~13.00	17.0~19.0	0.035	0.030				Nb≥10×C%
0Cr18Ni13Si4	0.08	3.00~5.00	2.0	11.5~15.00	15.0~20.0	0.035	0.030				
1Cr20Ni14Si2	0.20	1.50~2.50	1.50	12.00~15.00	19.00~22.00	0.035	0.030				
1Cr25Ni20Si2	0.20	1.50~2.50	1.50	18.00~21.00	24.00~27.00	0.035	0.030				



续表

钢号	热处理		时效处理 及冷却方式	拉伸试验			硬度试验 HB	
	固溶处理 温度 及冷却方式	快		$\sigma_{0.2}$ /MPa $\geq$	$\sigma_b$ /MPa $\geq$	$\delta_5$ /% $\geq$		$\psi$
5Cr21Mn9Ni4N	1100 ~ 1200°C		730 ~ 780°C 空冷	560	885	8	$\geq 302$	
2Cr21Ni12N	1050 ~ 1150°C		750 ~ 800°C 空冷	430	820	26	$\leq 269$	
2Cr23Ni13	1030 ~ 1150°C			205	560	45	$\leq 201$	
2Cr25Ni20	1030 ~ 1180°C			205	590	40	$\leq 201$	
1Cr16Ni35	1030 ~ 1180°C			205	560	40	$\leq 201$	
0Cr15Ni25Ti2MoAlVB	885 ~ 915°C 或 965 ~ 995°C	快	16h 空冷或缓冷	590	900	15	$\geq 248$	
0Cr18Ni9	1010 ~ 1150°C			205	520	40	$\leq 187$	
0Cr23Ni13	1030 ~ 1150°C			205	520	40	$\leq 187$	
0Cr25Ni20	1030 ~ 1180°C			205	520	40	$\leq 187$	
0Cr17Ni12Mo2	1010 ~ 1150°C			205	520	40	$\leq 187$	
4Cr14Ni14W2Mo	820 ~ 850°C			315	705	20	$\leq 248$	
3Cr18Mn12Si2N	1100 ~ 1150°C			390	685	35	$\leq 248$	
2Cr20Mn9Ni2Si2N	1100 ~ 1150°C	冷		390	635	35	$\leq 248$	
0Cr19Ni13Mo3	1010 ~ 1150°C			205	540	40	$\leq 187$	
1Cr18Ni9Ti*	920 ~ 1150°C			205	520	40	$\leq 187$	
0Cr18Ni10Ti	920 ~ 1150°C			205	520	40	$\leq 187$	
0Cr18Ni11Nb	980 ~ 1150°C			205	520	40	$\leq 187$	
0Cr18Ni13Si4	1010 ~ 1150°C			205	520	40	$\leq 207$	
1Cr20Ni14Si2	1080 ~ 1130°C			295	590	35	$\leq 187$	
1Cr25Ni20Si2	1080 ~ 1130°C			295	590	35	$\leq 187$	

注：1. 本标准适用于尺寸不大于 250mm 的热轧、锻耐热钢棒（包括圆钢、方钢、扁钢、六角钢、八角钢）。

2. 带 \* 的牌号除专用外，一般情况下不推荐使用。

3. 钢棒一般以热处理状态交货，切削加工用奥氏体型钢棒应进行固溶处理，热压力加工用钢棒不进行固溶处理。

4. 力学性能为钢棒或试样毛坯热处理后的性能，试样毛坯尺寸一般为 25mm，当钢棒尺寸小于 25mm 时，用原尺寸钢棒进行热处理。

5. 表中奥氏体型钢所列力学性能仅适用于尺寸小于或等于 180mm 的钢棒（5Cr21Mn9Ni4N 和 2Cr21Ni12N 仅适用于尺寸小于或等于 25mm 的钢棒）。

6. 1Cr18Ni9Ti 与 0Cr18Ni10Ti 的力学性能指标一致，需方可根据耐腐蚀性的差别进行选用。

表 3-1-15 铁素体、马氏体耐热钢的化学成分和力学性能 (摘自 GB/T 1221—1992)

类别	钢号	化学成分(质量分数)/%										其他
		C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	≤	≤	≤	
铁素体 型	2Cr25N	≤0.20	≤1.00	≤1.50		23.0~27.0	0.040	0.030				N≤0.25
	0Cr13Al	≤0.08	≤1.00	≤1.00		11.5~14.5	0.040	0.030				Al 0.10~0.30
	00Cr12	≤0.03	≤1.00	≤1.00		11.0~13.0	0.040	0.030				
	1Cr17	≤0.12	≤0.75	≤1.00		16.0~18.0	0.040	0.030				
	1Cr5Mo	≤0.15	≤0.50	≤0.60	≤0.60	4.0~6.0	0.035	0.030				Mo 0.45~0.60
	4Cr9Si2	0.35~0.50	2.00~3.00	≤0.70	≤0.60	8.0~10.0	0.035	0.030				
	4Cr10Si2Mo	0.35~0.45	1.90~2.60	≤0.70	≤0.60	9.0~10.5	0.035	0.030				Mo 0.70~0.90
马氏体 型	8Cr20Si2Ni	0.75~0.85	1.75~2.25	0.20~0.60	1.15~1.65	19.0~20.5	0.035	0.030				
	1Cr11MoV	0.11~0.18	≤0.50	≤0.60	≤0.60	10.0~11.5	0.035	0.030				Mo 0.50~0.70, V 0.25~0.40
	1Cr12Mo	0.10~0.15	≤0.50	0.30~0.50	0.30~0.60	11.50~13.00	0.035	0.030				Mo 0.30~0.60
	2Cr12MoVNbN	0.15~0.20	≤0.50	0.50~1.00		10.0~13.0	0.035	0.030				Mo 0.30~0.90, V 0.10~0.40, N 0.05~0.10, Nb 0.20~0.60
	1Cr12WMoV	0.12~0.18	≤0.50	0.50~0.90	0.40~0.80	11.0~13.0	0.035	0.030				Mo 0.50~0.70, W 0.70~1.25, V 0.18~0.30
	2Cr12Ni1MoWV	0.20~0.25	≤0.50	0.50~1.00	0.50~1.00	11.0~13.0	0.035	0.030				Mo 0.75~1.25, W 0.75~1.25, V 0.20~0.40
	1Cr13	≤0.15	≤1.00	≤1.00		11.5~13.5	0.035	0.030				
	1Cr13Mo	0.08~0.18	≤0.60	≤1.00		11.5~14.0	0.035	0.030				Mo 0.30~0.60
	2Cr13	0.16~0.25	≤1.00	≤1.00		12.0~14.0	0.035	0.030				
	1Cr17Ni2	0.11~0.17	≤0.80	≤0.80	1.50~2.50	16.0~18.0	0.035	0.030				
1Cr11Ni2W2MoV	0.10~0.16	≤0.60	≤0.60	1.40~1.80	10.5~12.0	0.035	0.030				Mo 0.35~0.50, W 1.50~2.00, V 0.18~0.30	

续表

类别	钢号	热处理			回火	拉伸试验				冲击试验	硬度试验	退火后硬度
		退火	淬火	火		$\sigma_{0.2}$	$\sigma_b$	$\delta_5$	$\psi$			
		温度及冷却方式				/MPa		/%		/J		HB
铁素体型	2Cr25N	780~880℃快冷				275	510	20	40			≤201
	0Cr13Al	780~830℃空冷或缓冷				177	410	20	60			≥183
	00Cr12	700~820℃空冷或缓冷				196	365	22	60			≥183
	1Cr17	780~850℃空冷或缓冷				205	450	22	50			≥183
马氏体型	1Cr5Mo		900~950℃油冷		600~700℃空冷	390	590	18				≤200
	4Cr9Si2		1020~1040℃油冷		700~780℃油冷	590	885	19	50			≤269
	4Cr10Si2Mo		1010~1040℃油冷		120~160℃空冷	685	885	10	35			≤269
	8Cr20Si2Ni	800~900℃缓冷或约720℃空冷			100~800℃快冷	685	885	10	15	8	≥262	≤321
	1Cr11MoV		1050~1100℃空冷		720~740℃空冷	490	685	16	55	47		≤200
	1Cr12Mo	800~900℃缓冷或约750℃快冷			700~750℃快冷	550	685	18	60	78	217~248	≤255
	2Cr12MoVNbN	850~950℃缓冷			600℃以上空冷	685	835	15	30		≤321	≤269
	1Cr12WMoV		1000~1050℃油冷		680~700℃空冷	585	735	15	45	47		
	2Cr12NiMoWV	830~900℃缓冷			600℃以上空冷	735	885	10	25		≤341	≤269
	1Cr13	800~900℃缓冷或约750℃快冷			700~750℃快冷	345	540	25	55	78	≥159	≤200
马氏体型	1Cr13Mo	830~900℃缓冷或约750℃快冷			650~750℃快冷	490	685	20	60	78	≥192	≤200
	2Cr13	800~900℃缓冷或约750℃快冷			600~750℃快冷	440	635	20	50	63	≥192	≤223
	1Cr17Ni2		950~1050℃油冷		275~350℃空冷		1080	10		39		≤285
马氏体型	1Cr11Ni2W2MoV		1组 1000~1020℃正火 1000~1020℃油冷或空冷		660~710℃油冷或空冷	735	885	15	55	71	269~321	≤269
			2组 1000~1020℃正火 1000~1020℃油冷或空冷		540~600℃油冷或空冷	885	1080	12	50	55	311~388	

注: 1. 见表3-1-14注1、注4。

2. 钢棒一般以热处理状态交货。表中力学性能数值仅适用于尺寸小于或等于75mm的钢棒。

表 3-1-16 沉淀硬化耐热钢的化学成分和力学性能 (摘自 GB/T 1221—1992)

钢 号	化 学 成 分(质量分数)/%									
	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	其 他		
						≤				
0Cr17Ni4Cu4Nb	≤0.07	≤1.00	≤1.00	3.00~5.00	15.50~17.50	0.035	0.030	Cu3.00~5.00 Nb0.15~0.45		
0Cr17Ni7Al	≤0.09	≤1.00	≤1.00	6.50~7.75	16.00~18.00	0.035	0.030	Al0.75~1.50 Cu≤0.50		
钢 号	热 处 理			拉 伸 试 验				硬 度 试 验		
	固溶处理	时效处理		$\sigma_{0.2}$	$\sigma_b$	$\delta_5$	$\psi$	固溶处理后时效		
	温度 及冷却方式	温度及冷却方式		/MPa ≥		/% ≥		HB	HRC	
0Cr17Ni4Cu4Nb	1020~1060℃ 快 冷	固 溶 处 理 后	470~490℃空冷	1180	1310	10	40	≥375	≥40	≤263 ≤38
			540~560℃空冷	1000	1060	12	45	≥331	≥35	
			570~590℃空冷	865	1000	13	45	≥302	≥31	
			610~630℃空冷	725	930	16	50	≥277	≥28	
0Cr17Ni7Al	1000~1100℃ 快 冷	固 溶 处 理 后	760℃±15℃保持 90min,在1h内冷却 到15℃以下保持 30min,再加热到 565℃±10℃保持 70min,空冷	960	1140	5	25	≥363	固溶处理后: HB≤229 $\sigma_{0.2}$ ≥380MPa $\sigma_b$ ≥1030MPa $\delta_5$ ≥20%	
			955℃±10℃保持 10min,空冷到室温, 在24h以内冷却到 -73℃±6℃,保持 8h,再加热到510℃ ±10℃,保持60min 后冷却	1030	1230	4	10	≥388		

注:见表3-1-14表注。

表 3-1-17 耐热钢的特性和用途 (摘自 GB/T 1221—1992)

类别	钢 号	特 性 和 用 途
奥氏 体 型	5Cr21Mn9Ni4N	用于以高温强度为主的汽油及柴油机用排气阀
	2Cr21Ni12N	用于以抗氧化为主的汽油及柴油机用排气阀
	2Cr23Ni13	承受980℃以下反复加热的抗氧化钢。用于加热炉部件、重油燃烧器
	2Cr25Ni20	性能和用途同2Cr23Ni13,但承受温度较高,可达1035℃
	1Cr16Ni35	抗渗碳、氮化性大的钢种,可在1035℃以下反复加热。炉用钢料用于石油裂解装置
	0Cr15Ni25Ti2MoAlVB	用于耐700℃高温的汽轮机转子、螺栓、叶片、轴
	0Cr18Ni9	通常作耐氧化钢用,可承受870℃以下的反复加热



类别	钢号	特性和用途
奥氏体	0Cr23Ni13	比0Cr19Ni9抗氧化性好,可承受980℃以下的反复加热。炉用材料
	0Cr25Ni20	比0Cr23Ni13抗氧化性好,可承受1035℃高温。炉用材料,汽车排气净化装置用材料
	0Cr17Ni12Mo2	高温下具有优良的蠕变强度,制作热交换用部件、高温耐蚀类螺栓
	4Cr14Ni14W2Mo	有较高的热强性,用于内燃机重负荷排气阀
	3Cr18Mn12Si2N	有较高的高温强度和一定的抗氧化性,并且具有较好的抗硫及抗增碳性。用于吊挂支架、渗碳炉构件、加热炉输送带、料盘、炉爪
	2Cr20Mn9Ni2Si2N	特性和用途同3Cr8Mn12Si2N,还可用于盐浴坩埚和加热炉管道等
	0Cr19Ni13Mo3	高温下具有良好的蠕变强度,制作热交换用部件
	1Cr18Ni9Ti	有良好的耐热性及耐蚀性,制作加热炉管、燃烧室筒体、退火炉罩
	0Cr18Ni10Ti	用于在400~900℃腐蚀条件下使用的部件及高温用焊接结构部件
	0Cr18Ni11Nb	用于在400~900℃腐蚀条件下使用的部件及高温用焊接结构部件
	0Cr18Ni13Si4	具有与0Cr25Ni20相当的抗氧化性。汽车排气净化装置用材料
	1Cr20Ni14Si2	具有较高的高温强度及抗氧化性,对含硫气氛较敏感,在600~800℃有析出相的脆化倾向,适于制作承受应力的各种炉用构件
1Cr25Ni20Si2		
铁素体型	2Cr25N	耐高温腐蚀性强,1082℃以下不产生易剥落的氧化皮,用于燃烧室
	0Cr13Al	由于冷却硬化少,可制作燃气透平压缩机叶片、退火箱、淬火台架
	00Cr12	耐高温氧化,用于要求焊接的部件、汽车排气净化装置、锅炉燃烧室、喷嘴
	1Cr17	用于900℃以下抗氧化部件、散热器、炉用部件、油喷嘴
马氏体型	1Cr5Mo	能抗石油裂化过程中产生的腐蚀。用于再热蒸汽管、石油裂解管、锅炉吊架、汽轮机气缸衬套、泵零件、阀、活塞杆、高压加氢设备部件、紧固件
	4Cr9Si2	有较高的热强性。用于内燃机进气阀、轻负荷发动机的排气阀
	4Cr10Si2Mo	同4Cr9Si2
	8Cr20Si2Ni	用于耐磨性为主的吸气阀、排气阀及阀座
	1Cr11MoV	有较高的热强性、良好的减振性及组织稳定性。用于透平叶片及导向叶片
	1Cr12Mo	用于汽轮机叶片
	2Cr12MoVNbN	用于汽轮机叶片、盘、叶轮轴、螺栓
	1Cr12WMoV	同1Cr11MoV,还可用于紧固件、转子及轮盘
	2Cr12NiMoWV	用于高温结构部件、汽轮机叶片、盘、叶轮轴、螺栓
	1Cr13	用于800℃以下抗氧化用部件
	1Cr13Mo	用于汽轮机叶片、高温高压蒸汽用机械部件
	2Cr13	淬火状态下硬度高,耐蚀性良好。用于汽轮机叶片
1Cr17Ni2	用于具有较高等级的耐硝酸及有机酸腐蚀的零件、容器和设备	
1Cr11Ni2W2MoV	具有良好的韧性和抗氧化性,在淡水和湿空气中有较好的耐蚀性	
沉淀硬化型	0Cr17Ni4Cu4Nb	用于燃气透平压缩机叶片、燃气透平发动机轮绝缘材料
	0Cr17Ni7Al	用于高温弹簧、膜片、固定器、波纹管

大型不锈钢、耐热、耐酸、耐热钢锻件的化学成分和力学性能 (摘自 JB/T 6398—1992)

表 3-1-18

类别	钢号	化学成分(质量分数)/%								热处理类型	截面尺寸/mm ≤	力学性能						特性和用途
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	σ <sub>b</sub> /MPa			δ <sub>5</sub> /%	ψ	A <sub>kv</sub> /J	HBS	表淬HRC		
									σ <sub>b0.2</sub>								σ <sub>b</sub>	
奥氏体型	1Cr18Ni9	≤0.15	≤2.00	≤1.00	17.00 ~19.00	8.00 ~10.00	—	—	固溶处理	180	520 206	40 60	—	—	≤187	—	具有良好的耐腐蚀性和冷加工性。由于含碳量较高,对晶间腐蚀敏感,故不宜制作耐腐蚀的焊接件。主要用于耐腐蚀要求较高的零件,如食品加工、化学和印染等工业的设备部件,以及一些一般机械制造业的要求耐腐蚀的零件	
	0Cr18Ni9	≤0.08	≤2.00	≤1.00	18.00 ~20.00	8.00 ~10.50	—	—	固溶处理	180	520 206	40 60	—	—	≤187	—	具有较1Cr18Ni9更好的耐腐蚀性,有一定抗晶间腐蚀的能力,焊接性良好,可承受870℃以下反复加热。可作为通用耐热不起皮钢。在化工、食品、印染及皮革等工业部门,用于耐热设备	
	1Cr18Ni9Ti	≤0.12	≤2.00	≤1.00	17.00 ~19.00	8.00 ~11.00	—	5 × (C% - 0.02) - 0.80	固溶处理	180	540 206	40 55	—	—	≤187	—	具有良好的耐热性、耐腐蚀性及抗晶间腐蚀能力,焊接性能良好。可用于化工耐腐蚀、动力和加热设备的管道和结构件	
	0Cr18Ni11Ti	≤0.08	≤2.00	≤1.00	17.00 ~19.00	9.00 ~12.00	—	≥5 × C%	固溶处理	180	520 206	40 50	—	—	≤187	—	有很好的耐热、耐热性能,抗晶间腐蚀性能良好,有好的焊接性。适用于化工耐腐蚀件、在400~900℃腐蚀条件下使用的部件、高温用焊接结构部件	
	0Cr18Ni11Nb																	
	0Cr25Ni20	≤0.08	≤2.00	≤1.00	24.00 ~26.00	19.00 ~22.00	—	—	固溶处理	180	520 206	40 50	—	—	≤187	—	抗氧化性比0Cr13Ni13好,实际上多作为耐热钢使用	
	2Cr25Ni20	≤0.25	≤2.00	≤1.50	24.00 ~26.00	19.00 ~22.00	—	—	固溶处理	180	588 206	40 50	—	—	≤201	—	承受1035℃以下反复加热的抗氧化钢,用于喷嘴等	

续表

类别	钢号	化学成分(质量分数)/%								热处理类型	截面尺寸/mm ≤	力学性能						特性和用途	
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	σ <sub>b</sub> /MPa			σ <sub>0.2</sub> /MPa	δ <sub>5</sub> /%	ψ	A <sub>kl</sub> /J	HBS	表淬HRC		
									≥										≥
马氏体	1Cr13	≤0.15	≤1.00	≤1.00	11.00 ~13.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	具有良好的抗大气腐蚀性能,在溶液中有一定的耐腐蚀能力。可用于汽轮机叶片、不锈钢设备和螺母、螺栓、弹簧以及热裂设备管道附件、喷嘴、阀门等	
	2Cr13	0.16 ~0.25	≤1.00	≤1.00	12.00 ~14.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	抗石油裂化过程中产生的腐蚀,用于再热蒸汽管、石油裂解管、锅炉吊架、汽轮机缸体衬套、泵、阀、活塞杆、高压加氢设备部件及紧固件		
	3Cr13	0.26 ~0.40	≤1.00	≤1.00	12.00 ~14.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	4Cr13	0.35 ~0.45	≤1.00	≤1.00	12.00 ~14.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	1Cr5Mo	≤0.15	≤0.60	0.50 ~2.00	4.00 ~6.00	—	0.45 ~0.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—			—
型	4Cr9Si2	0.35 ~0.50	≤0.70	2.00 ~3.00	8.00 ~10.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	900℃以下不起皮,在600~700℃有较高的热稳定性和热强性。可用于700℃以下受负荷的部件,如汽车、内燃机、船舶、发动机用阀、挤料杆等,也可用于900℃以下加热炉构件,如料盘、炉底板等		
	1Cr17Ni2	0.11 ~0.17	≤0.80	≤0.80	16.00 ~18.00	1.50 ~2.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	具有高的强度、硬度和韧性,并有很高的耐腐蚀性。用于化工设备的心轴、轴、活塞杆等零件,以及航空和船舶所需的高强度和耐腐蚀性部件		

注: 1. 本标准适用于一般用途的大型不锈钢、耐酸、耐热合金用钢。

2. 0Cr18Ni11Nb中Nb含量不低于10×C%; 当1Cr18Ni9Ti作为耐热钢使用时,其抗拉强度应大于或等于520MPa。

3. 各钢号P含量不高于0.035%, S含量不高于0.030%。

## 工具钢 (摘自 GB/T 1298—1986、GB/T 1299—2000)

表 3-1-19 碳素工具钢的化学成分和力学性能 (摘自 GB/T 1298—1986)

钢号	化学成分(质量分数)/%					硬 度			特 性 和 用 途
	C	Mn	Si	S	P	试 样 淬 火		淬 火 后 HRC ≥	
						退 火 后 HB ≤	淬 火 温 度 及 冷 却 剂		
T7	0.65~0.74	≤0.40	0.35	0.030	0.035		800~820℃水		淬火回火后有较高强度和韧性,且有一定硬度,但热硬性低、淬透性差、淬火变形大,能承受振动和冲击负荷,硬度适中时具有较高韧性。用于锻模、凿子、锤、小尺寸风动工具、钳工工具和木工工具等
T8	0.75~0.84	≤0.40	0.35	0.030	0.035	187	780~800℃水		淬火加热时容易过热,变形也大,塑性及强度也比较低,不宜制作承受较大冲击的工具,但热处理后有较高的硬度和耐磨性。多用来制作切削刃口在工
T8Mn	0.80~0.90	0.40~0.60	0.35	0.030	0.035				作时不变热的工具,或制造能承受振动和需有足够韧性且有较高硬度的工
T9	0.85~0.94	≤0.40	0.35	0.030	0.035	192			具,如各种木工工具、风动工具、钳工装配工具、简单模具、冲头、钻、凿、锯等。T8Mn和T8MnA有较高的淬透性,能获得较深的淬硬层,可用于制作断面较大的木工工具
T10	0.95~1.04	≤0.40	0.35	0.030	0.035	197		62	用于制作有韧性而又有硬度的各种工具,如冲模、冲头、木工工具及农机中切削零件
T11	1.05~1.14	≤0.40	0.35	0.030	0.035	207	760~780℃水		韧性较小,有较高的耐磨性,用于制作不受突然或剧烈振动的工具,如车刀、刨刀、拉丝模、钻头、丝锥等,以及制作切削刃口在工作时不变热的工具,如木工工具、锯、钻等,或小型冲模、长板、钳工刮刀、锉刀等
T12	1.15~1.24	≤0.40	0.35	0.030	0.035				具有较好的综合力学性能,如硬度、耐磨性及韧性等,用于制作在工作时切削刃口不变热的工具,如丝锥、锉刀、刮刀、尺寸不大的和截面无急剧变化的冷冲模及木工工具等
T13	1.25~1.35	≤0.40	0.35	0.030	0.035	217			韧性不高,具有较高的耐磨性和硬度,用于制作不受冲击负荷、切削速度不高、切削刃口不变热的工具,如车刀、铣刀、刨刀、钻头、铰刀、丝锥、板牙、刮刀、量规、锉刀及断面尺寸小的冷切边模、冲孔模等

注: 1. 本标准适用于热轧、锻制、冷拉及光亮碳素工具钢条钢。其化学成分同样适用于锭、坯及其制品。

2. 碳素工具钢以退火状态交货。根据需方要求也可交不退火的钢材。截面小于5mm的退火钢材不进行硬度试验。

3. 热轧圆、方钢应符合 GB/T 702 的规定, 锻制圆、方钢应符合 GB/T 908 的规定, 冷拉圆、方、六角钢应符合 GB/T 905 的规定。

4. 高级优质钢在牌号后加“A”, 其S含量不高于0.02%, P含量不高于0.03%。



表 3-1-20 合金工具钢的化学成分和力学性能 (摘自 GB/T 1299—2000)

钢组	钢号	化学成分(质量分数)/%								硬 度			特 性 和 用 途
		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	其他	退火状态 交货 HBW 10/3000	试 样 淬 火 温度和冷却剂	HRC ≥		
量 具 刃 具	9SiCr	0.85 ~ 0.95	1.20 ~ 1.60	0.30 ~ 0.60	0.95 ~ 1.25				197 ~ 241	820 ~ 860℃ 油	62	淬透性良好,耐磨性高,具有回火稳定性,但加工性差。用于制作形状复杂变形小的刀具、板牙丝锥、钻头、齿轮铣刀、风凿、冷冲模及冷轧辊等	
	8MnSi	0.75 ~ 0.85	0.30 ~ 0.60	0.80 ~ 1.10				≤ 229	800 ~ 820℃ 油	60	主要用于木工工具及凿子、锯条等刀具		
	Cr06	1.30 ~ 1.45	≤ 0.40	≤ 0.40	0.50 ~ 0.70			187 ~ 241	780 ~ 810℃ 水	64	有较高的硬度和耐磨性,但较脆,用于制作外科手术刀、刮脸刀及刮刀、刻刀、铣刀等		
用 钢	Cr2	0.95 ~ 1.10	≤ 0.40	≤ 0.40	1.30 ~ 1.65			179 ~ 229	830 ~ 860℃ 油	62	具有良好的力学性能,淬透性好,耐磨性和硬度高,变形小,但高温塑性差。用于制作大尺寸的冷冲模和低速、切削量小、加工材料不硬的刀具,如车刀、插刀、铰刀及量具、样板、量规、凸轮销、偏心轮、冷轧辊、钻套和拉丝模等		
	9Cr2	0.80 ~ 0.95	≤ 0.40	≤ 0.40	1.30 ~ 1.70			179 ~ 217	820 ~ 850℃ 油	62	用于制作冷作模具、冷轧辊、压延辊、钢印、木工工具等		
	W	1.05 ~ 1.25	≤ 0.40	≤ 0.40	0.10 ~ 0.30	0.80 ~ 1.20		187 ~ 229	800 ~ 830℃ 水	62	热处理变形较小,水淬时不易产生裂纹,制作断面不大的工具、小麻花钻、丝锥、板牙、铰刀、锯条等		
耐 冲 击 工 具 用 钢	4CrW2Si	0.35 ~ 0.45	0.80 ~ 1.10	≤ 0.40	1.00 ~ 1.30	2.00 ~ 2.50		179 ~ 217	860 ~ 900℃ 油	53	具有较高的力学性能,高温下具有高的强度和硬度,但塑性较低。用于制作剪切机刀片、切边用冷冲模及中应力热锻模、手或风动凿子、空气锤、混凝土破裂器等		
	5CrW2Si	0.45 ~ 0.55	0.50 ~ 0.80	≤ 0.40	1.00 ~ 1.30	2.00 ~ 2.50		207 ~ 255	860 ~ 900℃ 油	55	可制作冷加工用的风动凿子、空气锤、铆钉工具及热加工用的热锻模、压铸模、热剪刀片等		

钢组	钢号	化学成分(质量分数)/%										硬度			特性和用途
		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	其他	退火状态 交货 HBW 10/3000	试样 淬火					
												温度 和冷却剂	HRC ≥		
耐冲击工具用钢	6CrW2Si	0.55~ 0.65	0.50~ 0.80	≤0.40	1.00~ 1.30	2.20~ 2.70						860~900℃油	57	同4CrW2Si、5CrW2Si,但能满足更硬金属	
	6CrMnSi2Mo1V	0.50~ 0.65	1.75~ 2.25	0.60~ 1.00	0.10~ 0.50		0.20~ 1.35	V0.15 ~0.35	≤229	见原标准		58			
	5Cr3Mn1SiMo1V	0.45~ 0.55	0.20~ 1.00	0.20~ 0.90	3.00~ 3.50		1.30~ 1.80	V≤0.35		见原标准		56	用于制作冷作模具、冲模、冲头、量规、拉丝模、搓丝板、冷切剪刀、冶金粉模等		
冷作模具钢	Cr12	2.00~ 2.30	≤0.40	≤0.40	11.50~ 13.00				217~269	950~1000℃油		60	用途与Cr12MoV相同,淬透性和韧性比Cr12MoV好		
	Cr12Mo1V1	1.40~ 1.60	≤0.60	≤0.60	11.00~ 13.00		0.70~ 1.20	V0.50 ~1.10	≤255	820℃预热,1000℃(盐浴)或1010℃(炉控气氛)加热,保温10~20min 空冷,200℃回火		59			
	Cr12MoV	1.45~ 1.70	≤0.40	≤0.40	11.00~ 12.50		0.40~ 0.60	V0.15~0.30 Co≤1.00	207~255	950~1000℃油		58	具有较高淬透性、硬度、耐磨性和塑性,变形小,但高温塑性差。用于制作各种铸、锻模具及冷切剪刀、圆锯、量规、螺纹滚模等		
	Cr5Mo1V	0.95~ 1.05	≤0.50	≤1.00	4.75~ 5.50		0.90~ 1.40	V0.15~0.50	≤255	790℃预热,940℃(盐浴)或950℃(炉控气氛)加热,保温5~15min 空冷,200℃回火		60	空淬性能好,用于具备耐磨性、同时要求韧性的冷作模具,可代替CrWMn、9Mn2V制作中、小型冷冲裁模、成型模、冲头等		
	9Mn2V	0.85~ 0.95	≤0.40	1.70~ 2.00				V0.10~0.25	≤229	780~810℃油		62	淬火后变形较小,具有较高的硬度和耐磨性。用于制作各种模具、量具、样板、丝锥、板牙、铰刀、精密丝杠等		
	CrWMn	0.90~ 1.05	≤0.40	0.80~ 1.10	0.90~ 1.20	1.20~ 1.60			207~255	800~830℃油		62	具有较高的淬透性,高硬度,耐磨性和韧性好,变形小。用于制作高精度模具,或工作时不变热的工具及淬火时要求不变形的量具、刃具,如形状复杂的高精度冲模、板牙、拉刀、铣刀、丝锥、量规、样板等		
9CrWMn	0.85~ 0.95	≤0.40	0.90~ 1.20	0.50~ 0.80	0.50~ 0.80			197~241	800~830℃油		62				

续表

钢组	钢号	化学成分(质量分数)/%								硬度			特性和用途
		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	其他	退火状态 交货 HBW 10/3000	试样 淬火			
										温度 和冷却剂	HRC ≥		
冷作模具钢	Cr4W2MoV	1.12~1.25	0.40~0.70	≤0.40	3.50~4.00	1.90~2.60	0.80~1.20	V0.80~1.10	≤269	960~980℃油 1020~1040℃油	60	新型冷作模具钢,性能稳定,比Cr12制作的模具寿命有较大提高	
	6Cr4W3Mo2VNb	0.60~0.70	≤0.40	≤0.40	3.8~4.40	2.50~3.50	1.80~2.50	V0.80~1.20 Nb0.20~0.35	≤255	1100~1160℃油	60	既具有高速钢的高硬度和高强度,又具有较好的韧性和较高的疲劳极限,还具有较好的冷加工性能,是新型的高韧性冷作模具钢	
	6W6Mo5Cr4V	0.55~0.65	≤0.40	≤0.60	3.70~4.30	6.00~7.00	4.50~5.50	V0.70~1.10	≤269	1180~1200℃油	60	新钢种,具有良好的综合力学性能,冷挤压用钢,制作冷作凹模及上、下冲头等	
	7Cr5MnMoV	0.65~0.75	0.85~1.15	0.65~1.05	0.90~1.20	0.20~0.50	0.20~0.50	V0.15~0.30	≤235	淬火:870~900℃ 油或空 回火:150℃±10℃空	60		
热作模具钢	5CrMnMo	0.50~0.60	0.25~0.60	1.20~1.60	0.60~0.90	0.15~0.30	0.15~0.30		197~241	820~850℃油		具有较高淬透性和硬度,良好的韧性、强度和耐磨性高,用于制作中型锻模	
	5CrNiMo	0.50~0.60	≤0.40	0.50~0.80	0.50~0.80	0.15~0.30	0.15~0.30	Nil.40~1.80	197~241	830~860℃油		有良好的淬透性,用于制作形状复杂、冲击负荷重的各种大、中型锤锻模	
	3Cr2W8V	0.30~0.40	≤0.40	≤0.40	2.20~2.70	7.50~9.00		V0.20~0.50	≤255	1075~1125℃油		具有高的热稳定性,高温下具有高硬度、强度、耐磨性和韧性,但塑性较差,用于制作高温高应力下,不受冲击的铸、锻模及热金属切削刀等	
	5Cr4Mo3SiMnVAI	0.47~0.57	0.80~1.10	0.80~1.10	3.80~4.30		2.80~3.40	V0.80~1.20 Al0.30~0.70	≤255	1090~1120℃油		有较高的强韧性,耐冷热疲劳性,淬硬性、淬透性,但耐磨性略有不足,用于冷、热模具及冲头、凹模、压铸模等	





钢组	钢号	化学成分(质量分数)/%										硬度			特性和用途
		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	其他	退火状态 交货 HBW 10/3000	试样淬火					
										温度 和冷却剂	HRC ≥				
热作模具钢	4Cr5MoSiV1	0.32~ 0.45	0.80~ 1.20	0.20~ 0.50	4.75~ 5.50		1.10~ 1.75	V0.80~1.20	≤235	790℃ 预热, 1000℃ (盐浴) 或 1010℃ (炉控气氛) 加热保温 5~15min 空冷, 550℃ 回火		用同 4Cr5MoSiV, 但中温性能比 4Cr5MoSiV 好, 是用途很广的热作模具 钢代表材料			
	4Cr5W2VSi	0.32~ 0.42	0.80~ 1.20	≤0.40	4.50~ 5.50	1.60~ 2.40		V0.60~1.00	≤229	1030~1050℃ 油 或空		中温下有好的强度、硬度、耐磨性和 韧性, 用于制作热挤压模具、轻金属等 有色金属压铸模			
无磁模具钢	7Mn15Cr2Al3V2WMo	0.65~ 0.75	≤0.80	14.50~ 16.50	2.00~ 2.50	0.50~ 0.80	0.50~ 0.80	V1.50~2.00 A12.30~3.30		1170~1190℃ 固溶、水 650~700℃ 时效, 空	45	冷作硬化, 加工困难, 采用高温退火可 改善切削性能, 采用气体软氮化工艺, 表 面硬度可达 68~70HRC, 用于制作无磁模 具、无磁轴承和 700~800℃ 下使用的热作 模具			
塑料模具钢	3Cr2Mo	0.28~ 0.40	0.20~ 0.80	0.60~ 1.00	1.40~ 2.00		0.30~ 0.55					在预硬状态 300HB 左右供应, 机加工后 不进行高温热处理, 避免型腔变形, 模具 加工后可进行渗碳淬火、低温回火或氮化 处理, 用于制作塑料模和低熔点金属压 铸模			

注: 1. 本标准适用于合金工具钢热轧、锻制、冷拉及银亮条钢。其化学成分同样适用于锭、坯及其制品。

2. P、S 含量均不高于 0.030%。

3. 热轧圆钢、锻钢、冷拉钢材、热轧扁钢和锻制扁钢的尺寸应分别符合 GB/T 702、GB/T 908、GB/T 905、GB/T 911 和 GB/T 16761 的规定。

4. 热作模具钢不检验试样淬火硬度。

5. 钢材以退火状态交货。

耐候钢 (摘自 GB/T 4172—2000、GB/T 4171—2000)

表 3-1-21

牌 号	化学成分(质量分数)/%								交货状态	钢材厚度/mm	力学性能					注		
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	V			$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	180° 冷弯 试验	质量 等级		冲击试验(V形) 温度 /°C	冲击 吸收 功/J
Q235NH (16CuCr)	0.15 ~ 0.20 ~ 0.40 0.60 ≤0.15								热 轧	≤16	235	25	d = a	C	0	≥34		
										>16 ~ 40	225	25		D	-20			
										>40 ~ 60	215	24	d = 2a	E	-40	≥27		
										>60	295	23						
Q295NH (12MnCuCr)	0.15 ~ 0.60 ~ 0.50 1.00 ≤0.15								热 轧	≤16	285	24	d = 2a	C	0	≥34		
										>16 ~ 40	275	24		D	-20			
										>40 ~ 60	255	23	d = 3a	E	-40	≥27		
										>60 ~ 100	355	22						
Q355NH (15MnCuCr)	0.10 ~ 0.90 ~ 0.18 1.50 ≤0.16								热 轧	≤16	345	22	d = 2a	C	0	≥34		
										>16 ~ 40	335	22		D	-20			
										>40 ~ 60	430	21	d = 3a	E	-40	≥27		
										>60 ~ 100	460	20						
Q460NH (15MnCuCr-QT)	0.10 ~ 0.90 ~ 0.18 1.50 ≤0.16								正 火 或 调 质	≤16	450	22	d = 2a	D	-20	≥34		
										>16 ~ 40	440	22						
										>40 ~ 60	430	21	d = 3a	E	-40	≥27		
										>60 ~ 100	430	20						

耐候钢即耐大气腐蚀钢,在钢中加入少量合金元素(如Cu、P、Cr、Ni等),使其在使用过程中在金属基体表面形成保护膜,提高钢材的耐候性能,同时保持良好的焊接性能。焊接结构用耐候钢具有优良的焊接性能和低温韧性,主要用于大型焊接结构,如要求耐候性能较高的桥梁、建筑等结构中的焊接构件。一般为热轧钢板或型材,厚度至100mm

焊接结构用耐候钢 (GB/T 4172)

续表

牌 号	化学成分(质量分数)/%										交货状态	钢材厚度/mm	力学性能				备 注	
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	V	180°				冲击试验(V形)					
									σ <sub>s</sub>	σ <sub>b</sub>			δ <sub>5</sub>	质量等级	试样方向	温度/°C		冲击吸收功/J
Q295GNH (09CuP)	0.20~0.40	0.20~0.40	0.20~0.60	0.07~0.15		0.25~0.55	Ti ≤0.10	RE (加入量) ≤0.15	≤6	295	390	24	d=a	纵	0	≥27		
																	>6	260
Q295GNHL (09CuPCrNi-B)	0.10~0.40	0.20~0.50	0.07~0.12		0.25~0.45	Ni 0.25~0.50		≤6	295	430	24	d=a	纵	0	≥27			
																>6	260	27
Q345GNH	≤0.12	0.20~0.60	0.50~0.90	0.07~0.12	≤0.035	0.25~0.50	Ti ≤0.03	RE (加入量) ≤0.15	≤6	345	440	22	d=a	纵	0	≥27		
																	>6	260
Q345GNHL (09CuPCrNi-A)	0.25~0.75	0.20~0.50	0.07~0.15		0.25~0.55	Ni ≤0.65		≤6	345	480	22	d=a	纵	0	≥27			
																>6	320	26
Q390GNH	0.15~0.65	≤1.40	0.07~0.12		0.25~0.55	Ti ≤0.10	RE (加入量) ≤0.12	≤6	390	490	22	d=a	纵	0	≥27			
																>6	260	27

高耐候结构钢 (GB/T 4171)

注: 1. d 为弯心直径, a 为钢材厚度。

2. 在焊接结构用耐候钢牌号中, Q 表示“屈服点”; 数字表示屈服点数值; N、H 分别表示“耐”、“候”; 在牌号的后面加上 C、D 或 E 表示不同的质量等级。在高耐候结构钢的牌号中 G 表示“高”; 牌号后面加 L 表示成分含有磷镍的高耐候钢。

3. 括号中为旧牌号。

4. 钢板、钢带的尺寸、外形及其允许偏差应符合 GB/T 709 和 GB/T 708 的有关规定, 型钢的尺寸、外形及其允许偏差应符合有关标准的规定。

大型轧辊件用钢 (摘自 JB/T 6401—1992)

表 3-1-22

钢号	化 学 成 分 (质量分数)/%										用 途	力 学 性 能 $\geq$				表面硬度 HB	
	C	Si	Mn	P $\leq$	S $\leq$	Cr	Mo	Ni	其他	$\sigma_b$ /MPa		$\delta$ /%	$\psi$ /%	$A_{KV}$ /J	最终热处理状态	锻坏状态	
55Cr	0.50~0.60	0.17~0.37	0.35~0.65	0.030	0.030	1.00~1.30	—	$\leq 0.30$	—	850mm 或 825mm 初轧辊	690	12	30	—	217~286	$\leq 269$	
50CrMnMo	0.45~0.55	0.20~0.60	1.30~1.70	0.030	0.030	1.40~1.80	0.20~0.60	—	—	直径 1200mm 以下初轧辊	785	9	25	20	229~302	$\leq 269$	
60CrMnMo	0.55~0.65	0.25~0.40	0.70~1.00	0.030	0.030	0.80~1.20	0.20~0.30	$\leq 0.25$	—		930	9	25	20	229~302	$\leq 269$	
50CrNiMo	0.45~0.55	0.20~0.60	0.50~0.80	0.030	0.030	1.40~1.80	0.20~0.60	1.00~1.50	—	直径 1200mm 以下校直辊	755	—	—	—	217~286	$\leq 269$	
60CrNiMo	0.55~0.65	0.20~0.40	0.60~1.00	0.030	0.030	0.70~1.00	0.10~0.30	1.50~2.00	—		785	8	33	24	217~286	$\leq 269$	
60SiMnMo	0.55~0.65	0.70~1.10	1.10~1.50	0.030	0.030	—	0.30~0.40	—	—	校直辊	—	—	—	—	217~286	$\leq 269$	
60CrMoV	0.55~0.65	0.17~0.37	0.50~0.85	0.030	0.030	0.90~1.20	0.30~0.40	—	V0.15~0.35		785	15	40	24	255~302	$\leq 269$	
70Cr3NiMo	0.60~0.80	0.40~0.70	0.50~0.90	0.025	0.025	2.00~3.00	0.25~0.60	0.40~0.60	—	推荐用于黑色和有色金属初轧辊	880	10	20	20	229~302	$\leq 269$	
8CrMoV	0.75~0.85	0.20~0.40	0.20~0.40	0.025	0.025	0.80~1.10	0.55~0.70	$\leq 0.25$	V0.08~0.12		冷轧辊直径/mm	$\leq 300$	301~600	—	601~900	—	
86Cr2MoV	0.83~0.90	0.18~0.35	0.30~0.45	0.025	0.025	1.60~1.90	0.20~0.35	$\leq 0.25$	V0.05~0.15	各种类型轧辊	90~98	80~90	90~98	80~90	90~98	80~90	
9Cr	0.85~0.95	0.25~0.45	0.20~0.35	0.025	0.025	1.40~1.70	—	$\leq 0.25$	—		辊身表面硬度范围 HS	$\geq 95$	$\geq 95$	—	$\geq 95$	—	—
9Cr2	0.85~0.95	0.25~0.45	0.20~0.35	0.025	0.025	1.70~2.10	—	$\leq 0.25$	—	有效淬硬层深度/mm $\geq$	6	8	10	12	8	10	12
9Cr2Mo	0.85~0.95	0.25~0.45	0.20~0.35	0.025	0.025	1.70~2.10	0.20~0.40	$\leq 0.25$	—		W0.30~0.60	—	—	—	—	—	—
9Cr2W	0.85~0.95	0.25~0.45	0.20~0.35	0.025	0.025	1.70~2.10	—	$\leq 0.25$	—	高淬硬层深轧辊	—	—	—	—	—	—	—
9Cr3Mo	0.85~0.95	0.50~0.70	0.20~0.40	0.025	0.025	2.50~3.50	0.20~0.40	$\leq 0.25$	—		辊颈硬度范围 HS	30~55	30~55	30~55	30~55	30~55	30~55
60CrMoV	0.55~0.65	0.17~0.37	0.50~0.85	0.025	0.025	0.90~1.20	0.30~0.40	$\leq 0.25$	V0.15~0.35	校直辊	—	—	—	—	—	—	—



续表

钢号	化学成分(质量分数)/%												用途	力学性能 $\geq$				表面硬度 HB	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	其他	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta$ /%		$\psi$ /%	$A_{ku}$ /J	最终热处理状态	锻坯状态		
	轧辊类型																		
60CrMnMo	0.55~0.65	0.25~0.40	0.70~1.00	—	—	0.80~1.20	0.20~0.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
60CrMoV	0.55~0.65	0.17~0.37	0.50~0.85	—	—	0.90~1.20	0.30~0.40	—	V0.15 ~0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
75CrMo	0.70~0.80	0.20~0.60	0.20~0.70	0.025	0.025	1.40~1.70	0.20~0.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
70Cr3NiMo	0.60~0.80	0.40~0.70	0.50~0.90	0.025	0.025	2.00~3.00	0.25~0.60	0.40~0.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
9Cr2	0.85~0.95	0.25~0.45	0.20~0.35	0.025	0.025	1.70~2.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
9Cr2Mo	0.85~0.95	0.25~0.45	0.20~0.35	0.025	0.025	1.70~2.10	0.20~0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
9CrV	0.85~0.95	0.25~0.45	0.20~0.45	0.025	0.025	1.40~1.70	—	—	V0.10 ~0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
55Cr	0.50~0.60	0.20~0.40	0.35~0.65	0.030	0.030	1.00~1.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
42CrMo	0.38~0.45	0.20~0.40	0.50~0.80	0.030	0.030	0.90~1.20	0.15~0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
35CrMo	0.32~0.40	0.20~0.40	0.40~0.70	0.030	0.030	0.80~1.10	0.15~0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
轧辊类型												热轧用辊	$\delta$ /%	$\psi$ /%	$A_{ku}$ /J	最终热处理状态	锻坯状态		
辊身表面硬度范围 HS												60~70	50~60	40~50	65~75	60~70	55~65		
有效淬硬层深度/mm $\geq$												45	50	55	40	45	50		
辊颈硬度范围 HS												35~50				35~50			

支 承 辊

- 注：1. 本标准适用于锻造合金钢冷、热轧工作辊和直径小于或等于1800mm的支承辊。  
 2. 高硬度的冷轧工作辊和支承辊不进行力学性能试验。  
 3. 热轧工作辊的力学性能作为需方有附加要求时的参考项目。

## 2.2 铸钢

一般工程用铸造碳钢件 (摘自 GB/T 11352—1989)

表 3-1-23

牌 号	元素最高含量(质量分数)/%					铸件厚度/mm	室温下试样力学性能(最小值)					特 性 和 用 途
	C	Si	Mn	S	P		$\sigma_s$ 或 $\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta$ /%	$\psi$ /%	根据合同选择		
										$A_{KV}/J$	冲击性能 $a_{KU}/J \cdot cm^{-2}$	
ZG200-400	0.20		0.80			200	25	40	30	60	有良好的塑性、韧性和焊接性,用于受力不大、要求韧性的各种形状的机件,如机座、变速箱壳等	
ZG230-450	0.30	0.50				230	22	32	25	45	有一定的强度和较好的塑性、韧性,焊接性良好,可切削性好,用于受力不大、要求韧性的零件,如机座、机盖、箱体、底板、阀体、锤轮、工作温度在450℃以下的管道附件等	
ZG270-500	0.40			0.04		270	18	25	22	35	有较高的强度和较好的塑性,铸造性良好,焊接性尚可,可切削性好,用于各种形状的机件,如飞轮、轧钢机架、蒸汽锤、桩锤、联轴器、连杆、箱体、曲轴、水压机工作缸、横梁等	
ZG310-570	0.50					310	15	21	15	30	强度和切削性良好,塑性、韧性较低,硬度、耐磨性较高,焊接性差,流动性好,裂纹敏感性较大,用于负荷较大的零件,各种形状的机件,如联轴器、轮、气缸、齿轮、齿轮圈、棘轮及重负荷机架等	
ZG340-640	0.60	0.60				340	10	18	10	20	有高的强度、硬度和耐磨性,切削性一般,焊接性差,流动性好,裂纹敏感性较大,用于起重运输机中齿轮、棘轮、联轴器及重要的机件等	

注: 1. 对上限每减少0.01%的碳,允许增加0.04%的锰,对ZG200-400锰最高至1.00%,其余四个牌号锰最高至1.20%。

2. 当铸件厚度超过100mm时,表中规定的屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 仅供设计参考。

3. 当需从经过热处理的铸件上切取或从代表铸件的大型试块上取试样时,性能指标由供需双方商定。

4. 表中力学性能为试块铸态的力学性能,其性能并不完全能代表实际铸件。壁厚与试块不同的实际铸件的性能。

5. 本标准适用于在砂型铸造或导热性与砂型相当铸型铸造的一般工程用铸造碳钢件。对用其他铸型的一般工程用铸造碳钢件,也可参照使用。

6. 当需方无特殊要求时,热处理工艺由制造厂决定,常用的热处理工艺为下列之一。

退火——加热温度超过 $A_3$ 炉冷;正火——加热温度超过 $A_3$ 空冷;正火+回火——加热温度超过 $A_3$ 空冷+加热温度低于 $A_{c1}$ 。淬火+回火——加热温度超过 $A_3$ 快冷+加热温度

7. 试验环境温度为 $20 \pm 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。



大型低合金钢铸件 (摘自 JB/T 6402—1992)

表 3-1-24

钢号	化学成分(质量分数)/%										热处理 状态	力学性能						特性和用途
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	$\sigma_s$ ≥	$\sigma_b$ ≥		$\delta$ ≥	$\psi$ ≥	冲击性能			硬度 HB	
														DVM	ISO-V	夏比-U		
/MPa											/%							
ZG30Mn	0.27 ~ 0.34	0.30 ~ 0.50	1.20 ~ 1.50	0.035	0.035	—	—	—	300	558	18	30	—	—	—	163		
	0.35 ~ 0.45	0.30 ~ 0.45	1.20 ~ 1.50	0.035	0.035	—	—	—	295	640	12	30	—	—	163	用于承受摩擦和冲击的零件,如齿轮等		
ZG40Mn2	0.35 ~ 0.45	0.20 ~ 0.40	1.60 ~ 1.80	0.035	0.035	—	—	—	395	590	20	55	—	—	179	用于承受摩擦的零件,如齿轮等		
	0.45 ~ 0.55	0.20 ~ 0.40	1.50 ~ 1.80	0.035	0.035	—	—	—	685	835	13	45	35	35	269 ~ 302			
ZG50Mn2	0.45 ~ 0.55	0.20 ~ 0.40	1.50 ~ 1.80	0.035	0.035	—	—	—	445	785	18	37	—	—	—	用于高强度零件,如齿轮、齿轮缘等		
	0.12 ~ 0.22	0.60 ~ 0.80	1.00 ~ 1.30	0.035	0.035	—	≤0.40	—	295	510	14	30	—	45	156		焊接及流动性良好,制作水压机缸、叶片、喷嘴体、阀、弯头等	
ZG35Mn (ZG20SiMn)	0.30 ~ 0.40	0.60 ~ 0.80	1.10 ~ 1.40	0.035	0.035	—	—	—	345	570	12	20	—	24	—	用于受摩擦的零件		
	0.40 ~ 0.40	0.80 ~ 1.40	1.40	0.035	0.035	—	—	—	415	640	12	25	27	27	—			
ZG35SiMnMo	0.32 ~ 0.40	1.10 ~ 1.40	1.10 ~ 1.40	0.035	0.035	—	0.20 ~ 0.30	—	395	640	12	20	—	24	—	制作负荷较大的零件		
	0.30 ~ 0.40	0.50 ~ 0.75	0.90 ~ 1.20	0.035	0.035	0.50 ~ 0.80	—	—	490	690	12	25	27	27	—			
ZG35CrMnSi	0.30 ~ 0.40	0.50 ~ 0.75	0.90 ~ 1.20	0.035	0.035	0.50 ~ 0.80	—	—	345	690	14	30	—	—	217	用于承受冲击、受磨损的零件,如齿轮、滚轮等		
	0.17 ~ 0.23	0.20 ~ 0.40	1.10 ~ 1.40	0.035	0.035	—	0.20 ~ 0.35	—	295	490	16	—	—	39	156			
ZG20MnMo	0.50 ~ 0.60	0.25 ~ 0.60	1.20 ~ 1.60	0.035	0.035	0.60 ~ 0.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	有一定的红硬性,用于锻模等		
	0.35 ~ 0.45	0.20 ~ 0.40	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.80 ~ 1.10	—	—	345	630	18	26	—	—	212			
ZG34Cr2Ni2Mo (ZG34CrNiMo)	0.30 ~ 0.37	0.30 ~ 0.60	0.60 ~ 1.00	0.035	0.035	1.40 ~ 1.70	0.15 ~ 0.35	—	700	950 ~ 1000	12	—	—	32	240 ~ 290	用于要求特别高的零件,如锥齿轮、小齿轮及吊车行走轮、轴等		

钢号	化学成分(质量分数)/%										热处理状态	力学性能					特性和用途
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	冲击性能			硬度 HB					
									$\sigma_b \geq$	$\delta \geq$			$\psi \geq$	DVM $\geq$	ISO-V $\geq$	夏比-U $\geq$	
ZG20CrMo	0.17~0.25	0.20~0.45	0.50~0.80	0.035	0.035	0.50~0.80	—	0.40~0.60	—	245	18	30	—	24	—	用于齿轮、锥齿轮及高压缸零件等	
ZG35Cr1Mo (ZG35CrMo)	0.30~0.37	0.30~0.50	0.50~0.80	0.035	0.035	0.80~1.20	—	0.20~0.30	调质	510	12	—	27	—	用于齿轮、电炉支承轮轴套、齿圈等		
ZG42Cr1Mo (ZG42CrMo)	0.38~0.45	0.30~0.60	0.60~1.00	0.035	0.035	0.80~1.20	—	0.20~0.30	调质	540 490 450 400 350	12 11 10 10 8	—	27 21 16 12 9.6	—	用于高负荷的零件、齿轮、锥齿轮等		
ZG50Cr1Mo (ZG50CrMo)	0.46~0.54	0.25~0.50	0.50~0.80	0.035	0.035	0.90~1.20	—	0.15~0.25	调质	520	11	—	34	—	用于减速器齿轮、小齿轮等		
ZG65Mn	0.60~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	0.035	0.035	—	—	—	正火+回火	—	—	—	—	—	用于球磨机衬板等		
ZG28NiCrMo	0.25~0.30	0.30~0.80	0.60~0.90	0.035	0.035	0.35~0.85	0.40~0.80	0.35~0.55	—	420	20	40	—	—	—		
ZG30NiCrMo	0.25~0.35	0.30~0.60	0.70~1.00	0.035	0.035	0.60~0.90	0.60~1.00	0.35~0.50	—	590	17	35	—	—	用于直径大于300mm的齿轮铸件		
ZG35NiCrMo	0.30~0.37	0.60~0.90	0.70~1.00	0.035	0.035	0.40~0.90	0.60~0.90	0.40~0.50	—	660	14	30	—	—	—		

- 注：1. 括号内牌号为传统牌号。  
 2. 本标准适用于砂型铸造或导热性与砂型相仿的铸型中浇出的铸件。  
 3. 力学性能为经过最后热处理的力学性能。  
 4. 冲击性能中 DVM、ISO-V 表示按德国标准 DIN 50115 的规定，在 DVM 和 ISO-V 试样上测定的数据。

焊接结构用碳素钢铸件 (摘自 GB/T 7659—1987)

表 3-1-25

牌号	元素含量(质量分数)/%, ≤										力学性能				冲击性能	
	C		Si	Mn	S	P	$\sigma_b$		$\delta_5$	$\psi$	$A_{KV}/J$	$a_{KV}/J \cdot cm^{-2}$				
	C		Si	Mn	S	P	/MPa		%	%		≥				
ZG200-400H	0.20	0.50	0.80	0.04	0.04	200	400	25	40	30	59					
ZG230-450H	0.20	0.50	1.20	0.04	0.04	230	450	22	35	25	44					
ZG275-485H	0.25	0.50	1.20	0.04	0.04	275	485	20	35	22	34					

- 注：1. 适用于一般工程结构，要求焊接性能好的碳素钢铸件。  
 2. 铸件热处理类型：退火；正火；正火+回火（回火温度 ≤ 550℃）。  
 3. 当供方尚不具备夏比（V形缺口）试样加工条件时，允许暂按夏比（U形缺口）试样的冲击韧性  $a_{KV}$  交货。



## 一般用途耐热钢和合金铸件 (摘自 GB/T 8492—2002)

表 3-1-26

一般用途耐热钢和合金铸件化学成分

牌 号	化学成分(质量分数)/%								
	C	Si	Mn	P ≤	S ≤	Cr	Mo ≤	Ni	其他
ZG30Cr7Si2	0.20~0.35	1.0~2.5	0.5~1.0	0.04	0.04	6~8	0.5	≤0.5	—
ZG40Cr13Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	0.5~1.0	0.04	0.03	12~14	0.5	≤1	—
ZG40Cr17Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	0.5~1.0	0.04	0.03	16~19	0.5	≤1	—
ZG40Cr24Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	0.5~1.0	0.04	0.03	23~26	0.5	≤1	—
ZG40Cr28Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	0.5~1.0	0.04	0.03	27~30	0.5	≤1	—
ZGCr29Si2	1.2~1.4	1.0~2.5	0.5~1.0	0.04	0.03	27~30	0.5	≤1	—
ZG25Cr18Ni9Si2	0.15~0.35	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	17~19	0.5	8~10	—
ZG25Cr20Ni14Si2	0.15~0.35	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	19~21	0.5	13~15	—
ZG40Cr22Ni10Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	21~23	0.5	9~11	—
ZG40Cr24Ni24Si2Nb	0.25~0.50	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	23~25	0.5	23~25	Nb1.2~1.8
ZG40Cr25Ni12Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	24~27	0.5	11~14	—
ZG40Cr25Ni20Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	24~27	0.5	19~22	—
ZG40Cr27Ni4Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	≤1.5	0.04	0.03	25~28	0.5	3~6	—
ZG45Cr20Co20Ni20Mo3W3	0.35~0.60	≤1.0	≤2	0.04	0.03	19~22	2.5~3.0	18~22	Co18~22 W2~3
ZG10Ni31Cr20Nb1	0.05~0.12	≤1.2	≤1.2	0.04	0.03	19~23	0.5	30~34	Nb0.8~1.5
ZG40Ni35Cr17Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	16~18	0.5	34~36	—
ZG40Ni35Cr26Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	24~27	0.5	33~36	—
ZG40Ni35Cr26Si2Nb1	0.3~0.5	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	24~27	0.5	33~36	Nb 0.8~1.8
ZG40Ni38Cr19Si2	0.3~0.5	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	18~21	0.5	36~39	—
ZG40Ni38Cr19Si2Nb1	0.3~0.5	1.0~2.5	≤2	0.04	0.03	18~21	0.5	36~39	Nb 1.2~1.8
ZNiCr28Fe17W5Si2Co.4	0.35~0.55	1.0~2.5	≤1.5	0.04	0.03	27~30	—	47~50	W4~6
ZNiCr50Nb1Co.1	≤0.1	≤0.5	≤0.5	0.02	0.02	47~52	0.5	余量	NO.16 N+Co.2 Nb1.4~1.7
ZNiCr19Fe18Si1Co.5	0.4~0.6	0.5~2.0	≤1.5	0.04	0.03	16~21	0.5	50~55	—
ZNiFe18Cr15Si1Co.5	0.35~0.65	≤2	≤1.3	0.04	0.03	13~19	—	64~69	—
ZNiCr25Fe20- Co15W5Si1Co.46	0.44~0.48	1~2	≤2	0.04	0.03	24~26	—	33~37	W4~6 Co14~16
ZCoCr28Fe18Co.3	≤0.5	≤1	≤1	0.04	0.03	25~30	0.5	1	Co48~52 Fe20 最大值

注: GB/T 8492—2002《一般用途耐热钢和合金铸件》包括的牌号,代表了适合在一般工程中不同耐热条件下广泛应用的铸造耐热钢和耐热合金铸件的种类。如果要求采用 GB/T 8492—2002 未规定的牌号,则应在订货合同中注明。

表 3-1-27

一般用途耐热钢和合金铸件室温力学性能与最高使用温度

牌 号	$\sigma_{p0.2}/\text{MPa}$ (最小值)	$\sigma_b/\text{MPa}$ (最小值)	$\delta/\%$ (最小值)	HBS	最高使用温度 <sup>①</sup> /℃
ZG30Cr7Si2	—	—	—	—	750
ZG40Cr13Si2	—	—	—	300 <sup>②</sup>	850
ZG40Cr17Si2	—	—	—	300 <sup>②</sup>	900
ZG40Cr24Si2	—	—	—	300 <sup>②</sup>	1050
ZG40Cr28Si2	—	—	—	320 <sup>②</sup>	1100
ZGCr29Si2	—	—	—	400 <sup>②</sup>	1100
ZG25Cr18Ni9Si2	230	450	15	—	900
ZG25Cr20Ni14Si2	230	450	10	—	900
ZG40Cr22Ni10Si2	230	450	8	—	950
ZG40Cr24Ni24Si2Nb1	220	400	4	—	1050
ZG40Cr25Ni12Si2	220	450	6	—	1050
ZG40Cr25Ni20Si2	220	450	6	—	1100
ZG45Cr27Ni4Si2	250	400	3	400 <sup>③</sup>	1100
ZG40Cr20Co20Ni20Mo3W3	320	400	6	—	1150
ZG10Ni31Cr20Nb1	170	440	20	—	1000
ZG40Ni35Cr17Si2	220	420	6	—	980
ZG40Ni35Cr26Si2	220	440	6	—	1050
ZG40Ni35Cr26Si2Nb1	220	440	4	—	1050
ZG40Ni38Cr19Si2	220	420	6	—	1050
ZG40Ni38Cr19Si2Nb1	220	420	4	—	1100
ZNiCr28Fe17W5Si2C0.4	220	400	3	—	1200
ZNiCr50Nb1C0.1	230	540	8	—	1050
ZNiCr19Fe18Si1C0.5	220	440	5	—	1100
ZNiFe18Cr15Si1C0.5	200	400	3	—	1100
ZNiCr25Fe20Co15W5Si1C0.46	270	480	5	—	1200
ZCoCr28Fe18C0.3	④	④	④	④	1200

① 最高使用温度取决于实际使用条件，所列数据仅供用户参考。这些数据适用于氧化气氛，实际的合金成分对其也有影响。

② 退火态最大 HBS 值，铸件也可以铸态提供，此时硬度限制不适用。

③ 最大 HBS 值。

④ 由供需双方协商确定。

注：1. 当供需双方协定要求提供室温力学性能时，其力学性能应按本表规定。

2. ZG30Cr7Si2、ZG40Cr13Si2、ZG40Cr17Si2、ZG40Cr24Si2、ZG40Cr28Si2、ZGCr29Si2 可以在 800~850℃ 进行退火处理。若需要，ZG30Cr7Si2 也可在铸态下供货。其他牌号耐热钢和合金铸件，不需要热处理。若需热处理，则热处理工艺由供需双方商定，并在订货合同中注明。

3. 本表列出的最高使用温度为参考数据，这些数据仅适用于牌号间的比较，在实际应用时，还应考虑环境、载荷等实际使用条件。

高锰钢铸件 (摘自 GB/T 5680—1998)

表 3-1-28

牌 号	化学成分(质量分数)/%							力 学 性 能			硬 度 HBS	用 途
	C	Mn	Si	S	P	其他	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$a_{KV}/J \cdot cm^{-2}$			
ZGMn13-1	1.00~1.45		0.30~1.00	≤0.040	≤0.090	—	≥635	≥20	—	低冲击件	—	用于以结构简单、耐磨为主的低冲击件,如磨机衬板、破碎机壁与破碎机的颧板、锤头及辊套铲齿
ZGMn13-2	0.90~1.35					—	≥685	≥25	—	普通件	—	
ZGMn13-3	0.95~1.35	11.00~14.00		≤0.035	≤0.070	—	≥735	≥30	≥147	复杂件	≤300	用于结构复杂,以韧性为主的高冲击件,如履带板及挖掘机斗齿、斗前壁等
ZGMn13-4	0.90~1.20		0.30~0.80			Cr1.50~2.50	≥735	≥20	—	高冲击件	—	
ZGMn13-5	0.75~1.30		0.30~1.00	≤0.040		Mo0.90~1.20	—	—	—	—	—	

注: 1. 本标准规定了砂型铸造高锰钢铸件的技术条件, 用于受不同程度冲击负荷下的耐磨损高锰钢铸件。

2. 铸件必须进行水韧处理(铸件经 1050℃ 左右加热后进行水淬处理), 水韧处理后试样的力学性能应符合表中规定。水韧处理后有高的抗拉强度、塑性、韧性以及无磁性。使用中受到剧烈冲击和强大压力变形时, 表面产生加工硬化, 并形成高的耐磨表面层, 而内层保持优良的韧性, 即使零件磨损到很薄, 仍能承受较大的冲击负荷。

3. 水韧处理后试样的显微组织应为奥氏体。

一般用途耐蚀钢铸件 (摘自 GB/T 2100—2002)

表 3-1-29

一般用途耐蚀铸钢的应用

牌 号	特 性 及 应 用
ZG15Cr12	铸造性能较好, 具有良好的力学性能, 在大气、水和弱腐蚀介质(如盐水溶液、稀硝酸及某些体积分数不高的有机酸)和温度不高的情况下, 均有良好的耐蚀性, 可用于承受冲击负荷、要求韧性高的铸件, 如泵壳、阀、叶轮、水轮机转轮或叶片、螺旋桨等
ZG20Cr13	基本性能与 ZG15Cr12 相似, 含碳量高于 ZG15Cr12, 因而具有较高的硬度, 焊接性较差, 应用与 ZG15Cr12 相似, 可用于较高硬度的铸件, 如热油液压泵、阀门等
ZG03Cr18Ni10	为超低碳不锈钢, 冶炼要求高, 在氧化性介质(如硝酸)中具有较好的耐蚀性及良好的抗晶间腐蚀性能, 焊后不出现刀口腐蚀, 主要用于化学、化肥、化纤及国防工业上重要的耐蚀铸件和铸焊结构件等
ZG07Cr19Ni9	铸造性能较好, 在硝酸、有机酸等介质中具有较好的耐蚀性, 在固溶处理后具有良好的抗晶间腐蚀性能, 但在敏化状态下的抗晶间腐蚀性会显著下降, 低温冲击性能好, 主要用于硝酸、有机酸、化工石油等工业用泵阀等铸件
ZG03Cr14Ni14Si4	为超低碳高硅不锈钢, 在浓硝酸中具有较好的耐蚀性, 力学性能较高, 对各种配比的浓硝酸、浓硫酸、混合酸的耐蚀性好。焊后不出现刀口腐蚀。用于化工、纺织、轻工、国防、医药等行业, 制造泵、阀、管接头等

表 3-1-30 化学成分与力学性能

牌 号	化学成分(质量分数)/%										其他
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni			
ZG15Cr12	≤0.15	≤0.8	≤0.8	≤0.035	≤0.025	11.5~13.5	≤0.5	≤1.0			
ZG20Cr13	0.16~0.24	≤1.0	≤0.6	≤0.035	≤0.025	12.0~14.0					
ZG10Cr12NiMo	≤0.10	≤0.8	≤0.8	≤0.035	≤0.025	11.5~13.0	0.2~0.5	0.8~1.8			
ZG06Cr12Ni4(QT1) ZG06Cr12Ni4(QT2)	≤0.06	≤1.0	≤1.5	≤0.035	≤0.025	11.5~13.0	≤1.0	3.5~5.0			
ZG06Cr16Ni5Mo	≤0.06	≤0.8	≤0.8	≤0.035	≤0.025	15.0~17.0	0.7~1.5	4.0~6.0			
ZG03Cr18Ni10	≤0.03	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	17.0~19.0		9.0~12.0			
ZG03Cr18Ni10N	≤0.03	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	17.0~19.0		9.0~12.0			NO.10~0.20
ZG07Cr19Ni9	≤0.07	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	18.0~21.0		8.0~11.0			
ZG08Cr19Ni10Nb	≤0.08	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	18.0~21.0		9.0~12.0			8×C%≤Nb≤1.00
ZG03Cr19Ni11Mo2	≤0.03	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	17.0~20.0	2.0~2.5	9.0~12.0			
ZG03Cr19Ni11Mo2N	≤0.03	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	17.0~20.0	2.0~2.5	9.0~12.0			NO.10~0.20
ZG07Cr19Ni11Mo2	≤0.07	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	17.0~20.0	2.0~2.5	9.0~12.0			
ZG08Cr19Ni11Mo2Nb	≤0.08	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	17.0~20.0	2.0~2.5	9.0~12.0			8×C%≤Nb ≤1.00
ZG03Cr19Ni11Mo3	≤0.03	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	17.0~20.0	3.0~3.5	9.0~12.0			
ZG03Cr19Ni11Mo3N	≤0.03	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	17.0~20.0	3.0~3.5	9.0~12.0			NO.10~0.20
ZG07Cr19Ni11Mo3	≤0.07	≤1.5	≤1.5	≤0.040	≤0.030	17.0~20.0	3.0~3.5	9.0~12.0			
ZG03Cr26Ni5Cu3Mo3N	≤0.03	≤1.0	≤1.5	≤0.035	≤0.025	25.0~27.0	2.5~3.5	4.5~6.5			Cu2.4~3.5 NO.12~0.25
ZG03Cr26Ni5Mo3N	≤0.03	≤1.0	≤1.5	≤0.035	≤0.025	25.0~27.0	2.5~3.5	4.5~6.5			NO.12~0.25
ZG03Cr14Ni14Si4	≤0.03	3.5~4.5	≤0.8	≤0.035	≤0.025	13.0~15.0		13.0~15.0			



续表

牌 号	热 处 理 规 范	$\sigma_{p0.2}$ <sup>①</sup> /MPa (最小值)	$\sigma_b$ <sup>①</sup> /MPa (最小值)	$\delta$ <sup>①</sup> / % (最小值)	$A_{KV}$ <sup>①</sup> /J (最小值)	铸件最大允许 厚度/mm
ZG15Cr12	奥氏体化 950 ~ 1050℃, 空冷; 650 ~ 750℃ 回火, 空冷	450	620	14	20	150
ZG20Cr13	950℃ 退火, 1050℃ 油淬, 750 ~ 800℃ 空冷	440( $\sigma_s$ )	610	16	58( $A_{KV}$ )	300
ZG10Cr12NiMo	奥氏体化 1000 ~ 1050℃, 空冷; 620 ~ 720℃ 回火, 空冷或炉冷	440	590	15	27	300
ZG06Cr12Ni4(QT1)	奥氏体化 1000 ~ 1100℃, 空冷; 570 ~ 620℃ 回火, 空冷或炉冷	550	750	15	45	300
ZG06Cr12Ni4(QT2)	奥氏体化 1000 ~ 1100℃, 空冷; 500 ~ 530℃ 回火, 空冷或炉冷	830	900	12	35	300
ZG06Cr16Ni5Mo	奥氏体化 1020 ~ 1070℃, 空冷; 580 ~ 630℃ 回火, 空冷或炉冷	540	760	15	60	300
ZG03Cr18Ni10	1050℃ 固溶处理; 淬火。随厚度增加, 提高空冷速度	180 <sup>②</sup>	440	30	80	150
ZG03Cr18Ni10N		230 <sup>②</sup>	510	30	80	150
ZG07Cr19Ni9		180 <sup>②</sup>	440	30	60	150
ZG08Cr19Ni10Nb		180 <sup>②</sup>	440	25	40	150
ZG03Cr19Ni11Mo2	1080℃ 固溶处理; 淬火。随厚度增加, 提高空冷速度	180 <sup>②</sup>	440	30	80	150
ZG03Cr19Ni11Mo2N		230 <sup>②</sup>	510	30	80	150
ZG07Cr19Ni11Mo2		180 <sup>②</sup>	440	30	60	150
ZG08Cr19Ni11Mo2Nb		180 <sup>②</sup>	440	25	40	150
ZG03Cr19Ni11Mo3	1120℃ 固溶处理; 淬火。随厚度增加, 提高空冷速度	180 <sup>②</sup>	440	30	80	150
ZG03Cr19Ni11Mo3N		230 <sup>②</sup>	510	30	80	150
ZG07Cr19Ni11Mo3		180 <sup>②</sup>	440	30	60	150
ZG03Cr26Ni5Cu3Mo3N		450	650	18	50	150
ZG03Cr26Ni5Mo3N	1040 ~ 1010℃, 以防止复杂形状铸件的开裂	450	650	18	50	150
ZG03Cr14Ni14Si4	1050 ~ 1100℃ 固溶; 水淬	245( $\sigma_s$ )	490	60( $\delta_s$ )	270( $A_{KV}$ )	150

①  $\sigma_{p0.2}$ ——0.2% 试验应力; $\sigma_b$ ——抗拉强度; $\delta$ ——断裂后, 原始测试长度  $L_0$  的伸长率; $A_{KV}$ ——V 形缺口冲击吸收功; $A_{KU}$ ——U 形缺口冲击吸收功。②  $\sigma_{p0.2}$  的最低值高于 25MPa。

注: 1. 本表的牌号适用于一般用途的铸钢件, 这些牌号代表了适合在各种不同腐蚀场合广泛应用的合金铸钢件的种类。GB/T 2100—2002 规定, 可以在订货合同中商定采用 GB/T 2100—2002 中未列出的其他牌号。

2. 要求进行晶间腐蚀倾向试验的铸件, 应在合同中注明, 其试验方法按 GB/T 2100—2002 的规定进行。

### 2.3 铸铁

灰铸铁件 (摘自 GB/T 9439—1988)

表 3-1-31

牌 号	铸件能达到抗拉强度的参考值				附铸试棒(块)的力学性能						特性和用途 (非标准所列,供参考)
	铸件壁厚/mm		$\sigma_b$ /MPa	铸件壁厚/mm		$\sigma_b$ /MPa, $\geq$					
	$\geq$	$<$		$\geq$	$<$	附铸试棒	附铸试块		铸 件		
						$\phi 30$ mm	$\phi 50$ mm	R15mm	R25mm	(参考值)	
HT100	2.5	10	130	$\geq$							用于外罩、手把、手轮、底板、重锤等形状简单、对强度无要求的零件铸造应力小,不用人工时效处理,减振性优良,铸造性能好
	10	20	100	$\geq$							
	20	30	90	$\geq$							
	30	50	80	$\geq$							
HT150	2.5	10	175	$\geq$	20	40	130	[120]		120	用于强度要求不高的一般铸件,如端盖、汽轮泵体、轴承座、壁厚小于30mm的耐磨轴套、阀壳、管子及管道附件、手轮;一般机床底座、床身及其他复杂零件、滑座、工作台的等;圆周速度为6~12m/s的带轮。不用人工时效,有良好的减振性,铸造性能好
	10	20	145	$\geq$	40	80	115	[115]	110	105	
	20	30	130	$\geq$	80	150	105	100	100	90	
	30	50	120	$\geq$	150	300	100	90		80	
HT200	2.5	10	220	$\geq$	20	40	180	[155]	[170]	165	可承受较大弯曲应力,用于强度、耐磨性要求较高的较重要的零件和要求保持气密性的铸件,如汽缸、齿轮、底座、机架、机体、飞轮、齿条、衬筒;一般机床铸有导轨的床身及中等压力(8MPa以下)液压机、液泵和阀的壳体等;圆周速度大于12m/s至20m/s的带轮。有较好的耐热性和良好的减振性;铸造性较好,需进行人工时效处理。在滑动摩擦条件下应使用低合金灰铸铁(如含P、Cr、Mo、Cu等合金元素),机床床身、汽车刹车片、离合器片、汽缸套、活塞环等一般用低合金灰铸铁
	10	20	195	$\geq$	40	80	160	[155]	150	145	
	20	30	170	$\geq$	80	150	145	140	140	130	
	30	50	160	$\geq$	150	300	135	130	130	120	
HT250	4.0	10	270	$\geq$	20	40	220	[210]		205	基本性能同HT200,但强度较高,用于阀壳、油缸、汽缸、联轴器、机体、齿轮、齿轮箱外壳、飞轮、衬筒、凸轮、轴承座等
	10	20	240	$\geq$	40	80	200	[190]	190	180	
	20	30	220	$\geq$	80	150	180	170	170	165	
	30	50	200	$\geq$	150	300	165	160	160	150	

塑性和韧性较低,但有一定的强度,抗压强度非常高,通常为(3~4) $\sigma_b$ 。有良好的吸振性、减振性和润滑性,有良好的导热性、切削加工性与铸造性,广泛用于机电产品。在滑动摩擦条件下不宜选用普通灰铸铁。合金灰铸铁在300~400℃以上的温度长期使用。对壁厚相差悬殊的铸件不推荐选用

牌号	铸件能达到抗拉强度的参考值		附铸试棒(块)的力学性能						特性和用途 (非标准所列,供参考)
	$\sigma_b/MPa$		铸件壁厚/mm		$\sigma_b/MPa, \geq$				
	$\geq$	$<$	$\geq$	$<$	附铸试棒	附铸试块		铸件 (参考值)	
HT300					$\phi 30mm$	$R15mm$	$R25mm$		可承受高弯曲应力,用于要求高强度、高耐磨性的重要铸件和要求保持高气密性的铸件,如齿轮、凸轮、车床卡盘、剪床、压力机的机身;导板、六角、自动车床及其他重负荷机床铸有导轨的床身;高压液筒、液泵和滑阀的壳体等;圆周速度大于20m/s至25m/s的带轮白口倾向大,铸造性能差,需进行人工时效处理和孕育处理
	10	20	20	40	260	[250]		245	
	20	30	40	80	235	[230]	225	215	
HT350									塑性和韧性较低,但有一定强度,抗压强度高,通常为(3~4) $\sigma_s$ 。有良好的吸振性、减振性和润滑性,有良好的导热性、切削加工性与铸造性,广泛用于机电产品。在滑动摩擦条件下不宜选用普通灰铸铁,应选用低合金灰铸铁。不宜在300~400℃以上的温度长期使用。对壁厚相差悬殊的铸件不推荐选用
	30	50	80	150	210	200	185	195	
	10	20	40	300	195	[290]		285	
HT350									用于齿轮、凸轮、车床卡盘、剪床、压力机的机身;导板、六角、自动车床及其他重负荷机床铸有导轨的床身;高压液筒、液泵和滑阀的壳体等
	20	30	40	80	270	[265]	260	255	
	30	50	80	150	240	230	225	205	

注:1. 本标准适用于砂型或导热性与砂型相当的铸型铸造的灰铸铁件。

2. 本标准根据直径30mm单铸试棒加工成试样测定的抗拉强度,将灰铸铁分为6个牌号,牌号中的数值表示试棒的最小抗拉强度。由于灰铸铁组织和力学性能受凝固区和共析相变区冷却速度的影响很大,故从试棒上测得的性能并不完全能代表形状、壁厚与试棒不同的实际铸件的性能。

3. 当一定牌号的铁水浇注壁厚均匀而形状简单的铸件时,壁厚变化所造成的抗拉强度的变化,可从本表查出参考性数据;当铸件壁厚不均匀或有型芯时,本表仅近似地给出同壁厚处的大致抗拉强度值,铸件设计应根据关键部位的实测值进行。

4. 当铸件壁厚超过20mm而质量又超过200kg,并有特殊要求时,经供需双方协商,也可采用与铸件冷却条件相似的附铸试棒(块)加工成试棒来测定抗拉强度,其结果比单铸试棒更接近铸件材质的性能,但应符合表中规定。

5. 力学性能是铸态情况下的力学性能,方括号内的数值仅适用于铸件壁厚大于试样直径的场合。

6. 如需方要求以硬度检验铸件材质的力学性能时,则应符合硬度牌号的规定。

硬度分级		H145	H175	H195	H215	H235	H255
铸件上的硬度范围HB	最大不超过	170	150~200	170~220	190~240	210~260	230~280

7. 灰铸铁的硬度和抗拉强度之间,存在一定的对应关系,其经验关系式如下。

当  $\sigma_b \geq 196MPa$  时,  $HB = RH (100 + 0.438\sigma_b)$

当  $\sigma_b < 196MPa$  时,  $HB = RH (44 + 0.724\sigma_b)$

式中RH称为相对硬度,其数值由原材料、熔炼工艺、处理工艺及铸件的冷却速度所确定,其变化范围在0.8~1.2之间。通过测定单铸试棒(或铸件)的 $\sigma_b$ 和HB,由上式计算出RH,这样测定了RH以后,就可根据在铸件上实测得到的HB,由上式计算出 $\sigma_b$ ,参见原标准附录B。

8. 铸件的热处理规范,请查阅《机械工程材料手册》,黑色金属材料(第5版),机械工业出版社,1998年。

球墨铸铁件 (摘自 GB/T 1348—1988)

表 3-1-32

类别	牌 号	铸件壁厚/mm	力学性能		供 参 考		特性和用途 (非标准所列,供参考)
			$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ %	HB	主要金相组织	
单 铸 试 块	QT400-18		400	18	130~180	铁素体(100%)	有较好的塑性、焊接性与切削性也较好,常温冲击韧性高。用于制作农具、犁铧、收割机、割草机等;汽车、拖拉机的轮毂、驱动桥壳体、离合器壳、差速器壳等;1.6~6.0MPa 阀门的阀体、阀盖、压缩机气缸,铁路钢轨垫板、电机壳、齿轮箱等 焊接性与切削性均较好,塑性略低于 QT400-18,强度与小能量冲击性能优于 QT400-18。用途同 QT400-18 强度与韧性中等,切削性尚好。用于制作内燃机油泵齿轮、汽轮机中温气缸隔板、机车车辆轴瓦、飞轮等 强度和耐磨性较好,塑性与韧性较低。用于制作内燃机的曲轴、凸轮轴、连杆等;农机具轻负荷齿轮等;部分磨床、铣床、车床的主轴;空压机、冷冻机、制氧机、泵的曲轴、缸体、缸套等;球磨机齿轮、各种车轮、滚轮、小型水轮机主轴等;球磨机齿轴、矿车轮在低温(-40℃以下)条件下工作的铸件不宜选用珠光体球墨铸铁,因低温时其强度降低、脆性增加 有高的强度和耐磨性,较高的弯曲疲劳强度、接触疲劳强度和一定的韧性。用于内燃机曲轴、凸轮轴和汽车上的圆锥齿轮、转向节、传动轴及拖拉机的减速齿轮、农具具
	QT400-15		400	15	130~180	铁素体(100%)	
	QT450-10		450	10	160~210	铁素体(≥80%)	
	QT500-7		500	7	170~230	铁素体+珠光体	
	QT600-3		600	3	190~270	珠光体+铁素体	
	QT700-2		700	2	225~305	珠光体	
	QT800-2		800	2	245~335	珠光体或回火索氏体	
	QT900-2		900	2	280~360	贝氏体或回火马氏体	
	QT400-18A	>30~60	390	18	130~180	铁素体	
附 铸 试 块	QT400-15A	>60~200	370	12	130~180	铁素体	球墨铸铁经过球化处理使石墨呈球状或全部呈球状的铸铁。它具有比灰铸铁多得多的强度和韧性,强度高,用率( $\sigma_{0.2}/\sigma_b$ )高,疲劳极限比灰铸铁高1倍以上,接近45钢;耐磨、耐热与耐腐蚀性均较好,但铸造性比灰铸铁差。由于其具有许多优良的性能和经济性,广泛用于机械制造业各工业部门,已经取代和正在扩大取代碳钢、合金钢、灰铸铁、可锻铸铁等金属材料
	QT500-7A	>30~60	390	15	170~240	铁素体+珠光体	
	QT600-3A	>60~200	370	12	180~270	珠光体+铁素体	
	QT700-2A	>30~60	450	7	220~320	珠光体	
		>60~200	420	5			
		>30~60	600	3			
		>60~200	550	1			
	>30~60	700	2				
	>60~200	650	1				

特性与用途与上面相应牌号相同

V形缺口试样的冲击值

牌 号	铸件壁厚 /mm	最小冲击值 $a_{kv}/J \cdot cm^{-2}$	
		室温 23℃ ± 5℃	低温 -20℃ ± 2℃
单铸试块	QT400-18	三个试样平均值	三个试样个别值
	QT400-18L	14	11
附铸试块	>30~60	14	11
	>60~200	12	9
	>30~60	12	9
	>60~200	10	7

注: 1. 本标准适用于砂型或导热性与砂型相当的普通和合金球墨铸铁件。本标准不适用于球墨铸铁管件和连续铸造的球墨铸铁件。  
2. 牌号后面的字母“A”表示在附铸试块上测定的力学性能,以区别单铸试块。当铸件质量大于或等于2000kg且壁厚在30~200mm内时,一般采用附铸试块。字母“L”表示牌号在低温时应具有表列冲击值。  
3. 力学性能以抗拉强度和伸长率两个指标作为验收依据,HB值和主要金相组织仅供参考,其他由供需双方商定。  
4. 如需方要求进行金相组织检验时,可按GB/T 9441的规定进行,球化级别一般不得低于4级。  
5. 在特殊情况下,供需双方同意根据铸件本体所测得的硬度规定球墨铸铁硬度牌号(见标准附录A),其硬度牌号的硬度值范围与单铸试块牌号的硬度值范围相同。





可锻铸铁件 (摘自 GB/T 9440—1988)

表 3-1-33

牌 号	力 学 性 能		HB	特性和用途 (非标准所列,供参考)	
	σ <sub>b</sub> /MPa	δ/% (L <sub>0</sub> = 3d)			
黑 心	A	B	试样直径 d/mm	黑心可锻铸铁比灰铸铁强度高,塑性与韧性更好,可承受冲击和扭转负荷,具有良好的耐腐蚀性,切削性能良好。制作薄壁铸件,多用于机床零件、运输机零件,升降机械零件、管道配件、低压阀门。KTH300-06、KTH330-08 可耐 800 ~ 1400kPa 的压力(气压、水压);可用于自来水管配件,高压锅炉管道配件,压缩空气管道配件以及农机零件。KTH350-10、KTH370-12 能承受较大的冲击负荷,在寒冷环境(-40℃)下工作,不产生低温脆断,在汽车和拖拉机中用于后桥外壳、转向机构、弹簧钢板支座	
					σ <sub>0.2</sub> /MPa
	KTH300-06	300	6		≤150
	KTH330-08	330	8		≤150
珠 光 体	A	B	试样直径 d/mm	珠光体可锻铸铁的塑性、韧性比黑心可锻铸铁稍差,但其强度高,耐磨性好,低温性能优于球墨铸铁,加工性良好,可代替有色合金、低合金钢及低碳钢与中碳钢制作较高强度和耐磨性的零件。KTZ450-06 用于制作插销、轴承座。KTZ550-04 用于制作一定强度和韧性适当的零件,如汽车前轮轮毂、发动机支架、传动箱及拖拉机履带轨板。KTZ650-02 用于制作较高强度的零件,如柴油机活塞、差速器壳、摇臂及农业机械的犁刀、犁片、齿轮箱。KTZ700-02 用于制作高强度的零件,如曲轴、刀向接头、传动齿轮、凸轮轴、活塞环等	
					σ <sub>0.2</sub> /MPa
	KTH350-10	350	10		150 ~ 200
	KTH370-12	370	12		150 ~ 200
白 心	A	B	试样直径 d/mm	白口铸铁通脱碳化物,其化学成分而组织或成分而获得的具有较高韧性的铸铁称为可锻铸铁。其减振性但优于球墨铸铁和珠光体可锻铸铁;黑心和珠光体可锻铸铁耐热性均优于灰铸铁与铸钢,但不宜焊接;白心可锻铸铁有良好的焊接性能;可锻铸铁的铸造性比灰铸铁差,但其生产过程比球墨铸铁较易控制	
					σ <sub>0.2</sub> /MPa
	KTB350-04	340	5		≤230
	KTB380-12	380	12		≤200
白 心	A	B	试样直径 d/mm	将低碳低硅的白口铸铁和氧化铁一起加热,进行脱碳软化后的铸铁称为白口可锻铸铁,断面呈白色,表面有大量脱碳形式铁素体,心部为珠光体基体,且有少量残余游离碳,因而心部韧性难以提高,一般仅限于薄壁件的制造,由于工艺较复杂,生产周期长,性能较差,国内在机械工业中较少应用,KTB380-12 适用于对强度有特殊要求和焊接后不需进行热处理的零件	
					σ <sub>0.2</sub> /MPa
	KTB400-05	400	5		≤220
	KTB450-07	450	7		≤220

注: 1. 本标准适用于砂型或导热性与之相仿的铸型铸造的可锻铸铁件,其他铸型的可锻铸铁件也可参考使用。  
2. 牌号中“H”表示黑心;“Z”表示珠光体;“B”表示白心。第一组数字表示抗拉强度值;第二组数字表示伸长率。  
3. 当需方对屈服强度和硬度有要求时,经供需双方协议才测定并应符合表中要求。  
4. 未经需方同意,铸件不允许进行任何形式的修补。  
5. 牌号 KTH300-06 适用于气密性零件,牌号 B 系列为过渡牌号。  
6. 黑心和珠光体可锻铸铁的试样直径 12mm 只适用于铸件主要壁厚小于 10mm 的铸件。白心可锻铸铁的试样直径,应尽可能与铸件的主要壁厚相近。

## 蠕墨铸铁件 (摘自 JB/T 4403—1999)

表 3-1-34

牌号	$\sigma_b$	$\sigma_{0.2}$	伸长率 $\delta$ /%	硬度 HBS	蠕化率 VG /%	墨铸特性和用途
	/MPa	/MPa				
RuT420	420	335	0.75	200 ~ 280	50	<p>蠕墨铸铁是铁液经过蠕化处理,大部分石墨呈蠕虫状,是一种很有发展前景的新型材料,其性能介于球墨铸铁和灰铸铁之间,它既有球墨铸铁的强度、刚性及一定的韧性,且有良好的耐磨性;同时它的铸造性及热传导性又接近于灰铸铁,具有比球墨铸铁和灰铸铁更为优良的综合耐热疲劳性能,一般用于制作液压力件、排气管件、底座、大型机床床身、钢锭模及飞轮等铸件,铸件的质量有的已高达数十吨</p> <p>是珠光体基体蠕墨铸铁,具有高强度、高耐磨性、高硬度以及较好的热导率,需经正火热处理,适于制作高强度或高耐磨性的重要铸件,如刹车鼓、钢珠的研磨盘、汽缸套、活塞环、玻璃模具、制动盘、吸淤泵体等</p> <p>是以珠光体为主的珠光体+铁素体混合基体蠕墨铸铁,具有较高的强度、硬度、耐磨性及热导率,适于制作较高强度、刚度及耐磨的零件,如大型齿轮箱体、盖、底座刹车鼓、大型机床件、飞轮、起重机卷筒、烧结机滑板等</p> <p>是以铁素体为主的铁素体+珠光体混合基体蠕墨铸铁,具有良好的强度和硬度,一定的塑性及韧性,较高的热导率,致密性良好,适于制作较高强度及耐热疲劳的零件,如汽缸盖、变速箱体、纺织机械零件、液压力件、排气管、钢锭模及小型烧结机算条等</p> <p>是铁素体基体蠕墨铸铁,强度不高,硬度较低,有较高的塑性、韧性及热导率,铸件需经退火热处理,适于制作受冲击及热疲劳的零件,如汽车及拖拉机的底盘零件、增压机废气进气壳体</p>
RuT380	380	300	0.75	193 ~ 274		
RuT340	340	270	1.0	170 ~ 249		
RuT300	300	240	1.5	140 ~ 217		
RuT260	260	195	3.0	121 ~ 197		

- 注: 1. 本标准只适用于砂型或相当于砂型冷却效果的铸型铸造的普通和低合金蠕墨铸铁件。  
 2. 表中蠕墨铸铁件的力学性能为单铸试块的力学性能并以抗拉强度为验收条件, RuT260 增加伸长率验收项目。  
 3. 铸铁金相组织中石墨的蠕化率一般按本表规定, 但根据铸件不同用途和特点, 经供需双方协商, 可另定蠕化率的要求。  
 4. 本表规定的力学性能可经热处理之后达到。

## 耐磨铸铁与白口铸铁

表 3-1-35

## 中锰抗磨球墨铸铁 (摘自 GB/T 3180—1982)

牌 号	含锰量 (质量分数) /%	力学性能			硬度 HRC	挠度 $f$ /mm		特性和用途	
		抗弯强度 $\sigma_{bb}$ /MPa		冲击韧度 $a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>		砂型	金属型		
		砂型	金属型						
		试样直径/mm		30		50	支距/mm		
		30	50				300		500
MQTMn6	5.50 ~ 6.50	510	390	8	44	3.0	2.5	中锰抗磨球墨铸铁的基体组织以马氏体和奥氏体为主,具有较好的强度、韧性和承受冲击载荷的能力。可代替高锰钢和锻钢,可制作耐磨零件,如用于选矿用螺旋分级机叶片、磨机衬板、煤粉机锤头、农机和水泥机械的耐磨件等	
MQTMn7	>6.50 ~ 7.50	470	440	9	41	3.5	3.0		
MQTMn8	>7.50 ~ 9.00	430	490	10	38	4.0	3.5		

- 注: 1. 本标准适用于耐磨铸铁铸件。  
 2. “M”、“Q”、“T” 分别是“磨”、“球”、“铁”三字汉语拼音的第一个字母。  
 3. 表中含锰量范围、挠度 ( $f$ ) 和砂型铸造直径 30mm 的抗弯试棒的抗弯强度值, 除订货协议有规定外, 不作为验收依据。

表 3-1-36 抗磨白口铸铁件 (摘自 GB/T 8263—1999)

牌号	化学成分(质量分数)/%										硬度				特性和用途	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	S	P	铸态或铸态并去应力处理		硬化态或硬化态并去应力处理		软化退火态		
										HRC	HB	HRC	HB	HRC		HB
KmTBNi4C2-DT	2.4~3.0	≤0.8	≤2.0	1.5~3.0	≤1.0	3.3~5.0	—	≤0.15	≤0.15	≥53	≥550	≥56	≥600	—	—	可用于中等冲击载荷的磨料磨件,如衬板、磨球等
KmTBNi4C2-GT	3.0~3.6	≤0.8	≤2.0	1.5~3.0	≤1.0	3.3~5.0	—	≤0.15	≤0.15	≥53	≥550	≥56	≥600	—	—	用于较小冲击载荷的磨料磨件,如衬板、磨球等
KmTBCr9Ni5	2.5~3.6	≤2.0	≤2.0	7.0~11.0	≤1.0	4.5~7.0	—	≤0.15	≤0.15	≥50	≥500	≥56	≥600	—	—	有很好的淬透性和一定的耐腐蚀性,可用于中等冲击载荷的磨料磨件,如叶轮、弯管等
KmTBCr2	2.1~3.6	≤1.2	≤2.0	1.5~3.0	≤1.0	≤1.0	≤1.2	≤0.10	≤0.15	≥46	≥450	≥56	≥600	≤41	≤400	成本低廉,用于较小冲击载荷的磨料磨件,如衬板、磨球等
KmTBCr8	2.1~3.2	1.5~2.2	≤2.0	7.0~11.0	≤1.5	≤1.0	≤1.2	≤0.06	≤0.10	≥46	≥450	≥56	≥600	≤41	≤400	有一定的耐腐蚀性,可用于中等冲击载荷的磨料磨件,如磨球、衬板等
KmTBCr12	2.0~3.3	≤1.5	≤2.0	11.0~14.0	≤3.0	≤2.5	≤1.2	≤0.06	≤0.10	≥46	≥450	≥56	≥600	≤41	≤400	有较好的耐腐蚀性,可用于中等冲击载荷的磨料磨件,如锤头、磨球、衬板、溜槽等
KmTBCr15Mo	2.0~3.3	≤1.2	≤2.0	14.0~18.0	≤3.0	≤2.5	≤1.2	≤0.06	≤0.10	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400	可用于较大冲击的磨料磨件,如磨机的磨球、破碎机的板锤、渣浆泵流件、输粉弯管等
KmTBCr20Mo	2.0~3.3	≤1.2	≤2.0	18.0~23.0	≤3.0	≤2.5	≤1.2	≤0.06	≤0.10	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400	有很好的淬透性,有较好的耐腐蚀性,可用于较大冲击载荷的磨料磨件,如磨机的磨球、磨辊、轧管机顶头、渣浆泵的过流件等
KmTBCr26	2.0~3.3	≤1.2	≤2.0	23.0~30.0	≤3.0	≤2.5	≤2.0	≤0.06	≤0.10	≥46	≥450	≥56	≥600	≤41	≤400	有很好的淬透性,有良好的耐腐蚀性和抗高温氧化性,可用于较大冲击载荷的磨料磨件,如球磨机的磨球、渣浆泵的泵体和烧结机算条等

注: 1. 本标准所规定的抗磨白口铸铁,其碳主要以碳化物的形式分布于金属基体组织中,具有良好的抗磨料磨损性能,适用于生产矿山、冶金、电力、建材和机械制造等行业  
的易磨损件。  
2. 热处理规范可参照标准附录 A, 金相组织可参照标准附录 B。  
3. 牌号中“DT”和“GT”分别是“低碳”和“高碳”的拼音字母,表示含碳量的高低。  
4. 洛氏硬度值(HRC)和布氏硬度值(HB)之间没有精确的对应值,因此,这两种硬度值应独立使用。  
5. 铸件在滑整和处理铸造缺陷过程中,不允许使用火焰切割、电弧气刨切割、电焊切割和补焊。

表 3-1-37

铸铁牌号	化学成分(质量分数)/%						高温短时 $\sigma_b$ /MPa	室温		使用条件	应用举例	
	C	Si	Mn P S			Cr(Al)		最小抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	硬度 HB			
			≤	≤	≤							
耐热铸铁	RTCr	3.0~3.8	1.5~2.5	1.0	0.200	0.12	0.50~1.00	500℃:225 600℃:144	200	189~288	在空气炉气中耐热温度到 550℃	炉条、高炉支梁式水箱、金属型、烧碱模
	RTCz2	3.0~3.8	2.0~3.0	1.0	0.200	0.12	>1.00~2.00	500℃:243 600℃:166	150	207~288	在空气炉气中耐热温度到 600℃	煤气炉内灰盆、矿山烧结车挡板
	RTCrl6	1.6~2.4	1.5~2.2	1.0	0.100	0.05	15.00~18.00	800℃:144 900℃:88	340	400~450	在空气炉气中耐热温度到 900℃, 在室温及高温下有抗磨性。耐硝酸腐蚀	退火罐、煤粉烧嘴、炉栅、水泥焙烧炉零件、化工机械零件
	RTS15	2.4~3.2	4.5~5.5	0.8	0.200	0.12	0.50~1.00	700℃:41 800℃:27	140	160~270	在空气炉气中耐热温度到 700℃, 可用于强度要求不高, 价格低廉的情况	炉条、煤粉烧嘴, 锅炉梳形定位板、换热器针状管、二硫化碳反应瓶
	RQTS4	2.4~3.2	3.5~4.5	0.7	0.100	0.03	—	700℃:75 800℃:35	480	187~269	在空气炉气中耐热温度到 650℃, 其含硅上限到 750℃, 力学性能及抗裂性较 RQTS15 好	玻璃窑烟道闸门、玻璃引上机墙板、加热炉两端管架
耐热球墨铸铁	RQTS4Mo	2.7~3.5	3.5~4.5	0.5	0.100	0.03	Mo0.3~0.7	700℃:101 800℃:46	540	197~280	在空气炉气中耐热温度到 680℃, 其含硅上限到 780℃, 高温力学性能较好, 能承受一定的载荷及温度的急变	罩式退火炉导向器、烧结炉中后热筛板、加热炉吊梁
	RQTS15	2.4~3.2	>4.5~5.5	0.7	0.100	0.03	—	700℃:67 800℃:30	370	228~302	在空气炉气中耐热温度到 800℃, 其含硅上限到 900℃, 铸件不易开裂	煤粉烧嘴、炉条、辐射管、烟道闸门、加热炉中间管架
	RQTA4S4	2.5~3.0	3.5~4.5	0.5	0.100	0.02	(4.0~5.0)	800℃:82 900℃:32	250	285~341	在空气炉气中耐热温度到 900℃	烧结机算条、炉用件
	RQTA15S15	2.3~2.8	>4.5~5.2	0.5	0.100	0.02	(>5.0~5.8)	800℃:167 900℃:75	200	302~363	在空气炉气中耐热温度到 1050℃	焙烧机算条、炉用件
	RQTA122	1.6~2.2	1.0~2.0	0.7	0.100	0.03	(20.0~24.0)	800℃:130 900℃:77	300	241~364	在空气炉气中耐热温度到 1100℃, 抗高温硫化性好	锅炉用侧密封块、链式加热炉炉爪、黄铁矿焙烧炉零件

注: 1. 本标准适用于工作在 1100℃ 以下的耐热铸铁件。

2. 本标准适用于砂型铸造或导热性与砂型相仿的铸型中浇成的耐热铸铁件。

3. 室温抗拉强度为合格依据。

4. 硅系、铝硅系耐热球墨铸铁件一般应进行消除内应力热处理, 其他牌号按需方要求按订货条件进行。

5. 在使用温度下, 铸件平均氧化增长速度不大于 0.5g/(m<sup>2</sup>·h), 生长率不大于 0.2%。抗氧化试验方法和抗生长试验方法见原标准附录 C 和附录 D。

高硅耐蚀铸铁件 (摘自 GB/T 8491—1987)

表 3-1-38

牌 号	化学成分(质量分数)/%										力 学 性 能			性 能 和 适 用 条 件	应 用 举 例
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	RE 残留量	最小抗弯强度 $\sigma_{bb}$ /MPa	最小挠度 $f$ /mm	最大硬度 HRC			
STS11Cu2CrRE	最大值	10.00 ~ 12.00	最大值	0.60 ~ 0.80	—	—	—	1.80 ~ 2.20	最大值	190	0.80	42	具有较好的力学性能,可以用一般的机械加工方法进行生产。在浓度不低于10%的硫酸、浓度不高于46%的硝酸或由上述两种介质组成的混合酸、浓度不低于70%的硫酸加氯、苯、苯磺酸等介质中具有较稳定的耐蚀性,但不允许有急剧的交变载荷、冲击载荷和温度突变	卧式离心机、潜水泵、阀门、旋塞、塔罐、冷却排水管、弯头等化工设备和零部件等	
	1.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
STS15RE	1.00	14.25 ~ 15.75	—	—	—	—	—	—	—	140	0.66	48	在氧化性酸(如各种温度和浓度的硝酸、硫酸、铬酸等)、室温盐酸、各种有机酸和一系列盐溶液介质中都有良好的耐蚀性,但在卤素的酸、盐溶液(如氢氟酸、高温下的盐酸和氟化物等)和强碱溶液中不耐蚀。不允许有急剧的交变载荷、冲击载荷和温度突变	各种离心泵、阀门、旋塞、管道配件、塔罐、低压容器及各种非标准零部件	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
STS15Mo3RE	0.90	14.25 ~ 15.75	0.500, 100, 10	—	—	—	—	—	0.10	130	0.66	48	在各种浓度和温度的硫酸、硝酸、盐酸中,在碱水溶液和盐水溶液中,当同一铸件上各部位的温差不大于30℃时,在设有动载荷、交变载荷和脉冲载荷时,具有特别高的耐腐蚀性能	在外加电流的阴极保护系统中,大量用于辅助阳极铸件	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
STS15Cr4RE	1.40	14.25 ~ 15.75	—	—	—	—	—	—	—	130	0.66	48	具有优良的耐电化学腐蚀性能,并有改善抗氧化性条件的耐蚀性。高硅铬铸铁中的铬可提高其钝化性和点蚀击穿电位,但不允许有急剧的交变载荷和温度突变	同 STSi15RE	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
STS17RE	0.80	16.00 ~ 18.00	—	—	—	—	—	—	—	130	0.66	48	同 STSi15RE	同 STSi15RE	

- 注: 1. 本标准适用于含硅量为10.00%~18.00%的高硅耐蚀铸铁件,表中成分RE表示混合稀土元素。  
 2. 高硅耐蚀铸铁以化学成分为验收依据;力学性能不作为验收依据,如需方有要求时应符合表中规定。  
 3. 高硅耐蚀铸铁是一种较脆的金属材料,在其铸件的结构设计上不应有锐角和急剧的截面过渡。  
 4. 若无特殊要求时,铸件的消除内应力热处理,按原标准中规范进行。  
 5. 铸件需进行水压试验时,应在图纸或技术文件中规定。一般承受液压的零件,可用常温清水进行水压试验,其试压压力为工作压力的1.5倍,且保压时间应不少于10min。

# 3 钢材

## 3.1 钢板

常用钢板、钢带的标准摘要

表 3-1-39

钢板标准号及名称	适用范围	钢板所用钢号标准	钢板尺寸标准	交货状态
GB/T 11253—1989 碳素结构钢和低合金结构钢冷轧薄钢板及钢带	用于厚度不大于 4mm 的冷轧钢板及钢带。表面质量好,光滑美观。用于机械、轻工、建筑、电工、民用等	化学成分和力学性能应符合 GB/T 700 或 GB/T 1591 的规定	应符合 GB/T 708 的规定	以退火状态交货。经供需双方协议,也可以其他热处理状态交货,此时力学性能双方协议
GB/T 912—1989 碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带	用于厚度不大于 4mm 的热轧钢板及钢带。用于表面要求不高的冲压制品、风管、外罩、开关箱、文件柜等		应符合 GB/T 709 的规定	
GB/T 3274—1988 碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带	用于厚度大于 4mm 至 200mm 的热轧钢板和厚度大于 4mm 至 25mm 的热轧钢带、沸腾钢板用于建筑工程、冲压件和不重要的机器零件,不宜用于受冲击载荷和低温条件下工作的构件。镇静钢可用于低温下承受冲击的构件及焊接结构	钢的牌号有 08F、10F、15F、08、08Al、10、15、20、25、30、35、40、45、50,钢的化学成分应符合 GB 699 的规定,力学性能分别见原标准	应符合 GB/T 709 的规定	钢板和钢带以热轧或热处理状态交货
GB/T 710—1991 优质碳素结构钢热轧薄钢板和钢带	用于汽车、航空工业以及其他部门使用的厚度不大于 4mm 的优质碳素结构钢热轧和冷轧薄钢板和钢带		应符合 GB/T 708 的规定	应在热处理(退火、正火、正火后回火、高温回火)状态下供应,热处理方法可在合同中注明
GB/T 13237—1991 优质碳素结构钢冷轧薄钢板和钢带	用于厚度大于 4mm 至 60mm 的热轧厚钢板和宽钢带。主要用于机器结构零件	钢的化学成分和力学性能详见原标准	应符合 GB/T 709 的规定	应在热处理(退火、正火、正火后回火)状态下供应
GB/T 711—1988 优质碳素结构钢热轧厚钢板和宽钢带	用于厚度不大于 4mm 的合金结构钢热轧及冷轧薄钢板		应符合 GB/T 708 的规定	应在热处理(正火、退火或高温回火)状态下交货,用连轧机轧制的允许以热轧状态交货
YB/T 5132—1993 合金结构钢薄钢板		钢的牌号及力学性能见原标准,化学成分应符合 GB/T 3077 的规定	应符合 GB/T 708 的规定	应在热处理(退火、正火、正火后回火、高温回火)后交货

钢板标准号及名称	适用范围	钢板所用钢号标准	钢板尺寸标准	交货状态
GB/T 11251—1989 合金结构钢热轧厚钢板	用于厚度大于4mm至30mm的热轧钢板	钢的牌号和力学性能详见原标准,化学成分应符合GB/T 3077的规定	应符合GB/T 709的规定	退火或高温回火、正火、正火后回火
GB 713—1997 锅炉用钢板	用于制作各种锅炉及其附件用厚度为6~150mm的钢板	钢的牌号、化学成分和力学性能详见原标准	应符合GB/T 709的规定	以热轧、控轧、正火及正火加回火状态交货
GB 6654—1996 压力容器用钢板	用于中、常温压力容器受压元件用厚度为6~120mm的钢板	钢的牌号、化学成分和力学性能详见原标准	应符合GB/T 709的规定	20R、16MnR、15MnVR热轧、控轧式正火,15MnVNR正火,18MnMoNbR、13MnNiMoNbR、15CrMoR正火加回火
GB/T 3280—1992 不锈钢冷轧钢板	用于一般用途的耐腐蚀的不锈钢冷轧钢板	钢的牌号、化学成分和力学性能详见原标准	应符合GB/T 708的规定	钢板经冷轧后按原标准规定进行热处理,并进行酸洗(光亮热处理时可省去酸洗)
GB/T 4237—1992 不锈钢热轧钢板	用于一般用途的耐腐蚀的不锈钢热轧钢板	钢的牌号、化学成分和力学性能详见原标准	应符合GB/T 709的规定	钢板经热轧后按原标准规定进行热处理,并进行酸洗
GB/T 4238—1992 耐热钢板	用于耐热钢热轧和冷轧钢板	钢的牌号、化学成分和力学性能详见原标准	冷轧应符合GB/T 708、热轧应符合GB/T 709的规定	奥氏体型应固溶处理,铁素体、马氏体型应退火处理,沉淀硬化型应固溶处理后进行时效,处理后均应进行酸洗
GB/T 8165—1997 不锈钢复合钢板和钢带(热轧)	用于以不锈钢做复层、碳素钢和合金钢做基层的厚度不小于4mm的复合钢板和钢带,复层可以一面或两面包覆。用于石油、化工、轻工、核工业及海水淡化等	复合钢板基层与复层的化学成分与典型钢号及复合钢板的力学性能详见原标准	复合钢板总厚度不小于8mm,复合钢带总厚度为4~8mm。复层厚度为0.5~1.4mm,通常为2~3mm,可根据需要,供需双方协商确定。钢板基层最小厚度为6mm,钢带基层最小厚度由供需双方协商	复合钢板应经热处理,复层表面应经酸洗钝化或抛光处理交货,也可以热轧状态交货
GB/T 17102—1997 不锈钢冷轧薄钢板和钢带	为爆炸轧制法或其他方法生产的总厚度为0.8~3.0mm的不锈钢冷轧薄钢板和钢带。以0.08~0.3mm不锈钢为复层的双面复合结构。用于轻工、食品、医药、建筑、装饰、铁路客车等	复层材料的典型钢号有0Cr13Al、0Cr17、0Cr18Ni9,应符合GB/T 4237 基层材料的典型钢号有08Al、10Al,基层的化学成分和力学性能详见原标准	复合板的总厚度为0.8mm、1.5mm、2.0mm、2.5mm、3.0mm,复层厚度见原标准	经热处理酸洗钝化后交货

注:有关复合钢板的规格尺寸编入本篇第4章其他材料第5节复合材料。

## 热轧钢板和钢带 (摘自 GB/T 709—2006)

表 3-1-40

项 目	单 轧 钢 板		钢带和连轧钢板		
	尺寸范围	推荐的公称尺寸	尺寸范围	推荐的公称尺寸	
公称厚度	3 ~ 400mm	厚度小于 30mm 的钢板按 0.5mm 倍数的任何尺寸; 厚度大于或等于 30mm 的钢板按 1mm 倍数的任何尺寸	0.8 ~ 25.4mm	厚度 0.1mm 倍数的任何尺寸	
公称宽度	600 ~ 4800mm	宽度按 10mm 或 50mm 倍数的任何尺寸	600 ~ 2200mm 纵切钢带为 120 ~ 900mm	宽度按 10mm 倍数的任何尺寸	
公称长度	2000 ~ 20000mm	长度按 50mm 或 100mm 倍数的任何尺寸	2000 ~ 20000mm	长度按 50mm 或 100mm 倍数的任何尺寸	
单轧钢板厚度允许偏差(N类)	公称厚度/mm	下列公称宽度的厚度允许偏差/mm			
		≤1500mm	>1500 ~ 2500mm	>2500 ~ 4000mm	>4000 ~ 4800mm
	3.00 ~ 5.00	±0.45	±0.55	±0.65	—
	>5.00 ~ 8.00	±0.50	±0.60	±0.75	—
	>8.00 ~ 15.0	±0.55	±0.65	±0.80	±0.90
	>15.0 ~ 25.0	±0.65	±0.75	±0.90	±1.10
	>25.0 ~ 40.0	±0.70	±0.80	±1.00	±1.20
	>40.0 ~ 60.0	±0.80	±0.90	±1.10	±1.30
	>60.0 ~ 100	±0.90	±1.10	±1.30	±1.50
	>100 ~ 150	±1.20	±1.40	±1.60	±1.80
	>150 ~ 200	±1.40	±1.60	±1.80	±1.90
	>200 ~ 250	±1.60	±1.80	±2.00	±2.20
	>250 ~ 300	±1.80	±2.00	±2.20	±2.40
>300 ~ 400	±2.00	±2.20	±2.40	±2.60	

注: 1. 分类和代号如下。

按边缘状态分为: 切边 EC; 不切边 EM。

按厚度偏差种类分为: N 类偏差——正负偏差相等, (本表仅编入 N 类偏差); A 类偏差——按公称厚度规定正负偏差; B 类偏差——固定负偏差为 0.3mm, 按公称厚度规定正偏差; C 类偏差——固定负偏差为零, 按公称厚度规定正偏差。

按厚度精度分为: 普通精度 PT. A; 较高精度 PT. B。

2. 标准对单轧钢板按两类钢 (钢类 L 和钢类 H), 分别规定钢板平面度。

钢类 L: 规定最低屈服强度值小于或等于 460MPa, 未经淬火或淬火加回火处理的钢板。

钢类 H: 规定最低屈服强度值大于 460MPa 至 700MPa, 以及所有淬火或淬火加回火的钢板。

两类钢的平面度数值, 见原标准。

3. 钢板理论质量按密度为  $7.85\text{g}/\text{cm}^3$  计算。



## 冷轧钢板和钢带 (摘自 GB/T 708—2006)

表 3-1-41

项 目	尺寸范围	推荐的公称尺寸								
公称厚度	0.3 ~ 4mm (包括纵切钢带)	厚度(包括纵切钢带)小于1mm的钢板和钢带按0.05mm倍数的任何尺寸;厚度大于或等于1mm的钢板和钢带按0.1mm倍数的任何尺寸								
公称宽度	600 ~ 2050mm (包括纵切钢带)	宽度(包括纵切钢带)按10mm倍数的任何尺寸								
公称长度	1000 ~ 6000mm	长度按50mm倍数的任何尺寸								
尺寸精度分类	产品形态	分类及代号								
		边缘状态	厚度精度		宽度精度		长度精度		平面度精度	
	普通		较高	普通	较高	普通	较高	普通	较高	
	钢带	不切边 EM	PT. A	PT. B	PW. A	—	—	—	—	—
		切边 EC	PT. A	PT. B	PW. A	PW. B	—	—	—	—
	钢板	不切边 EM	PT. A	PT. B	PW. A	—	PL. A	PL. B	PF. A	PF. B
切边 EC		PT. A	PT. B	PW. A	PW. B	PL. A	PL. B	PF. A	PF. B	
纵切钢带	切边 EC	PT. A	PT. B	PW. A	—	—	—	—	—	
规定的 最小屈服 强度小于 280MPa的 钢板和钢 带的厚度 允许偏差	公称厚度 /mm	厚度允许偏差/mm						说明		
		普通精度 PT. A			较高精度 PT. B					
		公称厚度/mm			公称宽度/mm					
	≤1200	>1200 ~ 1500	>1500	≤1200	>1200 ~ 1500	>1500				
	≤0.40	±0.04	±0.05	±0.06	±0.025	±0.035	±0.045			
	>0.40 ~ 0.60	±0.05	±0.06	±0.07	±0.035	±0.045	±0.050			
	>0.60 ~ 0.80	±0.06	±0.07	±0.08	±0.040	±0.050	±0.055			
	>0.80 ~ 1.00	±0.07	±0.08	±0.09	±0.045	±0.060	±0.060			
	>1.00 ~ 1.20	±0.08	±0.09	±0.10	±0.055	±0.070	±0.070			
	>1.20 ~ 1.60	±0.10	±0.11	±0.11	±0.070	±0.080	±0.080			
>1.60 ~ 2.00	±0.12	±0.13	±0.13	±0.080	±0.090	±0.090				
>2.00 ~ 2.50	±0.14	±0.15	±0.15	±0.100	±0.110	±0.110				
>2.50 ~ 3.00	±0.16	±0.17	±0.17	±0.110	±0.120	±0.120				
>3.00 ~ 4.00	±0.17	±0.19	±0.19	±0.140	±0.150	±0.150				
钢板的 平面度	规定的最小屈服 强度/MPa	公称宽度 /mm	平面度/mm, ≤							
			普通精度 PF. A			较高精度 PF. B				
	公称厚度/mm									
	<0.70	0.70 ~ <1.20	≥1.20	<0.70	0.70 ~ <1.20	≥1.20				
	<280	≤1200	12	10	8	5	4	3		
		>1200 ~ 1500	15	12	10	6	5	4		
		>1500	19	17	15	8	7	6		
	280 ~ <360	≤1200	15	13	10	8	6	5		
1200 ~ 1500		18	15	13	9	8	6			
>1500		22	20	19	12	10	9			

注: 钢板理论质量按密度为 7.85g/cm<sup>3</sup> 计算。

钢板每平方米理论质量

表 3-1-42

厚度 /mm	理论质量 /kg	厚度 /mm	理论质量 /kg	厚度 /mm	理论质量 /kg	厚度 /mm	理论质量 /kg	厚度 /mm	理论质量 /kg
0.20	1.570	1.5	11.78	10	78.50	29	227.7		
0.25	1.963	1.6	12.56	11	86.35	30	235.5		
0.27	2.120	1.8	14.13	12	94.20	32	251.2		
0.30	2.355	2.0	15.70	13	102.1	34	266.9		
0.35	2.748	2.2	17.27	14	109.9	36	282.6		
0.40	3.140	2.5	19.63	15	117.8	38	298.3		
0.45	3.533	2.8	21.98	16	125.6	40	314.0		
0.50	3.925	3.0	23.55	17	133.5	42	329.7		
0.55	4.318	3.2	25.12	18	141.3	44	345.4		
0.60	4.710	3.5	27.48	19	149.2	46	361.1		
0.70	5.495	3.8	29.83	20	157.0	48	376.8		
0.75	5.888	4.0	31.40	21	164.9	50	392.5		
0.80	6.280	4.5	35.33	22	172.7	52	408.2		
0.90	7.065	5.0	39.25	23	180.6	54	423.9		
1.00	7.850	5.5	43.18	24	188.4	56	439.6		
1.10	8.635	6.0	47.10	25	196.3	58	455.3		
1.20	9.420	7.0	54.95	26	204.1	60	471.0		
1.25	9.813	8.0	62.80	27	212.0				
1.40	10.99	9.0	70.05	28	219.8				



锅炉用钢板 (摘自 GB 713—1997)

表 3-1-43

钢号	化学成分(质量分数)/%						钢板厚度 /mm	力学性能				冷弯试验 弯曲180° (a为钢板厚度, d为弯心直径)			
	C	Si	Mn	其他	P	S		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta_5$ /%	常温冲击 吸收功 $A_{KV}$ /J		时效冲 击韧度 $\sigma_{KU}$ /J·cm <sup>-2</sup>		
														横向试样	
														≥	
20g	≤0.20	0.15~0.30	0.50~0.90		各0.035		450~530 400~520 400~520 400~520 390~510 380~500	245 235 225 225 205 185	26 25 24 23 22 22	27	29	d=1.5a d=1.5a d=1.5a d=2a d=2.5a d=2.5a			
22Mng	≤0.30	0.15~0.40	0.90~1.50		各0.025		515~655	275	19	27		d=4a			
15CrMog	0.12~0.18	0.15~0.40	0.40~0.70	Mo 0.45~0.60 Cr 0.80~1.20	各0.030		450~590	295 275	19 18	31		d=3a			
16Mng	≤0.20	0.20~0.55	1.20~1.60		P 0.035 S 0.030		510~655 490~635 470~620 470~620 440~590 440~590	345 325 305 285 265 245	21 19 19 19 18 18	27	29	d=2a d=3a d=3a d=3a d=3a d=3a			
19Mng	0.15~0.22	0.30~0.60	1.00~1.60		P 0.030 S 0.025		510~650 510~650 510~650 490~630 480~630	355 345 335 315 295	20	31		d=3a			
13MnNiMoNb	≤0.15	0.10~0.50	1.00~1.60	Nb 0.005~0.020 Mo 0.20~0.40 Cr 0.20~0.40 Ni 0.60~1.00	各0.025		570~740	390 380 375	18	31		d=3a			
12Cr1MoVg	0.08~0.15	0.17~0.37	0.40~0.70	V 0.15~0.30 Mo 0.25~0.35 Cr 0.90~1.20	各0.030		≥440 ≥430	245 235	19	31		d=3a			

注: 1. 本标准适用于制造各种锅炉及其附件用厚度为6~150mm的钢板。  
 2. 钢板以热轧、控轧、正火及正火加回火状态交货。22Mng、15CrMog、13MnNiCrMoNb、12Cr1MoVg 不经热处理交货时, 试样必须正火加回火处理, 性能应符合表中规定。  
 3. 钢板尺寸应符合 GB/T 709 的规定。  
 4. 根据需方要求, 厚度大于10mm的钢板应按 GB/T 2970 标准逐张进行超声波探伤检查, 探伤级别应注明。  
 5. 根据需方要求, 对厚度大于20mm的钢板, 可进行高温拉伸试验, 规定残余伸长应力应符合原标准的规定。

压力容器用钢板 (摘自 GB 6654—1996)

表 3-1-44

钢 号	化学成分(质量分数)/%						交货 状态	钢板厚度 /mm	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta_5$ /%	冲击试验		冷弯试验
	C ≤	Si	Mn	其他	P ≤	S ≤						温度 /°C	冲击吸收功 $A_{kv}$ /J(横向)	
20R	0.22	0.15~0.30	0.35~0.90				6~16	245	≥				$b=2a$ 180°	
							>16~36	235	25	20	31	$d=2a$		
							>36~60	225	24					
							>60~100	205						
16MnR	0.20	0.20~0.55	1.20~1.60	S 0.020 P 0.030			6~16	345	≥			$d=2a$		
							>16~36	325	21	20	31		$d=3a$	
							>36~60	305	20					
							>60~100	285						
15MnVR	0.18	0.20~0.55	1.20~1.60	V 0.04~0.12			6~16	390	≥			$d=3a$		
							>16~36	370	19	20	31			
15MnVNR	0.20	0.20~0.55	1.30~1.70	V 0.10~0.20 N 0.010~0.020			>36~60	350	≥			$d=3a$		
							6~16	440	18	20	34			
18MnMoNbR	0.22	0.15~0.50	1.20~1.60	Mo 0.45~0.65 Nb 0.025~0.050			30~60	440	≥			$d=3a$		
							>60~100	410	17	20	34			
13MnNiMoNbR	0.15	0.15~0.50	1.20~1.60	Mo 0.20~0.40 Nb 0.005~0.020 Cr 0.20~0.40 Ni 0.60~1.00			≤100	390	≥			$d=3a$		
							>100~120	380	18	0	31			
15CrMoR	0.12~0.18	0.15~0.40	0.40~0.70	Mo 0.45~0.60 Cr 0.80~1.20			6~60	295	≥			$d=3a$		
							>60~100	275	18	20	31			

- 注: 1. 本标准适用于中、常温压力容器受压元件用厚度为 6~120mm 的钢板。  
 2. 钢板尺寸应符合 GB/T 709 的规定。  
 3. 根据需方要求, 对厚度大于 20mm 的钢板可进行高温拉伸试验, 试验温度应注明, 高温屈服强度应符合原标准。  
 4. 根据需方要求, 钢板可进行超声波探伤检查, 超声波合格级别由供需双方协商。  
 5. 根据需方要求, 厚度大于 16mm 的钢板可逐张进行力学性能检验。



镀锌板、镀铅板 (摘自 GB/T 2520—2000、YB/T 5130—1993)

表 3-1-45

厚度:公称厚度为0.005mm的倍数,一次冷轧板厚度为0.17~0.55mm,二次冷轧板厚度为0.14~0.29mm		按成品形状		按钢级		按钢基		按退火方式		按表面外观		按镀锡量/g·m <sup>-2</sup>		按钝化种类		按表面质量	
分类方法	按成品形状	按钢级	按钢基	按退火方式	按表面外观	按镀锡量/g·m <sup>-2</sup>	按钝化种类	按表面质量	长度:不小于500mm	长度:板状或卷状(合同定)	按表面质量	按钝化种类	按表面质量	按表面质量	按表面质量	按表面质量	按表面质量
类别	镀锡板 镀锡卷板	一次冷轧板 二次冷轧板	MR L D	箱式连续光亮退火 光亮退火表面 表面	无光 表面	等厚镀层(两面 镀锡量相等)	阴极电 化学钝化	II级 镀锡板									
表示方法	P C	TH50+SE TH52+SE TH55+SE TH57+SE TH61+SE TH65+SE	MR L D	BA CA S M	表面	1.0/1.0,1.5/1.5, 2.0/2.0,2.8/2.8, 4.0/4.0,5.0/5.0, 5.6/5.6,8.4/8.4, 11.2/11.2	CE	I II									
钢基化学成分	冷轧电镀锌薄钢板 GB/T 2520	钢基的化学成分见原标准附录C,需方根据用途选择钢基类型															
钢板的力学性能	一次冷轧镀锌板的力学性能见原标准表2,根据不同钢级和钢板厚度用硬度值(HR30Tm)表示 二次冷轧镀锌板的力学性能见原标准表3,根据不同钢级用σ <sub>0.2</sub> 平均值(MPa)表示																
差厚镀锡板标记方法示例	D2.8/5.6:标记面为薄镀层(2.8)面。对于钢板,标记面为上表面;对于板卷,标记面为外表面 D5.6/2.8:标记面为厚镀层(5.6)面。对于钢板,标记面为上表面;对于板卷,标记面为外表面 2.8/5.6D:标记面为厚镀层(5.6)面。对于钢板,标记面为下表面;对于板卷,标记面为内表面 5.6/2.8D:标记面为薄镀层(2.8)面。对于钢板,标记面为下表面;对于板卷,标记面为内表面																
钢板表示方法举例	例1:按本标准生产的一次冷轧镀锌板,钢级TH61+SE,MR类,箱式退火,石纹表面,等厚镀层2.8g/m <sup>2</sup> ,厚度0.22mm,宽度800mm,长度900mm,表示为:P-GB/T 2520-TH61+SE-2.8/2.8-0.22×800×900-MR-BA-S 例2:按本标准生产的二次冷轧镀锌板卷,钢级T620+SE,MR类,连续退火,镀锡量一面为8.4g/m <sup>2</sup> ,另一面为5.6g/m <sup>2</sup> ,厚度0.18mm,宽度750mm,表示为:C-GB/T 2520-T620+SE-D8.4/5.6-0.18×750-MR-CA																
热镀锌合金冷轧碳素薄钢板 YB/T 5130	厚度	0.5	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	2.0	2.0
	宽度	900	800	1000	1000	1000	1000	850	880	950	1000	1010	1000	1000	1000	1000	1000
	长度	1800	1550	2000	1640	2000	2000	1700	1635	1840	2000	1600	2000	2000	2000	2000	2000

注:1. 热镀锌板用于制作油箱、贮油容器及其他防腐蚀零件,采用冷轧碳素薄钢板,其牌号为08AlA及08Al,化学成分应符合GB/T 5213和GB/T 710的规定。  
2. 电镀锌板钢级的表示方法中“TH”表示热处理硬度级别,其后的数值为硬度值;“SE”表示电镀锌;“T”表示回火处理,其后的数值为σ<sub>0.2</sub>的平均值(MPa)。

表 3-1-46 镀锌钢板、钢带的性能级别、化学成分、镀层质量

级别	性能级别代号	化学成分(质量分数)/%, ≤				适用范围	双面等厚镀层种类及镀层质量的代号					
		C	Mn	P	S		镀锌层		锌铁合金镀层			
							镀层质量/g·m <sup>-2</sup> (双面)	代号	镀层质量/g·m <sup>-2</sup> (双面)	代号		
普通用途	01	0.15	0.60	0.035	0.035	锌层质量代号不得超出 Z350	(60)	(Z60)	220	Z220	(40)	(ZF40)
机械咬合	02	0.12	0.60	0.035	0.035		80	Z80	250	Z250	60	ZF60
冲压	03	0.12	0.50	0.030	0.030	厚度范围为不小于 0.4mm, 锌层质量代号不得超出 Z275	100	Z100	275	Z275	80	ZF80
深冲	04	0.10	0.45	0.025	0.025		120	Z120	350	Z350	100	ZF100
特殊镇静钢深冲	05	0.08	0.45	0.020	0.020		150	Z150	450	Z450	120	ZF120
无时效超深冲	06	0.02	0.25	0.010	0.020	厚度小于 0.4mm 的钢板不适用于 220、250、280 和 320 级	180	Z180	600	Z600	150	ZF150
结构	220、250、280、320、350、400、450、550	0.25	1.70	0.050	0.035		200	Z200				(180)

注: 1. 连续热镀锌钢板及钢带是在连续生产线上, 将冷轧钢带或热轧酸洗钢带浸入含锌量(质量分数)不低于 98% 的镀液中, 经热浸镀获得的镀锌钢板及钢带。以冷轧卷为基材的尺寸范围应符合 GB/T 708, 以热轧酸洗卷为基材的尺寸范围应符合 GB/T 709。  
 2. 镀锌钢板及钢带适用于以防腐为主的场合, 在大气中镀锌层的保护作用与单位面积镀层质量成正比。镀层质量应与所要求的使用期限、板厚以及成形要求相适应。  
 3. 表中括号内的镀层质量需经供需双方协商。差厚镀层可按表中所列镀层质量之半分别表示上、下表面不同的镀层质量, 如 Z40/90 或 ZF30/50。  
 4. 镀层表面结构、表面质量和表面处理的分类及代号如下。

表面结构	代号		表面质量	表面处理	符号	特 点
	不平整	平整				
正常锌花	N	NS	普通表面	钝化	C	镀锌层钝化处理, 可减少潮湿贮存条件下锈蚀, 但妨碍大多数涂层的附着性, 一般不用于铁锌合金镀层和光整表面
小锌花	M	MS	较高级表面	涂油	O	经钝化处理后的钢板及钢带再涂油将进一步减少、潮湿贮存条件下的锈蚀
无锌花	F	FS	高级表面	漆封	L	漆封可提供一种附加的防腐作用, 在成形时可改善润滑性, 并作为后续涂层的黏附底层
锌铁合金	ZF	ZFS	高级表面	磷化	P	可改善涂层的附着性能和防腐性能, 减少贮存过程中腐蚀的危险, 磷化后与适合的润滑剂配合, 可改善成形性能
				不处理	U	只有在订货者提出不处理要求下才可以不进行钝化或涂油或漆封或磷化等表面处理

5. 标记示例。  
 标记顺序: 标准编号-性能级别-镀层种类-镀层质量-表面结构-表面处理-钢基种类-规格尺寸  
 例如: 镀锌钢板, 机械咬合级, 锌镀层, 锌层质量 275g/m<sup>2</sup>, 正常锌花光整, 表面处理钝化加涂油, 表面质量 FB 级, 冷轧基, 规格为 2.00mm × 1200mm × 2000mm, 标记为 GB/T 2518-02Z275-NS-CO-FB-2.0 × 1200 × 2000



表 3-1-47 镀锌钢板、钢带的力学性能

级 别	01~06 级别钢板、钢带的力学性能						结构级别钢板、钢带的力学性能						
	锌层	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	$R_m/\text{MPa}$	$A_{80\text{mm}}/\%$	$r_{90}$	$n_{90}$	钢基 180°冷弯直径 $d$ (横 向)		$R_{p0.2}/\text{MPa}$	$R_m/\text{MPa}$	$A_{80\text{mm}}/\%$	钢基 180°冷弯直径 $d$ (横 向)	
							板厚 $a$	板厚 $a$				$<3\text{mm}$	$\geq 3\text{mm}$
01	Z	—	—	—	—	—	1a	2a	220	300	20	1a	2a
	ZF	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
02	Z	—	270~500	22	—	—	—	1a	250	330	19	—	—
	ZF	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
03	Z	140~300	270~420	26	—	—	—	—	280	360	18	2a	—
	ZF	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
04	Z	140~260	270~380	30	—	—	—	—	320	390	17	—	—
	ZF	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
05	Z	140~270	270~350	36	1.6	0.18	—	—	350	420	16	3a	3a
	ZF	—	—	34	1.4	—	—	—	400	470	—	—	—
06	Z	120~280	270~350	39	1.9	0.21	—	—	450	530	—	—	—
	ZF	—	—	37	1.7	0.20	—	—	550	560	—	—	—

注：1. 如屈服点明显，01~06 级别则取  $R_{eL}$  (下屈服强度)，结构级别则取  $R_{eH}$  (上屈服强度)。

2. 拉伸试验取横向试样，抗拉强度值 (仅作参考) 以 10MPa 进位。

3. 当材料厚度 (去掉镀锌层后)  $\leq 0.7\text{mm}$  时，表中所列伸长率值减少 2。

4. 当材料厚度 (去掉镀锌层后)  $\leq 0.7\text{mm}$  时，表中 06 级的  $r_{90}$  值减少 0.2， $n_{90}$  值减少 0.01。

5. 当材料厚度 (去掉镀锌层后)  $> 1.5\text{mm}$  时，表中 06 级的  $r_{90}$  值减少 0.2。

6. 04 级也可提供  $r_{90}$ 、 $n_{90}$  值，其数值由供需双方协商确定。

7. 热轧基材的力学性能由供需双方协商。

8. 表中  $R_p$  为规定非比例延伸强度， $R_m$  为抗拉强度， $A$  为断后伸长率，见 GB/T 228—2002。 $r$  为薄板塑性应变比，见 GB/T 5027—1999， $r$  值的大小反映深冲性能的好坏， $r$  值大说明在冲压过程中厚度方向不易变薄而破裂，成形性能好。 $n$  为薄板拉伸应变硬化指数，见 GB/T 5028—1999， $n$  值是金属薄板在塑性变形过程中形变强化能力即加工硬化程度的反映。

不锈钢冷、热轧钢板 (摘自 GB/T 3280—1992、GB/T 4237—1992)

表 3-1-48

类别	牌 号	化学成分(质量分数)/%										力学性能			热处理制度/°C	
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	其他	P、S	σ <sub>0.2</sub> /MPa		δ <sub>5</sub> /%	硬度 试验 HB ≤			
										≥	≤					
冷、 热 轧	1Cr17Mn6Ni5N	0.15	1.00	5.5~7.5	3.50~5.50	16.00~18.00		N ≤ 0.25			245	635	40	241	1010~1120 快冷	
	1Cr18Mn8Ni5N	0.15	1.00	7.5~10	4.00~6.00	17.00~19.00		N ≤ 0.25			245	590	40	207		
冷 轧	2Cr13Mn9Ni4	0.15~0.25	1.00	8.0~10	3.70~5.00	12.00~14.00					—	635	42	—	1080~1130 快冷	
	1Cr17Ni7	0.15~0.25	1.00	2.00	6.00~8.00	16.00~18.00					205	520	40	187	固 溶 处 理	
	1Cr17Ni8	0.03~0.12	1.00	2.00	7.00~9.00	16.00~18.00					205	570	45	187		
	1Cr18Ni9	0.15	1.00	2.00	8.00~10.00	17.00~19.00					205	520	40	187		
1Cr18Ni9Si3	0.15	2.00~3.00	2.00	8.00~10.00	17.00~19.00					205	520	40	207			
奥 氏 体 型 冷 、 热 轧	0Cr18Ni9	0.07	1.00	2.00	8.00~11.00	17.00~19.00						205	520	40	187	1010~1150 快冷
	00Cr19Ni10	0.03	1.00	2.00	8.00~12.00	18.00~20.00					177	480	40	187		
	0Cr19Ni9N	0.08	1.00	2.50	7.00~10.50	18.00~20.00		N 0.10~0.25			275	550	35	217		
	0Cr19Ni10NbN	0.08	1.00	2.50	7.50~10.50	18.00~20.00		N 0.15~0.30 Nb ≤ 0.15			345	685	35	250		
	00Cr18Ni10N	0.03	1.00	2.00	8.50~11.50	17.00~19.00		N 0.12~0.22			245	550	40	217		
	1Cr18Ni12	0.12	1.00	2.00	10.50~13.00	17.00~19.00					177	480	40	187		
	0Cr23Ni13	0.08	1.00	2.00	12.00~15.00	22.00~24.00					205	520	40	187	1030~1150 快冷	
	0Cr25Ni20	0.08	1.50	2.00	19.00~22.00	24.00~26.00					205	520	40	187	1030~1180 快冷	
	0Cr17Ni12Mo2	0.08	1.00	2.00	10.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00				205	520	40	187	1010~1150 快冷	
	00Cr17Ni14Mo2	0.03	1.00	2.00	12.00~15.00	16.00~18.00	2.00~3.00				177	480	40	187		



续表

类别	牌号	化学成分(质量分数)/%										力学性能			热处理制度/℃		
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	其他	P、S	σ <sub>0.2</sub> /MPa		δ <sub>5</sub> /%	硬度试验 HB				
										≥	≤						
奥氏体 冷轧、 热轧	0Cr17Ni12Mo2N	0.08	1.00	2.00	10.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00	N 0.10~0.22	≤	275	550	35	217	1010~1150 快冷			
	00Cr17Ni13Mo2N	0.03	1.00	2.00	10.50~14.50	16.50~18.50	2.00~3.00	N 0.12~0.22		245	550	40	217				
	0Cr18Ni12Mo2Ti	0.08	1.00	2.00	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50	Ti 5×C%~0.70		205	530	35	187		1050~1100 快冷		
	1Cr18Ni12Mo2Ti	0.12	1.00	2.00	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50	Ti 5×(C% - 0.02)~0.80		205	530	35	187				
	0Cr18Ni12Mo2Cu2	0.08	1.00	2.00	10.00~14.00	17.00~19.00	1.20~2.75	Cu 1.00~2.50		205	520	40	187		1010~1150 快冷		
	00Cr18Ni14Mo2Cu2	0.03	1.00	2.00	12.00~16.00	17.00~19.00				177	480	40	187				
	0Cr18Ni12Mo3Ti	0.08	1.00	2.00	11.00~14.00	16.00~19.00	2.50~3.50	Ti 5×C%~0.70		P 0.035 S 0.030	205	530	35		187	固溶处理	
	1Cr18Ni12Mo3Ti	0.12	1.00	2.00	11.00~14.00	16.00~19.00	2.50~3.50	Ti 5×(C% - 0.02)~0.80			205	530	35		187		
	0Cr19Ni13Mo3	0.08	1.00	2.00	11.00~15.00	18.00~20.00	3.00~4.00				205	520	40		187		
	00Cr19Ni13Mo3	0.03	1.00	2.00	11.00~15.00	18.00~20.00	3.00~4.00				177	480	40		187		
	0Cr18Ni16Mo5	0.04	1.00	2.00	15.00~17.00	16.00~19.00	4.00~6.00				177	480	40		187		1030~1180 快冷
	0Cr18Ni10Ti	0.08	1.00	2.00	9.00~12.00	17.00~19.00		Ti ≥ 5×C%			205	520	40		187		
	1Cr18Ni9Ti	0.12	1.00	2.00	8.00~11.00	17.00~19.00		Ti 5×(C% - 0.02)~0.80			205	520	40		187		920~1150 快冷
	0Cr18Ni11Nb	0.08	1.00	2.00	9.00~13.00	17.00~19.00		Nb ≥ 10×C%			205	520	40		187		
0Cr18Ni13S4	0.08	3.00~5.00	2.00	11.50~15.00	15.00~20.00			205	520		40	207	1010~1150 快冷				

类别	牌号	化学成分(质量分数)/%										力学性能			热处理制度/°C
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	其他	P、S	σ <sub>0.2</sub>		δ <sub>5</sub>	硬度试验 HB		
										MPa	MPa				
奥氏体、铁素体型	00Cr18Ni5Mo3Si2	0.03	1.30~2.00	1.00~2.00	4.50~5.50	18.00~19.50	2.50~3.00	N ≤ 0.10	P 0.030 S 0.030	390	590	20	HRC ≤ 30	950~1050 水冷	
	1Cr18Ni11Si4AlTi	0.10~0.18	3.40~4.00	0.80	10.00~12.00	17.50~19.50	Ti 0.40~0.70 Al 0.10~0.30			—	715	30	—	1000~1050 快冷	
	1Cr21Ni5Ti	0.09~0.14	0.80	0.80	4.80~5.80	20.00~22.00	Ti 5 × (C% - 0.02) ~ 0.80			—	635	20	—	950~1050 快冷	
	0Cr26Ni5Mo2	0.08	1.00	1.50	3.00~6.00	23.00~28.00	1.00~3.00			390	590	18	277	950~1100 快冷	
铁素体型	0Cr13Al	0.08	1.00	1.00		11.50~14.50		Al 0.10~0.30		175	410	20	183	780~830 快冷或缓冷	
	00Cr12	0.03	1.00	1.00		11.00~13.50				190	365	22	183	700~820 快冷或缓冷	
	1Cr15	0.12	1.00	1.00		14.00~16.00			P 0.035 S 0.030	205	450	22	183	780~850 快冷或缓冷	
	1Cr17	0.12	0.75	1.00		16.00~18.00				205	450	22	183	780~950 快冷或缓冷	
	00Cr17	0.03	0.75	1.00		16.00~19.00		Ti 或 Nb 0.10~1.00		175	365	22	183	780~850 快冷或缓冷	
	1Cr17Mo	0.12	1.00	1.00		16.00~18.00	0.75~1.25			205	450	22	183	780~850 快冷或缓冷	
	00Cr17Mo	0.025	1.00	1.00		16.00~19.00	0.75~1.25	N 0.025 Ti、Nb、Zr 或之和为 8 × (C% + N%) ~ 0.80%		245	410	20	217	800~1050 快冷	
冷、热轧	00Cr18Mo2	0.025	1.00	1.00		17.00~20.00	1.75~2.50	Ti、Nb、Zr 或之和为 8 × (C% + N%) ~ 0.80%		245	410	20	217		
	00Cr30Mo2	0.01	0.40	0.40		28.5~32.0	1.50~2.50	N 0.015	P 0.030	295	450	22	209	900~1050 快冷	
	00Cr27Mo	0.01	0.40	0.40		25.00~27.5	0.75~1.50	N 0.015	S 0.020	245	410	22	190		

类别	牌号	化学成分(质量分数)/%										力学性能			硬度 试验 HB ≤	热处理制度/℃
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	其他	P、S ≤	σ <sub>0.2</sub> /MPa	σ <sub>b</sub>	δ <sub>5</sub> /%				
													≤			
马氏体 型	1Cr12	0.15	0.50	1.00		11.5~13.0						205	440	20	200	约 750 快冷或 800 ~ 900 缓冷
	1Cr13	0.15	1.00	1.00		11.5~13.5						205	440	20	183	
	0Cr13	0.08	1.00	1.00		11.5~13.5						205	410	20	200	
	2Cr13	0.16~0.25	1.00	1.00		12.0~14.0						225	520	18	223	退火 同上, 淬火 980 ~ 1040 快冷, 回火 150 ~ 400 空冷
	3Cr13	0.26~0.35	1.00	1.00		12.0~14.0						225	540	18	235	
	4Cr13	0.36~0.45	0.80	0.80		12.0~14.0						225	590	15	—	
	3Cr16	0.25~0.40	1.00	1.00		15.0~17.0				P 0.035 S 0.030		225	520	18	241	
	7Cr17	0.60~0.75	1.00	1.00		16.0~18.0						245	590	15	255	退火 同上, 淬火 1010 ~ 1070 快冷, 回火 150 ~ 400 空冷
	1Cr17Ni2	0.11~0.17	0.80	0.80	1.5~2.5	16.0~18.0						—	1080	10	—	
	沉淀 硬化 型	0Cr17Ni7Al	0.09	1.00	1.00	6.50~7.75	16.00~18.00				Al 0.75~1.50		≤380	≤1030	20	190
												960	1140	3~5	HRC ≥ 35	
												1030	1230	4	HRC ≥ 40	

注: 1. 本标准适用于一般用途的耐腐蚀的不锈钢冷、热轧钢板。

2. 冷轧钢板尺寸应符合 GB/T 708 的规定, 热轧钢板尺寸应符合 GB/T 709 的规定。

3. 交货状态: 冷轧钢板热处理后应酸洗, 但光亮热处理后可省去酸洗; 热轧钢板热处理后酸洗。

4. 表中伸长率 δ<sub>5</sub> 仅列出冷轧的数据, 热轧的稍有出入, 未编入。

5. 标准中硬度试验分别列出了 HB、HRB (HRC)、HV 的数据, 本表仅编入了 HB 的数据。马氏体钢 3Cr13、4Cr13、7Cr17 仅冷轧板才有淬火、回火, 三者淬火、回火后的硬度 HRC ≥ 40。冷轧板 1Cr17Ni2 的力学性能能为淬火、回火状态拉伸性能, 其淬火、回火后的硬度, 当需方要求时, 由供需双方协商规定。



续表

类别	牌号	化学成分(质量分数)/%										力学性能			热处理制度/°C	硬度 试验 HB ≤
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	其他	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_s$	$\delta_5$ /%					
		≥														
铁素体 型	1Cr19Al3	≤0.10	≤1.50	≤1.00		17.00~21.00			Al 2.00~4.00	—	440	15	780~950 快冷或缓冷	210		
	0Cr11Ti	≤0.08	≤1.00	≤1.00		10.50~11.75			Ti 6×C%~0.75	245	365	22	780~850 快冷或缓冷	162		
	2Cr25N	≤0.20	≤1.00	≤1.50		23.00~27.00			N≤0.25	175	510	20	780~880 快冷	201		
	0Cr13Al	≤0.08	≤1.00	≤1.00		11.50~14.50			Al 0.10~0.30	275	410	20	780~830 快冷或缓冷	183		
	00Cr12	≤0.03	≤1.00	≤1.00		11.00~13.00				175	365	20	700~820 快冷或缓冷			
	1Cr17	≤0.12	≤0.75	≤1.00		16.00~18.00				195	450	22	780~850 快冷或缓冷			
	马氏体 型	1Cr12	≤0.15	≤0.50	≤1.00		11.50~13.00				205	440	20	750左右快冷或800~900 缓冷	200	
1Cr13		≤0.15	≤1.00	≤1.00		11.50~13.50				≤380	≤1030	20	固溶:1000~1100 快冷	190		
0Cr17Ni7Al		0.09	1.00	1.00	6.50~7.75	16.00~18.00			Cu≤0.50 Al≤0.75~1.50	960	1140	厚度≤3mm时,≥3 厚度>3mm时,≥5	565时效:固溶处理后,于760°C±15°C保持90min,在1h内冷却到15°C以下,保持30min,再加热到565°C±10°C,保持90min后空冷	HRC ≥35		
沉淀 硬化 型										1030	1225	厚度≤3mm时,不 规定,厚度 >3mm时, ≥4	510时效:固溶处理后,于955°C±10°C保持10min,空冷到室温,在24h以内,冷却到-73°C±6°C,保持8h,再加热到510°C±10°C,保持60min后空冷	HRC ≥40		

注:1. 本标准适用于耐热钢热轧和冷轧钢板。

2. 钢板的尺寸、外形及其允许偏差应符合 GB/T 708 (冷轧钢板)、GB/T 709 (热轧钢板) 的规定。

3. 交货状态: 钢板经热轧或冷轧后按上表进行热处理, 并进行酸洗。

4. 硬度为热处理后的硬度, 原标准中有三种硬度值 HB、HRC、HV, 本表仅编入 HB。

5. 各牌号化学成分中 P 含量不大于 0.035%, S 含量不大于 0.030%。

## 花纹钢板 (摘自 GB/T 3277—1991)

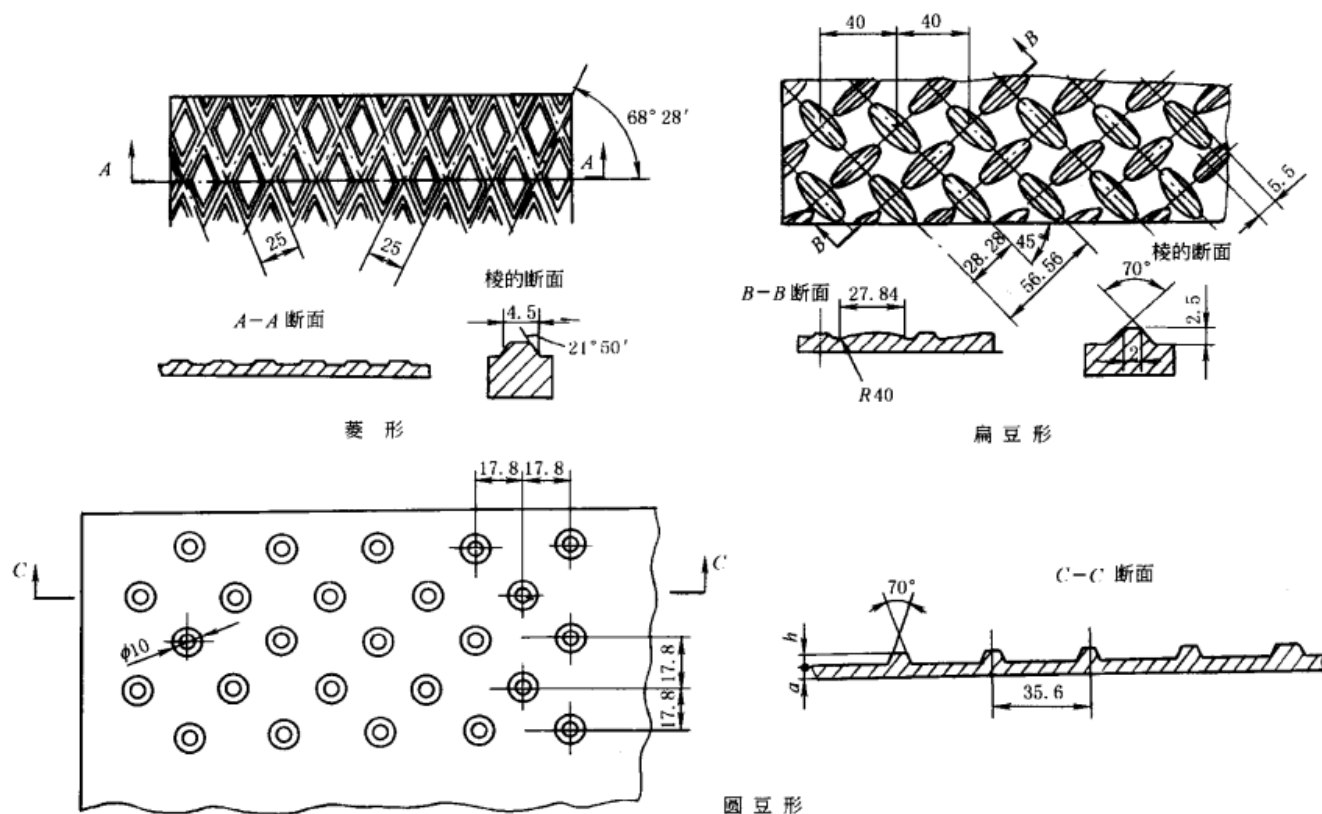


表 3-1-50

基本厚度/mm	基本厚度允许偏差/mm	理论质量/kg·m <sup>-2</sup>		
		菱形	扁豆形	圆豆形
2.5	±0.3	21.6	21.3	21.1
3.0	±0.3	25.6	24.4	24.3
3.5	±0.3	29.5	28.4	28.3
4.0	±0.4	33.4	32.4	32.3
4.5	±0.4	37.3	36.4	36.2
5.0	+0.4 -0.5	42.3	40.5	40.2
5.5	+0.4 -0.5	46.2	44.3	44.1
6.0	+0.5 -0.6	50.1	48.4	48.1
7.0	+0.6 -0.7	59.0	52.6	52.4
8.0	+0.6 -0.8	66.8	56.4	56.2

- 注: 1. 本标准适用于碳素结构钢、船体用结构钢、高耐候性结构钢热轧菱形、扁豆形、圆豆形的花纹钢板。  
 2. 花纹钢板的长度为 2000~12000mm, 按 100mm 进级。宽度为 600~1800mm, 按 50mm 进级。  
 3. 花纹钢板用钢牌号按 GB/T 700 (碳素结构钢)、GB/T 712 (船体用结构钢) 和 GB/T 4171 (高耐候性结构钢) 的规定供应。  
 4. 钢板以热轧状态交货。

3.2 型钢

热轧扁钢 (摘自 GB/T 704—1988)

表 3-1-51

宽度 /mm	厚 度 /mm																理 论 质 量 /kg·m <sup>-1</sup>									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25		28	30	32	36	40	45	50	56	60
10	0.24	0.31	0.39	0.47	0.55	0.63																				
12	0.28	0.38	0.47	0.57	0.66	0.75																				
14	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88																				
16	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.00	1.15	1.26																		
18	0.42	0.57	0.71	0.85	0.99	1.13	1.27	1.41																		
20	0.47	0.63	0.78	0.94	1.10	1.26	1.41	1.57	1.73	1.88																
22	0.52	0.69	0.86	1.04	1.21	1.38	1.55	1.73	1.90	2.07																
25	0.59	0.78	0.98	1.18	1.37	1.57	1.77	1.96	2.16	2.36	2.75	3.14														
28	0.66	0.88	1.10	1.32	1.54	1.76	1.98	2.20	2.42	2.64	3.08	3.53														
30	0.71	0.94	1.18	1.41	1.65	1.88	2.12	2.36	2.59	2.83	3.30	3.77	4.24	4.71												
32	0.75	1.00	1.26	1.51	1.76	2.01	2.26	2.55	2.76	3.01	3.52	4.02	4.52	5.02												
35	0.82	1.10	1.37	1.65	1.92	2.20	2.47	2.75	3.02	3.30	3.85	4.40	4.95	5.50	6.04	6.87	7.69									
40	0.94	1.26	1.57	1.88	2.20	2.51	2.83	3.14	3.45	3.77	4.40	5.02	5.65	6.28	6.91	7.85	8.79									
45	1.06	1.41	1.77	2.12	2.47	2.83	3.18	3.53	3.89	4.24	4.95	5.65	6.36	7.07	7.77	8.83	9.89	10.60	11.30	12.72						
50	1.18	1.57	1.96	2.36	2.75	3.14	3.53	3.93	4.32	4.71	5.50	6.28	7.06	7.85	8.64	9.81	10.99	11.78	12.56	14.13						
55		1.73	2.16	2.59	3.02	3.45	3.89	4.32	4.75	5.18	6.04	6.91	7.77	8.64	9.50	10.79	12.09	12.95	13.82	15.54						

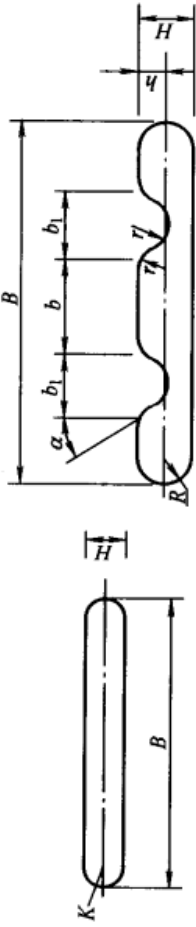
续表

宽度 /mm	厚度 /mm																										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	36	40	45	50	56	60		
理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>																											
60	1.88	2.36	2.83	3.30	3.77	4.24	4.71	5.18	5.65	6.59	7.54	8.48	9.42	10.36	11.78	13.19	14.13	15.07	16.96	18.84	21.20						
65	2.04	2.55	3.06	3.57	4.08	4.59	5.10	5.61	6.12	7.14	8.16	9.18	10.20	11.23	12.76	14.29	15.31	16.33	18.37	20.41	22.96						
70	2.20	2.75	3.30	3.85	4.40	4.95	5.50	6.04	6.59	7.69	8.79	9.89	10.99	12.09	13.74	15.39	16.49	17.58	19.78	21.98	24.73						
75	2.36	2.94	3.53	4.12	4.71	5.30	5.89	6.48	7.07	8.24	9.42	10.60	11.78	12.95	14.72	16.48	17.66	18.84	21.20	23.55	26.49						
80	2.51	3.14	3.77	4.40	5.02	5.65	6.28	6.91	7.54	8.79	10.05	11.30	12.56	13.82	15.70	17.58	18.84	20.10	22.61	25.12	28.26	33.36	35.17				
85		3.34	4.00	4.67	5.34	6.01	6.67	7.34	8.01	9.34	10.68	12.01	13.34	14.68	16.68	18.68	20.02	21.35	24.02	26.69	30.03	35.32	37.37	40.04			
90		3.53	4.24	4.95	5.65	6.36	7.07	7.77	8.48	9.89	11.30	12.72	14.13	15.54	17.66	19.78	21.20	22.61	25.43	28.26	31.79	37.29	39.56	42.39			
95		3.73	4.47	5.22	5.97	6.71	7.46	8.20	8.95	10.44	11.93	13.42	14.92	16.41	18.64	20.88	22.37	23.86	26.85	29.83	33.56	39.25	41.76	44.74			
100		3.92	4.71	5.50	6.28	7.06	7.85	8.64	9.42	10.99	12.56	14.13	15.70	17.27	19.62	21.98	23.55	25.12	28.26	31.40	35.32	41.21	43.96	47.10			
105		4.12	4.95	5.77	6.59	7.42	8.24	9.07	9.89	11.54	13.19	14.84	16.48	18.13	20.61	23.08	24.73	26.38	29.67	32.97	37.09	43.18	46.16	49.46			
110		4.32	5.18	6.04	6.91	7.77	8.64	9.50	10.36	12.09	13.82	15.54	17.27	19.00	21.59	24.18	25.90	27.63	31.09	34.54	38.86	47.10	48.36	51.81			
120		4.71	5.65	6.59	7.54	8.48	9.42	10.36	11.30	13.19	15.07	16.96	18.84	20.72	23.55	26.38	28.26	30.14	33.91	37.68	42.39	49.06	52.75	56.52			
125			5.89	6.87	7.85	8.83	9.81	10.79	11.78	13.74	15.70	17.66	19.62	21.58	24.53	27.48	29.44	31.40	35.32	39.25	44.16	51.02	54.95	58.88			
130			6.12	7.14	8.16	9.18	10.20	11.23	12.25	14.29	16.33	18.37	20.41	22.45	25.51	28.57	30.62	32.66	36.74	40.82	45.92	54.95	57.15	61.23			
140				7.69	8.79	9.89	10.99	12.09	13.19	15.39	17.58	19.78	21.98	24.18	27.48	30.77	32.97	35.17	39.56	43.96	49.46	58.88	61.54	65.94			
150					8.24	9.42	10.60	11.78	12.95	14.13	16.48	18.84	21.20	23.55	25.90	29.44	32.97	35.32	37.68	42.39	47.10	52.99	58.88	65.94	70.65		

注：1. 扁钢的钢号和化学成分、力学性能应符合GB/T 700、GB/T 699的规定。  
2. 表中粗线用以划分扁钢的组别：第1组的理论质量≤19kg/m；第2组的理论质量>19kg/m。



弹簧扁钢尺寸 (摘自 GB/T 1222—1984)



平面弹簧扁钢截面

单面双槽弹簧扁钢截面

$R \approx 1/2H$ ;  $r = 2 \sim 3\text{mm}$ ; 图中列出的  $R$ 、 $r$ 、 $b$ 、 $b_1$ 、 $\alpha$  只在孔型上控制, 不作为验收条件

表 3-1-52

宽度 B	厚度 H																
	5	6	6 (6.5)	7	8	9	9 (9.5)	10	11	12	12 (13)	14	16	18	20	25	30
45	x	x		x	x			x									
50	x	x			x			x									
55		x			x			x									
60		x			x			x									
(63)	x		x														
65		x		x													
70		x		x													
75		x		x													
(76)																	
80																	
90																	
100																	
120																	
140																	
160																	
单面双槽扁钢																	
厚度偏差		$\pm 0.15$		$\pm 0.18$		$\pm 0.20$		$\pm 0.25$		$\pm 0.30$							
宽度 $\leq 50$																	
宽度 $> 50 \sim 100$																	
宽度 $> 100$																	

注: 1. “x”表示属于本标准的品种。2. 带括号的尺寸不推荐使用。3. 长度为  $2 \sim 6\text{m}$ 。4. 平面扁钢宽度偏差及单面双槽扁钢的尺寸偏差见原标准。5. 热轧弹簧扁钢的钢号和化学成分、力学性能应符合原标准的规定 (见表 3-1-10)。

## 热轧圆、方钢和六角钢 (摘自 GB/T 702—2004、GB/T 705—1989)

表 3-1-53

热轧圆钢和方钢 (GB/T 702)						热轧六角钢 (GB/T 705)	
圆钢公称直径 $d$ 方钢公称边长 $a$ /mm	理论质量/kg·m <sup>-1</sup>		圆钢公称直径 $d$ 方钢公称边长 $a$ /mm	理论质量/kg·m <sup>-1</sup>		对边距离 $S$ /mm	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>
	圆钢	方钢		圆钢	方钢		
5.5	0.186	0.237	45	12.5	15.9	8	0.435
6	0.222	0.283	48	14.2	18.1	9	0.551
6.5	0.260	0.332	50	15.4	19.6	10	0.680
7	0.302	0.385	53	17.3	22.0	11	0.823
8	0.395	0.502	55	18.6	23.7	12	0.979
9	0.499	0.636	56	19.3	24.6	13	1.15
10	0.617	0.785	58	20.7	26.4	14	1.33
11	0.746	0.950	60	22.2	28.3	15	1.53
12	0.888	1.13	63	24.5	31.2	16	1.74
13	1.04	1.33	65	26.0	33.2	17	1.96
14	1.21	1.54	68	28.5	36.3	18	2.20
15	1.39	1.77	70	30.2	38.5	19	2.45
16	1.58	2.01	75	34.7	44.2	20	2.72
17	1.78	2.27	80	39.5	50.2	21	3.00
18	2.00	2.54	85	44.5	56.7	22	3.29
19	2.23	2.83	90	49.9	63.6	23	3.60
20	2.47	3.14	95	55.6	70.8	24	3.92
21	2.72	3.46	100	61.7	78.5	25	4.25
22	2.98	3.80	105	68.0	86.5	26	4.60
23	3.26	4.15	110	74.6	95.0	27	4.96
24	3.55	4.52	115	81.5	104	28	5.33
25	3.85	4.91	120	88.8	113	30	6.12
26	4.17	5.31	125	96.3	123	32	6.96
27	4.49	5.72	130	104	133	34	7.86
28	4.83	6.15	140	121	154	36	8.81
29	5.18	6.60	150	139	177	38	9.82
30	5.55	7.06	160	158	201	40	10.88
31	5.92	7.54	170	178	227	42	11.99
32	6.31	8.04	180	200	254	45	13.77
33	6.71	8.55	190	223	283	48	15.66
34	7.13	9.07	200	247	314	50	17.00
35	7.55	9.62	210	272		53	19.10
36	7.99	10.2	220	298		56	21.32
38	8.90	11.3	230	326		58	22.87
40	9.86	12.6	240	355		60	24.50
42	10.9	13.8	250	385		63	26.98
						65	28.72
						68	31.43
						70	33.30

注: 1. 冷拉圆、方钢和六角钢的标准见 GB/T 905。其尺寸  $d$ 、 $a$ 、 $S$  系列为 3.0、3.2、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.3、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0、9.5、10.0、10.5、11.0、11.5、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、24、25、26、28、30、32、34、35、36、38、40、42、45、48、50、52、55、56、60、63、65、67、70、75、80。其通常长度为 2~6m。

2. 普通质量钢圆、方钢材长度, 当  $d$ 、 $a \leq 25\text{mm}$ , 为 4~10m,  $d$ 、 $a > 25\text{mm}$ , 为 3~9m; 优质和特殊质量钢长度除工具钢外全部规格为 2~7m; 工具钢长度为 1~6m。

3. 六角钢长度: 普通钢为 3~8m; 优质钢为 2~6m。

优质结构钢冷拉钢材交货状态的力学性能 (摘自 GB/T 3078—1994)

表 3-1-54

钢 号	冷 拉 钢				退 火 钢				冷 拉 钢				退 火 钢			
	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	HB	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	HB	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	HB	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	HB
	$\geq$				$\leq$				$\geq$				$\leq$			
10	440	8	50	229	295	26	55	179	30Cr							187
15	470	8	45	229	345	23	55	179	40Cr							217
20	510	7.5	40	229	390	21	50	179	35Mn2							207
25	540	7	40	229	410	19	50	179	45Mn2							229
30	560	7	35	229	440	17	45	179	20CrMnTi							207
35	560	6.5	35	241	470	15	45	187	40CrVA							229
40	610	6	35	241	510	14	40	207	20CrMo							197
45	635	6	30	255	540	13	40	229	42CrMo							255
50	655	6	30	255	560	12	40	229	30CrMoA							229
60				269				241	38CrSi							255
15Mn	490	7.5	40	207	390	21	50	163	40CrMnMo							241
50Mn	685	5.5	30	269	590	10	35	229	27SiMn							217
50Mn2	735	5	25	285	635	9	30	229	30CrMnSiA							229
20Cr				229				179	38CrMoAlA							229

注: 1. 本标准适用于优质碳素结构钢、合金结构钢圆钢、方和六角形冷拉钢材和磨光圆钢。

2. 钢材以冷拉或热处理 (退火、光亮退火、正火、高温回火、正火后回火) 状态交货。

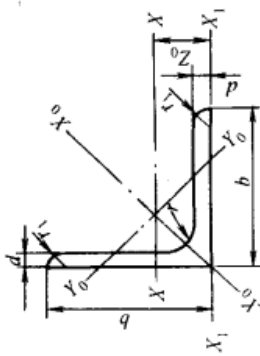
3. 表中仅有硬度值的钢和未列入表中牌号的钢, 用热处理毛胚制成试样测定的力学性能, 优质碳素钢应符合 GB/T 699 的规定, 合金结构钢应符合 GB/T 3077 的规定。冷拉钢全部牌号见原标准。

4. 退火钢的硬度对于仅有硬度值而无其他力学性能的钢是指退火、高温回火或正火后回火状态的硬度。

5. 冷拉钢材的尺寸、外形及允许偏差应符合 GB/T 905 的规定。磨光钢材的尺寸、外形及允许偏差应符合 GB/T 3207 (银亮钢) 的规定。

6. 冷拉钢材的尺寸精度高、表面质量高、力学性能高, 因而其在机械、国防、冶金、化工、交通运输等工业部门得到广泛的应用。

热轧等边角钢 (摘自 GB/T 9787—1988)



- $b$ ——边宽度
- $d$ ——边厚度
- $r$ ——内圆弧半径
- $r_1$ ——外端内圆弧半径,  $r_1 = \frac{1}{3}d$
- $I$ ——惯性矩
- $W$ ——截面系数
- $i$ ——惯性半径
- $Z_0$ ——质心距离

表 3-1-55

型 号	尺寸/mm		截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	外表面积 /m <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值											
	$b$	$d$				$X-X$			$X_0-X_0$			$Y_0-Y_0$			$X_1-X_1$		$Z_0$ /cm
						$I_X$ /cm <sup>4</sup>	$i_X$ /cm	$W_X$ /cm <sup>3</sup>	$I_{X_0}$ /cm <sup>4</sup>	$i_{X_0}$ /cm	$W_{X_0}$ /cm <sup>3</sup>	$I_{Y_0}$ /cm <sup>4</sup>	$i_{Y_0}$ /cm	$W_{Y_0}$ /cm <sup>3</sup>	$I_{X_1}$ /cm <sup>4</sup>		
2	20	3	1.132	0.889	0.078	0.40	0.59	0.29	0.63	0.75	0.45	0.17	0.39	0.20	0.81	0.60	
		4	1.459	1.145	0.077	0.50	0.58	0.36	0.78	0.73	0.55	0.22	0.38	0.24	1.09	0.64	
2.5	25	3	1.432	1.124	0.098	0.82	0.76	0.46	1.29	0.95	0.73	0.34	0.49	0.33	1.57	0.73	
		4	1.859	1.459	0.097	1.03	0.74	0.59	1.62	0.93	0.92	0.43	0.48	0.40	2.11	0.76	
3	30	3	1.749	1.373	0.117	1.46	0.91	0.68	2.31	1.15	1.09	0.61	0.59	0.51	2.71	0.85	
		4	2.276	1.786	0.117	1.84	0.90	0.87	2.92	1.13	1.37	0.77	0.58	0.62	3.63	0.89	
3.6	36	3	2.109	1.656	0.141	2.58	1.11	0.99	4.09	1.39	1.61	1.07	0.71	0.76	4.68	1.00	
		4	2.756	2.163	0.141	3.29	1.09	1.28	5.22	1.38	2.05	1.37	0.70	0.93	6.25	1.04	
4	40	5	3.382	2.654	0.141	3.95	1.08	1.56	6.24	1.36	2.45	1.65	0.70	1.09	7.84	1.07	
		3	2.359	1.852	0.157	3.59	1.23	1.23	5.69	1.55	2.01	1.49	0.79	0.96	6.41	1.09	
4	40	4	3.086	2.422	0.157	4.60	1.22	1.60	7.29	1.54	2.58	1.91	0.79	1.19	8.56	1.13	
		5	3.791	2.976	0.156	5.53	1.21	1.96	8.76	1.52	3.10	2.30	0.78	1.39	10.74	1.17	



续表

型 号	尺寸/mm			截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	外表面积 /m <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值													
	b	d	r				X-X				X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>				Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>				X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>	Z <sub>0</sub>
							I <sub>X</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>X</sub> /cm	W <sub>X</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>X0</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>X0</sub> /cm	W <sub>X0</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>Y0</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>Y0</sub> /cm	W <sub>Y0</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>X1</sub> /cm <sup>4</sup>				
4.5	45	3	5	2.659	2.088	0.177	5.17	1.40	1.58	8.20	1.76	2.58	2.14	0.90	1.24	9.12	1.22			
		4		3.486	2.736	0.177	6.65	1.38	2.05	10.56	1.74	3.32	2.75	0.89	1.54	12.18	1.26			
		5		4.292	3.369	0.176	8.04	1.37	2.51	12.74	1.72	4.00	3.33	0.88	1.81	15.25	1.30			
		6		5.076	3.985	0.176	9.33	1.36	2.95	14.76	1.70	4.64	3.89	0.88	2.06	18.36	1.33			
5	50	3	5.5	2.971	2.332	0.197	7.18	1.55	1.96	11.37	1.96	3.22	2.98	1.00	1.57	12.50	1.34			
		4		3.897	3.059	0.197	9.26	1.54	2.56	14.70	1.94	4.16	3.82	0.99	1.96	16.69	1.38			
		5		4.803	3.770	0.196	11.21	1.53	3.13	17.79	1.92	5.03	4.64	0.98	2.31	20.90	1.42			
		6		5.688	4.465	0.196	13.05	1.52	3.68	20.68	1.91	5.85	5.42	0.98	2.63	25.14	1.46			
5.6	56	3	6	3.343	2.624	0.221	10.19	1.75	2.48	16.14	2.20	4.08	4.24	1.13	2.02	17.56	1.48			
		4		4.390	3.446	0.220	13.18	1.73	3.24	20.92	2.18	5.28	5.46	1.11	2.52	23.43	1.53			
		5		5.415	4.251	0.220	16.02	1.72	3.97	25.42	2.17	6.42	6.61	1.10	2.98	29.33	1.57			
		8		8.367	6.568	0.219	23.63	1.68	6.03	37.37	2.11	9.44	9.89	1.09	4.16	47.24	1.68			
6.3	63	4	7	4.978	3.907	0.248	19.03	1.96	4.13	30.17	2.46	6.78	7.89	1.26	3.29	33.35	1.70			
		5		6.143	4.822	0.248	23.17	1.94	5.08	36.77	2.45	8.25	9.57	1.25	3.90	41.73	1.74			
		6		7.288	5.721	0.247	27.12	1.93	6.00	43.03	2.43	9.66	11.20	1.24	4.46	50.14	1.78			
		8		9.515	7.469	0.247	34.46	1.90	7.75	54.56	2.40	12.25	14.33	1.23	5.47	67.11	1.85			
		10		11.657	9.151	0.246	41.09	1.88	9.39	64.85	2.36	14.56	17.33	6.36	84.31	1.93				

型 号	尺寸/mm		截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	外表面积 /m <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值											
	b	d				X-X			X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>			Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>			X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>		Z <sub>0</sub> /cm
						I <sub>x</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>x</sub> /cm	W <sub>x</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>x0</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>x0</sub> /cm	W <sub>x0</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>y0</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>y0</sub> /cm	W <sub>y0</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>x1</sub> /cm <sup>4</sup>		
7	70	4	5.570	4.372	0.275	26.39	2.18	5.14	41.80	2.74	8.44	10.99	1.40	4.17	45.74	1.86	
		5	6.875	5.397	0.275	32.21	2.16	6.32	51.08	2.73	10.32	13.34	1.39	4.95	57.21	1.91	
		6	8.160	6.406	0.275	37.77	2.15	7.48	59.93	2.71	12.11	15.61	1.38	5.67	68.73	1.95	
		7	9.424	7.398	0.275	43.09	2.14	8.59	68.35	2.69	13.81	17.82	1.38	6.34	80.29	1.99	
		8	10.667	8.373	0.274	48.17	2.12	9.68	76.37	2.68	15.43	19.98	1.37	6.98	91.92	2.03	
		5	7.367	5.818	0.295	39.97	2.33	7.32	63.30	2.92	11.94	16.63	1.50	5.77	70.56	2.04	
		6	8.797	6.905	0.294	46.95	2.31	8.64	74.38	2.90	14.02	19.51	1.49	6.67	84.55	2.07	
		7	10.160	7.976	0.294	53.57	2.30	9.93	84.96	2.89	16.02	22.18	1.48	7.44	98.71	2.11	
7.5	75	8	11.503	9.030	0.294	59.96	2.28	11.20	95.07	2.88	17.93	24.86	1.47	8.19	112.97	2.15	
		10	14.126	11.089	0.293	71.98	2.26	13.64	113.92	2.84	21.48	30.05	1.46	9.56	141.71	2.22	
		5	7.912	6.211	0.315	48.79	2.48	8.34	77.33	3.13	13.67	20.25	1.60	6.66	85.36	2.15	
		6	9.397	7.376	0.314	57.35	2.47	9.87	90.98	3.11	16.08	23.72	1.59	7.65	102.50	2.19	
		7	10.860	8.525	0.314	65.58	2.46	11.37	104.07	3.10	18.40	27.09	1.58	8.58	119.70	2.23	
		8	12.303	9.658	0.314	73.49	2.44	12.83	116.60	3.08	20.61	30.39	1.57	9.46	136.97	2.27	
8	80	10	15.126	11.874	0.313	88.43	2.42	15.64	140.09	3.04	24.76	36.77	1.56	11.08	171.74	2.35	
		6	10.637	8.350	0.354	82.77	2.79	12.61	131.26	3.51	20.63	34.28	1.80	9.95	145.87	2.44	
		7	12.301	9.656	0.354	94.83	2.78	14.54	150.47	3.50	23.64	39.18	1.78	11.19	170.30	2.48	
		8	13.944	10.946	0.353	106.47	2.76	16.42	168.97	3.48	26.55	43.97	1.78	12.35	194.80	2.52	
		10	17.167	13.476	0.353	128.58	2.74	20.07	203.90	3.45	32.04	53.26	1.76	14.52	244.07	2.59	
		12	20.306	15.940	0.352	149.22	2.71	23.57	236.21	3.41	37.12	62.22	1.75	16.49	293.76	2.67	
9	90	6	10.637	8.350	0.354	82.77	2.79	12.61	131.26	3.51	20.63	34.28	1.80	9.95	145.87	2.44	
		7	12.301	9.656	0.354	94.83	2.78	14.54	150.47	3.50	23.64	39.18	1.78	11.19	170.30	2.48	
		8	13.944	10.946	0.353	106.47	2.76	16.42	168.97	3.48	26.55	43.97	1.78	12.35	194.80	2.52	
		10	17.167	13.476	0.353	128.58	2.74	20.07	203.90	3.45	32.04	53.26	1.76	14.52	244.07	2.59	
		12	20.306	15.940	0.352	149.22	2.71	23.57	236.21	3.41	37.12	62.22	1.75	16.49	293.76	2.67	



型号	尺寸/mm			截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	外表面积 /m <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值													
	b	d	r				X-X				X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>				Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>				X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>	Z <sub>0</sub>
							I <sub>X</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>X</sub> /cm	W <sub>X</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>X0</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>X0</sub> /cm	W <sub>X0</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>Y0</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>Y0</sub> /cm	W <sub>Y0</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>X1</sub> /cm <sup>4</sup>				
10	100	6	12	11.932	9.366	0.393	114.95	3.10	15.68	181.98	3.90	25.74	47.92	2.00	12.69	200.07	2.67			
		7		13.796	10.830	0.393	131.86	3.09	18.10	208.97	3.89	29.55	54.74	1.99	14.26	233.54	2.71			
		8		15.638	12.276	0.393	148.24	3.08	20.47	235.07	3.88	33.24	61.41	1.98	15.75	267.09	2.76			
		10		19.261	15.120	0.392	179.51	3.05	25.06	284.68	3.84	40.26	74.35	1.96	18.54	334.48	2.84			
		12		22.800	17.898	0.391	208.90	3.03	29.48	330.95	3.81	46.80	86.84	1.95	21.08	402.34	2.91			
		14		26.256	20.611	0.391	236.53	3.00	33.73	374.06	3.77	52.90	99.00	1.94	23.44	470.75	2.99			
11	110	16	12	29.627	23.257	0.390	262.53	2.98	37.82	414.16	3.74	58.57	110.89	1.94	25.63	539.80	3.06			
		7		15.196	11.928	0.433	177.16	3.41	22.05	280.94	4.30	36.12	73.38	2.20	17.51	310.64	2.96			
		8		17.238	13.532	0.433	199.46	3.40	24.95	316.49	4.28	40.69	82.42	2.19	19.39	355.20	3.01			
		10		21.261	16.690	0.432	242.19	3.38	30.60	384.39	4.25	49.42	99.98	2.17	22.91	444.65	3.09			
		12		25.200	19.782	0.431	282.55	3.35	36.05	448.17	4.22	57.62	116.93	2.15	26.15	534.60	3.16			
		14		29.056	22.809	0.431	320.71	3.32	41.31	508.01	4.18	65.31	133.40	2.14	29.14	625.16	3.24			
12.5	125	8	14	19.750	15.504	0.492	297.03	3.88	32.52	470.89	4.88	53.28	123.16	2.50	25.86	521.01	3.37			
		10		24.373	19.133	0.491	361.67	3.85	39.97	573.89	4.85	64.93	149.46	2.48	30.62	651.93	3.45			
		12		28.912	22.696	0.491	423.16	3.83	41.17	671.44	4.82	75.96	174.88	2.46	35.03	783.42	3.53			
		14		33.367	26.193	0.490	481.65	3.80	54.16	763.73	4.78	86.41	199.57	2.45	39.13	915.61	3.61			
		10		27.373	21.488	0.551	514.65	4.34	50.58	817.27	5.46	82.56	212.04	2.78	39.20	915.11	3.82			
		12		32.512	25.522	0.551	603.68	4.31	59.80	958.79	5.43	96.85	248.57	2.76	45.02	1099.28	3.90			
14	140	14	16	37.567	29.190	0.550	688.81	4.28	68.75	1093.56	5.40	110.47	284.06	2.75	50.45	1284.22	3.98			
		16		42.539	33.393	0.549	770.24	4.26	77.46	1221.81	5.36	123.42	318.67	2.74	55.55	1470.07	4.06			

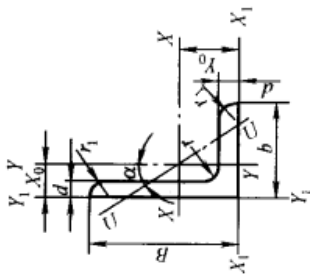
续表

型 号	尺寸/mm			截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	外表面积 /m <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值											
	b	d	r				X-X			X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>			Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>			X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>	Z <sub>0</sub>	
							I <sub>X</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>X</sub> /cm	W <sub>X</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>X0</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>X0</sub> /cm	W <sub>X0</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>Y0</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>Y0</sub> /cm	W <sub>Y0</sub> /cm <sup>3</sup>			I <sub>X1</sub> /cm <sup>4</sup>
16	160	10	16	31.502	21.729	0.630	779.53	4.98	66.70	1237.30	6.27	109.36	321.76	3.20	52.76	1365.33	4.31	
		12		37.441	29.391	0.630	916.58	4.95	78.98	1455.68	6.24	128.67	377.49	3.18	60.74	1639.57	4.39	
		11		43.296	33.987	0.629	1048.36	4.92	90.95	1665.02	6.20	147.17	431.70	3.16	68.24	1914.68	4.47	
		16		49.067	38.518	0.629	1175.08	4.89	102.63	1865.57	6.17	164.89	484.59	3.14	75.31	2190.82	4.55	
18	180	12	16	42.241	33.159	0.710	1321.35	5.59	100.62	2100.10	7.05	165.00	542.61	3.58	78.41	2332.80	4.89	
		14		48.896	38.383	0.709	1514.48	5.56	116.25	2407.42	7.02	189.14	621.53	3.56	88.38	2723.48	4.97	
		16		55.467	43.542	0.709	1700.99	5.54	131.13	2708.37	6.98	212.40	698.60	3.55	97.83	3115.29	5.05	
		18		61.955	48.634	0.708	1875.12	5.50	145.64	2988.24	6.94	234.78	762.01	3.51	105.14	3502.43	5.13	
20	200	14	18	54.642	42.894	0.788	2103.55	6.20	144.70	3343.26	7.82	236.40	863.83	3.98	111.82	3734.10	5.46	
		16		62.013	48.680	0.788	2366.15	6.18	163.65	3760.89	7.79	265.93	971.41	3.96	123.96	4279.39	5.54	
		18		69.301	54.401	0.787	2620.64	6.15	182.22	4164.54	7.75	294.48	1076.74	3.94	135.52	4808.13	5.62	
		20		76.505	60.056	0.787	2867.30	6.12	200.42	4554.55	7.72	322.06	1180.04	3.93	146.55	5347.51	5.69	
		21		90.661	71.168	0.785	3338.25	6.07	236.17	5294.97	7.64	374.41	1381.53	3.90	166.65	6457.16	5.87	

注: 1. 角钢的通常长度: 型号 2~9, 为 4~12m; 型号 10~14, 为 4~19m; 型号 16~20, 为 6~19m。  
2. 轧制钢号, 通常为碳素结构钢。



热轧不等边角钢 (摘自 GB/T 9788—1988)



- B——长边宽度
- I——惯性矩
- b——短边宽度
- W——截面系数
- d——边厚度
- i——惯性半径
- r——内圆弧半径
- X<sub>0</sub>——质心距离
- r<sub>1</sub>——边端内圆弧半径, r<sub>1</sub> =  $\frac{1}{3}d$
- Y<sub>0</sub>——质心距离

表 3-1-56

型号	尺寸/mm		截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	外表面积 /m <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup>	参 考 数 据														
						X-X			Y-Y			X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>			Y <sub>1</sub> -Y <sub>1</sub>			U-U		
						I <sub>x</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>x</sub> /cm	W <sub>x</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>y</sub> /cm	W <sub>y</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>x<sub>1</sub></sub> /cm <sup>4</sup>	Y <sub>0</sub> /cm	I <sub>y<sub>1</sub></sub> /cm <sup>4</sup>	X <sub>0</sub> /cm	I <sub>x<sub>0</sub></sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>x<sub>0</sub></sub> /cm	W <sub>x<sub>0</sub></sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>y<sub>0</sub></sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>y<sub>0</sub></sub> /cm
2.5/1.6	25	16	1.162	0.912	0.080	0.70	0.78	0.43	0.22	0.44	0.19	1.56	0.86	0.43	0.42	0.14	0.16	0.392		
		4	1.499	1.176	0.079	0.88	0.77	0.55	0.27	0.43	0.24	2.09	0.90	0.59	0.46	0.17	0.20	0.381		
3.2/2	32	20	1.492	1.171	0.102	1.53	1.01	0.72	0.46	0.55	0.30	3.27	1.08	0.82	0.49	0.28	0.25	0.382		
		4	1.939	1.522	0.101	1.93	1.00	0.93	0.57	0.54	0.39	4.37	1.12	1.12	0.53	0.35	0.32	0.374		
4/2.5	40	25	1.890	1.484	0.127	3.08	1.28	1.15	0.93	0.70	0.49	5.39	1.32	1.59	0.59	0.56	0.40	0.385		
		4	2.467	1.936	0.127	3.93	1.36	1.49	1.18	0.69	0.63	8.53	1.37	2.14	0.63	0.71	0.54	0.381		
4.5/2.8	45	28	2.149	1.687	0.143	4.45	1.44	1.47	1.34	0.79	0.62	9.10	1.47	2.23	0.64	0.80	0.51	0.383		
		4	2.806	2.203	0.143	5.69	1.42	1.91	1.70	0.78	0.80	12.13	1.51	3.00	0.68	1.02	0.60	0.380		
5/3.2	50	32	2.431	1.908	0.161	6.24	1.60	1.84	2.02	0.91	0.82	12.49	1.60	3.31	0.73	1.20	0.68	0.404		
		4	3.177	2.494	0.160	8.02	1.59	2.39	2.58	0.90	1.06	16.65	1.65	4.45	0.77	1.53	0.69	0.402		

续表

型号	尺寸/mm				截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	外表面积 /m <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup>	参 考 数 据														
								X-X			Y-Y			X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>			Y <sub>1</sub> -Y <sub>1</sub>			U-U		
								I <sub>X</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>X</sub> /cm	W <sub>X</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>Y</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>Y</sub> /cm	W <sub>Y</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>X1</sub> /cm <sup>4</sup>	Y <sub>0</sub> /cm	I <sub>Y1</sub> /cm <sup>4</sup>	X <sub>0</sub> /cm	I <sub>U</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>U</sub> /cm	W <sub>U</sub> /cm <sup>3</sup>	tanα	
5.6/3.6	56	36	3	6	2.743	2.153	0.181	8.88	1.80	2.32	2.92	1.03	1.05	17.54	1.78	4.70	0.80	1.73	0.79	0.87	0.408	
								11.45	1.79	3.03	3.76	1.02	1.37	23.39	1.82	6.33	0.85	2.23	0.79	1.13	0.408	
								13.86	1.77	3.71	4.49	1.01	1.65	29.25	1.87	7.94	0.88	2.67	0.78	1.36	0.404	
6.3/4	63	40	4	7	4.058	3.185	0.202	16.49	2.02	3.87	5.23	1.14	1.70	33.30	2.04	8.63	0.92	3.12	0.88	1.40	0.398	
					4.993	3.920	0.202	20.02	2.00	4.74	6.31	1.12	2.07	41.63	2.08	10.86	0.95	3.76	0.87	1.71	0.396	
					5.908	4.638	0.201	23.36	1.98	5.59	7.29	1.11	2.43	49.98	2.12	13.12	0.99	4.34	0.86	1.99	0.393	
7/4.5	70	45	4	7.5	4.547	3.570	0.226	23.17	2.26	4.86	7.55	1.29	2.17	45.92	2.24	12.26	1.02	4.40	0.98	1.77	0.410	
					5.609	4.403	0.225	27.95	2.23	5.92	9.13	1.28	2.65	57.10	2.28	15.39	1.06	5.40	0.98	2.19	0.407	
					6.647	5.218	0.225	32.54	2.21	6.95	10.62	1.26	3.12	68.35	2.32	18.58	1.09	6.35	0.98	2.59	0.404	
(7.5/5)	75	50	5	8	7.657	6.011	0.225	37.22	2.20	8.03	12.01	1.25	3.57	79.99	2.36	21.84	1.13	7.16	0.97	2.94	0.402	
					6.125	4.808	0.245	34.86	2.39	6.83	12.61	1.44	3.30	70.00	2.40	21.04	1.17	7.41	1.10	2.74	0.435	
					7.260	5.699	0.245	41.12	2.38	8.12	14.70	1.42	3.88	84.30	2.44	25.37	1.21	8.54	1.08	3.19	0.435	
8/5	80	50	5	8	9.467	7.431	0.244	52.39	2.35	10.52	18.53	1.40	4.99	112.50	2.52	34.23	1.29	10.87	1.07	4.10	0.429	
					11.590	9.098	0.244	62.71	2.33	12.79	21.96	1.38	6.04	140.80	2.60	43.43	1.36	13.10	1.06	4.99	0.423	
					6.375	5.005	0.255	41.96	2.56	7.78	12.82	1.42	3.32	85.21	2.60	21.06	1.14	7.66	1.10	2.74	0.388	
9/5.6	90	56	5	9	7.560	5.935	0.255	49.49	2.56	9.25	14.95	1.41	3.91	102.53	2.65	25.41	1.18	8.85	1.08	3.20	0.387	
					8.724	6.848	0.255	56.16	2.54	10.58	16.96	1.39	4.48	119.33	2.69	29.82	1.21	10.18	1.08	3.70	0.384	
					9.867	7.745	0.254	62.83	2.52	11.92	18.85	1.38	5.03	136.41	2.73	34.32	1.25	11.38	1.07	4.16	0.381	
					7.212	5.661	0.287	60.45	2.90	9.92	18.32	1.59	4.21	121.32	2.91	29.53	1.25	10.98	1.23	3.49	0.385	

续表

型号	尺寸/mm				截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	外表面积 /m <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup>	参 考 数 据														
								X-X			Y-Y			X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>			Y <sub>1</sub> -Y <sub>1</sub>			U-U		
								I <sub>X</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>X</sub> /cm	W <sub>X</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>Y</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>Y</sub> /cm	W <sub>Y</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>X<sub>1</sub></sub> /cm <sup>4</sup>	Y <sub>0</sub> /cm	I <sub>Y<sub>1</sub></sub> /cm <sup>4</sup>	X <sub>0</sub> /cm	I <sub>U</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>U</sub> /cm	W <sub>U</sub> /cm <sup>3</sup>	tanα	
9/5.6	90	56	6	9	8.557	6.717	0.286	71.03	2.88	11.74	21.42	1.58	4.96	145.59	2.95	35.58	1.29	12.90	1.23	4.13	0.384	
					9.880	7.756	0.286	81.01	2.86	13.49	24.36	1.57	5.70	169.60	3.00	41.71	1.33	14.67	1.22	4.72	0.382	
					11.183	8.779	0.286	91.03	2.85	15.27	27.15	1.56	6.41	194.17	3.04	47.93	1.36	16.34	1.21	5.29	0.380	
10/6.3	100	63	6	7	9.617	7.550	0.320	99.06	3.21	14.64	30.94	1.79	6.35	199.71	3.24	50.50	1.43	18.42	1.38	5.25	0.394	
					11.111	8.722	0.320	113.45	3.20	16.88	35.26	1.78	7.29	233.00	3.28	59.14	1.47	21.00	1.38	6.02	0.394	
					12.584	9.878	0.319	127.37	3.18	19.08	39.39	1.77	8.21	266.32	3.32	67.88	1.50	23.50	1.37	6.78	0.391	
10/8	100	80	6	7	15.467	12.142	0.319	153.81	3.15	23.32	47.12	1.74	9.98	333.06	3.40	85.73	1.58	28.33	1.35	8.24	0.387	
					10.637	8.350	0.354	107.04	3.17	15.19	61.24	2.40	10.16	199.83	2.95	102.68	1.97	31.65	1.72	8.37	0.627	
					12.301	9.656	0.354	122.73	3.16	17.52	70.08	2.39	11.71	233.20	3.00	119.98	2.01	36.17	1.72	9.60	0.626	
11/7	110	70	8	10	13.944	10.946	0.353	137.92	3.14	19.81	78.58	2.37	13.21	266.61	3.04	137.37	2.05	40.58	1.71	10.80	0.625	
					17.167	13.476	0.353	166.87	3.12	24.24	94.65	2.35	16.12	333.63	3.12	172.48	2.13	49.10	1.69	13.12	0.622	
					10.637	8.350	0.354	133.37	3.54	17.85	42.92	2.01	7.90	265.78	3.53	69.08	1.57	25.36	1.54	6.53	0.403	
12.5/8	125	80	7	11	12.301	9.656	0.354	153.00	3.53	20.60	49.01	2.00	9.09	310.07	3.57	80.82	1.61	28.95	1.53	7.50	0.402	
					13.944	10.946	0.353	172.04	3.51	23.30	54.87	1.98	10.25	354.39	3.62	92.70	1.65	32.45	1.53	8.45	0.401	
					17.167	13.476	0.353	208.39	3.48	28.54	65.88	1.96	12.48	443.13	3.70	116.83	1.72	39.20	1.51	10.29	0.397	
14/9	140	90	8	12	14.096	11.066	0.403	227.98	4.02	26.86	74.42	2.30	12.01	454.99	4.01	120.32	1.80	43.81	1.76	9.92	0.408	
					15.989	12.551	0.403	256.77	4.01	30.41	83.49	2.28	13.56	519.99	4.06	137.85	1.84	49.15	1.75	11.18	0.407	
					19.712	15.474	0.402	312.04	3.98	37.33	100.67	2.26	16.56	650.09	4.14	173.40	1.92	59.45	1.74	13.64	0.404	
14/9	140	90	8	12	23.351	18.330	0.402	364.41	3.95	44.01	116.67	2.24	19.43	780.39	4.22	209.67	2.00	69.35	1.72	16.01	0.400	
					18.038	14.160	0.453	365.64	4.50	38.48	120.69	2.59	17.34	730.53	4.50	195.79	2.04	70.83	1.98	14.31	0.411	

续表

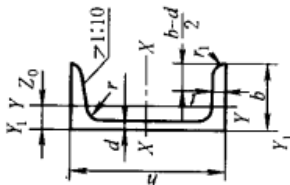
型号	尺寸/mm			截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	外表面积 /m <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup>	参 考 数 据														
							X-X			Y-Y			X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>			Y <sub>1</sub> -Y <sub>1</sub>			U-U		
							I <sub>x</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>x</sub> /cm	W <sub>x</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>y</sub> /cm	W <sub>y</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>x<sub>1</sub></sub> /cm <sup>4</sup>	Y <sub>0</sub> /cm	I <sub>y<sub>1</sub></sub> /cm <sup>4</sup>	X <sub>0</sub> /cm	I <sub>U</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>U</sub> /cm	W <sub>U</sub> /cm <sup>3</sup>	tanα	
14/9	140	90	r	22.261	17.475	0.452	445.50	4.47	47.31	140.03	2.56	21.22	913.20	4.58	245.92	2.12	85.82	1.96	17.48	0.409	
			d	26.400	20.724	0.451	521.59	4.44	55.87	169.79	2.54	24.95	1096.09	4.66	296.89	2.19	100.21	1.95	20.54	0.406	
			14	30.456	23.908	0.451	594.10	4.42	64.18	192.10	2.51	28.54	1279.26	4.74	348.82	2.27	114.13	1.94	23.52	0.403	
16/10	160	100	10	25.315	19.872	0.512	668.69	5.14	62.13	205.03	2.85	26.56	1362.89	5.24	336.59	2.28	121.74	2.19	21.92	0.390	
			12	30.054	23.592	0.511	784.91	5.11	73.49	239.06	2.82	31.28	1635.56	5.32	405.94	2.36	142.33	2.17	25.79	0.388	
			14	34.709	27.247	0.510	896.30	5.08	84.56	271.20	2.80	35.83	1908.50	5.40	476.42	2.43	162.23	2.16	29.56	0.385	
			16	39.281	30.835	0.510	1003.04	5.05	95.33	301.60	2.77	40.24	2181.79	5.48	548.22	2.51	182.57	2.16	33.44	0.382	
18/11	180	110	10	28.373	22.273	0.571	956.25	5.80	78.96	278.11	3.13	32.49	1940.40	5.89	447.22	2.44	166.50	2.42	26.88	0.376	
			12	33.712	26.464	0.571	1124.72	5.78	93.53	325.03	3.10	38.32	2328.38	5.98	538.94	2.52	194.87	2.40	31.66	0.374	
			14	38.967	30.589	0.570	1286.91	5.75	107.76	369.55	3.08	43.97	2716.60	6.06	631.95	2.59	222.30	2.39	36.32	0.372	
			16	44.139	34.649	0.569	1443.06	5.72	121.64	411.85	3.06	49.44	3105.15	6.14	726.46	2.67	248.94	2.38	40.87	0.369	
20/12.5	200	125	14	37.912	29.761	0.641	1570.90	6.44	116.73	483.16	3.57	49.99	3193.85	6.54	787.74	2.83	285.79	2.74	41.23	0.392	
			14	43.867	34.436	0.640	1800.97	6.41	134.65	550.83	3.54	57.44	3726.17	6.62	922.47	2.91	326.58	2.73	47.34	0.390	
			16	49.739	39.045	0.639	2023.35	6.38	152.18	615.44	3.52	64.69	4258.86	6.70	1058.86	2.99	366.21	2.71	53.32	0.388	
			18	55.526	43.588	0.639	2238.30	6.35	169.33	677.19	3.49	71.74	4792.00	6.78	1197.13	3.06	404.83	2.70	59.18	0.385	

注: 1. 括号内型号不推荐使用。

2. 角钢的通常长度: 型号 2.5/1.6~9/5.6, 为 4~12m; 型号 10/6.3~14/9, 为 4~19m; 型号 16/10~20/12.5, 为 6~19m。

3. 轧制钢号, 通常为碳素结构钢。

热轧槽钢 (摘自 GB/T 707—1988)



$h$ ——高度  
 $b$ ——腿宽度  
 $d$ ——腿厚度  
 $t$ ——平均腿厚度  
 $r$ ——内圆弧半径

$r_1$ ——腿端圆弧半径  
 $I$ ——惯性矩  
 $W$ ——截面系数  
 $i$ ——惯性半径  
 $Z_0$ ——Y-Y 与  $Y_1-Y_1$  轴线间距离

表 3-1-57

型号	尺寸/mm						理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值								
	h	b	d	t	r	r <sub>1</sub>		X-X			Y-Y			Y <sub>1</sub> -Y <sub>1</sub>		Z <sub>0</sub> /cm
								W <sub>x</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>x</sub> /cm	W <sub>y</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>y</sub> /cm	I <sub>y1</sub> /cm <sup>4</sup>	Y <sub>1</sub> -Y <sub>1</sub>	
5	50	37	4.5	7.0	7.0	3.5	5.438	10.4	26.0	1.94	3.55	8.30	1.10	20.9	1.35	
6.3	63	40	4.8	7.5	7.5	3.8	6.634	16.1	50.8	2.45	4.50	11.9	1.19	28.4	1.36	
8	80	43	5.0	8.0	8.0	4.0	8.045	25.3	101	3.15	5.79	16.6	1.27	37.4	1.43	
10	100	48	5.3	8.5	8.5	4.2	10.007	39.7	198	3.95	7.80	25.6	1.41	54.9	1.52	
12.6	126	53	5.5	9.0	9.0	4.5	12.318	62.1	391	4.95	10.2	38.0	1.57	77.1	1.59	
14a	140	58	6.0	9.5	9.5	4.8	14.535	80.5	564	5.52	13.0	53.2	1.70	107	1.71	
14b	140	60	8.0	9.5	9.5	4.8	16.733	87.1	609	5.35	14.1	61.1	1.69	121	1.67	
16a	160	63	6.5	10.0	10.0	5.0	17.240	108	866	6.28	16.3	73.3	1.83	144	1.80	
16	160	65	8.5	10.0	10.0	5.0	19.752	117	935	6.10	17.6	83.4	1.82	161	1.75	
18a	180	68	7.0	10.5	10.5	5.2	20.174	141	1270	7.04	20.0	98.6	1.96	190	1.88	
18	180	70	9.0	10.5	10.5	5.2	23.000	152	1370	6.84	21.5	111	1.95	210	1.84	
20a	200	73	7.0	11.0	11.0	5.5	22.637	178	1780	7.86	24.2	128	2.11	244	2.01	
20	200	75	9.0	11.0	11.0	5.5	25.777	191	1910	7.64	25.9	144	2.09	268	1.95	
22a	220	77	7.0	11.5	11.5	5.8	24.999	218	2390	8.67	28.2	158	2.23	298	2.10	
22	220	79	9.0	11.5	11.5	5.8	28.453	234	2570	8.42	30.1	176	2.21	322	2.03	

续表

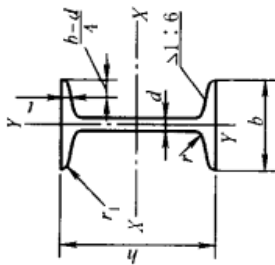
型号	尺寸/mm						理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值								
	h	b	d	t	r	r <sub>1</sub>		截面面积 /cm <sup>2</sup>		X-X		Y-Y		Y <sub>1</sub> -Y <sub>1</sub>		
										W <sub>X</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>X</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>X</sub> /cm	W <sub>Y</sub> /cm <sup>3</sup>	I <sub>Y</sub> /cm <sup>4</sup>	i <sub>Y</sub> /cm	I <sub>Y<sub>1</sub></sub> /cm <sup>4</sup>
25a	250	78	7.0	12.0	12.0	6.0	34.917	27.410	270	3370	9.82	30.6	176	2.24	326	2.07
25b	250	80	9.0	12.0	12.0	6.0	39.917	31.335	282	3530	9.41	32.7	196	2.22	353	1.98
25c	250	82	11.0	12.0	12.0	6.0	44.917	35.260	295	3690	9.07	35.9	218	2.21	384	1.92
28a	280	82	7.5	12.5	12.5	6.2	40.034	31.427	340	4760	10.9	35.7	218	2.33	388	2.10
28b	280	84	9.5	12.5	12.5	6.2	45.634	35.823	366	5130	10.6	37.9	242	2.30	428	2.02
28c	280	86	11.5	12.5	12.5	6.2	51.234	40.219	393	5500	10.4	40.3	268	2.29	463	1.95
32a	320	88	8.0	14.0	14.0	7.0	48.513	38.083	475	7600	12.5	46.5	305	2.50	552	2.24
32b	320	90	10.0	14.0	14.0	7.0	54.913	43.107	509	8140	12.2	49.2	336	2.47	593	2.16
32c	320	92	12.0	14.0	14.0	7.0	61.313	48.131	543	8690	11.9	52.6	374	2.47	643	2.09
36a	360	96	9.0	16.0	16.0	8.0	60.910	47.814	660	11900	14.0	63.5	455	2.73	818	2.44
36b	360	98	11.0	16.0	16.0	8.0	68.110	53.466	703	12700	13.6	66.9	497	2.70	880	2.37
36c	360	100	13.0	16.0	16.0	8.0	75.310	59.118	746	13400	13.4	70.0	536	2.67	948	2.34
40a	400	100	10.5	18.0	18.0	9.0	75.068	58.928	879	17600	15.3	78.8	592	2.81	1070	2.49
40b	400	102	12.5	18.0	18.0	9.0	83.068	65.208	932	18600	15.0	82.5	640	2.78	1140	2.44
40c	400	104	14.5	18.0	18.0	9.0	91.068	71.488	986	19700	14.7	86.2	688	2.75	1220	2.42
6.5*	65	40	4.3	7.5	7.5	3.8	8.547	6.709	17.0	55.2	2.54	4.59	12.0	1.19	28.3	1.38
12*	120	53	5.5	9.0	9.0	4.5	15.362	12.059	57.7	346	4.75	10.2	37.4	1.56	77.7	1.62
24a*	240	78	7.0	12.0	12.0	6.0	34.217	26.860	254	3050	9.45	30.5	174	2.25	325	2.10
24b*	240	80	9.0	12.0	12.0	6.0	39.017	30.628	274	3280	9.17	32.5	194	2.23	355	2.03
24c*	240	82	11.0	12.0	12.0	6.0	43.817	34.396	293	3510	8.96	34.4	213	2.21	388	2.00
27a*	270	82	7.5	12.5	12.5	6.2	39.284	30.838	323	4360	10.5	35.5	216	2.34	393	2.13
27b*	270	84	9.5	12.5	12.5	6.2	44.684	35.077	347	4690	10.3	37.7	239	2.31	428	2.06
27c*	270	86	11.5	12.5	12.5	6.2	50.084	39.316	372	5020	10.1	39.8	261	2.28	467	2.03
30a*	300	85	7.5	13.5	13.5	6.8	43.902	34.463	403	6050	11.7	41.1	260	2.43	467	2.17
30b*	300	87	9.5	13.5	13.5	6.8	49.902	39.173	433	6500	11.4	44.0	289	2.41	515	2.13
30c*	300	89	11.5	13.5	13.5	6.8	55.902	43.883	463	6950	11.2	46.4	316	2.38	560	2.09

注: 1. 带\*者需经供需双方协议才可供应。

2. 槽钢的通常长度: 型号5~8, 为5~12m; 型号10~18, 为5~19m; 型号20~40, 为6~19m。

3. 轧制钢号, 通常为碳素结构钢。

热轧工字钢 (摘自 GB/T 706—1988)



h——高度  
b——腿宽度  
d——腰厚度  
t——平均腿厚度  
r——内圆弧半径

$r_1$ ——腿端圆弧半径  
 $I$ ——惯性矩  
 $W$ ——截面系数  
 $i$ ——惯性半径  
 $S$ ——半截面的静力矩

表 3-1-58

型号	尺寸/mm						截面面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值					
	h	b	d	t	r	$r_1$			X-X			Y-Y		
									$I_x$ /cm <sup>4</sup>	$W_x$ /cm <sup>3</sup>	$i_x$ /cm	$I_x \cdot S_x$	$I_y$ /cm <sup>4</sup>	$W_y$ /cm <sup>3</sup>
10	100	68	4.5	7.6	6.5	3.3	14.345	11.261	49.0	4.14	8.59	33.0	9.72	1.52
12.6	126	74	5.0	8.4	7.0	3.5	18.118	14.223	77.5	5.20	10.8	46.9	12.7	1.61
14	140	80	5.5	9.1	7.5	3.8	21.516	16.890	102	5.76	12.0	64.4	16.1	1.73
16	160	88	6.0	9.9	8.0	4.0	26.131	20.513	141	6.58	13.8	93.1	21.2	1.89
18	180	94	6.5	10.7	8.5	4.3	30.756	24.143	185	7.36	15.4	122	26.0	2.00
20a	200	100	7.0	11.4	9.0	4.5	35.578	27.929	237	8.15	17.2	158	31.5	2.12
20b	200	102	9.0	11.4	9.0	4.5	39.578	31.069	250	7.96	16.9	169	33.1	2.06
22a	220	110	7.5	12.3	9.5	4.8	42.128	33.070	309	8.99	18.9	225	40.9	2.31
22b	220	112	9.5	12.3	9.5	4.8	46.528	36.524	325	8.78	18.7	239	42.7	2.27
25a	250	116	8.0	13.0	10.0	5.0	48.541	38.105	402	10.2	21.6	280	48.3	2.40

续表

型号	尺寸/mm							理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值					
	h	b	d	t	r	r <sub>1</sub>	X-X			Y-Y				
							I <sub>x</sub> /cm <sup>4</sup>		W <sub>x</sub> /cm <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> /cm	I <sub>x</sub> :S <sub>x</sub>	I <sub>y</sub> /cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> /cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> /cm
25b	250	118	10.0	13.0	10.0	5.0	53.541	42.030	423	9.94	21.3	309	52.4	2.40
28a	280	122	8.5	13.7	10.5	5.3	55.404	43.492	508	11.3	24.6	345	56.6	2.50
28b	280	124	10.5	13.7	10.5	5.3	61.004	47.888	534	11.1	24.2	379	61.2	2.49
32a	320	130	9.5	15.0	11.5	5.8	67.156	52.717	692	12.8	27.5	460	70.8	2.62
32b	320	132	11.5	15.0	11.5	5.8	73.556	57.741	726	12.6	27.1	502	76.0	2.61
32c	320	134	13.5	15.0	11.5	5.8	79.956	62.765	760	12.3	26.8	544	81.2	2.61
36a	360	136	10.0	15.8	12.0	6.0	76.480	60.037	875	14.4	30.7	552	81.2	2.69
36b	360	138	12.0	15.8	12.0	6.0	83.680	65.689	919	14.1	30.3	582	84.3	2.64
36c	360	140	14.0	15.8	12.0	6.0	90.880	71.341	962	13.8	29.9	612	87.4	2.60
40a	400	142	10.5	16.5	12.5	6.3	86.112	67.598	1090	15.9	34.1	660	93.2	2.77
40b	400	144	12.5	16.5	12.5	6.3	94.112	73.878	1140	15.6	33.6	692	96.2	2.71
40c	400	146	14.5	16.5	12.5	6.3	102.112	80.158	1190	15.2	33.2	727	99.6	2.65
45a	450	150	11.5	18.0	13.5	6.8	102.446	80.420	1430	17.7	38.6	855	114	2.89
45b	450	152	13.5	18.0	13.5	6.8	111.446	87.485	1500	17.4	38.0	894	118	2.84
45c	450	154	15.5	18.0	13.5	6.8	120.446	94.550	1570	17.1	37.6	938	122	2.79
50a	500	158	12.0	20.0	14.0	7.0	119.304	93.654	1860	19.7	42.8	1120	142	3.07
50b	500	160	14.0	20.0	14.0	7.0	129.304	101.504	1940	19.4	42.4	1170	146	3.01
50c	500	162	16.0	20.0	14.0	7.0	139.304	109.354	2080	19.0	41.8	1220	151	2.96
56a	560	166	12.5	21.0	14.5	7.3	135.435	106.316	2340	22.0	47.7	1370	165	3.18
56b	560	168	14.5	21.0	14.5	7.3	146.635	115.108	2450	21.6	47.2	1490	174	3.16
56c	560	170	16.5	21.0	14.5	7.3	157.835	123.900	2550	21.3	46.7	1560	183	3.16



续表

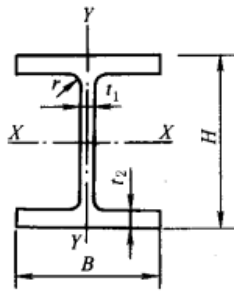
型号	尺寸/mm							理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	参 考 数 值					
	h	b	d	t	r	r <sub>1</sub>	X-X			Y-Y				
							I <sub>x</sub> /cm <sup>4</sup>		W <sub>x</sub> /cm <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> /cm	I <sub>x</sub> :S <sub>x</sub>	I <sub>y</sub> /cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> /cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> /cm
63a	630	176	13.0	22.0	15.0	7.5	154.658	121.407	2980	24.5	54.2	1700	193	3.31
63b	630	178	15.0	22.0	15.0	7.5	167.258	131.298	3160	24.2	53.5	1810	204	3.29
63c	630	180	17.0	22.0	15.0	7.5	179.858	141.189	3300	23.8	52.9	1920	214	3.27
12*	120	74	5.0	8.4	7.0	3.5	17.818	13.987	436	4.95	10.3	46.9	12.7	1.62
24a*	240	116	8.0	13.0	10.0	5.0	47.741	37.477	4570	9.77	20.7	280	43.4	2.42
24b*	240	118	10.0	13.0	10.0	5.0	52.541	41.245	4800	9.57	20.4	297	50.4	2.38
27a*	270	122	8.5	13.7	10.5	5.3	54.554	42.825	485	10.9	23.8	345	56.6	2.51
27b*	270	124	10.5	13.7	10.5	5.3	59.954	47.064	6870	10.7	22.9	366	58.9	2.47
30a*	300	126	9.0	14.4	11.0	5.5	61.254	48.084	8950	12.1	25.7	400	63.5	2.55
30b*	300	128	11.0	14.4	11.0	5.5	67.254	52.794	9400	11.8	25.4	422	65.9	2.50
30c*	300	130	13.0	14.4	11.0	5.5	73.254	57.504	9850	11.6	25.0	445	68.5	2.46
55a*	550	166	12.5	21.0	14.5	7.3	134.185	105.335	62900	21.6	46.9	1370	164	3.19
55b*	550	168	14.5	21.0	14.5	7.3	145.185	113.970	65600	21.2	46.4	1420	170	3.14
55c*	550	170	16.5	21.0	14.5	7.3	156.185	122.605	68400	20.9	45.8	1480	175	3.08

注: 1. 带\*者需经供需双方协议才可供应。

2. 工字钢的通常长度: 型号10~18, 为5~19m; 型号20~63, 为6~19m。

3. 轧制钢号, 通常为碳素结构钢。

热轧 H 型钢和剖分 T 型钢 (摘自 GB/T 11263—2005)



H——高度  
 B——宽度  
 $t_1$ ——腹板厚度  
 $t_2$ ——翼缘厚度  
 r——圆角半径

标记: H 后加高度 × 宽度 × 腹板厚度 × 翼缘厚度  
 例如: H800 × 300 × 14 × 26

表 3-1-59

H 型钢

类别	型号 (高度 × 宽度) /mm	截面尺寸/mm					截面 面积 /cm <sup>2</sup>	理论 质量 /kg · m <sup>-1</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>	
		H	B	$t_1$	$t_2$	r			$I_x$	$I_y$	$i_x$	$i_y$	$W_x$	$W_y$
HW (宽翼缘型)	100 × 100	100	100	6	8	8	21.59	16.9	386	134	4.23	2.49	77.1	26.7
	125 × 125	125	125	6.5	9	8	30.00	23.6	843	293	5.30	3.13	135	46.9
	150 × 150	150	150	7	10	8	39.65	31.1	1620	563	6.39	3.77	216	75.1
	175 × 175	175	175	7.5	11	13	51.43	40.4	2918	983	7.53	4.37	334	112
	200 × 200	200	200	8	12	13	63.53	49.9	4717	1601	8.62	5.02	472	160
		200	204	12	12	13	71.53	56.2	4984	1701	8.35	4.88	498	167
	250 × 250	244	252	11	11	13	81.31	63.8	8573	2937	10.27	6.01	703	233
		250	250	9	14	13	91.43	71.8	10689	3648	10.81	6.32	855	292
		250	255	14	14	13	103.93	81.6	11340	3875	10.45	6.11	907	304
	300 × 300	294	302	12	12	13	106.33	83.5	16384	5513	12.41	7.20	1115	365
		300	300	10	15	13	118.45	93.0	20010	6753	13.00	7.55	1334	450
		300	305	15	15	13	133.45	104.8	21135	7102	12.58	7.29	1409	466
	350 × 350	338	351	13	13	13	133.27	104.6	27352	9376	14.33	8.39	1618	534
		344	348	10	16	13	144.01	113.0	32545	11242	15.03	8.84	1892	646
		344	354	16	16	13	164.65	129.3	34581	11841	14.49	8.48	2011	669
		350	350	12	19	13	171.89	134.9	39637	13582	15.19	8.89	2265	776
		350	357	19	19	13	196.39	154.2	42138	14427	14.65	8.57	2408	808
	400 × 400	388	402	15	15	22	178.45	140.1	48040	16255	16.41	9.54	2476	809
		394	398	11	18	22	186.81	146.6	55597	18920	17.25	10.06	2822	951
		394	405	18	18	22	214.39	168.3	59165	19951	16.61	9.65	3003	985
		400	400	13	21	22	218.69	171.7	66455	22410	17.43	10.12	3323	1120
		400	408	21	21	22	250.69	196.8	70722	23804	16.80	9.74	3536	1167
		414	405	18	28	22	295.39	231.9	93518	31022	17.79	10.25	4518	1532
		428	407	20	35	22	360.65	283.1	120892	39357	18.31	10.45	5649	1934
		458	417	30	50	22	528.55	414.9	190939	60516	19.01	10.70	8338	2902
		498*	432	45	70	22	770.05	604.5	304730	94346	19.89	11.07	12238	4368
	500 × 500*	492	465	15	20	22	257.95	202.5	115559	33531	21.17	11.40	4698	1442
		502	465	15	25	22	304.45	239.0	145012	41910	21.82	11.73	5777	1803
502		470	20	25	22	329.55	258.7	150283	43295	21.35	11.46	5987	1842	

续表

类别	型号 (高度×宽度) /mm	截面尺寸/mm					截面 面积 /cm <sup>2</sup>	理论 质量 /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>	
		H	B	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	r			I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>
HM (中翼缘型)	150×100	148	100	6	9	8	26.35	20.7	995.3	150.3	6.15	2.39	134.5	30.1
	200×150	194	150	6	9	8	38.11	29.9	2586	506.6	8.24	3.65	266.6	67.6
	250×175	244	175	7	11	13	55.49	43.6	5908	983.5	10.32	4.21	484.3	112.4
	300×200	294	200	8	12	13	71.05	55.8	10858	1602	12.36	4.75	738.6	160.2
	350×250	340	250	9	14	13	99.53	78.1	20867	3648	14.48	6.05	1227	291.9
	400×300	390	300	10	16	13	133.25	104.6	37363	7203	16.75	7.35	1916	480.2
	450×300	440	300	11	18	13	153.89	120.8	54067	8105	18.74	7.26	2458	540.3
	500×300	482	300	11	15	13	141.17	110.8	57212	6756	20.13	6.92	2374	450.4
		488	300	11	18	13	159.17	124.9	67916	8106	20.66	7.14	2783	540.4
	550×300	544	300	11	15	13	147.99	116.2	74874	6756	22.49	6.76	2753	450.4
		550	300	11	18	13	165.99	130.3	88470	8106	23.09	6.99	3217	540.4
	600×300	582	300	12	17	13	169.21	132.8	97287	7659	23.98	6.73	3343	510.6
		588	300	12	20	13	187.21	147.0	112827	9009	24.55	6.94	3838	600.6
594		302	14	23	13	217.09	170.4	132179	10572	24.68	6.98	4450	700.1	
HN (窄翼缘型)	100×50	100	50	5	7	8	11.85	9.3	191.0	14.7	4.02	1.11	38.2	5.9
	125×60	125	60	6	8	8	16.69	13.1	407.7	29.1	4.94	1.32	65.2	9.7
	150×75	150	75	5	7	8	17.85	14.0	645.7	49.4	6.01	1.66	86.1	13.2
	175×90	175	90	5	8	8	22.90	18.0	1174	97.4	7.16	2.06	134.2	21.6
	200×100	198	99	4.5	7	8	22.69	17.8	1484	113.4	8.09	2.24	149.9	22.9
		200	100	5.5	8	8	26.67	20.9	1753	133.7	8.11	2.24	175.3	26.7
	250×125	248	124	5	8	8	31.99	25.1	3346	254.5	10.23	2.82	269.8	41.1
		250	125	6	9	8	36.97	29.0	3868	293.5	10.23	2.82	309.4	47.0
	300×150	298	149	5.5	8	13	40.80	32.0	5911	441.7	12.04	3.29	396.7	59.3
		300	150	6.5	9	13	46.78	36.7	6829	507.2	12.08	3.29	455.3	67.6
	350×175	346	174	6	9	13	52.45	41.2	10456	791.1	14.12	3.88	604.4	90.9
		350	175	7	11	13	62.91	49.4	12980	983.8	14.36	3.95	741.7	112.4
	400×150	400	150	8	13	13	70.37	55.2	17906	733.2	15.95	3.23	895.3	97.8
	400×200	396	199	7	11	13	71.41	56.1	19023	1446	16.32	4.50	960.8	145.3
		400	200	8	13	13	83.37	65.4	22775	1735	16.53	4.56	1139	173.5
	450×200	446	199	8	12	13	82.97	65.1	27146	1578	18.09	4.36	1217	158.6
		450	200	9	14	13	95.43	74.9	31973	1870	18.30	4.43	1421	187.0
	500×200	496	199	9	14	13	99.29	77.9	39628	1842	19.98	4.31	1598	185.1
		500	200	10	16	13	112.25	88.1	45685	2138	20.17	4.36	1827	213.8
		506	201	11	19	13	129.31	101.5	54478	2577	20.53	4.46	2153	256.4
	550×200	546	199	9	14	13	103.79	81.5	49245	1842	21.78	4.21	1804	185.2
		550	200	10	16	13	117.25	92.0	56695	2138	21.99	4.27	2062	213.8
	600×200	596	199	10	15	13	117.75	92.4	64739	1975	23.45	4.10	2172	198.5
		600	200	11	17	13	131.71	103.4	73749	2273	23.66	4.15	2458	227.3
		606	201	12	20	13	149.77	117.6	86656	2716	24.05	4.26	2860	270.2
	650×300	646	299	10	15	13	152.75	119.9	107794	6688	26.56	6.62	3337	447.4
		650	300	11	17	13	171.21	134.4	122739	7657	26.77	6.69	3777	510.5
		656	301	12	20	13	195.77	153.7	144433	9100	27.16	6.82	4403	604.6
	700×300	692	300	13	20	18	207.54	162.9	164101	9014	28.12	6.59	4743	600.9
		700	300	13	24	18	231.54	181.8	193622	10814	28.92	6.83	5532	720.9
750×300	734	299	12	16	18	182.70	143.4	155539	7140	29.18	6.25	4238	477.6	
	742	300	13	20	18	214.04	168.0	191989	9015	29.95	6.49	5175	601.0	
	750	300	13	24	18	238.04	186.9	225863	10815	30.80	6.74	6023	721.0	
	758	303	16	28	18	284.78	223.6	271350	13008	30.87	6.76	7160	858.6	

续表

类别	型号 (高度×宽度) /mm	截面尺寸/mm					截面 面积 /cm <sup>2</sup>	理论 质量 /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>		
		H	B	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	r			I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	
HN (窄翼缘型)	800×300	792	300	14	22	18	239.50	188.0	242399	9919	31.81	6.44	6121	661.3	
		800	300	14	26	18	263.50	206.8	280925	11719	32.65	6.67	7023	781.3	
	850×300	834	298	14	19	18	227.46	178.6	243858	8400	32.74	6.08	5848	563.8	
		842	299	15	23	18	259.72	203.9	291216	10271	33.49	6.29	6917	687.0	
		850	300	16	27	18	292.14	229.3	339670	12179	34.10	6.46	7992	812.0	
		858	301	17	31	18	324.72	254.9	389234	14125	34.62	6.60	9073	938.5	
	900×300	890	299	15	23	18	266.92	209.5	330588	10273	35.19	6.20	7429	687.1	
		900	300	16	28	18	305.82	240.1	397241	12631	36.04	6.43	8828	842.1	
		912	302	18	34	18	360.06	282.6	484615	15652	36.69	6.59	10628	1037	
	1000×300	970	297	16	21	18	276.00	216.7	382977	9203	37.25	5.77	7896	619.7	
		980	298	17	26	18	315.50	247.7	462157	11508	38.27	6.04	9432	772.3	
		990	298	17	31	18	345.30	271.1	535201	13713	39.37	6.30	10812	920.3	
		1000	300	19	36	18	395.10	310.2	626396	16256	39.82	6.41	12528	1084	
		1008	302	21	40	18	439.26	344.8	704572	18437	40.05	6.48	13980	1221	
	HT (薄壁型)	100×50	95	48	3.2	4.5	8	7.62	6.0	109.7	8.4	3.79	1.05	23.1	3.5
			97	49	4	5.5	8	9.38	7.4	141.8	10.9	3.89	1.08	29.2	4.4
100×100		96	99	4.5	6	8	16.21	12.7	272.7	97.1	4.10	2.45	56.8	19.6	
125×60		118	58	3.2	4.5	8	9.26	7.3	202.4	14.7	4.68	1.26	34.3	5.1	
		120	59	4	5.5	8	11.40	8.9	259.7	18.9	4.77	1.29	43.3	6.4	
125×125		119	123	4.5	6	8	20.12	15.8	523.6	186.2	5.10	3.04	88.0	30.3	
150×75		145	73	3.2	4.5	8	11.47	9.0	383.2	29.3	5.78	1.60	52.9	8.0	
		147	74	4	5.5	8	14.13	11.1	488.0	37.3	5.88	1.62	66.4	10.1	
150×100		139	97	3.2	4.5	8	13.44	10.5	447.3	68.5	5.77	2.26	64.4	14.1	
		142	99	4.5	6	8	18.28	14.3	632.7	97.2	5.88	2.31	89.1	19.6	
150×150		144	148	5	7	8	27.77	21.8	1070	378.4	6.21	3.69	148.6	51.1	
		147	149	6	8.5	8	33.68	26.4	1338	468.9	6.30	3.73	182.1	62.9	
175×90		168	88	3.2	4.5	8	13.56	10.6	619.6	51.2	6.76	1.94	73.8	11.6	
		171	89	4	6	8	17.59	13.8	852.1	70.6	6.96	2.00	99.7	15.9	
175×175		167	173	5	7	13	33.32	26.2	1731	604.5	7.21	4.26	207.2	69.9	
		172	175	6.5	9.5	13	44.65	35.0	2466	849.2	7.43	4.36	286.8	97.1	
200×100		193	98	3.2	4.5	8	15.26	12.0	921.0	70.7	7.77	2.15	95.4	14.4	
		196	99	4	6	8	19.79	15.5	1260	97.2	7.98	2.22	128.6	19.6	
200×150		188	149	4.5	6	8	26.35	20.7	1669	331.0	7.96	3.54	177.6	44.4	
200×200		192	198	6	8	13	43.69	34.3	2984	1036	8.26	4.87	310.8	104.6	
250×125		244	124	4.5	6	8	25.87	20.3	2529	190.9	9.89	2.72	207.3	30.8	
250×175		238	173	4.5	8	13	39.12	30.7	4045	690.8	10.17	4.20	339.9	79.9	
300×150		294	148	4.5	6	13	31.90	25.0	4342	324.6	11.67	3.19	295.4	43.9	
300×200		286	198	6	8	13	49.33	38.7	7000	1036	11.91	4.58	489.5	104.6	
350×175		340	173	4.5	6	13	36.97	29.0	6823	518.3	13.58	3.74	401.3	59.9	
400×150		390	148	6	8	13	47.57	37.3	10900	433.2	15.14	3.02	559.0	58.5	
400×200		390	198	6	8	13	55.57	43.6	13819	1036	15.77	4.32	708.7	104.6	

注: 1. 同一型号的产品, 其内侧尺寸高度一致。表中带\*者国内暂不能生产。

2. 截面面积计算公式为  $t_1(H-2t_2)+2Bt_2+0.858r^2$ 。

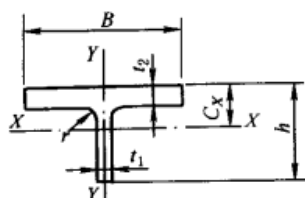
3. H型钢的化学成分和力学性能应符合 GB/T 700 (碳素结构钢)、GB/T 712 (船体用结构钢)、GB/T 714 (桥梁、建筑用碳素钢)、GB/T 1591 (低合金高强度结构钢)、GB/T 4171 (高耐候结构钢) 和 GB/T 4172 (焊接结构用耐候钢) 的规定。H型钢以热轧状态交货。

表 3-1-60

工字钢与 H 型钢型号及截面特性参数对比

工字 钢型 号	H 型钢型号	工字钢与 H 型钢截面特性参数对比						工字 钢型 号	H 型钢型号	工字钢与 H 型钢截面特性参数对比					
		横截 面积	抗弯 强度	抗剪 强度	抗弯 刚度	惯性半径				横截 面积	抗弯 强度	抗剪 强度	抗弯 刚度	惯性半径	
						$i_x$	$i_y$							$i_x$	$i_y$
I10	H125 × 60	1.16	1.33	1.62	1.66	1.19	0.87	I32b	H350 × 175	0.86	1.02	0.67	1.12	1.14	1.54
I12.6	H150 × 75	0.99	1.11	1.15	1.32	1.16	1.03		H400 × 150	0.96	1.23	0.86	1.54	1.27	1.26
I14	H175 × 90	1.07	1.32	1.12	1.65	1.25	1.19		H396 × 199	0.97	1.32	0.76	1.64	1.30	1.75
I16	H175 × 90	0.88	0.95	0.90	1.04	1.09	1.09	I32c	H350 × 175	0.79	0.97	0.58	1.07	1.16	1.56
	H198 × 99	0.87	1.06	0.91	1.32	1.23	1.19		H400 × 150	0.88	1.18	0.74	1.47	1.29	1.28
	H200 × 100	1.02	1.24	1.12	1.56	1.23	1.19		H396 × 199	0.89	1.26	0.66	1.56	1.32	1.78
I18	H200 × 100	0.87	0.95	0.91	1.03	1.10	1.12	I36a	H400 × 150	0.92	1.02	0.87	1.13	1.29	1.20
	H248 × 124	1.04	1.46	1.04	1.97	1.39	1.41		H396 × 199	0.93	1.09	0.77	1.20	1.31	1.67
I20a	H248 × 124	0.90	1.14	0.88	1.41	1.25	1.34	I36b	H400 × 150	0.84	0.97	0.73	1.08	1.13	1.22
	H250 × 125	1.04	1.31	1.06	1.63	1.25	1.34		H396 × 199	0.85	1.04	0.65	1.15	1.16	1.70
I20b	H248 × 124	0.81	1.08	0.88	1.34	1.29	1.36		H400 × 200	1.00	1.24	0.76	1.37	1.17	1.73
	H250 × 125	0.93	1.24	0.84	1.55	1.29	1.36	H446 × 199	0.99	1.32	0.83	1.64	1.28	1.65	
I22a	H250 × 125	0.88	1.00	0.90	1.14	1.14	1.22	I36c	H396 × 199	0.79	1.00	0.56	1.10	1.18	1.73
	H298 × 149	0.97	1.28	0.95	1.74	1.34	1.42		H400 × 200	0.92	1.18	0.66	1.31	1.20	1.75
I22b	H250 × 125	0.80	0.95	0.72	1.08	1.17	1.24		H446 × 199	0.91	1.26	0.72	1.56	1.31	1.68
	H298 × 149	0.88	1.22	0.76	1.65	1.37	1.45	I40a	H400 × 200	0.97	1.05	0.77	1.05	1.04	1.65
	H300 × 150	1.00	1.40	0.91	1.91	1.38	1.45		H446 × 199	0.96	1.12	0.85	1.25	1.14	1.57
I25a	H298 × 149	0.84	0.99	0.79	1.18	1.18	1.37	I40b	H400 × 200	0.89	1.00	0.65	1.00	1.06	1.68
	H300 × 150	0.96	1.13	0.94	1.36	1.19	1.37		H446 × 199	0.88	1.07	0.72	1.19	1.16	1.61
I25b	H298 × 149	0.76	0.94	0.64	1.12	1.21	1.39		H450 × 200	1.01	1.25	0.82	1.40	1.18	1.63
	H300 × 150	0.87	1.08	0.76	1.29	1.22	1.39	I40c	H400 × 200	0.82	0.96	0.57	0.96	1.08	1.71
	H346 × 174	0.98	1.43	0.82	1.98	1.42	1.64		H446 × 199	0.81	1.02	0.63	1.14	1.18	1.63
I28a	H346 × 174	0.95	1.19	0.85	1.50	1.25	1.56	I40c	H450 × 200	0.93	1.19	0.72	1.34	1.20	1.66
I28b	H346 × 174	0.86	1.13	0.70	1.40	1.27	1.59		H496 × 199	0.97	1.34	0.78	1.66	1.31	1.61
	H350 × 175	1.03	1.39	0.84	1.74	1.30	1.62		I45a	H450 × 200	0.93	0.99	0.79	1.00	1.03
I32a	H350 × 175	0.94	1.07	0.80	1.17	1.12	1.51	H496 × 199		0.97	1.12	0.86	1.23	1.13	1.49
I45b	H450 × 200	0.86	0.95	0.68	0.95	1.05	1.56	I50c	H500 × 200	0.81	0.90	0.64	0.90	1.06	1.47
	H496 × 199	0.89	1.07	0.74	1.17	1.15	1.52		H506 × 201	0.93	1.06	0.72	1.08	1.08	1.51
	H500 × 200	1.01	1.22	0.84	1.35	1.16	1.54		H596 × 199	0.85	1.07	0.75	1.28	1.23	1.39
I45c	H450 × 200	0.79	0.91	0.60	0.91	1.07	1.59	I56a	H600 × 200	0.95	1.21	0.83	1.46	1.24	1.40
	H496 × 199	0.82	1.02	0.65	1.12	1.17	1.54		H596 × 199	0.87	0.93	0.84	0.99	1.07	1.29
	H500 × 200	0.93	1.17	0.74	1.29	1.18	1.56	H600 × 200	0.97	1.05	0.93	1.12	1.07	1.31	
	H596 × 199	0.98	1.39	0.86	1.84	1.37	1.47	I56b	H606 × 201	1.02	1.17	0.90	1.26	1.11	1.37
I50a	H500 × 200	0.94	0.98	0.83	0.98	1.02	1.42	I56c	H600 × 200	0.83	0.96	0.72	1.03	1.11	1.34
	H596 × 199	0.99	1.17	0.98	1.39	1.19	1.34		H606 × 201	0.95	1.12	0.80	1.21	1.13	1.39
I50b	H506 × 201	1.00	1.11	0.81	1.12	1.06	1.48	I63a	H582 × 300	1.09	1.12	0.87	1.03	0.97	2.03
	H596 × 199	0.91	1.12	0.85	1.33	1.21	1.36	I63b	H582 × 300	1.01	1.07	0.77	0.99	0.99	2.07
	H600 × 200	1.02	1.27	0.94	1.52	1.22	1.38	I63c	H582 × 300	0.94	1.03	0.68	0.95	1.00	2.10

注：本表是按照截面积大体相近，并且绕 X 轴的抗弯强度不低于相应工字钢的原则，计算对比了标准中 H 型钢有关型号与 GB/T 706—1988 的工字钢有关型号及截面特性参数，供有关人员使用 H 型钢时参考。表中的比值是工字钢参数与 H 型钢参数的比值。



$h$ ——高度  
 $B$ ——宽度  
 $t_1$ ——腹板厚度  
 $t_2$ ——翼缘厚度  
 $C_x$ ——质心距离  
 $r$ ——圆角半径  
 标记: T后加高度×宽度×腹板厚度×翼缘厚度  
 如: T200×400×13×21

表 3-1-61

剖分 T 型钢

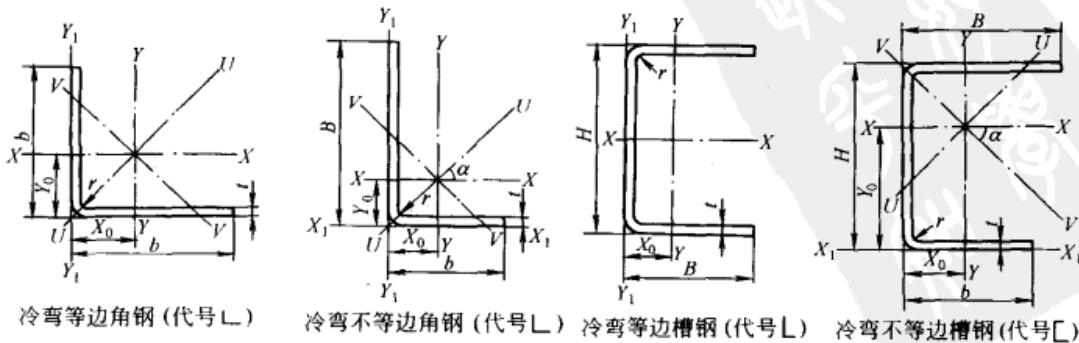
类别	型号 (高度×宽度) /mm	截面尺寸/mm					截面 面积 /cm <sup>2</sup>	理论 质量 /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>		质心 距离 $C_x$	对应 H 型钢系 列型号
		$h$	$B$	$t_1$	$t_2$	$r$			$I_x$	$I_y$	$i_x$	$i_y$	$W_x$	$W_y$		
TW (宽翼缘剖分型)	50×100	50	100	6	8	8	10.79	8.47	16.7	67.7	1.23	2.49	4.2	13.5	1.00	100×100
	62.5×125	62.5	125	6.5	9	8	15.00	11.8	35.2	147.1	1.53	3.13	6.9	23.5	1.19	125×125
	75×150	75	150	7	10	8	19.82	15.6	66.6	281.9	1.83	3.77	10.9	37.6	1.37	150×150
	87.5×175	87.5	175	7.5	11	13	25.71	20.2	115.8	494.4	2.12	4.38	16.1	56.5	1.55	175×175
	100×200	100	200	8	12	13	31.77	24.9	185.6	803.3	2.42	5.03	22.4	80.3	1.73	200×200
		100	204	12	12	13	35.77	28.1	256.3	853.6	2.68	4.89	32.4	83.7	2.09	
	125×250	125	250	9	14	13	45.72	35.9	413.0	1827	3.01	6.32	39.6	146.1	2.08	250×250
		125	255	14	14	13	51.97	40.8	589.3	1941	3.37	6.11	59.4	152.2	2.58	
	150×300	147	302	12	12	13	53.17	41.7	855.8	2760	4.01	7.20	72.2	182.8	2.85	300×300
		150	300	10	15	13	59.23	46.5	798.7	3379	3.67	7.55	63.8	225.3	2.47	
		150	305	15	15	13	66.73	52.4	1107	3554	4.07	7.30	92.6	233.1	3.04	
	175×350	172	348	10	16	13	72.01	56.5	1231	5624	4.13	8.84	84.7	323.2	2.67	350×350
		175	350	12	19	13	85.95	67.5	1520	6794	4.21	8.89	103.9	388.2	2.87	
	200×400	194	402	15	15	22	89.23	70.0	2479	8150	5.27	9.56	157.9	405.5	3.70	400×400
		197	398	11	18	22	93.41	73.3	2052	9481	4.69	10.07	122.9	476.4	3.01	
		200	400	13	21	22	109.35	85.8	2483	11227	4.77	10.13	147.9	561.3	3.21	
200		408	21	21	22	125.35	98.4	3654	11928	5.40	9.75	229.4	584.7	4.07		
207		405	18	28	22	147.70	115.9	3634	15535	4.96	10.26	213.6	767.2	3.68		
214		407	20	35	22	180.33	141.6	4393	19704	4.94	10.45	251.0	968.2	3.90		
TM (中翼缘剖分型)	75×100	74	100	6	9	8	13.17	10.3	51.7	75.6	1.98	2.39	8.9	15.1	1.56	150×100
	100×150	97	150	6	9	8	19.05	15.0	124.4	253.7	2.56	3.65	15.8	33.8	1.80	200×150
	125×175	122	175	7	11	13	27.75	21.8	288.3	494.4	3.22	4.22	29.1	56.5	2.28	250×175
	150×200	147	200	8	12	13	35.53	27.9	570.0	803.5	4.01	4.76	48.1	80.3	2.85	300×200
	175×250	170	250	9	14	13	49.77	39.1	1016	1827	4.52	6.06	73.1	146.1	3.11	350×250
	200×300	195	300	10	16	13	66.63	52.3	1730	3605	5.10	7.36	107.7	240.3	3.43	400×300
	225×300	220	300	11	18	13	76.95	60.4	2680	4056	5.90	7.26	149.6	270.4	4.09	450×300
	250×300	241	300	11	15	13	70.59	55.4	3399	3381	6.94	6.92	178.0	225.4	5.00	500×300
		244	300	11	18	13	79.59	62.5	3615	4056	6.74	7.14	183.7	270.4	4.72	
	275×300	272	300	11	15	13	74.00	58.1	4789	3381	8.04	6.76	225.4	225.4	5.96	550×300
		275	300	11	18	13	83.00	65.2	5093	4056	7.83	6.99	232.5	270.4	5.59	
300×300	291	300	12	17	13	84.61	66.4	6324	3832	8.65	6.73	280.0	255.5	6.51	600×300	
	294	300	12	20	13	93.61	73.5	6691	4507	8.45	6.94	288.1	300.5	6.17		
	297	302	14	23	13	108.55	85.2	7917	5289	8.54	6.98	339.9	350.3	6.41		

续表

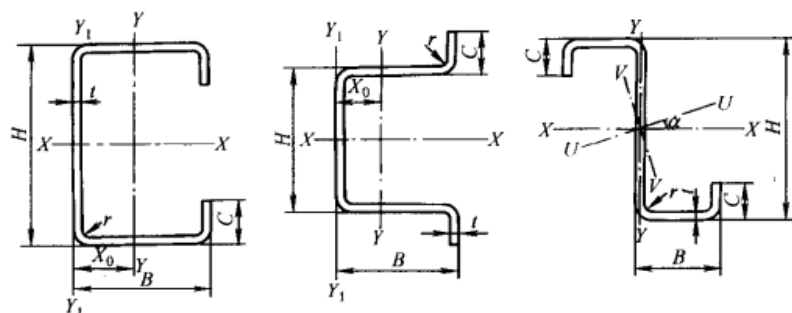
类别	型号 (高度×宽度) /mm	截面尺寸/mm					截面 面积 /cm <sup>2</sup>	理论 质量 /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>		质心 距离 C <sub>x</sub>	对应 H 型钢系 列型号
		h	B	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	r			I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>		
TN (窄翼缘剖分型)	50×50	50	50	5	7	8	5.92	4.7	11.9	7.8	1.42	1.14	3.2	3.1	1.28	100×50
	62.5×60	62.5	60	6	8	8	8.34	6.6	27.5	14.9	1.81	1.34	6.0	5.0	1.64	125×60
	75×75	75	75	5	7	8	8.92	7.0	42.4	25.1	2.18	1.68	7.4	6.7	1.79	150×75
	87.5×90	87.5	90	5	8	8	11.45	9.0	70.5	49.1	2.48	2.07	10.3	10.9	1.93	175×90
	100×100	99	99	4.5	7	8	11.34	8.9	93.1	57.1	2.87	2.24	12.0	11.5	2.17	200×100
		100	100	5.5	8	8	13.33	10.5	113.9	67.2	2.92	2.25	14.8	13.4	2.31	
	125×125	124	124	5	8	8	15.99	12.6	206.7	127.6	3.59	2.82	21.2	20.6	2.66	250×125
		125	125	6	9	8	18.48	14.5	247.5	147.1	3.66	2.82	25.5	23.5	2.81	
	150×150	149	149	5.5	8	13	20.40	16.0	390.4	223.3	4.37	3.31	33.5	30.0	3.26	300×150
		150	150	6.5	9	13	23.39	18.4	460.4	256.1	4.44	3.31	39.7	34.2	3.41	
	175×175	173	174	6	9	13	26.23	20.6	674.7	398.0	5.07	3.90	49.7	45.8	3.72	350×175
		175	175	7	11	13	31.46	24.7	811.1	494.5	5.08	3.96	59.0	56.5	3.76	
	200×200	198	199	7	11	13	35.71	28.0	1188	725.7	5.77	4.51	76.2	72.9	4.20	400×200
		200	200	8	13	13	41.69	32.7	1392	870.3	5.78	4.57	88.4	87.0	4.26	
	225×200	223	199	8	12	13	41.49	32.6	1863	791.8	6.70	4.37	108.7	79.6	5.15	450×200
		225	200	9	14	13	47.72	37.5	2148	937.6	6.71	4.43	124.1	93.8	5.19	
	250×200	248	199	9	14	13	49.65	39.0	2820	923.8	7.54	4.31	149.8	92.8	5.97	500×200
		250	200	10	16	13	56.13	44.1	3201	1072	7.55	4.37	168.7	107.2	6.03	
		253	201	11	19	13	64.66	50.8	3666	1292	7.53	4.47	189.9	128.5	6.00	
	275×200	273	199	9	14	13	51.90	40.7	3689	924.0	8.43	4.22	180.3	92.9	6.85	550×200
275		200	10	16	13	58.63	46.0	4182	1072	8.45	4.28	202.9	107.2	6.89		
300×200	298	199	10	15	13	58.88	46.2	5148	990.6	9.35	4.10	235.3	99.6	7.92	600×200	
	300	200	11	17	13	65.86	51.7	5779	1140	9.37	4.16	262.1	114.0	7.95		
	303	201	12	20	13	74.89	58.8	6554	1361	9.36	4.26	292.4	135.4	7.88		
325×300	323	299	10	15	12	76.27	59.9	7230	3346	9.74	6.62	289.0	223.8	7.28	650×300	
	325	300	11	17	13	85.61	67.2	8095	3832	9.72	6.69	321.1	255.4	7.29		
	328	301	12	20	13	97.89	76.8	9139	4553	9.66	6.82	357.0	302.5	7.20		
350×300	346	300	13	20	13	103.11	80.9	11263	4510	10.45	6.61	425.3	300.6	8.12	700×300	
	350	300	13	24	13	115.11	90.4	12018	5410	10.22	6.86	439.5	360.6	7.65		
400×300	396	300	14	22	18	119.75	94.0	17660	4970	12.14	6.44	592.1	331.3	9.77	800×300	
	400	300	14	26	18	131.75	103.4	18771	5870	11.94	6.67	610.8	391.3	9.27		
450×300	445	299	15	23	18	133.46	104.8	25897	5147	13.93	6.21	790.0	344.3	11.72	900×300	
	450	300	16	28	18	152.91	120.0	29223	6327	13.82	6.43	868.5	421.8	11.35		
	456	302	18	34	18	180.03	141.3	34345	7838	13.81	6.60	1002	519.0	11.34		

注：剖分 T 型钢由热轧 H 型钢剖分而成。其化学成分和力学性能与 H 型钢相同。

通用冷弯开口型钢 (摘自 GB/T 6723—1986)







弯曲部分的内圆弧半径应符合下面规定  
(所有冷弯型材均同)

所有钢种屈服点 /MPa	圆弧半径 r/mm	
	t ≤ 4.0	4.0 < t ≤ 8.0
≤ 235	≤ 1.4t	≤ 1.8t
≤ 275	≤ 1.8t	≤ 2.4t
≤ 350	≤ 2.4t	≤ 3.0t
> 350	双方协议	

冷弯内卷边槽钢(代号C) 冷弯外卷边槽钢(代号C) 冷弯卷边Z形钢(代号Z)

表 3-1-62 冷弯等边角钢

名称	尺寸/mm		理论质量/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积/cm <sup>2</sup>	质心/cm X <sub>0</sub> = Y <sub>0</sub>	惯性矩/cm <sup>4</sup>			回转半径/cm			截面系数/cm <sup>3</sup>	
	b	t				I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub>	I <sub>u</sub>	I <sub>v</sub>	r <sub>x</sub> = r <sub>y</sub>	r <sub>u</sub>	r <sub>v</sub>	W <sub>xmax</sub> = W <sub>ymin</sub>	W <sub>ymin</sub> = W <sub>xmax</sub>
20 × 20 × 1.2	20	1.2	0.354	0.451	0.559	0.179	0.292	0.066	0.630	0.804	0.385	0.321	0.124
20 × 20 × 1.6		1.6	0.463	0.589	0.579	0.230	0.377	0.084	0.625	0.800	0.377	0.398	0.162
20 × 20 × 2.0		2.0	0.566	0.721	0.599	0.278	0.457	0.099	0.621	0.796	0.371	0.464	0.198
25 × 25 × 1.6	25	1.6	0.588	0.749	0.704	0.464	0.756	0.172	0.786	1.004	0.479	0.659	0.258
25 × 25 × 2.0		2.0	0.723	0.921	0.724	0.563	0.922	0.205	0.782	1.000	0.472	0.778	0.317
25 × 25 × 2.5		2.5	0.885	1.127	0.749	0.679	1.117	0.242	0.776	0.995	0.463	0.907	0.388
25 × 25 × 3.0		3.0	1.039	1.323	0.774	0.786	1.298	0.275	0.770	0.990	0.456	1.106	0.455
30 × 30 × 1.6	30	1.6	0.714	0.909	0.829	0.817	1.328	0.307	0.948	1.208	0.581	0.986	0.376
30 × 30 × 2.0		2.0	0.880	1.121	0.849	0.998	1.626	0.369	0.943	1.204	0.573	1.175	0.464
30 × 30 × 2.5		2.5	1.081	1.377	0.874	1.210	1.981	0.439	0.937	1.199	0.565	1.385	0.569
30 × 30 × 3.0		3.0	1.274	1.623	0.898	1.409	2.316	0.503	0.931	1.194	0.556	1.568	0.671
40 × 40 × 1.6	40	1.6	0.965	1.229	1.079	1.985	3.213	0.758	1.270	1.616	0.785	1.839	0.679
40 × 40 × 2.0		2.0	1.194	1.521	1.099	2.438	3.956	0.919	1.265	1.612	0.777	2.218	0.840
40 × 40 × 2.5		2.5	1.473	1.877	1.123	2.979	4.851	1.108	1.259	1.607	0.768	2.651	1.036
40 × 40 × 3.0		3.0	1.745	2.223	1.148	3.496	5.710	1.282	1.253	1.602	0.759	3.043	1.226
40 × 40 × 4.0		4.0	2.266	2.886	1.198	4.455	7.320	1.590	1.242	1.592	0.742	3.717	1.590
50 × 50 × 2.0	50	2.0	1.508	1.921	1.349	4.848	7.845	1.850	1.588	2.020	0.981	3.593	1.327
50 × 50 × 2.5		2.5	1.866	2.377	1.373	5.952	9.658	2.245	1.582	2.015	0.971	4.332	1.641
50 × 50 × 3.0		3.0	2.216	2.823	1.398	7.015	11.414	2.616	1.576	2.010	0.962	5.015	1.948
50 × 50 × 4.0		4.0	2.894	3.686	1.448	9.022	14.755	3.290	1.564	2.000	0.944	6.229	2.540
60 × 60 × 2.0	60	2.0	1.822	2.321	1.599	8.478	13.694	3.262	1.910	2.428	1.185	5.302	1.926
60 × 60 × 2.5		2.5	2.258	2.877	1.623	10.440	16.903	3.978	1.904	2.423	1.175	6.429	2.385
60 × 60 × 3.0		3.0	2.687	3.423	1.648	12.342	20.028	4.657	1.898	2.418	1.166	7.486	2.836
60 × 60 × 4.0		4.0	3.522	4.486	1.698	15.970	26.030	5.911	1.886	2.408	1.147	9.403	3.712
70 × 70 × 3.0	70	3.0	3.158	4.023	1.898	19.853	32.152	7.553	2.221	2.826	1.370	10.456	3.891
70 × 70 × 4.0		4.0	4.150	5.286	1.948	25.799	41.944	9.654	2.209	2.816	1.351	13.242	5.107
70 × 70 × 5.0		5.0	5.110	6.510	1.997	31.430	51.289	11.571	2.197	2.806	1.333	15.731	6.283
80 × 80 × 3.0	80	3.0	3.629	4.623	2.148	29.921	48.386	11.456	2.543	3.234	1.574	13.925	5.113
80 × 80 × 4.0		4.0	4.778	6.086	2.198	39.009	63.299	14.719	2.531	3.224	1.555	17.745	6.723
80 × 80 × 5.0		5.0	5.895	7.510	2.247	47.677	77.622	17.731	2.519	3.214	1.536	21.209	8.288
80 × 80 × 6.0		6.0	6.982	8.895	2.297	55.938	91.365	20.512	2.507	3.204	1.518	24.346	9.809
100 × 100 × 3.0	100	3.0	4.571	5.823	2.648	59.231	95.584	22.878	3.189	4.051	1.982	22.363	8.057
100 × 100 × 4.0		4.0	6.034	7.686	2.698	77.571	125.528	29.613	3.176	4.041	1.962	28.749	10.623
100 × 100 × 5.0		5.0	7.465	9.510	2.747	95.237	154.539	35.335	3.164	4.031	1.943	34.659	13.132
100 × 100 × 6.0		6.0	8.866	11.265	2.797	112.247	182.629	41.866	3.152	4.021	1.925	40.125	15.584

注: 1. 按 GB/T 6725—2002 冷弯型钢用钢材的牌号和化学成分(熔炼分析)应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 1591、GB/T 4171、GB/T 4239 等标准的规定。根据需方要求也可提供钢材成品化学成分。

2. 冷弯型钢一般不进行力学性能和工艺性能试验, 按需方要求并在合同中注明, 可在原料钢带上进行力学性能及工艺性能试验, 并应符合相应标准的规定。

3. 冷弯型钢以冷加工状态交货。通常长度为 4~9m。



冷弯不等边角钢

表 3-1-63

名称	尺寸/mm		理论质量/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积/cm <sup>2</sup>	质心		惯性矩				回转半径				截面系数				
	B	b			t	Y <sub>0</sub>	X <sub>0</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>u</sub>	I <sub>v</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	r <sub>u</sub>	r <sub>v</sub>	W <sub>xmax</sub>	W <sub>xmin</sub>	W <sub>ymin</sub>	W <sub>ymin</sub>
25 × 15 × 2.0	25	15	2.0	0.566	0.721	0.897	0.370	0.463	0.131	0.524	0.070	0.801	0.426	0.852	0.312	0.516	0.289	0.354	0.116
			2.5	0.688	0.877	0.926	0.392	0.553	0.156	0.627	0.082	0.794	0.422	0.845	0.306	0.597	0.351	0.398	0.141
			3.0	0.803	1.023	0.956	0.414	0.633	0.178	0.718	0.093	0.786	0.417	0.837	0.302	0.662	0.410	0.431	0.164
30 × 20 × 2.0	30	20	2.0	0.723	0.921	1.011	0.490	0.860	0.318	1.014	0.164	0.966	0.587	1.049	0.421	0.850	0.432	0.648	0.210
			2.5	0.885	1.127	1.040	0.513	1.038	0.382	1.226	0.193	0.959	0.582	1.042	0.414	0.998	0.529	0.744	0.257
			3.0	1.039	1.323	1.068	0.536	1.201	0.441	1.421	0.220	0.952	0.577	1.036	0.408	1.123	0.621	0.823	0.301
35 × 20 × 2.0	35	20	2.0	0.802	1.021	1.230	0.452	1.314	0.332	1.461	0.185	1.134	0.570	1.195	0.426	1.068	0.579	0.734	0.214
			2.5	0.983	1.252	1.260	0.474	1.590	0.400	1.769	0.220	1.126	0.565	1.188	0.419	1.261	0.710	0.842	0.262
			3.0	1.156	1.473	1.290	0.496	1.845	0.462	2.055	0.252	1.118	0.560	1.181	0.413	1.429	0.835	0.931	0.307
40 × 25 × 2.5	40	25	2.5	1.179	1.502	1.373	0.593	2.510	0.791	2.878	0.423	1.292	0.725	1.384	0.530	1.827	0.955	1.333	0.415
			3.0	1.392	1.773	1.402	0.615	2.929	0.921	3.364	0.486	1.285	0.720	1.377	0.523	2.089	1.127	1.405	0.488
			2.5	1.473	1.877	1.706	0.674	4.962	1.419	5.597	0.783	1.625	0.869	1.726	0.645	2.907	1.506	2.103	0.610
50 × 30 × 3.0	50	30	3.0	1.745	2.223	1.735	0.696	5.822	1.660	6.576	0.907	1.618	0.864	1.719	0.638	3.354	1.783	2.382	0.720
			4.0	2.266	2.886	1.794	0.741	7.419	2.104	8.395	1.128	1.603	0.853	1.705	0.625	4.134	2.314	2.838	0.931
			2.5	1.866	2.377	1.939	0.913	9.078	3.376	10.665	1.790	1.954	1.191	2.117	0.867	4.682	2.235	3.694	1.094
60 × 40 × 3.0	60	40	3.0	2.216	2.823	1.967	0.936	10.704	3.972	12.590	2.085	1.946	1.186	2.111	0.859	5.441	2.654	4.241	1.296
			4.0	2.894	3.686	2.023	0.981	13.774	5.091	16.239	2.625	1.932	1.175	2.098	0.843	6.807	3.463	5.184	1.686
			3.0	2.452	3.123	2.402	0.861	16.301	4.142	18.092	2.351	2.284	1.151	2.406	0.867	6.785	3.545	4.810	1.319
70 × 40 × 4.0	70	40	4.0	3.208	4.086	2.461	0.905	21.038	5.317	23.381	2.973	2.268	1.140	2.391	0.853	8.546	4.635	5.872	1.718
			3.0	2.923	3.723	2.631	1.096	25.450	8.086	29.092	4.444	2.614	1.473	2.795	1.092	9.670	4.740	7.371	2.071
			4.0	3.836	4.886	2.688	1.141	33.025	10.449	37.810	5.664	2.599	1.462	2.781	1.076	12.281	6.218	9.151	2.708
100 × 60 × 3.0	100	60	3.0	3.629	4.623	3.297	1.259	49.787	14.347	56.038	8.096	3.281	1.761	3.481	1.323	15.100	7.427	11.389	3.026
			4.0	4.778	6.086	3.354	1.304	64.939	18.640	73.177	10.402	3.266	1.749	3.467	1.307	19.356	9.772	14.289	3.969
			5.0	5.895	7.510	3.412	1.349	79.365	22.707	89.566	12.536	3.251	1.738	3.453	1.291	23.263	12.053	16.830	4.882
120 × 80 × 4.0	120	80	4.0	6.034	7.686	3.822	1.782	118.259	44.089	138.750	23.598	3.922	2.394	4.248	1.752	30.940	14.460	24.737	7.090
			5.0	7.465	9.510	3.878	1.827	145.259	54.023	170.642	28.640	3.908	2.383	4.235	1.735	37.456	17.884	29.557	8.752
			6.0	8.866	11.295	3.934	1.873	171.269	63.552	201.446	33.375	3.893	2.372	4.223	1.718	43.533	21.234	33.928	10.372

注：见表 3-1-62 注。

表 3-1-64

## 冷弯等边槽钢

名 称	尺寸/mm			理论质量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	截面面积/ $\text{cm}^2$	质心/cm $X_0$	惯性矩/ $\text{cm}^4$		回转半径/cm		截面系数/ $\text{cm}^3$		
	$H$	$B$	$t$				$I_x$	$I_y$	$r_x$	$r_y$	$W_x$	$W_{Y_{\max}}$	$W_{Y_{\min}}$
20 × 10 × 1.5	20	10	1.5	0.401	0.511	0.324	0.281	0.047	0.741	0.305	0.281	0.146	0.070
20 × 10 × 2.0			2.0	0.505	0.643	0.349	0.330	0.058	0.716	0.300	0.330	0.165	0.089
20 × 10 × 2.5			2.5	0.593	0.755	0.374	0.361	0.066	0.691	0.295	0.361	0.176	0.105
30 × 10 × 1.5	30	10	1.5	0.519	0.661	0.268	0.767	0.055	1.076	0.288	0.511	0.205	0.075
30 × 10 × 2.0			2.0	0.662	0.843	0.290	0.925	0.068	1.047	0.284	0.617	0.234	0.096
30 × 10 × 2.5			2.5	0.789	1.005	0.312	1.042	0.079	1.018	0.280	0.695	0.252	0.115
30 × 30 × 3.0		30	3.0	1.843	2.347	1.186	3.317	2.114	1.188	0.949	2.211	1.782	1.165
40 × 20 × 2.0	40	20	2.0	1.133	1.443	0.599	3.388	0.556	1.532	0.621	1.694	0.929	0.397
40 × 20 × 2.5			2.5	1.378	1.755	0.624	3.987	0.665	1.507	0.615	1.993	1.065	0.483
40 × 20 × 3.0			3.0	1.607	2.047	0.649	4.498	0.762	1.482	0.610	2.249	1.175	0.564
50 × 30 × 2.0	50	30	2.0	1.604	2.043	0.922	8.093	1.872	1.990	0.957	3.237	2.029	0.901
50 × 30 × 2.5			2.5	1.967	2.505	0.948	9.684	2.266	1.966	0.951	3.873	2.388	1.104
50 × 30 × 3.0			3.0	2.314	2.947	0.975	11.119	2.632	1.942	0.944	4.447	2.699	1.299
50 × 50 × 3.0		50	3.0	3.256	4.147	1.850	17.755	10.834	2.069	1.616	7.102	5.855	3.440
60 × 30 × 2.5	60	30	2.5	2.163	2.755	0.874	14.874	2.421	2.323	0.937	4.958	2.770	1.139
60 × 30 × 3.0			3.0	2.549	3.247	0.898	17.155	2.819	2.298	0.931	5.718	3.136	1.342
80 × 40 × 2.5	80	40	2.5	2.948	3.755	1.123	37.021	5.959	3.139	1.259	9.255	5.302	2.072
80 × 40 × 3.0			3.0	3.491	4.447	1.148	43.148	6.992	3.114	1.253	10.787	6.086	2.452
80 × 40 × 4.0			4.0	4.532	5.773	1.198	54.220	8.911	3.064	1.242	13.555	7.435	3.181
100 × 50 × 3.0	100	50	3.0	4.433	5.647	1.398	87.275	14.030	3.931	1.576	17.455	10.031	3.896
100 × 50 × 4.0			4.0	5.788	7.373	1.448	111.051	18.045	3.880	1.564	22.210	12.458	5.081
120 × 60 × 3.0	120	60	3.0	5.375	6.847	1.648	154.337	24.685	4.747	1.898	25.722	14.973	5.673
120 × 60 × 4.0			4.0	7.044	8.973	1.698	197.988	31.941	4.697	1.886	32.998	18.807	7.425
140 × 60 × 3.0	140	60	3.0	5.846	7.447	1.527	220.977	25.929	5.447	1.865	31.568	16.970	5.798
140 × 60 × 4.0			4.0	7.672	9.773	1.575	284.429	33.601	5.394	1.854	40.632	21.324	7.594
140 × 60 × 5.0			5.0	9.436	12.021	1.623	343.066	40.823	5.342	1.842	49.009	25.145	9.327
160 × 60 × 3.0	160	60	3.0	6.317	8.047	1.425	302.511	26.987	6.131	1.831	37.813	18.936	5.899
160 × 60 × 4.0			4.0	8.300	10.573	1.471	390.418	35.011	6.076	1.819	48.802	23.791	7.731
160 × 60 × 5.0			5.0	10.221	13.021	1.517	472.183	42.585	6.021	1.808	59.022	28.054	9.501
160 × 80 × 3.0	160	80	3.0	7.259	9.247	2.148	376.467	59.842	6.380	2.543	47.058	27.851	10.227
160 × 80 × 4.0			4.0	9.556	12.173	2.198	487.783	78.018	6.330	2.531	60.972	35.491	13.447
160 × 80 × 5.0			5.0	11.791	15.021	2.247	592.350	95.354	6.279	2.519	74.043	42.419	16.577
180 × 80 × 4.0	180	80	4.0	10.184	12.973	2.075	641.478	81.026	7.031	2.499	71.275	39.048	13.675
180 × 80 × 5.0			5.0	12.576	16.021	2.123	780.509	99.118	6.979	2.487	86.723	46.683	16.865
200 × 80 × 4.0	200	80	4.0	10.812	13.773	1.966	821.120	83.686	7.721	2.464	82.112	42.564	13.869
200 × 80 × 5.0			5.0	13.361	17.021	2.013	1000.710	102.441	7.667	2.453	100.071	50.886	17.111
200 × 80 × 6.0			6.0	15.849	20.190	2.060	1170.516	120.388	7.614	2.441	117.051	58.436	20.267

注：见表 3-1-62 注。

冷弯不等边槽钢

表 3-1-65

名称	尺寸/mm			理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 /cm <sup>2</sup>	质心 /cm		惯性矩 /cm <sup>4</sup>				回转半径 /cm				截面系数 /cm <sup>3</sup>				
	H	B	t			X <sub>0</sub>	Y <sub>0</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>u</sub>	I <sub>v</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	r <sub>u</sub>	r <sub>v</sub>	W <sub>xmax</sub>	W <sub>xmin</sub>	W <sub>ymin</sub>	W <sub>ymin</sub>	
H × B × b × t																				
30 × 20 × 10 × 3.0	30	20	10		1.180	1.504	0.566	1.769	1.641	0.438	1.750	0.329	1.044	0.540	1.078	0.468	1.333	0.927	0.774	0.305
40 × 32 × 20 × 3.0	40		3.0		1.934	2.464	0.926	2.270	5.714	1.992	6.023	1.683	1.522	0.899	1.563	0.826	3.303	2.517	2.150	0.876
50 × 32 × 20 × 2.5		32	2.5		1.840	2.344	0.817	2.803	8.536	1.853	8.769	1.619	1.908	0.889	1.934	0.831	3.887	3.044	2.266	0.777
50 × 32 × 20 × 3.0	50		3.0		2.169	2.764	0.842	2.806	9.804	2.155	10.083	1.876	1.883	0.883	1.909	0.823	4.468	3.494	2.559	0.914
50 × 50 × 32 × 2.5		50	2.5		2.429	3.094	1.467	2.845	12.618	6.504	13.715	5.406	2.019	1.449	2.105	1.321	5.856	4.434	4.431	1.841
60 × 32 × 25 × 2.5	60	32	25		2.134	2.719	0.819	3.185	14.456	2.233	14.541	2.148	2.305	0.906	2.312	0.888	5.135	4.538	2.724	0.938
60 × 32 × 25 × 3.0		32	3.0		2.523	3.214	0.843	3.186	16.722	2.602	16.823	2.500	2.280	0.899	2.287	0.882	5.942	5.248	3.086	1.104
75 × 30 × 15 × 2.5	75	30	2.5		2.193	2.794	0.580	4.236	20.169	1.626	20.443	1.352	2.686	0.762	2.704	0.695	6.180	4.760	2.803	0.672
75 × 30 × 15 × 3.0		30	3.0		2.593	3.304	0.602	4.240	23.342	1.898	23.669	1.571	2.657	0.757	2.676	0.689	7.160	5.504	3.149	0.791
70 × 45 × 15 × 3.0	70	45			2.829	3.604	1.014	4.336	22.870	5.797	24.759	3.907	2.519	1.268	2.621	1.041	8.586	5.273	5.713	1.663
70 × 65 × 35 × 2.5		65	2.5		3.174	4.044	1.733	4.126	31.666	14.335	34.978	11.023	2.798	1.882	2.940	1.650	11.017	7.675	8.268	3.007
80 × 40 × 20 × 2.5	80	40	20		2.586	3.294	0.828	4.588	28.922	3.775	29.607	3.090	2.962	1.070	2.997	0.968	8.476	6.303	4.555	1.190
80 × 40 × 20 × 3.0		40	3.0		3.064	3.904	0.852	4.591	33.654	4.431	34.473	3.611	2.936	1.065	2.971	0.961	9.874	7.329	5.200	1.407
100 × 60 × 30 × 3.0	100	60	30		4.242	5.404	1.356	5.807	77.936	14.880	80.845	11.970	3.797	1.659	3.867	1.488	18.590	13.419	11.220	3.183
150 × 60 × 50 × 3.0	150	60	50		5.890	7.504	1.304	7.793	245.876	21.452	246.257	21.071	5.724	1.690	5.728	1.675	34.120	31.547	16.440	4.569

注：见表 3-1-62 注。

表 3-1-66

冷弯内卷边槽钢

名称	尺寸/mm				理论质量/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积/cm <sup>2</sup>	质心/cm X <sub>0</sub>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		回转半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>			
	H	B	C	t				I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>ymax</sub>	W <sub>ymin</sub>	
40 × 40 × 9 × 2.5	40	40	9	2.5	2.323	2.960	1.651	7.753	5.679	1.618	1.385	3.876	3.438	2.418	
60 × 30 × 10 × 2.5	60	30	10		2.363	3.010	1.043	16.009	3.353	2.306	1.055	5.336	3.214	1.713	
60 × 30 × 10 × 3.0				3.0	2.743	3.495	1.036	18.077	3.688	2.274	1.027	6.025	3.559	1.878	
60 × 30 × 15 × 2.5			15	2.5	2.559	3.260	1.183	16.780	4.129	2.268	1.125	5.593	3.488	2.273	
60 × 30 × 15 × 3.0				3.0	2.979	3.795	1.179	19.002	4.599	2.237	1.100	6.334	3.898	2.527	
80 × 40 × 15 × 2.5			80	40	2.5	3.344	4.260	1.449	41.397	9.326	3.117	1.479	10.349	6.432	3.657
80 × 40 × 15 × 3.0					3.0	3.921	4.995	1.444	47.579	10.342	3.086	1.452	11.894	7.298	4.125
80 × 50 × 25 × 2.5	80	50	2.5	4.129	5.260	2.161	50.950	20.178	3.112	1.958	12.737	9.335	7.108		
80 × 50 × 25 × 3.0			3.0	4.863	6.195	2.158	58.927	23.175	3.084	1.934	14.731	10.736	8.156		
100 × 50 × 20 × 2.5	100	50	2.5	4.325	5.510	1.853	84.932	19.889	3.925	1.899	16.986	10.730	6.321		
100 × 50 × 20 × 3.0			3.0	5.098	6.495	1.848	98.560	22.802	3.895	1.873	19.712	12.333	7.235		
100 × 60 × 20 × 2.5	100	60	2.5	4.718	6.010	2.282	96.818	30.790	4.013	2.263	19.363	13.489	8.282		
100 × 60 × 20 × 3.0			3.0	5.569	7.095	2.276	112.678	35.480	3.985	2.236	22.535	15.582	9.530		
120 × 50 × 20 × 2.5	120	50	2.5	4.718	6.010	1.709	130.706	21.261	4.663	1.880	21.784	12.435	6.461		
120 × 50 × 20 × 3.0			3.0	5.569	7.095	1.705	152.109	24.391	4.630	1.854	25.351	14.305	7.402		
120 × 60 × 20 × 2.5	120	60	2.5	5.110	6.510	2.116	147.967	32.941	4.767	2.249	24.661	15.561	8.483		
120 × 60 × 20 × 3.0			3.0	6.040	7.695	2.111	172.647	37.987	4.736	2.221	28.774	17.994	9.768		
140 × 50 × 20 × 2.5	140	50	2.5	5.110	6.510	1.588	188.502	22.423	5.380	1.855	26.928	14.120	6.572		
140 × 50 × 20 × 3.0			3.0	6.040	7.695	1.583	219.848	25.733	5.345	1.828	31.406	16.247	7.532		
140 × 60 × 20 × 2.5	140	60	2.5	5.503	7.010	1.974	212.137	34.786	5.500	2.227	30.305	17.615	8.642		
140 × 60 × 20 × 3.0			3.0	6.511	8.295	1.969	248.006	40.132	5.467	2.199	35.429	20.379	9.956		
160 × 60 × 20 × 3.0	160	70	3.0	6.982	8.895	1.846	339.955	41.989	6.182	2.172	42.494	22.739	10.109		
160 × 70 × 20 × 3.0			7.453	9.495	2.229	376.933	61.266	6.300	2.540	47.116	27.475	12.843			
180 × 60 × 20 × 3.0	180	60	3.0	7.453	9.495	1.739	449.695	43.611	6.881	2.143	49.966	25.073	10.235		
180 × 70 × 20 × 3.0			7.924	10.095	2.106	496.693	63.712	7.014	2.512	55.188	30.248	13.019			
200 × 60 × 20 × 3.0	200	60	3.0	7.924	10.095	1.644	578.425	45.041	7.569	2.112	57.842	27.382	10.342		
200 × 70 × 20 × 3.0			7.0	8.395	10.695	1.996	663.643	65.883	7.715	2.481	63.664	32.999	13.167		
250 × 40 × 15 × 3.0	250	40	15	3.0	7.924	10.095	0.790	773.495	14.809	8.753	1.211	61.879	18.734	4.614	
300 × 40 × 15 × 3.0	300			9.102	11.595	0.707	1231.616	15.356	10.306	1.150	82.107	21.700	4.664		
400 × 50 × 15 × 3.0	400	50	15	3.0	11.928	15.195	0.783	2837.843	28.888	13.666	1.378	141.892	36.879	6.851	
400 × 160 × 50 × 3.0				18.85	24.01	5.06	6073.68	884.54	15.91	6.07	303.68	80.83	80.83		
400 × 160 × 50 × 5.0	400	50	5.0	3.0	30.90	39.36	5.05	9805.18	1299.94	15.79	5.96	490.25	127.80	127.80	
400 × 160 × 60 × 4.0				60	25.33	32.27	5.29	8028.19	1219.71	15.77	6.15	401.41	113.92	113.92	
550 × 65 × 30 × 4.0	550	60	30	4.0	22.41	28.55	1.16	10258.72	110.32	18.96	1.97	373.04	20.64	20.64	

注：见表 3-1-60 注。

表 3-1-67

冷弯外卷边槽钢

名称	尺寸/mm				理论质量/ kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 /cm <sup>2</sup>	质心 /cm X <sub>0</sub>	惯性矩 /cm <sup>4</sup>		回转半径 /cm		截面系数 /cm <sup>3</sup>		
	H	B	C	t				I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>ymax</sub>	W <sub>ymin</sub>
30×30×16×2.5	30	30	16	2.5	2.009	2.560	1.526	6.010	3.126	1.532	1.105	2.109	2.047	2.122
50×20×15×3	50	20	15	3.0	2.272	2.895	0.823	13.863	1.539	2.188	0.729	3.746	1.869	1.309
60×25×32×2.5	60	25	32	2.5	3.030	3.860	1.279	42.431	3.959	3.315	1.012	7.131	3.095	3.243
60×25×32×3.0	60	25	32	3.0	3.544	4.515	1.279	49.003	4.433	3.294	0.991	8.305	3.469	3.635
80×40×20×4.0	80	40	20	4.0	5.296	6.746	1.573	79.594	14.537	3.434	1.467	14.213	9.241	5.900
100×30×15×3.0	100	30	15	3.0	3.921	4.995	0.932	77.669	5.575	3.943	1.056	12.527	5.979	2.696

注：见表 3-1-62 注。

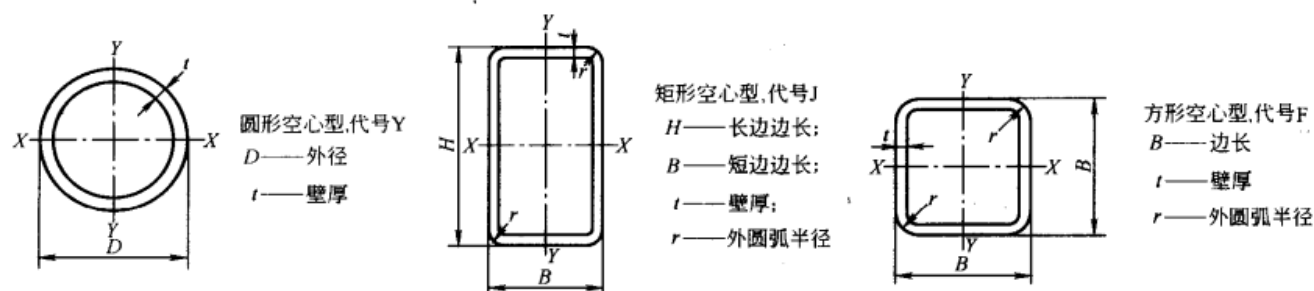
表 3-1-68

冷弯卷边 Z 形钢

尺寸 /mm				理论质量/ kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 /cm <sup>2</sup>	惯性矩 /cm <sup>4</sup>				回转半径 /cm	惯性积矩 /cm <sup>4</sup>	截面系数 /cm <sup>3</sup>		角度 tanα
H	B	C	t			I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>U</sub>	I <sub>V</sub>			r <sub>v</sub>	I <sub>xy</sub>	
100	40		2.0	3.208	4.086	60.618	17.202	71.373	6.448	1.256	24.136	12.123	4.410	0.445
			2.5	3.933	5.010	73.047	20.324	85.730	7.641	1.234	28.802	14.609	5.245	0.440
120	50	20	2.0	3.836	4.886	107.771	30.512	127.005	11.278	1.519	43.080	17.961	6.227	0.446
			2.5	4.718	6.010	130.706	36.356	153.591	13.471	1.497	51.796	21.784	7.457	0.441
			3.0	5.569	7.095	152.109	41.549	178.223	15.435	1.474	59.741	25.351	8.566	0.437
140	50		2.5	5.110	6.510	188.502	36.358	210.140	14.720	1.503	61.321	26.928	7.458	0.352
			3.0	6.040	7.695	219.848	41.554	244.527	16.875	1.480	70.775	31.406	8.567	0.348
160	60		2.5	5.895	7.510	290.329	58.775	325.645	23.459	1.767	97.081	36.291	10.004	0.363
			3.0	6.982	8.895	339.955	67.592	380.502	27.045	1.743	112.638	42.494	11.554	0.359
		20	2.5	6.288	8.010	321.339	88.575	377.406	32.509	2.014	127.254	40.167	12.883	0.440
			3.0	7.453	9.495	376.933	102.341	441.644	37.630	1.990	148.177	47.116	14.940	0.436
180	70		2.5	6.680	8.510	422.926	88.578	476.503	35.002	2.028	144.165	46.991	12.884	0.371
			3.0	7.924	10.095	496.693	102.345	558.511	40.527	2.003	167.926	55.188	14.940	0.368
200			2.5	7.073	9.010	541.535	88.581	592.974	37.142	2.030	161.075	54.153	12.884	0.319
			3.0	8.395	10.695	636.643	102.350	695.976	43.016	2.005	187.675	63.664	14.941	0.316
230			3.0	9.573	12.195	951.373	138.928	1030.579	59.722	2.212	265.752	82.728	18.901	0.298
			4.0	12.518	15.946	1222.685	173.031	1320.991	74.725	2.164	335.933	106.320	23.703	0.292
250	75	25	3.0	10.044	12.795	1160.008	138.933	1236.730	62.211	2.205	290.214	92.800	18.902	0.264
			4.0	13.146	16.746	1492.957	173.042	1588.130	77.869	2.156	366.984	119.436	23.704	0.259

注：见表 3-1-62 注。

## 结构用冷弯空心型钢 (摘自 GB/T 6728—2002)



## 冷弯型钢弯角外圆弧半径

厚度 $t/\text{mm}$	弯角外圆弧半径 $r$		厚度 $t/\text{mm}$	弯角外圆弧半径 $r$	
	碳素钢 ( $\sigma_s \leq 320\text{MPa}$ )	低合金钢 ( $\sigma_s > 320\text{MPa}$ )		碳素钢 ( $\sigma_s \leq 320\text{MPa}$ )	低合金钢 ( $\sigma_s > 320\text{MPa}$ )
$t \leq 3$	$(1.0 \sim 2.5)t$	$(1.5 \sim 2.5)t$	$6 < t \leq 10$	$(2.0 \sim 3.0)t$	$(2.0 \sim 3.5)t$
$3 < t \leq 6$	$(1.5 \sim 2.5)t$	$(2.0 \sim 3.0)t$	$t > 10$	$(2.0 \sim 3.5)t$	$(2.5 \sim 4.0)t$

注:  $\sigma_s$  值指标准中规定的最低值。

表 3-1-69

圆形冷弯空心型钢

外径 $D$ /mm	允许偏差 /mm	壁厚 $t$ /mm	理论质量 $M/\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	截面面积 $A/\text{cm}^2$	惯性矩 $I/\text{cm}^4$	惯性半径 $R/\text{cm}$	弹性模数 $Z/\text{cm}^3$	塑性模数 $S/\text{cm}^3$	扭转常数		每米长度表 面积 $A_s/\text{m}^2$
									$J/\text{cm}^4$	$C/\text{cm}^3$	
21.3 (21.3)	$\pm 0.50$	1.2	0.59	0.76	0.38	0.712	0.36	0.49	0.77	0.72	0.067
		1.5	0.73	0.93	0.46	0.702	0.43	0.59	0.92	0.86	0.067
		1.75	0.84	1.07	0.52	0.694	0.49	0.67	1.04	0.97	0.067
		2.0	0.95	1.21	0.57	0.686	0.54	0.75	1.14	1.07	0.067
		2.5	1.16	1.48	0.66	0.671	0.62	0.89	1.33	1.25	0.067
		3.0	1.35	1.72	0.74	0.655	0.70	1.01	1.48	1.39	0.067
26.8 (26.9)	$\pm 0.50$	1.2	0.76	0.97	0.79	0.906	0.59	0.79	1.58	1.18	0.084
		1.5	0.94	1.19	0.96	0.896	0.71	0.96	1.91	1.43	0.084
		1.75	1.08	1.38	1.09	0.888	0.81	1.10	2.17	1.62	0.084
		2.0	1.22	1.56	1.21	0.879	0.90	1.23	2.41	1.80	0.084
		2.5	1.50	1.91	1.42	0.864	1.06	1.48	2.85	2.12	0.084
		3.0	1.76	2.24	1.61	0.848	1.20	1.71	3.23	2.41	0.084
33.5 (33.7)	$\pm 0.50$	1.5	1.18	1.51	1.93	1.132	1.15	1.54	3.87	2.31	0.105
		2.0	1.55	1.98	2.46	1.116	1.47	1.99	4.93	2.94	0.105
		2.5	1.91	2.43	2.94	1.099	1.76	2.41	5.89	3.51	0.105
		3.0	2.26	2.87	3.37	1.084	2.01	2.80	6.75	4.03	0.105
		3.5	2.59	3.29	3.76	1.068	2.24	3.16	7.52	4.49	0.105
		4.0	2.91	3.71	4.11	1.053	2.45	3.50	8.21	4.90	0.105
42.3 (42.4)	$\pm 0.50$	1.5	1.51	1.92	4.01	1.443	1.89	2.50	8.01	3.79	0.133
		2.0	1.99	2.53	5.15	1.427	2.44	3.25	10.31	4.87	0.133
		2.5	2.45	3.13	6.21	1.410	2.94	3.97	12.43	5.88	0.133
		3.0	2.91	3.70	7.19	1.394	3.40	4.64	14.39	6.80	0.133
		4.0	3.78	4.81	8.92	1.361	4.22	5.89	17.84	8.44	0.133
48 (48.3)	$\pm 0.50$	1.5	1.72	2.19	5.93	1.645	2.47	3.24	11.86	4.94	0.151
		2.0	2.27	2.89	7.66	1.628	3.19	4.23	15.32	6.38	0.151
		2.5	2.81	3.57	9.28	1.611	3.86	5.18	18.55	7.73	0.151
		3.0	3.33	4.24	10.78	1.594	4.49	6.08	21.57	9.89	0.151
		4.0	4.34	5.53	13.49	1.562	5.62	7.77	26.98	11.24	0.151
		5.0	5.30	6.75	15.82	1.530	6.59	9.29	31.65	13.18	0.151

续表

外径 D /mm	允许偏差 /mm	壁厚 t /mm	理论质量 M/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 A/cm <sup>2</sup>	惯性矩 I/cm <sup>4</sup>	惯性半径 R/cm	弹性模数 Z/cm <sup>3</sup>	塑性模数 S/cm <sup>3</sup>	扭转常数		每米长度表 面积 A <sub>s</sub> /m <sup>2</sup>
									J/cm <sup>4</sup>	C/cm <sup>3</sup>	
60 (60.3)	±0.60	2.0	2.86	3.64	15.34	2.052	5.11	6.73	30.68	10.23	0.188
		2.5	3.55	4.52	18.70	2.035	6.23	8.27	37.40	12.47	0.188
		3.0	4.22	5.37	21.88	2.018	7.29	9.76	43.76	14.58	0.188
		4.0	5.52	7.04	27.73	1.985	9.24	12.56	55.45	18.48	0.188
		5.0	6.78	8.64	32.94	1.953	10.98	15.17	65.88	21.96	0.188
75.5 (76.1)	±0.76	2.5	4.50	5.73	38.24	2.582	10.13	13.33	76.47	20.26	0.237
		3.0	5.36	6.83	44.97	2.565	11.91	15.78	89.84	23.82	0.237
		4.0	7.05	8.98	57.59	2.531	15.26	20.47	115.19	30.51	0.237
		5.0	8.69	11.07	69.15	2.499	18.32	24.89	138.29	36.63	0.237
88.5 (88.9)	±0.90	3.0	6.33	8.06	73.73	3.025	16.66	21.94	147.45	33.32	0.278
		4.0	8.34	10.62	94.99	2.991	21.46	28.58	189.97	42.93	0.278
		5.0	10.30	13.12	114.72	2.957	25.93	34.90	229.44	51.85	0.278
		6.0	12.21	15.55	133.00	2.925	30.06	40.91	266.01	60.11	0.278
114 (114.3)	±1.15	4.0	10.85	13.82	209.35	3.892	36.73	48.42	418.70	73.46	0.358
		5.0	13.44	17.12	254.81	3.858	44.70	59.45	509.61	89.41	0.358
		6.0	15.98	20.36	297.73	3.824	52.23	70.06	595.46	104.47	0.358
140 (139.7)	±1.40	4.0	13.42	17.09	395.47	4.810	56.50	74.01	790.94	112.99	0.440
		5.0	16.65	21.21	483.76	4.776	69.11	91.17	967.52	138.22	0.440
		6.0	19.83	25.26	568.03	4.742	85.15	107.81	1136.13	162.30	0.440
165 (168.3)	±1.65	4.0	15.88	20.23	655.94	5.69	79.51	103.71	1311.69	159.02	0.518
		5.0	19.73	25.13	805.04	5.66	97.58	128.04	1610.07	195.16	0.518
		6.0	23.53	29.97	948.47	5.63	114.97	151.76	1896.93	229.93	0.518
		8.0	30.97	39.46	1218.92	5.56	147.75	197.36	2437.84	295.50	0.518
219.1 (219.1)	±2.20	5.0	26.40	33.60	1928	7.57	176	229	3856	352	0.688
		6.0	31.53	40.17	2282	7.54	208	273	4564	417	0.688
		8.0	41.60	53.10	2960	7.47	270	357	5919	540	0.688
		10.0	51.60	65.70	3598	7.40	328	438	7197	657	0.688
273 (273)	±2.75	5.0	33.0	42.1	3781	9.48	277	359	7562	554	0.858
		6.0	39.5	50.3	4487	9.44	329	428	8974	657	0.858
		8.0	52.3	66.6	5852	9.37	429	562	11700	857	0.858
		10.0	64.9	82.6	7154	9.31	524	692	14310	1048	0.858
325 (323.9)	±3.25	5.0	39.5	50.3	6436	11.32	396	512	12871	792	1.12
		6.0	47.2	60.1	7651	11.28	471	611	15303	942	1.12
		8.0	62.5	79.7	10014	11.21	616	804	20028	1232	1.12
		10.0	77.7	99.0	12287	11.14	756	99.3	24573	1512	1.12
		12.0	92.6	118.0	14472	11.07	891	1176	28943	1781	1.12
355.6 (355.6)	±3.55	6.0	51.7	65.9	10071	12.4	566	733	20141	1133	1.20
		8.0	68.6	87.4	13200	12.3	742	967	26400	1485	1.20
		10.0	85.2	109.0	16220	12.2	912	1195	32450	1825	1.20
		12.0	101.7	130.0	19140	12.2	1076	1417	38279	2153	1.20
406.4 (406.4)	±4.10	8.0	78.6	100	19870	14.1	978	1270	39750	1956	1.28
		10.0	97.8	125	24480	14.0	1205	1572	48950	2409	1.28
		12.0	116.7	149	28937	14.0	1424	1867	57874	2848	1.28
458 (457)	±4.60	8.0	88.6	113	28450	15.9	1245	1613	56890	2490	1.44
		10.0	110.0	140	35090	15.8	1536	1998	70180	3071	1.44
		12.0	131.7	168	41556	15.7	1819	2377	83113	3637	1.44
508 (508)	±5.10	8.0	98.6	126	39280	17.7	1546	2000	78560	3093	1.60
		10.0	123.0	156	48520	17.6	1910	2480	97040	3621	1.60
		12.0	146.8	187	57536	17.5	2265	2953	115072	4530	1.60
610	±6.10	8.0	118.8	151	68552	21.3	2248	2899	137103	4495	1.92
		10.0	148.0	189	84847	21.2	2781	3600	169694	5564	1.92
		12.5	184.2	235	104755	21.1	3435	4463	209510	6869	1.92
		16.0	234.4	299	131782	21.0	4321	5647	263563	8641	1.92

注：1. 括号内为 ISO 4019 所列规格。

2. 见表 3-1-62 注 1、注 2。

3. 冷弯空心型钢用钢带冷弯后焊接而成的。焊缝处不得有开焊、搭焊、烧穿及错位等缺陷。

4. 冷弯空心型钢以冷加工状态交货，通常长度为 4~12m。

表 3-1-70

方形冷弯空心型钢

边长 $B/\text{mm}$	允许偏差 $/\text{mm}$	壁厚 $t/\text{mm}$	理论质量 $M/\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$	截面面积 $A/\text{cm}^2$	惯性矩 $I_x = I_y/\text{cm}^4$	惯性半径 $R_x = R_y/\text{cm}$	截面系数 $W_x = W_y/\text{cm}^3$	扭转常数	
								$I_t/\text{cm}^4$	$C_t/\text{cm}^3$
20	$\pm 0.50$	1.2	0.679	0.865	0.498	0.759	0.498	0.823	0.75
		1.5	0.826	1.052	0.583	0.744	0.583	0.985	0.88
		1.75	0.941	1.199	0.642	0.732	0.642	1.106	0.98
		2.0	1.050	1.340	0.692	0.720	0.692	1.215	1.06
25	$\pm 0.50$	1.2	0.867	1.105	1.025	0.963	0.820	1.655	1.24
		1.5	1.061	1.352	1.216	0.948	0.973	1.998	1.47
		1.75	1.215	1.548	1.357	0.936	1.086	2.261	1.65
		2.0	1.363	1.736	1.482	0.923	1.186	2.502	1.80
30	$\pm 0.50$	1.5	1.296	1.652	2.195	1.152	1.463	3.555	2.21
		1.75	1.490	1.898	2.470	1.140	1.646	4.048	2.49
		2.0	1.677	2.136	2.721	1.128	1.814	4.511	2.75
		2.5	2.032	2.589	3.154	1.103	2.102	5.347	3.20
		3.0	2.361	3.008	3.500	1.078	2.333	6.060	3.58
40	$\pm 0.50$	1.5	1.767	2.525	5.489	1.561	2.744	8.728	4.13
		1.75	2.039	2.598	6.237	1.549	3.118	10.009	4.69
		2.0	2.305	2.936	6.939	1.537	3.469	11.238	5.23
		2.5	2.817	3.589	8.213	1.512	4.106	13.539	6.21
		3.0	3.303	4.208	9.320	1.488	4.660	15.628	7.07
		4.0	4.198	5.347	11.064	1.438	5.532	19.152	8.48
50	$\pm 0.50$	1.5	2.238	2.852	11.065	1.969	4.426	17.395	6.65
		1.75	2.589	3.298	12.641	1.957	5.056	20.025	7.60
		2.0	2.933	3.736	14.146	1.945	5.658	22.578	8.51
		2.5	3.602	4.589	16.941	1.921	6.776	27.436	10.22
		3.0	4.245	5.408	19.463	1.897	7.785	31.972	11.77
		4.0	5.454	6.947	23.725	1.847	9.490	40.047	14.43
60	$\pm 0.60$	2.0	3.560	4.540	25.120	2.350	8.380	39.810	12.60
		2.5	4.387	5.589	30.340	2.329	10.113	48.539	15.22
		3.0	5.187	6.608	35.130	2.305	11.710	56.892	17.65
		4.0	6.710	8.547	43.539	2.256	14.513	72.188	21.97
		5.0	8.129	10.356	50.468	2.207	16.822	85.560	25.61
70	$\pm 0.65$	2.5	5.170	6.590	49.400	2.740	14.100	78.500	21.20
		3.0	6.129	7.808	57.522	2.714	16.434	92.188	24.74
		4.0	7.966	10.147	72.108	2.665	20.602	117.975	31.11
		5.0	9.699	12.356	84.602	2.616	24.172	141.183	36.65
80	$\pm 0.70$	2.5	5.957	7.589	75.147	3.147	18.787	118.520	28.22
		3.0	7.071	9.008	87.838	3.122	21.959	139.660	33.02
		4.0	9.222	11.747	111.031	3.074	27.757	179.808	41.84
		5.0	11.269	14.356	131.414	3.025	32.853	216.628	49.68
90	$\pm 0.75$	3.0	8.013	10.208	127.277	3.531	28.283	201.108	42.51
		4.0	10.478	13.347	161.907	3.482	35.979	260.088	54.17
		5.0	12.839	16.356	192.903	3.434	42.867	314.896	64.71
		6.0	15.097	19.232	220.420	3.385	48.982	365.452	74.16
100	$\pm 0.80$	4.0	11.734	11.947	226.337	3.891	45.267	361.213	68.10
		5.0	14.409	13.356	271.071	3.842	54.214	438.986	81.72
		6.0	16.981	21.632	311.415	3.794	62.283	511.558	94.12
110	$\pm 0.90$	4.0	12.990	16.548	305.940	4.300	55.625	486.47	83.63
		5.0	15.980	20.356	367.950	4.252	66.900	593.60	100.74
		6.0	18.866	24.033	424.570	4.203	77.194	694.85	116.47



续表

边长 B/mm	允许偏差 /mm	壁厚 t/mm	理论质量 M/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 A/cm <sup>2</sup>	惯性矩 I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> /cm <sup>4</sup>	惯性半径 R <sub>x</sub> = R <sub>y</sub> /cm	截面系数 W <sub>x</sub> = W <sub>y</sub> /cm <sup>3</sup>	扭转常数	
								I <sub>t</sub> /cm <sup>4</sup>	C <sub>t</sub> /cm <sup>3</sup>
120	±0.90	4.0	14.246	18.147	402.260	4.708	67.043	635.603	100.75
		5.0	17.549	22.356	485.441	4.659	80.906	776.632	121.75
		6.0	20.749	26.432	562.094	4.611	93.683	910.281	141.22
		8.0	26.840	34.191	696.639	4.513	116.106	1155.010	174.58
130	±1.00	4.0	15.502	19.748	516.970	5.117	79.534	814.72	119.48
		5.0	19.120	24.356	625.680	5.068	96.258	998.22	144.77
		6.0	22.634	28.833	726.640	5.020	111.79	1173.6	168.36
		8.0	28.921	36.842	882.860	4.895	135.82	1502.1	209.54
140	±1.10	4.0	16.758	21.347	651.598	5.524	53.085	1022.176	139.8
		5.0	20.689	26.356	790.523	5.476	112.931	1253.565	169.78
		6.0	24.517	31.232	920.359	5.428	131.479	1475.020	197.9
		8.0	31.864	40.591	1153.735	5.331	164.819	1887.605	247.69
150	±1.20	4.0	18.014	22.948	807.82	5.933	107.71	1264.8	161.73
		5.0	22.260	28.356	982.12	5.885	130.95	1554.1	196.79
		6.0	26.402	33.633	1145.9	5.837	152.79	1832.7	229.84
		8.0	33.945	43.242	1411.8	5.714	188.25	2364.1	289.03
160	±1.20	4.0	19.270	24.547	987.152	6.341	123.394	1540.134	185.25
		5.0	23.829	30.356	1202.317	6.293	150.289	1893.787	225.79
		6.0	28.285	36.032	1405.408	6.245	175.676	2234.573	264.18
		8.0	36.888	46.991	1776.496	6.148	222.062	2876.940	333.56
170	±1.30	4.0	20.526	26.148	1191.3	6.750	140.15	1855.8	210.37
		5.0	25.400	32.356	1453.3	6.702	170.97	2285.3	256.80
		6.0	30.170	38.433	1701.6	6.654	200.18	2701.0	300.91
		8.0	38.969	49.642	2118.2	6.532	249.20	3503.1	381.28
180	±1.40	4.0	21.80	27.70	1422	7.16	158	2210	237
		5.0	27.00	34.40	1737	7.11	193	2724	290
		6.0	32.10	40.80	2037	7.06	226	3223	340
		8.0	41.50	52.80	2546	6.94	283	4189	432
190	±1.50	4.0	23.00	29.30	1680	7.57	176	2607	265
		5.0	28.50	36.40	2055	7.52	216	3216	325
		6.0	33.90	43.20	2413	7.47	254	3807	381
		8.0	44.00	56.00	3208	7.35	319	4958	486
200	±1.60	4.0	24.30	30.90	1968	7.97	197	3049	295
		5.0	30.10	38.40	2410	7.93	241	3763	362
		6.0	35.80	45.60	2833	7.88	283	4459	426
		8.0	46.50	59.20	3566	7.76	357	5815	544
		10.0	57.00	72.60	4251	7.65	425	7072	651
220	±1.80	5.0	33.2	42.4	3238	8.74	294	5038	442
		6.0	39.6	50.4	3813	8.70	347	5976	521
		8.0	51.5	65.6	4828	8.58	439	7815	668
		10.0	63.2	80.6	5782	8.47	526	9533	804
		12.0	73.5	93.7	6487	8.32	590	11149	922
250	±2.00	5.0	38.0	48.4	4805	9.97	384	7443	577
		6.0	45.2	57.6	5672	9.92	454	8843	681
		8.0	59.1	75.2	7299	9.80	578	11598	878
		10.0	72.7	92.6	8707	9.70	697	14197	1062
		12.0	84.8	108.0	9859	9.55	789	16691	1226

续表

边长 B/mm	允许偏差 /mm	壁厚 t/mm	理论质量 M/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 A/cm <sup>2</sup>	惯性矩 I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> /cm <sup>4</sup>	惯性半径 R <sub>x</sub> = R <sub>y</sub> /cm	截面系数 W <sub>x</sub> = W <sub>y</sub> /cm <sup>3</sup>	扭转常数	
								I <sub>t</sub> /cm <sup>4</sup>	C <sub>t</sub> /cm <sup>3</sup>
280	±2.20	5.0	42.7	54.4	6810	11.2	486	10513	730
		6.0	50.9	64.8	8054	11.1	575	12504	863
		8.0	66.6	84.8	10317	11.0	737	16436	1117
		10.0	82.1	104.6	12479	10.9	891	20173	1356
		12.0	96.1	122.5	14232	10.8	1017	23804	1574
300	±2.40	6.0	54.7	69.6	9964	12.0	664	15434	997
		8.0	71.6	91.2	12801	11.8	853	20312	1293
		10.0	88.4	113.0	15519	11.7	1035	24966	1572
		12.0	104.0	132.0	17767	11.6	1184	29514	1829
350	±2.80	6.0	64.1	81.6	16008	14.0	915	24683	1372
		8.0	84.2	107.0	20618	13.9	1182	32557	1787
		10.0	104.0	133.0	25189	13.8	1439	40127	2182
		12.0	123.0	156.0	29054	13.6	1660	47598	2552
400	±3.20	8.0	96.7	123.0	31269	15.9	1564	48934	2362
		10.0	120	153.0	38216	15.8	1911	60431	2892
		12.0	141	180.0	44319	15.7	2216	71843	3395
		14.0	163	208.0	50414	15.6	2521	82735	3877
450	±3.60	8.0	109	139	44966	18.0	1999	70043	3016
		10.0	135	173	55100	17.9	2449	86629	3702
		12.0	160	204	64164	17.7	2851	103150	4357
		14.0	185	236	73210	17.6	3254	119000	4989
500	±4.00	8.0	122	155	62172	20.0	2487	96483	3750
		10.0	151	193	76341	19.9	3054	119470	4612
		12.0	179	228	89187	19.8	3568	142420	5440
		14.0	207	264	102010	19.7	4080	164530	6241
		16.0	235	299	114260	19.6	4570	186140	7013

注：同表 3-1-69 注 2、注 3、注 4。

表 3-1-71

矩形冷弯空心型钢

边长/mm		允许偏差/mm	壁厚 t/mm	理论质量 M/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 A/cm <sup>2</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>		扭转常数	
H	B					I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	I <sub>t</sub> /cm <sup>4</sup>	C <sub>t</sub> /cm <sup>3</sup>
30	20	±0.50	1.5	1.06	1.35	1.59	0.84	1.08	0.788	1.06	0.84	1.83	1.40
			1.75	1.22	1.55	1.77	0.93	1.07	0.777	1.18	0.93	2.07	1.56
			2.0	1.36	1.74	1.94	1.02	1.06	0.765	1.29	1.02	2.29	1.71
			2.5	1.64	2.09	2.21	1.15	1.03	0.742	1.47	1.15	2.68	1.95
40	20	±0.50	1.5	1.30	1.65	3.27	1.10	1.41	0.815	1.63	1.10	2.74	1.91
			1.75	1.49	1.90	3.68	1.22	1.39	0.804	1.84	1.23	3.11	2.14
			2.0	1.68	2.14	4.05	1.34	1.38	0.793	2.02	1.34	3.45	2.36
			2.5	2.03	2.59	4.69	1.54	1.35	0.770	2.35	1.54	4.06	2.72
			3.0	2.36	3.01	5.21	1.68	1.32	0.748	2.60	1.68	4.57	3.00
40	25	±0.50	1.5	1.41	1.80	3.82	1.84	1.46	1.010	1.91	1.47	4.06	2.46
			1.75	1.63	2.07	4.32	2.07	1.44	0.999	2.16	1.66	4.63	2.78
			2.0	1.83	2.34	4.77	2.28	1.43	0.988	2.39	1.82	5.17	3.07
			2.5	2.23	2.84	5.57	2.64	1.40	0.965	2.79	2.11	6.15	3.59
			3.0	2.60	3.31	6.24	2.94	1.37	0.942	3.12	2.35	7.00	4.01

边长/mm		允许偏差/mm	壁厚 t/mm	理论质量 M/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 A/cm <sup>2</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>		扭转常数	
H	B					I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	I <sub>t</sub> /cm <sup>4</sup>	C <sub>t</sub> /cm <sup>3</sup>
40	30	±0.50	1.5	1.53	1.95	4.38	2.81	1.50	1.199	2.19	1.87	5.52	3.02
			1.75	1.77	2.25	4.96	3.17	1.48	1.187	2.48	2.11	6.31	3.42
			2.0	1.99	2.54	5.49	3.51	1.47	1.176	2.75	2.34	7.07	3.79
			2.5	2.42	3.09	6.45	4.10	1.45	1.153	3.23	2.74	8.47	4.46
			3.0	2.83	3.61	7.27	4.60	1.42	1.129	3.63	3.07	9.72	5.03
50	25	±0.50	1.5	1.65	2.10	6.65	2.25	1.78	1.040	2.66	1.80	5.52	3.41
			1.75	1.90	2.42	7.55	2.54	1.76	1.024	3.02	2.03	6.32	3.54
			2.0	2.15	2.74	8.38	2.81	1.75	1.013	3.35	2.25	7.06	3.92
			2.5	2.62	2.34	9.89	3.28	1.72	0.991	3.95	2.62	8.43	4.60
			3.0	3.07	3.91	11.17	3.67	1.69	0.969	4.47	2.93	9.64	5.18
50	30	±0.50	1.5	1.767	2.252	7.535	3.415	1.829	1.231	3.014	2.276	7.587	3.83
			1.75	2.039	2.598	8.566	3.868	1.815	1.220	3.426	2.579	8.682	4.35
			2.0	2.305	2.936	9.535	4.291	1.801	1.208	3.814	2.861	9.727	4.84
			2.5	2.817	3.589	11.296	5.050	1.774	1.186	4.518	3.366	11.666	5.72
			3.0	3.303	4.206	12.827	5.696	1.745	1.163	5.130	3.797	13.401	6.49
			4.0	4.198	5.347	15.239	6.682	1.688	1.117	6.095	4.455	16.244	7.77
50	40	±0.50	1.5	2.003	2.552	9.300	6.602	1.908	1.608	3.720	3.301	12.238	5.24
			1.75	2.314	2.948	10.603	7.518	1.896	1.596	4.241	3.759	14.059	5.97
			2.0	2.619	3.336	11.840	8.348	1.883	1.585	4.736	4.192	15.817	6.673
			2.5	3.210	4.089	14.121	9.976	1.858	1.562	5.648	4.988	19.222	7.965
			3.0	3.775	4.808	16.149	11.382	1.833	1.539	6.460	5.691	22.336	9.123
			4.0	4.826	6.148	19.493	13.677	1.781	1.492	7.797	6.839	27.820	11.06
55	25	±0.50	1.5	1.767	2.252	8.453	2.460	1.937	1.045	3.074	1.968	6.273	3.458
			1.75	2.039	2.598	9.606	2.779	1.922	1.034	3.493	2.223	7.156	3.916
			2.0	2.305	2.936	10.689	3.073	1.907	1.023	3.886	2.459	7.992	4.342
55	40	±0.50	1.5	2.121	2.702	11.674	7.158	2.078	1.627	4.245	3.579	14.017	5.794
			1.75	2.452	3.123	13.329	8.158	2.065	1.616	4.847	4.079	16.175	6.614
			2.0	2.776	3.536	14.904	9.107	2.052	1.604	5.419	4.553	18.208	7.394
55	50	±0.60	1.75	2.726	3.473	15.811	13.660	2.133	1.983	5.749	5.464	23.173	8.415
			2.0	3.090	3.936	17.714	15.298	2.121	1.971	6.441	6.119	26.142	9.433
60	30	±0.60	2.0	2.620	3.337	15.046	5.078	2.123	1.234	5.015	3.385	12.570	5.881
			2.5	3.209	4.089	17.933	5.998	2.094	1.211	5.977	3.998	15.054	6.981
			3.0	3.774	4.808	20.496	6.794	2.064	1.188	6.832	4.529	17.335	7.950
			4.0	4.826	6.147	24.691	8.045	2.004	1.143	8.230	5.363	21.141	9.523
60	40	±0.60	2.0	2.934	3.737	18.412	9.831	2.220	1.622	6.137	4.915	20.702	8.116
			2.5	3.602	4.589	22.069	11.734	2.192	1.595	7.356	5.867	25.045	9.722
			3.0	4.245	5.408	25.374	13.436	2.166	1.576	8.458	6.718	29.121	11.175
			4.0	5.451	6.947	30.974	16.269	2.111	1.530	10.324	8.134	36.298	13.653
70	50	±0.60	2.0	3.562	4.537	31.475	18.758	2.634	2.033	8.993	7.503	37.454	12.196
			3.0	5.187	6.608	44.046	26.099	2.581	1.987	12.584	10.439	53.426	17.06
			4.0	6.710	8.547	54.663	32.210	2.528	1.941	15.618	12.884	67.613	21.189
			5.0	8.129	10.356	63.435	37.179	2.474	1.894	18.121	14.871	79.908	24.642
80	40	±0.70	2.0	3.561	4.536	37.355	12.720	2.869	1.674	9.339	6.361	30.881	11.004
			2.5	4.387	5.589	45.103	15.255	2.840	1.652	11.275	7.627	37.467	13.283
			3.0	5.187	6.608	52.246	17.552	2.811	1.629	13.061	8.776	43.680	15.283
			4.0	6.710	8.547	64.780	21.474	2.752	1.585	16.195	10.737	54.787	18.844
			5.0	8.129	10.356	75.080	24.567	2.692	1.540	18.770	12.283	64.110	21.744
80	60	±0.70	3.0	6.129	7.808	70.042	44.886	2.995	2.397	17.510	14.962	88.111	24.143
			4.0	7.966	10.147	87.945	56.105	2.943	2.351	21.976	18.701	112.583	30.332
			5.0	9.699	12.356	103.247	65.634	2.890	2.304	25.811	21.878	134.503	35.673

续表

边长/mm		允许偏差/mm	壁厚 t/mm	理论质量 M/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 A/cm <sup>2</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>		扭转常数	
H	B					I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	I <sub>t</sub> /cm <sup>4</sup>	C <sub>t</sub> /cm <sup>3</sup>
90	40	±0.75	3.0	5.658	7.208	70.487	19.610	3.127	1.649	15.663	9.805	51.193	17.339
			4.0	7.338	9.347	87.894	24.077	3.066	1.604	19.532	12.038	64.320	21.441
			5.0	8.914	11.356	102.487	27.651	3.004	1.560	22.774	13.825	75.426	24.819
90	50	±0.75	2.0	4.190	5.337	57.878	23.368	3.293	2.093	12.862	9.347	53.366	15.882
			2.5	5.172	6.589	70.263	28.236	3.266	2.070	15.614	11.294	65.299	19.235
			3.0	6.129	7.808	81.845	32.735	3.237	2.047	18.187	13.094	76.433	22.316
			4.0	7.966	10.147	102.696	40.695	3.181	2.002	22.821	16.278	97.162	27.961
			5.0	9.699	12.356	120.570	47.345	3.123	1.957	26.793	18.938	115.436	36.774
90	55	±0.75	2.0	4.346	5.536	61.75	28.957	3.340	2.287	13.733	10.53	62.724	17.601
			2.5	5.368	6.839	75.049	33.065	3.313	2.264	16.678	12.751	76.877	21.357
90	60	±0.75	3.0	6.600	8.408	93.203	49.764	3.329	2.432	20.711	16.588	104.552	27.391
			4.0	8.594	10.947	117.499	62.387	3.276	2.387	26.111	20.795	133.852	34.501
			5.0	10.484	13.356	138.653	73.218	3.222	2.311	30.811	24.406	160.273	40.712
90	50	±0.75	2.0	4.347	5.537	66.084	24.521	3.455	2.104	13.912	9.808	57.458	16.804
			2.5	5.369	6.839	80.306	29.647	3.247	2.082	16.906	11.895	70.324	20.364
100	50	±0.80	3.0	6.690	8.408	106.451	36.053	3.558	2.070	21.290	14.421	88.311	25.012
			4.0	8.594	10.947	134.124	44.938	3.500	2.026	26.824	17.975	112.409	31.35
			5.0	10.484	13.356	158.155	52.429	3.441	1.981	31.631	20.971	133.758	36.804
120	50	±0.90	2.5	6.350	8.089	143.97	36.704	4.219	2.130	23.995	14.682	96.026	26.006
			3.0	7.543	9.608	168.58	42.693	4.189	2.108	28.097	17.077	112.870	30.317
120	60	±0.90	3.0	8.013	10.208	189.113	64.398	4.304	2.511	31.581	24.666	156.029	37.138
			4.0	10.478	13.347	240.724	81.235	4.246	2.466	40.120	27.078	200.407	47.048
			5.0	12.839	16.356	286.941	95.968	4.188	2.422	47.823	31.989	240.869	55.846
			6.0	15.097	19.232	327.950	108.716	4.129	2.377	54.658	36.238	277.361	63.597
120	80	±0.90	3.0	8.955	11.408	230.189	123.430	4.491	3.289	38.364	30.857	255.128	50.799
			4.0	11.734	14.947	294.569	157.281	4.439	3.243	49.094	39.320	330.438	64.927
			5.0	14.409	18.356	353.108	187.747	4.385	3.198	58.850	46.936	400.735	77.772
			6.0	16.981	21.632	405.998	214.977	4.332	3.152	67.666	53.744	465.940	83.399
140	80	±1.00	4.0	12.990	16.547	429.582	180.407	5.095	3.301	61.368	45.101	410.713	76.478
			5.0	15.979	20.356	517.023	215.914	5.039	3.256	73.860	53.978	498.815	91.834
			6.0	18.865	24.032	569.935	247.905	4.983	3.211	85.276	61.976	580.919	105.83
150	100	±1.20	4.0	14.874	18.947	594.585	318.551	5.601	4.110	79.278	63.710	660.613	104.94
			5.0	18.334	23.356	719.164	383.988	5.549	4.054	95.888	79.797	806.733	126.81
			6.0	21.691	27.632	834.615	444.135	5.495	4.009	111.282	88.827	915.022	147.07
			8.0	28.096	35.791	1039.101	519.308	5.388	3.917	138.546	109.861	1147.710	181.85
160	60	±1.20	3.0	9.898	12.608	389.860	83.915	5.561	2.580	48.732	27.972	228.15	50.140
			4.5	14.498	18.469	552.080	116.66	5.468	2.513	69.010	38.886	324.96	70.085
160	80	±1.20	4.0	14.216	18.117	597.691	203.532	5.738	3.348	71.711	50.883	493.129	88.031
			5.0	17.519	22.356	721.650	214.089	5.681	3.304	90.206	61.020	599.175	105.90
			6.0	20.749	26.433	835.936	286.832	5.623	3.259	104.192	76.208	698.881	122.27
			8.0	26.810	33.644	1036.485	343.599	5.505	3.170	129.560	85.899	876.599	149.54
180	65	±1.20	3.0	11.075	14.108	550.35	111.78	6.246	2.815	61.150	34.393	306.750	61.849
			4.5	16.264	20.719	784.13	156.47	6.152	2.748	87.125	48.144	438.910	86.993
180	100	±1.30	4.0	16.758	21.317	926.020	373.879	6.586	4.184	102.891	74.755	852.708	127.06
			5.0	20.689	26.356	1124.156	451.738	6.530	4.140	124.906	90.347	1012.589	153.88
			6.0	24.517	31.232	1309.527	523.767	6.475	4.095	145.503	104.753	1222.933	178.88
			8.0	31.861	40.391	1643.149	651.432	6.362	4.002	182.572	130.226	1554.606	222.49

续表

边长/mm		允许偏差/mm	壁厚 $t/mm$	理论质量 $M/kg \cdot m^{-1}$	截面面积 $A/cm^2$	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>		扭转常数	
$H$	$B$					$I_x$	$I_y$	$R_x$	$R_y$	$W_x$	$W_y$	$I_t/cm^4$	$C_t/cm^3$
200	100	±1.30	4.0	18.014	22.941	1199.680	410.261	7.230	4.230	119.968	82.152	984.151	141.81
			5.0	22.259	28.356	1459.270	496.905	7.173	4.186	145.920	99.381	1203.878	171.94
			6.0	26.101	33.632	1703.224	576.855	7.116	4.141	170.332	115.371	1412.986	200.10
			8.0	34.376	43.791	2145.993	719.014	7.000	4.052	214.599	143.802	1798.551	249.60
200	120	±1.40	4.0	19.3	24.5	1353	618	7.43	5.02	135	103	1345	172
			5.0	23.8	30.4	1649	750	7.37	4.97	165	125	1652	210
			6.0	28.3	36.0	1929	874	7.32	4.93	193	146	1947	245
			8.0	36.5	46.4	2386	1079	7.17	4.82	239	180	2507	308
200	150	±1.50	4.0	21.2	26.9	1584	1021	7.67	6.16	158	136	1942	219
			5.0	26.2	33.4	1935	1245	7.62	6.11	193	166	2391	267
			6.0	31.1	39.6	2268	1457	7.56	6.06	227	194	2826	312
			8.0	40.2	51.2	2892	1815	7.43	5.95	283	242	3664	396
220	140	±1.50	4.0	21.8	27.7	1892	948	8.26	5.84	172	135	1987	224
			5.0	27.0	34.4	2313	1155	8.21	5.80	210	165	2447	274
			6.0	32.1	40.8	2714	1352	8.15	5.75	247	193	2891	321
			8.0	41.5	52.8	3389	1685	8.01	5.65	308	241	3746	407
250	150	±1.60	4.0	24.3	30.9	2697	1234	9.34	6.32	216	165	2665	275
			5.0	30.1	38.4	3304	1508	9.28	6.27	264	201	3285	337
			6.0	35.8	45.6	3886	1768	9.23	6.23	311	236	3886	396
			8.0	46.5	59.2	4886	2219	9.08	6.12	391	296	5050	504
260	180	±1.80	5.0	33.2	42.4	4121	2350	9.86	7.45	317	261	4695	426
			6.0	39.6	50.4	4856	2763	9.81	7.40	374	307	5566	501
			8.0	51.5	65.6	6145	3493	9.68	7.29	473	388	7267	642
			10.0	63.2	80.6	7363	4174	9.56	7.20	566	466	8850	772
300	200	±2.00	5.0	38.0	48.4	6241	3361	11.4	8.34	416	336	6836	552
			6.0	45.2	57.6	7370	3962	11.3	8.29	491	396	8115	651
			8.0	59.1	75.2	9389	5042	11.2	8.19	626	504	10627	838
			10.0	72.7	92.6	11313	6058	11.1	8.09	754	606	12987	1012
350	250	±2.20	5.0	45.8	58.4	10520	6306	13.4	10.4	601	504	12234	817
			6.0	54.7	69.6	12457	7458	13.4	10.3	712	594	14554	967
			8.0	71.6	91.2	16001	9573	13.2	10.2	914	766	19136	1253
			10.0	88.4	113.0	19407	11588	13.1	10.1	1109	927	23500	1522
400	200	±2.40	5.0	45.8	58.4	12490	4311	14.6	8.60	624	431	10519	742
			6.0	54.7	69.6	14789	5092	14.5	8.55	739	509	12069	877
			8.0	71.6	91.2	18974	6517	14.4	8.45	949	652	15820	1133
			10.0	88.4	113.0	23003	7864	14.3	8.36	1150	786	19368	1373
			12.0	104.0	132.0	26248	8977	14.1	8.24	1312	898	22782	1591
400	250	±2.60	5.0	49.7	63.4	14440	7056	15.1	10.6	722	565	14773	937
			6.0	59.4	75.6	17118	8352	15.0	10.5	856	668	17580	1110
			8.0	77.9	99.2	22048	10744	14.9	10.4	1102	860	23127	1440
			10.0	96.2	122.0	26806	13029	14.8	10.3	1340	1042	28423	1753
			12.0	113.0	144.0	30766	14926	14.6	10.2	1538	1197	33597	2042

续表

边长/mm		允许偏差/mm	壁厚 t/mm	理论质量 M/kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 A/cm <sup>2</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>		惯性半径/cm		截面系数/cm <sup>3</sup>		扭转常数	
H	B					I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	I <sub>t</sub> /cm <sup>4</sup>	C <sub>t</sub> /cm <sup>3</sup>
450	250	±2.80	6.0	64.1	81.6	22724	9245	16.7	10.6	1010	740	20687	1253
			8.0	84.2	107.0	29336	11916	16.5	10.5	1304	953	27222	1628
			10.0	104.0	133.0	35737	14470	16.4	10.4	1588	1158	33473	1983
			12.0	123.0	156.0	41137	16663	16.2	10.3	1828	1333	39591	2314
500	300	±3.20	6.0	73.5	93.6	33012	15151	18.8	12.7	1321	1010	32420	1688
			8.0	96.7	123.0	42805	19624	18.6	12.6	1712	1308	42767	2202
			10.0	120.0	153.0	52328	23933	18.5	12.5	2093	1596	52736	2693
			12.0	141.0	180.0	60604	27726	18.3	12.4	2424	1848	62581	3156
550	350	±3.60	8.0	109	139	59783	30040	20.7	14.7	2174	1717	63051	2856
			10.0	135	173	73276	36752	20.6	14.6	2665	2100	77901	3503
			12.0	160	204	85249	42769	20.4	14.5	3100	2444	92646	4118
			14.0	185	236	97269	48731	20.3	14.4	3537	2784	106760	4710
600	400	±4.00	8.0	122	155	80670	43564	22.8	16.8	2689	2178	88672	3591
			10.0	151	193	99081	53429	22.7	16.7	3303	2672	109720	4413
			12.0	179	228	115670	62391	22.5	16.5	3856	3120	130680	5201
			14.0	207	264	132310	71282	22.4	16.4	4410	3564	150850	5962
			16.0	235	299	148210	79760	22.3	16.3	4940	3988	170510	6694

注：同表 3-1-69 注 2、注 3、注 4。

客运汽车用冷弯方形空心型钢（摘自 GB/T 6727—1986）

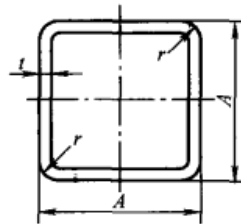


表 3-1-72

代 号	尺寸及允许偏差 /mm			理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>	截面面积 /cm <sup>2</sup>	惯性矩 /cm <sup>4</sup>	惯性半径 /cm	截面系数 /cm <sup>3</sup>	扭转常数	
	A	允许偏差	t						I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub>	R <sub>x</sub> = R <sub>y</sub>
KQF30 × 30 × 1.5	30	±0.5	1.5	1.296	1.652	2.195	1.152	1.463	3.555	2.423
KQF30 × 30 × 1.75			1.75	1.490	1.898	2.470	1.140	1.646	4.048	2.772
KQF30 × 30 × 2.0			2.0	1.677	2.136	2.721	1.128	1.814	4.511	3.105
KQF40 × 40 × 1.5	40	±0.7	1.5	1.767	2.252	5.489	1.561	2.744	8.728	4.433
KQF40 × 40 × 1.75			1.75	2.039	2.598	6.237	1.549	3.118	10.009	5.100
KQF40 × 40 × 2.0			2.0	2.305	2.936	6.939	1.537	3.469	11.238	5.745
KQF50 × 50 × 1.5	50	±0.9	1.5	2.238	2.852	11.065	1.969	4.426	17.395	7.043
KQF50 × 50 × 1.75			1.75	2.589	3.298	12.641	1.957	5.056	20.025	8.127
KQF50 × 50 × 2.0			2.0	2.933	3.736	14.146	1.945	5.658	22.575	9.185

注：见表 3-1-69 注 2、注 3、注 4。

客运汽车用冷弯矩形空心型钢 (摘自 GB/T 6727—1986)

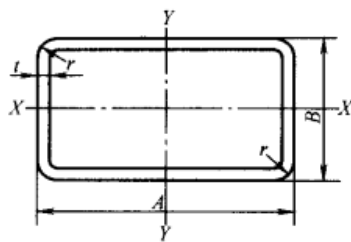


表 3-1-73

代 号	尺寸及允许偏差/mm				理论 质量/ kg·m <sup>-1</sup>	截面 面积 /cm <sup>2</sup>	惯性矩 /cm <sup>4</sup>		惯性半径 /cm		截面系数 /cm <sup>3</sup>		扭转常数	
	A	B	允许 偏差	t			I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	I <sub>t</sub> /cm <sup>4</sup>	W <sub>t</sub> /cm <sup>3</sup>
KQJ50×30×1.5	50	30	±0.9	1.5	1.767	2.252	3.415	7.535	1.231	1.829	2.276	3.014	7.587	4.133
KQJ50×30×1.75				1.75	2.039	2.598	3.868	8.566	1.220	1.815	2.579	3.426	8.682	4.750
KQJ50×30×2.0				2.0	2.305	2.936	4.291	9.535	1.208	1.801	2.861	3.814	9.727	5.345
KQJ50×40×1.5	50	40	±0.9	1.5	2.003	2.552	6.602	9.300	1.608	1.908	3.301	3.720	12.238	5.588
KQJ50×40×1.75				1.75	2.314	2.948	7.518	10.603	1.596	1.896	3.759	4.241	14.059	6.438
KQJ50×40×2.0				2.0	2.619	3.336	8.384	11.840	1.585	1.883	4.192	4.736	15.817	7.265
KQJ55×25×1.5	55	25	±1.0	1.5	1.767	2.252	2.460	8.453	1.045	1.937	1.968	3.074	6.273	3.758
KQJ55×25×1.75				1.75	2.039	2.598	2.779	9.606	1.034	1.922	2.223	3.493	7.156	4.312
KQJ55×25×2.0				2.0	2.305	2.936	3.073	10.689	1.023	1.907	2.459	3.886	7.992	4.845
KQJ55×40×1.5	55	40	±1.0	1.5	2.121	2.702	7.158	11.674	1.627	2.078	3.579	4.245	14.071	6.166
KQJ55×40×1.75				1.75	2.452	3.123	8.158	13.329	1.616	2.065	4.079	4.847	16.175	7.108
KQJ55×40×2.0				2.0	2.776	3.536	9.107	14.904	1.604	2.052	4.553	5.419	18.208	8.025
KQJ55×50×1.75	55	50	±1.0	1.75	2.726	3.473	13.660	15.811	1.983	2.133	5.464	5.746	23.173	8.971
KQJ55×50×2.0				2.0	3.090	3.936	15.298	17.714	1.971	2.121	6.119	6.441	26.142	10.145
KQJ80×40×2.0	80	40	±1.2	2.0	3.561	4.536	12.720	37.355	1.674	2.869	6.360	9.338	30.820	11.825
KQJ80×40×2.5				2.5	4.387	5.589	15.255	45.103	1.652	2.840	7.627	11.275	37.467	14.470
KQJ90×55×2.0	90	55	±1.2	2.0	4.346	5.536	28.956	61.748	2.286	3.339	10.529	13.721	62.650	18.625
KQJ90×55×2.5				2.5	5.368	6.839	35.062	75.046	2.264	3.312	12.750	16.676	76.734	22.908
KQJ95×50×2.0	95	50	±1.2	2.0	4.346	5.536	24.520	66.082	2.104	3.454	9.808	13.912	57.383	17.825
KQJ95×50×2.5				2.5	5.368	6.839	29.645	80.302	2.081	3.426	11.858	16.905	70.181	21.908
KQJ120×50×2.5	120	50	±1.4	2.5	6.349	8.089	36.702	143.965	2.130	4.218	14.680	23.994	95.857	27.845
KQJ160×60×3.0	160	60	±1.6	3.0	9.897	12.608	83.910	389.849	2.579	5.560	27.970	48.731	227.775	53.589
KQJ160×60×4.5				4.5	14.497	18.468	116.630	552.054	2.513	5.467	38.880	69.006	323.707	77.320
KQJ180×65×4.5				180	65	±1.8	4.5	16.263	20.718	156.451	784.096	2.747	6.151	48.138

注：见表 3-1-69 注 2、注 3、注 4。

起重機鋼軌 (摘自 YB/T 5055—2005)

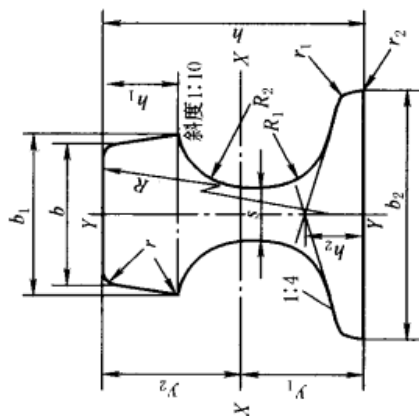


表 3-1-74

鋼軌標號	理論質量 /kg·m <sup>-1</sup>	尺 寸											截面面積		質心距離		慣性矩		截面系數				
		b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	s	h	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	R	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	/cm <sup>2</sup>		/cm		/cm <sup>4</sup>		/cm <sup>3</sup>		
		/mm																					
QU70	52.80	70	76.5	120	28	120	32.5	24	400	23	38	6	6	1.5	67.30	5.93	6.07	1081.99	327.16	182.46	178.25	54.53	
QU80	63.69	80	87	130	32	130	35.0	26	400	26	44	8	6	1.5	81.13	6.43	6.57	1547.40	482.39	240.65	235.53	74.21	
QU100	88.96	100	108	150	38	150	40.0	30	450	30	50	8	8	2.0	113.32	7.60	7.40	2864.73	940.98	376.94	387.13	125.46	
QU120	118.10	120	129	170	44	170	45.0	35	500	34	56	8	8	2.0	150.44	8.43	8.57	4923.79	1694.83	584.08	574.54	199.39	

注: 1. 鋼軌的標準長度為 9m、9.5m、10m、10.5m、11m、11.5m、12m、12.5m。

2. 目前生產 QU80、QU100 及 QU120 型, 材料為 U71Mn [其化學成分 (質量分數) 為 C. 0.65% ~ 0.77%, Si 0.15% ~ 0.35%, Mn 1.10% ~ 1.50%], 抗拉強度不小於 885MPa。



重轨 (摘自 GB 2585—2007)

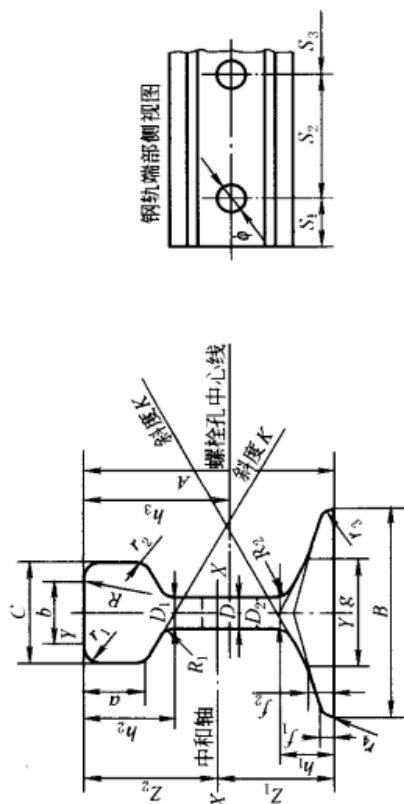


表 3-1-75

钢轨型号 /kg·m <sup>-1</sup>	主要尺寸				截面面积		质心距离		惯性矩		截面系数			斜度	通常长度 /m							
	A	B	C	D	F /cm <sup>2</sup>		Z <sub>1</sub> /cm		J <sub>x</sub> /cm <sup>4</sup>		W <sub>2</sub> = J <sub>x</sub> /Z <sub>2</sub> /cm <sup>3</sup>		W <sub>3</sub> = J <sub>y</sub> /Z <sub>2</sub> /cm <sup>3</sup>									
38	134	114	68	13.0	49.5	6.67	6.73	1204.4	209.3	180.6	178.9	36.7	12.5, 25, 50, 100									
43	140	114	70	14.5	57.0	6.90	7.10	1489.0	260.0	217.3	208.3	45.0	12.5, 25, 50, 100									
50	152	132	70	15.5	65.8	7.10	8.10	2037.0	377.0	287.2	251.3	57.1	12.5, 25, 50, 100									
60	176	150	73	16.5	77.45	8.12	9.48	3217.0	524.0	369.0	339.4	69.9	12.5, 25, 50, 100									
75	192	150	75	20.0	95.037	8.82	10.38	4489.0	665.0	509.0	432.0	89.0	12.5, 25, 50, 100									
钢轨型号 /kg·m <sup>-1</sup>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	a	b	g	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	φ	R	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
38	24	39	74.5	27.7	43.9	79.0	9.0	10.8	13	4.0	4.0	2.0	56	110	160	29	300	7	7	7	16.3	16.3
43	27	42	77.5	30.4	46.0	78.0	11.0	14.0	13	2.0	4.0	2.5	56	110	160	29	300	10	15	15	17.6	16.9
50	27	42	83.5	33.3	46.0	—	10.5	—	13	2.5	4.0	2.0	66	150	140	31	300	12	20	20	19.4	—
60	30.5	48.5	97.0	36.3	50.7	91.4	12.0	15.3	13	2.0	4.0	2.0	76	140	140	31	300	25	20	20	20.8	20.4
75	32.3	55.3	111.6	46.0	47.8	—	13.5	—	15	5.0	4.0	2.0	96	220	130	31	500	17	25	25	24.8	23.2

注: 1. 重轨钢号有 U74 (抗拉强度 R<sub>m</sub> 不小于 780MPa)、U71Mn、U70MnSi、U71MnSiCu (三者抗拉强度 R<sub>m</sub> 不小于 880MPa)、U75V、U76N6RE (二者抗拉强度 R<sub>m</sub> 不小于 980MPa)、U70Mn (抗拉强度 R<sub>m</sub> 不小于 880MPa), 其化学成分符合 GB 2585 的规定。  
2. 钢轨以热轧状态交货。

轻轨 (摘自 GB/T 11264—1989)

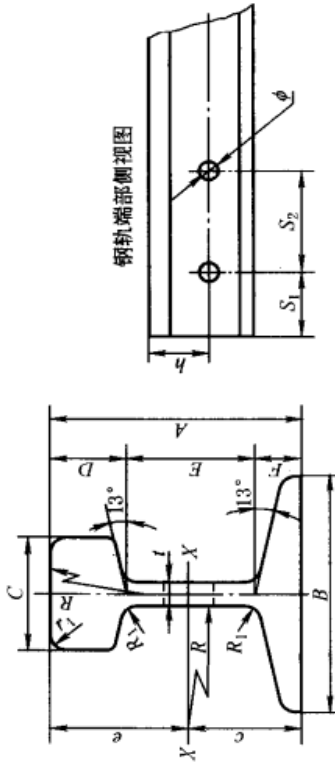


表 3-1-76

型号	截面尺寸													理论质量	截面特性参数										
	轨高	底宽	头宽	头高	腰高	底高	腰厚	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	h	φ	R	R <sub>1</sub>		r <sub>1</sub>	A	W	c	e	I	Z	回转半径			
/kg·m <sup>-1</sup>	B	C	D	E	F	t	/mm													/cm <sup>2</sup>	/kg·m <sup>-1</sup>	/cm	/cm <sup>4</sup>	/cm <sup>3</sup>	/cm
9	63.50	32.10	17.48	35.72	10.30	5.90	50.8	101.6	35.34	16	304.8	4.76	6.35	11.39	8.94	3.09	3.26	62.41	19.10	2.33					
12	69.85	38.10	19.85	37.70	12.30	7.54	50.8	101.6	38.70	16	304.8	6.35	6.35	15.54	12.20	3.40	3.59	98.82	27.60	2.51					
15	79.37	42.86	22.22	43.65	13.50	8.33	50.8	101.6	44.05	20	304.8	6.35	7.94	19.33	15.20	3.89	4.05	156.10	38.60	2.83					
22	93.66	50.80	26.99	50.00	16.67	10.72	63.5	127.0	51.99	24	304.8	6.35	7.94	28.39	22.30	4.52	4.85	339.00	69.60	3.45					
30	107.95	60.33	30.95	57.55	19.45	12.30	63.5	127.0	59.73	24	304.8	6.35	7.94	38.32	30.10	5.21	5.59	606.00	108.00	3.98					
化学成分(质量分数)/%																									
牌号	型号	C	Si	Mn	P	S	Cu	力学性能																	
50Q	≤12	0.35~0.60	0.15~0.35	≥0.40	≤0.045	≤0.050	≤0.40	σ <sub>b</sub> /MPa	HB	落锤试验															
55Q	≤12	0.50~0.60	0.15~0.35	0.60~0.90	≤0.045	≤0.050	≤0.40	≥685	≥197	不断不裂(落锤高2.9m)															
45SiMnP	≤12	0.35~0.55	0.50~0.80	0.60~1.00	≤0.12	≤0.050	≤0.40	—	—	—															
50SiMnP	≤12	0.45~0.58	0.50~0.80	0.60~1.00	≤0.12	≤0.050	≤0.40	≥685	≥197	不断不裂(落锤高:22kg/m为4.4m, 30kg/m为5.0m)															
36CuCrP	15~30	0.31~0.42	0.50~0.80	0.60~1.00	0.02~0.06	≤0.040	0.10~0.30 Cr:0.80~1.20	≥785	≥220	—															

注:落锤试验取长度为1500mm的试样,轨头朝上放置在间距为1050mm的支座上,用500kg的落锤从表中所给出的高度打击钢轨。



轻轨接头夹板 (摘自 GB/T 11265—1989)

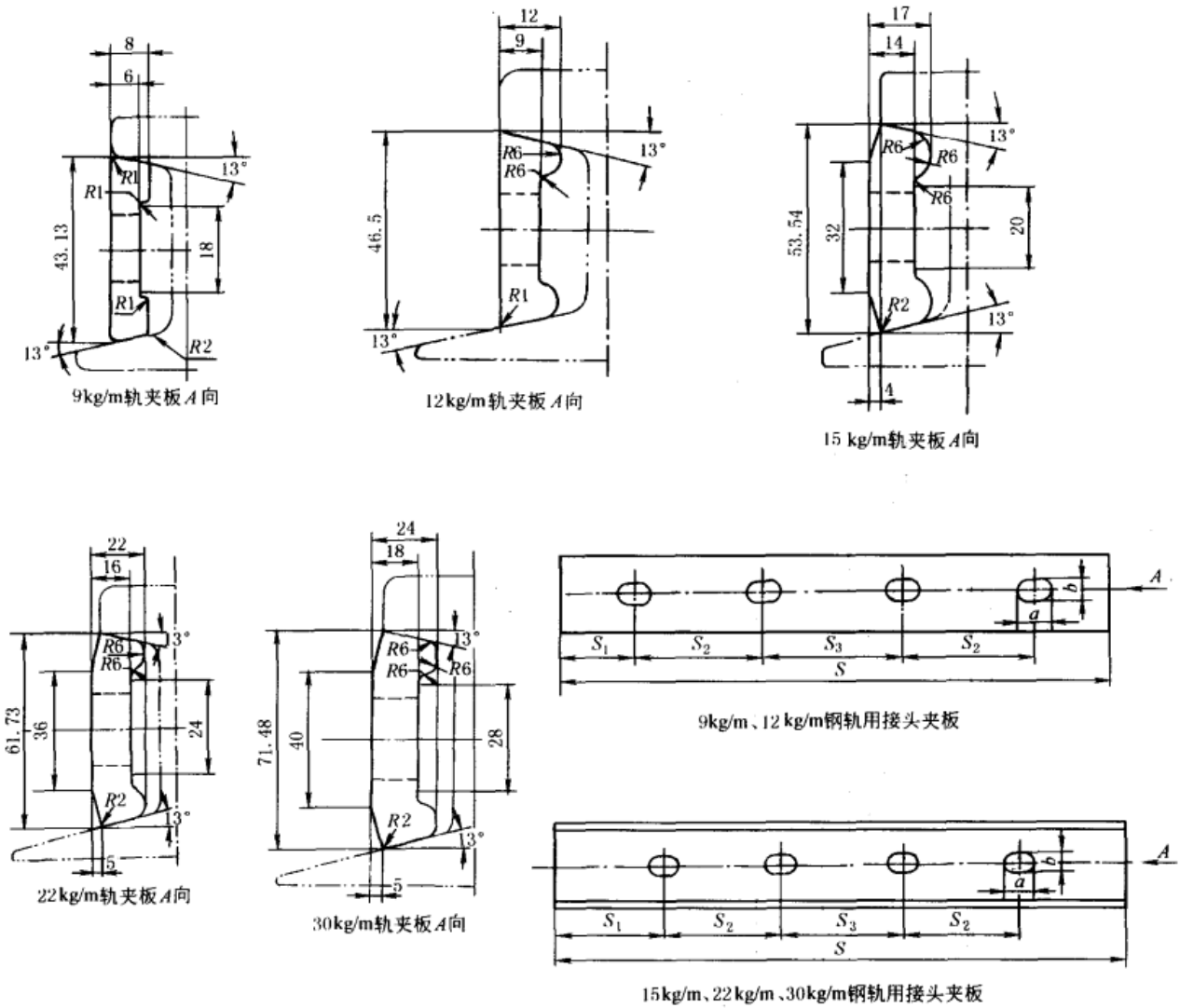


表 3-1-77

夹板型号	尺寸/mm						抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	化学成分	理论质量 /kg·块 <sup>-1</sup>
	S	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	a	b			
9kg/m 轨用	385	38	102	105	18	14	375 ~ 460	应符合 GB/T 700 中 Q235-A 的规定	0.81
12kg/m 轨用	409	50	102	105	18	14			1.39
15kg/m 轨用	409	50	102	105	24	18			2.20
22kg/m 轨用	510	63	127	130	29	22	410 ~ 510	应符合 GB/T 700 中 Q255-A 的规定	3.80
30kg/m 轨用	561	90	127	130	29	22			5.54

## 重轨用鱼尾板 (摘自 GB/T 185—1963、GB/T 184—1963)

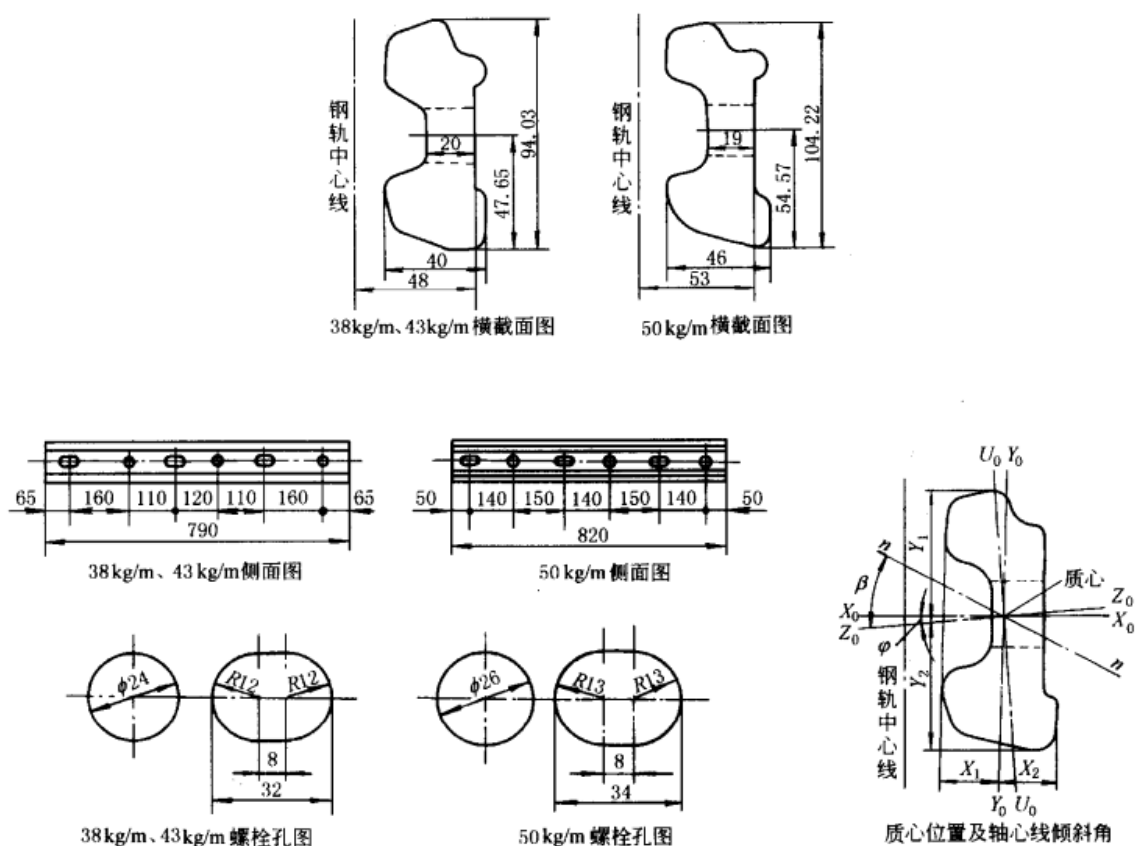


表 3-1-78

钢轨类型 /kg·m <sup>-1</sup>	鱼尾板 长度 /mm	横截面 面积 /cm <sup>2</sup>	理论质量/kg			质心至各处的距离/cm				轴心线的倾斜角度	
			每米长度 的质量	每块质量		至顶部的 距离 Y <sub>1</sub>	至下部的 距离 Y <sub>2</sub>	至内侧的 距离 X <sub>1</sub>	至外侧的 距离 X <sub>2</sub>	Z <sub>0</sub> 轴与水 平轴的夹 角 φ	中性轴与 Z <sub>0</sub> 轴的夹 角 β
				未扣除螺 栓孔	扣除螺 栓孔						
38、43	790	26.01	20.37	16.09	15.57	4.89	4.51	2.09	1.88	4°03′	27°11′
50	820	30.05	23.53	19.29	18.72	5.37	5.05	2.38	2.18	4°39′	30°15′
钢轨类型 /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩/cm <sup>4</sup>				离心惯性 矩 I <sub>xy</sub> /cm <sup>4</sup>	截面系数/cm <sup>3</sup>				鱼尾板标准号	
	对 X <sub>0</sub> 轴 I <sub>x</sub>	对 Y <sub>0</sub> 轴 I <sub>y</sub>	对主轴			对顶部 边缘 W <sub>1</sub>	对下部 边缘 W <sub>2</sub>	对内侧 边缘 W <sub>3</sub>	对外侧 边缘 W <sub>4</sub>		
			I <sub>z</sub>	I <sub>u</sub>							
38、43	190.0	27.1	190.8	26.3	-11.6	38.9	42.1	13.0	14.4	GB/T 185	
50	281.0	40.9	282.6	39.3	-19.7	52.2	55.4	17.2	18.8	GB/T 184	

注：根据鱼尾板技术条件 (YB 354—1963)，鱼尾板材料为 Q275，其热处理后的力学性能如下。

$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_s$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	HB	冷弯 (30°)
≥785	≥520	≥9	≥20	227 ~ 388	良好

## 3.3 钢管

## 低压流体输送焊接管 (摘自 GB/T 3091—2001)

表 3-1-79 低压流体输送用焊接钢管 (公称外径 ≤ 168.3mm)

公称口径/mm	公称外径/mm	允许偏差	普通钢管			加厚钢管		
			公称壁厚/mm	允许偏差	理论质量 (未镀锌) /kg·m <sup>-1</sup>	公称壁厚/mm	允许偏差	理论质量 (未镀锌) /kg·m <sup>-1</sup>
6	10.2	±0.50mm	2.0	±12.5%	0.40	2.5	±12.5%	0.47
8	13.5		2.5		0.68	2.8		0.74
10	17.2		2.5		0.91	2.8		0.99
15	21.3		2.8		1.28	3.5		1.54
20	26.9		2.8		1.66	3.5		2.02
25	33.7		3.2		2.41	4.0		2.93
32	42.4		3.5		3.36	4.0		3.79
40	48.3		3.5		3.87	4.5		4.86
50	60.3	±1%	3.8	±12.5%	5.29	4.5	±12.5%	6.19
65	76.1		4.0		7.11	4.5		7.95
80	88.9		4.0		8.38	5.0		10.35
100	114.3		4.0		10.88	5.0		13.48
125	139.7		4.0		13.39	5.5		18.20
150	168.3		4.5		18.18	6.0		24.02

注: 1. 本标准代替原 GB/T 3091—1993 (低压流体输送焊接管, 镀锌)、GB/T 3092—1993 (低压流体输送焊接管, 不镀锌) 和 GB/T 14980—1994 (低压流体输送用大直径电焊钢管)。

2. 本标准适用于水、污水、燃气、空气、采暖蒸汽等低压力流体输送和其他结构用的直缝焊接钢管。其焊接可用电阻焊 (ERW) 或埋弧焊 (SAW)。

3. 钢管可按镀锌 (公称外径 ≤ 323.9mm) 和不镀锌交货。钢管也可在管端加工螺纹交货, 但要在合同中说明。

4. 公称口径表示近似内径的名义尺寸, 每种规格的实际内径随管壁厚度而变化, 公称口径不等于公称外径减 2 倍公称壁厚。公称外径大于 168.3mm 到 1626mm 的规格见表 3-1-80。

5. 电阻焊钢管通常长度为 4~12m, 埋弧焊钢管通常长度为 3~12m。

6. 钢管应按 GB/T 700 规定的 Q215A、Q215B、Q235A、Q235B 和 GB/T 1591 规定的 Q295A、Q295B、Q345A、Q345B 钢制造, 也可采用易焊接的其他软钢制造。钢材的抗拉强度分别为  $\sigma_b \geq 335\text{MPa}$  (Q215A、Q215B)、 $\sigma_b \geq 375\text{MPa}$  (Q235A、Q235B)、 $\sigma_b \geq 390\text{MPa}$  (Q295A、Q295B)、 $\sigma_b \geq 510\text{MPa}$  (Q345A、Q345B); 对应的屈服点分别为  $\sigma_s \geq 215\text{MPa}$ 、 $\sigma_s \geq 235\text{MPa}$ 、 $295\text{MPa}$ 、 $\sigma_s \geq 345\text{MPa}$ ; 伸长率  $\delta_5 \geq 13\% \sim 15\%$ 。力学性能也适合公称外径大于 168.3mm 到 1626mm 的规格。

7. 钢管应能承受下面压力的液压试验。

钢管公称外径 D/mm	试验压力 /MPa	钢管公称外径 D/mm	试验压力 /MPa
≤ 168.3	3	323.9 < D ≤ 508	3
168.3 < D ≤ 323.9	5	D > 508	2.5

8. 钢管镀锌后的质量比镀锌前约增加 2.8%~6.4% (壁厚为 2~4.5mm 时) 或 1.3%~2.5% (壁厚为 5~10mm 时) (管壁厚小者取较大值)。

表 3-1-80

低压流体输送用焊接钢管 (公称外径 &gt; 168.3mm)

公称外径 /mm	公称壁厚/mm															
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.5	14.0	15.0	16.0	
	理论质量/kg·m <sup>-1</sup>															
177.8	17.14	19.23	21.31	23.37	25.42											
193.7	18.71	21.00	23.27	25.53	27.77											
219.1	21.22	23.82	26.40	28.97	31.53	34.08	36.61	41.65	46.63	51.57						
244.5	23.72	26.63	29.53	32.42	35.29	38.15	41.00	46.66	52.27	57.83						
273.0			33.05	36.28	39.51	42.72	45.92	52.28	58.60	64.86						
323.9			39.32	43.19	47.04	50.88	54.71	62.32	69.89	77.41	84.88	95.99				
355.6				47.49	51.73	55.96	60.18	68.58	76.93	85.23	93.48	105.77				
406.4				54.38	59.25	64.10	68.95	78.60	88.20	97.76	107.26	121.43				
457.2				61.27	66.76	72.25	77.72	88.62	99.48	110.29	121.04	137.09				
508				68.16	74.28	80.39	86.49	98.65	110.75	122.81	134.82	152.75				
559				75.08	81.83	88.57	95.29	108.71	122.07	135.39	148.66	168.47	188.17	201.24	214.26	
610				81.99	89.37	96.74	104.10	118.77	133.39	147.97	162.49	184.19	205.78	220.10	234.38	

公称外径 /mm	公称壁厚/mm															
	6.0	6.5	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	13.0	14.0	15.0	16.0	18.0	19.0	20.0	22.0	25.0
	理论质量/kg·m <sup>-1</sup>															
660	96.77	104.76	112.73	128.63	144.49	160.30	176.06	207.43	223.04	238.60	254.11	284.99	300.35	315.67	346.15	391.50
711	104.32	112.93	121.53	138.70	155.81	172.88	189.89	223.78	240.65	257.47	274.24	307.63	324.25	340.82	373.82	422.94
762	111.86	121.11	130.34	148.76	167.13	185.45	203.73	240.13	258.26	276.33	294.36	330.27	348.15	365.98	401.49	454.39
813	119.41	129.28	139.14	158.82	178.45	198.03	217.56	256.48	275.86	295.20	314.48	352.91	372.04	391.13	429.16	485.83
864	126.96	137.46	147.94	168.88	189.77	210.61	231.40	272.83	293.47	314.06	334.61	375.55	395.94	416.29	456.83	517.27
914	134.36	145.47	156.58	178.75	200.87	222.94	244.96	288.86	310.73	332.56	354.34	397.74	419.37	440.95	483.96	548.10
1016	149.45	161.82	174.18	198.87	223.51	248.09	272.63	321.56	345.95	370.29	394.58	443.02	467.16	491.26	539.30	610.99
1067	157.00	170.00	182.99	208.93	234.83	260.67	286.47	337.91	363.56	389.16	414.71	465.66	491.06	516.41	566.97	642.43
1118	164.54	178.17	191.79	218.99	246.15	273.25	300.30	354.26	381.17	408.02	434.83	488.30	514.96	541.57	594.64	673.88
1168	171.94	186.19	200.42	228.86	257.24	285.58	313.87	370.29	398.43	426.52	454.56	510.49	538.39	566.23	621.77	704.70
1219	179.49	194.36	209.23	238.92	268.56	298.16	327.70	386.64	416.04	445.39	474.68	533.13	562.28	591.38	649.44	736.15
1321	194.58	210.71	226.84	259.04	291.20	323.31	355.37	419.34	451.26	483.12	514.93	578.41	610.08	641.69	704.78	799.03
1422	209.52	226.90	244.27	278.97	313.62	348.22	382.77	451.72	486.13	520.48	554.79	623.25	657.40	691.51	759.57	861.30
1524	224.62	243.25	261.88	299.09	336.26	373.38	410.44	484.43	521.34	558.21	595.03	668.52	705.20	741.82	814.91	924.19
1626	239.71	259.61	279.49	319.22	358.90	398.53	438.11	517.13	556.56	595.95	635.28	713.80	752.99	792.13	870.26	987.08

注: 1. 根据需方要求, 经供需双方协议, 并在合同中注明, 可供表中规定以外尺寸的钢管。

2. 本表为不镀锌管的尺寸规格和理论质量。镀锌管质量增加的百分比见表 3-1-79 注 8。

## 直缝电焊钢管 (摘自 GB/T 13793—1992)

表 3-1-81

直缝电焊钢管力学性能

钢 号	R(软态钢管)		DY(低硬态钢管)		钢号的化学成分 应符合的标准
	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	
	≥				
08F、08、10F、10	315	22	375	13	GB/T 699
15F、15	355	20	400	11	
20	390	19	440	9	
Q195	315	22	335	14	GB/T 700
Q215-A、Q215-B	335	22	355	13	
Q235-A、Q235-B	375	20	390	9	

注: 1. 电焊钢管用于各种结构、零件和输送流体管道及其他用途。

2. 外径不大于 219.1mm 的钢管应承受将外径压缩 1/3 的压扁试验。外径小于 50mm 的钢管可用弯曲试验代替压扁试验, 冷弯试验时不带填充物, 弯曲半径等于钢管公称外径的 6 倍, 弯曲角度为 90°, 焊缝位于弯曲方向的侧面。

3. 经需方要求, 并在合同中注明, 可按下列规定进行液压试验: 钢管外径 ≤ 219.1mm, 5.8MPa; 钢管外径 > 219.1mm, 2.9MPa。

4. 钢管以热轧或冷轧钢带, 经电阻焊接或焊后冷加工方法制造。钢管以不热处理状态交货。

5. 按钢管的制造精度 (即外径和厚度的不同允许偏差), 分为高精度 (外径  $D_1$ 、厚度  $S_1$ )、较高精度 (外径  $D_2$ 、厚度  $S_2$ )、普通精度 (外径  $D_3$ 、厚度  $S_3$ ), 可供用户选用。

表 3-1-82

直缝电焊

外径 /mm	壁 厚																
	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.2	3.5	
	钢管理论质量																
5	0.055	0.065	0.083	0.099											9.17	9.77	10.66
8	0.092	0.109	0.142	0.173	0.201												11.18
10	0.117	0.139	0.181	0.222	0.260												11.72
12	0.142	0.169	0.221	0.271	0.320	0.366	0.388	0.410									11.78
13		0.183	0.241	0.296	0.349	0.400	0.425	0.450									12.82
14		0.198	0.260	0.321	0.379	0.435	0.462	0.489									
15		0.213	0.280	0.345	0.408	0.470	0.499	0.529									
16		0.228	0.300	0.370	0.438	0.504	0.536	0.568									
17		0.243	0.320	0.395	0.468	0.539	0.573	0.608									
18		0.257	0.339	0.419	0.497	0.573	0.610	0.647									
19		0.272	0.359	0.444	0.527	0.608	0.647	0.687									
20		0.287	0.379	0.469	0.556	0.642	0.684	0.726	0.808	0.888							
21			0.399	0.493	0.586	0.677	0.721	0.765	0.852	0.937							
22			0.418	0.518	0.616	0.711	0.758	0.805	0.897	0.986	1.074						
25			0.477	0.592	0.704	0.815	0.869	0.923	1.030	1.134	1.237	1.387					
28			0.537	0.666	0.793	0.918	0.980	1.042	1.163	1.282	1.400	1.572	1.740				
30			0.576	0.715	0.852	0.987	1.054	1.121	1.252	1.381	1.508	1.695	1.878	1.997			
32				0.764	0.911	1.056	1.128	1.199	1.341	1.480	1.617	1.819	2.016	2.145			
34				0.814	0.971	1.125	1.202	1.278	1.429	1.578	1.725	1.942	2.154	2.293			
37				0.888	1.059	1.229	1.313	1.397	1.562	1.726	1.888	2.127	2.361	2.515			
38				0.912	1.089	1.264	1.350	1.436	1.607	1.776	1.942	2.189	2.430	2.589	2.746	2.978	
40				0.962	1.148	1.333	1.424	1.515	1.696	1.874	2.051	2.312	2.569	2.737	2.904	3.150	
45				1.09	1.30	1.51	1.61	1.71	1.92	2.12	2.32	2.62	2.91	3.11	3.30	3.58	
46					1.33	1.54	1.65	1.75	1.96	2.17	2.38	2.68	2.98	3.18	3.38	3.67	
48					1.38	1.61	1.72	1.83	2.05	2.27	2.48	2.81	3.12	3.33	3.54	3.84	
50					1.44	1.68	1.79	1.91	2.14	2.37	2.59	2.93	3.26	3.48	3.69	4.01	
51					1.47	1.71	1.83	1.95	2.18	2.42	2.65	2.99	3.33	3.55	3.77	4.10	
53					1.53	1.78	1.90	2.03	2.27	2.52	2.76	3.11	3.47	3.70	3.93	4.27	
54					1.56	1.82	1.94	2.07	2.32	2.56	2.81	3.17	3.54	3.77	4.01	4.36	
60					1.74	2.02	2.16	2.30	2.58	2.86	3.14	3.54	3.95	4.22	4.48	4.88	
63.5					1.84	2.14	2.29	2.44	2.74	3.03	3.33	3.76	4.19	4.48	4.76	5.18	
65							2.35	2.50	2.81	3.11	3.41	3.85	4.29	4.59	4.88	5.31	
70							2.57	2.70	3.03	3.35	3.68	4.16	4.64	4.96	5.27	5.74	
76							2.76	2.94	3.29	3.65	4.00	4.53	5.05	5.40	5.74	6.26	
80							2.90	3.09	3.47	3.85	4.22	4.78	5.33	5.70	6.06	6.60	
83							3.01	3.21	3.60	3.99	4.38	4.96	5.54	5.92	6.30	6.86	
89							3.24	3.45	3.87	4.29	4.71	5.33	5.95	6.36	6.77	7.38	
95							3.46	3.69	4.14	4.59	5.03	5.70	6.37	6.81	7.24	7.90	
101.6							3.70	3.95	4.43	4.91	5.39	6.11	6.82	7.29	7.76	8.47	
102							3.72	3.96	4.45	4.93	5.41	6.13	6.85	7.32	7.80	8.50	
108														7.77	8.27	9.02	
114														8.21	8.74	9.54	
114.3														8.23	8.77	9.56	
121														8.73	9.30	10.14	

钢管规格

/mm																外径 /mm	
3.8	4.0	4.2	4.5	4.8	5.0	5.4	5.6	6.0	6.5	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0		12.7
/kg · m <sup>-1</sup>																	
11.54	12.13	12.72	13.59	14.46	15.04	16.19	16.76	17.90									127
12.11	12.72	13.34	14.26	15.17	15.78	16.99	17.59	18.79									133
12.70	13.35	13.99	14.96	15.92	16.56	17.83	18.46	19.72									139.3
12.76	13.42	14.07	15.04	16.00	16.65	17.92	18.56	19.83									140
13.80	14.60	15.31	16.37	17.42	18.13	19.52	20.22	21.60									152
	15.3	16.0	17.1	18.3	19.0	20.5	21.2	22.6	24.4	26.2							159
	15.9	16.7	17.8	19.0	19.7	21.3	22.0	23.5	25.4	27.3							165.1
	16.2	17.0	18.2	19.4	20.1	21.7	22.5	24.0	25.9	27.8							168.3
	17.1	18.0	19.2	20.5	21.3	23.0	23.8	25.4	27.5	29.5	33.5						177.8
	17.4	18.2	19.5	20.7	21.6	23.3	24.1	25.7	27.8	29.9	33.9						180
	18.7	19.6	21.0	22.4	23.3	25.1	26.0	27.8	30.0	32.2	36.6						193.7
			22.0	23.5	24.4	26.3	27.3	29.1	31.5	33.8	38.5						203
			23.8	25.4	26.4	28.5	29.5	31.5	34.1	36.6	41.6	46.6					219.1
			26.6	28.4	29.5	31.8	33.0	35.3	38.1	41.0	46.7	52.3					244.5
					32.3	34.8	36.1	38.6	41.8	44.9	51.1	57.3	63.4				267
					33.0	35.6	36.9	39.5	42.7	48.9	52.3	58.6	64.9				273
							40.4	43.3	46.8	50.3	57.3	64.3	71.1	78.0			298.5
							44.0	47.0	50.9	54.7	62.3	69.9	77.4	84.9			323.9
								47.2	51.1	54.9	62.5	70.1	77.7	85.2			325
								51.0	55.2	59.4	67.7	75.9	84.1	92.2			351
								51.7	56.0	60.2	68.6	76.9	85.2	93.5	101.7		355.6
								53.6	57.9	62.3	71.0	79.7	88.3	96.8	105.3		368
3.86								54.9	59.4	63.9	72.8	81.7	90.5	99.3	108.0		377
3.95								58.6	63.4	68.2	77.7	87.2	96.7	106.1	115.4		402
4.14								59.2	64.1	68.9	78.6	88.2	97.8	107.3	116.7	123.3	406.4
4.33								61.1	66.1	71.1	81.1	91.0	100.9	110.7	120.4	127.2	419
4.42								62.1	67.2	72.3	82.5	92.5	102.6	112.6	122.5	129.4	426
4.61								66.7	72.2	77.7	88.5	99.4	110.2	121.0	131.7	139.1	457
4.93								69.8	75.6	81.3	92.7	104.1	115.4	126.7	131.7	145.7	478
5.27								70.1	75.9	81.6	93.1	104.5	115.9	127.2	138.5	146.3	480
5.59								74.3	80.4	85.5	98.6	110.7	122.8	134.8	146.8	155.1	508
5.73																	
6.20																	
6.77																	
7.14																	
7.42	7.79																
7.98	8.38																
8.55	8.98																
9.16	9.63																
9.20	9.67																
9.76	10.26	10.75	11.49	12.22	12.70												
10.33	10.85	11.37	12.15	12.93	13.44	14.46	14.97										
10.35	10.88	11.40	12.18	12.96	13.48	14.50	15.01										
10.98	11.54	12.10	12.93	13.75	14.30	15.39	15.94										

钢管的通常长度：  
 外径 ≤ 30mm 时 2 ~ 6m  
 外径 > 30 ~ 70mm 时 2 ~ 8m  
 外径 > 70mm 时 2 ~ 10m





流体输送用不锈钢焊接钢管 (摘自 GB/T 12771—2000)

流体输送用不锈钢焊接钢管化学成分与力学性能

牌号	主要化学成分(质量分数)/%			推荐热处理制度	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	断后伸长率 $\delta_5$ /%
	Ni	Cr	Mo				
1Cr18Ni9	8.00~10.00	17.00~19.00	—	1010~1150℃快冷	210	520	25 <sup>①</sup>
0Cr18Ni9	8.00~11.00	17.00~19.00	—	1010~1150℃快冷	210	520	
00Cr19Ni10	8.00~12.00	18.00~20.00	—	1010~1150℃快冷	180	480	
0Cr25Ni20	19.00~22.00	24.00~26.00	—	1030~1180℃快冷	210	520	
0Cr17Ni12Mo2	10.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00	1010~1150℃快冷	210	520	
00Cr17Ni14Mo2	12.00~15.00	16.00~18.00	2.00~3.00	1010~1150℃快冷	180	480	
0Cr18Ni10Ti	9.00~12.00	17.00~19.00	Ti $\geq$ 5×C%	920~1150℃快冷	210	520	
1Cr18Ni9Ti	8.00~11.00	17.00~19.00	—	1000~1080℃快冷	210	520	
0Cr18Ni11Nb	9.00~13.00	17.00~19.00	Nb $\geq$ 10×C%	980~1150℃快冷	210	520	
00Cr17	—	16.00~19.00	Ti或Nb0.10~1.00	780~950℃快冷或缓冷	180	360	
00Cr18Mo2	—	17.00~20.00	1.75~2.50	800~1050℃快冷	240	410	20
0Cr13	—	11.50~13.50	—	750℃快冷或800~900℃缓冷	210	410	
0Cr13Al	—	11.50~13.50	Al0.10~0.30	780~830℃快冷或缓冷	177	410	

① 非热处理状态交货的钢管。

注：1. 钢管适用于腐蚀性流体的输送及在腐蚀性气氛环境中工作的中、低压流体管道。

2. 钢管应逐根进行液压试验，最高压力不大于10MPa，稳压时间不少于5s，试验方法应符合GB/T 12771—2000的规定。

3. 钢管应进行压扁试验，试验方法应符合GB/T 12771—2000规定。

4. 钢管应按GB/T 4334规定，进行耐腐蚀性能试验。

5. 本表屈服强度指标仅在需方要求，并在合同中注明时才给予保证。

6. 本表为热处理状态交货钢管的力学性能。按需方要求，供需双方协议，也可按其他状态交货。

表 3-1-84

流体输送用不锈钢焊接钢管尺寸规格

mm

壁厚 外径	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.2
	8	×	×	×	×	×	×									
(9.5)	×	×	×	×	×	×										
12	×	×	×	×	×	×	×	×	×							
(12.7)	×	×	×	×	×	×	×	×	×							
13				×	×	×	×	×	×							
14				×	×	×	×	×	×	×						
16				×	×	×	×	×	×	×	⊙					
18				×	×	×	×	×	×	×	⊙					
19				×	×	×	×	×	×	×	⊙					
20				×	×	×	×	×	×	×	⊙	⊙				
(21.3)					×	×	×	×	×	×	⊙	⊙				
22					×	×	×	×	×	×	⊙	⊙				
25					×	×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙			
(25.4)					×	×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙			
(26.7)					×	×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙			
28						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙			
30						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙			
(31.8)						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
32						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
(33.4)						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
36						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
38						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
(38.1)						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
40						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
(42.3)						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
45						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
48						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
(48.3)						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
(50.8)						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
57						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
(60.3)						×	×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
(63.5)							×	×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
76								×	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

壁厚 外径	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.2	3.5	3.6	4.0	4.2	4.6	4.8	5.0	5.5	6.0	8.0	10	12	14	16	
	(88.9)	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○											
89	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○												
(101.6)	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○												
102	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○												
108	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○												
114		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○								
(114.3)		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○								
133			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
(139.7)			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
(141.3)				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
159				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
(168.3)				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
219					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
(219.1)					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
273								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
(323.9)									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
325									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(355.6)																○	○	○	○	○	○	○	○
377																○	○	○	○	○	○	○	○
400																○	○	○	○	○	○	○	○
(406.4)																○	○	○	○	○	○	○	○
426																	○	○	○	○	○	○	○
450																	○	○	○	○	○	○	○
(457.2)																	○	○	○	○	○	○	○
478																	○	○	○	○	○	○	○
500																	○	○	○	○	○	○	○
508																	○	○	○	○	○	○	○
529																	○	○	○	○	○	○	○
550																	○	○	○	○	○	○	○
(558.8)																	○	○	○	○	○	○	○
600																	○	○	○	○	○	○	○
(609.6)																	○	○	○	○	○	○	○
630																	○	○	○	○	○	○	○

- 注：1. ×表示采用冷轧板（带）制造；○表示采用热轧板（带）制造；◎表示采用冷轧板（带）或热轧板（带）制造。  
 2. 括号内为英制单位换算的公制单位尺寸。  
 3. 钢管长度一般为2000~8000mm。可供定尺和倍尺长度钢管，其长度应在一般长度范围内。  
 4. 外径≤17mm钢管不要求弯曲数值；外径>17~140mm，弯曲度≤2.0mm/m；外径>140mm，弯曲度≤2.5mm/m。  
 5. 钢管的理论质量计算方法如下。

牌 号	密度/kg·dm <sup>-3</sup>	理论质量计算公式
1Cr18Ni9, 0Cr18Ni9, 00Cr19Ni10, 0Cr18Ni10Ti, 1Cr18Ni9Ti	7.93	$W = 0.02491S(D - S)$
0Cr25Ni20, 0Cr17Ni12Mo2, 00Cr17Ni14Mo2, 0Cr18Ni11Nb	7.98	$W = 0.02507S(D - S)$
00Cr17	7.70	$W = 0.02419S(D - S)$
0Cr13, 00Cr18Mo2, 0Cr13Al	7.75	$W = 0.02435S(D - S)$

计算公式中的W为钢管理论质量，kg/m；S、D分别为钢管的公称壁厚和公称直径，mm。

## 传动轴用电焊钢管 (摘自 YB/T 5209—2000)

表 3-1-85

类别	牌号	主要化学成分(质量分数)			抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服点 $\sigma_s$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%
		C	Si	Mn			
I (热轧带钢焊接)	08Z	0.05 ~ 0.12	≤ 0.37	0.35 ~ 0.65	≥450	≥300	≥15
II (冷轧带钢焊接)	20Z				≥440	≥295	≥10
III (冷、热轧带钢焊接结合制造)	20Z	0.17 ~ 0.24	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	460 ~ 590	≥350	≥10
外径 × 壁厚/mm (静扭矩值/N·m)	50 × 2.5、 (1570)	63.5 × 1.6、 (双方协议)	63.5 × 2.5、 (1570)	68.9 × 2.3、 (双方协议)	76 × 2.5、 (4120)	89 × 2.5 (4120)	
	89 × 4.0、 (11760)	89 × 5.0、 (12740)	90 × 3.0、 (双方协议)	100 × 4.0、 (14700)	100 × 6.0 (19600)	108 × 7.0 (双方协议)	

注: 1. 本标准适用于制造汽车传动轴及其他机械动力传动轴用电焊或电焊冷拔钢管。

2. 钢牌号的其他化学成分应符合原标准的规定。

3. 各牌号的  $\sigma_s$  值不作交货条件, 但应填在质量证明书中。

4. 钢管通常长度为 3.5 ~ 8.5m。

5. 钢管应进行水压试验, 试验压力为 11.8MPa, 稳压时间不少于 5s, 不得漏水和渗水。钢管应能进行压扁试验, 压扁试验平板间的距离是: 壁厚 ≤ 5.0mm 时为  $D/3$ , 壁厚 > 5.0mm 时为  $D/4$  ( $D$  为钢管外径)。钢管还应经扩口试验。

## 结构用和输送流体用无缝钢管 (摘自 GB/T 8162—1999、GB/T 8163—1999)

表 3-1-86 结构用和输送流体用无缝钢管的尺寸偏差 (GB/T 8162—1999、GB/T 8163—1999)

mm

钢管种类	钢管尺寸	允许偏差		钢管尺寸	允许偏差	
		普通级	高级		普通级	高级
		结构用无缝钢管		输送流体用无缝钢管		
热轧管	外径 < 50	±0.50	±0.40	所有外径	±1% (最小 ±0.50)	—
	≥ 50	±1%	±0.75%			
	壁厚 < 4	±12.5%	±10%	所有壁厚	+15% -12.5% (最小 +0.45 -0.40)	—
≥ 4 ~ 20	+15%					
> 20	-12.5% ±12.5%					
冷拔(轧)管	外径 6 ~ 10	±0.20	±0.10	外径 6 ~ 10	±0.20	±0.15
	> 10 ~ 30	±0.40	±0.20	> 10 ~ 30	±0.40	±0.20
	> 30 ~ 50	±0.45	±0.25	> 30 ~ 50	±0.45	±0.30
	> 50	±1%	±0.5%	> 50	±1%	±0.8%
	壁厚 ≤ 1	±0.15	±0.12	壁厚 ≤ 1	±0.15	±0.12
	> 1 ~ 3	+15% -10% +12.5%	±10%	> 1 ~ 3	+15% -10% +12.5%	+12.5% -10%
	> 3	-10%	±10%	> 3	-10%	±10%

注: 1. 结构用和流体用无缝钢管的内外表面质量要求是, 不得有裂缝、折叠、轧折、离层、发纹和结疤。

2. 钢管的通常长度: 热轧管 3 ~ 12m; 冷拔管 2 ~ 10.5m。

表 3-1-87

结构用无缝钢管的力学性能 (GB/T 8162—1999)

牌 号	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈 服 点 $\sigma_s$ /MPa			断后伸长率 $\delta_5$ /%	压扁试验 平板间距 $H$ /mm
		钢 管 壁 厚				
		$\leq 16\text{mm}$	$> 16 \sim 30\text{mm}$	$> 30\text{mm}$		
		$\geq$				
10	335	205	195	185	24	$\frac{2}{3}D$
20	390	245	235	225	20	$\frac{2}{3}D$
35	510	305	295	285	17	—
45	590	335	325	315	14	—
Q345	490	325	315	305	21	$\frac{7}{8}D$

优质钢、低合金钢管的纵向力学性能  
(热轧或正火回火状态交货)

备注:

1.  $D$  为钢管外径
2. 压扁试验的平板间距  $H$  最小值应是钢管壁厚的 5 倍
3. 由 10、20、Q345 制造的钢管, 对于外径大于 22mm 至 400mm, 并且壁厚与外径比值不大于 10% 的钢管应进行压扁试验, 其平板间距  $H$  应符合本表要求

牌 号	热 处 理					力 学 性 能			钢管退火或 高温回火供 应状态布氏 硬度 HB
	淬 火			回 火		抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服点 $\sigma_s$ /MPa	断后伸长 率 $\delta_5$ /%	
	温度/°C		冷却剂	温度/°C	冷却剂				
	第一次淬火	第二次淬火				$\geq$	$\leq$		
40Mn2	840	—	水、油	540	水、油	885	735	12	217
45Mn2	840	—	水、油	550	水、油	885	735	10	217
27SiMn	920	—	水	450	水、油	980	835	12	217
40MnB	850	—	油	500	水、油	980	785	10	207
45MnB	840	—	油	500	水、油	1030	835	9	217
20Mn2B	880**	—	油	200	水、空	980	785	10	187
20Cr	880**	800	水、油	200	水、空	835*	540*	10*	179
						785*	490*	10*	179
30Cr	860	—	油	500	水、油	885	685	11	187
35Cr	860	—	油	500	水、油	930	735	11	207
40Cr	850	—	油	520	水、油	980	785	9	207
45Cr	840	—	油	520	水、油	1030	835	9	217
50Cr	830	—	油	520	水、油	1080	930	9	229
38CrSi	900	—	油	600	水、油	980	835	12	255
12CrMo	900	—	空	650	空	410	265	24	179
15CrMo	900	—	空	650	空	440	295	22	179
20CrMo	880**	—	水、油	500	水、油	885*	685*	11*	197
						845*	635*	12*	197
35CrMo	850	—	油	550	水、油	980	835	12	229
42CrMo	850	—	油	560	水、油	1080	930	12	217
12CrMoV	970	—	空	750	空	440	225	22	241
12Cr1MoV	970	—	空	750	空	490	245	22	179

合金钢管的纵向力学性能  
(用热处理毛坯制成试样测出)

续表

牌 号	热 处 理						力学性能			钢管退火或 高温回火供 应状态布氏 硬度 HB
	淬 火			回 火			抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服点 $\sigma_s$ /MPa	断后伸长 率 $\delta_5$ /%	
	温度/℃		冷却剂	温度/℃	冷却剂					
	第一次淬火	第二次淬火				$\geq$			$\leq$	
38CrMoAl	940		水、油	640	水、油	980*	835*	12*	229	
						930*	785*	14*	229	
50CrVA	860	—	油	500	水、油	1275	1130	10	255	
20CrMn	850	—	油	200	水、空	930	735	10	187	
20CrMnSi	880**	—	油	480	水、油	785	635	12	207	
30CrMnSi	880**	—	油	520	水、油	1080*	885*	8*	229	
						980*	835*	10*	229	
35CrMnSiA	880**	—	油	230	水、空	1620	—	9	229	
20CrMnTi	880**	870	油	200	水、空	1080	835	10	217	
30CrMnTi	880**	850	油	200	水、空	1470	—	9	229	
12CrNi2	860	780	水、油	200	水、空	785	590	12	207	
12CrNi3	860	780	油	200	水、空	930	685	11	217	
12CrNi4	860	780	油	200	水、空	1080	835	10	269	
40CrNiMoA	850	—	油	600	水、油	980	835	12	269	
45CrNiMoVA	860	—	油	460	油	1470	1325	7	269	

(用热处理毛坯制成试样测出)  
合金钢管的纵向力学性能

备注:

1. 表中所列热处理温度允许调整范围: 淬火  $\pm 20^\circ\text{C}$ , 低温回火  $\pm 30^\circ\text{C}$ , 高温回火  $\pm 50^\circ\text{C}$
2. 硼钢在淬火前可先正火, 铬锰钛钢第一次淬火可用正火代替
3. \* 表示可按其中一种数据交货, \*\* 表示于 280~320℃ 等温淬火
4. 对壁厚不大于 5mm 的钢管不进行布氏硬度试验

注: 1. 热轧(挤压、扩)钢管以热轧或热处理状态交货, 冷拔(轧)钢管以热处理状态交货, 经供需双方协商也可冷拔(轧)状态交货, 冷拔(轧)状态交货的力学性能需双方协商。

2. 各牌号的化学成分应符合 GB/T 699、GB/T 1591 或 GB/T 3077 的规定。

表 3-1-88 输送流体用无缝钢管的纵向力学性能 (GB/T 8163—1999)

牌 号	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服点 $\sigma_s$ /MPa		断后伸长率 $\delta_5$ /%
		壁厚 $S \leq 16\text{mm}$	壁厚 $S > 16\text{mm}$	
		$\geq$		
10	335~475	205	195	24
20	410~550	245	235	20
Q295	430~610	295	285	22
Q345	490~665	325	315	21

注: 1. 各牌号的化学成分应符合 GB/T 699 或 GB/T 1591 的规定。

2. 热轧(挤压、扩)钢管以热轧状态或热处理状态交货; 冷拔(轧)钢管以热处理状态交货。

3. 对于外径大于 22mm 至 400mm, 并且壁厚与外径比值不大于 10% 的钢管应进行压扁试验, 其平板间距  $H$  按原标准中公式计算, 压扁后试样应无裂缝或裂口。

4. 钢管应逐根进行液压试验, 试验压力按式  $p = \frac{2SR}{D}$  计算 ( $p$  为试验压力, MPa;  $S$  为钢管公称壁厚, mm;  $D$  为钢管公称外径, mm;  $R$  为允许应力, 规定屈服点的 60%, MPa), 最高压力不得超过 19MPa, 试压应保压 5s, 钢管不得渗漏。

表 3-1-89

外 径/mm			壁 厚									
系列 1	系列 2	系列 3	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.0	1.2	1.4	1.5
单 位 长 度 理												
	6		0.035	0.042	0.055	0.068	0.080	0.103	0.123	0.142	0.159	0.166
	7		0.042	0.050	0.065	0.080	0.095	0.122	0.148	0.172	0.193	0.203
	8		0.048	0.057	0.075	0.092	0.110	0.142	0.173	0.201	0.228	0.240
	9		0.054	0.064	0.085	0.105	0.124	0.162	0.197	0.231	0.262	0.277
10(10.2)			0.060	0.072	0.095	0.117	0.139	0.182	0.222	0.261	0.297	0.314
	11		0.066	0.079	0.105	0.129	0.154	0.201	0.247	0.290	0.331	0.351
	12		0.072	0.087	0.115	0.142	0.169	0.221	0.271	0.320	0.366	0.388
	13(12.7)		0.079	0.094	0.124	0.154	0.184	0.241	0.296	0.349	0.400	0.425
13.5			0.082	0.098	0.129	0.160	0.191	0.251	0.308	0.364	0.418	0.444
		14	0.085	0.101	0.134	0.166	0.198	0.260	0.321	0.379	0.435	0.462
	16		0.097	0.116	0.154	0.191	0.228	0.300	0.370	0.438	0.504	0.536
17(17.2)			0.103	0.124	0.164	0.203	0.243	0.320	0.395	0.468	0.539	0.573
		18	0.109	0.131	0.174	0.216	0.258	0.340	0.419	0.497	0.573	0.610
	19		0.115	0.138	0.183	0.228	0.272	0.359	0.444	0.527	0.608	0.647
	20		0.122	0.146	0.193	0.240	0.287	0.379	0.469	0.556	0.642	0.684
21(21.3)					0.203	0.253	0.302	0.399	0.493	0.586	0.677	0.721
		22			0.212	0.265	0.317	0.418	0.518	0.616	0.711	0.758
	25				0.242	0.302	0.361	0.477	0.592	0.704	0.815	0.869
		25.4			0.247	0.307	0.367	0.485	0.602	0.716	0.829	0.884
27(26.9)					0.262	0.327	0.391	0.517	0.641	0.763	0.884	0.943
	28				0.272	0.339	0.406	0.537	0.666	0.793	0.918	0.98
		30			0.292	0.364	0.435	0.576	0.715	0.852	0.987	1.05
	32(31.8)				0.311	0.388	0.465	0.616	0.765	0.911	1.056	1.13
34(33.7)					0.331	0.413	0.494	0.655	0.814	0.971	1.125	1.20
		35			0.341	0.425	0.509	0.675	0.838	1.000	1.16	1.24
	38				0.370	0.462	0.553	0.734	0.912	1.089	1.26	1.35
	40				0.390	0.487	0.583	0.774	0.962	1.148	1.33	1.42
42(42.4)									1.01	1.21	1.40	1.50
		45(44.5)							1.09	1.30	1.51	1.61
48(48.3)									1.16	1.39	1.61	1.72
	51								1.23	1.47	1.71	1.83
		54							1.31	1.56	1.82	1.94
	57								1.38	1.65	1.92	2.05
60(60.3)									1.46	1.74	2.02	2.16
	63(63.5)								1.53	1.83	2.13	2.27
	65								1.58	1.89	2.20	2.35
	68								1.65	1.98	2.30	2.46
	70								1.70	2.04	2.37	2.53

(摘自 GB/T 17395—1998)

/mm													
1.6	1.8	2.0	2.2(2.3)	2.5(2.6)	2.8	(2.9)3.0	3.2	3.5(3.6)	4.0	4.5	5.0	(5.4)5.5	6.0
论 质 量/kg·m <sup>-1</sup>													
0.174	0.186	0.197											
0.213	0.231	0.247	0.260	0.277									
0.253	0.275	0.296	0.315	0.339									
0.292	0.320	0.345	0.369	0.401	0.428								
0.332	0.364	0.395	0.423	0.462	0.497	0.518	0.537	0.561					
0.371	0.408	0.444	0.477	0.524	0.566	0.592	0.615	0.647					
0.410	0.453	0.493	0.532	0.586	0.635	0.666	0.694	0.734	0.789				
0.450	0.497	0.543	0.586	0.647	0.704	0.740	0.774	0.820	0.888				
0.470	0.519	0.567	0.613	0.678	0.739	0.777	0.813	0.863	0.937				
0.490	0.542	0.592	0.640	0.709	0.773	0.814	0.852	0.906	0.986				
0.568	0.630	0.691	0.749	0.832	0.910	0.962	1.01	1.08	1.18	1.28	1.36		
0.608	0.675	0.740	0.803	0.894	0.98	1.04	1.09	1.17	1.28	1.39	1.48		
0.647	0.719	0.789	0.857	0.956	1.05	1.11	1.17	1.25	1.38	1.50	1.60		
0.687	0.763	0.838	0.911	1.02	1.12	1.18	1.25	1.34	1.48	1.61	1.73	1.83	1.92
0.726	0.808	0.888	0.966	1.08	1.19	1.26	1.33	1.42	1.58	1.72	1.85	1.97	2.07
0.765	0.852	0.937	1.02	1.14	1.26	1.33	1.41	1.51	1.68	1.83	1.97	2.10	2.22
0.805	0.897	0.986	1.07	1.20	1.33	1.41	1.48	1.60	1.78	1.94	2.10	2.24	2.37
0.923	1.03	1.13	1.24	1.39	1.53	1.63	1.72	1.86	2.07	2.28	2.47	2.64	2.81
0.939	1.05	1.15	1.26	1.41	1.56	1.66	1.75	1.89	2.11	2.32	2.52	2.70	2.87
1.00	1.13	1.23	1.34	1.51	1.67	1.78	1.88	2.03	2.27	2.50	2.71	2.92	3.11
1.04	1.16	1.28	1.40	1.57	1.74	1.85	1.96	2.11	2.37	2.61	2.84	3.05	3.26
1.12	1.25	1.38	1.51	1.70	1.88	2.00	2.12	2.29	2.56	2.83	3.08	3.32	3.55
1.20	1.34	1.48	1.62	1.82	2.02	2.15	2.27	2.46	2.76	3.05	3.33	3.59	3.85
1.28	1.43	1.58	1.72	1.94	2.15	2.29	2.43	2.63	2.96	3.27	3.58	3.87	4.14
1.32	1.47	1.63	1.78	2.00	2.22	2.37	2.51	2.72	3.06	3.38	3.70	4.00	4.29
1.44	1.61	1.78	1.94	2.19	2.43	2.59	2.75	2.98	3.35	3.72	4.07	4.41	4.74
1.52	1.69	1.87	2.05	2.31	2.57	2.74	2.90	3.15	3.55	3.94	4.32	4.68	5.03
1.60	1.79	1.97	2.16	2.44	2.71	2.89	3.06	3.32	3.75	4.16	4.56	4.95	5.33
1.71	1.92	2.12	2.32	2.62	2.91	3.11	3.30	3.58	4.04	4.49	4.93	5.36	5.77
1.83	2.05	2.27	2.48	2.81	3.12	3.33	3.54	3.84	4.34	4.83	5.30	5.76	6.21
1.95	2.18	2.42	2.65	2.99	3.33	3.55	3.77	4.10	4.64	5.16	5.67	6.17	6.66
2.07	2.32	2.56	2.81	3.18	3.54	3.77	4.01	4.36	4.93	5.49	6.04	6.58	7.10
2.19	2.45	2.71	2.97	3.36	3.74	4.00	4.25	4.62	5.23	5.83	6.41	6.99	7.55
2.31	2.58	2.86	3.14	3.55	3.95	4.22	4.48	4.88	5.52	6.16	6.78	7.39	7.99
2.42	2.72	3.01	3.30	3.73	4.16	4.44	4.72	5.14	5.82	6.49	7.15	7.80	8.43
2.50	2.81	3.11	3.41	3.85	4.29	4.59	4.88	5.31	6.02	6.71	7.40	8.07	8.73
2.62	2.94	3.26	3.57	4.04	4.50	4.81	5.11	5.57	6.31	7.05	7.77	8.48	9.17
2.70	3.03	3.35	3.68	4.16	4.64	4.96	5.27	5.74	6.51	7.27	8.01	8.75	9.47



外 径/mm			壁 厚									
系列 1	系列 2	系列 3	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2(2.3)	2.5(2.6)	2.8
			单 位 长 度 理									
	25											
		25.4										
27(26.9)												
	28											
		30										
	32(31.8)											
34(33.7)												
		35										
	38											
	40											
42(42.4)												
		45(44.5)										
48(48.3)												
	51											
		54										
	57											
60(60.3)												
	63(63.5)											
	65											
	68											
	70											
		73	1.78	2.12	2.47	2.64	2.82	3.16	3.50	3.84	4.35	4.85
76(76.1)			1.85	2.21	2.58	2.76	2.94	3.29	3.65	4.00	4.53	5.05
	77				2.61	2.79	2.98	3.34	3.70	4.06	4.59	5.12
	80				2.71	2.90	3.09	3.47	3.85	4.22	4.78	5.33
		83(82.5)			2.82	3.02	3.21	3.60	4.00	4.38	4.96	5.54
	85				2.89	3.09	3.29	3.69	4.09	4.49	5.09	5.68
89(88.9)					3.02	3.24	3.45	3.87	4.29	4.71	5.33	5.95
	95				3.23	3.46	3.69	4.14	4.59	5.03	5.70	6.37
	102(101.6)				3.47	3.72	3.96	4.45	4.93	5.41	6.13	6.85
		108			3.68	3.94	4.20	4.71	5.23	5.74	6.50	7.26
114(114.3)						4.16	4.44	4.98	5.52	6.07	6.87	7.68
	121					4.42	4.71	5.29	5.87	6.45	7.31	8.16
	127							5.56	6.17	6.77	7.68	8.58
	133										8.05	8.98
140(139.7)												
		142(141.3)										
	146											
		152(152.4)										

续表

/mm													
(2.9)3.0	3.2	3.5(3.6)	4.0	4.5	5.0	(5.4)5.5	6.0	(6.3)6.5	7.0(7.1)	7.5	8.0	8.5	(8.8)9.0
论 质 量/kg·m <sup>-1</sup>													
								2.97	3.11				
								3.03	3.18				
								3.29	3.45				
								3.45	3.63				
								3.77	3.97	4.16	4.34		
								4.09	4.32	4.53	4.74		
								4.41	4.66	4.90	5.13		
								4.57	4.83	5.09	5.33	5.56	5.77
								5.05	5.35	5.64	5.92	6.18	6.44
								5.37	5.70	6.01	6.31	6.60	6.88
								5.69	6.04	6.38	6.71	7.02	7.32
								6.17	6.56	6.94	7.30	7.65	7.99
								6.65	7.08	7.49	7.89	8.28	8.66
								7.13	7.60	8.05	8.48	8.91	9.32
								7.61	8.11	8.60	9.08	9.54	9.99
								8.10	8.63	9.16	9.67	10.17	10.65
								8.58	9.15	9.71	10.26	10.80	11.32
								9.06	9.67	10.26	10.85	11.42	11.98
								9.38	10.01	10.63	11.25	11.84	12.43
								9.86	10.53	11.19	11.84	12.47	13.10
								10.18	10.88	11.56	12.23	12.89	13.54
5.18	5.51	6.00	6.81	7.60	8.38	9.16	9.91	10.66	11.39	12.11	12.82	13.52	14.20
5.40	5.75	6.26	7.10	7.93	8.75	9.56	10.36	11.14	11.91	12.67	13.42	14.15	14.87
5.47	5.82	6.34	7.20	8.05	8.88	9.70	10.50	11.30	12.08	12.85	13.61	14.36	15.09
5.70	6.06	6.60	7.50	8.38	9.25	10.10	10.95	11.78	12.60	13.41	14.20	14.99	15.76
5.92	6.30	6.86	7.79	8.71	9.62	10.51	11.39	12.26	13.12	13.96	14.80	15.62	16.42
6.07	6.46	7.04	7.99	8.93	9.86	10.78	11.69	12.58	13.46	14.33	15.19	16.04	16.87
6.36	6.77	7.38	8.38	9.38	10.36	11.33	12.28	13.22	14.16	15.07	15.98	16.87	17.76
6.81	7.24	7.90	8.98	10.04	11.10	12.14	13.17	14.19	15.19	16.18	17.16	18.13	19.09
7.32	7.80	8.50	9.67	10.82	11.96	13.09	14.21	15.31	16.40	17.48	18.55	19.60	20.64
7.77	8.27	9.02	10.26	11.49	12.70	13.90	15.09	16.27	17.44	18.59	19.73	20.86	21.97
8.21	8.74	9.54	10.85	12.15	13.44	14.72	15.98	17.23	18.47	19.70	20.91	22.11	23.30
8.73	9.30	10.14	11.54	12.93	14.30	15.67	17.02	18.35	19.68	20.99	22.29	23.58	24.86
9.19	9.77	10.66	12.13	13.59	15.04	16.48	17.90	19.31	20.71	22.10	23.48	24.84	26.19
9.62	10.24	11.18	12.72	14.26	15.78	17.29	18.79	20.28	21.75	23.21	24.66	26.10	27.52
10.14	10.80	11.78	13.42	15.04	16.65	18.24	19.83	21.40	22.96	24.51	26.04	27.56	29.08
10.28	10.95	11.95	13.61	15.26	16.89	18.51	20.12	21.72	23.30	24.88	26.44	27.98	29.52
10.58	11.27	12.30	14.01	15.70	17.39	19.06	20.72	22.36	23.99	25.62	27.22	28.82	30.41
11.02	11.74	12.82	14.60	16.37	18.13	19.87	21.60	23.32	25.03	26.73	28.41	30.08	31.74

外 径/mm			壁 厚										
系列 1	系列 2	系列 3	3.5(3.6)	4.0	4.5	5.0	(5.4)5.5	6.0	(6.3)6.5	7.0(7.1)	7.5	8.0	8.5
			单 位 长 度 理										
	38												
	40												
42(42.4)													
		45(44.5)											
48(48.3)													
	51												
		54											
	57												
60(60.3)													
	63(63.5)												
	65												
	68												
	70												
		73											
76(76.1)													
	77												
	80												
		83(82.5)											
	85												
89(88.9)													
	95												
	102(101.6)												
		108											
114(114.3)													
	121												
	127												
	133												
140(139.7)													
		142(141.3)											
	146												
		152(152.4)											
		159	13.42	15.29	17.14	18.99	20.82	22.64	24.44	26.24	28.02	29.79	31.55
168(168.3)			14.20	16.18	18.14	20.10	22.04	23.97	25.89	27.79	29.68	31.56	33.44
		180(177.8)	15.23	17.36	19.48	21.58	23.67	25.74	27.81	29.86	31.90	33.93	35.95
		194(193.7)	16.44	18.74	21.03	23.30	25.60	27.82	30.05	32.28	34.49	36.69	38.88
	203		17.22	19.63	22.03	24.41	26.79	29.15	31.50	33.83	36.16	38.47	40.77
219(219.1)								31.52	34.06	36.60	39.12	41.63	44.12
		245(244.5)						35.36	38.23	41.08	43.93	46.76	49.57

注：1. 本表选自原标准的普通钢管尺寸组（分为系列1、系列2、系列3）。未编入本表的尚有精密钢管尺寸组（分为系列主的钢管，第3系列为特殊用途钢管。

2. 钢管的通常长度：热轧管为3000~12000mm；冷拔管为2000~10500mm。

3. 表中括号内尺寸表示相应的英制规格，不推荐采用。

4. 未编入本表的厚度系列有：25、26、28、30、32、34、36、38、40、42、45、50、55、60、65。

厚度大于24mm、外径小于273mm的未编入的钢管规格（外径×壁厚）如下：102×25~28、108×25~30、114×25~30、121×25~30、194×25~50、203×25~55、219×25~55、245×25~65。外径大于273mm的全部钢管未编入本表，其系列规格（外径×壁厚规格有377、402、406、426、450、457、480、500、508、530、560、610、630、660。

5. 钢管的理论质量按下式计算： $W = \frac{\pi}{1000} \rho (D - S) S$ （W为钢管理论质量，kg/m； $\pi$ 取3.1416； $\rho$ 为钢的密度，取7.85kg/dm<sup>3</sup>；

续表

/mm														
(8.8)9.0	9.5	10	11	12(12.5)	13	14(14.2)	15	16	17(17.5)	18	19	20	22(22.2)	24
论 质 量/kg·m <sup>-1</sup>														
	6.68	6.91												
	7.15	7.40												
	7.61	7.89												
	8.32	8.63	9.22	9.77										
	9.02	9.37	10.04	10.65										
	9.72	10.11	10.85	11.54										
	10.43	10.85	11.67	12.43	13.14	13.81								
	11.13	11.59	12.48	13.32	14.11	14.85								
	11.83	12.33	13.29	14.21	15.07	15.88	16.64	17.36						
	12.53	13.07	14.11	15.09	16.03	16.92	17.76	18.55						
	13.00	13.56	14.65	15.68	16.67	17.61	18.50	19.33						
	13.71	14.30	15.46	16.57	17.63	18.64	19.61	20.52						
	14.17	14.80	16.01	17.16	18.27	19.33	20.35	21.31	22.22					
	14.88	15.54	16.82	18.05	19.24	20.37	21.46	22.49	23.48	24.41	25.30			
	15.58	16.28	17.63	18.94	20.20	21.41	22.56	23.67	24.73	25.75	26.71	27.62		
	15.81	16.52	17.90	19.23	20.52	21.75	22.93	24.07	25.15	26.19	27.18	28.11		
	16.52	17.26	18.72	20.12	21.48	22.79	24.04	25.25	26.41	27.52	28.58	29.59		
	17.22	18.00	19.53	21.01	22.44	23.82	25.15	26.44	27.67	28.85	29.99	31.07	33.10	
	17.69	18.49	20.07	21.60	23.08	24.51	25.89	27.23	28.51	29.74	30.92	32.06	34.18	
	18.63	19.48	21.16	22.79	24.36	25.89	27.37	28.80	30.18	31.52	32.80	34.03	36.35	38.47
	20.03	20.96	22.79	24.56	26.29	27.96	29.59	31.17	32.70	34.18	35.61	36.99	39.60	42.02
	21.67	22.69	24.69	26.63	28.53	30.38	32.18	33.93	35.63	37.29	38.89	40.44	43.40	46.16
	23.08	24.17	26.31	28.41	30.46	32.45	34.40	36.30	38.15	39.95	41.70	43.40	46.66	49.71
	24.48	25.65	27.94	30.19	32.38	34.52	36.62	38.67	40.66	42.61	44.51	46.36	49.91	53.27
	26.12	27.37	29.84	32.26	34.62	36.94	39.21	41.43	43.60	45.72	47.79	49.81	53.71	57.41
	27.53	28.85	31.47	34.03	36.55	39.01	41.43	43.80	46.12	48.38	50.60	52.77	56.96	60.96
	28.93	30.33	33.10	35.81	38.47	41.08	43.65	46.16	48.63	51.05	53.41	55.73	60.22	64.51
	30.57	32.06	34.99	37.88	40.71	43.50	46.24	48.93	51.56	54.15	56.69	59.18	64.02	68.65
	31.04	32.55	35.54	38.47	41.36	44.19	46.98	49.72	52.41	55.04	57.63	60.17	65.11	69.84
	31.98	33.54	36.62	39.66	42.64	45.57	48.46	51.29	54.08	56.82	59.50	62.14	67.27	72.20
	33.39	35.02	38.25	41.43	44.56	47.64	50.68	53.66	56.59	59.48	62.32	65.10	70.53	75.76
33.29	35.02	36.75	40.15	43.50	46.80	50.06	53.27	56.42	59.53	62.59	65.60	68.55	74.33	79.90
35.29	37.13	38.97	42.59	46.17	49.69	53.17	56.59	59.97	63.30	66.58	69.81	72.99	79.21	85.22
37.95	39.94	41.92	45.84	49.72	53.54	57.31	61.03	64.71	68.33	71.91	75.43	78.91	85.72	92.33
41.06	43.22	45.38	49.64	53.86	58.02	62.14	66.21	70.23	74.20	78.12	81.99	85.82	93.31	100.61
43.06	45.33	47.59	52.08	56.52	60.91	65.25	69.54	73.78	77.97	82.12	86.21	90.26	98.20	105.94
46.61	49.08	51.54	56.42	61.26	66.04	70.77	75.46	80.10	84.68	89.22	93.71	98.15	106.88	115.41
52.38	55.17	57.95	63.48	68.95	74.37	79.75	83.08	90.35	95.58	100.76	105.89	110.97	120.98	130.80

2、系列3)。不锈钢尺寸组系列(分为系列1、系列2、系列3)见表3-1-90。第1系列为标准化钢管,第2系列为非标准化为

127×25~32、133×25~36、140×25~36、142×25~36、146×25~40、152×25~40、159×25~45、168×25~45、180×25~50、(厚)有:273×6.5~65、299×7.5~65、325×7.5~65、340×8~65、351×8~65、356×9~65,后面的钢管壁厚全为9~65mm,

$D$ 为钢管公称外径,mm; $S$ 为钢管公称壁厚,mm)。

表 3-1-90 不锈钢无缝钢管尺寸系列 (摘自 GB/T 17395—1998)

外 径		厚																																
		mm																																
系列 1	系列 2	系列 3	6	7	8	9	10(10.2)	12	12.7	13(13.5)	14	16	17(17.2)	18	19	20	21(21.3)	24	25	25.4	27(26.9)	30	32(31.8)	34(33.7)	35	38	40	42(42.4)	45(44.5)	48(48.3)	51	54	57	60(60.3)
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x



## 结构用和流体输送用不锈钢无缝钢管 (摘自 GB/T 14975—2002、GB/T 14976—2002)

表 3-1-91

类别	组织类型	牌 号	主要化学成分(质量分数)/%			推荐热处理制度	力学性能			密度 /kg· dm <sup>-3</sup>
			Ni	Cr	Mo		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%	
结构用不 锈钢无 缝钢 管 (GB/T 14975)	奥氏体型	0Cr18Ni9	8.00~11.00	17.00~19.00		1010~1150℃急冷	520	205	35	7.93
		1Cr18Ni9	8.00~10.00	17.00~19.00		1010~1150℃急冷	520	205	35	7.90
		00Cr19Ni10	8.00~12.00	18.00~20.00		1010~1150℃急冷	480	175	35	7.93
		0Cr18Ni10Ti	9.00~12.00	17.00~19.00		920~1150℃急冷	520	205	35	7.95
		0Cr18Ni11Nb	9.00~13.00	17.00~19.00		980~1150℃急冷	520	205	35	7.98
		0Cr17Ni12Mo2	10.00~14.00	16.00~18.50	2.00~3.00	1010~1150℃急冷	520	205	35	7.98
		00Cr17Ni14Mo2	12.00~15.00	16.00~18.00	2.00~3.00	1010~1150℃急冷	480	175	35	7.98
		0Cr18Ni12Mo2Ti	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50	1000~1100℃急冷	530	205	35	8.00
		1Cr18Ni12Mo2Ti	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50	1000~1100℃急冷	530	205	35	8.00
		0Cr18Ni12Mo3Ti	11.00~14.00	16.00~19.00	2.50~3.50	1000~1100℃急冷	530	205	35	8.10
		1Cr18Ni12Mo3Ti	11.00~14.00	16.00~19.00	2.50~3.50	1000~1100℃急冷	530	205	35	8.10
		1Cr18Ni9Ti	8.00~11.00	17.00~19.00		1000~1100℃急冷	520	205	35	7.90
		0Cr19Ni13Mo3	11.00~15.00	18.00~20.00	3.00~4.00	1010~1150℃急冷	520	205	35	7.98
		00Cr19Ni13Mo3	11.00~15.00	18.00~20.00	3.00~4.00	1010~1150℃急冷	480	175	35	7.98
		00Cr18Ni10N	8.50~11.50	17.00~19.00		1010~1150℃急冷	550	245	40	7.90
		0Cr19Ni9N	7.00~10.50	18.00~20.00		1010~1150℃急冷	550	275	35	7.90
	00Cr17Ni13Mo2N	10.50~14.50	16.00~18.50	2.00~3.00	1010~1150℃急冷	550	245	40	8.00	
	0Cr17Ni12Mo2N	10.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00	1010~1150℃急冷	550	275	35	7.80	
		铁素体型	1Cr17		16.00~18.00		780~850℃空冷或缓冷	410	245	20
	马氏体型	0Cr13		11.50~13.50		800~900℃ 缓冷或750℃快冷	370	180	22	7.70
		1Cr13		11.50~13.50		800~900℃缓冷	410	205	20	7.70
		2Cr13		12.00~14.00		800~900℃缓冷	470	215	19	7.70
	奥氏体- 铁素体型	00Cr18Ni5Mo3Si2	4.50~5.50	18.00~19.00	2.50~3.00	920~1150℃急冷	590	390	20	7.98
流 体 输 送 用 不 锈 钢 无 缝 钢 管 (GB/T 14976)	奥氏体型	0Cr18Ni9	8.00~11.00	17.00~19.00		1010~1150℃急冷	520	205	35	7.93
		1Cr18Ni9	8.00~10.00	17.00~19.00		1010~1150℃急冷	520	205	35	7.90
		00Cr19Ni10	8.00~12.00	18.00~20.00		1010~1150℃急冷	480	175	35	7.93
		0Cr18Ni10Ti	9.00~12.00	17.00~19.00		920~1150℃急冷	520	205	35	7.95
		0Cr18Ni11Nb	9.00~13.00	17.00~19.00		980~1150℃急冷	520	205	35	7.98
		0Cr17Ni12Mo2	10.00~14.00	16.00~18.50	2.00~3.00	1010~1150℃急冷	520	205	35	7.98
		00Cr17Ni14Mo2	12.00~15.00	16.00~18.00	2.00~3.00	1010~1150℃急冷	480	175	35	7.98
		0Cr18Ni12Mo2Ti	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50	1000~1100℃急冷	530	205	35	8.00
		1Cr18Ni12Mo2Ti	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50	1000~1100℃急冷	530	205	35	8.00

续表

类别	组织类型	牌 号	主要化学成分(质量分数)/%			推荐热处理制度	力学性能			密度 /kg·dm <sup>-3</sup>
			Ni	Cr	Mo		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%	
流体 输送用不 锈钢 无缝 钢管 (GB/T 14976)	奥氏体型	0Cr18Ni12Mo3Ti	11.00 ~ 14.00	16.00 ~ 19.00	2.50 ~ 3.50	1000 ~ 1100℃急冷	530	205	35	8.10
		1Cr18Ni12Mo3Ti	11.00 ~ 14.00	16.00 ~ 19.00	2.50 ~ 3.50	1000 ~ 1100℃急冷	530	205	35	8.10
		1Cr18Ni9Ti	8.00 ~ 11.00	17.00 ~ 19.00		1000 ~ 1100℃急冷	520	205	35	7.90
		0Cr19Ni13Mo3	11.00 ~ 15.00	18.00 ~ 20.00	3.00 ~ 4.00	1010 ~ 1150℃急冷	520	205	35	7.98
		00Cr19Ni13Mo3	11.00 ~ 15.00	18.00 ~ 20.00	3.00 ~ 4.00	1010 ~ 1150℃急冷	480	175	35	7.98
		00Cr18Ni10N	8.50 ~ 11.50	17.00 ~ 19.00		1010 ~ 1150℃急冷	550	245	40	7.90
		0Cr19Ni9N	7.00 ~ 10.50	18.00 ~ 20.00		1010 ~ 1150℃急冷	550	275	35	7.90
		0Cr19Ni10NbN	7.50 ~ 10.50	18.00 ~ 20.00		1010 ~ 1150℃急冷	685	345	35	7.98
		0Cr23Ni13	12.00 ~ 15.00	22.00 ~ 24.00		1030 ~ 1150℃急冷	520	205	40	7.98
		0Cr25Ni20	19.00 ~ 22.00	24.00 ~ 26.00		1030 ~ 1180℃急冷	520	205	40	7.98
		00Cr17Ni13Mo2N	10.50 ~ 14.50	16.00 ~ 18.50	2.00 ~ 3.00	1010 ~ 1150℃急冷	550	245	40	8.00
		0Cr17Ni12Mo2N	10.00 ~ 14.00	16.00 ~ 18.00	2.00 ~ 3.00	1010 ~ 1150℃急冷	550	275	35	7.80
	0Cr18Ni12Mo2Cu2	10.00 ~ 14.50	17.00 ~ 19.00	1.20 ~ 2.75	1010 ~ 1150℃急冷	520	205	35	7.98	
	00Cr18Ni14Mo2Cu2	12.00 ~ 16.00	17.00 ~ 19.00	1.20 ~ 2.75	1010 ~ 1150℃急冷	480	180	35	7.98	
		铁素体型	1Cr17		16.00 ~ 18.00		780 ~ 850℃ 空冷或缓冷	410	245	20
	马氏体型	0Cr13		11.50 ~ 13.50		800 ~ 900℃ 缓冷或750℃快冷	370	180	22	7.70
	奥氏体- 铁素体型	0Cr26Ni5Mo2	3.00 ~ 6.00	23.00 ~ 28.00	1.00 ~ 3.00	≥950℃急冷	590	390	18	7.80
		00Cr18Ni5Mo3Si2	4.50 ~ 5.50	18.00 ~ 19.50	2.50 ~ 3.00	920 ~ 1150℃急冷	590	390	20	7.98

注：1. 各牌号钢的化学成分应分别符合各自原标准。1Cr18Ni9Ti不推荐使用。热挤压管的抗拉强度允许降低20MPa。

2. 钢管采用热轧或冷拔制造，经热处理并酸洗交货。表中所列热处理制度为成品钢管的热处理制度。凡经整体磨、镗或经保护气氛热处理的钢管以及供机加工的钢管可不经酸洗交货。

3. 结构用钢管，壁厚小于或等于10mm的冷拔管应进行压扁试验，压扁后试样不得有裂缝和裂口。流体输送用钢管应进行液压试验，应保证耐压时间不少于5s，钢管不得出现漏水或渗漏。试验其他要求见原标准。

4. 钢管的理论质量按表3-1-89注5计算。

5. 钢管外径和壁厚的允许偏差如下。

热轧(挤、扩)钢管				冷拔(轧)钢管			
尺寸/mm		允许偏差		尺寸/mm		允许偏差	
		普通级	较高级			普通级	较高级
外径 D	68 ≤ D ≤ 159	±1.25% D	±1.0% D	外径 D	10 ≤ D ≤ 30	±0.30	±0.20
	159 < D ≤ 426	±1.5% D			30 < D ≤ 50	±0.40	±0.30
					D > 50	±0.9% D	±0.8% D
壁厚 S	< 15	+15% S -12.5% S	±12.5% S	壁厚 S	≤ 3	±14% S +12.5% S	+12% S -10% S
	≥ 15	+20% S -15% S			> 3	-10% S	±10% S



表 3-1-92

冷拔或冷轧精密无

外径		壁厚 ±10%										
		0.5	(0.8)	1.0	1.2	1.5	(1.8)	2.0	(2.2)	2.5	(2.8)	3.0
尺寸	允许偏差	内 (公称数值及										
4		3 ± 0.30	2.4 ± 0.30									
5		4 ± 0.30	3.4 ± 0.30	2 ± 0.30								
6		5 ± 0.25	4.4 ± 0.25	3 ± 0.30								
8		7 ± 0.20	6.4 ± 0.20	4 ± 0.25								
10		9 ± 0.15	8.4 ± 0.15	6 ± 0.20	3.6 ± 0.30							
12		11 ± 0.15	10.4 ± 0.15	8 ± 0.20	5.6 ± 0.30	5 ± 0.30	4.4 ± 0.35	4 ± 0.35	3.6 ± 0.40	3 ± 0.40		
(13)		12 ± 0.15	11.4 ± 0.15	10 ± 0.15	7.6 ± 0.25	7 ± 0.25	6.4 ± 0.30	6 ± 0.30	5.6 ± 0.35	5 ± 0.35		
14		13 ± 0.10	12.4 ± 0.10	11 ± 0.15	9.6 ± 0.20	9 ± 0.20	8.4 ± 0.25	8 ± 0.25	7.5 ± 0.30	7 ± 0.30	6.4 ± 0.40	6 ± 0.40
16	± 0.10	15 ± 0.10	14.4 ± 0.10	12 ± 0.10	10.6 ± 0.20	10 ± 0.20	9.4 ± 0.25	9 ± 0.25	8.6 ± 0.30	8 ± 0.30	7.4 ± 0.40	7 ± 0.40
18		17 ± 0.10	16.4 ± 0.10	14 ± 0.10	11.6 ± 0.15	11 ± 0.15	10.4 ± 0.20	10 ± 0.20	9.6 ± 0.25	9 ± 0.25	8.4 ± 0.30	8 ± 0.30
20		19 ± 0.10	18.4 ± 0.10	16 ± 0.10	13.6 ± 0.10	13 ± 0.10	12.4 ± 0.15	12 ± 0.15	11.6 ± 0.20	11 ± 0.20	10.4 ± 0.30	10 ± 0.30
22		21 ± 0.10	20.4 ± 0.10	18 ± 0.10	15.6 ± 0.10	15 ± 0.10	14.4 ± 0.10	14 ± 0.10	13.6 ± 0.20	13 ± 0.20	12.4 ± 0.20	12 ± 0.20
25		24 ± 0.10	23.4 ± 0.10	20 ± 0.10	17.6 ± 0.10	17 ± 0.10	16.4 ± 0.10	16 ± 0.10	15.6 ± 0.15	15 ± 0.15	14.4 ± 0.15	14 ± 0.20
(26)		25 ± 0.10	24.4 ± 0.10	23 ± 0.10	19.6 ± 0.10	19 ± 0.10	18.4 ± 0.10	18 ± 0.10	17.6 ± 0.10	17 ± 0.15	16.4 ± 0.15	16 ± 0.15
28		27 ± 0.10	26.4 ± 0.10	24 ± 0.10	22.0 ± 0.10	22 ± 0.10	21.4 ± 0.10	21 ± 0.10	20.6 ± 0.10	20 ± 0.10	19.4 ± 0.15	19 ± 0.15
30		29 ± 0.10	28.4 ± 0.10	26 ± 0.10	23.6 ± 0.10	23 ± 0.10	22.4 ± 0.10	22 ± 0.10	21.6 ± 0.10	21 ± 0.10	20.4 ± 0.15	20 ± 0.15
		31 ± 0.15	30.4 ± 0.15	28 ± 0.10	25.6 ± 0.10	25 ± 0.10	24.4 ± 0.10	24 ± 0.10	23.6 ± 0.10	23 ± 0.10	22.4 ± 0.10	22 ± 0.15
32		34 ± 0.15	33.4 ± 0.15	30 ± 0.15	27.6 ± 0.10	27 ± 0.10	26.4 ± 0.10	26 ± 0.10	25.6 ± 0.10	25 ± 0.10	24.4 ± 0.10	24 ± 0.15
35	± 0.15	37 ± 0.15	36.4 ± 0.15	33 ± 0.15	29.6 ± 0.15	29 ± 0.15	28.4 ± 0.15	28 ± 0.15	27.6 ± 0.15	27 ± 0.15	26.4 ± 0.15	26 ± 0.15
38		39 ± 0.15	38.4 ± 0.15	36 ± 0.15	32.6 ± 0.15	32 ± 0.15	31.4 ± 0.15	31 ± 0.15	30.6 ± 0.15	30 ± 0.15	29.4 ± 0.15	29 ± 0.15
40				38 ± 0.15	35.6 ± 0.15	35 ± 0.15	34.4 ± 0.15	34 ± 0.15	33.6 ± 0.15	33 ± 0.15	32.4 ± 0.15	32 ± 0.15
				40 ± 0.20	37.6 ± 0.15	37 ± 0.15	36.4 ± 0.15	36 ± 0.15	35.6 ± 0.15	35 ± 0.15	34.4 ± 0.15	34 ± 0.15
42				43 ± 0.20	39.6 ± 0.20	39 ± 0.20	38.4 ± 0.20	38 ± 0.20	37.6 ± 0.20	37 ± 0.20	36.4 ± 0.20	36 ± 0.20
45	± 0.20			46 ± 0.20	42.6 ± 0.20	42 ± 0.20	41.4 ± 0.20	41 ± 0.20	40.6 ± 0.20	40 ± 0.20	39.4 ± 0.20	39 ± 0.20
48				48 ± 0.20	45.6 ± 0.20	45 ± 0.20	44.4 ± 0.20	44 ± 0.20	43.6 ± 0.20	43 ± 0.20	42.4 ± 0.20	42 ± 0.20
50				53 ± 0.25	47.6 ± 0.20	47 ± 0.20	46.4 ± 0.20	46 ± 0.20	45.6 ± 0.20	45 ± 0.20	44.4 ± 0.20	44 ± 0.20
				58 ± 0.25	52.6 ± 0.25	52 ± 0.25	51.4 ± 0.25	51 ± 0.25	50.6 ± 0.25	50 ± 0.25	49.4 ± 0.25	49 ± 0.25
55				61 ± 0.30	57.6 ± 0.25	57 ± 0.25	56.4 ± 0.25	56 ± 0.25	55.6 ± 0.25	55 ± 0.25	54.4 ± 0.25	54 ± 0.25
60	± 0.25			68 ± 0.30	60.6 ± 0.30	60 ± 0.30	59.4 ± 0.30	59 ± 0.30	58.6 ± 0.30	58 ± 0.30	57.4 ± 0.30	57 ± 0.30
				74 ± 0.35	67.6 ± 0.30	67 ± 0.30	66.4 ± 0.30	66 ± 0.30	65.6 ± 0.30	65 ± 0.30	64.4 ± 0.30	64 ± 0.30
63	± 0.30			78 ± 0.35	73.6 ± 0.35	73 ± 0.35	72.4 ± 0.35	72 ± 0.35	71.6 ± 0.35	71 ± 0.35	70.4 ± 0.35	70 ± 0.35
70					77.6 ± 0.35	77 ± 0.35	76.4 ± 0.35	76 ± 0.35	75.6 ± 0.35	75 ± 0.35	74.4 ± 0.35	74 ± 0.35
76	± 0.35					87 ± 0.40	86.4 ± 0.40	86 ± 0.40	85.6 ± 0.40	85 ± 0.40	84.4 ± 0.40	84 ± 0.40
80							96.4 ± 0.45	96 ± 0.45	95.6 ± 0.45	95 ± 0.45	94.4 ± 0.45	94 ± 0.45
90	± 0.40							106 ± 0.50	106.6 ± 0.50	105 ± 0.50	104.4 ± 0.50	104 ± 0.50
100	± 0.45							116 ± 0.50	115.6 ± 0.50	115 ± 0.50	114.4 ± 0.50	114 ± 0.50
110	± 0.50											124 ± 0.65
120												134 ± 0.65
130	± 0.65											144 ± 0.75
140												
150	± 0.75											
160	± 0.80											
170	± 0.85											
180	± 0.90											
190	± 0.95											
200	± 1.0											

注：1. 括号内的尺寸不推荐使用。

2. 钢管通常为长度 2000 ~ 7000mm。

3. 钢管弯曲度：BK、BKW 状态钢管弯曲度不大于 3.0mm/m；BKS、GBK、NBK 钢管弯曲度不大于 1.5mm/m。

4. 钢管圆度不大于外径公差的 80%。

5. 钢管交货质量符合 GB/T 17395—1998 的规定（见表 3-1-89）。

(摘自 GB/T 3639—2000)

## 缝钢管尺寸规格

mm

(最小 ±0.12mm)

(3.5)	4	(4.5)	5	(5.5)	6	(7)	8	(9)	10	11	12.5
径											
允许偏差)											
9 ±0.35	8 ±0.35										
11 ±0.35	10 ±0.35										
13 ±0.30	12 ±0.35	11 ±0.35	10 ±0.35								
15 ±0.20	14 ±0.30	13 ±0.35	12 ±0.35								
18 ±0.15	17 ±0.20	16 ±0.20	15 ±0.20								
19 ±0.15	18 ±0.15	17 ±0.20	16 ±0.30	15 ±0.30	14 ±0.30						
21 ±0.15	20 ±0.15	19 ±0.15	18 ±0.20	17 ±0.30	16 ±0.30						
23 ±0.15	22 ±0.15	21 ±0.15	20 ±0.15	19 ±0.30	18 ±0.30						
25 ±0.15	24 ±0.15	23 ±0.15	22 ±0.15	21 ±0.25	20 ±0.25						
28 ±0.15	27 ±0.15	26 ±0.15	25 ±0.15	24 ±0.20	23 ±0.20	21 ±0.20					
31 ±0.15	30 ±0.15	29 ±0.15	28 ±0.15	27 ±0.15	26 ±0.15	24 ±0.20	22 ±0.25				
33 ±0.15	32 ±0.15	31 ±0.15	30 ±0.15	29 ±0.15	28 ±0.15	26 ±0.20	24 ±0.25				
35 ±0.20	34 ±0.20	33 ±0.20	32 ±0.20	31 ±0.20	30 ±0.20	28 ±0.20	26 ±0.20	24 ±0.20	22 ±0.30		
38 ±0.20	37 ±0.20	36 ±0.20	35 ±0.20	34 ±0.20	33 ±0.20	31 ±0.20	29 ±0.20	27 ±0.20	25 ±0.25		
41 ±0.20	40 ±0.20	39 ±0.20	38 ±0.20	37 ±0.20	36 ±0.20	34 ±0.20	32 ±0.20	30 ±0.20	28 ±0.20		
43 ±0.20	42 ±0.20	41 ±0.20	40 ±0.20	39 ±0.20	38 ±0.20	36 ±0.20	34 ±0.20	32 ±0.20	30 ±0.20		
48 ±0.25	47 ±0.25	46 ±0.25	45 ±0.25	44 ±0.25	43 ±0.25	41 ±0.25	39 ±0.25	37 ±0.25	35 ±0.25	33 ±0.25	30 ±0.25
53 ±0.25	52 ±0.25	51 ±0.25	50 ±0.25	49 ±0.25	48 ±0.25	46 ±0.25	44 ±0.25	42 ±0.25	40 ±0.25	38 ±0.25	35 ±0.25
56 ±0.30	55 ±0.30	54 ±0.30	53 ±0.30	52 ±0.30	51 ±0.30	49 ±0.30	47 ±0.30	45 ±0.30	43 ±0.30	41 ±0.30	39 ±0.30
63 ±0.30	62 ±0.30	61 ±0.30	60 ±0.30	59 ±0.30	58 ±0.30	56 ±0.30	54 ±0.30	52 ±0.30	50 ±0.30	48 ±0.30	45 ±0.30
69 ±0.35	68 ±0.35	67 ±0.35	66 ±0.35	65 ±0.35	64 ±0.35	62 ±0.35	60 ±0.35	58 ±0.35	56 ±0.35	53 ±0.35	50 ±0.35
73 ±0.35	72 ±0.35	71 ±0.35	70 ±0.35	69 ±0.35	68 ±0.35	66 ±0.35	64 ±0.35	62 ±0.35	60 ±0.35	58 ±0.35	56 ±0.35
83 ±0.40	82 ±0.40	81 ±0.40	80 ±0.40	79 ±0.40	78 ±0.40	76 ±0.40	74 ±0.40	72 ±0.40	70 ±0.40	68 ±0.40	66 ±0.40
93 ±0.45	92 ±0.45	91 ±0.45	90 ±0.45	89 ±0.45	88 ±0.45	86 ±0.45	84 ±0.45	82 ±0.45	80 ±0.45	78 ±0.45	75 ±0.45
103 ±0.50	102 ±0.50	101 ±0.50	100 ±0.50	99 ±0.50	98 ±0.50	96 ±0.50	94 ±0.50	92 ±0.50	90 ±0.50	88 ±0.50	85 ±0.50
113 ±0.50	112 ±0.50	111 ±0.50	110 ±0.50	109 ±0.50	108 ±0.50	106 ±0.50	104 ±0.50	102 ±0.50	100 ±0.50	98 ±0.50	95 ±0.50
123 ±0.65	122 ±0.65	121 ±0.65	120 ±0.65	119 ±0.65	118 ±0.65	116 ±0.65	114 ±0.65	112 ±0.65	110 ±0.65	108 ±0.65	105 ±0.65
133 ±0.65	132 ±0.65	131 ±0.65	130 ±0.65	129 ±0.65	128 ±0.65	126 ±0.65	124 ±0.65	122 ±0.65	120 ±0.65	118 ±0.65	115 ±0.65
143 ±0.75	142 ±0.75	141 ±0.75	140 ±0.75	139 ±0.75	138 ±0.75	136 ±0.75	134 ±0.75	132 ±0.75	130 ±0.75	128 ±0.75	125 ±0.75
	152 ±0.80	151 ±0.80	150 ±0.80	149 ±0.80	148 ±0.80	146 ±0.80	144 ±0.80	142 ±0.80	140 ±0.80	138 ±0.80	135 ±0.80
	162 ±0.85	161 ±0.85	160 ±0.85	159 ±0.85	158 ±0.85	156 ±0.85	154 ±0.85	152 ±0.85	150 ±0.85	148 ±0.85	145 ±0.85
			170 ±0.90	169 ±0.90	168 ±0.90	166 ±0.90	164 ±0.90	162 ±0.90	160 ±0.90	158 ±0.90	155 ±0.90
					178 ±0.95	176 ±0.95	174 ±0.95	172 ±0.95	170 ±0.95	168 ±0.95	165 ±0.95
					188 ±1.0	186 ±1.0	184 ±1.0	182 ±1.0	180 ±1.0	178 ±1.0	175 ±1.0

表 3-1-93 冷拔或冷轧精密无缝钢管牌号及力学性能

牌号	交 货 状 态											
	BK(冷加工/硬)		BKM(冷加工/软)		BKS(消除应力退火)		CBK(退火)		NBK(正火)			
	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	断后伸长率 $\delta_5$ /%	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	断后伸长率 $\delta_5$ /%	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	断后伸长率 $\delta_5$ /%	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	断后伸长率 $\delta_5$ /%	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服点 $\sigma_s$ /MPa	断后伸长率 $\delta_5$ /%	
10	410	6	375	10	$\geq$ 12	335	24	335	205	24		
20	510	5	450	8	10	430	20	410	245	20		
35	590	4	550	6	8	520	17	530	315	17		
45	645	4	630	5	7	610	14	600	355	14		

注: 1. GB/T 3639—2000 冷拔或冷轧精密无缝钢管适于机械结构、液压设备、汽车用具等有特殊尺寸精度和高质量表面要求的管子和零件。

2. 外径不大于 30mm 和壁厚大于 3mm 的钢管, 其最小屈服点可降低 10MPa。

3. 钢管牌号的化学成分应符合 GB/T 699—1999 的规定。

4. 交货状态: BK, 最后冷加工之后不进行热处理, 管子变形很小, BKW, 最后热处理之后进行小变形量的冷加工, 对钢管再加工时允许有限的冷变形(如弯曲、扩口); BKS, 最后冷加工之后在  $A_{cl}$  点以下进行退火, 以消除冷加工应力; GBK, 最后冷加工之后, 钢管在保护气体下进行完全退火; NBK, 最后冷加工后, 钢管在保护气体下进行正火。

冷拔异型方形钢管 (摘自 GB/T 3094—2000)

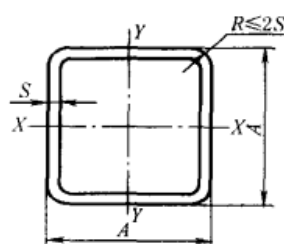


表 3-1-94

基本尺寸		截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩 $J_x = J_y$ /cm <sup>4</sup>	截面系数 $W_x = W_y$ /cm <sup>3</sup>	基本尺寸		截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩 $J_x = J_y$ /cm <sup>4</sup>	截面系数 $W_x = W_y$ /cm <sup>3</sup>
A	S					A	S				
/mm						/mm					
12	0.8	0.348	0.273	0.0739	0.123	35	2.5	3.14	2.47	5.54	3.22
	1.0	0.423	0.332	0.0873	0.146		3.0	3.69	2.89	6.45	3.68
14	1.0	0.503	0.394	0.144	0.206		3.5	4.20	3.30	7.16	4.09
	1.5	0.712	0.559	0.192	0.274		4.0	4.69	3.68	7.78	4.45
	16	1.0	0.583	0.458	0.222		0.278	5.0	5.58	4.38	8.79
1.5		0.832	0.653	0.300	0.374	36	2.5	3.24	2.55	6.18	3.43
18	1.0	0.663	0.521	0.324	0.360		3.0	3.81	2.99	7.07	3.93
	1.5	0.952	0.747	0.442	0.491		3.5	4.34	3.41	7.87	4.37
20	1.0	0.743	0.583	0.453	0.453		4.0	4.85	3.81	8.56	4.76
	1.5	1.070	0.841	0.624	0.624		5.0	5.75	4.53	9.70	5.39
	2.0	1.370	1.08	0.763	0.763	40	2.5	3.64	2.86	8.68	4.34
2.5	1.640	1.29	0.874	0.874	3.0		4.29	3.37	9.98	4.99	
22	1.0	0.823	0.646	0.612	0.556		3.5	4.90	3.85	11.16	5.58
	1.5	1.190	0.936	0.850	0.773		4.0	5.49	4.31	12.21	6.11
25	2.0	1.530	1.200	1.050	0.953		5.0	6.58	5.16	13.98	6.99
	2.5	1.840	1.450	1.210	1.100	6.0	7.55	5.93	15.34	7.67	
	30	2.5	2.14	1.68	1.86	1.49	42	2.5	3.84	3.02	10.15
3.0		2.49	1.95	2.08	1.57	3.0		4.53	3.55	11.70	5.57
32		2.5	2.64	2.08	3.41	2.27		3.5	5.18	4.07	13.10
	3.0	3.01	2.42	3.86	2.58	4.0		5.81	4.56	14.37	6.84
35	3.5	3.50	2.75	4.25	2.83	5.0		6.98	5.48	16.56	7.87
	4.0	3.89	3.05	4.58	3.05	6.0	8.03	6.30	18.22	8.58	
	40	2.5	2.84	2.32	4.21	2.63	45	3.5	5.60	4.40	16.43
3.0		3.33	2.61	4.79	3.00	4.0		6.23	4.94	18.07	8.03
3.5		3.78	2.97	5.29	3.31	5.0		7.58	5.95	20.90	9.29
4.0	4.21	3.30	5.73	3.58	6.0	8.75		6.87	23.19	10.31	
45	2.5	2.84	2.32	4.21	2.63	7.0		9.81	7.80	24.97	11.10
	3.0	3.33	2.61	4.79	3.00	8.0	10.80	8.44	26.30	11.59	
	3.5	3.78	2.97	5.29	3.31	50	4.0	7.09	5.56	25.56	10.22
4.0	4.21	3.30	5.73	3.58	5.0		8.58	6.73	29.81	11.93	

基本尺寸		截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩 $J_x = J_y$ /cm <sup>4</sup>	截面系数 $W_x = W_y$ /cm <sup>3</sup>	基本尺寸		截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩 $J_x = J_y$ /cm <sup>4</sup>	截面系数 $W_x = W_y$ /cm <sup>3</sup>	
$A$	$S$					$A$	$S$					
/mm		/mm		/mm		/mm						
50	6.0	9.95	7.81	33.35	13.34	75	4.0	11.09	8.70	94.4	25.17	
	7.0	11.21	8.80	36.23	14.49		5.0	13.58	10.66	112.8	30.08	
	8.0	12.35	9.70	38.51	15.41		6.0	15.95	12.52	129.4	34.50	
55	4.0	7.89	6.19	34.87	12.58	80	7.0	18.21	14.29	144.2	38.44	
	5.0	9.58	7.52	40.95	14.89		8.0	20.35	15.98	157.3	41.94	
	6.0	11.15	8.75	46.13	16.77		92	4.0	11.89	9.33	115.9	28.96
	7.0	12.51	9.90	50.47	18.35			5.0	14.58	11.44	138.9	34.72
	8.0	13.95	10.95	54.04	19.65	6.0		17.15	13.46	159.7	39.93	
60	4.0	8.69	6.82	46.21	15.4	100	7.0	19.61	15.39	178.5	44.63	
	5.0	10.58	8.30	54.57	18.19		8.0	21.95	17.23	195.4	48.85	
	6.0	12.35	9.69	61.82	20.61		110	5.0	16.98	13.33	217.1	47.19
	7.0	14.01	11.00	68.03	22.68	6.0		20.03	15.72	251.1	54.59	
65	4.0	9.49	7.45	59.78	18.39	100	7.0	22.97	18.03	282.3	61.38	
	5.0	11.58	9.07	70.92	21.82		8.0	25.79	20.25	310.9	67.58	
	6.0	13.55	10.64	80.72	24.84		120	5.0	18.58	14.58	282.8	56.57
	7.0	15.41	12.10	89.27	27.46			6.0	21.95	17.23	328.2	65.54
	8.0	17.15	13.47	96.64	29.74	7.0		25.21	19.79	370.2	74.04	
70	4.0	10.29	8.08	75.78	21.65	110	8.0	28.35	22.26	408.9	81.78	
	5.0	12.58	9.87	90.26	25.79		130	7.0	28.01	21.99	503.4	91.54
	6.0	14.7	11.58	103.1	29.47			8.0	31.55	24.77	557.9	101.40
	7.0	16.81	13.19	114.5	32.72			9.0	34.98	27.46	608.4	110.60
	8.0	18.75	14.72	124.5	35.57							

注：1. 本标准适用于碳素结构钢、优质碳素结构钢和低合金高强度结构钢制成的结构用简单断面异型钢管。

2. 钢的牌号为 10、20、35、45 钢，Q195、Q215、Q235 钢，Q295、Q345 和 Q390 钢，分别应符合 GB/T 699、GB/T 700 和 GB/T 1591 的规定。

3. 尺寸的允许偏差和边凹凸度分普通级和高级，见原标准，在交货合同中未注明时按普通级交货。

4. 钢管用无缝钢管冷拔制造，合同注明时也可用焊接钢管冷拔制造。一般冷拔状态交货，其力学性能不进行试验；合同要求时也可以热处理状态交货，其力学性能应符合原标准规定。

5. 钢管的通常长度为 1.5~9m。

6. 钢管的外圆角半径  $R$  应符合下列规定。

壁厚 $S$	$S \leq 6$	$6 < S \leq 10$	$S > 10$
外圆角半径 $R$	$\leq 2.0S$	$\leq 2.5S$	$\leq 3.0S$

7. 原标准尚有  $A = 108, 115, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 180, 200, 250, 280$  (各种壁厚  $S$ ) 等各种规格, 本表未编入。

8. 按钢管断面分, 本标准分方形钢管、矩形钢管、椭圆形钢管、平椭圆形钢管、内外六角形钢管和直角梯形钢管。本手册仅编入方形、矩形钢管。

冷拔异型矩形钢管 (摘自 GB/T 3094—2000)

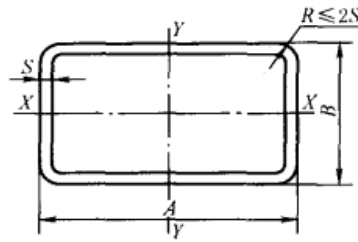


表 3-1-95

基本尺寸			截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ / kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩		截面系数		基本尺寸			截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ / kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩		截面系数																	
A	B	S			$J_x$	$J_y$	$W_x$	$W_y$	A	B	S			$J_x$	$J_y$	$W_x$	$W_y$																
/mm					/cm <sup>4</sup>		/cm <sup>3</sup>		/mm					/cm <sup>4</sup>		/cm <sup>3</sup>																	
10	5	0.8	0.203	0.160	0.0074	0.0239	0.0297	0.0478	18	14	1.5	0.831	0.653	0.2390	0.360	0.341	0.400																
		1.0	0.243	0.191	0.0082	0.0270	0.0329	0.0547			2.0	1.051	0.825	0.2830	0.432	0.404	0.480																
12	5	0.8	0.235	0.185	0.0088	0.0388	0.0354	0.0646	20	8	0.8	0.411	0.323	0.0445	0.197	0.111	0.197																
		1.0	0.283	0.222	0.0099	0.0449	0.0395	0.0748			1.0	0.503	0.395	0.0520	0.236	0.130	0.236																
	6	0.8	0.251	0.197	0.0139	0.0438	0.0462	0.0730			1.5	0.711	0.559	0.0654	0.315	0.164	0.315																
		1.0	0.303	0.238	0.0157	0.0509	0.0524	0.0849			2.0	0.891	0.700	0.0728	0.373	0.182	0.373																
14	6	0.8	0.283	0.223	0.0160	0.0654	0.0535	0.0935		10	0.8	0.443	0.348	0.0748	0.227	0.150	0.227																
		1.0	0.343	0.269	0.0182	0.0767	0.0608	0.1100			1.0	0.543	0.426	0.0884	0.272	0.177	0.272																
		1.5	0.471	0.370	0.0215	0.0973	0.0715	0.1390			1.5	0.771	0.606	0.1150	0.367	0.229	0.367																
	7	0.8	0.299	0.235	0.0233	0.0724	0.0665	0.104			12	0.8	0.475	0.373	0.1140	0.256	0.190	0.256															
		1.0	0.363	0.285	0.0268	0.0852	0.0765	0.122	1.0			0.583	0.458	0.1360	0.308	0.226	0.308																
		1.5	0.501	0.394	0.0324	0.1090	0.0927	0.156	1.5			0.831	0.653	0.1800	0.418	0.300	0.418																
10	0.8	0.347	0.273	0.0545	0.0934	0.1090	0.133	2.0	1.050	0.825		0.2110	0.503	0.352	0.503																		
	1.0	0.423	0.332	0.0640	0.1110	0.1280	0.158	2.5	1.240	0.976		0.2310	0.565	0.385	0.565																		
	1.5	0.591	0.464	0.0818	0.1440	0.1640	0.206	9	0.8	0.459		0.361	0.0640	0.271	0.142	0.246																	
15	6	1.0	0.363	0.285	0.0195	0.0922	0.0651		0.123	1.0	0.563	0.442	0.0753	0.325	0.167	0.295																	
		1.5	0.501	0.394	0.0230	0.1180	0.0768		0.157	1.5	0.801	0.629	0.0967	0.440	0.215	0.400																	
		2.0	0.611	0.480	0.0240	0.1330	0.0799		0.177	2.0	1.011	0.794	0.1100	0.527	0.244	0.479																	
16	8	0.8	0.347	0.273	0.0362	0.1110	0.0905		0.139	22	14	0.8	0.539	0.423	0.1770	0.361	0.253	0.328															
																			1.0	0.423	0.332	0.0421	0.1320	0.1050	0.165	1.0	0.863	0.520	0.2120	0.435	0.303	0.396	
								1.5											0.591	0.464	0.0525	0.1730	0.1310	0.216	1.5	0.951	0.746	0.2860	0.598	0.408	0.543		
								2.0											0.731	0.574	0.0579	0.2000	0.1450	0.250	2.0	1.210	0.951	0.3410	0.727	0.487	0.661		
	12	0.8	0.411	0.323	0.0941	0.148	0.157	0.186	0.222		24	12	0.8	0.539	0.423	0.1340	0.403	0.224	0.336														
																				1.0	0.503	0.395	0.1120	0.177	0.186	0.222	1.0	0.663	0.520	0.1600	0.487	0.267	0.406
																				1.5	0.711	0.559	0.1470	0.236	0.244	0.295	1.5	0.951	0.747	0.2130	0.669	0.355	0.557
																				2.0	0.891	0.700	0.1700	0.279	0.284	0.349	2.0	1.210	0.951	0.2520	0.815	0.419	0.679
18	9	0.8	0.395	0.310	0.0532	0.162	0.118	0.180	25	10	0.8	0.523	0.411	0.0918	0.399	0.184	0.320																
																		1.0	0.483	0.379	0.0624	0.194	0.139	0.215	1.0	0.643	0.505	0.1090	0.482	0.217	0.386		
																		1.5	0.681	0.535	0.0796	0.258	0.177	0.287	1.5	0.921	0.723	0.1420	0.660	0.284	0.528		
																		2.0	0.851	0.668	0.0897	0.304	0.199	0.337	2.0	1.170	0.920	0.1640	0.802	0.329	0.642		
	10	0.8	0.411	0.323	0.0680	0.174	0.136	0.194		0.231	15	1.0	0.743	0.583	0.279	0.626	0.372	0.501															
																			1.0	0.503	0.395	0.0802	0.208	0.161	0.231	1.5	1.070	0.841	0.379	0.868	0.505	0.694	
																			1.5	0.711	0.559	0.1037	0.278	0.207	0.309	2.0	1.370	1.080	0.457	1.070	0.609	0.854	
																			2.0	0.891	0.700	0.1190	0.329	0.237	0.366	2.5	1.640	1.290	0.515	1.230	0.687	0.983	
	14	0.8	0.475	0.373	0.1490	0.222	0.213	0.246		0.296	15	1.0	0.743	0.583	0.279	0.626	0.372	0.501															
																			1.0	0.583	0.458	0.1780	0.266	0.255	0.296	1.5	1.070	0.841	0.379	0.868	0.505	0.694	

基本尺寸			截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩		截面系数		基本尺寸			截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ /kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩		截面系数	
A	B	S			$J_x$	$J_y$	$W_x$	$W_y$	A	B	S			$J_x$	$J_y$	$W_x$	$W_y$
/mm					/cm <sup>4</sup>		/cm <sup>3</sup>		/mm					/cm <sup>4</sup>		/cm <sup>3</sup>	
28	11	1.0	0.723	0.567	0.151	0.683	0.274	0.488	36	18	1.5	1.49	1.17	0.811	2.46	0.901	1.37
		1.5	1.040	0.818	0.200	0.945	0.363	0.675			2.0	1.93	1.52	0.998	3.10	1.110	1.72
		2.0	1.330	1.050	0.235	1.160	0.426	0.828			2.5	2.34	1.84	1.150	3.65	1.280	2.03
		2.5	1.590	1.250	0.257	1.330	0.468	0.951			3.0	2.73	2.14	1.270	4.13	1.410	2.29
	14	1.0	0.783	0.615	0.263	0.792	0.376	0.566	37	28	2.0	2.33	1.83	2.850	4.26	2.040	2.36
		1.5	1.130	0.888	0.356	1.100	0.509	0.788			2.5	2.24	1.76	0.753	3.47	1.000	1.88
		2.0	1.450	1.140	0.428	1.360	0.612	0.973			3.0	2.61	2.05	0.821	3.91	1.090	2.12
		2.5	1.740	1.370	0.482	1.580	0.688	1.130			3.5	2.94	2.31	0.870	4.28	1.160	2.31
	16	1.0	0.823	0.646	0.357	0.865	0.447	0.618	37	15	2.0	1.85	1.45	0.661	2.96	0.881	1.60
		1.5	1.190	0.935	0.489	1.210	0.612	0.863			2.5	2.24	1.76	0.753	3.47	1.000	1.88
		2.0	1.530	1.200	0.595	1.500	0.743	1.070			3.0	2.61	2.05	0.821	3.91	1.090	2.12
		2.5	1.840	1.450	0.676	1.740	0.845	1.240			3.5	2.94	2.31	0.870	4.28	1.160	2.31
22	1.0	0.943	0.740	0.744	1.08	0.677	0.774	40	16	2.0	2.01	1.58	0.832	3.77	1.04	1.89	
	1.5	1.370	1.080	1.040	1.52	0.945	1.090			2.5	2.44	1.92	0.953	4.46	1.19	2.23	
	2.0	1.770	1.390	1.290	1.90	1.170	1.360			3.0	2.85	2.23	1.050	5.05	1.31	2.52	
	2.5	2.140	1.680	1.500	2.23	1.360	1.590			3.5	3.22	2.53	1.120	5.55	1.40	2.77	
	3.0	2.490	1.950	1.670	2.50	1.520	1.790			4.0	3.57	2.80	1.160	5.97	1.46	2.98	
30	12	1.5	1.13	0.888	0.263	1.19	0.439	0.796	40	20	2.0	2.17	1.70	1.41	4.35	1.41	2.18
		2.0	1.45	1.140	0.312	1.48	0.520	0.984			2.5	2.64	2.07	1.64	5.16	1.64	2.58
		2.5	1.74	1.370	0.347	1.71	0.578	1.140			3.0	3.09	2.42	1.83	5.87	1.83	2.93
		3.0	2.01	1.570	0.369	1.89	0.614	1.260			3.5	3.30	2.75	1.99	6.48	1.99	3.24
32	16	1.5	1.31	1.03	0.553	1.69	0.691	1.07	45	30	2.0	2.37	1.86	2.39	5.07	1.91	2.54
		2.0	1.69	1.33	0.674	2.11	0.842	1.32			2.5	2.89	2.27	2.82	6.04	2.25	3.02
		2.5	2.04	1.60	0.768	2.47	0.961	1.54			3.0	3.39	2.66	3.18	6.90	2.54	3.45
		3.0	2.37	1.86	0.840	2.77	1.050	1.73			3.5	3.85	3.02	3.49	7.65	2.79	3.83
35	14	1.5	1.34	1.05	0.439	1.96	0.627	1.12	50	32	2.0	3.05	2.40	5.18	10.48	3.24	4.19
		2.0	1.73	1.36	0.530	2.45	0.757	1.40			2.5	3.74	2.94	6.18	12.60	3.86	5.04
		2.5	2.09	1.64	0.599	2.86	0.856	1.64			3.0	4.41	3.46	7.07	14.55	4.42	5.82
		3.0	2.43	1.90	0.649	3.21	0.928	1.84			2.0	2.77	2.18	4.07	7.73	2.71	3.44
35	14	2.0	1.73	1.36	0.530	2.45	0.757	1.40	55	38	2.5	3.49	2.74	8.36	14.93	4.40	5.43
		2.5	2.09	1.64	0.599	2.86	0.856	1.64			3.0	4.29	3.37	10.04	18.03	5.29	6.56
		3.0	2.43	1.90	0.649	3.21	0.928	1.84			3.5	5.07	3.98	11.58	20.91	6.09	7.60
		3.5	2.73	2.14	0.683	3.50	0.975	2.00			4.0	5.09	3.99	6.62	13.01	4.42	5.78

续表

基本尺寸			截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ / kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩		截面系数		基本尺寸			截面面积 $F$ /cm <sup>2</sup>	理论质量 $G$ / kg·m <sup>-1</sup>	惯性矩		截面系数	
A	B	S			$J_x$	$J_y$	$W_x$	$W_y$	A	B	S			$J_x$	$J_y$	$W_x$	$W_y$
/mm			/cm <sup>2</sup>		/cm <sup>4</sup>		/cm <sup>3</sup>		/mm			/cm <sup>4</sup>		/cm <sup>3</sup>			
55	38	4.0	6.53	5.12	14.23	26.01	7.49	9.46	110	75	7.0	23.10	18.13	201.0	373.4	53.61	67.89
											8.0	25.94	20.36	220.4	412.1	58.79	74.92
60	40	3.5	6.30	4.95	15.84	30.41	7.92	10.14	120	80	6.0	21.94	17.22	225.6	430.6	56.40	71.76
		4.0	7.09	5.56	17.42	33.66	8.71	11.22			7.0	25.20	19.78	253.4	486.6	63.35	81.10
		5.0	8.57	6.73	20.15	39.41	10.07	13.14			8.0	28.34	22.25	278.7	538.5	69.67	89.75
70	50	4.0	8.69	6.82	34.05	58.35	13.52	16.67	130	85	6.0	23.74	18.64	278.9	547.8	65.63	84.28
		5.0	10.57	8.30	39.98	69.11	15.99	19.75			7.0	27.30	21.43	314.1	620.5	73.90	95.47
		6.0	12.34	9.69	45.04	78.51	18.02	22.43			8.0	30.74	24.13	346.3	688.4	81.49	105.9
		7.0	14.00	10.99	49.29	86.64	19.71	24.75			9.0	34.07	26.75	375.8	751.6	88.43	115.6
80	60	4.0	10.29	8.07	58.79	92.76	19.60	23.19	140	80	7.0	28.00	21.98	290.8	715.1	72.70	102.2
		5.0	12.57	9.87	68.75	110.7	23.25	27.68			8.0	31.54	24.76	320.3	794.1	80.08	113.4
		6.0	14.74	11.75	79.40	126.8	26.47	31.70			9.0	34.97	27.45	347.3	867.8	86.81	124.0
		7.0	16.80	13.19	87.81	141.1	29.27	35.28			10.0	38.29	30.05	371.7	936.4	92.92	133.8
90	60	4.0	11.09	8.70	65.07	123.7	21.59	27.48	150	75	7.0	28.70	22.53	266.0	814.6	70.93	108.6
		5.0	13.57	10.65	77.33	148.2	25.78	32.93			8.0	32.34	25.39	292.6	905.3	78.03	120.7
		6.0	15.94	12.52	88.18	170.4	29.39	37.86			9.0	35.87	28.16	316.8	990.1	84.47	132.0
		7.0	18.20	14.29	97.70	190.3	32.57	42.30			10.0	39.29	30.84	338.6	1069.3	90.29	142.6
100	70	5.0	15.57	12.22	122.0	215.2	34.86	43.04	160	65	8.0	32.34	25.39	220.9	975.4	67.97	121.9
		6.0	18.34	14.40	140.1	248.6	40.04	49.73			9.0	35.87	28.16	238.1	1066.8	73.27	133.3
		7.0	21.00	16.48	156.4	279.3	44.68	55.86			10.0	39.29	30.84	253.4	1152.0	77.98	144.0
		8.0	23.54	18.48	170.9	307.1	48.83	61.43			11.0	42.59	33.43	266.9	1231.2	82.13	153.9
110	75	5.0	17.07	13.40	155.8	285.8	41.54	51.96									
		6.0	20.14	15.81	179.5	331.4	47.87	60.25									

注：1. 见表 3-1-94 注 1、注 2、注 3、注 4、注 5、注 6。

2. 原标准还有  $A \times B = 160 \times 60$ 、 $160 \times 80$ 、 $160 \times 100$ 、 $160 \times 120$ 、 $160 \times 150$ ； $180 \times 80$ 、 $180 \times 100$ ； $200 \times 50$ 、 $200 \times 80$ 、 $200 \times 100$ 、 $200 \times 120$ ； $220 \times 200$ ； $250 \times 150$ 、 $250 \times 200$ ； $300 \times 200$ ； $400 \times 200$ （各种壁厚）等各种规格。

### 3.4 钢丝

一般用途低碳钢丝（摘自 YB/T 5294—2006）

表 3-1-96

公称直径/mm	抗拉强度/MPa					180°弯曲试验次数		伸长率/% (标距 100mm)	
	冷拉普通 钢丝	制钉用 钢丝	建筑用 钢丝	退火钢丝	镀锌钢丝	冷拉普通 用钢丝	建筑用 钢丝	建筑用 钢丝	镀锌钢丝
≤0.30	≤980	—	—	295~540	295~540	见标准	—	—	≥10
>0.30~0.80	≤980	—	—			5.2.3	—	—	
>0.80~1.20	≤980	880~1320	—			≥6	—	—	
>1.20~1.80	≤1060	785~1220	—				—	—	
>1.80~2.50	≤1010	735~1170	—			≥4	—	—	≥12
>2.50~3.50	≤960	685~1120	≥550				—	—	
>3.50~5.00	≤890	590~1030	≥550				—	—	
>5.00~6.00	≤790	540~930	≥550			—	—	—	—
>6.00	≤690	—	—	—	—	—	—	—	

注：1. 本标准适用于一般的捆绑、牵拉、制钉、编织及建筑用途的圆截面低碳钢丝。

2. 钢丝可选用 GB/T 701 或其他低碳钢盘条制造。

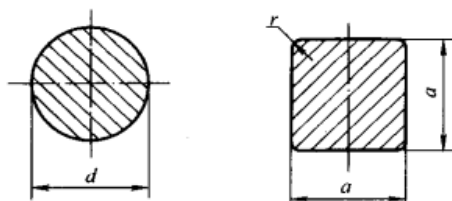


表 3-1-97 常用线规号英制尺寸与公制尺寸对照参考表 (摘自 YB/T 5294—2006)

线 规 号	SWG		BWG		AWG	
	/in	/mm	/in	/mm	/in	/mm
3	0.252	6.401	0.259	6.58	0.2294	5.83
4	0.232	5.893	0.238	6.05	0.2043	5.19
5	0.212	5.385	0.220	5.59	0.1819	4.62
6	0.192	4.877	0.203	5.16	0.1620	4.11
7	0.176	4.470	0.180	4.57	0.1443	3.67
8	0.160	4.064	0.165	4.19	0.1285	3.26
9	0.144	3.658	0.148	3.76	0.1144	2.91
10	0.128	3.251	0.134	3.40	0.1019	2.59
11	0.116	2.946	0.120	3.05	0.09074	2.30
12	0.104	2.642	0.109	2.77	0.08081	2.05
13	0.092	2.337	0.095	2.41	0.07196	1.83
14	0.080	2.032	0.083	2.11	0.06408	1.63
15	0.072	1.829	0.072	1.83	0.05707	1.45
16	0.064	1.626	0.065	1.65	0.05082	1.29
17	0.056	1.422	0.058	1.47	0.04526	1.15
18	0.048	1.219	0.049	1.24	0.04030	1.02
19	0.040	1.016	0.042	1.07	0.03589	0.91
20	0.036	0.914	0.035	0.89	0.03196	0.812
21	0.032	0.813	0.032	0.81	0.02846	0.723
22	0.028	0.711	0.028	0.71	0.02535	0.644
23	0.024	0.610	0.025	0.64	0.02257	0.573
24	0.022	0.559	0.022	0.56	0.02010	0.511
25	0.020	0.508	0.020	0.51	0.01790	0.455
26	0.018	0.457	0.018	0.46	0.01594	0.405
27	0.0164	0.4166	0.016	0.41	0.01420	0.361
28	0.0148	0.3759	0.014	0.36	0.01264	0.321
29	0.0136	0.3454	0.013	0.33	0.01126	0.286
30	0.0124	0.3150	0.012	0.30	0.01003	0.255
31	0.0116	0.2946	0.010	0.25	0.008928	0.227
32	0.0108	0.2743	0.009	0.23	0.007950	0.202
33	0.0100	0.2540	0.008	0.20	0.007080	0.180
34	0.0092	0.2337	0.007	0.18	0.006304	0.160
35	0.0084	0.2134	0.005	0.13	0.005615	0.143
36	0.0076	0.1930	0.004	0.10	0.005000	0.127

注：SWG 为英国线规代号，BWG 为伯明翰线规代号，AWG 为美国线规代号。

冷拉圆钢丝、方钢丝尺寸、质量 (摘自 GB/T 342—1997)



$d$ ——圆钢丝直径  
 $a$ ——方钢丝的边长  
 $r$ ——角部圆弧半径

表 3-1-98

公称尺寸 /mm	圆形		方形		公称尺寸 /mm	圆形		方形	
	截面面积 /mm <sup>2</sup>	理论质量 /kg· (1000m) <sup>-1</sup>	截面面积 /mm <sup>2</sup>	理论质量 /kg· (1000m) <sup>-1</sup>		截面面积 /mm <sup>2</sup>	理论质量 /kg· (1000m) <sup>-1</sup>	截面面积 /mm <sup>2</sup>	理论质量 /kg· (1000m) <sup>-1</sup>
0.050	0.0020	0.016			1.00	0.785	6.162	1.000	7.850
0.055	0.0024	0.019			1.10	0.950	7.458	1.210	9.498
0.063	0.0031	0.024			1.20	1.131	8.878	1.440	11.30
0.070	0.0038	0.030			1.40	1.539	12.08	1.960	15.39
0.080	0.0050	0.039			1.60	2.011	15.79	2.560	20.10
0.090	0.0064	0.050			1.80	2.545	19.98	3.240	25.43
0.10	0.0079	0.062			2.00	3.142	24.66	4.000	31.40
0.11	0.0095	0.075			2.20	3.801	29.84	4.840	37.99
0.12	0.0113	0.089			2.50	4.909	38.54	6.250	49.06
0.14	0.0154	0.121			2.80	6.158	48.34	7.840	61.54
0.16	0.0201	0.158			3.00*	7.069	55.49	9.000	70.65
0.18	0.0254	0.199			3.20	8.042	63.13	10.24	80.38
0.20	0.0314	0.246			3.50	9.621	75.52	12.25	96.16
0.22	0.0380	0.298			4.00	12.57	98.67	16.00	125.6
0.25	0.0491	0.385			4.50	15.90	124.8	20.25	159.0
0.28	0.0616	0.484			5.00	19.64	154.2	25.00	196.2
0.30*	0.0707	0.555			5.50	23.76	186.5	30.25	237.5
0.32	0.0804	0.631			6.00*	28.27	221.9	36.00	282.6
0.35	0.0960	0.754			6.30	31.17	244.7	39.69	311.6
0.40	0.126	0.989			7.00	38.48	302.1	49.00	384.6
0.45	0.159	1.248			8.00	50.27	394.6	64.00	502.4
0.50	0.196	1.539	0.250	1.962	9.00	63.62	499.4	81.00	635.8
0.55	0.238	1.868	0.302	2.371	10.0	78.54	616.5	100.0	785.0
0.60*	0.283	2.220	0.360	2.826	11.0	95.03	746.0		
0.63	0.312	2.447	0.397	3.116	12.0	113.1	887.8		
0.70	0.385	3.021	0.490	3.846	14.0	153.9	1208.1		
0.80	0.503	3.948	0.640	5.024	16.0	201.1	1578.6		
0.90	0.636	4.993	0.810	6.358					

注: 1. 标准中还有六角钢丝的尺寸、质量, 本表未编入。

2. 表中的理论质量是按密度为  $7.85\text{g}/\text{cm}^3$  计算的, 对特殊合金钢丝, 在计算理论质量时应采用相应牌号的密度。

3. 表内尺寸一栏, 对于圆钢丝表示直径; 对于方钢丝表示边长。

4. 表中的钢丝直径系列采用 R20 优先数系; 其中带 \* 的系列是补充的 R40 优先数系中的优先数系。

## 重要用途低碳钢丝 (摘自 YB/T 5032—1993)

表 3-1-99

公称直径/mm	抗拉强度/MPa, $\geq$		扭转次数/次·360° <sup>-1</sup> $\geq$	弯曲次数/次·180° <sup>-1</sup> $\geq$
	光面	镀锌		
0.3	400	370	30	打结拉断试验抗拉强度: 光面 $\geq$ 230MPa 镀锌 $\geq$ 190MPa
0.4			30	
0.5			30	
0.6			30	
0.8			30	
1.0			25	22
1.2			25	18
1.4			20	14
1.6			20	12
1.8			18	12
2.0			18	10
2.3			15	10
2.6			15	8
3.0			12	10
3.5			12	10
4.0			10	8
4.5	10	8		
5.0	8	6		
6.0	—	—		

注: 1. 本标准适用于机器制造中重要部件及零件所用的低碳圆钢丝。

2. 钢丝再符合 GB/T 699 规定的低碳钢制造。

## 优质碳素结构钢丝 (摘自 YB/T 5303—2006)

表 3-1-100

硬 状 态	钢丝直径 /mm	$\sigma_b$ /MPa					弯曲/次				
		钢 号					钢 号				
		08F~10(F)	15(F)~20	25~35	40~50	55~60	08F~10(F)	15(F)~20	25~35	40~50	55~60
		$\geq$					$\geq$				
	0.20~0.75	735	785	980	1080	1175	—	—	—	—	—
	>0.75~1.0	685	735	885	980	1080	6	6	6	5	5
	>1.0~3.0	635	685	785	885	980	6	6	5	4	4
	>3.0~6.0	590	635	685	785	885	5	5	5	4	4
	>6.0~10.0	540	590	635	735	785	5	4	3	2	2
软 状 态	钢 号		$\sigma_b$ /MPa			$\delta_5$ /%		$\psi$ /%			
	10		440~685			8		50			
	15		490~735			8		45			
	20		490~735			7.5		40			
	25		540~785			7		40			
	30		540~785			7		35			
	35		590~835			6.5		35			
	40		590~835			6		35			
	45		635~885			6		30			
50		635~885			6		30				
钢丝直径	0.20, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95, 1.00, 1.10, 1.20, 1.30, 1.40, 1.50, 1.60, 1.70, 1.80, 1.90, 2.00, 2.20, 2.30, 2.40, 2.50, 2.60, 2.80, 3.00, 3.20, 3.60, 3.80, 4.00, 4.20, 4.50, 4.80, 5.00, 5.50, 6.00, 6.50, 7.00, 7.50, 8.00, 8.50, 9.00, 9.50, 10.0										

注: 1. 本标准适用于冷拉及银亮优质碳素结构钢丝, 冷拉状态交货。

2. 直径小于 0.75mm 钢丝的弯曲试验, 应用打结拉断试验来代替, 其拉断力不得小于不打结试验时拉断力的 50%。

3. 钢丝按力学性能分为两类, 即硬状态和软状态; 按截面形状分为三种, 即圆形钢丝、方形钢丝和六角钢丝。

## 合金结构钢丝 (摘自 YB/T 5301—2006)

表 3-1-101

类别	牌号	冷拉状态		退火状态					
		尺寸 < 5mm	尺寸 ≥ 5mm	尺寸 < 5mm	尺寸 ≥ 5mm				
		抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	布氏硬度 HB	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	布氏硬度 HB				
I 类	15CrA 38CrA 40CrA 12CrNi3A 20CrNi3A 30CrMnSiA	≤ 1080	≤ 302	≤ 785	≤ 229				
	30CrNi3A 30CrMnMoTiA					≤ 1080	≤ 302	≤ 835	≤ 241
	12Cr2Ni4A 18Cr2Ni4WA 25Cr2Ni4WA 30SiMn2MoVA 30CrMnSiNi2A 30CrNi2MoVA 35CrMnSiA 38CrMoAlA 40CrNiMoA 50CrVA					—	—	≤ 930	≤ 269
	II 类					交货状态	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa		
						冷拉状态	≤ 1080		
						退火状态	≤ 930		

- 注: 1. 本标准适用于直径不大于 10mm 的合金结构钢冷拉圆钢丝以及 2~8mm 的冷拉方、六角钢丝。  
 2. 钢丝按用途分为: I 类——特殊用途钢丝; II 类——一般用途钢丝。钢丝按交货状态分为: 冷拉——L; 退火——T。  
 3. 钢丝的尺寸、外形应符合 GB/T 342 的规定。  
 4. 钢丝的牌号及钢的化学成分应符合 GB/T 3077 的规定, 部分牌号钢的化学成分见原标准。  
 5. 尺寸不小于 2.0mm 的 I 类钢丝试样的淬火、回火要求及其力学性能见原标准规定; 尺寸小于 2.0mm 的钢丝力学性能由供需双方协议规定。

## 碳素弹簧钢丝 (摘自 GB/T 4357—1989)

表 3-1-102

直径/mm	$\sigma_b$ /MPa			直径/mm	$\sigma_b$ /MPa		
	B 级	C 级	D 级		B 级	C 级	D 级
0.08	2400~2800	2740~3140	2840~3240	0.32	1960~2350	2250~2650	2600~2990
0.09	2350~2750	2690~3090	2840~3240	0.35	1960~2350	2250~2650	2600~2990
0.10	2300~2700	2650~3040	2790~3190	0.40	1910~2300	2250~2650	2600~2990
0.12	2250~2650	2600~2990	2740~3140	0.45	1860~2260	2200~2600	2550~2940
0.14	2200~2600	2550~2940	2740~3140	0.50	1860~2260	2200~2600	2550~2940
0.16	2150~2550	2500~2890	2690~3090	0.55	1810~2210	2150~2550	2500~2890
0.18	2150~2550	2450~2840	2690~3090	0.60	1760~2160	2110~2500	2450~2840
0.20	2150~2550	2400~2790	2690~3090	0.63	1760~2160	2110~2500	2450~2840
0.22	2110~2500	2350~2750	2690~3090	0.70	1710~2110	2060~2450	2450~2840
0.25	2060~2450	2300~2700	2640~3040	0.80	1710~2060	2010~2400	2400~2840
0.28	2010~2400	2300~2700	2640~3040	0.90	1710~2060	2010~2350	2350~2750
0.30	2010~2400	2300~2700	2640~3040	1.00	1660~2010	1960~2300	2300~2690

直径/mm	$\sigma_b$ /MPa			直径/mm	$\sigma_b$ /MPa		
	B 级	C 级	D 级		B 级	C 级	D 级
1.20	1620~1960	1910~2250	2250~2550	4.50	1320~1570	1520~1760	1620~1860
1.40	1620~1910	1860~2210	2150~2450	5.00	1320~1570	1470~1710	1570~1810
1.60	1570~1860	1810~2160	2110~2400	5.50	1270~1520	1470~1710	1570~1810
1.80	1520~1810	1700~2110	2010~2300	6.00	1220~1470	1420~1660	1520~1760
2.00	1470~1760	1710~2010	1910~2200	6.30	1220~1470	1420~1610	
2.20	1420~1710	1660~1960	1810~2110	7.00	1170~1420	1370~1570	
2.50	1420~1710	1660~1960	1760~2060	8.00	1170~1420	1370~1570	
2.80	1370~1670	1620~1910	1710~2010	9.00	1130~1320	1320~1520	
3.00	1370~1670	1570~1860	1710~1960	10.00	1130~1320	1320~1520	
3.20	1320~1620	1570~1810	1660~1910	11.00	1080~1270	1270~1470	
3.50	1320~1620	1570~1810	1660~1910	12.00	1080~1270	1270~1470	
4.00	1320~1620	1520~1760	1620~1860	13.00	1030~1220	1220~1420	

注：1. 本标准适用于机械用圆形截面的冷拉碳素弹簧钢丝，钢丝直径符合 GB/T 342 的规定。

2. 钢丝选用 GB/T 4354（优质碳素钢热轧盘条）和 GB 1298（碳素工具钢技术条件）中规定的钢材牌号制造（如 65、70、75、85、T9A 等）。

3. 按用途钢丝分为三级：B 级——用于低应力弹簧；C 级——用于中等应力弹簧；D 级——用于高应力弹簧（直径范围为 0.08~6.00mm）。

4. 直径不大于 6mm 的钢丝应进行扭转检验，直径大于 6mm 的钢丝应进行弯曲检验，详见原标准要求。

### 重要用途碳素弹簧钢丝力学性能（摘自 YB/T 5311—2006）

表 3-1-103

直径/mm	抗拉强度/MPa			直径/mm	抗拉强度/MPa		
	E 组	F 组	G 组		E 组	F 组	G 组
0.08	2330~2710	2710~3060	—	0.70	2120~2500	2500~2850	—
0.09	2320~2700	2700~3050	—	0.80	2110~2490	2490~2840	—
0.10	2310~2690	2690~3040	—	0.90	2060~2390	2390~2690	—
0.12	2300~2680	2680~3030	—	1.00	2020~2350	2350~2650	1850~2110
0.14	2290~2670	2670~3020	—	1.20	1920~2270	2270~2570	1820~2080
0.16	2280~2660	2660~3010	—	1.40	1870~2200	2200~2500	1780~2040
0.18	2270~2650	2650~3000	—	1.60	1830~2140	2160~2480	1750~2010
0.20	2260~2640	2640~2990	—	1.80	1800~2130	2060~2360	1700~1960
0.22	2240~2620	2620~2970	—	2.00	1760~2090	1970~2230	1670~1910
0.25	2220~2600	2600~2950	—	2.20	1720~2000	1870~2130	1620~1860
0.28	2220~2600	2600~2950	—	2.50	1680~1960	1770~2030	1620~1860
0.30	2210~2600	2600~2950	—	2.80	1630~1910	1720~1980	1570~1810
0.32	2210~2590	2590~2940	—	3.00	1610~1890	1690~1950	1570~1810
0.35	2210~2590	2590~2940	—	3.20	1560~1840	1670~1930	1570~1810
0.40	2200~2580	2580~2930	—	3.50	1520~1750	1620~1840	1470~1710
0.45	2190~2570	2570~2920	—	4.00	1480~1710	1570~1790	1470~1710
0.50	2180~2560	2560~2910	—	4.50	1410~1640	1500~1720	1470~1710
0.55	2170~2550	2550~2900	—	5.00	1380~1610	1480~1700	1420~1660
0.60	2160~2540	2540~2890	—	5.50	1330~1560	1440~1660	1400~1640
0.63	2140~2520	2520~2870	—	6.00	1320~1550	1420~1660	1350~1590

注：1. 本标准适用于制造具有高应力、阀门弹簧等重要用途的不经热处理或仅经低温回火的弹簧。

2. 按用途分 E 组、F 组、G 组，其直径范围是 E 组、F 组为 0.08~6.0mm，G 组为 1.0~6.0mm。

3. 钢丝选用 65Mn、70、T9A、T8MnA 制造，其化学成分见原标准。

4. 钢丝应进行扭转、缠绕检验，其要求见原标准。

油淬火-回火弹簧钢丝 (摘自 GB/T 18983—2003)

表 3-1-104 油淬火-回火弹簧钢丝分类及代号

分 类		静态(FD)	中疲劳(TD)	高疲劳(VD)
抗拉强度分级	低强度	FDC	TDC	VDC
	中强度	FDCrV(A、B)、FDSiMn	TDCrV(A、B)、TDSiMn	VDCrV(A、B)
	高强度	FDCrSi	TDCrSi	VDCrSi
直 径 范 围		0.50 ~ 17.00mm	0.50 ~ 17.00mm	0.50 ~ 10.00mm

注：1. 静态级钢丝适用于一般用途弹簧，以 FD 表示；中疲劳级钢丝适用于离合器弹簧、悬架弹簧等，以 TD 表示；高疲劳级钢丝适用于剧烈运动的场合，如阀门弹簧，以 VD 表示。

2. GB/T 18983—2003《油淬火-回火弹簧钢丝》代替 YB/T 5008 (原 GB 2271)《阀门用油淬火-回火铬钒合金弹簧钢丝》、YB/T 5102 (原 GB 4359)《阀门用油淬火-回火碳素弹簧钢丝》YB/T 5103 (原 GB 4360)《油淬火-回火碳素弹簧钢丝》、YB/T 5104 (原 GB 4361)《油淬火-回火硅锰合金弹簧钢丝》和 YB/T 5105 (原 GB 4362)《阀门用油淬火-回火铬硅合金弹簧钢丝》，适用于制造各种机械弹簧用碳素钢和低合金钢油淬火-回火圆截面钢丝。GB/T 18983 根据 ISO/FDIS 8458-3《机械弹簧用钢丝，油淬火和回火钢丝》制定。

表 3-1-105 油淬火-回火弹簧钢丝代号及化学成分

代 号	对应国内常用钢牌号	化学成分(质量分数)/%							
		C	Si	Mn	P <sub>最大</sub>	S <sub>最大</sub>	Cr	V	Cu <sub>最大</sub>
FDC	65、70、65Mn	0.60 ~ 0.75	0.10 ~ 0.35	0.50 ~ 1.20	0.030	0.030	—	—	0.20
TDC					0.020	0.025			0.12
VDC					0.020	0.025			0.12
FDCrV-A	50CrVA	0.47 ~ 0.55	0.10 ~ 0.40	0.60 ~ 1.20	0.030	0.030	0.80 ~ 1.10	0.15 ~ 0.25	0.20
TDCrV-A					0.025	0.025			0.12
VDCrV-A					0.025	0.025			0.12
FDCrV-B	67CrV	0.62 ~ 0.72	0.15 ~ 0.30	0.50 ~ 0.90	0.030	0.030	0.40 ~ 0.60	0.15 ~ 0.25	0.20
TDCrV-B					0.025	0.025			0.12
VDCrV-B					0.025	0.025			0.12
FDSiMn	60Si2Mn	0.56 ~ 0.64	1.50 ~ 2.00	0.60 ~ 0.90	0.035	0.035	—	—	0.25
TDSiMn	60Si2MnA								
FDCrSi	55CrSi	0.50 ~ 0.60	1.20 ~ 1.60	0.50 ~ 0.90	0.030	0.030	0.50 ~ 0.80	—	0.20
TDCrSi					0.025	0.025			0.12
VDCrSi					0.025	0.025			0.12

表 3-1-106 油淬火-回火弹簧钢丝力学性能

直径范围/mm		抗拉强度/MPa					断面收缩率 <sup>①</sup> /%	
		FDC TDC	FDCrV-A TDCrV-A	FDCrV-B TDCrV-B	FDSiMn TDSiMn	FDCrSi TDCrSi	≥	
							FD	TD
静态级、中疲劳级	0.50 ~ 0.80	1800 ~ 2100	1800 ~ 2100	1900 ~ 2200	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	—	
	>0.80 ~ 1.00	1800 ~ 2060	1780 ~ 2080	1860 ~ 2160	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	—	
	>1.00 ~ 1.30	1800 ~ 2010	1750 ~ 2010	1850 ~ 2100	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	45	45
	>1.30 ~ 1.40	1750 ~ 1950	1750 ~ 1990	1840 ~ 2070	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	45	45
	>1.40 ~ 1.60	1740 ~ 1890	1710 ~ 1950	1820 ~ 2030	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	45	45
	>1.60 ~ 2.00	1720 ~ 1890	1710 ~ 1890	1790 ~ 1970	1820 ~ 2000	2000 ~ 2250	45	45
	>2.00 ~ 2.50	1670 ~ 1820	1670 ~ 1830	1750 ~ 1900	1800 ~ 1950	1970 ~ 2140	45	45

直径范围/mm	抗拉强度/MPa					断面收缩率 <sup>①</sup> /%		
	FDC	FDCrV-A	FDCrV-B	FDSiMn	FDCrSi	FD	TD	
	TDC	TDCrV-A	TDCrV-B	TDSiMn	TDCrSi			
静态 级、中 疲劳 级	>2.50~2.70	1640~1790	1660~1820	1720~1870	1780~1930	1950~2120	45	45
	>2.70~3.00	1620~1770	1630~1780	1700~1850	1760~1910	1930~2100	45	45
	>3.00~3.20	1600~1750	1610~1760	1680~1830	1740~1890	1910~2080	40	45
	>3.20~3.50	1580~1730	1600~1750	1660~1810	1720~1870	1900~2060	40	45
	>3.50~4.00	1550~1700	1560~1710	1620~1770	1710~1860	1870~2030	40	45
	>4.00~4.20	1540~1690	1540~1690	1610~1760	1700~1850	1860~2020	40	45
	>4.20~4.50	1520~1670	1520~1670	1590~1740	1690~1840	1850~2000	40	45
	>4.50~4.70	1510~1660	1510~1660	1580~1730	1680~1830	1840~1990	40	45
	>4.70~5.00	1500~1650	1500~1650	1560~1710	1670~1820	1830~1980	40	45
	>5.00~5.60	1470~1620	1460~1610	1540~1690	1660~1810	1800~1950	35	40
	>5.60~6.00	1460~1610	1440~1590	1520~1670	1650~1800	1780~1930	35	40
	>6.00~6.50	1440~1590	1420~1570	1510~1660	1640~1790	1760~1910	35	40
	>6.50~7.00	1430~1580	1400~1550	1500~1650	1630~1780	1740~1890	35	40
	>7.00~8.00	1400~1550	1380~1530	1480~1630	1620~1770	1710~1860	35	40
	>8.00~9.00	1380~1530	1370~1520	1470~1620	1610~1760	1700~1850	30	35
	>9.00~10.00	1360~1510	1350~1500	1450~1600	1600~1750	1660~1810	30	35
	>10.00~12.00	1320~1470	1320~1470	1430~1580	1580~1730	1660~1810	30	—
	>12.00~14.00	1280~1430	1300~1450	1420~1570	1560~1710	1620~1770	30	—
>14.00~15.00	1270~1420	1290~1440	1410~1560	1550~1700	1620~1770	—	—	
>15.00~17.00	1250~1400	1270~1420	1400~1550	1540~1690	1580~1730	—	—	

直径范围/mm	抗拉强度/MPa				断面收缩率/ % ≥
	VDC	VDCrV-A	VDCrV-B	VDCrSi	
0.50~0.80	1700~2000	1750~1950	1910~2060	2030~2230	—
>0.80~1.00	1700~1950	1730~1930	1880~2030	2030~2230	—
>1.00~1.30	1700~1900	1700~1900	1860~2010	2030~2230	45
>1.30~1.40	1700~1850	1680~1860	1840~1990	2030~2230	45
>1.40~1.60	1670~1820	1660~1860	1820~1970	2000~2180	45
>1.60~2.00	1650~1800	1640~1800	1770~1920	1950~2110	45
>2.00~2.50	1630~1780	1620~1770	1720~1860	1900~2060	45
>2.50~2.70	1610~1760	1610~1760	1690~1840	1890~2040	45
>2.70~3.00	1590~1740	1600~1750	1660~1810	1880~2030	45
>3.00~3.20	1570~1720	1580~1730	1640~1790	1870~2020	45
>3.20~3.50	1550~1700	1560~1710	1620~1770	1860~2010	45
>3.50~4.00	1530~1680	1540~1690	1570~1720	1840~1990	45
>4.00~4.50	1510~1660	1520~1670	1540~1690	1810~1960	45
>4.50~5.00	1490~1640	1500~1650	1520~1670	1780~1930	45
>5.00~5.60	1470~1620	1480~1630	1490~1640	1750~1900	40
>5.60~6.00	1450~1600	1470~1620	1470~1620	1730~1890	40
>6.00~6.50	1420~1570	1440~1590	1440~1590	1710~1860	40
>6.50~7.00	1400~1550	1420~1570	1420~1570	1690~1840	40
>7.00~8.00	1370~1520	1410~1560	1390~1540	1660~1810	40
>8.00~9.00	1350~1500	1390~1540	1370~1520	1640~1790	35
>9.00~10.00	1340~1490	1370~1520	1340~1490	1620~1770	35

① FDSiMn 和 TDSiMn 直径不大于 5.00mm 时, 断面收缩率应不小于 35%; 直径大于 5.00mm 至 14.00mm 时, 断面收缩率应不小于 30%。

注: 一盘或一轴内钢丝抗拉强度允许波动范围为 VD 级钢丝不超过 50MPa, TD 级钢丝不超过 60MPa, FD 级钢丝不超过 70MPa。

表 3-1-107

油淬火-回火弹簧钢丝双向扭转试验要求

公称直径/mm	TDC、VDC		TDCrV、VDCrV		TDCrSi、VDCrSi		
	右转圈数	左转圈数	右转圈数	左转圈数	右转圈数	左转圈数	
> 0.70 ~ 1.00	6	24	6	12	6	0	
> 1.00 ~ 1.60		16		8	5		
> 1.60 ~ 2.50		14		4	4		4
> 2.50 ~ 3.00		12					
> 3.00 ~ 3.50		10					
> 3.50 ~ 4.50		8					
> 4.50 ~ 5.60		6					
> 5.60 ~ 6.00		4					

注：1. 公称直径大于 6.00mm 的钢丝绕直径等于钢丝直径 2 倍的芯棒弯曲 90°，试验后不得出现裂纹。

2. 钢丝表面应光滑，不应有对钢丝使用可能产生有害影响的划伤、结疤、锈蚀、裂纹等缺陷。

3. VD 级和 TD 级钢丝表面不得有全脱碳层，表面脱碳允许最大深度 VD 级、TD 级和 FD 级钢丝分别为 1.0%  $d$ 、1.3%  $d$ 、1.5%  $d$ ，TDSiMn 最大深度为 1.5%  $d$  ( $d$  为钢丝公称直径)。

4. VD 级钢丝应检验非金属夹杂物，其合格级别由供需双方协商，合同未规定者，合格级别由供方确定。阀门用钢丝应在合同中注明非金属夹杂物级别。

5. 公称直径小于 3.00mm 的钢丝在芯棒（其直径等于钢丝直径）上缠绕至少 4 圈，其表面不得产生裂纹或断开。

6. 公称直径 0.70 ~ 6.00mm 的钢丝应进行扭转试验，单向扭转即向一个方向扭转至少 3 次直到断裂，断口应平齐。TD 级和 VD 级钢丝可采用双向扭转，试验方法、具体要求符合本表规定。

### 不锈钢丝（摘自 GB/T 4240—1993）

表 3-1-108

状态	直径/mm	拉力试验		牌号和状态代号
		$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /% $\geq$	
软态	0.05 ~ 0.10	690 ~ 1030	15	1Cr18Ni9-R、Y1Cr18Ni9-R、Y1Cr18Ni9Se-R、0Cr19Ni9N-R、00Cr19Ni11-R、1Cr18Ni12-R、0Cr18Ni9-R、0Cr23Ni13-R、0Cr25Ni20-R、0Cr17Ni12Mo2-R、00Cr17Ni14Mo2-R、1Cr18Ni9Ti-R、0Cr18Ni11Ti-R、0Cr18Ni11Nb-R
	> 0.10 ~ 0.30	640 ~ 980	20	
	> 0.30 ~ 0.60	590 ~ 930	20	
	> 0.60 ~ 1.00	540 ~ 880	25	
	> 1.00 ~ 3.00	490 ~ 830	25	
	> 3.00 ~ 6.00	490 ~ 830	30	
	> 6.00 ~ 14.00	490 ~ 790	30	
	0.05 ~ 14.00	590 ~ 830	—	4Cr13-R、9Cr18-R、1Cr17Ni2-R
轻拉	0.50 ~ 1.00	830 ~ 1180	—	1Cr18Ni9-Q、0Cr18Ni9-Q、Y1Cr18Ni9-Q、1Cr18Ni12-Q、Y1Cr18Ni9Se-Q、0Cr18Ni11Ti-Q、0Cr19Ni9N-Q、0Cr17Ni12Mo2-Q、0Cr18Ni11Nb-Q、1Cr18Ni9Ti-Q、00Cr19Ni11-Q、0Cr23Ni13-Q、00Cr17Ni14Mo2-Q
	1.00 ~ 3.00	780 ~ 1130		
	3.00 ~ 6.00	730 ~ 1080		
	> 6.00 ~ 14.00	730 ~ 1030		
	0.50 ~ 3.00	640 ~ 930	—	Y1Cr13-Q、3Cr13-Q、Y1Cr17-Q、2Cr13-Q
	3.00 ~ 6.00	590 ~ 880		
	> 6.00 ~ 14.00	590 ~ 840		
	> 0.50 ~ 6.00	540 ~ 790	—	1Cr13-Q、1Cr17-Q
	> 6.00 ~ 14.00	490 ~ 740		
冷拉	0.80 ~ 3.00	1130 ~ 1470	—	1Cr18Ni9-L、0Cr19Ni9-L、0Cr17Ni12Mo2-L、1Cr18Ni9Ti-L
	> 3.00 ~ 6.00	1080 ~ 1420		

注：1. 本标准适用于不锈钢丝（弹簧、冷顶锻和焊接用不锈钢丝除外）。

2. 钢丝用钢的化学成分应符合 GB 1220 的规定。钢丝的直径应符合 GB 342 的规定。

3. 表中所列的伸长率  $\delta$  值不适用于 Y1Cr18Ni9 和 Y1Cr18Ni9Se。

4. 钢丝分三种交货状态：

软态——钢丝进行光亮热处理和热处理后酸洗或类似的处理，以 R 表示；

轻拉——钢丝热处理后进行小变形程度的拉拔，以 Q 表示；

冷拉——钢丝热处理后进行常规拉拔，以 L 表示。

5. 弹簧用不锈钢丝见推荐标准 YB/T 11。



高电阻电热合金 (摘自 GB/T 1234—1995)

表 3-1-109

合金牌号	化学成分(质量分数)/%										电 阻 率				
	C	P	S	Mn	Si	Cr	Ni	Al	Mo	Nb	Fe	软态丝材		软态带材	
												直径/mm	20℃电阻率/ $\mu\Omega \cdot m$	厚度/mm	20℃电阻率/ $\mu\Omega \cdot m$
Cr15Ni60	0.08	0.020	0.015	0.60	0.75~1.60	15.0~18.0	55.0~61.0	≤0.50	—	—	余量	<0.50 ≥0.50	1.12±0.05 1.15±0.05	≤0.80 >0.80~3.00 >3.00	1.11±0.05 1.14±0.05 1.15±0.05
Cr20Ni80	0.08	0.020	0.015	0.60	0.75~1.60	20.0~23.0	余量	≤0.50	—	—	≤1.0	<0.50 ≥0.50~3.00 ≥3.00	1.09±0.05 1.13±0.05 1.14±0.05	≤0.80 >0.80~3.00 >3.00	1.09±0.05 1.13±0.05 1.14±0.05
Cr20Ni70	0.08	0.020	0.015	0.60	0.75~1.60	28.0~31.0	余量	≤0.50	—	—	≤1.0	<0.50 ≥0.50	1.18±0.05 1.20±0.05	≤0.80 >0.80~3.00 >3.00	1.18±0.05 1.19±0.05 1.20±0.05
Cr20Ni35	0.08	0.020	0.015	1.00	1.00~3.00	18.0~21.0	34.0~37.0	—	—	—	—	<0.50 ≥0.50	1.04±0.05 1.06±0.05	≤0.80 >0.80	1.04±0.05 1.06±0.05
Cr20Ni30	0.08	0.020	0.015	1.00	1.00~2.00	18.0~21.0	30.0~34.0	—	—	—	—	<0.50 ≥0.50	1.25±0.08	—	1.25±0.08
1Cr13Al4	0.12	0.025	0.025	0.70	≤1.00	12.0~15.0	≤0.60	4.0~6.0	—	—	—	0.03~8.00	1.42±0.07	0.05~3.50	1.42±0.07
0Cr23Al5	0.06	0.025	0.025	0.70	≤0.60	20.5~23.5	≤0.60	4.2~5.3	—	—	—	—	1.35±0.06	—	1.35±0.07
0Cr25Al5	0.06	0.025	0.025	0.70	≤0.60	23.0~26.0	≤0.60	4.5~6.5	—	—	—	—	1.45±0.07	—	1.45±0.07
0Cr21Al6Nb	0.05	0.025	0.025	0.70	≤0.60	21.0~23.0	≤0.60	5.0~7.0	—	—	余量	—	1.42±0.07	—	1.42±0.07
0Cr21Al6	0.06	0.025	0.025	0.70	≤1.00	19.0~22.0	≤0.60	5.0~7.0	—	—	—	—	1.23±0.06	—	1.23±0.07
1Cr20Al3	0.10	0.025	0.025	0.70	≤1.00	18.0~21.0	≤0.60	3.0~4.2	—	—	—	—	1.53±0.07	—	1.53±0.07
0Cr27Al7Mo2	0.05	0.025	0.025	0.20	≤0.40	26.5~27.8	≤0.60	6.0~7.0	1.8~2.2	—	余量	0.30~8.00	1.53±0.07	—	1.53±0.07

续表

合金牌号	性能与用途										尺寸范围							
	工艺性		快速寿命试验		主要物理性能参考数值						特点与用途	冷扎带材		热扎带材				
	伸长率 $\delta_5/\%$ $\geq$	反复弯 曲次数 $\geq$	试验 温度 /°C	寿命值 /h	元件最 高使用 温度/°C	熔点 /°C	密度 /g· cm <sup>-3</sup>	比热容 /J· g <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup>	平均线胀系 数 $\alpha(20\sim$ 1000°C) /10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>	热导率 /kJ·h <sup>-1</sup> · m <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup>		组织	磁性	冷拉 线材	热扎棒 材盘条	厚度 /mm	宽度 /mm	厚度 /mm
Cr15Ni60	20	—	1150	≥80	1150	1390	8.2	0.494	17.0	45.2	非磁性	—	—	—	—	—	—	—
Cr20Ni80	20	—	1200	≥80	1200	1400	8.4	0.440	18.0	60.3	奥氏体	—	—	—	—	—	—	—
Cr30Ni70	20	—	1250	≥50	1250	1380	8.1	0.461	17.0	45.2	非磁性	—	—	—	—	—	—	—
Cr20Ni35	20	—	1100	≥80	1100	1390	7.9	0.50	19.0	43.8	弱磁性	—	—	—	—	—	—	—
Cr20Ni30	20	—	1100	≥80	1100	1390	7.9	0.50	19.0	43.8	弱磁性	—	—	—	—	—	—	—
1Cr13Al4	16	5	—	—	950	1450	7.4	0.490	15.4	52.7	铁素体	—	—	—	—	—	—	—
0Cr23Al5	12	5	1300	≥80	1250	1500	7.25	0.460	15.0	60.2	磁性	—	—	—	—	—	—	—
0Cr25Al5	12	5	1300	≥80	1250	1500	7.1	0.494	16.0	46.1	磁性	—	—	—	—	—	—	—
0Cr21Al6Nb	12	5	1350	≥50	1350	1510	7.1	0.494	16.0	46.1	磁性	—	—	—	—	—	—	—
0Cr21Al6	12	5	1300	≥80	1250	1500	7.16	0.52	14.7	63.2	磁性	—	—	—	—	—	—	—
1Cr20Al3	12	5	1250	≥80	1100	1500	7.35	0.49	13.5	46.9	磁性	—	—	—	—	—	—	—
0Cr27Al7Mo2	10	5	1350	≥50	1400	1520	7.1	0.494	16.0	45.2	磁性	—	—	—	—	—	—	—

注：1. 本标准适用于制作电加热元件和一般电阻元件用的镍铬、镍铬铁和铁铬铝高电阻电热合金线材、带材、棒材和盘条。  
2. 合金材料应经热处理后软态交货。

## 4 各国(地区)黑色金属材料牌号近似对照<sup>[1]</sup>

### 4.1 各国(地区)结构用钢号对照

表 3-1-110

碳素结构钢和工程用钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS	
1	Q195 (A1, B1)		S185 (s133)	1. 0035	S185 (A33)	HR2		Ст. 1кп Ст. 1пс Ст. 1сн		S185 (040A10)	A285 M Gr. B		
2	Q215A	SS330	US1 34-2	1. 0028	A34	HR1	SS330 (SS34)	Ст. 2кп-2, -3 Ст. 2пс-2, -3 Ст. 2сн-2, -3	1370	(040A12)	A283 M Gr. C A573 M Gr. 58		SS330
3	Q215B (A2, C2)		RSt 34-2	1. 0034	A34-2NE								
4	Q235A	SS400	S235JR	1. 0037	S235JR	Fe 360A	SS400	Ст. 3кп-2	1311	S235JR	A570 Gr. A		SS400
5	Q235B		S235JRG1	1. 0036	S235JRG1	Fe 360D	(SS 41)	Ст. 3кп-3	1312	S235JRG1	A570 Gr. D		
6	Q235C		S235JRG2	1. 0038	S235JRG2			Ст. 3кп-4		S235JRG2	A283 M Gr. D		
7	Q235D (A3, C3)		(St 37-2, US1 37-2, RSt 37-2)		(E24-2, E24-2NE)			БСт. 3кп-2		(40B, 40C)			
8	Q255A		(S144-2)	1. 0044	E28-2		SM 400A SM 400B (SM 41A, SM41B)	Ст. 4кп-2 Ст. 4кп-3 БСт. 4кп-2	1412	(43B)	A709 M Cr. 36		
9	Q255B (A4, C4)												
10	Q275 (C5)	SS490	S275J2C3 S275J2C4 (S144-3N)	1. 0144 1. 0145 1. 0055	S275J2G3 S275J2G4	Fe430A	SS490 (SS50)	Ст. 5кп-2 Ст. 5пс БСт. 5пс-2	1430	S275J2G3 S275J2G4 (43D)		K02901	SS490

注: 括号内为旧钢号, 下同。

表 3-1-111 优质碳素结构钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM/AISI	UNS	
1	05F	—	D6-2	1.0314	—	—	—	05кп	—	015A03	1005	G10050	—
2	08F	—	US84	1.0336	—	—	S9CK	08кп	—	—	≈1008	—	SM9CK
3	08	—	—	—	XC6	—	—	08	—	040A04 050A04	1008	G10080	—
4	10F	—	US113	—	—	—	—	10кп	—	—	≈1010	—	—
5	10	S10C	C10 Ck10	1.0301 1.1121	C10 XC10	—	S10C	10	1265	040A10 045M10	1010	G10100	SM10C
6	15	S15C	C15 Ck15	1.0401 1.1141	C12 XC15	—	S15C	15	1350 1370	040A15 080M15	1015	G10150	SM15C
7	20	S20C	C22E Ck22	1.1151	C22E XC18	—	S20C	20	1435	C22E 070M20	1020	G10200	SM20C
8	25	S25C	C25E Ck25	1.1158	C25E XC25	C25E4	S25C	25	—	C25E 070M26	1025	G10250	SM25C
9	30	S30C	C30E Ck30	1.1178	C30E XC32	C30E4	S30C	30	—	C30E 080M30	1030	G10300	SM30C
10	35	S35C	C35E Ck35	1.1181	C35E XC38	C35E4	S35C	35	1572	C35E 080M36	1035	G10350	SM35C
11	40	S40C	C40E Ck40	1.1186	C40E XC42	C40E4	S40C	40	—	C40E 080M40	1040	G10400	SM40C
12	45	S45C	C45E Ck45	1.1191	C45E XC48	C45E4	S45C	45	1660	C45E 080M46	1045	G10450	SM45C
13	50	S50C	C50E Ck53	1.1210	C50E	C50E4	S50C	50	1674	C50E 080M50	1050	G10500	SM50C
14	55	S55C	C55E Ck55	1.1203	C55E XC55	C55E4	S55C	55	1665	C55E 070M55	1055	G10550	SM55C
15	60	—	C60E Ck60	1.1221	C60E XC60	C60E4	—	60	1678	C60E 070M60	1060	G10600	—
16	65	—	Ck67	1.1231	XC65	SL, SM	—	65	1770	060A67	1065	G10650	—
17	15Mn	—	15Mn3	1.0467	12M5	—	—	15T	1430	080A15	1016	G10160	—
18	20Mn	—	21Mn4	1.0469	20M5	—	—	20T	1434	080A20	1022	G10220	—
19	25Mn	—	—	—	—	—	—	25T	—	080A25	1026	G10260	—
20	30Mn	—	30Mn4	1.1146	32M5	—	—	30T	—	080A30	1033	G10330	—
21	35Mn	—	36Mn4	1.0561	35M5	—	—	35T	—	080A35	1037	G10370	—
22	40Mn	—	40Mn4	1.1157	40M5	SL, SM	SWRH42B	40T	—	080A40	1039	G10390	—
23	45Mn	—	—	—	45M5	SL, SM	SWRH47B	45T	1672	080A47	1046	G10460	—
24	50Mn	—	—	—	—	SL, SM	SWRH52B	50T	1674	080A52	1053	G10530	—
25	60Mn	S58C	60Mn3	1.0642	—	SL, SM	S58C SWRH62B	60T	1678	080A62	1062	—	—

表 3-1-112 建筑用钢筋钢号近似对照

序号	中国 GB	德国 DIN	法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	美国 ASTM
1	Q235		FeE235	PB 240	SR235	Cr. 3 kn Cr. 3nc Cr. 3cn	
2	20MnSi	BS420S	FeE400	RB 400	SD390		A706M
3	20MnSiV		FeTE400	RB 400W			A615M
4	20MnTi		FeE 400 FeTE 400	RB 400 RB 400W	SD390		A706M A615M
5	25MnSi		FeE 400 FeTE 400	RB 400 RB 400W	SD 390		

表 3-1-113 合金结构钢钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SS <sub>14</sub>	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM/AISI	UNS	
1	20Mn2	SMn420	20Mn6	1. 1169	20M5	22Mn6	SMn420	20T2		150M19	1320		SMn420
2	30Mn2		30Mn5	1. 1165	32M5	28Mn6		30T2		150M28	1330	G13300	
3	35Mn2	SMn433	36Mn5	1. 1167	35M5	36Mn6	SMn433	35T2	2120	150M36	1335	G13350	SMn433
4	40Mn2	SMn438			40M5	42Mn6	SMn438	40T2			1340	G13400	SMn438
5	45Mn2	SMn433	46Mn7	1. 0912	45M5		SMn443	45T2			1345	G13450	SMn443
6	50Mn2		50Mn7	1. 0913	55M5			50T2					
7	15MnV		15MnV5	1. 5213									
8	20MnV		20MnV6	1. 5217									
9	42MnV		42MnV7	1. 5223									
10	35SiMn		37MnSi5	1. 5122	38MS5			35CT		En46 <sup>®</sup>			
11	42SiMn		46MnSi4	1. 5121	41S7			42CT					
12	40B									170H41	14B35		
13	45B										14B50		
14	40MnB				38MB5					185H40			

续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS <sub>14</sub>	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W.-Nr.							ASTM/AISI	UNS	
15	15Cr	SCr415	15Cr3	1.7015	12C3		SCr415	15X		523A14 523M15	5115	G51150	SCr415
16	20Cr	SCr420	20Cr4	1.7027	18C3	20Cr4	SCr420	20X		527A20	5120	G51200	SCr420
17	30Cr	SCr430	28Cr4	1.7030	32C4		SCr430	30X		530A30	5130	G51300	SCr430
18	35Cr	SCr435	34Cr4	1.7033	38C4	34Cr4	SCr435	35X		530A36	5135	G51350	SCr435
19	40Cr	SCr440	41Cr4	1.7035	42C4	41Cr4	SCr440	40X	2245	530A40 530M40	5140	G51400	SCr440
20	45Cr	SCr445			45C4		SCr445	45X			5145	G51450	SCr445
21	50Cr				50C4			50X			5150	G51500	
22	12CrMo		13CrMo44	1.7335	12CD4			12XM 12XMΦ	2216	1501-620 Cr27	4119		
23	12CrMoV												
24	15CrMo <sup>①</sup>	SCM415	15CrMo5	1.7262	15CD4.05		SCM415	15XM		1501-620 Cr31			SCM415
25	20CrMo	SCM420	20CrMo5	1.7264	18CD4	18CrMo4	SCM420	20XM		GDS12	4118	G41180	SCM420
26	25CrMo <sup>①</sup>		25CrMo4	1.7218	25CD4			30XM	2225				
27	30CrMo	SCM430			30CD4		SCM430						SCM430
28	35CrMo	SCM435	34CrMo4	1.7220	35CD4	34CrMo4	SCM435	35XM 35XMΦ	2234	708A37 CDS13	4135	G41350	SCM435
29	35CrMoV												
30	42CrMo	SCM440	42CrMo4	1.7225	42CD4	42CrMo4	SCM440		2244	708M40	4140	G41400	SCM440
31	25Cr2MoVA		24CrMoV55	1.7733				25X2M1Φ					
32	25Cr2Mo1VA												
33	20Cr3MoWVA		21CrVMoW12					ЭИ415					
34	38CrMoAl		41CrAlMo7	1.8509	40CAD 6.12	41CrAlMo7		38X2MЮA	2940	905M39			

续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS <sub>14</sub>	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM/AISI	UNS	
35	20CrV		21CrV4	1.7510							6120		
36	50CrVA	SUP10	51CrV4 (50CrV4)	1.8159	50CV4	13	SUP10	50XΦA	2230	735A50	6150	G61500	SPS6
37	15CrMn		16MnCr5	1.7131	16MCS			15XГ	2511		5115	G51150	
38	20CrMn		20MnCr5	1.7147	20MCS	20MnCr5	S MnC420	20XГ			5120	G51200	S MnC420
39	20CrMnSi							20XГC					
40	30CrMnSi							30XГC					
41	35CrMnSiA							35XГCA					
42	20CrMnMo						SCM421	18XГM			4119		SCM421
43	40CrMnMo		42CrMo4	1.7225		42CrMo4	SCM440	40XГM		708A42	4142	G41420	SCM440
44	20CrMnTi							18XГT					
45	30CrMnTi		30MnCrTi4	1.8401				30XГT					
46	20CrNi							20XH					
47	40CrNi		40NiCr6	1.5711				40XH		640M40	3140	G31400	
48	50CrNi							50XH					
49	12CrNi2	SNC415	14NiCr10	1.5732	14NC11		SNC415	12XH2A			3415		SNC415
50	12CrNi3	SNC815	14NiCr14	1.5752	14NC12	15NiCr13	SNC815	12XH3A		665A12 665M13	3310	G33106	SNC815
51	20CrNi3				20NC11			20XH3A					
52	30CrNi3	SNC836	31NiCr14	1.5755	30NC11		SNC836	30XH3A		653M31	3435		SNC836
53	12Cr2Ni4		14NiCr18	1.5860	12NC15			12X2H4A		659M15	2515		
54	20Cr2Ni4	≈SNC815	≈14NiCr14	1.5752	18NC13		≈SNC815	20X2H4A 18X2H4BA		≈665M13	3316		≈SNC815
55	18Cr2Ni4WA												
56	20CrNiMo	SNCM220	21NiCrMo2	1.6523	20NCD2	20NiCrMo2	SNCM220	20XHM	2506	805M20	8620	G86200	SNCM220
57	40CrNiMo							40XHM					
58	45CrNiMoVA	SNCM439	36CrNiMo4	1.6511	40NCD3		SNCM439	45XH2MΦA		816M40	4340	G43400	SNCM439

① 中国 YB 标准旧钢号。

② 英国 BS 标准旧钢号。

表 3-1-114 易切削结构钢钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德 国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS <sub>14</sub>	美 国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.						ASTM/AISI	UNS	
1	Y12	SUM21	10S20	1.0721	13MF4	10S20	SUM21	A12		B1112		SUM21
2	Y12Pb		10SPb20	1.0722	10PbF2	11SMnPb28				11L08		
3	Y15	SUM32	15S20	1.0723	15F2 <sup>①</sup>	11SMn28	SUM32		1922	1115		SUM32
4	Y15Pb	SUM22L	9SMnPb28	1.0718	S250Pb	11SMnPb28	SUM22L		1914	12L13	G12134	SUM22L
5	Y20		22S20	1.0724	18MF5			A20		1120		
6	Y30							A30		1130		
7	Y35		35S20	1.0726	35MF6	35S20			1957	1140		
8	Y40Mn	SUM42	9S20	1.0711	40M5 <sup>①</sup>	44SMn28	SUM42	A10T		1141	G11410	SUM42
9		SUM21		1.0715		9S20	SUM21			1212	G12120	SUM21
10		SUM22		1.0721	S250		SUM22		1912	1213	G12130	SUM22
11			10S20	1.0727	10F1 <sup>①</sup>	10S20				1108	G11080	
12			45S20	1.0736	45MF4	46S20			1973	1146	G11460	
13			9SMn36	1.0736	S300					1215	G12150	
14			9SMnPb36	1.0737	S300Pb				1926	12L14	G12141	

① 法国非 NF 标准易切削结构钢钢号。

表 3-1-115 冷镀锌钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德 国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	英国 BS	美 国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.						ASTM/AISI	UNS	
1	ML08	SWRCH8A	QS34-3 (C7C)	1.0213	FB8 FR8	CC8X (A2R)	SWRCH8R	08кп	0/1	1010	G10100	SWCH8A
2	ML10	SWRCH10K	QS36-3 (C11C)	1.0214	XC10 FB10 FR10	CC8A (A2A1)	SWRCH10R	10кп	0/2	1012	G10120	SWCH10K
3	ML15	SWRCH15K	QS38-3 (C14C) Cq15 (C15C)	1.0234 1.1132	FR15 FB18 FR18	CC15A (A4A1)	SWRCH15K	15пс	0/3	1015	G10150	SWCH15K
4	ML20	SWRCH20K	Cq22 (C22C)	1.1152	XC18 FR20	CC21A (A5A1)	SWRCH20K	20пс	0/4	1020	G10200	SWCH20K



续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准 化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.						ASTM/AISI	UNS	
5	ML25	SWRCH25K			XC25 FR28		SWRCH25K	25		1025	G10250	SWCH25K
6	ML30	SWRCH30K			XC32 FR32	CE28E4 (C2)	SWRCH30K	30	1/1	103Q	G10300	SWCH30K
7	ML35	SWRCH35K	Cq35 (C35C)	1.1172	XC38 FR36	CE35E4 (C3)	SWRCH35K	35	1/2	1034	G10340	SWCH35K
8	ML40	SWRCH40K			XC40 FR38	CE40E4	SWRCH40K	40	1/3	1040	G10400	SWCH40K
9	ML45	SWRCH45K	Cq45 (C45C)	1.1192	XC45	CE45E4 (C6)	SWRCH45K	45		1044	G10440	SWCH45K
10	ML25Mn	SWRCH27K			1C25		SWRCH25K SWRCH27K			1026	G10260	SWCH25K
11	ML30Mn	SWRCH33K			1C30	CE28E4	SWRCH30K SWRCH33K			1030	G10300	SWCH30K
12	ML35Mn	SWRCH38K			1C35	CE35E4	SWRCH35K SWRCH38K		2/1	1034	G10340	SWCH35K
13	ML40Mn	SWRCH41K			1C40	CE40E4	SWRCH40K SWRCH43K	40T	2/2	1040	G10400	SWCH41K
14	ML45Mn	SWRCH48K			1C45	CE45E4	SWRCH45K SWRCH48K	45T	162	1045	G10450	SWCH45K
15	ML15Cr		15Cr2	1.7015				15X		5115	G51150	
16	ML20Cr					20Cr4E (B10)		20X		5120	G51200	
17	ML40Cr		41Cr4	1.7035	38C4 42C4	41Cr4E (C16)		40X	3/2	5140	G51400	
18	ML15MnB				20MB5	CE20BG2 (E2)	SWRCHB620		9/0	1518	G15180	
19	ML30CrMo		≈ 25CrMo4	1.7218	30CD4			30XMA		4130	G41300	
20	ML35CrMo		34CrMo4	1.7220	34CD4	34CrMo4E (C31)				4135 A320ML7B	G41350	
21	ML42CrMo		42CrMo4	1.7225	42CD4	42CrMo4E (C32)				4140 A320ML7M	G41400	

表 3-1-116 弹簧钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.						英国 BS	AISI	
1	65		CK67	1. 1231	XC65	Type DC	SUP2	65	1770	060A67	1065	G10650
2	70				XC70	Type DC		70	1778	070A72	1070	G10700
3			CK75	1. 1248				75A	1774		1078	G10780
4	85	SUP3	CK85	1. 1269	XC85	Type DC	SUP3	85A	≈1774	060A86	1086	G10860
5			CK101	1. 1274	XC100		SUP4		1870	060A96	1095	G10950
6	65Mn							65T		080A67	1066	
7	55Si2Mn		55Si7	1. 0904	55S7	56SiCr7		55C2	2085	250A53	9255	G92550
8	60Si2Mn	SUP6	60Si7	1. 0909	60S7	61SiCr7	SUP6	60C2				SPS3
9	60Si2CrA 60Si2CrVA		60SiCr7	1. 0961	60SC7	55SiCr6-3		60C2XA 60C2XΦA				
10		SUP7	65Si7	1. 0906			SUP7	250A61				SPS4
11	55CrMnA	SUP9	55Cr3	1. 7176	55C3	55Cr3	SUP9		2085	≈527A60	5155	G51550
12	60CrMnA	SUP9A					SUP9A		2090	527A60	5160	G51600
13	60CrMnMoA	SUP13	≈51CrMoV4	1. 7701	≈51CDV4	60CrMo33	SUP13			705H60	4160	G41610
14	50CrVA	SUP10	51CrV4	1. 8159	50CrV4	51CrV4	SUP10	50XΦA	2230	735A50	6150	G61500
15	60CrMnBA	SUP11A	58CrMnB4			60Cr1	SUP11A	55XTP			51B60	G51601
16	30W4C2VA		30WCrV17.9	1. 2243								

表 3-1-117 轴承钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SKF	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM/AISI	UNS	
1	GCr6		100Cr2 (W1)	1. 3501	100C2			SKF9			50100 E50100	G50986	
2	GCr9	SUJ1	105Cr4 (W2)	1. 3503	100C5		SUJ1	SKF13			E51100	G51986	
3	GCr9SiMn					2	SUJ3	SKF1			A485Cr1		
4	GCr15	SUJ3	100Cr6 (W3)	1. 3505	100C6	1	SUJ2	SKF3	535A99		E52100	G52986	
5	GCr15SiMn		100CrMn6 (W4)	1. 3502	100CM6	3		SKF2					

高碳铬轴承钢

续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SKF	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM/AISI	UNS	
渗碳轴承钢													
6	G20CrMo		20MoCr4	1.7321							A534 4118H		
7	G20CrNiMo	SNCM220	21NiCrMo2	1.6523	20NCD2	12	SNCM220		SKF152	805A20	A534 8620H		SNCM220
8	G20CrNi2Mo	SNCM420			20NCD7	14	SNCM420	20XH2M (20XHM)			A534 4320H		SNCM420
9	G20Cr2Ni4							20X2H4A					
10	G10CrNi3Mo									832H13	A534 9310H		
不锈钢轴承钢													
11	9Cr18	440C					SUS440C	95X18					STS440C
12	9Cr18Mo	440C	X102CrMo17	1.3543	Z100CD17	21	SUS440C		SKF577 STORA577		A756 440C		STS440C

① SKF 为轴承钢国际名牌产品。

### 4.2 各国（地区）不锈钢和耐热钢钢号对照

表 3-1-118

不锈钢钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国		欧洲标准
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS	KS	EN	
奥氏体型															
1	1Cr17Mn6Ni5N	201				X12CrMnNi17-7-5	SUS201				201	S20100	STS201	X12CrMnNi17-7-5	I. 4372
2	1Cr18Mn8Ni5N	202					SUS202	12X17T9AH4		284S16	202	S20200	STS202	X12CrMnNi18-9-5	I. 4373
3	1Cr17Ni7	301	X12CrNi17-7	1.4310	Z12CN17.07 Z12CN18.07	X10CrNi18-8	SUS301			301S21	301	S30100	STS301	X10CrNi18-8	I. 4310
4	1Cr18Ni9	302	X12CrNi18-8	1.4300	Z10CN18.09		SUS302	12X18H9		302S25	302	S30200	STS302		
5	Y1Cr18Ni9	303	X10CrNiSi18-9	1.4305	Z10CNF18.09	X8CrNiSi18-9	SUS303			303S21	303	S30300	STS303	X8CrNiSi18-9	I. 4305
6	Y1Cr18Ni9Se	303Se					SUS303Se	12X18H10E		303S41	303Se	S30323	STS303Se		
7	0Cr19Ni9 (0Cr18Ni9)	304	X5CrNi18-10	1.4301	Z6CN18.09	X5CrNi18-10	SUS304	08X18H10	2332 2333	304S15 304H	304	S30400	STS304	X5CrNi18-10	I. 4301

续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化 组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS	欧洲标准	
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS		EN	Mat. No.
奥氏体型															
8	00Cr19Ni10 (00Cr18Ni10)	304L	X2CrNi19-11	1. 4306	Z2CN18. 10 Z2CN18. 09	X2CrNi19-11	SUS304L	03X18H11		304S12	304L	S30403	STS304L	X2CrNi19-11	1. 4306
9	0Cr19Ni19N	304N1					SUS304N1				304N	S30451	STS304N1		
10	0Cr19Ni10NbN	304N2					SUS304N2				XM21	S30452	STS304N2		
11	00Cr18Ni10N	304LN	X2CrNi18-10	1. 4311	Z2CN18. 10A <sub>2</sub>	X2CrNi18-9	SUS304LN		2371	304S62	304LN	S30453	STS 304LN	X2CrNi18-9	1. 4307
12	1Cr18Ni12 (1Cr18Ni12Ti)	30S	X5CrNi18-12	1. 4303	Z8CN18. 12	X6CrNi18-12	SUS305	12X18H12T		305S19	305	S30500	STS305	X4CrNi18-12	1. 4303
13	0Cr23Ni13	309S	X7CrNi23-14	1. 4833	Z15CN24. 13		SUS309S				309S	S30908	STS309S	X12CrNi23-13	1. 4833
14	0Cr25Ni20 (1Cr25Ni20Si2)	310S	X12CrNi25-21	1. 4845	Z12CN25. 20		SUS310S		2361	304S24	310S	S31008	STS310S	X8CrNi25-21	1. 4845
15	0Cr17Ni12Mo2	316	X5CrNiMo17-12-2 X5CrNiMo17-13-3	1. 4401 1. 4436	Z6CND17. 11 Z6CND17. 12	X5CrNiMo 17-12-2	SUS316		2347 2343	316S16 316S31	316	S31600	STS316 STS316	X5CrNiMo17-12-2 X3CrNiMo17-13-3	1. 4401 1. 4436
16	0Cr18Ni12Mo2Ti		X6CrNiMoTi17-12-2	1. 4571	Z6CND17. 12	X6CrNiMoTi 17-12-2		08X17H13M2T	2350	320S31 320S17	316Ti	S31635		X6CrNiMoTi17-12-2	1. 4571
17	00Cr17Ni14Mo2	316L	X2CrNiMo18-14-3	1. 4435	Z2CND17. 13		SUS316L	03X17H14M2	2353	316S11 316S12	316L	S31603	STS316L	X2CrNiMo18-14-3	1. 4435
18	0Cr17Ni12Mo2N	316N					SUS316N				316N	S31651	STS316N		
19	00Cr17Ni13Mo2N	316N	X2CrNiMoN17-12-2 X2CrNiMoN17-13-3	1. 4406 1. 4429	Z2CND17. 12A <sub>2</sub> Z2CND17. 13A <sub>2</sub>	XZCrNiMoN 17-11-2	SUS316LN		2375	316S61	316LN	S31653	STS316LN	X2CrNiMoN17-11-2 X2CrNiMoN17-13-3	1. 4406 1. 4429
20	0Cr18Ni12Mo2Cu2	316JI					SUS316JI						STS316JI		
21	00Cr18Ni14Mo2Cu2	316JIL					SUS316JIL						STS316JIL		
22	0Cr19Ni13Mo3	317	X5CrNiMo17-13-3	1. 4449			SUS317			317S16	317	S31700	STS317		

续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS	欧洲标准	
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS		EN	Mat. No.
奥氏体型															
23	1Cr18Ni12Mo3Ti							10X17H13M3T		320S31					
24	0Cr18Ni12Mo3Ti		X6CrNiMoTi 17-12-2	1.4571		X6CrNiTi 17-12-2		08X17H15M3T		320S17				X6CrNiTi17-12-2	1.4571
25	00Cr19Ni13Mo3 (00Cr17Ni14Mo3)	317L	X2CrNiMo18-16-4	1.4438	Z2CND19.15	X2CrNiMo 18-15-4	SUS317L		2367	317S12	S31703		STS317L	X2CrNiMo18-15-4	1.4438
26	0Cr18Ni16Mo5	317J1					SUS317J1						STS317J1		
27	1Cr18Ni9Ti	321	X12CrNiTi18-9	1.4878	Z6CNT18.12	X10CrNiTi18-10	SUS321	12X18H10T	2337	321S20	S32100		STS321	X10CrNiTi18-10	1.4878
28	0Cr18Ni11Ti (0Cr18Ni9Ti)	321	X6CrNiTi18-10	1.4541	Z6CNT18.10	X6CrNiTi18-10	SUS321	09X18H10T X18H10T	2337	321S12 321S31	S32100		STS321	X6CrNiTi18-10	1.4541
29	0Cr18Ni11Nb	347	X6CrNiNb18-10	1.4550	Z6CNNb18.10	X6CrNiNb18-10	SUS347	08X18H12B	2338	347S17 347S31	S34700		STS347	X6CrNiNb18-10	1.4550
30	0Cr18Ni9Cu3	XM7	X3CrNiCu18-9	1.4567	Z3CNU18.10	X3CrNi18-9-4	SUS XM7				XM7		STS XM7	X3CrNi18-9-4	1.4567
31	0Cr18Ni13Si4	XM15J7					SUS XM15J1				XM15	S38100	STS XM15J1		
奥氏体-铁素体型															
32	0Cr26Ni5Mo2	329J1	X8CrNiMo27-5	1.4460			SUS329J1		2324		329	S32900	STS329J1	X3CrNiMo27-5-2	1.4460
33	1Cr18Ni11Si4AlTi							15X18H-12C4TfO							
34	00Cr18Ni5Mo3Si2														
铁素体型															
35	0Cr13Al	405	X6CrAl13	1.4002	Z6CA13	X6CrAl13	SUS405		2302	405S17	405	S40500	STS405	X6CrAl13	1.4002
36	00Cr12	410L			Z3CT12		SUS410L						STS410L		
37	1Cr17	430	X6Cr17	1.4016	Z6C17	X6Cr17	SUS430	12X17	2320	430S15	430	S43000	STS430	X6Cr17	1.4106
38	YCr17	430F	X12CrMoS17	1.4104	Z10CF17	X14CrMoS17	SUS430F		2383		430F	S43020	STS430F	X14CrMoS17	1.4104
39	1Cr17Mo	434	X6CrMo17	1.4113	Z8CD17.01	X6CrMo17-1	SUS434		2325	434S17	434	S43400	STS434	X6CrMo17-1	1.4113
40	00Cr30Mo2	447J1					SUS447J1						STS447J1		
41	00Cr27Mo	XM27	X1CrMo26-1	1.4131	Z01CD26.01		SUSXM27				XM27	S44625	STSXM27		
马氏体型															
42	1Cr12	403					SUS403	08X13	2301	403S17	403	S40300	STS403		

续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化 组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		欧洲标准		
			DIN	W.Nr.							ASTM	UNS	EN	Mat. No.	
43	0Cr13	405	X6Cr13	1.4000	Z6C13	X6Cr13	SUS405				405	S40500	STS405	X6Cr13	1.4000
44	1Cr13	410	X10Cr13	1.4006	Z12C13	X12Cr13	SUS410	12X13	2302	410S21	410	S41000	STS410	X12Cr13	1.4006
45	1Cr13Mo	410J1	X15Cr13	1.4024			SUS410J1			420S29			STS410J1		
46	Y1Cr13	416	X12CrS13	1.4005	Z12CF13	X12CrS13	SUS416		2380	416S21	416	S41600	STS416	X12CrS13	1.4005
47	2Cr13	420J1	X20Cr13	1.4021	Z20C13	X20Cr13	SUS420J1	12X13	2303	420S37	420	S42000	STS420J1	X20Cr13	1.4021
48	3Cr13	420J2	X30Cr13	1.4028	Z30C13	X30Cr13	SUS420J2	30X13	2304	420S45			STS420J2	X30Cr13	1.4028
49	4Cr13		X38Cr13		Z40C14	X39Cr13		40X13						X39Cr13	1.4031
50	Y3Cr13	420F			Z30CF13		SUS420F				420F	S42020	STS420F		
51	1Cr17Ni2	431	X20CrNi17-2	1.4057	Z15CN16.02	X17CrNi16-2	SUS431	14X17H2	2321	431S29	431	S43100	STS431	X17CrNi16-2	1.4057
52	7Cr17	440A					SUS440A				440A	S44002	STS440A		
53	8Cr17	440B					SUS440B				440B	S44003	STS440B		
54	11Cr17 (9Cr18)	440C					SUS440C	95X18			440C	S44004	STS440C		
55	Y11Cr17	440F					SUS440F				440F	S44020	STS440F		
沉淀硬化型															
56	0Cr17Ni4Cu4Nb	630	X5CrNiCuNb 17-14	1.4542	Z6CNU17.04	X5CrNiCuNb16-4	SUS630				630	S17400	STS630	X5CrNiCuNb16-4	1.4542
57	0Cr17Ni7Al	631	X7CrNiAl17-7	1.4568	Z8CNA17.07	X7CrNiAl17-7	SUS631	09X17H70			631	S17700	STS631	X7CrNiAl17-7	1.4568
58	0Cr15Ni7Mo2Al	632	X7CrNiMoAl15-7	1.4532	Z8CNDAl17.07	X8CrNiMoAl15-7-2	SUS632				632	S15700	STS632	X8CrNiMoAl15-7-2	1.4532
补充															
59			X38Cr13	1.4031	Z40C14				2340					X39Cr13	1.4031
60			X46Cr13	1.4034	Z38C13M					420S45				X46Cr13	1.4034
61			X105CrMo17	1.4125	Z100CD17									X105CrMo17	1.4125
62			X5CrNi13-4	1.4313	Z5CN13.4				2385	425C11				X3CrNiMo13-4	1.4313
63			X2CrNiMo17-13-2	1.4404	Z2CND17.12					316S11				X2CrNiMo17-12-2	1.4404
64			X6CrTi17	1.4510	Z8CT17									X3CrTi17	1.4510
65			X8CrNb17	1.4511	Z8CNb17									X3CrNb17	1.4511
66			X5CrNiNb18-10	1.4546						347S17 347S18					
67			X10CrNiMoTi 18-12	1.4573						320S33					
68			X6CrNiMoNb17- 12-2	1.4580	Z6CNDNb17.12					318S17				X6CrNiMoNb 17-12-2	1.4580

耐热钢钢号近似对照

表 3-1-119

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化 组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		欧洲标准		
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS	EN	Mat. No.	
奥氏体型															
1	5Cr21Mn9Ni4N	35	X53CrMnNiN21-9	1.4871	Z52CMN21.09		SUH35	55X20T9AH4		349S52	(SAE)	S63008	STR35	X53CrMnNiN21-9	1.4871
2	Y5Cr21Mn9Ni4N	36					SUH36			349S54	EV8		STR36		
3	2Cr22Ni11N	37					SUH37			381S34			STR37		
4	3Cr20Ni11Mo2PB	38					SUH38						STR38		
5	2Cr23Ni13 (1Cr23Ni13)	309	X15CrNiSi20-12	1.4828	Z15CNS20.12		SUH309	20X20H14C2		309S24	309	S30900	STR309	X15CrNiSi20-12	1.4828
6	2Cr25Ni20 (1Cr25Ni20Si2)	310	X15CrNiSi25-20	1.4841	Z15CNS25.20	H16	SUH310	20X25H20C2		310S31	310	S31000	STR310	X15CrNiSi25-20	1.4845
7	1Cr16Ni35	330	X12NiCrSi36-16	1.4864	Z12NC35.16 Z12NC37.18	H17	SUH330			NA17	330	N08330	STR330	X12NiCrSi35-16	1.4846
8	0Cr15Ni25Ti- 2MoAlVB (0Cr15Ni- 25Ti2MoVB)	660	X5NiCrTi26-15	1.4980	Z6NCTDV25.15		SUH660			286S31	660	S66286	STR660		
9	1Cr22Ni20Co20Mo- 3W3NbN	661	X12CrCoNi21-20	1.4971			SUH661				661	R30155	STR661	X12CrCoMo- W/Nb21-20-20	1.4971
10	0Cr9Ni9 (0Cr18Ni9)	304	X5CrNi18-10	1.4301	Z6CN18.09	11	SUS304	08X18H10	2332 2333	304S15 304S15	304 304H	S30400	STS304	X5CrNi18-10	1.4301
11	0Cr23Ni13	309S	X7CrNi23-14	1.4833	Z15CN24.13	H14	SUS309S				309S	S30908	STS309S	X12CrNi23-13	1.4833
12	0Cr25Ni20 (1Cr25Ni20Si2)	310S	X12CrNi25-21	1.4845	Z12CN25.20	H15	SUS310S		2361	304S24	310S	S31008	STS310S	X8CrNi15-21	1.4845

续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化 组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		欧洲标准		
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS	EN	Mat. No.	
13	0Cr17Ni12Mo2 (0Cr18Ni12Mo2Ti)	316	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	Z6CND17.11	20	SUS316	08X17H- 13M2T	2347 2343	316S16 316S31	316	S31600	STS316	X5CrNiMo17-12-2 X3CrNiMo17-13-3	1.4401 1.4436
14	4Cr14Ni14W2Mo							45X14H14B2M							
15	0Cr19Ni13Mo3 (0Cr18Ni12Mo3Ti)	317	X5CrNiMo17-13	1.4449		25	SUS317			317S16	317	S31700	STS317		
16	1Cr18Ni9Ti	321	X12CrNiTi18-9	1.4878	Z6CNT18.12		SUS321	12X18H10T	2337	321S20	321	S32100	STS321	X10CrNiTi18-10	1.4878
17	0Cr18Ni11Ti (0Cr18Ni9Ti)	321	X6CrNiTi18-10	1.4541	Z6CNT18.10	15	SUS321	09X18H10T	2337	321S12 321S31	321	S32100	STS321	X6CrNiTi18-10	1.4541
18	0Cr18Ni11Nb	347	X6CrNiNb18-10	1.4550	Z6CNNb18.10	16	SUS347	08X18H125	2338	347S17 347S31	347	S34700	STS347	X6CrNiNb18-10	1.4550
19	0Cr18Ni13Si4	XM15J1					SUS XM15J1				XM15	S38100	STS XM15J1		
20	1Cr25Ni20Si2		X15CrNiSi25-20	1.4841	Z15CNS25.20					310S24				X15CrNiSi25-21	1.4841
铁素体型															
21	2Cr25N	446				H7	SUH446				446	S44600	STR446		
22	0Cr13Al	405	X6CrAl13	1.4002	Z6CA13	2	SUS405	1X20JO	2302	405S17	405	S40500	STR405	X6CrAl13	1.4002
23	00Cr12						SUS410L						STR410L		
24	1Cr17	430	X6Cr17	1.4016	Z8C17	8	SUS430	12X17	2320	430S15	430	S43000	STR430	X6Cr17	1.4016
马氏体型															
25	1Cr5Mo		12CrMo19-5	1.7362				15X5M			502	S51502			
26	4Cr9Si2	1 11	X45CrSi9-3	1.4718	Z45CS9	X45CrSi9-3		40X9C2		401S45	(SAE) HNV3	S65000	STR1 STR11	X45CrSi8	1.4718
27	4Cr10Si2Mo	3	X40CrSiMo10-2	1.4731	Z40CSD10	2	SUH3	40X10C2M					STR3	X40CrSiMo10	1.4731
28	8Cr20Si2Ni	4	X80CrNiSi20	1.4747	Z80CSN20.02	4	SUH4			443S65	(SAE) HNV6	S65006	STR4	X80NiSi20	1.4747





续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化 组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS	欧洲标准			
			DIN	W.-Nr.							NF	ASTM		UNS	EN	Mat. No.	
29	1Cr11MoV							15X11MΦ									
30	2Cr12MoVNbN	600		Z20CDNBv11			SUH600						STR600				
31	2Cr12NiMoWV	616	X20CrMoWV12-1	1.4935			SUH616				616	S42200	STR616				
32	1Cr13	410	X10Cr13	1.4006	Z12C13	3	SUS410	12X13	2302	410S21	410	S41000	STS410	X12Cr13	1.4006		
33	1Cr13Mo	410J1	X15Cr13	1.4024		X12CrMo12-6	SUS410J1			420S29			STS410J1				
34	1Cr17Ni2	431	X20CrNi17-2	1.4057	Z15CN16.02	9	SUS431	14X17H2	2321	431S29	431	S43100	STS431	X17CrNi16-2	1.4057		
35	1Cr11Ni2W2MoV							11X11H- 2B2MΦ									
36	2Cr13	420J1	X20Cr13	1.4021	420F20 Z20C13	4	SUS420J1	20X13		420S37	420	S42000	STS420J1	X20Cr13	1.4021		
沉淀硬化型																	
37	0Cr17Ni14Cu4Nb	630	X5CrNiCuNb 17-14	1.4542	Z6CNU17.04	1	SUS630				630	SI7400	STS630	X5CrNiCuNb16-14	1.4542		
38	0Cr17Ni7Al	631	X7CrNiAl17-7	1.4568	Z8CNA17.07	2	SUS631	09X17H710			631	SI7700	STS631	X7CrNiAl17-7	1.4568		
补充																	
39			X5CrTi12	1.4512	Z6CT12		SUH409			409S19	409	S40900					
40			X10CrAl13	1.4724	Z10C13		SUH21			403S17	430	S43000		X10CrAlSi13	1.4724		
41			X10CrAl18	1.4742	Z10CAS18					430S15				X10CrAlSi18	1.4742		
42			X10CrAl24	1.4762	Z10CAS24									X10CrAlSi25	1.4762		
43			X45CrNiW18-9	1.4873	Z35CNW14.14					331S40				X45CrNiW18-9	1.4873		

阀门用钢钢号近似对照

表 3-1-120

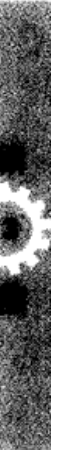
序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS	欧洲标准	
			DIN	W.Nr.							SAE	UNS		EN	Mat. No.
1	2Cr21Ni12N	37			Z20CN21-21Az	SUH37				381S34	EV4 (21-12N)	S63017	STR37		
2	4Cr14Ni14W2Mo	31	≈ X50NiCrWV 13-13	≈ 1.2731	≈ Z35CNWS14-14	SUH31	45X14H-14B2M			331S42			STR31		
3	5Cr21Mn9Ni4N	35	X53CrMnNiN 21-9	1.4871	Z53CMN21-09Az	SUH35	55X20T9AH4			349S52	EV8 (21-4N)	S63008	STR35	X53CrMnNiN21-9	1.4871
4	4Cr9Si2	1	X45CrSi9-3	1.4718	Z45CS9	SUH1	40X9C2			401S45	HNV3 (SH)	S65007	STR1	X45CrSi8	1.4718
5	4Cr10Si2Mo	3	X40CrSiMo10-2	1.4731	Z40CSD10	SUH3	40X10C2M			443S65	HNV6 (XB)		STR3	X40CrSiMo10	1.4731
6	8Cr20Si2Ni	4	X80CrNiSi20	1.4747	Z80CNS20-02	SUH4						S65006	STR4	X80CrSiNi20	1.4747
7			X85CrMoV18-2	1.4748	Z85CDV18-12										
8			X45CrNiW18-9	1.4873	Z45CNW18-09		40X18H9C2B1								
9			X55CrMnNiN20-8	1.4875	Z55CMN20-08Az										
10			X70CrMnNiN21-6	1.4881										X45CrNiW18-9	1.4873

4.3 各国 (地区) 工具钢号对照

表 3-1-121

碳素工具钢钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W.Nr.							ASTM	UNS	
1	T7	SK7	C70W2	1.1620	(C70E2U)	TC70	SK7	Y7	1770			STC7	
2	T8	SK5 SK6	C80W2	1.1625	(C80E2U)	TC80	SK5 SK6	Y8	1778		W1A-8	STC5 STC6	
3	T8Mn	SK5	C85WS	1.1830		TC90	SK5	Y8T			W1A-8½	STC5	
4	T9				C90E2U			Y9			T72301		
5	T10	SK3	C105W2	1.1645	(C105E2U)	TC105	SK3 SK4	Y10	1880	BW1B	W1A-9½	STC3	
6	T11	SK4	C110W2	1.1654	≈ C105E2U	≈ TC105	SK3	Y11			W1A-10½	STC4	
7	T12	SK3	C125W2	1.1663	C120E3U	TC120	SK2	Y12	1885	BW1C	W1A-11½	STC3	
8	T13	SK2	C13W2	1.1673	≈ C140E3U	TC140	SK1	Y13				STC2	
9	T7A	SK1	C70W1	1.1520	C70E2U			Y7A				STC1	
10	T8A		C80W1	1.1525	C80E2U			Y8A					
11	T10A		C105W1	1.1545	C105E2U			Y10A	1880				
12	T12A		C110W1	1.1550				Y12A	1885				
13	T13A		C125W1	1.1560				Y13A					



合金工具钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化 组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS	
1	9SiCr		90CrSi5	1. 2108				9XC	2092				
2	8MnSi		≈ C75W	1. 1750						BW1A			
3	Cr06	SKS8	140Cr3	1. 2008	130Cr3	SKS8		X05					STS8
4	Cr2	SUJ2	100Cr6	1. 2067	Y100C6	100Cr2	SUJ2	X		BL1 BL3	L3	T61203	
5	9Cr2		90Cr3	1. 2056				9X1		BL3			
6	W	≈ SKS21	120W4	1. 2414			≈ SKS21	B1	2705	BF1	F1	T60601	≈ STS21
7	4CrW2Si	≈ SKS41					≈ SKS41	4XB2C					≈ STS41
8	5CrW2Si		≈ 45WCrV7	1. 2542	≈ 45WCrV8	≈ 45WCrV2		5XB2C	≈ 2710	BS1	S1	T41901	
9	6CrW2Si		≈ 60WCrV7	1. 2550	( ≈ 55WC20 )	≈ 60WCrV2		6XB2C					
10	Cr12	SKD1	X210Cr12	1. 2080	X200Cr12	210Cr12	SKD1	X12		BD3	D3	T30403	STD1
11	Cr12MoV	SKD11	X165CrMoV12	1. 2601			SKD11	X12M	2310				STD11
12	Cr12Mo1V1		X155CrMoV12-1	1. 2379	X160CrMoV12	160CrMoV12				BD2	D2	T30402	
13	Cr5Mo1V	SKD12	X100CrMoV5-1	1. 2363	X100CrMoV5	100CrMoV5	SKD12		2260	BA2	A2	T30102	STS12
14	9Mn2V		90MnCrV8	1. 2842	90MnV8	90MnV2				B02	O2	T31502	
15	CrWMn	SKS31	105WCr6	1. 2419	105WCr5	105WCr1	SKS31	XBT					STS31
16	9CrWMn	SKS3	100MnCrW4	1. 2510	90MnWCrV5	95MnWCr1	SKS3	9XBΓ	2140	B01	O1	T31501	STS3
17	5CrMnMo		≈ 40CrMnMo7	1. 2311				5XTM					
18	5CrNiMo	SKT4	55NiCrMoV6	1. 2713	55NiCrMoV7	55NiCrMoV2	SKT4	5XHM	≈ 2550	BH224/5	L6	T61206	STT4
19	3Cr2W8V	SKD5	X30WCrV9-3	1. 2581	X30WCrV9	30WCrV9	SKD5	3X2B8Φ	2730	BH21	H21	T20821	STD5
20	8Cr3							8X3					
21	4Cr3Mo3SiV		≈ X32CrMoV3-3	1. 2365	≈ 32CrMoV12-28			3X3M3Φ		BH10	H10	T20810	
22	4Cr5MoSiV	SKD6	X38CrMoV5-1	1. 2343	X38CrMoV5	35CrMoV5	SKD6	4X5MΦC		BH11	H11	T20811	STD6
23	4Cr5MoSiV1	SKD61	X40CrMoV5-1	1. 2344	X40CrMoV5	40CrMoV5	SKD61	4X5MΦ1C		BH13	H13	T20813	STD61

续表

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS	
24	4Cr5W2VSi												
25	3Cr2Mo					35CrMo2					P20	T51620	
26						210CrW12							
27		SKD4				30WCrV5	SKD4						STD4
28		SKD62					SKD62				H12	T20812	STD62

表 3-1-123 高速工具钢钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS	
1	W18Cr4V	SKH2	S18-0-1	1.3355	HS18-0-1	HS18-0-1	SKH2	P18	2750	BT1	T1	T12001	SKH2
2	W18Cr4VCo5	SKH3	S18-1-2-5	1.3255	HS18-1-1-5	HS18-1-1-15	SKH3	≈P18K5Φ2	2754	BT4	T4	T12004	SKH3
3	W18Cr4V2Co8	≈SKH4	≈S18-1-2-10	1.3265	HS18-0-2-9		≈SKH4		2756	BT5	T5	T12005	≈SKH4
4	W12Cr4V3Co5	SKH10	S12-1-4-5	1.3202	HS12-1-5-5	HS12-1-5-5	SKH10	P10K5Φ5		BT15	T15	T12015	SKH10
5	W6Mo5Cr4V2	SKH9	S6-5-2	1.3343		HS6-5-2	SKH9	P6M5	2722	BM2	M2 (正常 C)	T11302	SKH9
6	CW6Mo5Cr4V2		SC6-5-2	1.3342	HS6-5-2HC						M2 (高 C)	T11302	
7	W6Mo5Cr4V3	SKH52					SKH52	P6M5Φ3			M3 (Class1)	T11313	SKH52
8	CW6Mo5Cr4V3	SKH53	S6-5-3	1.3344	HS6-5-3	HS6-5-3	SKH53		2725		M3 (Class2)	T11323	SKH53
9	W2Mo9Cr4V2		S2-9-2	1.3348	HS2-9-2	HS2-9-2			2782		M7	T11307	
10	W6Mo5Cr4V2Co5	SKH55	S6-5-2-5	1.3243	HS6-5-2-5	HS6-5-2-5	SKH55	P6M5K5	2723				SKH55
11	W7Mo4Cr4V2Co5		S7-4-2-5	1.3246	HS7-4-2-5	HS7-4-2-5					M41	T11341	
12	W2Mo9Cr4VCo8	SKH59	S2-10-1-8	1.3247	HS2-9-1-8	HS2-9-1-8	SKH59		2716	BM42	M42	T11342	SKH59
13		SKH57	S10-4-3-10	1.3207	HS10-4-3-10	HS10-4-3-10	SKH57			BT42			SKH57
14			S2-9-2-8	1.3249						BM34	M43、M44		

### 4.4 各国硬质合金牌号对照

表 3-1-124

P 类硬质合金牌号近似对照

国际 标准化 组织 ISO	中国				德国			法国		日本		俄罗斯 ГОСТ	瑞典			英国			美国	
	YB	Diamond	DIN	Widia	Unit	Tykrum	Carbex	JIS	Igetalloy	Sandvik Coromant	Seco		BHMA	Wimet	Cutanit	JIC	Wendt Sonis	Kennametal		
P01	YT30	T30		TTF	UF03	TSO	CS0	P01	AC805 T12A	F02 S1P	S1F S1G	919		CR05 F05T	C8	731 CY31T Ti8	K165 K7H			
P10	YT15	T15		TG TN TR TTX	US10 US52B	TS1	CS10 CS120 RW2110	P10	AC805 AC815 ST10E T12A	GC015 GC1025 S1P	S1F S1G S2, S25M TP15 TP25 TP35	722		CR10 CR15 CR20 CR30 Gm25	C7	714 CY14 U227	K5H K45 KC810			
P20	YT14	T14		TG TN TR TTS	US20 US52B	TS2 TSY	CS20 CS120 RW2110	P20	AC720 AC815 ST20E T3S	GC015 GC135 GC1025 S4, SM SM30	S2, S4 S25M TP15 TP25 TP35	444		CR10 CR15 CR20 CR25 CR30 Gm25	C6	714 716 CY14 CY16 U225 U227	K29 K2884 KC810 KC850			
P30	YT5	T5		TG TR TTR TTS	US30 US54B	TS3 TSY	CS30 CS120 CS130 RW2110	P30	AC720 AC835 ST30E T3S	GC015 GC1025 S2, SM SM30	S4, S6 S25M TP15 TP35	353		CR20 CR25 CR30 CR40 Gm35	C5	716 717 CY16 U225	K21 K2884 KC810 KC850			
P40	YT5	T5		TR TTR	US40 US54B	TS4	CS4	P40	AC835 ST40E	GC135 S6 SM30	S6 S25M TP35	263		CR30 CR40 CR50 Gm35	C5	717 CY17 CY17T	K25 KC85C			
P50					US50		CS6	P50		R4		182		CR50		717 CY17	KM			

注：表中 ISO 标准为用途分类号，下同。

表 3-1-125 G 类硬质合金牌号近似对照

国际组织	中国		德国			法国		日本		俄罗斯 ISOCT	瑞典		英国			美国		
	YB	Diamond	DIN	Widia	Hertel	Tykram	Ugicarb	JIS	Igetalloy		Sandvik Coromant	Seco	BHMA	Wimet	Annolloy	JIC	Wendt	Sonis
C05	YG6X YD10	G6	GT05	G05 B10	G10	G10	G10	G10E	BK6	CS10 CS20		NH N	F1/F		CQ12		K6 K68	
G10	YG6 YD10	G6	GT10	G10	TC1	G12	G2	BK6B	CS20		XL2	F1/C		CQ12		K95		
G15	TC8C	G8	GT15	G15 B30	TC2	E4	G3	BK8B	CG35 CS40		CT 90B	F2/8C		CQ12		K92 3109		
G20	YG11C	G11	GT20 TH40	G20 B40	TC3	E5	G5	BK10	CG40		G R11 110B	F2/10C		CQ14 U50		K96		
G30	YG15	G15	GT30 B50	G30 B50	TC4	E6	G6	BK15	CG60 CT50		BP1	F2/15C		CQ13 W999		K94		
G40	YG20 YG20C		GT40	G40	TC5	G40	G7	BK20				F2/20C						
G50	YG25		GT55	G50	TC6	G50	G8	BK25	CT70 CT80		TT	F2/25C				K91 K90		
G60	YG30		G6	G60				BK30				F2/30C		CQ16				

表 3-1-126

M 类硬质合金

国际标准 化组织 ISO	中 国		德 国			法 国		日 本	
	YB	Diamond	DIN	Widia	Unit	Tykram	Carbex	JIS	Igetalloy
M10	YW1		M1	AT10 TG, TN	UA10 UH51B	TU1	CU10 RW2110	M10	U10E
M20	YW2		M2	AT15 TG, TN TR	UA20 UH51B	TU2	CU20 RW2110	M20	U2
M30				TR TTR	UA30	THX	CU30	M30	
M40				TR TTR	UA40		CH10	M40	A40

表 3-1-127

K 类硬质合金

国际标准 化组织 ISO	中 国		德 国			法 国		日 本	
	YB	Diamond	DIN	Widia	Unit	Tykram	Carbex	JIS	Igetalloy
K01	YG3X	G3	H3	THF	UH03	TH2 TH3	CS310 CH01	K01	H3
K10	YG6A YD10	G6	H1	TG THM TN	UH10 UH51B	TH1	CH15 CS310 CS320	K10	AC805 G10E H1
K20	YG6	G6	G1	TG THM TN	UH20	TG1	G1 CS320	K20	AC805 G2 G10E
K30	YG8	G8 G11		THR TR	UH30	TG2	G2	K30	G3
K40	YG15	G15	G2	THR TR	UH40	TG3	G3	K40	

牌号近似对照

俄罗斯 ГОСТ	瑞典		英国			美国		
	Sandvik Coromant	Seco	BHMA	Wimet	Cutanit	JIC	Wendt Sonis	Kennametal
	R1P	HX, K SU41 TP51 TP25	453		GM15		731 CY31 CY31T	K4H KC810
	GC135 GC315 H20, SH	HX, K S4, SU41 TP15 TP25, TP35	363		GM25		714 CQ23 CY14 U227	K3H KC810
	H20 S6	S25M TP25 TP35	263		GM35		716 CQ2 CY16 U222 U225	K21 KC810
	R4	G27 S6	273				717 CQ22 CY17 CY17T	K2S

牌号近似对照

俄罗斯 ГОСТ	瑞典		英国			美国		
	Sandvik Coromant	Seco	BHMA	Wimet	Cutanit	JIC	Wendt Sonis	Kennametal
BK3M	H1P H05	H13 H02 Revolox	930		CN01 CN10	C4	704 CQ4	K11
BK6M	GC015 GC315 GC1025 H1P H10, HM	H13 TP15	741	CW620H	CN01 CN10 CN15 CN20 Gm15	C3	723 CQ23 CQ23T U222	K68 K8735 KC210
BK6	GC015 GC1025 H1P, H20 HM, HML	HX, H20 SU41 TP15 TP25	560	CW620N	CN15 CN20 CN25 CN30 Gm15	C2	702 CQ2 CQ22T CQ23 CQ24 U222	K6 K8735 KC210 KC810
BK8 BK10	H20	HX	280	CM	CN20 CN25 CN30 CN40 Gm15	C1	722 CQ2 CQ22 CQ22T U222	K1 KC210
BK15		G27	290	G	CN30 CN40	C1	712 CQ12 CQ14 CQ22	K2 K2S



## 4.5 各国(地区)铸钢号对照

表 3-1-128 工程与结构用碳素铸钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 S <sub>S</sub> 14	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS	
1	ZG200-400 (ZG15)	SC410	GS-38	1. 0416		200-400	SC410 (SC42)	15JI	1306		415-205 (60-30)	J03000	SC410 (SC42)
2	ZG230-450 (ZG25)	SC450	GS-45	1. 0446	GE 230	230-450	SC450 (SC46)	25JI	1305	A1	450-240 (65-35)	J03101	SC450 (SC46)
3	ZG270-500 (ZG35)	SC480	GS-52	1. 0552	GE 280	270-480	SC480 (SC49)	35JI	1505	A2	485-275 (70-40)	J02501	SC480 (SC49)
4	ZG310-570 (ZG45)	SCC5	GS-60	1. 0558	GE 320		SCC5	45JI	1606		(80-40)	J05002	SCC5
5	ZG340-640 (ZG55)				GE 370	340-550				A5		J05000	

表 3-1-129 合金铸钢号近似对照

序号	中国 GB	德国		法国 NF	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	美国		韩国 KS
		DIN	W-Nr.				ASTM	UNS	
1	ZG40Mn	GS-40Mn5	1. 1168		SCMn3				SCMn3
2	ZG40Cr					40JI			
3	ZG20SiMn	GS-20Mn5	1. 1120	G20M6	SCW480 (SCW49)	20ГCJI	LCC	J02505	SCW480
4	ZG35SiMn	GS-37MnSi5	1. 5122		SCSiMn2	35ГCJI			SCSiMn2
5	ZG35CrMo	GS-34CrMo4	1. 7220	G35CrMo4	SCCrMn3	35XMJI		J13048	SCCrM3
6	ZG35CrMnSi				SCMnCr3	35XTCJI			SCMnCr3

表 3-1-130 不锈钢、耐蚀铸钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS <sub>14</sub>	英国 BS	美国		韩国 KS	国际标准化组织 ISO
			DIN	W-Nr.						ASTM /ACI	UNS		
1	ZG1Cr13	SCS1	G-X7Cr13 G-X10Cr13	1.4001 1.4006	Z12CN13M	SCS1	15X13Л		410C21	CA-15	J91150	SCS1	C39CH
2	ZG2Cr13	SCS2	G-X20Cr14	1.4027	Z20CN13M	SCS2	20X13Л		420C29	CA-40	J91153	SCS2	
3	ZGCr28		G-X70Cr29 G-X120Cr29	1.4085 1.4086	Z130C29M				452C11				
4	ZG00Cr18Ni10	SCS19A	G-X2CrNi18-9	1.4306	Z2CN18.10M	SCS19A	03X18H1Л		304C12	CF-3	J92500	SCS19A	C46
5	ZG0Cr18Ni9	SCS13 SCS13A	G-X6CrNi18-9	1.4308	Z6CN18.10M	SCS13 SCS13A	07X18H9Л	2333	304C15	CF-8	J92600	SCS13 SCS13A	C47
6	ZG1Cr18Ni9	≈SCS12	G-X10CrNi18-8	1.4312	Z10CN18.9M	≈SCS12	10X18H9Л		302C25	CF-20	J92602	≈SCS12	C47H
7	ZG0Cr18Ni9Ti	SCS21	≈G-X5CrNiNb18-9	1.4552	Z6CNNb18.10M	SCS21			347C17	CF-8C	J92710	SCS21	C50
8		SCS16A			Z2CND18.12M	SCS16A			316C12	CF-3M	J92800	SCS16A	C57
9	ZG0Cr18Ni12Mo2Ti	SCS14A	G-X6CrNiMo18-10		Z6CND18.12M	SCS14A		2343		CF-8M	J92900	SCS14A	
10	ZG1Cr18Ni12Mo2Ti	SCS22	≈G-X5CrNiMoNb18-10	1.4581	Z6CND18.12M	SCS22						SCS22	C60
11		SCS6			Z4CND13.4M	SCS6			425C12	CA6NM	J91540	SCS6	
12	ZG0Cr18Ni12Mo2Ti	SCS24			Z5CNU16.4M	SCS24				CB7Cu-1 CB7Cu		SCS24	
13		SCS18			Z8CN25.20M	SCS18	20X25H19C2Л			CK-20	J94202	SCS18	

表 3-1-131 耐热铸钢钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 GNS	德国		法国 NF	日本 JIS	英国 BS		美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.			ASTM/ACI	UNS			
1	ZG30Cr26Ni5	SCH11	G-X40CrNiSi27-4	1.4823	Z30CN26.05M	SCH11			HD	J93005	SCH11
2	ZG35Cr26Ni12	SCH13	G-X40CrNiSi25-12	1.4837		SCH13	309C35		HH	J93503	SCH13
3	ZG30Ni35Cr15	SCH16				SCH16	330C12		HT-30		SCH16
4	ZG40Cr28Ni16	SCH18				SCH18			HI	J94003	SCH18
5	ZG35Ni24Cr18Si2	SCH19				SCH19	311C11		HN	J94213	SCH19
6	ZG40Cr25Ni20	SCH22	G-X40CrNiSi25-20	1.4848	Z40CN25.20M	SCH22			HK HK-40	J94224 J94204	SCH22
7	ZG40Cr30Ni20	SCH23			Z40CN30.20M	SCH23			HL	J94604	SCH23
8	ZG45Ni35Cr26	SCH24	G-X45CrNiSi35-25	1.4857		SCH24			HP	J95705	SCH24
9		SCH1			Z25C13M	SCH1	420C24				SCH1
10		SCH2	G-X40CrNiSi27-4	1.4822	Z40C28M	SCH2	452C1		HC	J92605	SCH2
11		SCH12			Z25CN20.10M	SCH12			HF	J92603	SCH12
12		SCH13A			Z40CN25.12M	SCH13A	309C30		HH Type II		SCH13A
13		SCH15			Z40NC35.15M	SCH15	309C32		HT	J94605	SCH15
14		SCH21	G-X15CrNiSi25-20	1.4840		SCH21	310C40 10C45		HK-30	J94203	SCH21

表 3-1-132 高锰铸钢钢号近似对照

序号	中国 GB/JB/YB	中国台湾 CNS	德国		日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	英国 BS	美国		韩国 KS	瑞典 SS
			DIN	W-Nr.				ASTM	UNS		
1	ZGMn13-1 (GB, JB, YB) ZGMn13-2 (GB, JB, YB)	≈ SCMnH1	G-X120Mn13 G-X120Mn12	1. 3802 1. 3401	≈ SCMnH1	Г13Л 110Г13Л	BW10 (En1457)	B-4 A	J91149 J91109	≈ SCMnH1	2183
2	ZGMn13-3 (GB, JB, YB) ZGMn13-4 (GB, YB)	SCMnH1 SCMnH2 SCMnH3	G-X110Mn14	1. 3402	SCMnH1 SCMnH2 SCMnH3	100Г13Л		B1 B2	J91119 J91129	SCMnH1 SCMnH2 SCMnH3	
3	ZGMn13-4 (GB) ZGMn13Cr2 (JB) ZGMn13-5 (YB)	SCMnH11 SCMnH21			SCMnH11 SCMnH21	≈ 110Г13X-2BPЛ		C	J91309	SCMnH11 SCMnH21	

表 3-1-133 承压铸钢钢号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	日本 JIS	英国 BS	美国		韩国 KS	瑞典 SS	俄罗斯 ГОСТ	国际标准化组织 ISO
			DIN	W-Nr.				ASTM	UNS				
1	ZG240-450B	SCPH1	GS-21Mn5 GS-C25	1. 1138 1. 0619	A420CP-M	SCPH1	GP240GH	WCC	J02503	SCPH1	1306	≈ 20ГЛ	C23-45B
2	ZG280-520	SCPH2	GS-20Mn5	1. 1120	A480CP-M	SCPH2	GP280GH	WCB	J03101	SCPH2	1305	20ГЦЛ	C26-52
3	ZG19MoG	SCPH11	GS-22Mo4	1. 5419	20D5-M	SCPH11	G20Mo5	WG1	J05000	SCPH11			C28H
4	ZG15Cr1MoG	SCPH21	GS-17CrMo5-5	1. 7357	15CD5. 05-M	SCPH21	G17CrMo5-5	WG6	J05002	SCPH21	2223	≈ 14X21MPЛ	C32H
5	ZG12Cr2Mo1G	SCPH32	GS-18CrMo9-10	1. 7379	Z15CD9. 10-M	SCPH32	G17CrMo9-10	WC9	J02501	SCPH32	2224		C34AH
6	ZG03G18Ni10				Z2CN18. 10-M		GX2CrNi19-11	CF3	J92500				C46
7	ZG07Cr20Ni10	SCS13	G-X6CrNi18-9	1. 4308	Z6CN18. 10-M	SCS13	GX5CrNi19-10	CF8	J92600	SCS13	2333	07X18H9Л	C47
8	ZG07Cr19Ni11Mo3	SCS14A	G-X6CrNiMo18-10	1. 4408	Z6CND18. 12-M	SCS14A	≈ GX5CrNiMo 19-11-2	CF8M	J92900	SCS14A	2343-12		C61

### 4.6 各国(地区)铸铁牌号对照

表 3-1-134

灰铸铁牌号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM /AWS	UNS	
1	HT100	FC100	GG10	0.6010	EN-GJL-100	100	FC10	CЧ10	0110-00	Grade100	No. 20	F11401	GC100
2	HT150	FC150	GG15	0.6015	EN-GJL-150	150	FC15	CЧ15	0115-00	Grade150	No. 25	F11701	GC150
3	HT200	FC200	GC20	0.6020	EN-GJL-200	200	FC20	CЧ18 CЧ20 CЧ21	0120-00	Grade180 Grade220	No. 30	F12101	GC200
4	HT250	FC250	GC25	0.6025	EN-GJL-250	250	FC25	CЧ24 CЧ25	0125-00	Grade260	No. 35 No. 40	F12801	GC250
5	HT300	FC300	GC30	0.6030	EN-GJL-300	300	FC30	CЧ30	0130-00	Grade300	No. 45	F13101	GC300
6	HT350		GC35	0.6035	EN-GJL-350	350	FC35	CЧ35	0135-00	Grade350	No. 50	F13501	GC350
7			GC40	0.6040					0140-00	Grade400	No. 60	F14101	

表 3-1-135

球墨铸铁牌号近似对照

序号	中国 GB	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
		DIN	W-Nr.							ASTM /AWS	UNS	
1					350-22	FCD350-22	BЧ35		350/22			GCD370
2	QT400-15	GGC-40	0.7040	EN-GJS-400-15	400-15	FCD400-15	BЧ40	0717-02	370/17			GCD400
3	QT400-18			EN-GJS-400-18	400-18	FCD400-18			400/18	60-40-18	F32800	
4	QT450-10			EN-GJS-450-10	450-10	FCD450-10	BЧ45		420/12	65-45-12	F33100	GCD450
5	QT500-7	GGG-50	0.7050	EN-GJS-500-7	500-7	FCD500-7	BЧ50	0727-02	500/7	80-55-06	F33800	GCD500
6	QT600-3	GGG-60	0.7060	EN-GJS-600-3	600-3	FCD600-3	BЧ60	0732-03	600/3	≈80-55-06 ≈100-70-03	≈F33800 ≈F34800	GCD600
7	QT700-2	GGG-70	0.7070	EN-GJS-700-2	700-2	FCD700-2	BЧ70	0737-01	700/2	100-70-03	F34800	GCD700
8	QT800-2	GGG-80	0.7080	EN-GJS-800-2	800-2	FCD800-2	BЧ80		800/2	120-90-02	F36200	GCD800
9	QT900-2			EN-GJS-900-2	900-2		≈BЧ100			120-90-02	F36200	

表 3-1-136 黑心可锻铸铁牌号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM	UNS	
1	KTH300-06	FCMB270			EN-GJMB-300-6	B30-06	FCMB30-06	KЧ30-6	0814-00	B290/6			BMC270
2	KTH330-08	FCMB310					FCMB31-08	KЧ33-8	≈0815-00	B310/10			BMC310
3	KTH350-10	FCMB340	GTS-35-10	0.8135	EN-GJMB-350-10	B35-10	FCMB35-10	KЧ35-10		B340/12	32510	F22200	BMC340
4	KTH370-12	FCMB360					(FCMB37)	KЧ37-12			35018	F22400	BMC360

表 3-1-137 珠光体可锻铸铁牌号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 TOCT	瑞典 SS	英国 BS	美国		韩国 KS
			DIN	W-Nr.							ASTM/AWS	UNS	
1	KTZ450-06	FCMP440	GTS-45-06	0.8145	EN-GJMB-450-6	P45-06	FCMP45-06	KЧ45-7		P45/06	45006 45008	F23131 F23130	PMC440
2		FCMP490			EN-GJMB-500-5		FCMP50-05	KЧ50-5			50005	F23530	PMC490
3	KTZ550-04	FCMP540	GTS-55-04	0.8155	EN-GJMB-550-4	P55-04	FCMP55-04	KЧ55-4		P55/04	60004	F24130	PMC540
4		FCMP590			EN-GJMB-600-3		FCMP60-03	KЧ60-3			70003	F24830	PMC590
5	KTZ650-02		GTS-65-02	0.8165	EN-GJMB-650-2	P65-02	FCMP65-02	KЧ65-3		P65/02	80002	F25530	
6	KTZ700-02	FCMP690	GTS-70-02	0.8170	EN-GJMB-700-2	P70-02	FCMP70-02	KЧ70-2	0862-03	P69/02	90001	F26230	PMC690

表 3-1-138 白心可锻铸铁牌号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	英国 BS	韩国 KS
			DIN	W-Nr.					
1	KTB350-04	FCMW330	GTW-35-04	0.8035	EN-GJMW-350-4	W35-04	FCMW34-04	W340/3	WMC330
2	KTB380-12	FCMW370	GTW-38-12	0.8038	EN-GJMW-360-12	W38-12	FCMW38-12	W410/4	WMC370
3	KTB400-05		GTW-40-05	0.8040	EN-GJMW-400-5	W40-05	FCMW40-05		
4	KTB450-07	FCMW440	GTW-45-07	0.8045	EN-GJMW-450-7	W45-07	FCMW45-07		WMC440



表 3-1-139

抗磨铸铁牌号近似对照

序号	中国 GB	德国		法国 NF	英国 BS	美国	
		DIN	W-Nr.			ASTM	UNS
1	KmTBNi4Cr2-DT	G-X260NiCr4-2	0.9620	FBNi4Cr2BC	Grade 2A	I B Ni-Cr-LC	F45001
2	KmTBNi4Cr2-GT	G-X330NiCr4-2	0.9625	FBNiCr2HC	Grade 2B	I A Ni-Cr-HC	F45000
3	KmTBCr9Ni5Si2	G-X300CrNiSi9-5-2	0.9630	FBCr9Ni5	Grade 2D Grade 2E	I D Ni-HiCr	F45003
4	KmTBCr15Mo2-GT	G-X300CrMo15-3	0.9635		Grade 3B	II C 15% Cr-Mo-HC	F45006
5		G-X300CrMoNi15-2-1	0.9640	FBCr15MoNi	Grade 3A		F45005
6	KmTBCr20Mo2Cu1	G-X260CrMoNi20-2-1	0.9645	FBCr20MoNi	Grade 3C	II D 20% Cr-Mo-LC	F45007 F45008
7	KmTBCr26	G-X300Cr27 ≈ G-X300CrMo27-1	0.9650	≈ FBCr26MoNi	Grade 3D	III A 25% Cr	F45009

## 4.7 各国（地区）钢铁焊接材料型号与牌号对照

表 3-1-140

碳素钢和低合金钢焊条型号（牌号）近似对照

序号	中国		中国台湾 CNS	德国 DIN	法国 NF	国际标准化组织 ISO
	GB	牌号				
1	E4301	J423	E4301			
2	E4303	J422Fe	E4303			
3	E4311	J425	E4311			
4	E4313	J421	E4313	E4332R2 E4333RR8 E4354AR7	E433/2R22 E433/3RR22	E433R15 E433RR15 E435AR25
5	E4316	J426	E4316	E4343B10		E434B24(H)
6	E4320 E4327	J424 J424Fe14	E4320 E4327	E4354AR11160		E435A15035
7	E5003		E5003			
8	E5015	J507		E5155B10		E515B20(H)
9	E5016	J506	E5016 E5316	E5143B10	E515/4B26H	E514B24(H) E515B46(H)
10	E5018	J506Fe		E5155B10		E515B12016(H)
11	E5024	J501Fe15 J501Fe18		E5142RR11160	E514/2RR16042	E514RR16035 E515AR19035
12	E5028	J506Fe16 J506Fe18	≈ E5026	E5155B(R)12160 E5155B(R)12200		E515B16036(H) E515B20046(H)
13	E5048		E5026	E5154B9		E515B12054(H)
14	E5515-G E5516-G	J557 J556	E5316 E5818	EY5066NiMoBH		
15	E6015-G E6016-G	J607	E5816 E6218	EY5554B × × H5	EY552MnB12020	
16	E7015-G	J707	E7016 E7018	EY6242B × × H5		
17	E7515-G	J757	E7618	EY6942B × × H5		
18	E8515-G	J857		EY7953B × × H5		

续表

序号	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 ESAB	英国 BS	美国		韩国 KS
					AWS	UNS	
1	D4301	342					E4301
2	D4303	342	OK Pipetrode22. 65				E4303
3	D4311	342	OK Pipetrode22. 45		E6010 E6011	W06010 W06011	E4311
4	D4313	342 346	OK43. 32 OK46. 00	E43 × R × × E43 × RR × × E43 × AR × ×	E6012 E6013	W06012 W06013	E4313
5	D4316	342 346		E4343B10(H)			E4316
6	D4320 D4327	342 346	OK Fe <sub>max</sub> 39. 50	E4354A15035	E6020 E6027	W06020 W06027	E4320 E4327
7	D5003	350					E5003
8		350A		E5154B20(H)	E7015	W07015	—
9	D5016 D5316	350A	OK53. 04	E5143B24(H) E5154B24(H)	E7016	W07016	E5016 E5316
10		350A	OK48. 00 OK48. 04	E5154B12016(H)	E7018	W07018	—
11		350	OK Fe <sub>max</sub> 33. 80 OK Fe <sub>max</sub> 33. 65	E5142RR16035 E5154AR19035	E7024	W07024	—
12	≈ D5026	350A	≈ OK53. 35	E5154B16036(H) E5154B20046(H)	≈ E7048	≈ W07048	≈ E5026
13	D5026	350A	OK53. 35	E5154B94(H)	E7048	W07048	E5026
14	D5316 D5818	355A	OK53. 35 OK53. 38 OK73. 08		E8016-G E8018-G		E5316 E5818
15	D5816 D6216	360A	OK74. 78	619H	E9016-G E9018-G		E5816 E6218
16	D7016 D7018	370A			E10015-G E10016-G E10018-G		E7016 E7018
17	D7618		OK75. 75		E11015-G E11016-G E11018-G		E7618
18		385A			E12015-G E12016-G E12018-G		—



表 3-1-141

耐热钢焊条型号 (牌号) 近似对照

序号	中国		德国 DIN	法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 ESAB	英国 BS	美国		韩国 KS
	GB	牌号								AWS	UNS	
1	E5015-A1	R107	EMo (E110B10+)	CMo (ECMoB20)	Mo (EMoB20)	DT1216	Э-M	OK53.68	MoB	E7016-A1	W17016	DT1216
2	E5515-B1	R207					Э-MX			E8016-B1	W51016	
3	E5515-B2	R307	ECrMo1 (ECrMo1B10+)	C1CrMo (EC1CrMoB20)	1CrMo (E1CrMoLB20)	DT2315 DT2316	Э-XM	OK76.18	1CrMoB	E8016-B2 E8018-B2	W52016 W52018	DT2315 DT2316
4	E5515-B2-V	R317					Э-XMΦ					
5	E6015-B3	R407	ECrMo2 (ECrMo2B10+)	C2CrMo (EC2CrMoB20)	2CrMo (E2CrMoLB20)	DT2415 DT2416		OK76.28	2CrMoB	E9015-B3 E9016-B3 E9018-B3	W53015 W53016 W53018	DT2415 DT2416
6	E1-5MoV-15	R507	ECrMo5 (ECrMo5B10+)	C5CrMo (EC5CrMoB20)	5CrMo (E5CrMoB20)	DT2516	Э-X5MΦ		5CrMoB	E502-15 E502-16	W50210 W50210	DT2516
7	E1-9Mo-15	R707	ECrMo9 (ECrMo9B10+)	C9CrMo (EC9CrMoB20)	9CrMo (E9CrMoB20)				9CrMoB	E505-15 E505-16	W50510 W50510	

表 3-1-142

不锈钢焊条型号 (牌号) 近似对照

序号	中国		德国		法国 NF	国际标准化组织 ISO
	GB	牌号	DIN	W-Nr.		
1	E410-16 E410-15	G202 G207	E13B20+			
2	E430-16 E430-15	G302 G307	E17B20+	1.4502	EZ17B20	
3	E318L-16	A001-G15	E19 9nCr36 160 E19 9nCr26	1.4316	EZ19.9LR160 36 EZ19.9LR26	E19 9LR26 E19 9LB26
4	E308-16	A102	E19 9R26	1.4302	EZ19.9R26	E19 9R26
5	E308-15	A107	E18 11B20+	1.4948		
6	E347-16	A132	E19 9NbR36 160 E19 9NbR26	1.4551	EZ19.9NbR160 36 EZ19.9NbR26	E19 9NbR26
7	E347-15	A137	E19 9NbB20+	1.4551	EZ19.9NbB20	E19 9NbB26
8	E316L-16		E19 12 3nCr26	1.4430	EZ19.12.3LR26	E19 12 3B26
9	E316-16	A202	E19 12 2R26			E19 12 3B26
10	E317-16	A242	E19 13 4R26			E19 13 4R26
11	E309L-16	A062	E23 12nCr R26	1.4332	EZ23.12LR26	E23 12R26
12	E309-16	A302	E23 12R26	1.4829	≈ EZ22.12R26	E23 12R26
13	E309Mo-16	A312	E22 14 3nCr26		EZ23.12.2R26	E23 12 2R26
14	E310-16	A402	E25 20R26	1.4842	EZ25.20R26	E25 20R26
15	E310-15	A407	E25 20B20+	1.4842	EZ25.20B20	E25 20B26
16	E310Mo-16	A412				
17	E330-15	A607	E18 36NbB20+			

续表

序号	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 ESAB	英国 BS	美国	
					AWS	UNS
1	D410	Э-12X13			E410-16	W41010
2	D430			17	E430-16	W43010
3	D308L	Э-04X-20H9	OK61.30 OK61.33	19.9L	E308L-16	W30813 E308LC-16
4	D308	Э-07X-20H9	OK61.51	19.9R	E308-16	W30810
5		Э-07X-20H9		19.9B	E308-15	W30810
6	D347	Э-08X-20H9Г2Б	OK61.81 OK62.82	19.9Nb	E347-16	W34710
7		Э-08X-19H10Г2Б		19.9Nb	E347-15	W34710
8	D316L	Э-02X20-H14Г2M2	OK63.30 OK63.32 OK63.33	19.12.3L	E316L-16	W31613
9	D316	Э-02X20-H14Г2M2	OK63.53	19.12.3R	E316-16	W31610
10	D317			19.13.4R	E317-16	W31710
11	D309L		OK67.60	23.12R	E309L-16	W30913
12	D309	Э-10X-25H13Г2	OK67.62	23.12R	E309-16	W30910
13	D309Mo		OK67.70	23.12.2R	E309Mo-16	W30920
14	D310		OK67.13	25.20R	E310-16	W31010
15	D310		OK67.15	25.20B	E310-15	W31010
16	D310Mo				E310Mo-16	W31020
17	D330				E330-15	

表 3-1-143

不锈钢实芯焊丝牌号近似对照

序号	中国 GB	中国台湾 CNS	德国 DIN	法国 NF	日本 JIS
1	H0Cr14	≈ Y410	X8Cr14	Z8C13	≈ Y410
2	H1Cr17	Y430	X8Cr18	Z8C17	Y430
3	H0Cr19Ni12Mo2	Y316 <sup>①</sup>	X5CrNiMo19-11	Z6CND19.12	Y316 <sup>①</sup>
4	H00Cr19Ni12Mo2	Y316L <sup>①</sup>	X2CrNiMo19-12	Z2CND19.12	Y316L
5	H00Cr19Ni12Mo2Cu2	Y316J1L	X2CrNiMo19-12		Y316J1L
6	H0Cr20Ni14Mo3	Y317			Y317
7		Y317L	≈ X2CrNiMo18 16-5	Z2CND19.14	Y317L
8			X5CrNiMoNb19-12	Z6CND19.12	
9	H0Cr20Ni10Nb	Y347	X5CrNiNb19-9	Z6CNNb20.10	Y347
10	H0Cr20Ni10Ti	Y321			Y321
11	H0Cr21Ni10	Y308 <sup>①</sup>	X5CrNi19-9	Z6CN20.10	Y308 <sup>①</sup>
12	H00Cr21Ni10	Y308L <sup>①</sup>	X2CrNi19-9	Z2CN20.10	Y308L <sup>①</sup>
13	H1Cr24Ni13	Y309	X12CrNi22-12	Z10CN24.13	Y309
14		Y309L	X2CrNi24-12	Z2CN24.13	Y309L
15	H1Cr24Ni13Mo2	Y309Mo			Y309Mo
16	H0Cr26Ni21		X2CrNiNb24-12		
17	H1Cr26Ni21	Y310	X12CrNi25-20	Z12CN25.20	Y310
18			X40CrNi25-21		
19		Y312	X10CrNi30-9	Z12CN30.09	Y312

序号	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 ESAB	英国 BS	美国		韩国 KS
				AWS	UNS	
1	CB-12X13			≈ ER410	≈ S41080 ≈ W41040	≈ Y410
2	≈ CB-10X17T			ER430	S43080 W43040	Y430
3	≈ CB-04X19H11M3		316S96	ER316 <sup>①</sup>	S31680 W31640	Y316 <sup>①</sup>
4		OK Autrod16. 30	316S92	ER316L	S31683 W31643	Y316L <sup>①</sup>
5		OK Autrod16. 32	316S93	ER316L Si	S31688 W31648	Y316J1L
6			317S96	ER317	S31780 W31740	Y317
7				ER317L	W31743	Y317L
8		OK Autrod16. 13	318S96	ER318	S31980 W31940	—
9	CB-08X19H10Г2B	OK Autrod16. 11	347S96	ER347 <sup>①</sup>	S34780 W34740	Y347
10	CB-06X19H9T			ER321	S32180 W32140	Y321
11	≈ CB-04X19H9		308S96	ER308 <sup>①</sup>	S30880 W30840	Y308 <sup>①</sup>
12	CB-01X19H9	OK Autrod16. 10	308S92	ER308L	S30883 W30843	Y308L <sup>①</sup>
13	CB-07X25H13	≈ OK Autrod16. 52	309S94	ER309	S30980 W30940	Y309
14		OK Autrod16. 53	309S92	ER309L	S30983 W30943	Y309L
15				ER309Mo		Y309Mo
16			311S94			—
17	CB-13X25H18		310S94	ER310	S31080 W31040	Y310
18			310S98	ER310H		—
19			312S94	ER312	S31380 W31340	Y312

① 含 Si 较高的钢种, Si 0.65% ~ 1.00%。

表 3-1-144

镍基铸铁焊条型号近似对照

序号	中国 GB	德国 DIN	法国 NF	国际标准化组织 ISO	日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ	瑞典 ESAB	美国		韩国 KS
								AWS	UNS	
1	EZNi	Ni(ENiG3)	Ni(ENiG)	Ni(ENi/G25)	DFCNi	O3Ч-3	OK Selectrade92. 26	ENi-C1	W82001	DFCNi
2	EZNiFe	NiFe (ENiFeG3)	NiFe (ENiFeG)	NiFe (ENiFe/G25)	DFCNiFe	O3ЖH-1	OK Selectrade92. 58	ENiFe-C1	W82002	DFCNiFe
3	EZNiCu	NiCu (ENiCuG3)	NiCu-2 (ENiCu-2G)	NiCu-2 (ENiCu-2/G36)	DFCNiCu	MHЧ-2	OK Selectrade92. 86	ENiCu-B	W84002	DFCNiCu

# 第 2 章 有色金属材料

## 1 有色金属材料的表示方法

常用有色金属和合金元素名称及其代号 (摘自 GB/T 340—1976)

表 3-2-1

名 称	黄铜	青铜	白铜	铜	铝	镁	镍	钛	锌	铅	锡	铋	金	银	镉	铁	锰	硅	磷	铍	铬
化学元素符号	—	—	—	Cu	Al	Mg	Ni	Ti	Zn	Pb	Sn	Sb	Au	Ag	Cd	Fe	Mn	Si	P	Be	Cr
汉语拼音字母代号	H	Q	B	T	L	M	N	T													

注：T 代表铜和钛，但在牌号表示中会有区别，见表 3-2-5。

专用合金名称及其代号 (摘自 GB/T 340—1976)

表 3-2-2

名 称	防锈铝	锻 铝	硬 铝	超硬铝	特殊铝	无氧铜	稀 土	硬质合金		铸造碳化钨	多用途硬质合金	钢结硬质合金
								钨钴	钨钛钴			
代 号	LF	LD	LY	LC	LT	TU	RE	YG	YT	YZ	YW	YE
名 称	铸造合金	变形镁合金	焊料合金	印刷合金	轴承合金	阳极镍	金属粉末	喷铝粉	涂料铝粉	细铝粉	镁粉	铝镁粉
代 号	Z	MB	HI	I	Ch	NY	F	FLP	FLU	FLX	FM	FLM

注：变形铝及铝合金的代号已有变动，参见 GB/T 3190—1996 (表 3-2-31 和表 3-2-32)。

有色金属和合金加工产品的状态名称和代号 (摘自 GB/T 340—1976)

表 3-2-3

名 称	代号	名 称	代号	名 称	代号	名 称	代号
退火	M	3/4 硬、1/2 硬	Y1、Y2	优质表面(退火)	MO	不包铝(淬火、冷作硬化)	BCY
淬火	C	1/3 硬、1/4 硬	Y3、Y4	加厚包铝的	J	不包铝(淬火、表面优质)	BCO
淬火(自然时效)	CZ	特硬	T	不包铝的	B	不包铝(淬火、冷作硬化、表面优质)	BCYO
淬火(人工时效)	CS	热轧、热挤	R	不包铝(热轧)	BR	淬火后冷轧(冷作硬化)	CY
硬	Y	优质表面	O	不包铝(退火)	BM	淬火、自然时效、冷作硬化并优质表面	CZYO

注：变形铝及铝合金的代号已有变动，参见 GB/T 16475—1996 (表 3-2-6)。

有色合金铸造方法和热处理状态名称及其代号

表 3-2-4

名 称	代号	名 称	代号	名 称	代号	名 称	代号
砂型铸造	S	变质处理	B	人工时效	T1	固溶处理加不完全人工时效	T5
金属型铸造	J	铸态	F	退火	T2	固溶处理加完全人工时效	T6
熔模铸造	R	连续铸造	La	消除应力退火	m	固溶处理加稳定化处理	T7
壳型铸造	K	离心铸造	Li	固溶处理加自然时效	T4	固溶处理加软化处理	T8
压铸	Y						

## 有色金属和合金产品牌号表示方法举例 (摘自 GB/T 340—1976)

表 3-2-5

类别	名称	牌号举例		牌号表示方法说明
		牌 号	代 号	
纯金属冶炼产品	铜、铝、钛	一号铜 一号铝 一号海绵钛	Cu-1 Al-1 HTi-1	纯金属的冶炼产品, 均用化学元素符号结合顺序号或表示主成分的数字表示, 元素符号和顺序号(或数字)中间划一横线。工业纯度金属, 纯度随顺序号增加而降低, 海绵状金属在元素符号前冠以“H”
纯金属加工产品	铜、铝、锌、铅、钛	一号铜、二号铜 一号工业纯铝、 二号工业纯铝 一号锌、二号锌 四号铅、五号铅 一号 $\alpha$ 型钛	T1、T2 L1、L2 Zn1、Zn2 Pb4、Pb5 TA1	①铜(T)、镍(N)、铝(L)的纯金属加工产品分别用括号内的汉语拼音字母加顺序号表示 ②其余纯金属加工产品均用化学元素符号加顺序号表示(如锌 Zn、铅 Pb) ③钛用“T”加表示金属组织类型的字母及顺序号表示
专用合金	黄铜	62 黄铜、68 黄铜 74-3 铅黄铜 62-1 锡黄铜 58-1-1 铁黄铜	H62、H68 HPb74-3 HSn62-1 HFe58-1-1	黄铜用汉语拼音字母“H”加基元素铜的含量表示; 三元以上的黄铜用汉语拼音字母“H”加第二个主添加元素符号及除锌以外的成分数字组表示(百分之几)
	青铜	4-3 锡青铜 1-3 硅青铜 9-4 铝青铜	QSn4-3 QSi1-3 QAl9-4	青铜用汉语拼音字母“Q”加第一个主添加元素符号及除基元素铜外的成分数字组表示(百分之几)
	白铜	16 白铜 3-12 锰白铜 15-20 锌白铜	B16 BMn3-12 BZn15-20	白铜用汉语拼音字母“B”加含镍量表示; 三元以上的白铜用汉语拼音字母“B”加第二个主添加元素符号及除基元素铜外的成分数字组表示(百分之几)
	镍合金	9 镍铬合金 0.1 镍镁合金	NCr9 NMg0.1	镍合金用汉语拼音字母“N”加第一个主添加元素符号及除基元素镍外的成分数字组表示(百分之几)
	铝合金、镁合金	一号防锈铝、二号防锈铝 一号镁合金、二号镁合金	LF1、LF2 MB1、MB2	铝及镁合金是用汉语拼音字母加顺序号表示
	钛合金	五号 $\alpha$ 型钛合金 四号 $\alpha + \beta$ 型钛合金	TA5 TC4	钛合金用“T”加表示合金组织类型的字母及顺序号表示
	其他合金	2 铅锡合金 10-2 锌铝合金 25 铜硅中间合金	PbSb2 ZnAl10-2 CuSi25	铅、锡、贵金属、稀有金属等合金用基元素符号加第一个主添加元素符号及除基元素外的成分数字组表示(百分之几)
	轴承合金(Ch)、 焊料合金(HI)、 印刷合金(I)、 硬质合金	11-6 锡铋轴承合金 0.25 铅铋轴承合金 64 铜锌焊料 20-15 银铜焊料 14-4 铅铋印刷合金 钨钴 5 硬质合金	ChSnSb11-6 ChPbSbSn0.25 HICuZn64 HIAgCu20-15 IPbSb14-4 YG5	带汉语拼音字母的专用合金, 其表示方法是汉语拼音字母加两个基元素符号及除第一个基元素外的成分数字组。但硬质合金例外, 它采用汉语拼音字母加一决定合金特性的主元素(或化合物)成分数字(或顺序号)表示
	铸造合金(Z)	59-1 铸铅黄铜 6-6-3 铸锡青铜 10-3-1.5 铸铝青铜 一号铝镁合金 一号铝锌合金 二号铝硅合金 二号铝铜合金	ZHPb59-1 ZQSn6-6-3 ZQAl10-3-1.5 ZL301 ZL401 ZL102 ZL202	铸造合金(铝除外)的表示方法除相应按上列标记规定表示外, 并在代号前冠以汉语拼音字母“Z”; 铸铝合金用 ZL 表示, 后边三位数中的第一位数表示类别, 第二、三位数为顺序号
	有色金属及合金产品状态代号表示方法	一号防锈铝退火状态 二号铍青铜硬带	LF1-M QBe2-Y 带	产品状态代号的表示方法: 将表 3-2-3 规定的汉语拼音字母(如退火 M, 硬 Y)加于产品代号之后, 并于中间划一横线

注: 变形铝及铝合金的牌号已有变化, 参见 GB/T 3190—1996 (表 3-2-31 和表 3-2-32)。

变形铝及铝合金产品基础状态、T 细分状态代号及新旧代号对照 (摘自 GB/T 16475—1996)

表 3-2-6

基础状态代号	代号	名称	说明与应用					
	F	自由加工状态	适用于在成形过程中,对于加工硬化和热处理条件无特殊要求的产品,该状态产品的力学性能不作规定					
O	退火状态	适用于经完全退火获得最低强度的加工产品						
H	加工硬化状态	适用于通过加工硬化提高强度的产品,产品在加工硬化后可经过(也可不经过)使强度有所降低的附加热处理,H 代号后面必须跟有两位或三位阿拉伯数字						
W	固溶处理状态	一种不稳定状态,仅适用于经固溶处理后,室温下自然时效的合金,该状态代号仅表示产品处于自然时效阶段						
T	热处理状态 (不同于 F、O、H 状态)	适用于热处理后,经过(或不经过)加工硬化达到稳定状态的产品,T 代号后面必须跟一位或多位阿拉伯数字						
T 细分状态代号	T0	固溶处理后,经自然时效再通过冷加工的状态,适用于经过加工提高强度的产品						
	T1	由高温成形过程冷却,然后自然时效至基本稳定的状态,适用于由高温成形过程冷却后,不再进行冷加工(可进行矫直、矫平,但不影响力学性能极限)的产品						
	T2	由高温成形过程冷却,经冷加工后自然时效至基本稳定的状态,适用于由高温成形过程冷却后,进行冷加工或矫直、矫平,以提高强度的产品						
	T3	固溶处理后进行冷加工,再经自然时效至基本稳定的状态,适用于在固溶处理后,进行冷加工或矫直、矫平,以提高强度的产品						
	T4	固溶处理后自然时效至基本稳定的状态,适用于固溶处理后,不再进行冷加工(可进行矫直、矫平,但不影响力学性能极限)的产品						
	T5	由高温成形过程冷却,然后进行人工时效的状态,适用于由高温成形过程冷却后,不经过冷加工(可进行矫直、矫平,但不影响力学性能极限),予以人工时效的产品						
	T6	固溶处理后进行人工时效的状态,适用于固溶处理后,不再进行冷加工(可进行矫直、矫平,但不影响力学性能极限)的产品						
	T7	固溶处理后进行过时效的状态,适用于固溶处理后,为获取某些重要特性,在人工时效时,强度在时效直线上越过了最高峰点的产品						
	T8	固溶处理后经冷加工,然后进行人工时效的状态,适用于经冷加工或矫直、矫平以提高强度的产品						
	T9	固溶处理后人工时效,然后进行冷加工的状态,适用于经冷加工提高强度的产品						
T10	由高温成形过程冷却后,进行冷加工,然后人工时效的状态,适用于经冷加工或矫直、矫平以提高强度的产品							
新旧状态代号对照	新代号	旧代号	新代号	旧代号	新代号	旧代号	新代号	旧代号
	O	M	H×2	Y4	T0	CZY	T76	CGS2
	H112 或 F	R	H×9	T	T9	CSY	T74	CGS3
	H×8	Y	T4	CZ	T62	MCS	T5	RCS
	H×6	Y1	T6	CS	T42	MCZ		
H×4	Y2	T×51、T×52 等	CYS	T73	CGS1			

注: 1. 原以 R 状态交货的提供 CZ、CS 试样性能的产品,其状态可分别对应新代号 T62、T42。

2. 本表旧代号指 GB 340—1976 (有色金属及合金产品牌号表示方法) 中有关变形铝及铝合金产品状态代号部分。

3. GB/T 16475—1996 代替 GB 340—1976 有关变形铝及铝合金产品状态代号,在替换过渡期间,国内过去使用的状态、代号仍可继续使用,但新编制的技术文件应使用 GB/T 16475—1996 规定的新代号;新标准中还明确,新、旧代号自然过渡,暂不限定过渡时间。

4. 对于某些 6××××系的合金,无论是炉内固溶处理,还是从高温成形过程急冷以保留可溶性组分在固溶体中,均能达到相同固溶处理效果,这些合金的 T3、T4、T6、T7、T8 及 T9 状态可以采用上述两种方法的任一种处理方法。

## 2 铸造有色合金

铸造铜合金 (摘自 GB/T 1176—1987)

表 3-2-7

组别	合金牌号	合金名称	主要化学成分(质量分数)/%										铸造方法	力学性能			特性与用途		
			Sn	Pb	Zn	Ni	Si	P	Cu	Mn	Fe	Al		$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	HB <sup>⓪</sup>			
锡 青 铜	ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 (ZQSn3-7-5-1)	3-8-6-1	2.0~4.0	4.0~7.0	6.0~9.0	0.5~1.5								S	175	8	590	耐磨性较好,易加工,铸造性能好,气密性较好,耐腐蚀,可在流动海水下工作 用于在各种液体燃料以及海水、淡水和蒸汽(低于 225℃)中工作的零件,压力不大于 2.5MPa 的阀门和管配件	
		锡青铜	4.0	7.0	9.0									J	215	10	685		
	ZCuSn3Zn11Pb4 (ZQSn3-12-5)	3-11-4	2.0~4.0	3.0~6.0	9.0~13.0										S	175	8	590	铸造性能好,易加工,耐腐蚀 用于海水、淡水、蒸汽中,压力不大于 2.5MPa 的管配件
		锡青铜	4.0	6.0										J	215	10	590		
	锡 青 铜	ZCuSn5Pb5Zn5 (ZQSn5-5-5)	5-5-5	4.0~6.0	4.0~6.0	4.0~6.0									S、J Li、La	200 250	13 13	590 635	耐磨性和耐腐蚀性好,易加工,铸造性能和气密性较好 用于在较高载荷、中等滑动速度下工作的耐磨、耐腐蚀零件,如轴瓦、衬套、缸套、活塞离合器、泵件压盖以及蜗轮等
锡青铜			6.0	6.0															
铜	ZCuSn10P1 (ZQSn10-1)	10-1	9.0~11.5												S	220	3	785	硬度高,耐磨性极好,不易产生咬死现象,有较好的铸造性能和切削加工性能,在大气和淡水中有良好的耐腐蚀性 用于高载荷(20MPa 以下)和高滑动速度(8m/s)下工作的耐磨零件,如连杆、衬套、轴瓦、齿轮、蜗轮等
		锡青铜												J	310	2	885		
							0.5~1.0							Li	330	4	885		
														La	360	6	885		
ZCuSn10Pb5 (ZQSn10-5)	10-5	9.0~11.0	4.0~6.0											S	195	10	685	耐腐蚀,特别是对稀硫酸、盐酸和脂肪酸 用于结构材料,耐蚀、耐酸的配件以及破碎机衬套、轴瓦	
	锡青铜	11.0	6.0										J	245	10	685			

续表

组别	合金牌号	合金名称	主要化学成分(质量分数)/%										铸造方法	力学性能			特性与用途	
			Sn	Pb	Zn	Ni	Si	P	Cu	Mn	Fe	Al		$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	HB <sup>①</sup>		
锡青铜	ZCuSn10Zn2 (ZQSn10-2)	10-2 锡青铜	9.0~ 11.0		1.0~ 3.0						余量			S J Li、La	240 245 270	12 6 7	685 785 785	耐腐蚀性和切削加工性能好,铸造性能好,铸件致密性较高,气密性较好 用于中等及较高载荷和小滑动速度下工作的重要管配件,以及阀、旋塞、泵体、齿轮、叶轮和蜗轮等
		10-10 铅青铜	9.0~ 11.0								余量			S J Li、La	180 220 220	7 5 6	635 685 685	润滑性能、耐磨性能和耐蚀性能好,适合作为双金属铸造材料 用于表面压力高,又存在侧压力的滑动轴承如轧辊、车辆用轴承,负荷峰值60MPa的受冲击的零件,最高峰值达100MPa的内燃机双金属轴瓦,以及活塞销套、摩擦片等
铅青铜	ZCuPb15Sn8 (ZQPb12-8)	15-8 铅青铜	7.0~ 9.0								余量			S J Li、La	170 200 220	5 6 8	590 635 635	在缺乏润滑剂和使用水质润滑剂条件下,滑动性和自润滑性能好,易切削,铸造性能差,对稀硫酸耐腐蚀性能好 用于表面压力高,又有侧压力的轴承,可用来制造冷轧机的铜冷却管,耐冲击载荷达50MPa的零件,内燃机的双金属轴瓦,主要用于最大载荷达70MPa的活塞销套,耐酸配件
		17-4-4 铅青铜	3.5~ 5.0								余量			S J	150 175	5 7	540 590	耐磨性和自润滑性能好,易切削,铸造性能差 用于一般耐磨件,高滑动速度的轴承等
	ZCuPb20Sn5 (ZQPb25-5)	20-5 铅青铜	4.0~ 6.0								余量			S J La	150 150 180	5 6 7	440 540 540	有较高的滑动性能,在缺乏润滑介质和以水为介质时有特别好的自润滑性能,适用于双金属铸造材料,耐硫酸腐蚀,易切削,铸造性能差 用于高滑动速度的轴承及破碎机、水泵、冷轧机轴承,载荷达40MPa的零件,耐蚀零件,双金属轴瓦,载荷达70MPa的活塞销套



续表

组别	合金牌号	合金名称	主要化学成分(质量分数)/%										铸造方法	力学性能			特性与用途			
			Sn	Pb	Zn	Ni	Si	P	Cu	Mn	Fe	Al		$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	HB <sup>①</sup>				
铅青铜	ZCuPb30 (ZQPb30)	30 铅 青铜	27.0~																有良好的自润滑性,易切削,铸造性能差,易产生密度偏析 用于要求高滑动速度的双金属轴瓦、减摩零件	
			33.0															245		
铝青铜	ZCuAl8Mn13Fe3	8-13-3 铝青铜										12.0~	2.0~	7.0~						具有很高的强度和硬度,良好的耐磨性能和铸造性能,合金致密性高,耐腐蚀性好,作为耐磨件材料,工作温度不高于400℃,可以焊接,不易钎焊 用于制造重型机械用轴套,以及要求强度高、耐磨、耐压零件,如衬套、法兰、阀体、泵体等
													14.5	4.0	9.0					
铝青铜	ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 (ZQAl12-8-3-2)	8-13-3-2 铝青铜																		有很高的力学性能,在大气、淡水和海水中均有良好的耐腐蚀性,腐蚀疲劳强度高,铸造性能好,合金组织致密,气密性好,可以焊接,不易钎焊 用于要求强度高耐腐蚀的重要铸件,如船舶螺旋桨、高压阀体、泵体,以及耐压、耐磨零件,如蜗轮、齿轮、法兰、衬套等
													11.5~	2.5~	7.0~					
	ZCuAl9Mn2 (ZQAl9-2)	9-2 铝青铜																		有高的力学性能,在大气、淡水和海水中耐腐蚀性好,铸造性能好,组织致密,气密性高,耐磨性好,可以焊接,不易钎焊 用于耐蚀、耐磨零件,形态简单的大型铸件,如衬套、齿轮、蜗轮,以及在250℃以下工作的管配件和要求气密性高的铸件,如增压器内气封

续表

组别	合金牌号	合金名称	主要化学成分(质量分数)/%										铸造方法	力学性能			特性与用途	
			Sn	Pb	Zn	Ni	Si	P	Cu	Mn	Fe	Al		$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	HB <sup>①</sup>		
铝	ZnCuAl9Fe4Mn2 (ZQAl9-4-4-2)	9-4-4-2 铝青铜				4.0~ 5.0					0.8~ 2.5	4.0~ 5.0	8.5~ 10.0	S	630	16	1570	有很高的力学性能,在大气、淡水、海水中均有优良的耐蚀性,腐蚀疲劳强度高,耐磨性良好,在400℃以下具有耐热性,可以热处理,焊接性能好,不易钎焊,铸造性能尚好 用于要求强度高、耐蚀性好的重要铸件,是制造船舶螺旋桨的主要材料之一,也可用于耐磨和400℃以下工作的零件,如轴承、齿轮、蜗轮、螺母、法兰、阀体、导向套管
	ZnCuAl10Fe3 (ZQAl10-3-1.5)	10-3 铝青铜										2.0~ 4.0	8.5~ 11.0	S J Li、La	490 540 540	13 15 15	980 1080 1080	具有高的力学性能,耐磨性和耐蚀性好,可以焊接,不易钎焊,大型铸件自700℃空冷可以防止变脆 用于要求强度高、耐磨、耐蚀的重型铸件,如轴套、螺母、蜗轮以及250℃以下工件的管配件
黄铜	ZnCuAl10Fe3Mn2 (ZQAl10-3-1.5)	10-3-2 铝青铜									1.0~ 2.0	2.0~ 4.0	9.0~ 11.0	S J	490 540	15 20	1080 1175	具有高的力学性能和耐磨性,可热处理,高温下耐蚀性和抗氧化性能好,在大气、淡水和海水中耐蚀性好,可以焊接,不易钎焊,大型铸件自700℃空冷可以防止变脆 用于要求强度高、耐磨、耐蚀的零件,如齿轮、轴承、衬套、管嘴,以及耐热管配件等
	ZnCuZn38 (ZH62)	38 黄铜																具有优良的铸造性能和较高的力学性能,切削加工性能好,可以焊接,耐蚀性较好,有应力腐蚀开裂倾向 用于一般结构和耐蚀零件,如法兰、阀座、支架、手柄和螺母等

续表

组别	合金牌号	合金名称	主要化学成分(质量分数)/%										铸造方法	力学性能			特性与用途	
			Sn	Pb	Zn	Ni	Si	P	Cu	Mn	Fe	Al		$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	HB <sup>①</sup>		
铝	ZCuZn25Al6Fe3Mn3 (ZHA166-6-3-2)	25-6-3-3 铝黄铜			余量					60.0~ 66.0	1.5~ 4.0	2.0~ 4.0	4.5~ 7.0	S J Li,La	725 740 740	10 7 7	1570 1665 1665	有很高的力学性能,铸造性能良好,耐蚀性较好,有应力腐蚀开裂倾向,可以焊接 用于高强、耐磨零件,如桥梁支承板、螺母、螺杆、耐磨板、滑块和蜗轮等
	ZCuZn26Al4Fe3Mn3	26-4-3-3 铝黄铜			余量					60.0~ 66.0	1.5~ 4.0	1.5~ 4.0	2.5~ 5.0	S J Li,La	600 600 600	18 18 18	1175 1275 1275	有很高的力学性能,铸造性能良好,在大气、淡水和海水中耐蚀性较好,可以焊接 用于要求强度高、耐蚀的零件
黄铜	ZCuZn31Al2 (ZHA167-2.5)	31-2 铝黄铜			余量					66.0~ 68.0			2.0~ 3.0	S J	295 390	12 15	785 885	铸造性能良好,在大气、淡水、海水中耐蚀性较好,易切削,可以焊接 用于压力铸造,如电机、仪表等压铸件,以及造船和机械制造业的耐蚀零件
	ZCuZn35Al2Mn2Fe1 (ZHA159-1-1)	35-2-2-1 铝黄铜			余量					57.0~ 65.0	0.1~ 3.0	0.5~ 2.0	0.5~ 2.5	S J Li,La	450 475 475	20 18 18	980 1080 1080	具有很高的力学性能和良好的铸造性能,在大气、淡水、海水中有良好的耐蚀性,切削性能良好,可以焊接 用于管配件和要求不高的耐磨件
锰	ZCuZn38Mn2Pb2 (ZHMn58-2-2)	38-2-2 锰黄铜			余量					57.0~ 60.0	1.5~ 2.5			S J	245 345	10 18	685 785	有较高的力学性能和耐蚀性,耐磨性较好,切削性能良好 用于一般用途的结构件,船舶、仪表等使用的外型简单的铸件,如套筒、衬套、轴瓦、滑块等
	ZCuZn40Mn2 (ZHMn58-2)	40-2 锰黄铜			余量					57.0~ 60.0	1.0~ 2.0			S J	345 390	20 25	785 885	有较高的力学性能和耐蚀性,铸造性能良好,受热时组织稳定 用于在大气、淡水、海水、蒸汽(低于300℃)和各种液体燃料中工作的零件和阀体、阀杆、泵、管接头,以及需要浇注巴氏合金和镀锡的零件等

续表

组别	合金牌号	合金名称	主要化学成分(质量分数)/%										铸造方法	力学性能			特性与用途		
			Sn	Pb	Zn	Ni	Si	P	Cu	Mn	Fe	Al		$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	HB <sup>①</sup>			
锰黄铜	ZCuZn40Mn3Fe1 (ZHMn55-3-1)	40-3-1 锰黄铜			余量						53.0~ 58.0	3.0~ 4.0	0.5~ 1.5		S	440 490	18 15	980 1080	有高的力学性能,良好的铸造性能和切削加工性能,在大气、淡水、海水中耐腐蚀性较好,有应力腐蚀开裂倾向 用于耐海水腐蚀的零件,以及300℃下工作的管配件,制造船舶螺旋桨等大型铸件
铅黄铜	ZCuZn33Pb2	33-2 铅黄铜	1.0~ 3.0		余量						63.0~ 67.0				S	180	12	490	结构材料,给水温度为90℃时抗氧化性能好,电导率约为10~14MS/m 用于煤气和给水设备的壳体,机器制造、电子技术、精密仪器和光学仪器的部分构件和配件
黄铜	ZCuZn40Pb2 (ZHPb59-1)	40-2 铅黄铜	0.5~ 2.5		余量						58.0~ 63.0				S J	220 280	15 20	785 885	有好的铸造性能和耐磨性,切削加工性能好,耐腐蚀性较好,在海水中应有应力腐蚀倾向 用于一般用途的耐磨、耐腐蚀零件,如轴套、齿轮等
硅黄铜	ZCuZn16Si4 (ZHSi80-3)	16-4 硅黄铜			余量			2.5~ 4.5			79.0~ 81.0				S J	345 390	15 20	885 980	具有较高的力学性能和良好的耐腐蚀性,铸造性能好,流动性高,铸件组织致密,气密性好 用于接触海水工作的管配件以及水泵、叶轮、旋塞和在大气、淡水、油、燃料,以及工作压力在4.5MPa和250℃以下蒸汽中工作的铸件

① 本表布氏硬度数值的试验力单位为牛顿,而一般HB数据系以千克力为试验力,所以本表数据应乘以0.102后才是HB值。

注:合金牌号栏中括号内为CB 1176—1974规定的牌号。

压铸铜合金 (摘自 GB/T 15116—1994)

表 3-2-8

Table with columns: 序号 (Serial No.), 合金牌号 (Alloy Designation), 合金代号 (Alloy Code), 化学成分 (主要成分, 杂质含量) (Chemical Composition), 力学性能 (Mechanical Properties), 主要特性 (Main Characteristics), 应用举例 (Application Examples).

① 杂质总和不含 Ni。

注：压铸铜合金的新旧标准牌号对照如下。

对照表: 新标准 (GB/T 15116—1994) vs 旧标准 (JB 3071—1982). Columns: 标准 (Standard), 序号 (Serial No.), 合金牌号 (Alloy Designation), 合金代号 (Alloy Code), 序号 (Serial No.), 合金代号 (Alloy Code).

铸造铝合金 (摘自 GB/T 1173—1995)

表 3-2-9

组别	合金牌号	合金代号	主要化学成分(质量分数)/%								铸造方法	合金状态	力学性能 $\geq$			用途	
			Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	其他	Al			$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	HBS 5/250/30		
铝 硅 合 金	ZAlSi7Mg ZL101	ZL101	6.5~ 7.5		0.25~ 0.45						余量	S、R、J、K S、R、J、K JB S、R、K J、JB S、R、K SB、RB、KB SB、RB、KB SB、RB、KB SB、RB、KB	F T2 T4 T4 T5 T5 T5 T6 T7 T8	155	2	50	耐腐蚀性、力学性能和铸造工艺性能良好,易气焊,用于制作形状复杂、承受中等载荷、工作温度不高于200℃的零件,如飞机零件、仪器零件、抽水机壳体、汽化器、水冷发动机汽缸体等 在海水环境中使用时,含铜量不大于0.1%
														135	2	45	
														185	4	50	
														175	4	50	
														205	2	60	
														195	2	60	
	195	2	60														
	225	1	70														
	195	2	60														
	155	3	55														
	ZAlSi7MgA ZL101A	ZL101A	6.5~ 7.5		0.25~ 0.45	0.08~ 0.2					余量	S、R、K J、JB S、R、K SB、RB、KB JB、J SB、RB、KB JB、J	T4 T4 T5 T5 T5 T6 T6	195	5	60	耐腐蚀性、力学性能和铸造工艺性能良好,易气焊,用于制作形状复杂、承受中等载荷、工作温度不高于200℃的零件,如飞机零件、仪器零件、抽水机壳体、汽化器、水冷发动机汽缸体等 在海水环境中使用时,含铜量不大于0.1%,因力学性能比ZL101有较大程度的提高,主要用于铸造高强度铝合金铸件
														225	5	60	
235														4	70		
235														4	70		
265														4	70		
275														2	80		
295	3	80															
ZAlSi12 ZL102	ZL102	10~13							余量	SB、JB、RB、KB J SB、JB、RB、KB J	F F T2 T2	145	4	50	用于制作形状复杂、载荷不大而耐腐蚀的薄壁零件或压铸零件,以及工作温度不高于200℃的高气密性零件,如仪表壳体、机器罩、盖子、船舶零件等		
												155	2	50			
												135	4	50			
												145	3	50			

组别	合金牌号	合金代号	主要化学成分(质量分数)/%								铸造方法	合金状态	力学性能 $\geq$			用途	
			Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	其他	Al			$\sigma_b$ /MPa	$\delta_s$ /%	HBS 5/250/30		
铝 硅 合 金	ZAISi9Mg	ZL104	8~		0.17~											用于制作形状复杂、薄壁、耐腐蚀和承受较高静载荷或受冲击作用的大型零件,如风机电叶片、水冷式发动机的曲轴箱、滑块和汽缸盖、汽缸头、汽缸体及其他重要零件,工作温度不高于200℃	
			10.5		0.3		0.2~										
	ZAISi5Cu1Mg	ZL105	4.5~		0.4~												强度高、切削性好,用于制作形状复杂、承受较高静载荷,以及要求焊接性良好、气密性高或在225℃以下工作的零件,如发动机的汽缸头、油泵壳体、曲轴箱等
			5.5		0.6												
	ZAISi8Cu1Mg	ZL106	7.5~		0.3~												用于制作形状复杂,承受高静载荷的零件,也可用于制作要求气密性高或工作温度在225℃以下工作的零件,如齿轮油泵壳体、水冷发动机汽缸头等
			8.5		0.5		0.3~	0.1~									
铝 铜 合 金	ZAISi12Cu2Mg1	ZL108	11~13	1~2	0.4~1												用于制作要求线胀系数小、强度高、耐磨性高、重载、工作温度在250℃以下工作的零件,如大功率柴油机活塞
							0.3~										
	ZAISi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	11~13	0.5~	0.8~												用于制作高速下大功率活塞,工作温度在250℃以下
	ZAICu5Mn	ZL201		4.5~													焊接性和切削加工性良好,铸造性差、耐腐蚀性差。用于制作在175~300℃下工作的零件,如支臂、挂梁,也可用于制作低温下(-70℃)承受高载荷的零件,是用途较广的一种铝合金
				5.3													

续表

组别	合金牌号	合金代号	主要化学成分(质量分数)/%								铸造方法	合金状态	力学性能 $\geq$			用途	
			Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	其他	Al			$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	HBS 5/250/30		
铝 铜 合 金	ZAlCu5MnA	ZL201A	4.8~ 5.3			0.6~ 1.0	0.15~ 0.35				余量	S、J、R、K	T5	390	8	100	力学性能高于ZL201,用途同ZL201,主要用于高强度铝合金铸件
	ZAlCu4	ZL203	4~5								余量	S、R、K J S、R、K J	T4 T4 T5 T5	195 205 215 225	6 6 3 3	60 60 70 70	用于铸造形状简单、承受中等静负荷或冲击载荷、工作温度不高于200℃并要求切削加工性良好的小型零件,如曲轴箱、支架、飞轮盖等
	ZAlMg10	ZL301			9.5~ 11						余量	S、J、R	T4	280	10	60	用于受冲击载荷、高静载荷及海水腐蚀,工作温度不高于200℃的零件
铝 镁 合 金	ZAlMg5Si1	ZL303	0.8~ 1.3		4.5~ 5.5	0.1~ 0.4					余量	S、J、R、K	F	145	1	55	用于铸造同腐蚀介质接触和在较高温度(不高于220℃)下工作、承受中等载荷的船舶、航空及内燃机车零件
	ZAlMg8Zn1	ZL305			7.5~9 1~ 1.5		0.1~ 0.2	Ba0.03 ~0.1		余量	S	T4	290	8	90	用途与ZL301基本相同,但工作温度不宜超过100℃	
铝 锌 合 金	ZAlZn11Si7	ZL401	6~8	0.1~ 0.3	9~ 13						余量	S、R、K J	T1 T1	195 245	2 1.5	80 90	铸造性好,耐蚀性差,用于制造工作温度低于200℃、形状复杂的大型薄壁零件及承受高的静载荷而又不便热处理的零件
	ZAlZn6Mg	ZL402		0.5~ 0.65	5~ 6.5		0.15~ 0.25	Cr0.4~ 0.6		余量	J S	T1 T1	235 215	4 4	70 65	用于高强度的零件及承受高的静载荷和冲击载荷而又不经热处理的零件,如空压机活塞、飞机起落架	

注: 1. 合金中杂质允许含量及其余牌号详见原标准 GB/T 1173—1995。

2. 表中力学性能在试样直径为12mm±0.25mm、标距为5倍直径经热处理的条件下测出。材料截面大于试样尺寸时,其力学性能一般比表中低,设计时根据具体情况考虑。

3. 与食物接触的铝制品不允许含有铍(Be),含铍量不大于0.015%,含锌量不大于0.3%,含铅量不大于0.15%。

4. 铸造方法及合金状态代号意义见表3-2-4。

5. 铝合金铸件的分类、铸件的外观质量、内在质量以及其修补方法等技术要求见标准 GB/T 9438—1988。





压铸铝合金 (摘自 GB/T 15115—1994)

表 3-2-10

合金牌号	合金代号	主要化学成分(质量分数)/%								力学性能 $\geq$			应用
		Si	Cu	Mn	Mg	Fe	Zn	Al	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta$ /% ( $L_0=50$ )	布氏硬度 HBS 5/250/30		
YZAlSi12	YL102	10.0~13.0	$\leq 0.6$	$\leq 0.6$	$\leq 0.05$	$\leq 1.2$	$\leq 0.3$	余量	220	2	60	压铸的特点是生产率高、铸件的精度高和合金的强度、硬度高,是少、无切削加工的重要工艺,发展压铸是降低生产成本的重要途径 压铸铝合金在汽车、拖拉机、航空、仪表、纺织、国防等部门得到了广泛的应用	
YZAlSi10Mg	YL104	8.0~10.5	$\leq 0.3$	0.2~0.5	0.17~0.30	$\leq 1.0$	$\leq 0.3$	余量	220	2	70		
YZAlSi12Cu2	YL108	11.0~13.0	1.0~2.0	0.3~0.9	0.4~1.0	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$	余量	240	1	90		
YZAlSi9Cu4	YL112	7.5~9.5	3.0~4.0	$\leq 0.5$	$\leq 0.3$	$\leq 1.2$	$\leq 1.2$	余量	240	1	85		
YZAlSi11Cu3	YL113	9.6~12.0	1.5~3.5	$\leq 0.5$	$\leq 0.3$	$\leq 1.2$	$\leq 1.0$	余量	230	1	80		
YZAlSi17Cu5Mg	YL117	16.0~18.0	4.0~5.0	$\leq 0.5$	0.45~0.65	$\leq 1.2$	$\leq 1.2$	余量	220	<1	—		
YZAlMg5Si1	YL302	0.8~1.3	$\leq 0.1$	0.1~0.4	4.5~5.5	$\leq 1.2$	$\leq 0.2$	余量	220	2	70		

注:除有范围的元素及铁为必检元素外,其余元素在有要求时抽检。

## 铸造锌合金 (摘自 GB/T 1175—1997)

表 3-2-11

合金牌号	合金代号	主要化学成分(质量分数)/%				铸造方法 及状态	力学性能 $\geq$			主要用途
		Al	Cu	Mg	Zn		抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%	布氏硬度 HBS	
ZZnAl4Cu1Mg	ZA4-1	3.5~4.5	0.75~1.25	0.03~0.08	余量	JF	175	0.5	80	广泛用于压铸零件,用于复杂形状铸件,适于压铸小尺寸的高强度、耐腐蚀零件
ZZnAl4Cu3Mg	ZA4-3	3.5~4.3	2.5~3.2	0.03~0.06	余量	SF JF	220 240	0.5 1	90 100	用于压铸各种零件
ZZnAl6Cu1	ZA6-1	5.6~6.0	1.2~1.6	—	余量	SF JF	180 220	1 1.5	80 80	用于硬模铸造及压铸零件
ZZnAl8Cu1Mg	ZA8-1	8.0~8.8	0.8~1.3	0.015~0.030	余量	SF JF	250 225	1 1	80 85	
ZZnAl9Cu2Mg	ZA9-2	8.0~10.0	1.0~2.0	0.03~0.06	余量	SF JF	275 315	0.7 1.5	90 105	代替锡青铜和低锡巴氏合金,用于复杂形状铸件及制造轴承
ZZnAl11Cu1Mg	ZA11-1	10.5~11.5	0.5~1.2	0.015~0.030	余量	SF JF	280 310	1 1	90 90	用于硬模铸件,同ZZnAl4Cu1Mg
ZZnAl11Cu5Mg	ZA11-5	10.0~12.0	4.0~5.5	0.03~0.06	余量	SF JF	275 295	0.5 1.0	80 100	同ZZnAl9Cu2Mg,用于制造轴承
ZZnAl27Cu2Mg	ZA27-2	25.0~28.0	2.0~2.5	0.010~0.020	余量	SF ST3 JF	400 310 420	3 8 1	110 90 110	

## 压铸锌合金 (摘自 GB/T 13818—1992)

表 3-2-12

序号	合金牌号	合金代号	主要化学成分(质量分数)/%						力学性能 $\geq$			主要用途
			主要成分				杂质含量 $\leq$		抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta$ /% ( $L_0$ =50)	布氏硬度 HBS 5/250 /30	
			Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb				
1	ZZnAl4Y	YX040	3.5~4.3	0.25	0.02~0.06	余量	0.1	0.005	250	1	80	用于压铸较大铸件及仪表、汽车零件外壳
2	ZZnAl4Cu1Y	YX041	3.5~4.3	0.75~1.25	0.03~0.08	余量	0.1	0.005	270	2	90	广泛用于压铸零件,用于复杂形状铸件
3	ZZnAl4Cu3Y	YX043	3.5~4.3	2.5~3.0	0.02~0.06	余量	0.1	0.005	320	2	95	用于压铸各种零件

注: 1. 在合金牌号前面以字母“Z”(“铸”字汉语拼音首字母)表示属于铸造合金,在合金牌号后面以字母“Y”(“压”字汉语拼音首字母)表示用于压力铸造。

2. 压铸锌合金的新旧标准牌号对照如下。

标准	新标准 (GB/T 13818—1992)			旧标准 (JB 3068—1982)		
符号意义	“ZZn”表示铸造锌合金, Y表示压铸, 元素后数字表示该元素的百分含量			“YZZn”表示压铸锌合金, 其后的元素符号和数值表示主要合金元素及其含量		
牌号	序号	合金牌号	合金代号	序号	合金牌号	合金代号
	1	ZZnAl4Y	YX040	1	YZZnAl4Cu1	Y41
	2	ZZnAl4Cu1Y	YX041	2	YZZnAl4	Y40

铸造轴承合金 (摘自 GB/T 1174—1992)

表 3-2-13

种类	合金牌号	化学成分(质量分数)/%													铸造方法	力学性能 $\geq$			特性与应用举例	
		Sn	Pb	Cu	Zn	Al	Sb	Ni	Mn	Si	Fe	Bi	As	其他		其他元素总和	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%		布氏硬度HBS
锡基	ZSnSb12Pb10Cu4	9.0~11.0	2.5~5.0	0.01	0.01	11.0~13.0	—	—	—	0.1	0.08	0.1	—	—	0.55	J	—	—	29	是含锡量最低的锡基轴承合金,因含铅,其浇注性、热强性较差,特点是性软而韧、耐压。用于工作温度不高的中速、中载一般机器的主轴衬套
	ZSnSb12Cu6Cd1	0.15	4.5~6.3	0.05	0.05	10.0~13.0	0.3~0.6	—	—	0.1	—	0.4~0.7	Cd1.1~1.6 Fe+Al+Zn $\leq 0.15$	—	—	J	—	—	34	具有较高的抗压强度,一定的冲击韧度和硬度,可塑性好,其导热性、耐腐蚀性优良。适于浇注重载、高速、工作温度低于110℃的重要轴承,如高速蒸汽机(2000马力)、涡轮压缩机(500马力)、涡轮增压和高速内燃机轴承以及高速机床、压缩机、电动机主轴
	ZSnSb11Cu6	0.35	5.5~6.5	0.01	0.01	10.0~12.0	—	—	—	0.1	0.03	0.1	—	—	0.55	J	—	—	27	比ZSnSb11Cu6韧性好,强度、硬度稍低,其他性能与ZSnSb11Cu6相近,用于工作温度在100℃以下的大型机器轴承及轴衬、高速重载汽车发动机薄壁双金属轴承
	ZSnSb8Cu4	0.35	3.0~4.0	0.005	0.005	7.0~8.0	—	—	—	0.1	0.03	0.1	—	—	0.55	J	—	—	24	用于要求韧性较大和浇注层厚度较薄的重要高速轴承,耐腐蚀、耐磨,如涡轮内燃机高速轴承及轴衬
	ZSnSb4Cu4	0.35	4.0~5.0	0.01	0.01	4.0~5.0	—	—	—	—	—	0.08	0.1	—	0.50	J	—	—	20	用于要求韧性较大和浇注层厚度较薄的重要高速轴承,耐腐蚀、耐磨,如涡轮内燃机高速轴承及轴衬

续表

种类	合金牌号	化学成分(质量分数)/%													铸造方法	力学性能 $\geq$			特性与应用举例
		Sn	Pb	Cu	Zn	Al	Sb	Ni	Mn	Si	Fe	Bi	As	其他		其他元素总和	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	
	ZPbSb16Sn16Cu2	15.0~17.0		1.5~2.0	0.15	—	15.0~17.0	—	—	0.1	0.1	0.3	—	0.6	J	30			比应用最为广泛的ZSnSb11Cu6合金摩擦因数大,抗压强度高,硬度相近,且耐磨性及使用寿命相近,且价格低,但冲击韧度低,用于在工作温度低于120℃条件下承受无显著冲击载荷、重载高速轴承,如汽车、拖拉机曲柄轴承和轧钢机用减速器及离心泵轴承,以及150~1200马力蒸汽涡轮机、150~750kW电动机和小于2000马力起重机和重负荷的推力轴承
铅基	ZPbSb15Sn5Cu3Cd2	5.0~6.0	余量	2.5~3.0	0.15	—	14.0~16.0	—	0.1	0.1	0.6~1.0	0.6~1.0	Cd1.75~2.25	0.4	J	32	—	—	与ZPbSb16Sn16Cu2相近,是其良好代用材料,用于浇注汽油发动机轴承,各种功率的压缩机外伸轴承,球磨机、小型轧钢机齿轮箱和矿山水泵轴承,以及抽水机、船舶机械、小于250kW电动机轴承
	ZPbSb15Sn10	9.0~11.0		0.7*	0.005	—	14.0~16.0	—	0.1	0.1	0.6	Cd0.05	0.45	J	24			与ZPbSb16Sn16Cu2相比,冲击韧度高,摩擦因数大,有良好的磨合性和可塑性,退火后其减摩性、塑性、韧性及强度均显著提高。用于中速、中等冲击和中等载荷机械的轴承,也可以作高温轴承用	
	ZPbSb15Sn5	4.0~5.5		0.5~1.0	0.15	—	14.0~15.5	—	0.1	0.1	0.2	—	0.75	J	20			塑性及热导率较差,不宜在高温、高压及冲击载荷下工作,但在工作温度不超过100℃和冲击载荷条件下,其性能较好,寿命不低,用于低速、轻载机械的轴承	

续表

种类	合金牌号	化学成分(质量分数)/%													力学性能≥			特性与应用举例		
		Sn	Pb	Cu	Zn	Al	Sb	Ni	Mn	Si	Fe	Bi	As	其他	其他元素总和	铸造方法	$\sigma_b$ /MPa		$\delta_5$ /%	布氏硬度 HBS
铅基	ZPbSb10Sn6	5.0~7.0	余量	0.7*	0.005	0.005	9.0~11.0	—	—	—	0.1	0.1	0.25	Cd0.05	0.7	J	—	—	18	与锡基轴承合金 ZChSnPb4-4 相近,是其理想代替材料。用于工作温度不高于120℃、承受中等载荷或高速低载荷轴承,如汽车发动机、空压机、高压油泵等主轴轴承及其他耐磨、耐腐蚀、重载荷的轴承,可代替 ZSnSb4Cu4
		4.0~6.0	4.0~6.0	—	0.01	0.01	0.25	2.5*	—	0.01	0.3	—	—	P0.05 S0.10	0.7	S, J Li	200 250	13 13	60* 65*	
		9.0~11.5	0.25	—	0.05	0.01	0.05	0.1	0.05	0.02	0.1	0.005	—	P0.5~1.0 S0.05	0.7	S J Li	200 310 330	3 2 4	80* 90* 90*	
铜基	ZCuPb10Sn10	9.0~11.0	8.0~11.0	—	2.0	0.01	0.5	2.0*	0.2	0.01	0.25	0.005	—	P0.05 S0.10	1.0	S J Li	180 220 220	7 5 6	65* 70* 70*	参考铸造铜合金相应牌号的特性与用途
	ZCuPb15Sn8	7.0~9.0	13.0~17.0	余量	2.0	0.01	0.5	2.0*	0.2	0.01	0.25	—	—	P0.10 S0.10	1.0	S J Li	170 200 220	5 6 8	60* 65* 65*	
	ZCuPb20Sn5	4.0~6.0	18.0~23.0	—	2.0	0.01	0.75	2.5*	0.2	0.01	0.25	—	—	P0.10 S0.10	1.0	S J	150 150	5 6	45* 55*	
	ZCuPb30	1.0	27.0~33.0	—	—	0.01	0.2	—	0.3	0.02	0.5	0.005	0.1	P0.08	1.0	J	—	—	25*	
	ZCuAl10Fe3	0.3	0.2	—	0.4	8.5~11.0	—	—	3.0*	1.0	0.2	2.0~4.0	—	—	1.0	S, J Li	490 540	13 15	100* 110*	
铝基	ZAlSn6Cu1Ni1	5.5~7.0	—	0.7~1.3	—	余量	—	0.7~1.3	—	0.1	0.7	0.7	Ti0.2 Fe+Si+Mn ≤1.0	1.5	S J	110 130	10 15	35* 40*		

注:1. 凡表格中所列两个数值,是指该合金主要元素含量范围,表格中所列单一数值,是指允许的该元素最高含量。

2. 表中带#的数值,不计入其他元素总和;带\*者为参考硬度值。

铸造镁合金 (摘自 GB 1177—1991)

表 3-2-14

合金牌号	合金代号	化学成分(质量分数)/%											热处理状态	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%			
		Zn	Al	Zr	RE	Mn	Ag	Si	Cu	Fe	Ni	杂质总量							
ZMgZn5Zr	ZM1	3.5~ 5.5	—	0.5~ 1.0	—	—	—	—	0.10	—	—	—	—	0.01	0.30	T1	235	140	5
ZMgZn4RE1Zr	ZM2	3.5~ 5.0	—	0.5~ 1.0	0.75~ 1.75	—	—	—	0.10	—	—	—	—	0.01	0.30	T1	200	135	2
ZMgRE3ZnZr	ZM3	0.2~ 0.7	—	0.4~ 1.0	2.5~ 4.0	—	—	—	0.10	—	—	—	—	0.01	0.30	F	120	85	1.5
ZMgRE3Zn2Zr	ZM4	2.0~ 3.0	—	0.5~ 1.0	2.5~ 4.0	—	—	—	0.10	—	—	—	—	0.01	0.30	T1	140	95	2
ZMgAl8Zn	ZM5	0.2~ 0.8	7.5~ 9.0	—	—	0.15~ 0.5~	—	—	0.20	0.05	—	—	—	0.01	0.50	F	145	75	2
ZMgRE2ZnZr	ZM6	0.2~ 0.7	—	0.4~ 1.0	2.0~ 2.8	—	—	—	0.10	—	—	—	—	0.01	0.30	T6	230	135	3
ZMgZn8AgZr	ZM7	7.5~ 9.0	—	0.5~ 1.0	—	—	0.6~ 1.2	—	0.10	—	—	—	—	0.01	0.30	T4	265	—	6
ZMgAl10Zn	ZM10	0.6~ 1.2	9.0~ 10.2	—	—	0.1~ 0.5	—	—	0.20	0.05	—	—	—	0.01	0.50	F	145	85	1
																T4	230	85	4
																T6	230	130	1

## 3 有色金属加工产品

## 3.1 铜及铜合金加工产品

常用铜及铜合金板(带)、管、棒的化学成分和力学性能

表 3-2-15

牌号	主要化学成分(质量分数)/%						力学性能									
	Cu + Ag	Sn	Pb	P	Zn	制造方法	板(带)		管		棒		材料状态	直径/mm	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}/\%$
							$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}/\%$	材料状态	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}/\%$	材料状态				
纯铜	$\geq 99.95$	$\leq 0.002$	$\leq 0.003$	$\leq 0.001$	$\leq 0.005$	冷轧或拉制	M	205	30	M	200	40	M	5~80	200	35
	$\geq 99.90$	—	$\leq 0.005$	—	—		Y4	215~275	25	Y	250~290	—	Y	5~40	275	5
	$\geq 99.70$	—	$\leq 0.01$	—	—		Y2	245~345	8	Y	—	—	Y	>40~60	245	8
无氧铜	$\geq 99.97$	$\leq 0.002$	$\leq 0.003$	$\leq 0.002$	$\leq 0.003$	热轧或挤制	Y	295	—	Y2	250	20	Y2	>60~80	210	13
	$\geq 99.95$	$\leq 0.002$	$\leq 0.004$	$\leq 0.002$	$\leq 0.003$		R	195	30	R	185	35	R	30~120	186	30
黄铜	Cu60.5~63.5	Fe0.15	$\leq 0.08$	—	余量	冷轧或拉制	M	290	35	M	300	43	Y2	5~40	370	15
							Y2	350~470	20	Y	440	—	Y	>40~80	335	20
							Y	410~630	10	Y	370	18	Y2	10~160	295	30
							T	585	2.5	Y2	295	38	R	5~12	370	15
铜	Cu67.0~70.0	Fe0.10	$\leq 0.03$	—	余量	冷轧或拉制	M	290	40	M	280	43	Y2	>12~40	315	25
							Y2	340~460	25	Y	420	—	Y	>40~80	295	30
							Y	390~530	10	Y	370	18	Y2	16~80	295	40
							T	490	3	Y2	—	—	R	>80~120	—	—
						热轧或挤制	R	290	40	—	30	—	—	—	—	

续表

牌号	主要化学成分(质量分数)/%						力学性能								
	Cu	Sn	Pb	P	Zn	制造方法	板(带)		管		棒				
							材料状态	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}/\%$	材料状态	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}/\%$	直径/mm	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}/\%$
HPb59-1	57.0~60.0		0.8~1.9		余量	冷轧或拉制	M	340	25	M	340	35	5~20	420	10
							Y2	390~490	12	Y2	410	15	>20~40	390	12
HSn62-1	61.0~63.0	Fe0.10	≤0.1		余量	热轧或挤制	Y	440	5	Y	470	—	>40~80	370	16
							R	370	18	R	390	20	10~160	365	18
QA19-4	余量	Al8.0~10.0	Fe2.0~4.0	≤0.01	≤1	热轧或挤制	M	295	35	M	295	35	5~40	390	15
							Y	390	5	Y2	370	20	>40~60	360	20
QA110-3-1.5	余量	Al8.5~10.0	Fe2.0~4.0	Mn1.0~2.0	≤0.5	热轧或挤制	R	340	20	Y	455	—	10~120	365	20
							Y	585(635)	—	R	490	15	>120~160	—	—
QSn6.5-0.1	余量	6.0~7.0	≤0.02	0.1~0.25	≤0.3	冷轧或拉制	M	290	40				5~40	630	16
							Y2	440~570	8(10)	R	590	12	10~16	610	8
QSn6.5-0.4	余量	6.0~7.0	≤0.02	0.26~0.4	≤0.3	热轧或挤制	Y	540~690	5(8)	R			>16~160	590	12
							T	640	1(5)				5~12	470	11
						热轧或挤制	R	290	38				>12~25	440	13
						冷轧或拉制	M	295	40				>25~40	410	15
						冷轧或拉制	Y	540~690	8				30~40	355	50
						冷轧或拉制	T	665	2				>40~100	345	55
						冷轧或拉制							>100~120	305	58





续表

牌号	主要化学成分(质量分数)/%						力学性能														
	Cu	Sn	Pb	P	Zn	制造方法	板(带)			管			棒								
							材料状态	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}$ %	材料状态	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}$ %	材料状态	直径/mm	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}$ %					
QSn4-3 青铜	余量	3.5~4.5	$\leq 0.02$	$\leq 0.03$	2.7~3.3	冷轧或拉制	M	290	40						5~12	430	10				
							Y	540~690	3				Y					>12~25	375	15	
							T	635	2										>25~35	335	16
																				>35~40	315
QSi3-1 铜	余量	Si: 2.7~3.5	$\leq 0.02$	Mn 1.0~1.5	$\leq 0.5$	冷拉或拉制	M	370	45					R			40~120	275	25		
							Y	635~785	5				Y						5~12	490	10
							T	735	2										>12~40	470	15
						挤制							R			20~100	345	20			
						挤制										>100~160	—	—			

注:1. 板材制造方法分热轧与冷轧两种;带材为冷轧;管、棒材分拉制和挤制两种。

2. 资料来源如下。

类别	纯铜	黄铜	铝青铜	锡青铜	硅青铜
化学成分	GB/T 5231—2001				
力学性能	板(带)	GB/T 2040—2002 (GB/T 2059—2000)	GB/T 2040—2002 (GB/T 2059—2000)	GB/T 2040—2002 (GB/T 2059—2000)	GB/T 2040—2002 (GB/T 2059—2000)
	管	GB/T 1527—2006 GB/T 1528—1997	GB/T 1527—2006 GB/T 1528—1997	GB/T 1528—1997	
	棒	GB/T 4423—1992 GB/T 13808—1992	GB/T 4423—1992 GB/T 13808—1992	GB/T 4423—1992 GB/T 13808—1992	GB/T 4423—1992 GB/T 13808—1992

3. 材料状态代号意义见表 3-2-3。

铜及铜合金板材牌号、状态及规格 (摘自 GB/T 2040—2002)

表 3-2-16

牌 号	状 态	规格/mm		
		厚度	宽度	长度
T2、T3、TP1、TP2、TU1、TU2	R	4~60	≤3000	≤6000
	M、Y4、Y2、Y	0.2~12		
H96、H80	M、Y	0.2~10		
H90	M、Y2、Y			
H70、H65	M、Y4、Y2、Y、T			
H68	R	4~60		
	M、Y4、Y2、Y、T	0.2~10		
H62	R	4~60		
	M、Y2、Y、T	0.2~10		
H59	R	4~60		
	M、Y	0.2~10		
HPb59-1	R	4~60		
	M、Y2、Y	0.2~10		
HMn58-2	M、Y2、Y			
HSn62-1	R	4~60		
	M、Y2、Y	0.2~10		
HMn55-3-1、HMn57-3-1、HA160-1-1、 HA167-2.5、HA166-3-2、HNI65-5	R	4~40	≤1000	≤2000
QSn6.5-0.1	R	9~50	≤600	
	M、Y3、Y2、Y、T	0.2~12		
QSn6.5-0.4、QSn4-3、 QSn4-0.3、QSn7-0.2	M、Y、T			
BA16-1.5、BA113-3	Y、CS	0.5~12	≤1500	
BZn15-20	M、Y2、Y、T	0.5~10		
B5、B19 BFe10-1-1、BFe30-1-1	R	7~60	≤2000	≤4000
	M、Y	0.5~10	≤600	≤1500
QA15	M、Y	0.4~12	≤1000	≤2000
QA17	Y2、Y			
QA19-2	M、Y			
QA19-4	Y			

- 注：1. 经供需双方协商，可以供应其他规格的板材。  
2. 板材的尺寸规格及其允许偏差应符合 GB/T 17793—1999 的规定。  
3. 板材的牌号化学成分应符合 GB/T 5231—2001 相应牌号的规定。

## 铜及铜合金带材牌号、状态和规格 (摘自 GB/T 2059—2000)

表 3-2-17

牌 号	状 态	厚度/mm	宽度/mm
T2、T3、TU1、TU2、 TP1、TP2	软(M)、1/4硬(Y4)、 半硬(Y2)、硬(Y)	0.05 ~ <0.5 0.5 ~ 3.0	≤600 ≤1000
H96、H80、H59	软(M)、硬(Y)		
H90	软(M)、半硬(Y2)、硬(Y)		
H70、H68、H65	软(M)、1/4硬(Y4)、半硬(Y2)、 硬(Y)、特硬(Y)		
H62	软(M)、半硬(Y2)、 硬(Y)、特硬(T)	0.05 ~ 0.20 >0.20 ~ 2.0	≤300 ≤550
HPb59-1、HMn58-2	软(M)、半硬(Y2)、硬(Y)		
HSn62-1	硬(Y)	0.05 ~ 1.20	≤300
QA15	软(M)、硬(Y)		
QA17	半硬(Y2)、硬(Y)		
QA19-2	软(M)、硬(Y)、特硬(T)		
QA19-4	硬(Y)	0.05 > 0.15 > 0.15 ~ 2.0	≤300 ≤600
QSn6.5-0.1	软(M)、1/4硬(Y4)、半硬(Y2)、 硬(Y)、特硬(T)		
QSn7-0.2、QSn6.5-0.4、 QSn4-3、QSn4-0.3	软(M)、硬(Y)、特硬(T)	0.05 ~ 1.20	≤300
QCd-1	硬(Y)		
QMn1-5	软(M)		
QMn5	软(M)、硬(Y)	0.05 ~ 1.20	≤200
QSi3-1	软(M)、硬(Y)、特硬(T)		
QSn4-4-2.5	软(M)、1/3硬(Y3)	0.80 ~ 1.00 1.00 ~ 1.20	≤200
QSn4-4-4	半硬(Y2)、硬(Y)		
BZn15-20	软(M)、半硬(Y2)、硬(Y)、特硬(T)	0.05 ~ 1.20	≤300
B5、B19、BFe10-1-1、 BFe30-1-1、 BMn40-1.5、BMn3-12	软(M)、硬(Y)		

注：1. 带材适于各工业技术部门的一般用途。

2. 带材牌号的化学成分应符合 GB/T 5231—2001 的规定。

3. 带材尺寸及尺寸允许偏差应符合 GB/T 17793—1999 的规定。

4. 用 H62 制造的、半硬 Y2 状态、厚度为 0.8mm、宽度为 200mm 的带材，标记为：带 H62Y20.8×200GB/T 2059—2000。

## 铜及黄铜板的理论质量

表 3-2-18

厚度 /mm	理论质量/kg·m <sup>-2</sup>		厚度 /mm	理论质量/kg·m <sup>-2</sup>		厚度 /mm	理论质量/kg·m <sup>-2</sup>		厚度 /mm	理论质量/kg·m <sup>-2</sup>	
	纯铜板	黄铜板		纯铜板	黄铜板		纯铜板	黄铜板		纯铜板	黄铜板
0.005	0.0445	0.0425	0.55	4.90	4.68	2.75	24.48	23.38	24	213.6	204.0
0.008	0.0712	0.0680	0.57	—	4.85	2.80	24.92	23.80	25	222.5	212.5
0.010	0.0890	0.0850	0.60	5.34	5.10	3.00	26.70	25.50	26	231.4	221.0
0.012	0.107	0.102	0.65	5.79	5.53	3.5	31.15	29.75	27	240.3	229.8
0.015	0.134	0.128	0.70	6.23	5.95	4.0	35.60	34.00	28	249.2	238.0
0.02	0.178	0.170	0.72	—	6.12	4.5	40.05	38.25	29	258.1	246.5
0.03	0.267	0.255	0.75	6.68	6.38	5.0	44.50	42.50	30	267.0	255.0
0.04	0.356	0.340	0.80	7.12	6.80	5.5	48.95	46.75	32	284.8	272.0
0.05	0.445	0.425	0.85	7.57	7.23	6.0	53.40	51.00	34	302.6	289.0
0.06	0.534	0.510	0.90	8.01	7.65	6.5	57.85	55.25	35	311.5	297.5
0.07	0.623	0.595	0.93	—	7.91	7.0	62.30	59.50	36	320.4	306.0
0.08	0.712	0.680	1.00	8.90	8.50	7.5	66.75	63.75	38	338.2	323.0
0.09	0.801	0.765	1.10	9.79	9.35	8.0	71.20	68.00	40	356.0	340.0
0.10	0.890	0.850	1.13	—	9.61	9.0	80.10	76.50	42	373.8	357.0
0.12	1.07	1.02	1.20	10.68	10.20	10	89.00	85.00	44	391.6	374.0
0.15	1.34	1.28	1.22	—	10.37	11	97.90	93.50	45	400.5	382.5
0.18	1.60	1.53	1.30	11.57	11.05	12	106.8	102.0	46	409.3	391.0
0.20	1.78	1.70	1.35	12.02	11.48	13	115.7	110.5	48	427.2	408.0
0.22	1.96	1.87	1.40	12.46	11.90	14	124.6	119.0	50	445.0	425.0
0.25	2.23	2.13	1.45	—	12.33	15	133.5	127.5	52	462.8	442.0
0.30	2.67	2.55	1.50	13.35	12.75	16	142.4	136.0	54	480.6	459.0
0.32	—	2.72	1.60	14.24	13.60	17	151.3	144.5	55	489.5	467.5
0.34	—	2.89	1.65	14.69	14.03	18	160.2	153.0	56	498.4	476.0
0.35	3.12	2.98	1.80	16.02	15.30	19	169.1	161.5	58	516.2	493.0
0.40	3.56	3.40	2.00	17.80	17.00	20	178.0	170.0	60	534.0	510.0
0.45	4.01	3.83	2.20	19.58	18.70	21	186.9	178.5			
0.50	4.45	4.25	2.25	20.03	19.13	22	195.8	187.0			
0.52	—	4.42	2.50	22.25	21.35	23	204.7	195.5			

注：本表理论质量计算采用的密度为纯铜板 8.9g/cm<sup>3</sup>；黄铜板 8.5g/cm<sup>3</sup>。不同牌号黄铜密度和理论质量换算系数见表 3-2-19，即本表数值与换算系数乘积即为相应牌号的理论质量。

表 3-2-19

## 各种牌号黄铜密度和理论质量换算系数

黄铜牌号	密度/g·cm <sup>-3</sup>	换算系数	黄铜牌号	密度/g·cm <sup>-3</sup>	换算系数
H68、H65、H62	8.5	1	HSn62-1	8.45	0.9941
HPb63-3、HPb59-1			HA177-2、HSi80-3	8.6	1.0118
HA167-2.5、HA166-6-3-2			HNi65-5	8.66	1.0188
HMn58-2、HMn57-3-1			H90	8.8	1.0353
HMn55-3-1	8.4	0.9882	H96	8.85	1.0412
H59、HA160-1-1					

## 常用铜及铜合金管规格 (摘自 GB/T 1527—2006、GB/T 1528—1997)

表 3-2-20 铜及铜合金拉制管牌号、状态和规格 (摘自 GB/T 1527—2006)

牌 号	状 态	规格/mm			
		圆 形		矩(方)形	
		外径	壁厚	对边距	壁厚
T2、T3、TU1、TU2、TP1、TP2	软(M)、轻软(M2)、 硬(Y)、特硬(T)	3~360	0.5~15	3~100	1~10
	半硬(Y2)	3~100			
H96、H90	软(M)、轻软(M2)、 半硬(Y2)、硬(Y)	3~200	0.2~10	3~100	0.2~7
H85、H80、H85A		3~100			
H70、H68、H59、HPb59-1、 HSn62-1、HSn70-1、H70A、H68A					
H65、H63、H62、HPb66-0.5、H65A		3~200			
HPb63-0.1	半硬(Y2)	18~31	6.5~13	—	—
	1/3硬(Y3)	8~31	3.0~13	—	—
BZn15-20	硬(Y)、半硬(Y2)、软(M)	4~40	0.5~8	—	—
BFe10-1-1		8~160			
BFe30-1-1		8~80			

注：1. 外径 $\leq 100$ mm的圆形直管，供应长度为1000~7000mm；其他规格的圆形直管供应长度为500~6000mm。

2. 矩(方)形直管的供应长度为1000~5000mm。

3. 外径 $\leq 30$ mm、壁厚 $< 3$ mm的圆形管材和圆周长 $\leq 100$ mm或圆周长与壁厚之比 $\leq 15$ 的矩(方)形管材，可供应长度 $\geq 6000$ mm的盘管。

表 3-2-21 铜及铜合金挤制管常用规格 (摘自 GB/T 1528—1997)

外径 /mm	壁厚 /mm	质量/kg·m <sup>-1</sup>			外径 /mm	壁厚 /mm	质量/kg·m <sup>-1</sup>			外径 /mm	壁厚 /mm	质量/kg·m <sup>-1</sup>		
		纯铜	黄铜	铝青铜			纯铜	黄铜	铝青铜			纯铜	黄铜	铝青铜
30	5	3.493	3.336	2.945	44	2.5		2.77		60	5	7.685	7.339	6.48
	3		2.642	2.331		5	5.45	5.2	4.59		7.5	11.00	10.51	9.27
36	5	4.331	4.137	3.65	50	7.5	7.65		6.45	65	10	13.97	13.34	11.77
	6	5.03	4.8			5	6.287	6.005	5.3		12.5	16.59	15.85	13.98
40	2.5		2.502		55	7.5	8.907	8.507	7.4	65	15	18.86	18.01	15.9
	5	4.89	4.67	4.126		10	11.18				5	8.383	8.01	
	7	6.465			5	6.986	6.672	5.89	7.5		12.05	11.51	10.16	
	7.5	6.811				7.5	9.955	9.508	8.39		10	15.37	14.69	12.93
						10	12.58		10.6		12.5	18.34	17.52	15.45
						12.5	14.85	14.18	12.51		15	20.96	20.03	17.66

续表

外径 /mm	壁厚 /mm	质量/kg·m <sup>-1</sup>			外径 /mm	壁厚 /mm	质量/kg·m <sup>-1</sup>			外径 /mm	壁厚 /mm	质量/kg·m <sup>-1</sup>		
		纯铜	黄铜	铝青铜			纯铜	黄铜	铝青铜			纯铜	黄铜	铝青铜
70	5	9.082	8.674		90	7.5	17.29	16.51	14.58	120	25	66.37	63.38	55.96
	7.5	13.1	12.51	11.04		10	22.36	21.35	18.85		30	75.45	72.06	63.45
	10	16.77	16.01	14.13		12.5	27.07	25.85	22.83	130	10	33.53	32.29	
	12.5	20.09	19.18	16.93		15	31.44	30.02	26.51		15	48.2	46.04	40.64
	15	23.05	22.02	19.43		17.5	35.45	33.86	29.9		20	61.48	58.71	51.84
75	5		9.34		100	20	39.12	37.36	33.0	155	25	73.35	70.06	61.85
	7.5	14.15	13.51	11.92		7.5	19.39	18.51			30	83.83	80.06	70.69
	10	18.16	17.35	15.31		10	25.15	24.02	21.21	170	12.5	49.78	47.54	
	12.5	21.83	20.85	18.4		15	35.63	34.03	30.04		17.5	67.24	64.22	56.69
	15	25.15		21.19		20	44.71	42.7	37.7		22.5	83.31	79.56	70.24
80	7.5	15.2	14.51	12.8	110	25	52.4	50.04	44.18	190	27.5	97.98	93.58	82.57
	10	19.56	18.68	16.48		30	58.68	56.04	49.48		12.5	55.02	52.55	
	12.5	23.58	22.52	19.87		10	27.94	26.69	23.56	170	17.5	74.58	71.23	62.85
	15	27.25	26.02	22.96		15	39.82	38.03	33.58		22.5	92.75	88.58	78.16
	7.5	16.24	15.69	13.69		20	50.3	48.04	42.41		27.5	109.51	104.59	92.29
85	10	20.9	20.2	17.67	120	25	59.38	56.71	50.07	190	20	95.01	90.75	80.11
	12.5	25.32	23.05	21.35		30	67.07	64.05	56.55		25	115.3	110.1	97.2
	15	29.34	26.68	24.74		10	30.74	29.36	25.9	170	30	134.1	128.11	113.1
	17.5	33.01	30.01	27.83		15	44.01	42.03	37.11					
	20	36.33	33.0	30.63		20	55.89	53.38	47.12					

注：1. 管材不定尺长度为0.5~6m，定尺或倍尺长度在合同中议定。

2. 表中质量纯铜以 $\rho=8.91/m^3$ 、黄铜以 $\rho=8.51/m^3$ 、铝青铜以 $\rho=7.51/m^3$ 为基准。

3. 纯铜管的外径范围为30~300mm，壁厚范围为5~30mm；黄铜管的外径范围为21~280mm，壁厚范围为1.5~42.5mm；铝青铜管的外径范围为20~250mm，壁厚范围为3~50mm。本表仅摘录部分标准。

4. 外径和壁厚偏差见原标准。

常用铜及铜合金棒规格 (摘自 GB/T 4423—1992、GB/T 13808—1992)

表 3-2-22

直径/mm	断面积 /mm <sup>2</sup>	质量/kg·m <sup>-1</sup>				直径/mm	断面积 /mm <sup>2</sup>	质量/kg·m <sup>-1</sup>					
		纯铜	黄铜	铝青铜	锡青铜			硅青铜	纯铜	黄铜	铝青铜	锡青铜	硅青铜
5	19.63	0.175	0.167	0.147	0.173	0.165	32	804.3	7.16	6.84	6.03	7.08	6.76
6	28.27	0.252	0.240	0.212	0.249	0.238	35	962.1	8.56	8.18	7.22	8.47	8.08
8	50.27	0.447	0.427	0.377	0.442	0.422	40	1257	11.18	10.68	9.42	11.06	10.56
10	78.54	0.699	0.667	0.589	0.691	0.660	45	1590	14.16	13.52	11.93	13.97	13.36
12	113.10	1.007	0.961	0.848	0.995	0.950	50	1964	17.48	16.69	14.73	17.28	16.49
14	153.94	1.370	1.308	1.155	1.355	1.293	55	2376	21.15	20.16	17.82	20.91	19.96
16	201.06	1.789	1.709	1.508	1.769	1.689	60	2827	25.16	24.03	21.21	24.88	23.75
18	254.47	2.65	2.163	1.909	2.239	2.138	70	3849	34.25	32.71	28.86	33.87	32.33
20	314.16	2.796	2.670	2.356	2.765	2.639	80	5027	44.7	42.7	37.7	44.2	42.2
22	380.13	3.383	3.231	2.851	3.345	3.193	90	6362	56.6	54.1	47.7	56.0	53.4
25	490.87	4.69	4.172	3.682	4.320	4.123	100	7854	69.9	66.7	58.9	69.1	66.0
28	615.75	5.480	5.234	4.618	5.419	5.172	110	9503	84.6	80.8	71.3	83.6	79.8
30	706.90	6.290	6.010	5.300	6.220	5.930	120	11310	100.7	96.1	84.8	99.5	95.0

注: 1. 材料状态及直径范围见表 3-2-15 方棒、六角棒直径是指内切圆直径或两平行面之间的距离。

2. 表中质量纯铜以  $\rho = 8.91/m^3$ 、黄铜以  $\rho = 8.51/m^3$ 、铝青铜以  $\rho = 7.51/m^3$ 、锡青铜以  $\rho = 8.81/m^3$ 、硅青铜以  $\rho = 8.41/m^3$  为基准。

3. 棒材供应长度如下。

铜及铜合金挤制棒 (GB/T 13808—1992)

棒材不定尺长度规定如下:

直径 10 ~ 50mm, 供应长度 1 ~ 5m;

直径大于 50 至 75mm, 供应长度 0.5 ~ 5m;

直径大于 75mm, 供应长度 0.5 ~ 4m。

定尺或倍尺长度应在不定尺长度范围内, 并在合同中注明, 否则按不定尺长度供货。

铜及铜合金拉制棒 (GB/T 4423—1992)

棒材不定尺长度规定如下:

直径 5 ~ 18mm, 供应长度 1.2 ~ 5m;

直径大于 18 至 50mm, 供应长度 1 ~ 5m;

直径大于 50 至 80mm, 供应长度 0.5 ~ 5m。

经双方协议, 直径等于或小于 10mm 的棒材可成盘 (卷) 供货, 其长度不短于 4m。

常用铜及铜合金线材的力学性能和规格

表 3-2-23

类别	牌 号	力 学 性 能								直径范围 /mm	用 途
		线材直径 /mm	$\sigma_b$ /MPa, $\geq$				$\delta$ /%, $\geq$				
			M	Y2	Y1	Y	M	Y2	Y		
纯铜线 (GB/T 14953— 1994)	T2  T3	0.1~0.3	196			380	15		—	0.02~6.0	用于机 械、化工、 电子等 工业
		>0.3~1.0	196			380	20		—		
		>1.0~2.5	205			380	25		—		
		>2.5~4.0	205			365	30		—		
		>4.0~6.0	205			365	30		—		
黄铜线 (GB/T 14954— 1994)	H62	0.05~0.25	345	430	590~785	785~980	18	—		0.05~6.0	作焊料、 制造钟用 零件及其 他零件
		>0.25~1.0	335	410	540~735	685~885	22	4			
		>1.0~2.0	325	390	490~685	635~835	26	7			
		>2.0~4.0	315	375	440~635	590~785	30	10			
		>4.0~6.0	315	355	390~590	540~735	34	12			
	H68	0.05~0.25	375	410	540~735	735~930	18	—			制造各 种零件
		>0.25~1.0	355	390	490~685	685~885	25	5			
		>1.0~2.0	335	375	440~635	635~835	30	10			
		>2.0~4.0	315	355	390~590	590~785	35	12			
		>4.0~6.0	295	345	345~540	540~735	40	14			
铅黄铜线 (GB/T 14954— 1994)	HPb59-1	0.5~2.0	345	390~590		490~735	25			0.5~6.0	制造切 削加工零 件、钟用 零件及制 锁 弹子
		>2.0~4.0	335	390~590		490~685	28				
		>4.0~6.0	325	375~570		440~635	30				
锡黄铜线 (GB/T 14954— 1994)	HSn62-1	0.5~2.0	315			590~835	15			0.5~6.0	制造耐 蚀零件及 焊条
		>2.0~4.0	305			540~785	20				
		>4.0~6.0	295			490~735	25				
锡青铜线 (GB/T 14955— 1994)	QSn4-3	0.1~1.0				880~1130			—	0.1~6.0	制造弹 簧及耐磨 零件
	QSn6.5-0.1	>1.0~2.0				860~1060			—		
	QSn6.5-0.4	>2.0~4.0				830~1030			—		
	QSn7-0.2	>4.0~6.0				780~980			—		
硅青铜线 (GB/T 14955— 1994)	QSi3-1	0.1~1.0				880~1130				0.1~6.0	制造弹 性零件
		>1.0~2.0				860~1060					
		>2.0~4.0				830~1030					
		>4.0~6.0				780~980					

注：T2 纯铜线的电阻率在 20℃ 的数值为  $0.018 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$  (M 态) 和  $0.0182 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$  (Y 态)。



## 加工铜材牌号的特性与用途

表 3-2-24

组别	牌 号	特 性 与 用 途
纯 铜	T2 T3	有良好的导电、导热、耐蚀和加工性能,可以焊接和钎焊。易引起“氢病”,不宜在高温(>370℃)下还原气氛中加工(退火、焊接等)和使用。适用于制造电线、电缆、导电螺钉、雷管、化工用蒸发器、垫圈、铆钉、管嘴等
普 通 黄 铜	H96	强度比纯铜高(但在普通黄铜中,它是最低的),导热、导电性好,在大气和淡水中有着高的耐蚀性,且有良好的塑性,易于冷、热压力加工,易于焊接、锻造和镀锡,无应力腐蚀破裂倾向。在一般机械制造中用于导管、冷凝管、散热器管、散热片、汽车水箱带以及导电零件等
	H90	性能和 H96 相似,但强度较 H96 稍高,可镀金属及涂敷珐琅。用于供水及排水管、奖章、艺术品、水箱带以及双金属片
	H85	具有较高的强度,塑性好,能很好地承受冷、热压力加工,焊接和耐蚀性能也都良好。用于冷凝和散热用管、虹吸管、蛇形管、冷却设备制件
	H80	性能和 H85 近似,但强度较高,塑性也较好,在大气、淡水及海水中有着较高的耐蚀性。用于造纸网、薄壁管、波纹管及房屋建筑用品
	H75	有相当好的力学性能、工艺性能和耐蚀性能。能很好地在热态和冷态下压力加工。在性能和经济性上居于 H80、H70 之间。用于低载荷耐蚀弹簧
	H70 H68	有极为良好的塑性(是黄铜中最佳者)和较高的强度,切削加工性能好,易焊接,对一般腐蚀非常安定,但易产生腐蚀开裂。H68 是普通黄铜中应用最为广泛的一个品种。用于复杂的冷冲件和深冲件,如散热器外壳、导管、波纹管、弹壳、垫片、雷管等
	H65	性能介于 H68 和 H62 之间,价格比 H68 便宜,也有较高的强度和塑性,能良好地承受冷、热压力加工,有腐蚀破裂倾向。用于小五金、日用品、小弹簧、螺钉、铆钉和机械零件
	H63	适用于在冷态下压力加工,宜于进行焊接和钎焊。易抛光,是进行拉丝、轧制、弯曲等成型的主要合金。用于螺钉、酸洗用的圆辊等
铅 黄 铜	H62	有良好的力学性能,热态下塑性好,冷态下塑性尚可,切削性好,易钎焊和焊接,耐蚀,但易产生腐蚀破裂。价格便宜,是应用广泛的一个普通黄铜品种。用于各种深引伸和弯折制造的受力零件,如销钉、铆钉、垫圈、螺母、导管、气压表弹簧、筛网、散热器零件等
	H59	价格最便宜,强度、硬度高而塑性差,但在热态下仍能很好地承受压力加工,耐蚀性一般,其他性能和 H62 相近。用于一般机器零件、焊接件、热冲及热轧零件
	HPb74-3	含铅量高的铅黄铜,一般不进行热加工,因有热脆倾向。有好的切削性。用于钟表、汽车、拖拉机零件以及一般机器零件
	HPb64-2 HPb63-3	含铅量高的铅黄铜,不能热态加工,切削性能极为优良,且有高的减摩性能,其他性能和 HPb59-1 相似。主要用于钟表结构零件,也用于汽车、拖拉机零件
	HPb60-1	有好的切削加工性和较高的强度,其他性能同 HPb59-1。用于结构零件
	HPb59-1 HPb59-1A	是应用较广泛的铅黄铜,它的特点是切削性好,有良好的力学性能,能承受冷、热压力加工,易钎焊和焊接,对一般腐蚀有良好的稳定性,但有腐蚀破裂倾向,HPb59-1A 杂质含量较高,用于比较次要的制件。适于以热冲压和切削加工制作的各种结构零件,如螺钉、垫圈、垫片、衬套、螺母、喷嘴等
	HPb61-1	切削性良好,热加工性极好。主要用于自动切削部件

续表

组别	牌 号	特 性 与 用 途
锡 黄 铜	HSn90-1	力学性能和工艺性能极近似于H90普通黄铜,但有高的耐蚀性和减摩性,目前只有这种锡黄铜可作为耐磨合金使用。用于汽车拖拉机弹性套管及其他耐蚀减摩零件
	HSn70-1	是典型的锡黄铜,在大气、蒸汽、油类和海水中有高的耐蚀性,且有良好的力学性能,切削性尚可,易焊接和钎焊,在冷、热状态下压力加工性好,有腐蚀破裂(季裂)倾向。用于海轮上的耐蚀零件(如冷凝气管),与海水、蒸汽、油类接触的导管,热工设备零件
	HSn62-1	在海水中有很高的耐蚀性,有良好的力学性能,冷加工时有冷脆性,只适于热压加工,切削性好,易焊接和钎焊,但有腐蚀破裂(季裂)倾向。用于与海水或汽油接触的船舶零件或其他零件
	HSn60-1	性能与HSn62-1相似,主要产品为线材。用于船舶焊接结构用的焊条
铝 黄 铜	HAl77-2	是典型的铝黄铜,有高的强度和硬度,塑性良好,可在热态及冷态下进行压力加工,对海水及盐水有良好的耐蚀性,并耐冲击腐蚀,但有脱锌及腐蚀破裂倾向。在船舶和海滨热电站中用于冷凝管以及其他耐蚀零件
	HAl77-2A HAl77-2B	性能、成分与HAl77-2相似,因加入了少量的砷、锑,提高了对海水的耐蚀性,又因加入少量的铍,力学性能也有所改进。用途同HAl77-2
	HAl70-1.5	性能与HAl77-2接近,但加入少量的砷,提高了对海水的耐蚀性,腐蚀破裂倾向减轻,并能防止黄铜在淡水中脱锌。在船舶和海滨热电站中用于冷凝管以及其他耐蚀零件
	HAl67-2.5	在冷、热态下能良好地承受压力加工,耐磨性好,对海水的耐蚀性尚可,对腐蚀破裂敏感,钎焊和镀锡性能不好。用于船舶耐蚀零件
	HAl60-1-1	具有高的强度,在大气、淡水和海水中耐蚀性好,但对腐蚀破裂敏感,在热态下压力加工性好,冷态下可塑性低。用于要求耐蚀的结构零件,如齿轮、蜗轮、衬套、轴等
	HAl59-3-2	具有高的强度;耐蚀性是所有黄铜中最好的,腐蚀破裂倾向不大,冷态下塑性低,热态下压力加工性好。用于发动机和船舶业及其他在常温下工作的高强度耐蚀件
	HAl66-6-3-2	为耐磨合金,具有高的强度、硬度和耐磨性,耐蚀性也较好,但有腐蚀破裂倾向,塑性较差。为铸造黄铜的移植品种。用于重负荷下工作中固定螺钉的螺母及大型蜗杆;可作铝青铜QA110-4-4的代用品
锰 黄 铜	HMn58-2	在海水和过热蒸汽、氯化物中有高的耐蚀性,但有腐蚀破裂倾向;力学性能良好,导热、导电性低,易于在热态下进行压力加工,冷态下压力加工性尚可,是应用较广的黄铜品种。用于腐蚀条件下工作的重要零件和弱电流工业用零件
	HMn57-3-1	强度、硬度高,塑性低,只能在热态下进行压力加工;在大气、海水、过热蒸汽中的耐蚀性比一般黄铜好,但有腐蚀破裂倾向。用于耐蚀结构零件
	HMn55-3-1	性能和HMn57-3-1接近,为铸造黄铜的移植品种。用于耐蚀结构零件
铁 黄 铜	HFe59-1-1	具有高的强度、韧性,减摩性能良好,在大气、海水中的耐蚀性高,但有腐蚀破裂倾向,热态下塑性良好。用于在摩擦和受海水腐蚀条件下工作的结构零件
	HFe58-1-1	强度、硬度高,切削性好,但塑性下降,只能在热态下压力加工,耐蚀性尚好,有腐蚀破裂倾向。适于用热压和切削加工法制作高强度耐蚀零件
硅 黄 铜	HSi80-3	有良好的力学性能,耐蚀性高,无腐蚀破裂倾向,耐磨性亦可,在冷、热态下压力加工性好,易焊接和钎焊,切削性好。导热、导电性是黄铜中最低的。用于船舶零件、蒸汽管和水管配件
	HSi65-1.5-3	强度高,耐蚀性好,在冷态和热态下能很好地进行压力加工,易于焊接和钎焊,有很好的耐磨和切削性,但有腐蚀破裂倾向,为耐磨锡青铜的代用品,用于在腐蚀和摩擦条件下工作的高强度零件

组别	牌 号	特 性 与 用 途
镍 黄 铜	HNi65-5	有高的耐蚀性和减摩性,良好的力学性能,在冷态和热态下压力加工性能极好,对脱锌和“季裂”比较稳定,导热导电性低。因镍的价格较贵,故 HNi65-5 一般用得不多。用于压力表管、造纸网、船舶用冷凝管等,可作锡磷青铜和德银的代用品
锡 青 铜	QSn4-3	为含锌的锡青铜。有高的耐磨性和弹性,抗磁性良好,能很好地承受热态或冷态压力加工;在硬态下,切削性好,易焊接和钎焊,在大气、淡水和海水中耐蚀性好。用于弹簧(扁弹簧、圆弹簧)及其他弹性元件,化工设备上的耐蚀零件以及耐磨零件(如衬套、圆盘、轴承等)和抗磁零件,造纸工业用的刮刀
	QSn4-4-2.5 QSn4-4-4	为添加有锌、铅合金元素的锡青铜。有高的减摩性和良好的切削性,易于焊接和钎焊,在大气、淡水中具有良好的耐蚀性;只能在冷态进行压力加工,因含铅,热加工时易引起热脆。用于在摩擦条件下工作的轴承、卷边轴套、衬套、圆盘以及衬套的内垫等。QSn4-4-4 使用温度可达 300℃ 以下,是一种热强性较好的锡青铜
	QSn6.5-0.1	为锡青铜。有高的强度、弹性、耐磨性和抗磁性,在热态和冷态下压力加工性良好,对电火花有较高的抗燃性,可焊接和钎焊,切削性好,在大气和淡水中耐蚀。用于弹簧和导电性好的弹簧接触片,精密仪器中的耐磨零件和抗磁零件,如齿轮、电刷盒、振动片、接触器
	QSn6.5-0.4	为锡青铜。性能、用途和 QSn6.5-0.1 相似,因含磷量较高,其疲劳极限较高,弹性和耐磨性较好,但在热加工时有热脆性,只能接受冷压力加工。除用于弹簧和耐磨零件外,主要用于造纸工业制作耐磨的铜网和单位载荷小于 1000N/cm <sup>2</sup> 、圆周速度小于 3m/s 的条件下工作的零件
	QSn7-0.2	为锡青铜。强度高,弹性和耐磨性好,易焊接和钎焊,在大气、淡水和海水中耐蚀性好,切削性良好,适于热压加工。用于中等负荷、中等滑动速度下承受摩擦的零件,如抗磨垫圈、轴承、轴套、蜗轮等,还可用于弹簧、簧片等
	QSn4-0.3	为锡青铜。有高的力学性能、耐蚀性和弹性,能很好地在冷态下承受压力加工,也可在热态下进行压力加工。主要用于压力计弹簧用的各种尺寸的管材
铝 青 铜	QA15	为不含其他元素的铝青铜。有较高的强度、弹性和耐磨性;在大气、淡水、海水和某些酸中耐蚀性高,可电焊、气焊,不易钎焊,能很好地在冷态或热态下承受压力加工,不能淬火回火强化。用于弹簧和其他要求耐蚀的弹性元件、齿轮摩擦轮、蜗轮传动机构等,可作为 QSn6.5-0.4、QSn4-3 和 QSn4-4-4 的代用品
	QA17	性能、用途和 QA15 相似,因含铝量稍高,其强度较高。用途同 QA15
	QA19-2	为含锰的铝青铜。具有高的强度,在大气、淡水和海水中耐蚀性很好,可以电焊和气焊,不易钎焊,在热态和冷态下压力加工性均好。用于高强度耐蚀零件以及在 250℃ 以下蒸汽介质中工作的管配件和海轮上零件
	QA19-4	为含铁的铝青铜。有高的强度和减摩性,良好的耐蚀性,热态下压力加工性良好,可电焊和气焊,但钎焊性不好,可作为高锡耐磨青铜的代用品。用于在高负荷下工作的抗磨、耐蚀零件,如轴承、轴套、齿轮、蜗轮、阀座等,也可用于双金属耐磨零件
	QA110-3-1.5	为含有铁、锰元素的铝青铜。有高的强度和耐磨性,经淬火回火后可提高硬度,有较好的高温耐蚀性和抗氧化性,在大气、淡水和海水中耐蚀性很好,切削性尚可,可焊接,不易钎焊,热态下压力加工性良好。用于高温条件下工作的耐磨零件和各种标准件,如齿轮、轴承、衬套、圆盘、导向摇臂、飞轮、固定螺母等。可代替高锡青铜制作重要机件
	QA110-4-4	为含有铁、镍元素的铝青铜。属于高强度耐热青铜,高温(400℃)下力学性能稳定,有良好的减摩性,在大气、淡水和海水中耐蚀性很好,热态下压力加工性良好,可热处理强化,可焊接,不易钎焊,切削性尚好。用于高强度的耐磨零件和高温(400℃)下工作的零件,如轴衬、轴套、齿轮、球形座、螺母、法兰盘、滑座等以及其他各种重要的耐蚀、耐磨零件
QA11-6-6	成分、性能和 QA110-4-4 相近。用于高强度耐磨零件和在 500℃ 下工作的高温耐蚀、耐磨零件	

续表

组别	牌 号	特 性 与 用 途
铍 青 铜	QBe2	为含有少量铍的铍青铜。是力学、物理、化学综合性能良好的一种合金。经淬火调质后,具有高的强度、硬度、弹性、耐磨性、疲劳极限和耐热性;同时还具有高的导电性、导热性和耐寒性;无磁性,碰击时无火花,易于焊接和钎焊,在大气、淡水和海水中耐蚀性极好。用于各种精密仪表、仪器中的弹簧和弹性元件,各种耐磨零件以及在高速、高压和高温下工作的轴承、衬套
	QBe2.15	为不含其他合金元素的铍青铜。性能和 QBe2 相似,但强度、弹性、耐磨性比 QBe2 稍高,韧性和塑性稍低,对较大型铍青铜制件的调质工艺性能不如 QBe2 好。用途同 QBe2
	QBe1.7 QBe1.9 QBe1.9-0.1	为含有少量铍、钛的铍青铜。具有和 QBe2 相近的特性,其优点是弹性迟滞小、疲劳极限高,温度变化时弹性稳定,性能对时效温度变化的敏感性小,价格较低廉,而强度和硬度比 QBe2 降低甚少。QBe1.9-0.1 尤其具有不产生火花的特点。用于各种重要用途弹簧、精密仪表的弹性元件、敏感元件以及承受高变向载荷的弹性元件,可代替 QBe2 及 QBe2.15 等牌号的铍青铜
硅 青 铜	QSi1-3	为含有锰、镍元素的硅青铜。具有高的强度,相当好的耐磨性,能热处理强化,淬火回火后强度和硬度大大提高,在大气、淡水和海水中具有较高的耐蚀性,焊接性和切削性良好。用于在 300℃ 以下,润滑不良、单位压力不大的工作条件下的摩擦零件(如发动机排气和进气门的导向套)以及在腐蚀介质中工作的结构零件
	QSi3-1	为添加有锰的硅青铜。有高的强度、弹性和耐磨性,塑性好,低温下仍不变脆;能良好地与青铜、钢和其他合金焊接,特别是钎焊性好;在大气、淡水和海水中的耐蚀性高,对于苛性钠及氯化物的作用也非常稳定;能很好地承受冷、热压力加工,不能热处理强化,通常在退火和加工硬化状态下使用,此时有高的屈服极限和弹性。用于制作在腐蚀介质中工作的各种零件,弹簧和弹簧零件,以及蜗杆、蜗轮、齿轮、轴套、制动销和杆类等耐磨零件,也用于焊接结构中的零件,可代替重要的锡青铜,甚至铍青铜
锰 青 铜	QMn5	为含锰量较高的锰青铜。有较高的强度、硬度和良好的塑性,能很好地在热态及冷态下承受压力加工,有良好的耐蚀性,并有高的热强性,400℃ 下还能保持其力学性能。用于蒸汽机零件和锅炉的各种管接头、蒸汽阀门等高温耐蚀零件
	QMn1.5	含锰量较 QMn5 低,与 QMn5 比较,强度、硬度较低,但塑性较高,其他性能相似。用途同 QMn5
镉 青 铜	QCd1.0	具有高的导电性和导热性,良好的耐磨性和减摩性,耐蚀性好,压力加工性能良好,时效硬化效果不显著,一般采用冷作硬化来提高强度。用于工作温度在 250℃ 以下的电机整流子片、电车触线和电话用软线以及电焊机的电极
铬 青 铜	QCr0.5	在常温及较高温度(<400℃)下具有较高的强度和硬度,导电性和导热性好,耐磨性和减摩性也很好,经时效硬化处理后,强度、硬度、导电性和导热性均显著提高,易于焊接和钎焊,在大气和淡水中具有良好的耐蚀性,高温抗氧化性好,能很好地在冷态和热态下承受压力加工。其缺点是对缺口的敏感性较强,在缺口和尖角处造成应力集中,容易引起机械损伤,故不宜制作整流子片。用于工作温度在 350℃ 以下的电焊机电极、电机整流子片以及其他各种在高温下工作的、要求有高的强度、硬度、导电性和导热性的零件,还可以双金属的形式用于刹车盘和圆盘
	QCr0.5-0.2-0.1	为加有少量镁、铝的铬青铜。与 QCr0.5 相比,不仅进一步提高了耐热性,而且可改善缺口敏感性,其他性能和 QCr0.5 相似。用途同 QCr0.5
锆 青 铜	QZr0.2 QZr0.4	为时效硬化合金。其特点是高温(<400℃)强度比其他任何高导电合金都高,并且在淬火状态下具有普通纯铜那样的塑性,其他性能和 QCr0.5-0.2-0.1 相似。用于工作温度在 350℃ 以下的电机整流子片、开关零件、导线、点焊电极等

## 3.2 铅及铅合金加工产品

常用铅及铅锑合金板、管的化学成分 (摘自 GB/T 1470—2005、GB/T 1472—2005)

表 3-2-25

牌 号	Pb/% , ≥	Sb/%	杂质含量 /% , ≤	牌 号	Pb/% , ≥	Sb/%	杂质含量 /% , ≤
Pb1	99.994		0.006	PbSb2	余量	1.5~2.5	0.2
Pb2	99.9		0.1	PbSb4	余量	3.5~4.5	0.2
Pb3	99		1.0	PbSb6	余量	5.5~6.5	0.3
PbSb0.5	余量	0.3~0.8	0.15	PbSb8	余量	7.5~8.5	0.3
应用举例	用于制造板、带、管、棒、线,在国防、化肥、农药、化纤、造船、电气等部门作为耐酸、耐蚀、放射防护等材料						

铅及铅锑合金板规格 (摘自 GB/T 1470—2005)

表 3-2-26

铅及铅锑合金板的牌号规格

牌 号	规格/mm			制造 方法	标 记 示 例
	厚度	宽度	长度		
Pb1、Pb2	0.5~110.0				产品标记按产品名称、牌号、规格和标准编号的顺序表示。 示例 1 用 PbSb0.5 制造的、厚度为 3.0mm、宽度为 2500mm、长度为 5000mm 的板材,标记为:板 PbSb0.5 3.0×2500×5000 GB/T 1470—2005 示例 2 用 PbSb0.5 制造的、厚度为 3.0mm、宽度为 2500mm、长度为 5000mm 的较高精度的板材,标记为:板 PbSb0.5 较高 3.0×2500×5000 GB/T 1470—2005
PbSb0.5、PbSb1、PbSb2、PbSb4、 PbSb6、PbSb8、PbSb1-0.1-0.05、 PbSb2-0.1-0.05、PbSb3-0.1-0.05、 PbSb4-0.1-0.05、PbSb5-0.1-0.05、 PbSb6-0.1-0.05、PbSb7-0.1-0.05、 PbSb8-0.1-0.05、PbSb4-0.2-0.5、 PbSb6-0.2-0.5、PbSb8-0.2-0.5	1.0~110.0	≤2500	≥1000 轧制		

注:经供需双方协商,可供其他牌号和规格的板材。

表 3-2-27

板材理论质量

厚度 /mm	理论质量/kg·m <sup>-2</sup>						厚度 /mm	理论质量/kg·m <sup>-2</sup>					
	Pb1、Pb2	PbSb0.5	PbSb2	PbSb4	PbSb6	PbSb8		Pb1、Pb2	PbSb0.5	PbSb2	PbSb4	PbSb6	PbSb8
0.5	5.67	5.66	5.63	5.58	5.53	5.48	20.0	226.80	226.40	225.00	223.00	221.20	219.40
1.0	11.34	11.32	11.25	11.15	11.06	10.97	25.0	283.50	283.00	281.25	278.75	276.50	274.25
2.0	22.68	22.64	22.50	22.30	22.12	21.94	30.0	340.20	339.60	337.50	334.50	331.80	329.10
3.0	34.02	33.96	33.75	33.45	33.18	32.91	40.0	453.60	452.80	450.00	446.00	442.40	438.80
4.0	45.36	45.28	45.00	44.60	44.24	43.88	50.0	567.00	566.00	562.50	557.50	553.00	548.50
5.0	56.70	56.60	56.25	55.75	55.30	54.85	60.0	680.40	679.20	675.00	669.00	663.60	658.20
6.0	68.04	67.92	67.50	66.90	66.36	65.82	70.0	793.80	792.40	787.50	780.50	774.20	767.90
7.0	79.38	79.24	78.75	78.05	77.42	76.79	80.0	907.20	905.60	900.00	892.00	884.80	877.60
8.0	90.72	90.56	90.00	89.20	88.48	87.76	90.0	1020.60	1018.80	1012.50	1003.50	995.40	987.30
9.0	102.06	101.88	101.25	100.35	99.54	98.73	100.0	1134.00	1132.00	1125.00	1115.00	1106.00	1097.00
10.0	113.40	113.20	112.50	111.50	110.60	109.70	110.0	1247.40	1245.20	1237.50	1226.50	1216.60	1206.70
15.0	170.10	169.80	168.75	167.25	165.90	164.55							

铅及铅锡合金管规格 (摘自 GB/T 1472—2005)

表 3-2-28 挤制铅及铅锡合金管的牌号、状态、规格

牌 号	状 态	规格/mm			标 记 示 例
		内 径	壁 厚	长 度	
Pb1、Pb2	挤制 (R)	5 ~ 230	2 ~ 12	直管 ≤ 4000	产品标记按产品名称、牌号、状态、规格和标准编号的顺序表示。 示例 1 用 Pb2 制造的、挤制状态、内径为 50mm、壁厚为 6mm 的铅管, 标记为: 管 Pb2Rφ50 × 6 GB/T 1472—2005 示例 2 用 PbSb0.5 制造的、挤制状态、内径为 50mm、壁厚为 6mm 的高精级铅锡管, 标记为: 管 PbSb0.5R φ50 × 6 GB/T 1472—2005
			3 ~ 14	卷状管 ≥ 2500	
PbSb0.5、PbSb2、PbSb4、PbSb6、PbSb8		10 ~ 200			

注: 经供需双方协商, 可供其他牌号、规格的管材。

表 3-2-29 纯铅管及铅锡合金管的常用尺寸规格

公称内径	纯铅管												铅锡合金管											
	公称壁厚						公称内径						公称壁厚						公称内径					
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14				
5、6、8、10、13、16、20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
25、30、35、38、40、45、50	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○				
55、60、65、70、75、80、90、100	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	○	○	○	○	○	○	○				
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
125、150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
180、200、230	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				

注: 1. ○表示常用规格。  
2. 需要其他规格的产品由供需双方商定。



表 3-2-30 纯铅管及铅锡合金管的理论质量

内径/mm	管壁厚度/mm												牌号	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	换算系数
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12					
	理论质量(密度为 11.34g/cm <sup>3</sup> )/kg·m <sup>-1</sup>														
5	0.5	0.9	1.3	1.8	2.3	3.0	3.7	4.7	5.3	7.3			Pb1、Pb2	11.34	1.0000
6	0.6	1.0	1.4	1.9	2.6	3.2	4.1	4.8	5.7	7.7					
8	0.7	1.2	1.7	2.3	3.0	3.7	4.5	5.4	6.4	8.5					
10	0.8	1.4	2.0	2.7	3.4	4.2	5.1	6.3	7.1	9.4					
13	1.1	1.7	2.4	3.2	4.1	5.0	6.0	7.0	8.2	10.7					
16	1.3	2.0	2.8	3.7	4.7	5.7	6.8	8.0	9.3	12.0					
20	1.6	2.5	3.4	4.4	5.5	6.7	8.0	9.3	10.7	13.7					
25	—	3.0	4.1	5.4	6.6	8.0	9.4	10.9	12.5	15.8					
30	—	3.5	4.9	6.2	7.7	9.2	10.8	12.5	14.2	17.9					
35	—	4.1	5.6	7.1	8.8	10.5	12.3	14.1	16.0	20.1					
38	—	4.4	6.0	7.6	9.4	11.2	13.1	15.1	17.1	21.4					
40	—	4.6	6.3	8.0	9.8	11.7	13.7	15.7	17.8	22.2					
45	—	5.1	7.0	8.9	10.9	13.0	15.1	17.3	19.6	24.3					
50	—	5.7	7.7	9.8	12.0	14.2	16.5	18.9	21.4	26.5					
55	—	—	8.4	10.7	13.1	15.5	18.0	20.5	23.1	28.6					
60	—	—	9.1	11.6	14.1	16.7	19.4	22.1	24.9	30.8					
65	—	—	9.8	12.4	15.2	18.8	20.8	24.6	26.9	32.9					
70	—	—	10.5	13.3	16.2	19.1	22.2	25.3	28.5	35.0					
75	—	—	11.3	14.2	17.3	20.4	23.6	27.1	30.3	37.2					
80	—	—	12.0	15.1	18.3	21.7	26.0	28.5	32.0	39.3					
90	—	—	13.4	16.9	20.5	24.2	27.9	31.8	35.6	43.6					
100	—	—	14.8	18.7	22.6	26.7	30.8	35.0	39.2	47.9					
110	—	—	—	20.5	24.8	29.2	33.6	38.2	42.7	52.1					
125	—	—	—	—	28.0	32.9	37.9	42.9	48.1	58.6					
150	—	—	—	—	33.3	39.1	45.0	50.9	57.1	69.8					
180	—	—	—	—	—	—	53.6	60.5	67.7	82.2					
200	—	—	—	—	—	—	59.3	67.0	74.8	90.7					
230	—	—	—	—	—	—	67.8	76.5	85.5	103.5					

## 3.3 铝及铝合金加工产品

变形铝及铝合金的化学成分 (摘自 GB/T 3190—1996)

表 3-2-31

类别	牌号	主要化学成分(质量分数)/%										应用举例
		Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn	Cr	Ni	Al		
工业纯铝	1060(L2)	0.25	0.35	0.05	0.03	0.03	0.05	—	—	—	99.60	塑性高、焊接性好、强度低、耐腐蚀性高,但切削加工性差,使用温度为150℃。用于制作贮槽、塔、热交换器、防止污染及深冷设备
	1035(L4)	0.35	0.60	0.10	0.05	0.05	0.10	—	—	—	99.35	
防锈铝	5A02(LF2)	0.40	0.40	0.10	2.0~2.8	或Cr 0.15~0.4	—	—	—	—	余量	退火状态下塑性高、焊接性好、耐腐蚀性高、切削加工性差。5A02冷作硬化时切削加工性良好、疲劳极限高。用于制作焊接零件、管道、容器及其他中等载荷的零件和制品、深冷设备
	3A21(LF21)	0.60	0.70	0.20	0.05	1.0~1.6	0.10	—	—	—	余量	
硬铝	2A11(LY11)	0.70	0.70	3.8~4.8	0.4~0.8	0.4~0.8	0.30	—	—	—	余量	退火和刚淬火状态下塑性中等、焊接性好、切削加工性在时效状态下良好,在退火状态下降低,耐腐蚀性中等。2A11制作中等强度的零件和构件、冲压的连接部件、铆钉、深冷设备中的螺栓、螺母等。2A12制作高载荷零件和构件,但不包括冲压件和锻件
	2A12(LY12)	0.50	0.50	3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	0.30	—	—	—	余量	
超硬铝	7A04(LC4)	0.50	0.50	1.4~2.0	1.8~2.8	0.2~0.6	5.0~7.0	0.1~0.25	—	—	余量	退火和刚淬火状态下塑性中等、强度高、切削加工性良好、耐腐蚀性中等、点焊性能良好、气焊性能不良。用于制作承力构件和高载荷零件,如飞机上的构件

注: 1. 对食品工业用铝及铝合金,其砷、镉、铅的含量均不应大于0.01%。

2. 作铆钉线材的3A21合金的含锌量不应大于0.03%。

3. 括号内为旧牌号。



铝及铝合金加工产品的力学性能

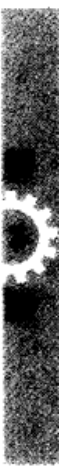
表 3-2-32

板、带材 (GB/T 3880.2—2006)										管 (GB/T 6893—2000)							棒 (GB/T 3191—1998)					
牌号	材料状态	厚度/mm	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}$ /%	牌号	材料状态	厚度/mm	$\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta$ /% (50mm)	牌号	材料状态	外径/mm	壁厚/mm	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%	牌号	材料状态	直径/mm	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%
1070	0	0.2~0.3	55~95	15	0	0.2~0.3	85~120	1060	15	2A11 (LY11)	T4	>22~50	≤1.5	≤245	—	10	7A04 (LC4)	H112 T6	≤22	490	370	7
		20		18		13																
		25		23		14																
		30		25		—																
		35		25		—																
	H14 H24	0.2~0.3	85~120	1	H12 或 H22	>22~50	≤1.5	≤245	—	12	2A11 (LY11)	T4	>22~50	≤1.5	—	—	12	2A11 (LY11)	≤150	370	215	12
		2		6				13														
		3		12				11														
		4		—				—														
		5		—				—														
5A03	0	0.2~0.3	195	1	H14 或 H24	0.2~0.3	1060	2A12 (LY12)	1	0	T4	≤22	≤2.0	≤410	255	13	1060	0	>22~150	345	—	4
		2		2										—								
		3		4										—								
		4		6										—								
		6		10										—								
	H18	0.2~0.3	120	1	H16 或 H26	0.2~0.3	1060	5A02 (LF2)	2	—	0	所有尺寸	所有尺寸	≤225	—	—	—	—	≤150	60~95	15	22
		2		2												—						
		3		4												—						
		4		6												—						
		6		10												—						
H112	0.2~0.3	175	16	H12	0.2~0.5	5052	3A21 (LF21)	4	—	0	所有尺寸	其他尺寸	195	—	—	—	—	≤135	90	30	22	
	8		2												—							
	16		3												—							
	13		5												—							
	—		6~8												—							

续表

板、带材 (GB/T 3880.2—2006)										管 (GB/T 6893—2000)						棒 (GB/T 3191—1998)																								
牌号	材料状态	厚度/mm	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}$ /%	牌号	材料状态	厚度/mm	$\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta$ /% (50mm)	牌号	材料状态	外径/mm	壁厚/mm	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%	牌号	材料状态	直径/mm	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%																		
3005	H14	0.2~0.5	170~215	1	5052	H14	0.2~0.5	230~280	3	0	H14	所有尺寸	60~95	—	—	—	—	3A21 (LF21)	0	≤165	—	20																		
		0.5~1.5		3																																				
		1.5~3.0		2			1035 (L4)		95														—	—	5A02 (LF2)	≤225	—	10												
		3.0~6.0		3			1050A		—														—	—	—	—	—	—												
H16	0.2~0.5	195~240	1	H22	H22	0.2~0.5	210~260	6	H14	H14	所有尺寸	95	—	—	—	—	5A03 (LF3)	0	175	80	13																			
	0.5~1.5		2			(L3)		—														—	—	—	—	—	—													
	1.5~4.0		2			1050		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	0.2~0.5		4			—		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
H18	0.2~0.5	220	1	H24	H24	0.2~0.5	230~280	5	H14	H14	所有尺寸	60~95	—	—	—	—	5A05 (LF5)	H112	265	120	15																			
	0.5~1.5		2			1060		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	1.5~3.0		2			(12)		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.2~0.5		5			1070A		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H22	0.2~0.5	145~195	5	H26	H26	0.2~0.5	250~300	4	H14	H14	所有尺寸	85	—	—	—	—	5A06 (LF6)	0	315	155	15																			
	0.5~1.5		5			(L1)		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	1.5~3.0		6			1070		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3.0~6.0		7			—		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H24	0.2~0.5	170~215	4	H38	H38	0.2~0.5	270	3	H14	H14	所有尺寸	75~110	—	—	—	—	5A12 (LF12)	H112	175	70	20																			
	0.5~1.5		4			1100 (L5-1)		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	1.5~3.0		4			1200		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3.0~6.0		7			—		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H24	0.2~0.5	170~215	4	H112	H112	6.0~12.5	190	7	H14	H14	所有尺寸	110	—	—	—	—	5052	H112	175	70	—																			
	0.5~1.5		4			1200		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	1.5~3.0		4			(L5)		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3.0~6.0		4			—		—														—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：1. 材料状态代号意义见表 3-2-6。  
 2. 管材的外形尺寸及允许偏差应符合 GB/T 4436 中普通级的规定。  
 3. 括号内为旧牌号。



## 工业用铝及铝合金热挤压型材的室温纵向力学性能 (摘自 GB/T 6892—2006)

表 3-2-33

牌号	状态	壁厚/mm	抗拉强度 $R_m$ /MPa	规定非比例延伸 强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率/%	
					$A_{5.65}^{①}$	$A_{50mm}^{②}$
1050A	H112	—	60	20	25	23
1060	O	—	60 ~ 95	15	22	20
	H112	—	60	15	22	20
1100	O	—	75 ~ 105	20	22	20
	H112	—	75	20	22	20
1200	H112	—	75	25	20	18
1350	H112	—	60	—	25	23
2A11	O	—	≤245	—	12	10
	T4	≤10	335	190	—	10
		>10 ~ 20	335	200	10	8
		>20	365	210	10	—
2A12	O	—	≤245	—	12	10
	T4	≤5	390	295	—	8
		>5 ~ 10	410	295	—	8
		>10 ~ 20	420	305	10	8
		>20	440	315	10	—
2017	O	≤3.2	≤220	≤140	—	11
		>3.2 ~ 12	≤225	≤145	—	11
	T4	—	390	245	15	13
2017A	T4 T4510 T4511	≤30	380	260	10	8
2024	O	—	≤250	≤150	12	10
	T3 T3510 T3511	≤15	395	290	8	6
		>15 ~ 50	420	290	8	—
	T8 T8510 T8511	≤50	455	380	5	4
3A21	O H112	—	≤185	—	16	14
3003 3103	H112	—	95	35	25	20
5A02	O H112	—	≤245	—	12	10
5A03	O H112	—	180	80	12	10
5A05	O H112	—	255	130	15	13
5A06	O H112	—	315	160	15	13

续表

牌号	状态	壁厚/mm	抗拉强度 $R_m$ /MPa	规定非比例延伸 强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率/%		
					$A_{5.65}$ ①	$A_{50mm}$ ②	
≥							
5005 5005A	H112	—	100	40	18	16	
5052	H112	—	170	70	15	13	
6A02	T4	—	180	—	12	10	
	T6	—	295	230	10	8	
6005 6005A	T4	≤25	180	90	15	13	
	T5	≤6.3	260	215	—	7	
	T6	实心型材	≤5	270	225	—	6
			>5 ~ 10	260	215	—	6
			>10 ~ 25	250	200	8	6
	T6	空心型材	≤5	255	215	—	6
			>5 ~ 15	250	200	8	6
	6060	T4	≤25	120	60	16	14
T5		≤5	160	120	—	6	
		>5 ~ 25	140	100	8	6	
T6		≤3	190	150	—	6	
	>3 ~ 25	170	140	8	6		
6061	T4	≤25	180	110	15	13	
	T5	≤16	240	205	9	7	
	T6	≤5	260	240	—	7	
		>5 ~ 25	260	240	10	8	
6063	T4	≤25	130	65	14	12	
	T5	≤3	175	130	—	6	
		>3 ~ 25	160	110	7	5	
	T6	≤10	215	170	—	6	
>10 ~ 25		195	160	8	6		
6063A	T4	≤25	150	90	12	10	
	T5	≤10	200	160	—	5	
		>10 ~ 25	190	150	6	4	
	T6	≤10	230	190	—	5	
>10 ~ 25		220	180	5	4		
6081	T6	≤25	275	240	8	6	
6082	O	—	≤160	≤110	14	12	
	T4	≤25	205	110	14	12	
	T5	≤5	270	230	—	6	
	T6	≤5	290	250	—	6	
>5 ~ 25		310	260	10	8		

牌号	状态	壁厚/mm	抗拉强度 $R_m$ /MPa	规定非比例延伸 强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率/%	
					$A_{5.65}$ ①	$A_{50mm}$ ②
7075	T6	≤25	530	460	6	4
	T6510 T6511	>25 ~ 60	540	470	6	—
	T73 T73510 T73511	≤25	485	420	7	5
	T76 T76510 T76511	≤6	510	440	—	5
		>6 ~ 50	515	450	6	5

①  $A_{5.65}$  表示原始标距 ( $L_0$ ) 为  $5.65 \sqrt{S_0}$  的断后伸长率。

② 壁厚不大于 1.6mm 的型材不要求伸长率, 如需方有要求, 则供需双方商定, 并在合同中注明。

### 铝合金板材理论质量 (摘自 GB/T 3194—1998)

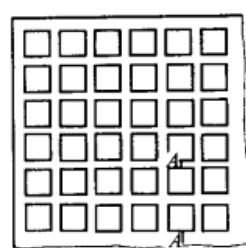
表 3-2-34

公称厚度/mm	质量/kg·m <sup>-2</sup>	公称厚度/mm	质量/kg·m <sup>-2</sup>	公称厚度/mm	质量/kg·m <sup>-2</sup>	公称厚度/mm	质量/kg·m <sup>-2</sup>
0.2	0.570	2.0	5.700	10	28.500	50	142.500
0.3	0.855	2.3	6.555	12	34.200	60	171.000
0.4	1.140	2.5	7.125	14	39.900	70	199.500
0.5	1.425	2.8	7.980	15	42.750	80	228.000
0.6	1.710	3.0	8.550	16	45.600	90	256.500
0.7	1.995	3.5	9.975	18	51.300	100	285.000
0.8	2.280	4.0	11.400	20	57.000	110	313.500
0.9	2.565	5.0	14.250	22	62.700	120	342.000
1.0	2.850	6.0	17.100	25	71.250	130	370.500
1.2	3.420	7.0	19.950	30	85.500	140	399.000
1.5	4.275	8.0	22.800	35	99.750	150	427.500
1.8	5.130	9.0	25.650	40	114.000	160	456.000

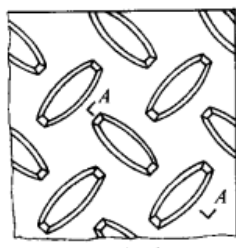
注: 表中质量是以 7A04 合金、密度为 2.85t/m<sup>3</sup> 板材为准, 其他牌号乘以下列换算系数。

牌 号	密度换算系数	牌 号	密度换算系数
1 × × × 系	0.951	5A05	0.930
2A14、2014、2A11	0.982	5A06、5A41	0.926
2A06	0.969	5005	0.947
2A12、2024	0.975	5086、5456、5254	0.933
2A16	0.996	5050、5454、5554	0.944
2017	0.979	6A02	0.947
3A21、3003	0.958	7A04、7A09、7075	1.000
3004	0.954	8A06	0.951
5A02、5A43、5052、5A66	0.940	LT62	0.951
5083、5A03	0.987	LF11	0.930

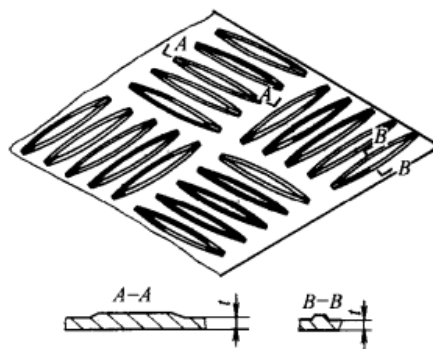
铝及铝合金花纹板 (摘自 GB/T 3618—2006)



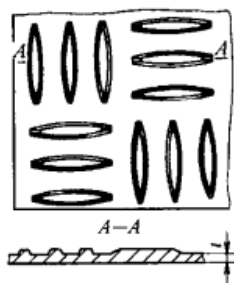
1号花纹板 (方格型)



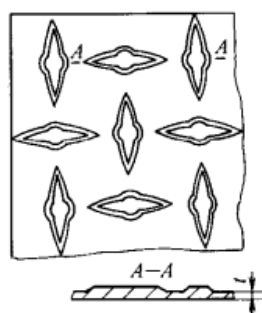
2号花纹板 (扁豆型)



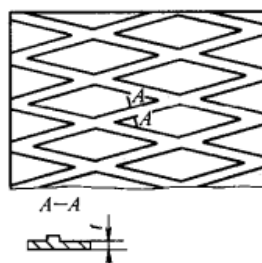
3号花纹板 (五条型)



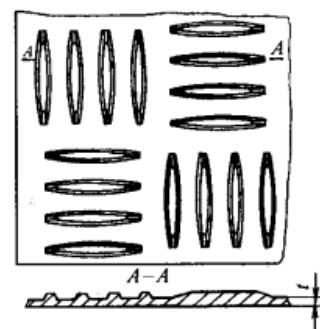
4号花纹板 (三条型)



5号花纹板 (指针型)



6号花纹板 (菱型)



7号花纹板 (四条型)

表 3-2-35

花纹代号	花纹图案	牌 号	状态	底板厚度	筋高	宽度	长度	备 注
				/mm				
1号	方格型	2A12	T4	1.0~3.0	1.0	1000~ 1600	2000~ 10000	① 要求其他合金、状态及规格时,应由供需双方协商并在合同中注明。 ② 新、旧牌号对照表及新状态代号说明见本标准附录A。 ③ 2A11、2A12合金花纹板双面可带有1A50合金包覆层,其每面包覆层平均厚度应不小于底板公称厚度的4%。
2号	扁豆型	2A11,5A02,5052	H234	2.0~4.0	1.0			
		3105,3003	H194					
3号	五条型	1×××,3003	H194	1.5~4.5	1.0			
		5A02,5052,3105,5A43,3003	O,H114					
4号	三条型	1×××,3003	H194	1.5~4.5	1.0			
		2A11,5A02,5052	H234					
5号	指针型	1×××	H194	1.5~4.5	1.0			
		5A02,5052,5A43	O,H114					
6号	菱型	2A11	H234	3.0~8.0	0.9			
7号	四条型	6061	O	2.0~4.0	1.0			
		5A02,5052	O,H234					

表 3-2-36

花纹板单位面积的理论质量

2A11 合金花纹板						2A12 合金花纹板		当花纹板花型不变,只改变牌号时,按该牌号的密度及比密度换算系数,换算该牌号花纹板单位面积的理论质量		
底板厚度 /mm	单位面积的理论质量/kg·m <sup>-2</sup>					底板厚度 /mm	1号花纹板单位面积的理论质量 /kg·m <sup>-2</sup>	牌号	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	比密度换算系数
	花纹代号									
	2号	3号	4号	6号	7号					
1.8	6.340	5.719	5.500	—	5.668	1.0	3.452	2A11	2.80	1.000
2.0	6.900	6.279	6.060	—	6.228	1.2	4.008	纯铝	2.71	0.968
2.5	8.300	7.679	7.460	—	7.628	1.5	4.842	2A12	2.78	0.993
3.0	9.700	9.079	8.860	—	9.028	1.8	5.676	3A21	2.73	0.975
3.5	11.100	10.479	10.260	—	10.428	2.0	6.232	3105	2.72	0.971
4.0	12.500	11.879	11.660	12.343	11.828	2.5	7.622	5A02、 5A43、 5052	2.68	0.957
4.5	—	—	—	13.743	—	3.0	9.012	6061	2.70	0.964
5.0	—	—	—	15.143	—					
6.0	—	—	—	17.943	—					
7.0	—	—	—	20.743	—					

常用冷拉铝及铝合金管规格 (摘自 GB/T 4436—1995)

表 3-2-37

公称外径 /mm	壁厚/mm										
	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
	质量/kg·m <sup>-1</sup>										
6	0.024	0.035	0.044								
8	0.033	0.048	0.062	0.086	0.106						
10	0.042	0.061	0.079	0.112	0.141	0.165					
12	0.051	0.074	0.097	0.139	0.176	0.209	0.238				
14	0.059	0.087	0.114	0.165	0.211	0.253	0.290				
18	0.077	0.114	0.150	0.218	0.281	0.341	0.396	0.446			
25	0.108	0.160	0.211	0.310	0.405	0.495	0.581	0.662	0.739	0.811	0.880
32		0.206	0.273	0.402	0.528	0.649	0.765	0.877	0.985	1.088	1.188
38		0.246	0.325	0.482	0.633	0.780	0.924	1.062	1.196	1.325	1.451
45		0.292	0.387	0.574	0.756	0.935	1.108	1.278	1.442	1.602	1.759
55		0.358	0.475	0.706	0.932	1.155	1.372	1.586	1.794	1.998	2.199
75				0.970	1.284	1.594	1.900	2.201	2.498	2.717	3.079
90					1.548	1.924	2.296	2.663	3.026	3.380	3.738
110						2.364	2.824	3.279	3.730	4.174	4.618
115							2.956	3.433	3.906	4.372	4.838
120								3.587	4.082	4.570	5.058

注: 1. 表中质量是以密度 2.81/m<sup>3</sup> 为准, 其他密度的合金需要进行修正。

2. 冷拉、轧圆管的供货长度为 1000~5500mm。

常用热挤压铝及铝合金管规格 (摘自 GB/T 4436—1995)

表 3-2-38

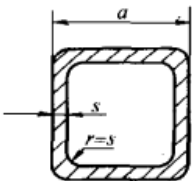
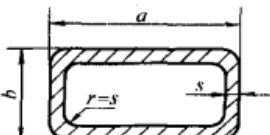
公称外径 /mm	壁厚/mm										
	6.0	7.0	7.5	8.0	9.0	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5
	质量/kg·m <sup>-1</sup>										
32	1.372	1.539	1.616	1.705							
38	1.688	1.908	2.011	2.110	2.295	2.462					
45	2.057	2.339	2.473	2.602	2.849	3.077	3.572	3.956			
55	2.585	2.954	3.132	3.306	3.640	3.956	4.670	5.275			
75	3.676	4.226	4.450	4.758	5.274	5.715	6.869	7.913	8.847	9.670	10.386
90			5.440			7.030	8.517	9.891	11.155	12.300	13.350
100			6.099			7.913	9.616	11.210	12.690	14.070	15.330

注：挤压圆管的定尺和不定尺长度范围为 300~5800mm。

铝及铝合金冷拉正方形、矩形管规格 (摘自 GB/T 4436—1995)

表 3-2-39

mm

图 例	公称边长 $a$	壁厚 $s$	公称边长 $a$	壁厚 $s$
	10	1.0~1.5	36	1.5~4.5
	12	1.0~1.5	40	1.5~4.5
	14	1.0~2.0	42	1.5~5.0
	16	1.0~2.0	45	1.5~5.0
	18	1.0~2.5	50	1.5~5.0
	20	1.0~2.5	55	2.0~5.0
	22	1.5~3.0	60	2.0~5.0
	25	1.5~3.0	65	2.0~5.0
	28	1.5~4.5	70	2.0~5.0
	32	1.5~4.5		
		14×10	1.0~2.0	32×25
16×12		1.0~2.0	36×20	1.0~5.0
18×10		1.0~2.0	36×28	1.0~5.0
18×14		1.0~2.5	40×25	1.5~5.0
20×12		1.0~2.5	40×30	1.5~5.0
22×14		1.0~2.5	45×30	1.5~5.0
25×15		1.0~3.0	50×30	1.5~5.0
28×16		1.0~3.0	55×40	1.5~5.0
28×22		1.0~4.0	60×40	2.0~5.0
32×18		1.0~4.0	70×50	2.0~5.0

注：1. 壁厚  $s$  尺寸系列为 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm, 3.0mm, 4.0mm, 4.5mm, 5.0mm。

2. 冷拉管的化学成分应符合 GB/T 3190—1996 的规定，材料牌号及力学性能应符合 GB/T 6893—2000 的规定。

3. 冷拉正方形管、矩形管供货长度为 1000~5500mm。



## 等边角铝型材

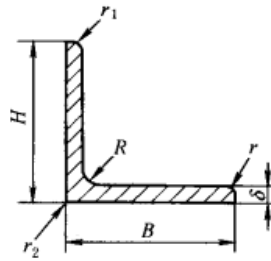


表 3-2-40

H = B		尺寸及公差/mm						F/cm <sup>2</sup>	G/kg·m <sup>-1</sup>	
		δ	R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>				
10	±0.35	2	±0.20	1.5	0.5	0.5	0.2	0.365	0.101	
12		1	+0.20 -0.10	1.5	0.5	0.5	0.2	0.234	0.065	
12	±0.45	2	±0.20	0.5	0.2	0.2	0.2	0.440	0.122	
12.5		1.6		1.6	0.8	0.8	0.2	0.377	0.105	
15		1	+0.20 -0.10	1.5	0.5	0.5	0.2	0.294	0.082	
15		1.2		2	0.6	0.6	0.2	0.353	0.098	
15		1.5	±0.20	2	0.75	0.75	0.2	0.434	0.121	
15		2		2	1	1	0.2	0.564	0.157	
15		3	±0.25	3	1.5	1.5	0.5	0.820	0.228	
16		±0.45	1.6	±0.20	1.6	0.2	0.2	0.2	0.492	0.137
16			2.4		3.2	1.2	1.2	0.2	0.726	0.202
18			1.5		2	0.75	0.75	0.2	0.524	0.146
18	2		2		1	1	0.2	0.684	0.190	
19	1.6		±0.25	1.6	0.8	0.8	0.2	0.585	0.163	
19	2.4			2.4	1.2	1.2	0.2	0.861	0.239	
19	3.2			3.2	1.6	1.6	0.5	1.125	0.313	
20	1		+0.20 -0.10	2	0.5	0.5	0.2	0.397	0.110	
20	1.2	2		0.6	0.6	0.2	0.473	0.131		
20	1.5	±0.20	2	0.75	0.75	0.2	0.584	0.162		
20	2		2	1	1	0.2	0.764	0.212		
20	3		±0.25	1	0.5	0.5	0.5	1.140	0.317	

续表

$H = B$		尺寸及公差/mm						$F/\text{cm}^2$	$G/\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	
		$\delta$		$R$	$r$	$r_1$	$r_2$			
20	$\pm 0.45$	4	$\pm 0.30$	4	0.2	0.2	0.2	1.475	0.410	
20.5		1.6	$\pm 0.20$	1.5	0.75	0.75	0.2	0.633	0.176	
23		2		4	0.2	0.2	0.2	0.880	0.245	
25		1.1	$+0.20$ $-0.10$	0.5	0.2	0.2	0.2	0.538	0.150	
25		1.2		2.5	0.6	0.6	0.2	0.597	0.166	
25		1.5	$\pm 0.20$	2	0.75	0.75	0.2	0.734	0.204	
25		1.5		2.5	0.75	0.75	4	0.710	0.197	
25		1.6		1.6	0.8	0.8	0.2	0.777	0.216	
25		2		2	1	1	0.2	0.964	0.268	
25		2.5		2	1.25	1.25	0.2	1.189	0.331	
25		3		$\pm 0.25$	2	1.2	1.2	0.5	1.410	0.392
25		3.2	3.2		1.6	1.6	0.5	1.509	0.420	
25		3.5	3		1.75	0.5	0.2	1.641	0.456	
25		4	$\pm 0.30$	4	2	2	0.5	1.857	0.516	
25		5		3	2.5	2.5	0.5	2.242	0.623	
25.4		$\pm 0.60$	1.2	$+0.20$ $-0.10$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.595	0.165
27			2	$\pm 0.20$	2	0.2	0.2	0.2	1.049	0.292
27			2		3	0.5	0.5	5	1.090	0.303
30	1.5		2		0.75	0.75	0.2	0.884	0.246	
30	2		2	1	1	0.2	1.164	0.324		
30	2.5		2.5	1.5	1.5	0.2	1.441	0.401		
30	3		$\pm 0.25$	3	1.5	1.5	0.2	1.720	0.478	
30	4		$\pm 0.30$	4	1.5	1.5	0.5	2.240	0.623	
32	2.4		$\pm 0.20$	3.2	1.2	1.2	0.2	1.494	0.415	
32	3.2		$\pm 0.25$	3.2	1.6	1.6	0.5	1.957	0.544	
32	3.5			3.5	1.75	1.75	0.5	2.131	0.592	
32	6.5		$\pm 0.35$	4	3.25	3.25	0.5	3.728	1.036	
35	3		$\pm 0.25$	1.5	1.5	1.5	0.5	2.005	0.557	
35	4		$\pm 0.30$	4	2	2	0.2	2.657	0.739	
38	2.4		$\pm 0.20$	2.4	1.2	1.2	0.2	1.773	0.493	
38.3	3.5		$\pm 0.25$	2.5	1.5	1.5	0.5	2.562	0.712	
38.3	5		$\pm 0.30$	4	2.5	2.5	0.5	3.590	0.998	

H = B		尺寸及公差/mm						F/cm <sup>2</sup>	G/kg · m <sup>-1</sup>		
		δ		R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>				
38.3	±0.60	6.3	±0.35	5	3	3	0.5	4.444	1.235		
40		2	±0.20	2	1	1	0.2	1.564	0.435		
40		2.5		2.5	1.25	1.25	0.2	1.944	0.540		
40		3	±0.25	3	1.5	1.5	0.5	2.320	0.645		
40		3.5		3	1.75	1.75	0.5	2.671	0.743		
40		3.5		3.5	1.5	1.5	0.5	2.694	0.749		
40		4	±0.30	4	2	2	0.5	3.057	0.850		
40		5		5	2.5	2.5	0.5	3.750	1.043		
45		4		4	2	2	0.5	3.457	0.961		
45		5		5	2.5	2.5	0.5	4.277	1.189		
50		±0.70	3	±0.25	3	1.5	1.5	0.5	2.920	0.812	
50			4	±0.30	4	2	2	0.5	3.857	1.072	
50			5		5	2.5	2.5	0.5	4.777	1.328	
50			6		5	3	3	0.5	5.655	1.572	
50			6.5	±0.35	6	3.25	3.25	0.5	6.110	1.699	
50			12		5	4	4	0.5	10.600	2.947	
60			±0.85	5	±0.30	5	2.5	2.5	0.5	5.777	1.606
60				6		5	3	3	0.5	6.855	1.906
75		7		±0.35	10	3	3	0.5	10.010	2.783	
75		8			3	1.5	1.5	0.5	11.360	3.158	
75	10	9			3	3	0.5	14.000	3.892		
80	±0.85	5	±0.30	0.5	2.5	2.5	0.5	7.750	2.155		
90		5		5	2.5	2.5	2	8.750	2.433		
90		8	±0.35	5	2	2	0.5	13.760	3.825		
90		10		5	3	3	0.5	17.000	4.726		
90		10		10	5	5	0.5	17.250	4.796		
100		10		0.5	0.5	0.5	0.5	19.000	5.282		

注：1. 型材材料牌号有2A11、2A12。

2. 型材的长度可按不定尺、定尺或倍尺供应，合同未注明时按不定尺供应。供应长度为1~6m，经供需双方协商可供应长度超过6m的型材。对倍尺供应的型材应加入锯切余量，每个锯口按5mm计算。定尺长度偏差应符合GB/T 14846的规定。

3. 型材的室温纵向力学性能应符合表3-2-33（GB/T 6892--2006）的规定。

## 不等边角铝型材

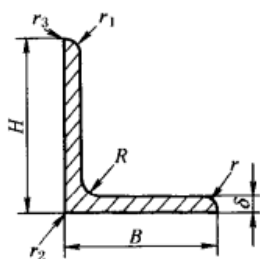


表 3-2-41

尺寸及公差/mm											F/cm <sup>2</sup>	G/kg·m <sup>-1</sup>
H	B		δ		R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>			
15	7	±0.35	1.5	±0.20	1.5	0.75	0.75	0.2	0.2	0.309	0.086	
15	8		1.5		2	0.2	0.75	0.2	0.2	0.323	0.090	
15	12		1.5		2	0.2	0.75	0.2	0.2	0.401	0.111	
16	13	±0.45	1.6	±0.30	1.6	0.8	0.8	0.2	0.2	0.441	0.123	
18	5	±0.30	2.5		2	0.5	0.5	0.2	0.2	0.513	0.143	
18	8	±0.35	4		0.5	2	0.5	0.5	0.5	0.880	0.245	
20	8	±0.45	1.5	±0.20	2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.400	0.111	
20	15		1.5		2	0.75	0.75	0.2	0.2	0.509	0.142	
20	15		2.0		2	1.0	1.0	0.2	0.2	0.614	0.171	
20	15	±0.45	3	±0.25	3	1.5	1.5	0.2	0.5	0.960	0.267	
20	18		2	±0.20	2	1	1	0.2	0.2	0.720	0.200	
20	18		1	+0.20 -0.10	2	0.5	0.5	0.2	0.2	0.377	0.105	
22	13	±0.45	5	±0.30	1	1	1	0.5	0.5	1.497	0.416	
25	15		1.5	±0.20	2.5	0.75	0.75	0.2	0.2	0.588	0.163	
25	19		1.8		1.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.766	0.213	
25	19	2.4	3.2		0.2	0.2	0.2	0.2	1.005	0.279		
25	20	±0.45	1.2	+0.20 -0.10	2	0.5	0.5	0.2	0.2	0.533	0.148	
25	20		1.5	±0.20	2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.661	0.184	
25	20		2.5		2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.071	0.298	
27	22	2.5	4		0.2	0.2	0.2	0.2	1.160	0.322		
27	22	±0.60	4	±0.30	3	2	2	0.5	0.5	1.802	0.501	
30	15		3	±0.25	2	1.5	1.5	0.5	0.5	1.260	0.350	
30	20		3		3	1.5	1.5	0.5	0.5	1.419	0.394	

H		B		尺寸及公差/mm							F/cm <sup>2</sup>	G/kg·m <sup>-1</sup>
				δ		R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>		
30	±0.60	20	±0.45	5	±0.30	3	0.5	0.5	0.5	0.5	2.250	0.626
30		24		3	±0.25	3	0.2	1.5	0.2	1.5	1.579	0.439
30		25		1.5	±0.20	3	0.75	0.75	0.2	0.2	0.819	0.228
30		25		2		2	0.2	1	0.2	1	1.069	0.297
30		25		2.5		2	0.2	1	0.2	1	1.332	0.370
30		25		3	±0.25	2	1.5	1.5	0.5	0.5	1.570	0.436
30		27	±0.60	2.5	±0.20	1.5	1.5	1.5	0.2	0.2	1.363	0.379
32		19	1.5	1.5		0.75	0.75	0.2	0.2	0.745	0.207	
32		19	2.4	2.4	1.2	1.2	0.2	0.2	1.173	0.326		
32		25	3.5	±0.25	3	0.5	0.5	0.2	0.5	1.870	0.520	
35		20	±0.45	2	±0.20	2	1.0	1.0	0.2	0.2	1.060	0.295
35		20	3	±0.25	0.5	1.2	1.2	0.5	0.5	1.560	0.434	
35		22	3.5		3.5	1.75	1.75	0.5	0.5	1.886	0.524	
35		25	4		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.240	0.623	
35		30	±0.60	4	±0.30	4	2	2	0.5	0.5	2.440	0.678
36		20	±0.45	1.6	±0.20	2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.879	0.244
36		23		2		2.4	0.2	1	0.2	1	1.152	0.320
36		25		2.5		2.5	0.2	0.2	0.2	0.2	1.465	0.407
38		16		2		2	1	1	0.2	0.2	1.044	0.290
38		19	1.5	2	0.75	0.75	0.2	0.2	0.839	0.233		
38		25	2.4	2.4	1.2	1.2	0.2	0.2	1.460	0.406		
38		25	3.2	±0.25	3	1.5	1.5	0.5	0.5	1.940	0.537	
38		32	3		3	1.5	1.5	0.5	0.5	2.020	0.562	
38		32	±0.60	5	±0.30	4	2.5	2.5	0.5	0.5	3.258	0.906
38		32	6.5	±0.35	4.5	3.25	3.25	0.5	0.5	4.127	1.147	
40		20	±0.45	3	±0.25	3.5	1.2	1.2	0.5	0.5	1.710	0.475
40		24		4	±0.30	4	0.5	0.2	0.2	0.2	2.435	0.677
40		25		3.5	±0.25	3	0.5	1.5	0.2	1.5	2.162	0.601
40	30	±0.60	4	±0.30	4	2	2	0.5	0.5	2.900	0.806	
40	30		5		5	1.7	1.7	0.5	0.5	3.250	0.904	
40	36		4		4	0.2	2	0.2	2	2.897	0.805	
40	36		5		5	2.5	2.5	0.5	0.5	3.550	0.987	

续表

尺寸及公差/mm											F/cm <sup>2</sup>	G/kg·m <sup>-1</sup>
H	B		δ		R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>			
43	±0.60	30	±0.60	2.5	±0.20	2.5	0.2	1	0.2	1	1.775	0.493
44		25		2		2.4	0.2	0.2	0.2	0.2	1.346	0.374
44		32	±0.45	4.8	±0.30	5	2	2	0.5	0.5	3.470	0.965
45		25		4		4	2	2	0.5	0.5	2.640	0.734
45		28	±0.60	2	±0.20	2.5	1	1	0.2	0.2	1.429	0.397
45		30		3	±0.25	3	1.5	1.5	0.5	0.5	2.160	0.600
45		30		3		4	2	2	3	0.5	2.160	0.600
45		30		4	±0.30	4	0.2	2	0.2	2	2.870	0.798
45		32		3	±0.25	4	1.5	1.5	2	0.5	2.220	0.617
45		38		6.5	±0.35	6	0.2	2	0.2	2	5.025	1.397
46		40	2.5	±0.20	2.5	0.2	0.5	0.2	0.5	2.151	0.598	
47		23	2.5		3	0.2	1.25	0.2	1.25	1.700	0.473	
48		20	2.5	±0.45	2.5	0.2	0.5	0.2	0.5	1.659	0.461	
48		25	3		±0.25	4	0.2	0.2	0.2	0.2	2.134	0.593
50		15	4	±0.30	5	1.5	1.5	0.2	0.2	2.500	0.695	
50		30	±0.60	3	±0.25	3	1.5	1.5	0.5	0.5	2.319	0.645
50		30		4	±0.30	3	1.5	1.5	2	0.5	3.040	0.845
50		35		3	±0.25	3	0.5	1.5	0.5	0.5	2.460	0.684
50		35		5	±0.30	5	2.5	2.5	0.5	0.5	3.750	1.043
54		25		4		4	2	2	0.5	0.5	3.017	0.839
55	25	2.5	±0.20	3	1.25	1.25	0.2	0.5	1.950	0.542		
56	42	±0.60	3.2	±0.25	5	0.5	0.5	0.2	0.5	3.077	0.855	
56	42		3.5		5	1.75	1.75	0.5	0.5	3.348	0.931	
57	38	6.5	±0.35	6	3.25	3.25	0.5	0.5	5.785	1.608		
58	40	2.5	±0.20	2.5	0.2	0.5	0.2	0.5	2.401	0.667		
60	±0.70	25	±0.45	3.2	±0.25	5	0.5	1.6	0.2	1.6	2.660	0.739
60		28		3		3	1.5	1.5	0.5	0.5	2.560	0.712
60		35	6	±0.30	5	3	3	0.5	0.5	5.340	1.485	
60		40	2.5	±0.20	2.5	0.2	0.5	0.2	0.5	2.451	0.681	
60		40	4	±0.30	4	2	2	0.5	0.2	3.860	1.073	
60		40	5		5	2.5	2.5	0.5	0.5	4.800	1.334	
60		45	3	±0.25	3	2.5	0.5	5	2.5	3.060	0.851	

H		尺寸及公差/mm									F/cm <sup>2</sup>	G/kg·m <sup>-1</sup>	
		B		δ		R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>			
60	±0.70	45	±0.60	5	±0.30	5	2.5	2.5	0.5	0.5	5.050	1.404	
63		25	±0.45	3.2	±0.25	5	0.5	0.5	0.2	0.5	2.756	0.766	
63		25		3.5		5	1.75	1.75	0.5	0.5	2.998	0.833	
63		30	±0.60	2.5	±0.20	2.5	0.2	0.5	0.2	0.5	2.276	0.633	
63		32		3.2	±0.25	5	0.5	0.5	0.2	0.5	2.980	0.828	
63		50		3		3	1.5	1.5	0.5	0.5	3.310	0.920	
65		22	±0.45	3		4	0.5	0.5	0.5	0.5	2.520	0.701	
65		45	±0.60	2.5	±0.20	2.5	0.2	1.25	0.2	1.25	2.701	0.751	
65		55	±0.70	5	±0.30	5	2.5	2.5	0.5	0.5	5.800	1.612	
70		25	±0.45	2	±0.20	2.5	1	1	0.2	0.2	1.870	0.520	
70		40	±0.60	5	±0.30	7	2.7	2.7	0.5	0.5	5.250	1.460	
74		25	±0.45	4.5		5	0.2	2	0.2	2	4.308	1.198	
75		30	±0.60	4		3	1.5	1.5	0.5	0.5	4.050	1.126	
75		30		5		5	2.5	2.5	0.5	0.5	5.027	1.398	
75		35		4.5		5	2	0.2	0.5	0.2	4.793	1.332	
75		45	2.5	±0.20		2.5	0.2	1.25	0.2	1.25	2.968	0.825	
75		50	4	±0.30		4	1	1	0.2	0.5	4.874	1.355	
75		50	5			5	2.5	2.5	0.5	0.5	6.027	1.676	
75		50	7	±0.60		±0.35	8	3.5	3.5	0.5	0.5	8.345	2.320
75		50	8				8	5	5	0.5	0.5	9.360	2.602
75	50	10	3		3		3	0.5	0.5	11.500	3.197		
75	50	12	5		4		4	0.5	0.5	13.600	3.781		
78	40		2.5	±0.20	2.5	0.2	0.5	0.2	0.5	2.901	0.806		
80	42		2.5		2.5	0.2	0.5	0.2	0.5	2.999	0.834		
85	45		2.5		2.5	0.2	1.25	0.2	1.25	3.118	0.867		
88	40		2.5		2.5	0.2	0.5	0.2	0.5	3.201	0.890		
90	24	±0.45	2.5		2.5	0.2	1.25	0.2	1.25	2.798	0.778		
90	36	±0.60	2.5		2.5	0.2	1	0.2	1	3.097	0.861		
90	41.5		2.5		2.5	0.2	0.5	0.2	0.5	3.238	0.900		
90	45		2.5		2.5	1.25	1.25	0.2	0.2	3.319	0.923		
100	40				5	±0.30	5	2.5	0.5	0.5	0.5	6.790	1.888
100	60	±0.70	5		±0.35	9	3	3	0.5	0.5	12.160	3.380	

续表

尺寸及公差/mm											F/cm <sup>2</sup>	G/kg·m <sup>-1</sup>
H	B		δ		R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>			
106	±1.20	70	±0.80	16	±0.50	8	0.5	0.5	0.5	0.5	25.740	7.156
113		74		8		4	1.5	1.5	0.5	0.5	14.320	3.981
120	±1.50	80	±1.50	8		12	3	3	0.5	0.5	15.360	4.270
160	+1.50 -1.20	32	±0.6	8	±0.40	3	1	0.5	1	0.5	14.740	4.098
220	+2.00 -1.50	28		8		3	1	0.5	1	0.5	19.220	5.343

注：见表 3-2-40 注。

## 槽 铝 型 材

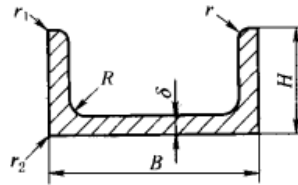


表 3-2-42

尺寸及公差/mm										F/cm <sup>2</sup>	G/kg·m <sup>-1</sup>		
B	H		δ		R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>					
13	±0.45	13	±0.45	1.6	±0.20	0.4	0.8	0.8	0.2	0.561	0.156		
13		34	±0.60	3.5	±0.25	0.5	0.5	0.5	0.2	2.588	0.719		
20		15	±0.45	1.3	+0.20 -0.10	2	1	0.2	0.2	0.620	0.172		
21		28	±0.60	4	±0.30	5	0.5	0.2	0.5	2.868	0.797		
25		13	±0.45	±0.45	2.4	±0.20	2.4	0.2	0.2	0.2	1.134	0.315	
25		15			2		0.75	0.2	0.2	0.795	0.221		
25		18			2		0.5	0.2	0.2	0.870	0.242		
25		18			2.5		1.5	0.2	0.2	1.140	0.317		
25		20			2.5	1.25	0.2	0.2	1.520	0.423			
25		20			4	±0.30	3.5	1.2	0.5	0.5	2.280	0.634	
25	25	5			0.5		0.5	0.5	0.5	3.250	0.904		
30	15	2			0.75		0.2	0.2	0.870	0.242			
30	±0.60	18			±0.45	1.5	±0.20	2	0.75	0.2	0.2	0.960	0.267
30		20				2		0.75	0.2	0.2	1.335	0.371	



尺寸及公差/mm										F/cm <sup>2</sup>	G/kg·m <sup>-1</sup>	
B	H		δ		R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>				
30	±0.60	22	±0.45	6	±0.30	3	0.5	0.5	0.5	3.760	1.045	
30		30	±0.60	1.5	+0.20 -0.10	2.5	0.2	1.5	1.5	1.350	0.375	
32		±0.45	25	±0.45	1.8	±0.20	2.5	0.5	0.2	0.2	1.437	0.399
32					2.5		0.5	0.2	0.2	1.925	0.535	
32.2		45	±0.60	3.6	±0.30	3	1.5	0.5	0.5	4.180	1.162	
35		20	±0.45	2.5	±0.20	2.5	1.25	0.2	0.2	1.770	0.492	
35		30	±0.60	2		2	1	0.2	0.2	1.833	0.510	
38		50		±0.60	5	±0.30	6	0.5	0.5	0.5	6.560	1.824
40		±0.45	18	±0.45	2	±0.20	2	1	0.2	0.2	1.453	0.404
40					2.5		2.5	1.25	0.2	0.2	1.795	0.499
40			18	±0.45	3	±0.25	3	1.5	0.5	0.5	2.129	0.592
40			21	±0.60	4	±0.30	4	1.2	0.5	0.5	2.960	0.823
40			25	±0.60	2	±0.20	2	1.25	0.2	0.2	1.730	0.481
40			25	±0.60	3	±0.25	3	1.5	0.5	0.5	2.549	0.709
40			30	±0.60	3.5		2	1.2	0.5	0.5	3.250	0.904
40			32	±0.60	3	±0.30	3	0.5	0.5	0.5	2.978	0.828
40			50	±0.60	4		3	0.5	0.5	0.5	5.280	1.468
45			20	±0.45	3	±0.25	2	0.5	0.5	4	2.370	0.659
45		40	±0.60	3	4		0.5	0.5	0.5	3.638	1.011	
46		25	±0.45	±0.45	5	±0.30	2.5	2.5	0.5	0.5	4.300	1.195
50	20	4			4		2	0.5	0.5	3.331	0.926	
50	30	±0.60	±0.60	2	±0.20	4	2	0.2	0.5	2.120	0.589	
50	30			4		4	2	0.5	0.5	4.131	1.148	
55	25	±0.45	5	±0.30	5	3	0.5	0.5	4.819	1.340		
55	30	±0.60	3		±0.25	3	1.5	0.5	0.5	3.299	0.917	
60	25	±0.45	4	±0.30	4	2	0.5	0.5	4.131	1.148		
60	35	±0.60	5		5	0.5	0.5	0.5	6.000	1.668		
60	40		4		5	0.5	0.5	9	4.480	1.245		
63	38.3		4.8		3.5	2	0.5	0.5	6.275	1.744		
64	38		4		5	4	0.5	0.5	5.300	1.473		
70	25		±0.45		3	±0.25	3	1.5	0.5	0.5	3.449	0.959
70	25			5	±0.30	5	2.5	0.5	0.5	5.500	1.529	

续表

尺寸及公差/mm										F/cm <sup>2</sup>	G/kg·m <sup>-1</sup>	
B	H		δ		R	r	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>				
70	±0.70	26	±0.60	3.2	±0.25	2	1.5	0.2	0.2	3.700	1.029	
70		30		4		4	2	0.5	0.5	4.931	1.371	
70		40		5		5	2.5	0.5	0.5	7.080	1.968	
75		45		5		5	2.5	0.5	0.5	7.831	2.177	
80	±0.85	30	±0.60	4.5	±0.30	5	0.2	0.2	0.5	6.010	1.671	
80		35		4.5		5	3	0.5	0.5	6.414	1.783	
80		35		6		5	1	1	1	8.280	2.302	
80		40		4		4	2	0.5	0.5	6.131	1.704	
80		40		6		6	1	1	1	8.900	2.474	
80		60	±0.70	4		6	0.5	0.5	10	7.480	2.079	
90		50	±0.60	6		0.5	0.5	0.5	0.5	10.680	2.969	
100		40		6		6	1	1	1	10.080	2.802	
100		48		6.3		±0.35	4	2	0.5	0.5	11.550	3.211
100		50		5		±0.30	5	2.5	0.5	0.5	9.580	2.663
128	±1.10	40		9	±0.35	2	2	2	2	17.100	2.754	

注：见表 3-2-40 注。

## 加工铝材牌号的特性及用途

表 3-2-43

组别	牌号	旧牌号	特性与用途
高纯铝	1A99、1A97、 1A93、1A90、 1A85	LG5、LG4、LG3、 LG2、LG1	工业用高纯铝，含铝量可高达 99.99%。主要用于科学研究、化学工业以及一些其他特殊用途，如生产各种电解电容器用箔材、抗酸容器等。产品有板、带、管、箔等
工业纯铝	1060、1050A、 1035、1200、 8A06、1A30、 1100	L2、L3、L4、L5、L6、 L4-1、L5-1	有高的可塑性、耐蚀性、导电性和导热性，但强度低、热处理不能强化，切削加工性不好；可气焊、氢原子焊和接触焊，不易钎焊，易承受各种压力加工和引伸、弯曲。用于不承受载荷但要求具有某种特性，如高塑性、高的耐蚀性或导电性、导热性的结构元件，如垫片、电容器、电子管隔离罩、电缆电线、线芯等。1A30 主要用于航天工业和兵器工业纯铝膜片等处的板材，1100 板材、带材适于制作各种深冲压制品
防锈铝	5A02、5A03	LF2、LF3	强度比 3A21 高，塑性与耐蚀性高，热处理不能强化，焊接性好（5A03 的焊接性优于 5A02），在冷作硬化状态下的切削性较好，退火态下切削性不良，可抛光。用于在液体下工作的中等强度的焊接件、冷冲压的零件和容器、骨架零件、焊条、铆钉等
	5056	LF5-1	属不可热处理强化铝合金，有一定的强度，耐蚀性、切削性良好。阳极化处理后表面美观，且电焊性好，可加工成光学机械部件、船舶部件及导线夹、自行车车架等结构件

组别	牌号	旧牌号	特 性 与 用 途
防锈铝	5A06	LF6	有较高的强度和耐蚀性,退火和挤压状态下塑性尚好,氩弧焊焊缝气密性和焊缝塑性尚可,气焊和点焊的焊接接头强度为基体强度的90%~95%,切削加工性良好。用于焊接容器、受力零件、飞机蒙皮及骨架零件
	5A05、5B05	LF5、LF10	为铝镁系防锈铝(5B05的含镁量稍高于5A05),强度与5A03相当,热处理不能强化;退火状态塑性高,半冷作硬化塑性中等;用氢原子焊、点焊、气焊、氩弧焊时焊接性能尚好。5A05用于制作在液体中工作的焊接零件、管道和容器以及其他零件,5B05主要用来制作铆钉,铆钉在退火并进行阳极化处理状态下铆入结构
	5A13	LF13	耐蚀性高,焊接性能好,导热性、导电性比纯铝低得多。可用冷变形加工进行强化而不能热处理强化。用于焊接结构件、焊条合金
	3A21	LF21	是应用最广的一种防锈铝。它的强度不高,不能热处理强化,在退火状态下有高的塑性,耐蚀性好,焊接性良好,切削加工性不良。用于要求高的可塑性和良好的焊接性、在液体或气体介质中工作的低载荷零件,如油箱、油管、液体容器;线材可制作铆钉
硬铝	2A01	LY1	为铆接铝合金结构用的主要铆钉材料。在淬火和自然时效后的强度较低,但有很高的塑性和良好的工艺性能,焊接性与2A11相同,切削性能尚可,耐蚀性不高。广泛用于中等强度和工作温度不高于100℃的结构用铆钉材料。铆钉在淬火和时效后进行铆接,在铆接中不受热处理后时间限制
	2A02	LY2	为耐热硬铝,且有较高的强度,热变形时塑性高,可热处理强化,在淬火及人工时效状态下使用。切削加工性良好,耐蚀性比2A70、2A80耐热锻铝好,在挤压半成品中,有形成粗晶环的倾向。用于工作温度为200~300℃的涡轮喷气发动机轴向压缩机叶片及其他在较高温度下工作的承力结构件
	2A04、 2B11、2B12	LY4、LY8、LY9	为铆钉用合金,其中2A04有较好的耐热性,可在125~250℃范围内使用,2B12的强度较高;其共同缺点是铆钉必须在淬火后一定时间内铆接,故工艺困难,应用范围受到限制(一般在刚淬后2~6h内铆接)。2B11用于制作中等强度的铆钉,2B12用于高强度铆钉时,必须在淬火后20min内使用
	2A10	LY10	铆钉用合金,有较高的剪切强度,铆接过程不受热处理时间的限制,这是它优于其他铆钉合金之处,但耐蚀性不高 代替2A01、2B11、2B12等用于制作要求较高强度的铆钉,工作温度不宜超过100℃
	2A11	LY11	是应用最早的一种标准硬铝,有中等强度,可热处理强化,在淬火和自然时效状态下使用,点焊性能良好,气焊及氩弧焊时有裂纹倾向,热态下可塑性尚好,切削加工性在淬火时效状态下尚好,耐蚀性不高。用于各种要求中等强度的零件和构件、冲压的连接部件、空气螺旋桨叶片、局部镦粗的零件(如螺栓、铆钉),用于铆钉应在淬火后2h内使用
	2A12	LY12	高强度硬铝,可热处理强化,在退火和刚淬火状态下塑性中等,点焊性能好,气焊和氩弧焊时有裂纹倾向,耐蚀性不高,切削加工性在淬火和冷作硬化后尚好、退火后低。用于各种要求高负荷的零件(但不包括冲压件和锻件),如飞机上的骨架零件、蒙皮,以及翼肋、铆钉等150℃以下工作的零件,常用包铝、阳极氧化及涂漆提高耐蚀性
	2A16、2A17	LY16、LY17	耐热硬铝,常温下强度不高而在高温下却有较高的蠕变强度,热态下塑性较高,可热处理强化。2A16点焊、滚焊及氩弧焊焊接性能良好,耐蚀性不高,切削加工性尚好,用于在250~350℃下工作的零件,如轴向压缩机叶片、圆盘;板材用于在常温或高温下工作的焊接件,如容器、气密船舱等。2A17不可焊接,用于要求高强度的锻件和冲压件

续表

组别	牌号	旧牌号	特 性 与 用 途
锻铝	6A02	LD2	中等强度,在热态和退火状态下可塑性高,易于锻造、冲压,在淬火和自然时效状态下具有与3A21一样好的耐蚀性,易于点焊和氢原子焊,气焊尚可,切削加工性在淬火时效后尚可。用于要求高塑性和高耐蚀性、中等载荷的零件以及形状复杂的锻件,如气冷式发动机曲轴箱、直升飞机桨叶
	6B02、6070	LD2-1、LD2-2	耐蚀性好,焊接性能良好。用于大型焊接结构、锻件及挤压件
	2A50	LD5	高强度锻铝,热态下有高的可塑性,易于锻造、冲压,可热处理强化;工艺性能较好,耐蚀性也较好,但有晶间腐蚀倾向;切削加工性和点焊、滚焊、接触焊性能良好,电焊、气焊性能不好。用于形状复杂和中等强度的锻件和冲压件
	2B50	LD6	在热压力加工时(自由锻、模锻、挤压、轧制)有很好的工艺性能,可进行点焊和滚焊,热处理后易产生应力腐蚀倾向和晶间腐蚀敏感性。用于复杂形状的和中等强度的锻造零件和模锻件,如压缩机的叶轮、飞机结构配件、发动机框架等
	2A70、 2A80、2A90	LD7、LD8、LD9	耐热锻铝,可热处理强化,点焊、滚焊和接触焊性能良好,电焊、气焊性能差,耐蚀性和切削加工性尚好;2A70的热强性和可塑性均较2A80稍高。用于内燃机活塞、压气机叶片、叶轮、圆盘以及其他在高温下工作的复杂锻件。2A90是较早应用的耐热锻铝,2A90正逐渐被2A70、2A80所代替
	2A14	LD10	高强度锻铝,热强性也较好,但在热态下的可塑性稍差;其他性能和2A50相同。用于高负荷和形状简单的锻件和模锻件
超硬铝	6061、6063	LD30、LD31	6061用于中等强度( $\sigma_b \geq 270$ MPa)、在 $-70 \sim +50^\circ\text{C}$ 范围内工作并要求在潮湿和海水介质中具有合格耐蚀性能的零件(如直升机螺旋桨叶、水上飞机轮箱) 6063用于对强度要求不高( $\sigma_b \geq 200$ MPa)、耐蚀性能好、有美观装饰表面、在 $-70 \sim +50^\circ\text{C}$ 工作的零件。可用来装饰飞机座舱,民用建筑中广泛用于窗框、门框、升降梯、家具等。合金经特殊机械热处理后,具有较高强度和高的导电性能,在电气工业方面得到广泛应用 6061、6063共同特点是中等强度,焊接性优良,耐蚀性及冷加工性好,是使用范围广,很有前途的合金
	7A03	LC3	超硬铝铆钉合金,可热处理强化,剪切强度较高,耐蚀性和切削加工性尚可,铆接时不受热处理时间的限制。用于受力结构的铆钉。当工作温度不高于 $125^\circ\text{C}$ 时可作为2A10铆钉合金的代用品
特殊铝	7A04、7A09	LC4、LC9	高强度铝合金,在退火和刚淬火状态下的可塑性中等,可热处理强化,通常在淬火、人工时效状态下使用。此时得到的强度比一般硬铝高得多,但塑性较低;有应力集中倾向,点焊性能良好,气焊不良;热处理后的切削加工性良好,退火状态稍差。7A09板材的静疲劳、缺口敏感、抗应力腐蚀性能稍优于7A04。用于承力构件和高载荷零件,如飞机上的大梁、桁条、加强框、蒙皮、翼肋、起落架零件等,通常多用以取代2A12。
	4A01	LT1	这是一种含硅量为5%的低合金化二元铝硅合金,其力学性能不高,但耐蚀性很高;压力加工性能良好。适用于制作焊条和焊棒,用于焊接铝合金制品

## 3.4 钛及钛合金加工产品

钛及钛合金板材规格 (摘自 GB/T 3621—1994)

表 3-2-44

mm

厚度	宽度	宽度允许偏差	长度	长度允许偏差
0.3~4.0	400~1000	+10 0	1000~3000	+15 0
>4.0~20.0	400~3000	+15 0	1000~4000	+30 0
>20.0~60.0	400~3000	+50 0	1000~4000	+50 0

注: 1. 板材厚度 (mm) 如下: 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, (1.5), 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.8, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0, 14.0, (15.0), 16.0, 18.0, 20.0, 22.5, 25.0, 28.0, 30.0, 32.0, 35.0, 38.0, 40.0, 42.0, 45.0, 48.0, 50.0, 53.0, 56.0, 60.0。

2. 钛合金的密度为  $4.4 \sim 4.6 \text{g/cm}^3$ 。厚度偏差见原标准。厚度大于 15mm 的板材, 需方同意时也可不切边交货。

3. 板材牌号见表 3-2-46。

钛及钛合金管规格 (摘自 GB/T 3624—1995)

表 3-2-45

牌号	供应状态	制造方法	外径/mm	壁厚/mm														
				0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	
TA0 TA1 TA2 TA9 TA10	退火 状态 (M)	冷轧(冷拔)	3~5	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			>5~10	—	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	
			>10~15	—	—	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	
			>15~20	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	
			>20~30	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	
			>30~40	—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	—	—	
			>40~50	—	—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	—	
			>50~60	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	—
			>60~80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○
		>80~110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	○	
		焊接	16	—	—	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	
			19	—	—	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	
			25,27	—	—	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	
			31,32,33	—	—	—	—	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	
			38	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	—	—	—	
			50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	
			63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	
		焊接-轧制	6~10	—	—	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	
			>10~15	—	—	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	
			>15~20	—	—	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	
			>20~30	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	

注: 1. ○表示可以生产的规格。

2. 产品长度如下。

mm

种类	无缝管		焊接管			焊接-轧制管	
	外径		壁厚			壁厚	
	≤15	>15	0.5~1.25	>1.25~2.0	>2.0~2.5	0.5~0.8	>0.8~2.0
不定尺长度	500~4000	500~9000	500~15000	500~6000	500~4000	500~8000	500~5000
管材的定尺或倍尺长度	应在其不定尺长度范围内。定尺长度的允许偏差为 +10mm, 倍尺长度还应计入管材切断时的切口量, 每个切口量为 5mm						

## 钛材的室温力学性能 (摘自 GB/T 3621—1994、GB/T 3624—1995)

表 3-2-46 钛及钛合金板材的横向室温力学性能 (摘自 GB/T 3621—1994)

牌号	状态	板材厚度 /mm	室温力学性能 $\geq$		
			抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%
TA0	M	0.3 ~ 2.0	280 ~ 420	$\geq 170$	45
		2.1 ~ 5.0			30
		5.1 ~ 10.0			30
TA1	M	0.3 ~ 2.0	370 ~ 530	250	40
		2.1 ~ 5.0			30
		5.1 ~ 10.0			30
TA2	M	0.3 ~ 1.0	440 ~ 620	320	35
		1.1 ~ 2.0			30
		2.1 ~ 5.0			25
		5.1 ~ 10.0			25
		10.1 ~ 25.0			20
TA3	M	0.3 ~ 1.0	540 ~ 720	410	30
		1.1 ~ 2.0			25
		2.1 ~ 5.0			20
		5.1 ~ 10.0			20
TA5	M	0.5 ~ 1.0	685	585	20
		1.1 ~ 2.0			15
		2.1 ~ 5.0			12
		5.1 ~ 10.0			12
TA6	M	0.8 ~ 1.5	685	—	20
		1.6 ~ 2.0			15
		2.1 ~ 5.0			12
		5.1 ~ 10.0			12
TA7	M	0.8 ~ 1.5	735 ~ 930	685	20
		1.6 ~ 2.0			15
		2.1 ~ 5.0			12
		5.1 ~ 10.0			12
TA9	M	0.8 ~ 2.0	370 ~ 530	250	30
		2.1 ~ 5.0			25
		5.1 ~ 10.0			25
TA10	M	2.0 ~ 5.0	485	345	20
		5.1 ~ 10.0			15
TB2	C	1.0 ~ 3.5	$\leq 980$	—	20
	CS		1320		8
TC1	M	0.5 ~ 1.0	590 ~ 735	—	25
		1.1 ~ 2.0			25
		2.1 ~ 5.0			20
		5.1 ~ 10.0			20
TC2	M	0.5 ~ 1.0	685	—	25
		1.1 ~ 2.0			15
		2.1 ~ 5.0			12
		5.1 ~ 10.0			12

牌号	状态	板材厚度 /mm	室温力学性能 $\geq$		
			抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%
TC3	M	0.8 ~ 2.0	880	—	12
		2.1 ~ 5.0			10
		5.1 ~ 10.0			10
TC4	M	0.8 ~ 2.0	895	830	12
		2.1 ~ 5.0			10
		5.1 ~ 10.0			10

注：“CS”表示“淬火和时效”状态；“C”表示“淬火状态”；“M”表示“退火状态”。

表 3-2-47 钛及钛合金管材的室温力学性能（摘自 GB/T 3624—1995）

牌 号	状 态	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ /MPa	伸长率 $\delta$ /% ( $L_0 = 50\text{mm}$ )
TA0	退火状态(M)	280 ~ 420	$\geq 170$	$\geq 24$
TA1		370 ~ 530	$\geq 250$	$\geq 20$
TA2		440 ~ 620	$\geq 320$	$\geq 18$
TA9		370 ~ 530	$\geq 250$	$\geq 20$
TA10		$\geq 440$	—	$\geq 18$

### 加工钛材的特性与用途

表 3-2-48

牌号	特性与用途
TA1 TA2 TA3	属工业纯钛,它们在许多天然和人工环境中具有良好的耐蚀性及较高的比强度,有较高的疲劳极限,通常在退火状态下使用,锻造性能类似低碳钢或 18-8 型不锈钢,可采用加工不锈钢的一些普通方法进行锻造、成形和焊接,可生产锻坯、板材、棒材、丝材等,可用于航空、医疗、化工等方面,如航空工业中用于排气管、防火墙、热空气管及受热蒙皮以及其他要求延展性、模锻及耐腐蚀的零件
TA4 TA5 TA6	属 $\alpha$ 型钛合金,不能热处理强化,通常在退火状态下使用,具有良好的热稳定性和热强性及优良的焊接性,主要作为焊丝材料
TA7	属 $\alpha$ 型钛合金,可焊,在 316 ~ 593℃ 下具有良好的抗氧化性、强度及高温稳定性,用于锻件及板材零件,如航空发动机压气机叶片、壳体及支架等
TB2	属 $\beta$ 型钛合金,淬火状态具有很好的塑性,可以冷成形,板材能连续生产,淬火时效后有很高的强度,可焊性好,在高的屈服强度下有高的断裂韧性,但热稳定性差,用于宇航工业结构件,如螺栓、铆钉、钣金件等
TC1 TC2 TC3 TC4 TC6 TC9 TC10	属 $\alpha + \beta$ 型钛合金,有较高的力学性能和优良的高温变形能力,能进行各种热加工,淬火时效后能大幅度提高强度,热稳定性较差 TC1、TC2 在退火状态下使用,可作低温材料使用,TC3、TC4 有良好的综合力学性能,组织稳定性高,被广泛用于火箭发动机外壳、航空发动机压气机盘、叶片、结构锻件、紧固件等 TC6 进一步提高了合金的热强性 TC9、TC10 具有较高的室温、高温力学性能,以及良好的热稳定性和塑性

注: 1. 钛中加入 Al、Sn 或 Zr 等  $\alpha$  稳定元素,其主要作用是固溶强化  $\alpha$  钛,此时钛合金称  $\alpha$  型钛合金。

2. 钛中加入 V、Mo、Mn、Fe、Cr 等  $\beta$  稳定元素,主要作用是使合金组织具有一定量的  $\beta$  相,使合金强化,此时钛合金称  $\beta$  型钛合金。

3. 合金中加入了  $\alpha$ 、 $\beta$  稳定元素,称 ( $\alpha + \beta$ ) 两相钛合金。

4. TA8、TC7 为 1994 年国标修订删除的牌号, TB1、TC5、TC8 为 1982 年制定国标时删除的牌号。

### 3.5 变形镁及镁合金

变形镁及镁合金牌号和化学成分 (摘自 GB/T 5153—2003)

表 3-2-49

合金组别	牌号	对应 ISO 3116 的数字牌号	化学成分(质量分数)/%													其他元素②				
			Mg	Al	Zn	Mn	Ce	Zr	Si	Fe	Ca	Cu	Ni	Ti	Be	单个	总计			
Mg	Mg99.95	—	≥99.95	≤0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.005	≤0.05	
	Mg99.50 <sup>①</sup>	—	≥99.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.50	
	Mg99.00 <sup>①</sup>	—	≥99.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤1.0	
MgAlZn	AZ31B	—	余量	2.5~3.5	0.60~1.40	0.20~1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.05	≤0.30	
	AZ31S	ISO-WD21150	余量	2.4~3.6	0.50~1.50	0.15~0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.05	≤0.30	
	AZ31T	ISO-WD21151	余量	2.4~3.6	0.50~1.50	0.05~0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.05	≤0.30	
	AZ40M	—	余量	3.0~4.0	0.20~0.80	0.15~0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.01	≤0.30	
	AZ41M	—	余量	3.7~4.7	0.80~1.40	0.30~0.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.01	≤0.30	
	AZ61A	—	余量	5.8~7.2	0.40~1.50	0.15~0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.30	
	AZ61M	—	余量	5.5~7.0	0.50~1.50	0.15~0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.30	
	AZ61S	ISO-WD21160	余量	5.5~6.5	0.50~1.50	0.15~0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.05	≤0.30
	AZ62M	—	余量	5.0~7.0	2.00~3.00	0.20~0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.30	
	AZ63B	—	余量	5.3~6.7	2.50~3.50	0.15~0.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.30	
	AZ80A	—	余量	7.8~9.2	0.20~0.80	0.12~0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.30	
	AZ80M	—	余量	7.8~9.2	0.20~0.80	0.15~0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.30	
	AZ80S	ISO-WD21170	余量	7.8~9.2	0.20~0.80	0.12~0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.05	≤0.30
	AZ91D	—	余量	8.5~9.5	0.45~0.90	0.17~0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.005~0.003	—
	MgMn	M1C	—	余量	≤0.01	—	0.50~1.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.05
M2M		—	余量	≤0.20	≤0.30	1.30~2.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.01	≤0.20
M2S		ISO-WD43150	余量	—	—	1.20~2.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.05	≤0.30
MgZnZr	ZK61M	—	余量	≤0.05	5.00~6.00	≤0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.01	≤0.30
	ZK61S	ISO-WD32260	余量	—	4.80~6.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.01	≤0.30
MgMnRE	ME20M	—	余量	≤0.20	≤0.30	1.30~2.20	0.15~0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤0.05	≤0.30

① Mg99.50、Mg99.00 的含镁量(质量分数)=100%-(Fe+Si)含量(质量分数)-除 Fe、Si 之外的所有含量(质量分数)不小于 0.01% 的杂质元素的含量(质量分数)之和。  
 ② 其他元素指在本表表头中列出了元素符号,但在本表中却未规定极限数值含量的元素。  
 注:1. ISO 3116 中采用的数字牌号的表示方法见本标准附录 B。  
 2. 本标准适用于镁及镁合金加工产品(板、带、管、棒、型材等产品)及其所用的铸锭和板坯。





## 变形镁及镁合金牌号的命名规则 (摘自 GB/T 5153—2003)

纯镁牌号以 Mg 加数字的形式表示, Mg 后的数字表示 Mg 的质量分数。

镁合金牌号以英文字母加数字再加英文字母的形式表示。前面的英文字母是其最主要的合金组成元素代号 (元素代号符合表 3-2-50 的规定), 其后的数字表示其最主要的合金组成元素的大致含量。最后面的英文字母为标识代号, 用以标识各具体组成元素相异或元素含量有微小差别的不同合金。

表 3-2-50 元素名称与代号

元素代号	元素名称	元素代号	元素名称	元素代号	元素名称	元素代号	元素名称	元素代号	元素名称
A	铝	E	稀土	K	锆	P	铅	T	锡
B	铍	F	铁	L	锂	Q	银	W	镱
C	铜	G	钙	M	锰	R	铈	Y	铈
D	镉	H	钪	N	镍	S	硅	Z	锌

表 3-2-51 新、旧牌号对照

新牌号	旧牌号	新牌号	旧牌号	新牌号	旧牌号	新牌号	旧牌号
M2M	MB1	AZ61M	MB5	ME20M	MB8	Mg99.50	Mg1
AZ40M	MB2	AZ62M	MB6	ZK61M	MB15	Mg99.00	Mg2
AZ41M	MB3	AZ80M	MB7				

4 各国有色金属材料牌号近似对照<sup>[13,14]</sup>

表 3-2-52 铸造铜合金牌号近似对照

类别	中国	俄罗斯	美国	英国	法国	德国	日本	国际标准
	GB	ГОСТ	ASTM	BS	NF	DIN	JIS	ISO
锡青铜	ZQSn3-12-5	БРОЦС3-12-5					BC1	
	ZQSn3-7-5-1	БРОЦС3-7-5-1	C84400	LG1		G-CuSn2ZnPb (2.1098.01)		
	ZQSn5-5-5	БРОЦС5-5-5	C83600	LG2	CuPb5SnZn5	G-CuSn5ZnPb (2.1096.01)	BC6	CuPb5Sn5Zn
	ZQSn6-6-3	БРОЦС6-6-3	C83800	LG3	CuSn7Pb6Zn4	G-CuSn7ZnPb (2.1090.01)	BC7	
	ZQSn7-0.2			PB3			PBC1	
	ZQSn10-1	БРОФ10-1	C90700	PB1			PBC2	
	ZQSn10-2-1		C92700	LPB1				
	ZQSn10-2	БРОЦ10-2	C90500	G1	CuSn12	G-CuSn10Zn (2.1086.01)	BC3	CuSn10Zn2
	ZQSn10-5			LB2		G-CuPb5Sn (2.1170.01)	LBC2	

续表

类别	中国	俄罗斯	美国	英国	法国	德国	日本	国际标准
	GB	ГОСТ	ASTM	BS	NF	DIN	JIS	ISO
铅青铜	ZQPb10-10	БРОС10-10	C93700		CuPb10Sn10	G-CuPb10Sn (2.1176.01)	LBC3	CuPb10Sn10
	ZQPb12-8	БРОС8-12	C94400	LB1		G-CuPb15Sn (2.1182.01)	LBC4	
	ZQPb17-4-4	БРОЦС4-4-17	C94410			G-CuPb20Sn (2.1188.01)		
	ZQPb24-2	БРОС2-24			CuPb20Sn5	G-CuPb22Sn (2.1166.09)		
	ZQPb25-5	БРОС5-25	C94300				LBC5	
	ZQPb30	БРС30						
铝青铜	ZQA19-2	БРАМЦ9-2Л						
	ZQA19-4	БРАЖ9-4Л	C95200	AB1		G-CuAl10Fe (2.0940.01)	AIBC1	CuAl9
	ZQA110-3-1.5	БРАЖМЦ10-3-1.5		AB1			AIBC2	
	ZQA14-8-3-2	(Heba-70)		CMA2				
	ZQA112-8-3-2	(Heba-60)	C95700	CMA1			AIBC4	
ZQA19-4-4-2	БРАЖНМЦ9-4-4-1	C95500	AB2		G-CuAl10Ni (2.0975.01)	AIBC3		
普通黄铜	ZH62			SCB4		G-CuZn38Al (2.0591.02)	YBSC1	
硅黄铜	ZHSi80-3-3	ЛКС80-3-3						
	ZHSi80-3	ЛКС80-3	C87400			G-CuZn15Si4 (2.0492.01)	SZBC1	
铅黄铜	ZHPb48-3-2-1							
	ZHPb59-1	ЛС59-1	C85700	PCB1	U-Z40-Y30	G-CuZn37Pb (2.0340.02)	YBSC3	CuZn40Pb
铝黄铜	ZHA166-6-3-2	ЛАЖМЦ66-6-3-2	C86300	HTB2				CuZn25Al6Fe3Mn3
	ZHA167-2.5	ЛА67-2.5						
铁黄铜	ZHFe67-5-2-2			HTB3		G-CuZn25Al5 (2.0598.01)	HBSC3	CuZn25Al6Fe3Mn3
	ZHFe59-1-1	ЛАЖ60-1-1Л	C86400					
锰黄铜	ZHMn55-3-1	ЛМЦЖ55-3-1	C86500	HTB1		G-CuZn35Al1 (2.0592.01)	HBSC2	CuZn35AlFeMn
	ZHMn58-2-2	ЛМЦС58-2-2						
	ZHMn58-2	ЛМЦ58-2Л						

注：括号内为旧牌号，下同。

表 3-2-53 铸造铝合金牌号近似对照

类别	中国		俄罗斯	美国				英国		法国		德国 (数字系统)	日本	国际标准
	GB	YB		HB	ГОСТ	ASTM UNS	ANSI AA	SAE	BS	BS/L	NF			
	ZL101	ZL11	HZL101	AJ9、AJ9B	A03560 A13560	356.0 A356.0	323		A-S7G	AS7G03	G-AISI7Mg (3.2371.61)	JIS	ISO	
	ZL102	ZL7	HZL102	AJ2	A14130	A413.0	305	LM20	A-S13		G-AISI12 (3.2581.01)	AC3A	AISI12	
	ZL103	ZL14		AJ3、AJ4B								AC2B		
	ZL104	ZL10	HZL104	AJ4、AJ4B	A03600 A13600	360.0 A360.0	309	LM9	A-S9G A-S10G	AS10G	G-AISI10Mg (3.2381.01)	AC4A	AISI9Mg AISI10Mg	
	ZL105	ZL13	HZL105	AJ5	A03550 C33550	355.0 C355.0	322	LM16			G-AISI5Cu	AC4D		
	ZL106			AJ14B	A03280 A03281	328.0 328.1	331	LM24			G-AISI8Cu3 (3.2151.01)	AC4B		
	ZL107			AJ16、AJ17A	A03190 A03191	319.0	326	LM4 LM21	A-S5UZ A-S903		G-AISI6Cu4 (3.2151.01)	AC2B		
	ZL108	Z18						LM2						
	ZL109	L19		AJ30	A03360 A03361	336.0 336.1		LM13	A-S12UN			AC8A	AISI2Cu	
	ZL110	ZL3		AJ10B				LM1			G-AISI(Cu)			
	ZL111			AJ14M	A03541 A03540	354.0								
	ZL201		HZL201	AJ19					A-U5GT	A-U5GT	G-AICu4TiMg (3.1371.61)		AICu4MgTi	
	ZL202	ZL1		高纯AJ19										
	ZL203	ZL2	HZL203	AJ12	A03600	A360.0	309		A-U8S				AICu8Si	
			HZL204	AJ17	A02950	295.0 B295.0	308	2L91 2L92	A-U5GT		G-AICu4Ti (3.1841.61)	AC1A	AICu4MgTi	
			HZL205											

铝 硅 合 金

铝 铜 合 金

续表

类别	中国			俄罗斯	美国			英国		法国		德国	日本	国际标准	
	GB	YB	HB		ГОСТ	ASTM UNS	ANSI AA	SAE	BS	BS/L	NF				AIR LA
铝镁合金	ZL301	ZL5	HZL301	AJ18	A05200 A05202	520.0 520.2	324 320	LM10 LM5	4L53			G-AIMg10 (3.3591.43)	AC7B		
	ZL302	ZL6		AJ22	A05140 A05141	514.0 514.1		L74		A-G6 A-G3T		G-AIMg5 (3.3561.01)	AC7A	AIMg6 AIMg3	
	ZL401	ZL15	HZL401	AJ13											
	ZL402			AJ24	A07120 A07122	712.2				A-Z5G					AlZn5Mg
				AJ11											
压铸铝	中国 JB			俄罗斯 ГОСТ	美国 SAE	美国 ASTM	英国 BS	法国 NF	德国 DIN(数字系统)	日本 JIS	国际标准 ISO				
	YZAISi12(Y102)				305	SI2A	LM6-M	A-S13	GD-AISi12 (3.2582.05)	ADC1	AlSi12Fe				
	YZAISi10Mg(Y104)				309	SG100A			GD-AISi10Mg (3.2382.05)	ADC3					
	YZAISi12Cu2(T108)														
	YZAISi9Cu4(Y112)														
	TZAlMg5Si1(Y302)				320	G4A	LM-5M	A-G3T	GD-AIMg5	ADC6	AlMg3Fe				
	YZAlZn11Si7(Y401)														
铝合金					324	G8A G10A	LM10-M LM5-M	A-G6 A-G11	GD-AIMg9 (3.3292.05) GD-AIMg10	ADC5	AlMg6Fe				
					304	S5C	LM18-M		GD-AISi5	ADC7	AlSi5Fe				
					308	SC84A	LM24-M		GD-AISi6Cu3	ADC10	AlSi8Cu3Fe				
					303	SC114A	LM2-M			ADC12					

铜及铜合金牌号近似对照

类别	中国		俄罗斯				美国			英国		法国		德国		日本	国际标准
	GB	YB	ГОСТ	ASTM	CDA	FS	SAE	BS	NF	AIR LA	DIN	数字系统	JIS	ISO			
铜	Cu-1 (99.90)		M0(99.95) M0Б(99.70)														
	Cu-2 (99.90)		M1(99.90)									2.0050					
	Cu-3 (99.70)		M2(99.70) Cu + Mg														
	Cu-4 (99.50)		M3(99.50) Cu + Mg														
纯铜	T2	T2	M1	C1100	110		CA110	C102		U6C Cu61	ECu-58 ECu-57	2.0090	C1100			Cu-ETP	
	T3	T3	M2					C104									
	T4	T4	M3							Cu99.5	C-Cu						
	TV1	TV1	M0Б	C10200	102		CA102	C103			OF-Cu	2.0040	C1020			Cu-OF	
无氧铜	TV0		M00Б	C10100	101			C110									
		TV2	M1Б														
	TVP1			C12000 C12100				C106			SW-Cu SF-Cu	2.0076 2.0090	C1201 C1220			Cu-DLP	
磷脱氧铜	TVP2		M1P	C12200	122		CA122									Cu-DHP	
	TVP3		M3P							Cu-b2 Cu-b1							
	TAg0.08		BPCP0.1	C13000 C12900	130			C101			CuAg0.1					Cu-FRTP	
含银纯铜	TAg0.3																
	H96	H96	Л96	C21000	210	210	CA210	CZ125									
	H90	H90	Л90	C22000 -	220	220	CA220	CZ101									
	H85	H85	Л85	C23000 C23030	230	230	CA230	CZ102									
普通黄铜																	

续表

类别	中国		俄罗斯		美国				英国		法国		德国		日本		国际标准
	GB	YB	ГОСТ		ASTM	CDA	FS	SAE	BS	NF	AIR LA	DIN	数字系统	JIS	ISO		
普通黄铜	H80	H80	Л80		C24000	240	240	CA240	CA103			CuZn20	2. 0250	C2400	CuZn20		
	H70	H70	Л70		C26000 C26100	260	260	CA260	CZ106 CZ126	CuZn30		CuZn30'	2. 0265	C2600	CuZn30		
	HAS68-0.05	H68A	ЛМЦ68-0.05														
	H68	H68	Л68		C26200						UZn33	CuZn33	2. 0280	C2680	CuZn33		
	H65	H65			C26800 C27000	268 270	268 270	CA268 CA270	CZ107			CuZn36	2. 0335	C2700			
	H63	H63	Л63		C27400 C27200	272 274	272 274		CZ108			CuZn37	2. 0321	C2720			
	H62	H62	Л62		C28000	280				CuZn40		CuZn40	2. 0360	C2800			
	H60	H59	Л60		C28000	280	280		CA109			CuZn40		C2801	CuZn40		
	HPb63-3	HPb63-3	ЛС63-3		C34500 C34700	345 347	345 347	CA345 CA347	CZ119 CZ124			CuZn36Pb1.5 CuZn36Pb3	2. 0331	C3560	CuZn35Pb2 CuZn36Pb3		
	HPb63-0.5				C34800							CuZn37Pb0.5	2. 0332				
铅黄铜	HPb63-0.1	HPb63-0.1	ЛС63-0.1		C34900							CuZn37Pb0.5	2. 0332				
	HPb62-0.8	HPb62F			C35000 C37000	371		CA371						C3501	CuZn36Pb1		
	HPb61-1	HPb61-1	ЛС60-1		C36500 C36700 C37000				CZ123			CuZn39Pb0.5	2. 0372	C3710	CuZn40Pb		
	HPb60-2	HPb60-2 HPb60-3	ЛС60-2		C36000				CZ120					C3713 C3604	CuZn38Pb2		
	HPb59-2	HPb59-1A	ЛС59-1B		C35300									C3771			
	HPb59-1	HPb59-1 HPb59-1B	ЛС59-1		C37800				CZ122	CuZn40Pb				C3710	CuZn39Pb2		
	HPb58-3	HPb59-3	ЛС59-3		C38000				CZ121					C3603	CuZn39Pb3		



续表

类别	中国		俄罗斯			美国			英国		法国		德国		日本		国际标准
	GB	YB	ГОСТ	ASTM	CDA	SAE	BS	NF	AIR LA	DIN	数字系统	JIS	ISO				
锡青铜	QSn4-3	QSn4-3	БРОЦ4-3														CuSnZn4
	QSn4-4-2.5	QSn4-4-2.5	БРОЦ4-4-2.5														
	QSn4-4-4	QSn4-4-4	БРОЦ4-4-4	C54400	544											C5441	
	QSn6.5-0.1	QSn6.5-0.1	БРОФ6.5-0.15		519		PB100										
	QSn6.5-0.4	QSn6.5-0.4	БРОФ6.5-0.4	C51900	519		PB103	CuSn6P		CuSn6	2.1020	C5191		CuSn6			
	QSn7-0.2	QSn7-0.2	БРОФ7-0.2 БРОФ8-0.3	C52100	521	CA521	PB104			CuSn8	2.1030	C5212		CuSn8			
	QSn4-0.3	QSn4-0.3	БРОФ4-0.25 БРОФ2-2.25	C51100	510 511	CA510	PB101			CuSn2	2.1010	C5101		CuSn4			
	QA15	QA15	БРА5	C60600 C60800			CA101	CuAl6		CuAl5	2.0916			CuAl5			
	QA17	QA17	БРА7	C61000			CA102			CuAl8	2.0920			CuAl8			
	QA19-2	QA19-2	БРАМЦ10-2 БРАМЦ9-2						UZ23A4	CuAl9Mn	2.0960			CuAl9Mn2			
QA19-4	QA19-4	БРАЖ9-4	C61900			CA103 CA106			CuAl18Fe CuAl10Fe	2.0930 2.0936			CuAl18Fe3 CuAl10Fe3				
QA110-3-1.5	QA110-3-1.5	БРАЖМЦ10-3-1.5							CuAl10Fe	2.0936	C6161 C6161						
QA110-4-4	QA110-4-4	БРАЖН10-4-4	C63000 C63200	630		CA104 CA105	CuAl9Ni5 -Fe3Mn	BOX4	CuAl10Ni	2.0966	C601		CuAl10 -Fe5Ni5				
QA111-6-6	QA111-6-6								CuAl11Ni	2.0978	C6280						
铍青铜	QBe2	QBe2	БРБ2	C17200 C17300					CuBe2	UBe2	2.1247	C1720		CuBe2			
	QBe1.9	QBe1.9	БРБНТ1-9	C17200	172	CA172			CuBe1.9								
	QBe1.7	QBe1.7	БРБНТ1-7	C17000	170	CA170	CB101	CuBe1.7	CuBe1.7	2.1245	2.0855 2.0857	C1700		CuBe1.7			
	QSi1-3	QSi1-3	БРБКН1-3	C64700			DTD498			CuNi2Si CuNi3Si				CuNi2Si			
QSi3-1	QSi3-1	БРБКМЦ3-1	C65500 C65800			CS101			CuSi3Mn	2.1525			CuSi3Mn1				

续表

类别	中国		俄罗斯		美国				英国		法国		德国		日本	国际标准
	GB	YB	ГОСТ	ГОСТ	ASTM	CDA	FS	SAE	BS	NF	AIR LA	DIN	数字系统	JIS	ISO	
锡黄铜	HSn90-1	HPb90-1	ЛО90-1	ГОСТ	C41300 C41100											
	HSn70-1	HPb70-1 HPb70-1A	ЛО70-1 ЛОМ70-1-0.05	ГОСТ	C44300	443			CZ111	CuZn29Sn1		CuZn28Sn1	2.0471	C4430	CuZn28Sn1	
	HSn62-1	HPb62-1	ЛО62-1	ГОСТ	C46200 C46420	462	462	CA462	CZ112					C4622 C4621	CuZn38Sn	
类别	中国	俄罗斯	美国	英国	法国	德国	日本	国际标准								
锡黄铜	GB	YB	ГОСТ	ГОСТ	ASTM	CDA	FS	SAE	BS	NF	DIN	数字系统	JIS	ISO		
	HSn61-0.5	HSn61-0.5A			C48200				CZ115							
	HSn60-1	HSn60-1	Л060-1		C46500 C46400	465 464	464	CA464	CZ113	CuZn38Sn1		CuZn39Sn	2.0530	C4640 C4641		
	HA177-2	HA177-2 HA177-2A	ЛA77-2 ЛAМЦ77-2-0.05		C68700	687			CZ110	CuZn22Al2		CuZn22Al	2.0460	C6870	CuZn20Al2	
	HA166-6-3-2	HA166-6-3-2			C67000	670										
	HA167-2.5	HA167-2.5														
铝黄铜	HA160-1-1	HA160-1-1	ЛAЖ60-1-1		C67800	678						CuZn37Al	2.0510	C6782		
	HA159-3-2	HA159-3-2	ЛAН59-3-2													
	HSi80-3	HSi80-3	ЛK80-3		C69400											
锰黄铜	HMn58-2	HMn58-2	ЛMЦ58-2		C67400							CuZn40Mn	2.0572			
	HMn57-3-1	HMn57-3-1	ЛMЦA57-3-1													
	HMn55-3-1	HMn55-3-1														
铁黄铜	HFе59-1-1	HFе59-1-1	ЛЖC58-1-1		C67820										CuZn39Al-FeMn	
	HFе58-1-1	HFе58-1-1							CZ114							





续表

类别	中国		美国			英国	法国	德国		日本	国际标准	
	GB	YB	ГОСТ	ASTM	CDA			SAE	BS			NF
锰青铜	QMn1.5	QMn1.5							CuMn2	2.1363		ISO
	QMn5	QMn5	ВРМЦ5						CuMn5	2.1366		
铜青铜	QCd1.0	QCd1.0	ВСКЦ1	C16200 C16201 C16500	162				CuCd1	2.1266		CuCd1
	QCr0.5	QCr0.5 QCr0.5-0.2-0.1	ВРХ1	C18100 C18200	185				CuCr	2.1291		CuCr1
铬青铜	QCr0.5-0.1			C18400 C18500	185				CuCr	2.1291		
	QZr0.2	QZr0.2		C15000	150							
铁青铜	QZr0.4											
	B10	B10										
普通白铜	B19	B19	МН19	C71000	710				CuNi10Fe1M			
	BFe10-1-1		МНЖМЦ10-1-1	C70600 C70610					CuNi20Fe	2.0878	C7100	CuNi20Mn1Fe
铁白铜	BFe30-1-1	BFe30-1-1	МНЖМЦ30-1-1	C71630 C71640	715	CA715			CuNi10Fe	2.0872	C7060	CuNi10Fe1Mn
	BMn13-12	BMn13-12	МНМЦ13-12						CuNi30Fe	2.0882	C7150	CuNi30Mn1Fe
锰白铜	BMn40-1-5	BMn40-1-5	МНМЦ40-1-5						CuMn12Ni			
	BMn43-0.5	BMn43-1.5	МНМЦ43-1.5						CuNi44	2.0842		CuNi44Mn1
锌白铜	BZn15-20	BZn15-20	МНЦ15-20	C75400	754				CuNi15Zn24 CuNi18Zn20	2.0730 2.0740	C7521	CuNi15Zn21
	BA113-1	BA113-3	МНЦ13-3									
铝白铜												

表 3-2-55

变形铝及铝合金牌号近似对照

中国 GB	国际牌号	ISO 牌号	欧洲 EN(ENAW -)		日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ
			数字型	化学元素符号型		
1A99	1199		1199	A199.99	1N99	AB000
1A90	1090		1090	A199.90	1N90	AB1
1080 1080A	1080 1080A	A199.8 A199.8(A)	1080A	A199.8(A)	A1080	
1070 1070A 1370	1070 1070A 1370	A199.7 E-A199.7	1070A 1370	A199.7 EA199.7	A1070	AB00
1060,1A60	1060	A199.6	1060	A199.6	A1060	
1050,1A50 1050A 1350	1050 1050A 1350	A199.5 E-A199.5	1050A 1350	A199.5 EA199.5	A1050	1011 (AД0) (AД0E)
1145,1A45	1145					
1035 1235,1A35	1035 1235		1235	A199.35		
1A30	1230					1013(AД1)
1200 1100	1200 1100	A199.0 A199.0Cu	1200 1100	A199.0 A199.0Cu	A1200 A1100	A2
2004	2004					
2A50,2B50	2050					
2011	2011	AlCu6BiPb	2011	AlCu6BiPb	A2011	
2014,2A14 2014A 2214	2014 2014A 2214	AlCu4SiMg AlCu4SiMg(A)	2014 2014A 2214	AlCu4SiMg AlCu4SiMg(A) AlCu4SiMg(B)	A2014	1380(AK8)
2017,2A11,2B11 2017A 2117,2A01	2017 2017A 2117	AlCu4MgSi AlCu4MgSi(A) AlCu2.5Mg	2017A 2117	AlCu4MgSi(A) AlCu2.5MgA	A2017 A2117	1100(Д1) 1111(Д1П)
2A21,2A90 2218 2618,2A70,2B70	2018 2218 2618	AlCu2MgNi	2618A	AlCu2Mg1.5Ni	A2018 A2218 A2618	1140(AK4)
2219 2A16,2B16,2A20	2219 2319	AlCu6Mn	2219 2319	AlCu6Mn AlCu6Mn(A)	A2219	
2024,2A12 2B12,2A06 2124 2A25	2024 2124 2524	AlCu4Mg1	2024 2124	AlCu4Mg1 AlCu4Mg1(A)	A2024	1160(Д16)  (Д16П)
3003,3A21 3103	3003 3103	AlMn1Cu AlMn1	3003 3103	AlMn1Cu AlMn1	A3003	1400(AMu)
3004 3104	3004 3104	AlMn1Mg1 AlMn1Mg1Cu	3004 3104	AlMn1Mg1 AlMn1Mg1Cu	A3004	
3005 3105	3005 3105	AlMn1Mg0.5 AlMn0.5Mg0.5	3005 3105	AlMn1Mg0.5 AlMn0.5Mg0.5	A3005 A3105	
4004	4004		4004	AlSi10Mg1.5		

中国 GB	国际牌号	ISO 牌号	欧洲 EN(ENAW -)		日本 JIS	俄罗斯 ГОСТ
			数字型	化学元素符号型		
4032, 4A11	4032		4032	AlSi12.5MgCuNi	A4032	
4043, 4A01 4A13	4043 4343	AlSi5	4043A 4343	AlSi5(A) AlSi7.5	A4043	
4047, 4A17 4047A	4047 4047A	AlSi12 AlSi12(A)	4047A	AlSi12(A)	A4047	
5005	5005	AlMg1(B)	5005	AlMg1(B)	A5005	(AMr1)
5019	5019	AlMg5	5019	AlMg5		1551(AMr5Π)
5042	5042		5042	AlMg3.5Mn		
5050	5050	AlMg1.5(C)	5050	AlMg1.5(C)		
5A66 5251	5051A 5251	AlMg2	5051A 5251	AlMg2(B) AlMg2		1520(AMr2)
5052, 5A02	5052	AlMg2.5	5052	AlMg2.5	A5052	
5154, 5A03 5154A 5454 5554 5754	5154 5154A 5454 5554 5754	AlMg3.5 AlMg3.5(A) AlMg3Mn AlMg3Mn(A) AlMg3	5154A 5454 5554 5754	AlMg3.5(A) AlMg3Mn AlMg3Mn(A) AlMg3	A5154 A5454	1530(AMr3)
5056 5456, 5A05, 5B05 5A30	5056 5456 5556	AlMg5Cr AlMg5Mn1	5056A 5456A 5556A	AlMg5 AlMg5Mn1(A) AlMg5Mn	A5056	1550(AMr5)
5A43	5357					
5082 5182	5082 5182		5082 5182	AlMg4.5 AlMg4.5Mn0.4	A5082 A5182	
5083 5183	5083 5183	AlMg4.5Mn0.7 AlMg4.5Mn0.7(A)	5083 5183	AlMg4.5Mn0.7 AlMg4.5Mn0.7(A)	A5083	1540(AMr4.5)
5086	5086	AlMg4	5086	AlMg4	A5086	
6101 6101A	6101 6101A	E-AlMgSi E-AlMgSi(A)	6101 6101A	EAlMgSi EAlMgSi(A)		
6005 6005A	6005 6005A	AlSiMg AlSiMg(A)	6005 6005A	AlSiMg AlSiMg(A)		
6A10	6110A					
6A02, 6B02 6351	6151 6351	AlSiMg0.5Mn	6351	AlSiMg0.5Mn	A6151	1340(AB)
6060	6060	AlMgSi	6060	AlMgSi		
6061	6061	AlMg1SiCu	6061	AlMgSiCu	A6061	1330(AD33)
6063 6063A	6063 6063A	AlMg0.7Si AlMg0.7Si(A)	6063 6063A	AlMg0.7Si AlMg0.7Si(A)	A6063	1310(AD31)
6070	6070					
6181	6181	AlSi1Mg0.8	6181	AlSi1Mg0.8		
6082	6082	AlSi1MgMn	6082	AlSi1MgMn		(AD35)
7003	7003		7003	AlZn6Mg0.8Zr		



表 3-2-57

锌及锌合金牌号近似对照

类别	中国	俄罗斯	美国			英国	法国	德国	日本
	GB	ГОСТ	FS	SAE	ASTM UNS	BS	NF	DIN	JIS
纯 锌	Zn-01 (99.995)	ЦВОО(99.997) ЦВО(99.995)			特别高级 (99.990)		Z9(99.995)	Zn99.995	最纯锌锭 (99.995)
	Zn-1 (99.99)	ЦВ1(99.992) ЦВ(99.990)			高级(99.90)	Zn1(99.99)		Zn99.99	特种锌锭 (99.99)
	Zn-2 (99.96)	ЦВ1(99.95)				Zn2(99.95)	Z8(99.95)	Zn99.95	普通 99.97
	Zn-4 (99.50)				中级(99.50)	Zn3(99.50)	Z7(99.50)	Zn99.50	蒸馏锌锭特种 (99.60)
					低级(99.50)		Z5(98.00)		蒸馏 2 种 (98.60)
	Zn-5 (98.70)	ЦВ2(98.70) ЦВ3(97.50)				Zn4(98.50)	Z6(98.50)	Zn99.5 Zn97.5	蒸馏 1 种 (98.5)
铸造 锌合金	ZZnAl10-5	ЦАМ10-5							
	ZZnAl9-1.5	ЦАМ9-1.5							
	ZZnAl4-1	ЦА4-1	AG41A	925	Z35530	B 种	Z-A4U1G	GD-ZnAl4Cu1	ZDC1
	ZZnAl4	ЦА4	AG40A	903	Z33520	A 种	Z-A4G	GD-ZnAl4	ZDC2

表 3-2-58

轴承合金牌号近似对照

类别	中国	俄罗斯	美国	英国	德国	日本
	GB	ГОСТ	ASTM	BS	DIN	JIS
锡基 轴承合金	ZChSnSb12-4-10(ZChSn1)					WJ4
	ZChSnSb11-6(ZChSn2)	Б83			BS3332/3	WJ3
	ZChSnSb8-4(ZChSn3)	Б89	锡系 No2, 锡系 No11		BS3332/1	LgSn89
	ZChSnSb4-4(ZChSn4)	Б91	锡系 No1		1 号	WJ1
	ZChSnSb12-3-10				BS3332/4	
铅锡 轴承合金	ZChPbSb16-16-2(ZChPb1)	Б16				
	ZChPbSb15-5-3(ZChPb2)	Б6				
	ZChPbSb15-10(ZChPb3)	Б7	铅系 No7, 铅系 No15		7 号 3332/7	WM10LgPbSn10
	ZChPbSb15-5(ZChPb4)	Б5			6 号 3332/7	WM5
	ZChPbSb10-6(ZChPb5)			铅系 No13		13 号

表 3-2-59

焊料牌号近似对照

类别	中国	俄罗斯	美国	英国	法国	德国	日本	国际标准
	GB	ГОСТ	ASTM	BS	NF	DIN	JIS	ISO
纯 锡	Sn-01 (99.95)		AA(99.95)					
	Sn-1 (99.90)	01		T1(99.90)	100E1		1 种 A(99.90) 1 种 B(99.90)	BSn100-232
	Sn-2 (99.75)		A(99.8), B(99.8)	T2(99.75)			2 种(99.80)	
	Sn-3 (99.56)	02	C(99.65), D(99.50)				3 种(99.50)	
	Sn-4 (99.00)		E(99.00)	T3(99.00)				
锡铅 焊料	HI SnPb10	ПОС90						
	HI SnPb39	ПОС61	60A, 60B	K	60E1	L-Sn60Pb	H60A	BSn60Pb183-190
	HI SnPb50	ПОС50	50A, 50B	F	50E1	L-Sn50Pb	H50A	BSn50Pb183-216
	HI SnPb58-2	ПОС40	40C	C	40E1	L-PbSn40	H40A	BPb60Sn183-240
	HI SnPb68-2	ПОС30	30C	D	30E1	L-PbSn30(Sb)	H30A	BPb70SnSb180-255

# 第 3 章 非金属材料

## 1 橡胶及其制品

### 1.1 常用橡胶品种、特点和用途<sup>[4]</sup>

表 3-3-1

品种 (代号)	组 成	特 点	主要用途
天然橡胶 (NR)	以橡胶烃(聚异戊二烯)为主,另含少量蛋白质、水分、树脂酸、糖类和无机盐等	弹性大、拉伸强度高、抗撕裂性和电绝缘性优良,耐磨性和耐寒性良好,加工性佳,易与其他材料粘合,在综合性能方面优于多数合成橡胶。缺点是耐氧及耐臭氧性差,容易老化变质;耐油和耐溶剂性不好,抵抗酸碱的腐蚀能力低;耐热性及热稳定性差	制作轮胎、减振制品、胶辊、胶鞋、胶管、胶带、电线电缆的绝缘层和护套以及其他通用制品
丁苯橡胶 (SBR)	丁二烯和苯乙烯的共聚体	性能接近天然橡胶,其特点是耐磨性、耐老化和耐热性超过天然橡胶,质地也较天然橡胶均匀。缺点是弹性较低,抗屈挠、抗撕裂性能较差;加工性能差,特别是自粘性差,生胶强度低	主要用于代替天然橡胶制作轮胎、胶板、胶管、胶鞋及其他通用制品
顺丁橡胶 (BR)	丁二烯聚合而成的顺式结构橡胶,全名为顺式1,4-聚丁二烯橡胶	结构与天然橡胶基本一致,它突出的优点是弹性与耐磨性优良,耐老化性佳,耐低温性优越,在动负荷下发热量小,易与金属粘合。缺点是强力较低,抗撕裂性差,加工性能与自粘性差	一般多和天然橡胶或丁苯橡胶混用,主要制作轮胎胎面、减振制品、输送带和特殊耐寒制品
异戊橡胶 (IR)	是以异戊二烯为单体,聚合而成的一种顺式结构橡胶	性能接近天然橡胶,故有合成天然橡胶之称。它具有天然橡胶的大部分优点,耐老化性优于天然橡胶,但弹性和强力比天然橡胶稍低,加工性能差,成本较高	制作轮胎、胶鞋、胶管、胶带以及其他通用制品
氯丁橡胶 (CR)	是以氯丁二烯为单体、乳液聚合而成的聚合体	具有优良的抗氧、抗臭氧性,不易燃,着火后能自熄,耐油、耐溶剂、耐酸碱以及耐老化、气密性好等特点;其物理力学性能亦不次于天然橡胶,故可作为通用橡胶,又可作为特种橡胶。主要缺点是耐寒性较差,密度较大,相对成本高,电绝缘性不好,加工时易粘辊、易焦烧及易粘模,此外生胶稳定性差,不易保存	主要用于制作要求抗臭氧、耐老化性高的重型电缆护套;耐油、耐化学腐蚀的胶管、胶带和化工设备衬里;耐燃的地下采矿用橡胶制品(如输送带、电缆包皮),以及各种垫圈、模型制品、密封圈、黏结剂等
丁基橡胶 (IIR)	异丁烯和少量异戊二烯或丁二烯的共聚体	最大特点是气密性小,耐臭氧、耐老化性能好,耐热性较高,长期工作温度为130℃以下;能耐无机强酸(如硫酸、硝酸等)和一般有机溶剂,吸振和阻尼特性良好,电绝缘性也非常好。缺点是弹性不好(是现有品种中最差的),加工性能、粘着性和耐油性差,硫化速度慢	主要用于内胎、水胎、气球、电线电缆绝缘层、化工设备衬里及防振制品、耐热输送带、耐热耐老化的胶布制品等
丁腈橡胶 (NBR)	丁二烯和丙烯腈的共聚体	耐汽油及脂肪烃油类的性能特别好,仅次于聚硫橡胶、丙烯酸酯橡胶和氟橡胶,而优于其他通用橡胶。耐热性好,气密性、耐磨性及耐水性等均较好,粘接力强。缺点是耐寒性及耐臭氧性较差,强力及弹性较低,耐酸性差,电绝缘性不好,耐极性溶剂性能也较差	主要用于制作各种耐油制品,如耐油的胶管、密封圈、贮油槽衬里等,也可用于制作耐热输送带
乙丙橡胶 (EPM)	乙烯和丙烯的共聚体,一般分为二元乙丙橡胶和三元乙丙橡胶两类	密度小、颜色最浅、成本较低的新品种,其特点是耐化学稳定性很好(仅不耐浓硝酸),耐臭氧、耐老化性能优异,电绝缘性能突出,耐热可达150℃左右,耐极性溶剂——酮、酯等,但不耐脂肪烃及芳香烃,容易着色,且色泽稳定。缺点是粘着性差,硫化缓慢	主要用于化工设备衬里、电线电缆包皮、蒸汽胶管、耐热输送带、汽车配件车辆密封条

续表

品种(代号)	组成	特点	主要用途
硅橡胶(SI)	含硅、氧原子的特种橡胶,其中起主要作用的是硅元素,故名硅橡胶	既耐高温(最高300℃),又耐低温(最低-100℃),是目前最好的耐寒、耐高温橡胶;同时电绝缘性优良,对热氧化和臭氧的稳定性很高,化学惰性大。缺点是机械强度较低,耐油、耐溶剂和耐酸碱性差,较难硫化,价格较贵	主要用于制作耐高、低温制品(如胶管、密封件等)及耐高温电线电缆绝缘层。由于其无毒无味,还用于食品及医疗工业
氟橡胶(FPM)	含氟单体共聚而得的有机弹性体	耐高温可达300℃,不怕酸碱,耐油性是耐油橡胶中最好的,抗辐射及高真空性优良;其他如电绝缘性、力学性能、耐化学药品腐蚀、耐臭氧、耐大气老化作用等都很好,是性能全面的特种合成橡胶。缺点是加工性差,价格昂贵,耐寒性差,弹性和透气性较低	主要用于耐真空、耐高温、耐化学腐蚀的密封材料、胶管及化工设备衬里
聚氨酯橡胶(UR)	聚酯(或聚醚)与二异氰酸酯类化合物聚合而成	耐磨性能高,强度高,弹性好,耐油性优良;其他如耐臭氧、耐老化、气密性等也都很好。缺点是耐热性能较差,耐水和耐酸碱性不好,耐芳香族、氯化烃及酮、酯、醇类等溶剂性较差	用于轮胎及耐油、耐苯零件,垫圈、防振制品等,以及其他需要高耐磨、高强度和耐油的场合,如胶辊、齿形同步带、实心轮胎等
聚丙烯酸酯橡胶(AR)	丙烯酸酯与丙烯腈乳液共聚而成	良好的耐热、耐油性能,可在180℃以下热油中使用;且耐老化、耐氧与臭氧、耐紫外光线,气密性也较好。缺点是耐寒性较差,在水中会膨胀,耐乙二醇及高芳香族类溶剂性能差,弹性和耐磨、电绝缘性差,加工性能不好	主要用于耐油、耐热、耐老化的制品,如密封件、耐热油软管、化工衬里等
氯磺化聚乙烯橡胶(CSM)	用氯和二氧化硫处理(即氯磺化)聚乙烯后再经硫化而成	耐臭氧及耐老化的性能优良,耐候性高于其他橡胶;不易燃,耐热、耐溶剂及耐大多数化学试剂和耐酸碱性也都较好;电绝缘性尚可,耐磨性与丁苯橡胶相似。缺点是抗撕裂性差,加工性能不好,价格较贵	用于制作臭氧发生器上的密封材料,耐油垫圈、电线电缆包皮以及耐腐蚀件和化工衬里
氯醚橡胶(CO)	环氧氯丙烷均聚或由环氧氯丙烷与环氧乙烷共聚而成	过去习惯称为氯醇橡胶,耐脂肪烃及氯化烃溶剂、耐碱、耐水、耐老化性能极好,耐臭氧性、耐候性及耐热性、气密性高,抗压缩变形性良好,粘着性也很好,容易加工,原料便宜易得。缺点是拉伸强度较低、弹性差、电绝缘性不良	制作胶管、密封件、薄膜和容器衬里、油箱、胶辊,是制作油封、水封的理想材料
氯化聚乙烯橡胶(CPE)	是乙烯、氯乙烯与二氯乙烯的三元聚合物	性能与氯磺化聚乙烯橡胶近似,其特点是流动性好,容易加工;有优良的耐大气老化性、耐臭氧性和耐电晕性,耐热、耐酸碱、耐油性良好。缺点是弹性差、压缩变形较大,电绝缘性较低	用于电线电缆护套、胶管、胶带、胶辊、化工衬里。与聚乙烯掺和可制作电线电缆绝缘层
聚硫橡胶(T)	脂肪族烃类或醚类的二卤衍生物(如三氯乙烷)与多硫化钠的缩聚物	耐油性突出,仅略逊于氟橡胶而优于丁腈橡胶,其次是化学稳定性也很好,能耐臭氧、日光、各种氧化剂、碱及弱酸等,不透水,透气性小。缺点是耐热、耐寒性不好,力学性能很差,压缩变形大,粘着性小,冷流现象严重	由于易燃烧、有催化性气味,故在工业上很少用于耐油制品,多用于制作密封腻子或油库覆盖层

## 1.2 橡胶的综合性能

### 通用橡胶的综合性能

表 3-3-2

项 目	天然橡胶	异戊橡胶	丁苯橡胶	顺丁橡胶	氯丁橡胶	丁基橡胶	丁腈橡胶
生胶密度/ $g \cdot cm^{-3}$	0.90~0.95	0.92~0.94	0.92~0.94	0.91~0.94	1.15~1.30	0.91~0.93	0.96~1.20
拉伸强度/MPa	未补强硫化胶	17~29	20~30	2~3	1~10	15~20	2~4
	补强硫化胶	25~35	20~30	15~20	18~25	25~27	15~30
伸长率/%	未补强硫化胶	650~900	800~1200	500~800	200~900	800~1000	650~850
	补强硫化胶	650~900	600~900	500~800	450~800	800~1000	650~800
200%定伸24h后永久变形/%	未补强硫化胶	3~5	—	5~10	—	18	2
	补强硫化胶	8~12	—	10~15	—	7.5	11

续表

项 目	天然橡胶	异戊橡胶	丁苯橡胶	顺丁橡胶	氯丁橡胶	丁基橡胶	丁腈橡胶	
回弹率/%	70~95	70~90	60~80	70~95	50~80	20~50	5~65	
永久压缩变形/% (100℃×70h)	+10~+50	+10~+50	+2~+20	+2~+10	+2~+40	+10~+40	+7~+20	
抗撕裂性	优	良~优	良	可~良	良~优	良	良	
耐磨性	优	优	优	优	良~优	可~良	优	
耐屈挠性	优	优	良	优	良~优	优	良	
耐冲击性能	优	优	优	良	良	良	可	
邵氏硬度/度	20~100	10~100	35~100	10~100	20~95	15~75	10~100	
热导率/W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	0.17	—	0.29	—	0.21	0.27	0.25	
最高使用温度/℃	100	100	120	120	150	170	170	
长期工作温度/℃	-55~+70	-55~+70	-45~+100	-70~+100	-40~+120	-40~+130	-10~+120	
脆化温度/℃	-55~-70	-55~-70	-30~-60	-73	-35~-42	-30~-55	-16.5~-80	
体积电阻率/Ω·cm	10 <sup>15</sup> ~10 <sup>17</sup>	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>16</sup>	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>16</sup>	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>15</sup>	
表面电阻率/Ω	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	—	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>14</sup>	—	10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>14</sup>	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>15</sup>	
相对介电常数/10 <sup>3</sup> Hz	2.3~3.0	2.37	2.9	—	7.5~9.0	2.1~2.4	13.0	
瞬时击穿强度/kV·mm <sup>-1</sup>	>20	—	>20	—	10~20	25~30	15~20	
介质损耗角正切/10 <sup>3</sup> Hz	0.0023~ 0.0030	—	0.0032	—	0.03	0.003	0.055	
耐溶剂性膨胀率/% (体积分数)	汽油	+80~+300	+80~+300	+75~+200	+75~+200	+10~+45	+150~+400	-5~+5
	苯	+200~+500	+200~+500	+150~+400	+150~+500	+100~+300	+30~+350	+50~+100
	丙酮	0~+10	0~+10	+10~+30	+10~+30	+15~+50	0~+10	+100~+300
	乙醇	-5~+5	-5~+5	-5~+10	-5~+10	+5~+20	-5~+5	+2~+12
耐矿物油	劣	劣	劣	劣	良	劣	可~优	
耐动植物油	次	次	可~良	次	良	优	优	
耐碱性	可~良	可~良	可~良	可~良	良	优	可~良	
耐酸性	强酸	次	次	次	劣	可~良	良	可~良
	弱酸	可~良	可~良	可~良	劣~次	优	优	良
耐水性	优	优	良~优	优	优	良~优	优	
耐日光性	良	良	良	良	优	优	可~良	
耐氧老化	劣	劣	劣~可	劣	良	良	可	
耐臭氧老化	劣	劣	劣	次~可	优	优	劣	
耐燃性	劣	劣	劣	劣	良~优	劣	劣~可	
气密性	良	良	良	劣	良~优	优	良~优	
耐辐射性	可~良	可~良	良	劣	可~良	劣	可~良	
抗蒸汽性	良	良	良	良	劣	优	良	

注：1. 性能等级：优→良→可→次→劣。

2. 表列性能是指经过硫化的软橡胶而言。

3. 丁腈橡胶的脆化温度与丙烯腈含量有关，减少丙烯腈含量可以提高其耐寒性。

4. 本表仅供参考。



## 特种橡胶的综合性能

表 3-3-3

项 目		乙丙橡胶	氯磺化聚 乙烯橡胶	聚丙烯酸酯 橡胶	聚氨酯 橡胶	硅橡胶	氟橡胶	聚硫橡胶	氯化聚乙 烯橡胶
生胶密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		0.86 ~ 0.87	1.11 ~ 1.13	1.09 ~ 1.10	1.09 ~ 1.30	0.95 ~ 1.40	1.80 ~ 1.82	1.35 ~ 1.41	1.16 ~ 1.32
拉伸强度 /MPa	未补强硫化胶	3 ~ 6	8.5 ~ 24.5	—	—	2 ~ 5	10 ~ 20	0.7 ~ 1.4	—
	补强硫化胶	15 ~ 25	7 ~ 20	7 ~ 12	20 ~ 35	4 ~ 10	20 ~ 22	9 ~ 15	> 15
伸长率/%	未补强硫化胶	—	—	—	—	40 ~ 300	500 ~ 700	300 ~ 700	400 ~ 500
	补强硫化胶	400 ~ 800	100 ~ 500	400 ~ 600	300 ~ 800	50 ~ 500	100 ~ 500	100 ~ 700	—
回弹率/%		50 ~ 80	30 ~ 60	30 ~ 40	40 ~ 90	50 ~ 85	20 ~ 40	20 ~ 40	—
永久压缩变形/% (100℃ × 70h)		—	+20 ~ +80	+25 ~ +90	+50 ~ +100	—	+5 ~ +30	—	—
抗撕裂性		良 ~ 优	可 ~ 良	可	良	劣 ~ 可	良	劣 ~ 可	优
耐磨性		良 ~ 优	优	可 ~ 良	优	可 ~ 良	优	劣 ~ 可	优
耐屈挠性		良	良	良	优	劣 ~ 良	良	劣	—
耐冲击性能		良	可 ~ 良	劣	优	劣 ~ 可	劣 ~ 可	劣	—
邵氏硬度/度		30 ~ 90	40 ~ 95	30 ~ 95	40 ~ 100	30 ~ 80	50 ~ 60	40 ~ 95	—
热导率/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$		0.36	0.11	—	0.067	0.25	—	—	—
最高使用温度/℃		150	150	180	80	315	315	180	—
长期工作温度/℃		-50 ~ +130	-30 ~ +130	-10 ~ +180	-30 ~ +70	-100 ~ +250	-10 ~ +280	-10 ~ +70	+90 ~ +105
脆化温度/℃		-40 ~ -60	-20 ~ -60	0 ~ -30	-30 ~ -60	-70 ~ -120	-10 ~ -50	-10 ~ -40	—
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$		$10^{12} \sim 10^{15}$	$10^{13} \sim 10^{15}$	$10^{11}$	$10^{10}$	$10^{16} \sim 10^{17}$	$10^{13}$	$10^{11} \sim 10^{12}$	$10^{12} \sim 10^{13}$
表面电阻率/ $\Omega$		—	$10^{14}$	—	$10^{11}$	$10^{13}$	—	—	—
相对介电常数/ $10^3 \text{Hz}$		3.0 ~ 3.5	7.0 ~ 10.0	4.0	—	3.0 ~ 3.5	2.0 ~ 2.5	—	7.0 ~ 10.0
瞬时击穿强度/ $\text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$		30 ~ 40	15 ~ 20	—	—	20 ~ 30	20 ~ 25	—	15 ~ 20
介质损耗角正切/ $10^3 \text{Hz}$		0.004 (60Hz)	0.03 ~ 0.07	—	—	0.001 ~ 0.01	0.3 ~ 0.4	—	0.01 ~ 0.03
耐溶剂性 膨胀率/% (体积分数)	汽油	+100 ~ +300	+50 ~ +150	+5 ~ +15	-1 ~ +5	+90 ~ +175	+1 ~ +3	-2 ~ +3	—
	苯	+200 ~ +600	+250 ~ +350	+350 ~ +450	+30 ~ +60	+100 ~ +400	+10 ~ +25	-2 ~ +50	—
	丙酮	—	+10 ~ +30	+250 ~ +350	约 +40	-2 ~ +15	+150 ~ +300	-2 ~ +25	—
	乙醇	—	-1 ~ +2	-1 ~ +1	-5 ~ +20	-1 ~ +1	-1 ~ +2	-2 ~ +20	—
耐矿物油		劣	良	良	良	劣	优	优	良
耐动植物油		良 ~ 优	良	优	优	良	优	优	良
耐碱性		优	可 ~ 良	可	可	次 ~ 良	优	优	良
耐强酸性		良	可 ~ 良	次 ~ 可	劣	次	优	可 ~ 良	良
耐弱酸性		优	良	可	劣	次	优	可 ~ 良	优
耐水性		优	良	劣 ~ 可	可	良	优	可	良
耐日光性		优	优	优	良 ~ 优	优	优	优	优

续表

项 目	乙丙橡胶	氯磺化聚 乙烯橡胶	聚丙烯酸酯 橡胶	聚氨酯 橡胶	硅橡胶	氟橡胶	聚硫橡胶	氯化聚乙 烯橡胶
耐氧化	优	优	优	良	优	优	优	优
耐臭氧老化	优	优	优	优	优	优	优	优
耐燃性	劣	良	劣~可	劣~可	可~良	优	劣	良
气密性	良~优	良	良	良	可	优	优	—
耐辐射性	劣	可~良	劣~良	良	可~优	可~良	可~良	—
抗蒸汽性	优	优	劣	劣	良	优	—	—

注: 1. 性能等级: 优→良→可→次→劣。

2. 表列性能是指经过硫化的软橡胶而言。

### 1.3 橡胶制品

#### 工业用橡胶板 (摘自 GB/T 5574—1994)

表 3-3-4

项 目		规 格											
厚度 /mm	公称尺寸	0.5	1	1.5, 2, 2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16, 18, 20, 22, 25, 30, 40, 50
	偏差	±0.1	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	±0.5	±0.6	±0.8	±1	±1.2	±1.4	±1.5
宽度 /mm	公称尺寸	500 ~ 2000											
	偏差	±20											
性 能 (由天然橡胶或合成橡胶为主体材料制成的橡胶板)													
耐油性能 (100℃, 3号标准 油中浸泡 72h)	A类	不耐油											
	B类	中等耐油, 体积变化率(ΔV)为 +40% ~ +90%											
	C类	耐油, 体积变化率(ΔV)为 -5% ~ +40%											
拉伸强度/MPa		1型 ≥ 3; 2型 ≥ 4; 3型 ≥ 5; 4型 ≥ 7; 5型 ≥ 10; 6型 ≥ 14; 7型 ≥ 17											
扯断伸长率/%		1级 ≥ 100; 2级 ≥ 150; 3级 ≥ 200; 4级 ≥ 250; 5级 ≥ 300; 6级 ≥ 350; 7级 ≥ 400; 8级 ≥ 500; 9级 ≥ 600											
国际公称橡胶硬度 (或邵尔 A 硬度)(偏差 ±5)		H3; 30; H4; 40; H5; 50; H6; 60; H7; 70; H8; 80											
耐热空气老化性能(A)		A, 1: 70℃ × 72h, 老化后拉伸强度降低率 ≤ 25%, 扯断伸长率降低率 ≤ 35% A, 2: 100℃ × 72h, 老化后拉伸强度降低率 ≤ 20%, 扯断伸长率降低率 ≤ 50% B类和 C类胶板必须符合 A, 2要求。标记中不专门标注											
附加性能 (由供需双方商定)	耐热性能	H, 1: 100℃; H, 2: 125℃; H, 3: 150℃ (试验周期为 168h)											
	耐低温性能	T <sub>b</sub> 1: -20℃; T <sub>b</sub> 2: -40℃											
	压缩永久变形	C <sub>s</sub> : 试验条件为 70℃ × 24h											
	耐臭氧老化性能	O <sub>s</sub> : 试验条件是臭氧浓度为 50MPa(50 × 10 <sup>-8</sup> ), 40℃ × 96h											

注: 1. 胶板长度及偏差、表面花纹及颜色由供需双方商定。

2. 标记示例: 拉伸强度为 5MPa, 扯断伸长率为 400%, 公称硬度为 60IRHD, 耐热 100℃ 的不耐油橡胶板, 标记为工业胶板 A3-7H6H<sub>1</sub> GB/T 5574—1994。

3. 胶板表面不允许有裂纹、穿孔。

## 设备防腐衬里用橡胶板 (摘自 GB/T 18241.1—2001)

表 3-3-5

类 别(按硫化方式)										
加热硫化胶板 H	将未经硫化的橡胶板贴在设备上经蒸汽(高压蒸汽、常压蒸汽)或热水硫化而成橡胶衬里。硫化后的胶板按其硬度分硬胶(HY)、半硬胶(HB)和软胶(HR)									
自然硫化胶板 S	将未经硫化的橡胶板用胶黏剂粘贴在设备上,在室温条件下经过一定时间停放后完成硫化过程形成的防腐衬里									
预硫化胶板 P	预先将橡胶板硫化好,然后用胶黏剂粘贴在设备上形成的防腐衬里									
规 格/mm									说 明	
厚度	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	单层衬里通常厚度为3mm,双层叠合为4~6mm,硬质胶作为过渡层可用1.5mm或更薄。多层叠合结构可根据介质腐蚀、物料流动速度、温度变化等适当增减各层厚度	
厚度偏差	±0.2	±0.3	±0.3	±0.4	±0.4	±0.5	±0.5	±0.5		
宽度	800 ± 15			1000 ± 15			1200 ± 15			
长度	≥ 5000									
性 能 及 说 明										
性能项目		加热硫化胶板 H			自然硫化胶板 S	预硫化胶板 P	说 明			
		硬胶 HY	半硬胶 HB	软胶 HR						
硬 度	邵氏 A/度	—			40 ~ 80	55 ~ 70	50 ~ 65			
	邵氏 D/度	70 ~ 85	40 ~ 70	—	—					
拉伸强度/MPa	≥	20	10	9	10	4				
扯断伸长率/%	≥	—	30	350	350					
扯断永久变形/%	≥	—		50	40	30				
横向折断强度/MPa	≥	65	—			—				
冲击韧度/J·m <sup>-2</sup>	≥	2 × 10 <sup>5</sup>			—		—			
胶合板与金属粘合强度 (扯离)/MPa	≥	6			—		—			
胶合板与金属粘合强度 (90°剥离)/kN·m <sup>-1</sup>	≥	—			6	2.8				
衬里胶板耐液体的适用范围(参考值)										
介质名称	允许最高温度 /℃	允许介质最大浓度(质量分数)/%					说 明			
		加热硫化胶板 H			自然硫化胶板 S	预硫化胶板 P				
		硬胶 HY	半硬胶 HB	软胶 HR						
盐酸	65, 间歇 85	任意浓度			不耐	< 10	任意浓度			
硫酸	65	< 60	< 50			< 50	< 70			
氢氟酸	室温	< 40	不耐			< 50				
氢氧化钠 氢氧化钾 中性盐水溶液	65	任意浓度								
氨水	50	任意浓度								
磷酸	80	任意浓度	—			任意浓度				

注: 1. 按订货方要求, 胶板宽度可以增减。也可以要求增加马丁耐热指标。

2. 胶板应致密、均匀、表面清洁、边缘整齐。

压缩空气用橡胶软管 (摘自 GB/T 1186—1992)

表 3-3-6

公称内径/mm		5	6.3	8	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63*	80*	100*	
内径偏差/mm		±0.5	±0.75				±1.25			±1.5			±2		
型式		1 型										—			
		—		2 型、3 型(公称内径 ≤ 31.5, 外胶层厚度 ≥ 1.5; 内径 ≥ 40, 厚度 2.0)											
工作压力 /MPa	1 型	a 级:0.6 b 级:0.8 c 级:1.0													
	2 型	c 级:1.0 d 级:1.6 e 级:2.5													
	3 型	c 级:1.0			e 级:2.5										
应用	1 型	适用于输送工业压缩空气													
	2 型	适用于输送采矿和建筑工程压缩空气													
	3 型	适用于输送采矿(不包括煤矿)和建筑工程用压缩空气并具有良好的耐油性													
适用范围		工作温度为 -20 ~ 45℃, 输送压力在 2.5MPa 以下的工业用压缩空气													
性能	项 目										指 标				
											内胶层		外胶层		
	拉伸强度/MPa														
	1 型										≥	5.0	6.0		
	2 型、3 型										≥	7.0	10.0		
	扯断伸长率/%														
	1 型										≥	200	250		
	2 型、3 型										≥	250	300		
热空气老化(1 型, 70℃ × 72h; 2 型、3 型, 70℃ × 168h)															
拉伸强度变化率/%											± 25	± 25			
扯断伸长率变化率/%											-30 ~ 10	-30 ~ 10			
耐液体性能(70℃ ± 1℃, 72 <sub>0</sub> h), 体积变化率 ΔV/%															
2 型(1 号标准油)											0 ~ 15	—			
3 型(2 号标准油)											30	75			
											(浸油后不得出现龟裂)	(浸油后不得出现龟裂)			
各层间粘合强度/kN · m <sup>-1</sup>															
1 型										≥	1.5				
2 型、3 型										≥	2.0				

注: 带 \* 者仅适用于 2 型 c 级、d 级, 3 型 c 级软管。

输水、通用橡胶软管 (摘自 HG/T 2184—1991)

表 3-3-7

公称内径/mm		10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	
内径偏差/mm		±0.75				±1.25			±1.5			±2	
胶层厚度 /mm	内胶层	1.8			2.0			2.3			2.5		
	外胶层	1.0				1.2				1.5			

工作压力 /MPa	1型 (低压型)	a级: $\leq 0.3$ ; b级: $\leq 0.5$ ; c级: $\leq 0.7$		
	2型 (中压型)	d级: $\leq 1.0$	—	
	3型 (高压型)	e级: $\leq 2.5$	—	
适用范围		适用于输送 60℃ 以下的生活用水、工业用水, 不适用于输送饮用水		
结构		由橡胶内胶层、天然或合成纤维增强层和橡胶外胶层组成		
性能	项 目		指 标	
			内胶层	外胶层
	拉伸强度/MPa			
	1型、2型		$\geq 5.0$	5.0
	3型		$\geq 7.0$	7.0
	扯断伸长率/%			
	1型、2型		$\geq 200$	200
3型		$\geq 200$	200	
热老化性能(70℃ $\pm$ 1℃, 72h)				
拉伸强度变化率/%		$\geq -25$	$\geq -25$	
扯断伸长率变化率/%		-30 ~ 10	-30 ~ 10	
各层间粘合强度/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$		$\geq$	1.5	
耐臭氧性能试验*(40℃ $\pm$ 2℃, 72 <sub>0</sub> h), 1、2、3型		不得出现龟裂		

注: 1. 带\*者性能要求按供需双方协商确定。

2. 标记为输水软管 1-b-40 HG/T 2184—1991 表示为 1 型胶管、b 级、公称内径 40mm。

3. 软管长度由需方提出, 偏差按 GB/T 9575 规定。

### 耐稀酸碱橡胶软管 (摘自 HG/T 2183—1991)

表 3-3-8

公称内径/mm		12.5	16	20	22	25	31.5	40	45	50	63	80
内径偏差/mm		$\pm 0.75$			$\pm 1.25$			$\pm 1.5$			$\pm 2$	
胶层厚度 $\geq$ /mm	内胶层	2.2				2.5				2.8		
	外胶层	1.2				1.5						
型式		A 型						B 型、C 型				
使用压力 /MPa	A 型	0.3、0.5、0.7, 胶管有增强层, 用于输送酸碱液体										
	B 型	负压*, 胶管有增强层和钢丝螺旋线, 用于吸引酸碱液体										
	C 型	负压*, 0.3、0.5、0.7, 用于排吸酸碱液体										
适用范围		适用于 -20 ~ 45℃ 环境中, 输送浓度不高于 40% 的硫酸溶液和浓度不高于 15% 氢氧化钠溶液, 以及与上述浓度程度相当的酸碱液(硝酸除外)的橡胶软管										

续表

	项 目	指 标		
		内胶层	外胶层	
性能	硫酸(40%), 室温 × 72h	拉伸强度变化率/%	≧ -15	—
		扯断伸长率变化率/%	≧ -20	—
	盐酸(30%), 室温 × 72h	拉伸强度变化率/%	≧ -15	—
		扯断伸长率变化率/%	≧ -20	—
	氢氧化钠(15%), 室温 × 72h	拉伸强度变化率/%	≧ -15	—
		扯断伸长率变化率/%	≧ -20	—
	热空气老化, 70℃ × 72h	拉伸强度变化率/%	-25 ~ 25	
		扯断伸长率变化率/%	-30 ~ 10	
粘合强度/kN · m <sup>-1</sup>	各胶层与增强层之间	> 1.5		
	各增强层与增强层之间	> 1.5		
拉伸强度/MPa	≧	6.0		
扯断伸长率/%	≧	250		

注: 1. \* 表示软管在 80kPa (600mmHg) 的压力下, 经真空试验后, 内胶层应无剥离、中间细等异常现象。

2. 软管长度由需方提出。10m 以上的软管长度公差为软管全长的 ±1%, 10m 以下 (含 10m) 的软管长度公差为软管全长的 1.5%。

3. 标记为耐稀酸碱胶管 A-16-0.3 HG/T 2183—1991 表示 A 型胶管, 公称内径 16mm, 工作压力为 0.3MPa。

### 织物增强液压橡胶软管和软管组合件 (摘自 GB/T 15329.1—2003)

表 3-3-9

公称内径/mm			5	6.3	8	10	12.5	16	19	25	31.5	38	51	60	80	100	
内径 /mm	各 型	min	4.4	5.9	7.4	9.0	12.1	15.3	18.2	24.6	30.8	37.1	49.8	58.8	78.8	98.6	
		max	5.2	6.9	8.4	10.0	13.3	16.5	19.8	26.2	32.8	39.1	51.8	61.2	81.2	101.4	
外径 /mm	1 型	min	10.0	11.6	13.1	14.7	17.7	21.9									
		max	11.6	13.2	14.7	16.3	19.7	23.9									
	2 型	min	11.0	12.6	14.1	15.7	18.7	22.9	26.0	32.9							
		max	12.6	14.2	15.7	17.3	20.7	24.9	28.0	35.9							
	3 型	min	12.0	13.6	16.1	17.7	20.7	24.9	28.0	34.4	40.8	47.6	60.3	70.0	91.5	113.5	
		max	13.5	15.2	17.7	19.3	22.7	26.9	30.0	37.4	43.8	51.6	64.3	74.0	96.5	118.5	
	R3 型	min	11.9	13.5	16.7	18.3	23.0	26.2	31.0	36.9	42.9						
		max	13.5	15.1	18.3	19.8	24.6	27.8	32.5	39.3	46.0						
R6 型	min	10.3	11.9	13.5	15.1	19.0	22.2	25.4									
	max	11.9	13.5	15.1	16.7	20.6	23.8	27.8									
最大工 作压力 /MPa	1 型		2.5	2.5	2.0	2.0	1.6	1.6									
	2 型		8.0	7.5	6.8	6.3	5.8	5.0	4.5	4.0							
	3 型		16.0	14.5	13.0	11.0	9.3	8.0	7.0	5.5	4.5	4.0	3.3	2.5	1.8	1.0	
	R3 型		10.5	8.8	8.2	7.9	7.0	6.1	5.2	3.9	2.6						
	R6 型		3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.6	2.2								
结构	软管由耐油、耐水的合成橡胶内胶层、一层或多层纤维线增强层和耐油、耐天候的外胶层构成。1 型, 带有一层织物增强层的软管; 2 型, 带有一层或多层织物增强层的软管; 3 型, 带有一层或多层织物增强层的软管 (较高工作压力); R3 型, 带有两层织物增强层的软管; R6 型, 带有一层织物增强层的软管。																
应用	适用于在 -40 ~ +100℃ 温度范围内、工作介质为符合 GB/T 7631.2 的液压流体 HH、HL、HM、HR 和 HV 的软管																

注: 1. 软管长度按需方要求, 但不小于 1m。软管长度公差为 ±2%。

2. 标记为织物液压胶管 1 型/19 GB/T 15329.1—2003 表示 1 型胶管, 公称内径为 19mm。

## 钢丝缠绕增强外覆橡胶的液压橡胶软管和软管组件 (摘自 GB/T 10544—2003)

表 3-3-10

软管的尺寸																				
公称内径 /mm		内径/mm																		
		4SP 型				4SH 型				R12 型				R13 型				R15 型		
		min		max		min		max		min		max		min		max		min	max	
6.3		6.2	7.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10		9.3	10.1	—	—	9.3	10.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.3	10.1	—
12.5		12.3	13.5	—	—	12.3	13.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.3	13.5	—
16		15.5	16.7	—	—	15.5	16.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19		18.6	19.8	18.6	19.8	18.6	19.8	18.6	19.8	18.6	19.8	18.6	19.8	18.6	19.8	18.6	19.8	18.6	19.8	—
25		25.0	26.4	25.0	26.4	25.0	26.4	25.0	26.4	25.0	26.4	25.0	26.4	25.0	26.4	25.0	26.4	25.0	26.4	—
31.5		31.4	33.0	31.4	33.0	31.4	33.0	31.4	33.0	31.4	33.0	31.4	33.0	31.4	33.0	31.4	33.0	31.4	33.0	—
38		37.7	39.3	37.7	39.3	37.7	39.3	37.7	39.3	37.7	39.3	37.7	39.3	37.7	39.3	37.7	39.3	37.7	39.3	—
51		50.4	52.0	50.4	52.0	50.4	52.0	50.4	52.0	50.4	52.0	50.4	52.0	50.4	52.0	50.4	52.0	—	—	—

增强层外径和软管外径																							
公称内径 /mm		4SP 型				4SH 型				R12 型				R13 型				R15 型					
		增强层 外径/mm		软管外径 /mm		增强层 外径/mm		软管外径 /mm		增强层 外径/mm		软管外径 /mm		增强层 外径/mm		软管外径 /mm		增强层 外径/mm	软管外径 /mm		增强层 外径/mm	软管外径 /mm	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
6.3		14.1	15.3	17.1	18.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10		16.9	18.1	20.6	22.2	—	—	—	—	16.6	17.8	19.5	21.0	—	—	—	—	—	20.3	—	23.3	—	
12.5		19.4	21.0	23.8	25.4	—	—	—	—	19.9	21.5	23.0	24.6	—	—	—	—	—	24.0	—	26.8	—	
16		23.0	24.6	27.4	29.0	—	—	—	—	23.8	25.4	26.6	28.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
19		27.4	29.0	31.4	33.0	27.6	29.2	31.4	33.0	26.9	28.4	29.9	31.5	28.2	29.8	31.0	33.2	—	32.9	—	36.1	—	
25		34.5	36.1	38.5	40.9	34.4	36.0	37.5	39.9	34.1	35.7	36.8	39.2	34.9	36.4	37.6	39.8	—	38.9	—	42.9	—	
31.5		45.0	47.0	49.2	52.4	40.9	42.9	43.9	47.1	42.7	45.1	45.4	48.6	45.6	48.0	48.3	51.3	—	48.4	—	51.5	—	
38		51.4	53.4	55.6	58.8	47.8	49.8	51.9	55.1	49.2	51.6	51.9	55.0	53.1	55.5	55.8	58.8	—	56.3	—	59.6	—	
51		64.3	66.3	68.2	71.4	62.2	64.2	66.5	69.7	62.5	64.8	65.1	68.3	66.9	69.3	69.5	72.7	—	—	—	—	—	

最大工作压力、试验压力和最小爆破压力																	
公称内径 /mm		最大工作压力/MPa					试验压力/MPa					最小爆破压力/MPa					
		4SP	4SH	R12	R13	R15	4SP	4SH	R12	R13	R15	4SP	4SH	R12	R13	R15	
6.3		45.0	—	—	—	—	90.0	—	—	—	—	—	180.0	—	—	—	—
10		44.5	—	28.0	—	42.0	89.0	—	56.0	—	84.0	178.0	—	112.0	—	168.0	—
12.5		41.5	—	28.0	—	42.0	83.0	—	56.0	—	84.0	160.0	—	112.0	—	168.0	—
16		35.0	—	28.0	—	42.0	70.0	—	56.0	—	84.0	140.0	—	112.0	—	168.0	—
19		35.0	42.0	28.0	35.0	42.0	70.0	84.0	56.0	70.0	84.0	140.0	168.0	112.0	140.0	168.0	—
25		28.0	38.0	28.0	35.0	42.0	56.0	76.0	56.0	70.0	84.0	112.0	152.0	112.0	140.0	168.0	—
31.5		21.0	32.5	21.0	35.0	42.0	42.0	65.0	42.0	70.0	84.0	84.0	130.0	84.0	140.0	168.0	—
38		18.5	29.0	17.5	35.0	42.0	37.0	58.0	35.0	70.0	84.0	74.0	116.0	70.0	140.0	168.0	—
51		16.5	25.0	17.5	35.0	42.0	33.0	50.0	35.0	70.0	84.0	66.0	100.0	70.0	140.0	168.0	—

当按照 GB/T 5563 进行试验时,软管在最大工作压力下的长度变化,4SP 和 4SH 型不应大于 +2% 和小于 -4%, R12、R13 和 R15 型不应大于 +2% 和小于 -2%

续表

最小弯曲半径					
公称内径 /mm	最小弯曲半径/mm				
	4SP	4SH	R12	R13	R15
6.3	150	—	—	—	—
10	180	—	130	—	150
12.5	230	—	180	—	200
16	250	—	200	—	—
19	300	280	240	240	265
25	340	340	300	300	330
31.5	460	460	420	420	445
38	560	560	500	500	530
51	660	700	630	630	—

型式、结构及适用范围	
型式	4SP型:4层钢丝缠绕的中压软管 4SH型:4层钢丝缠绕的高压软管 R12型:4层钢丝缠绕苛刻条件下的高温中压软管 R13型:多层钢丝缠绕苛刻条件下的高温高压软管 R15型:多层钢丝缠绕苛刻条件下的高温超高压软管
结构	软管应由一层耐液流体的橡胶内衬层、以交替方向缠绕的钢丝增强层和一层耐油和耐天候的橡胶外覆层构成。每层缠绕钢丝层应由橡胶隔离
适用范围	工作温度 /℃
	工作介质

## 液化石油气 (LPG) 橡胶软管 (摘自 GB 10546—2003)

表 3-3-11

公称内径/mm	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	160	200
内径偏差/mm	±0.75				±1.25		±1.5			±2				
工作压力/MPa	2.0(试验压力 6.3, 最小爆破压力 12.6)													
结构	软管由内胶层、纤维(钢丝)增强层和外胶层组成													
适用范围	适用于 -40 ~ 60℃ 范围内, 供铁路油罐车、汽车油槽车、输送液化石油气使用的橡胶软管													
性能	低温弯曲性能: 软管在 -40℃ ± 3℃ 温度下, 经放置 24h, 进行弯曲试验, 不得出现龟裂 耐液体性能: 成品内胶试样在 23℃ ± 2℃ 温度下, 浸渍在正己烷液体中, 放置 72 <sub>-2</sub> <sup>0</sup> h 后, 其试样的拉伸强度和扯断伸长率, 不得低于初始值的 65% 耐臭氧性能: 成品外胶试样放置在臭氧浓度 (50 ± 5) × 10 <sup>-8</sup> 、温度 40℃ ± 2℃ 试验箱中, 保持 72 <sub>-2</sub> <sup>0</sup> h 后, 应无龟裂现象 导电性能和渗漏性能: 由需方提出, 供需双方商定 物理力学性能:													
	项 目											指 标		
												内胶层		外胶层
	拉伸强度/MPa											≥ 7		10
	扯断伸长率/%											≥ 200		250
热空气老化(100℃, 72h)														
拉伸强度变化率/%											≥ -25			
扯断伸长率变化率/%											≥ -50			
各层间粘合强度/kN · m <sup>-1</sup>											≥ 1.5			

注: 软管长度由需方提出, 长度公差为软管全长的 ±1%。



岸上排吸油橡胶软管 (摘自 HG/T 3038—1997)

表 3-3-12

公称内径 /mm		50	63	75	80	100	125	160	180	200	250	315	400	500
内径偏差 /mm	I 型	±1.5			±2.0						—			
	II 型	—			±2.0			±3.0			±4.0			
允许工作压力 /MPa		A 级:0.7 B 级:1.0 C 级:1.5 D 级:2.0												
结构	I 型	无金属螺旋线结构,由内、外胶层及纤维线或胶布构成的增强层组成												
	II 型	埋入式或内铠装钢丝结构,由内、外胶层和缠绕钢丝增强层组成												
类别	1 类	芳香烃含量不超过 50% (用于石油原油及燃料油的输送)												
	2 类	芳香烃含量为 50% ~ 100% (用于芳烃类产品的输送)												
性能		耐臭氧性能:臭氧浓度为 $(50 \pm 5) \times 10^{-6}$ ,暴露 72h,用两倍放大镜检查无龟裂现象 耐负压性能:仅适用 I 型,将软管内压减小到 70kPa,保持 5min 无异常现象 软管导电性:软管两端管接头之间,应保持电的连续性(即应导电),允许最小电阻为 $2 \times 10^6 \Omega$ 低温弯曲性能:试样内径为 $25\text{mm} \pm 1.2\text{mm}$ ,最小弯曲半径为 150mm,在 $-25^\circ\text{C}$ 下放置 5h,经弯曲,试样内、外胶层无龟裂现象												
应用		用于港口码头输送石油及石油基产品的排吸橡胶软管,适用温度为 $-20 \sim 80^\circ\text{C}$												

注: 1. 管长由使用方提出,供货长度允许偏差为管长的  $-1.5\% \sim +2.5\%$ 。管长是指包括接头在内的软管全长,即从法兰外面量至另一端法兰的外面,若无法兰时,则应从胶管螺纹接套端部量至另一端接套的外表面。

2. 标记为岸上排吸油橡胶软管 63-1-1-B GB 9569—1988 表示 I 型、1 类胶管,公称内径为 63mm,工作压力为 B 级。

3. GB 9569—1988 现已由行业标准 HG/T 3038—1997 代替,但内容两者完全相同,产品标记仍按原标准。

计量分配燃油用橡胶软管 (摘自 HG/T 3037—2000)

表 3-3-13

内径尺寸 规格/mm	公称内径	12	16	19	21	25	32	38	40
	内径尺寸	12.5	16.0	19.0	21.0	25.0	32.0	38.0	40.0
	内径尺寸偏差	±0.8				±1.25			
结构	软管由内衬层、增强层和外覆层组成。内衬层为光滑耐燃油橡胶或热塑性弹性体(TPE)材料构成。增强层为增强材料构成。外覆层为无波纹、耐燃油、耐天候老化橡胶或 TPE 构成。组合件管接头之间应有导电性能,在使用金属导电性导线时,应用不少于两根(交叉的)金属导线埋置于软管内。所用金属导线应具有很好的耐疲劳性及耐加工硬化及耐腐蚀性能 内衬层厚度不应小于 1.6mm;外覆层厚度不应小于 1.0mm。管长度按需方要求确定								
型式	1 型	织物增强,适用于围绕圆筒缠卷或弯曲悬挂							
	2 型	织物和螺旋金属丝增强,提供扭转曲挠性能;适用于盘卷或围绕圆筒或弯曲悬挂							
	3 型	细金属丝增强,提供低膨胀性能,适用于圆筒缠卷或弯曲悬挂							
压力要求	最大工作压力			试验压力			最小爆破压力		
	1.2MPa(12bar)			2.4MPa(24bar)			4.8MPa(48bar)		
物理和力学性能	项 目		要 求		试 样		试验方法		
	静液压性能		无渗漏及其他缺陷		整根软管或软管组合件		GB/T 5563		
	爆破压力(最小)/MPa(bar)		4.8(48)		从软管或软管组合件上切割下一段软管		GB/T 5563		
	容积膨胀率(最大)/%						ISO 6801 (见 HG/T 3037—2000 附录 B)		
		1 型、2 型		2		静液压试样		试验压力为 0.3MPa(3bar)	
		3 型		1					

续表

物理和力学性能	项 目	要 求		试 样	试验方法
	各层间粘合强度/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 初始值(最小) 浸液后(最小)	2.4		从软管上切割下一段软管	GB/T 14905 浸液条件见 HG/T 3037—2000 附录 A
		1.8			
	室温弯曲性能 $K$ (最小)	0.8		从软管上切割下一段软管	GB/T 5565 $2R = 10 \times$ 公称内径
	低温曲挠性能	无 裂 纹 或 断 裂		从软管上切割下一段软管	GB/T 5564 方法 B 测试温度 $-25^{\circ}\text{C}$ (如有要求, $-40^{\circ}\text{C}$ )
	拉伸强度(最小)/MPa 内衬层 外覆层	橡胶	TPE	从软管上切取或从试片上裁取试样	GB/T 528
		7	12		
	扯断伸长率(最小)/% 内衬层 外覆层	橡胶	TPE	从软管上切取或从试片上裁取试样	GB/T 528
		250	350		
	加速老化 内衬层、外覆层拉伸强度变化率(最大)/% 内衬层、外覆层扯断伸长率变化率(最大)/%	橡胶	TPE	从软管上切取或从试片上裁取试样(见本表注2)	GB/T 3512 在 $70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 下 14d
-20		-10			
外覆层的耐磨性能(最大)/ $\text{mm}^3$	500		从外覆层胶料模压的试片上裁取的试样	GB/T 9867	
	-35				
耐液体性能 内衬层溶胀(最大)/% 内衬层溶剂抽出物(最大)/% 外覆层溶胀(最大)/%	+50		从软管上切取或从试片上裁取试样	GB/T 1690 在 $23^{\circ}\text{C}$ 的液体 C 中 70h 在 $40^{\circ}\text{C}$ 的液体 3 中 70h 在 $100^{\circ}\text{C}$ 的 3 号油中 70h 在 $23^{\circ}\text{C}$ 的液体 C 中 70h 在 $40^{\circ}\text{C}$ 的液体 3 中 70h 在 $23^{\circ}\text{C}$ 的液体 B 中 70h	
	+70				
外覆层耐臭氧性能	两倍放大无龟裂		一段软管	HG/T 2869 根据软管尺寸采用方法 1 或方法 2	
	+25				
导电性能(最大)/ $\Omega \cdot \text{根}^{-1}$	$1 \times 10^6$		整根软管	GB/T 9572 软管内无液体,处于伸直状态	
拔脱性能	管接头无松脱		短根组合件	HG/T 3037—2000 附录 A	
	+5				
	+10				
	+100				

注: 1. 使用金属导线解决导电性能的软管, 标记代号“M”, 使用导电胶料解决导电性能的软管, 标记代号“ $\Omega$ ”。

2. 产品适用于计量分配燃油(包括含氧化燃油, 最高可混溶 15% 的含氧化合物)。

### 输送无水氨用橡胶软管压力及尺寸规格(摘自 GB/T 16591—1996)

表 3-3-14

软管额定压力 /MPa	最大工作压力	2.5		软管内径尺寸及 允许偏差/mm	公称内径	允许偏差	
	试验压力	6.3			12.5, 16, 20	$\pm 0.75$	
	最小爆破压力	12.5			25, 31.5	$\pm 1.25$	
				40, 50	$\pm 1.50$		
软管切割长度 允许偏差	长度 $L/\text{mm}$	$\leq 300$	$> 300 \sim 600$	$> 600 \sim 900$	$> 900 \sim 1200$	$> 1200 \sim 1800$	$> 1800$
	允许偏差(所有内径)/mm	$\pm 3$	$\pm 4.5$	$\pm 6$	$\pm 9$	$\pm 12$	$\pm 1\%$ 长度

注: 1. 产品适用于在  $-40 \sim 55^{\circ}\text{C}$  环境温度范围内输送液态或气态氨。

2. 软管内胶层厚度均匀, 不应有孔眼、海绵体及其他缺陷, 所用的材料应耐氨。增强层由不受渗透氨影响的材料构成, 增强层应平整均匀。外胶层(如果有)应均匀一致, 应具有耐氨和耐环境劣化的性能。

## 氧气胶管的规格和性能 (摘自 GB/T 2550—1992)

表 3-3-15

内径/mm		胶层厚度/mm, ≥		工作压力 /MPa
公称尺寸	偏差	内胶层	外胶层	
6.3	±0.55	1.5	1.2	2 (试验压力 4, 最小爆破压力 6)
8	±0.60	1.5	1.2	
10	±0.60	1.5	1.2	
12.5	±0.65	1.5	1.2	

## 性 能

项 目		指 标	
		内 胶 层	外 胶 层
拉伸强度/MPa	≥	5.0	6.0
扯断伸长率/%	≥	250	300
热空气老化(70℃, 72h)	拉伸强度变化率/%	+25 ~ -25	
	扯断伸长率变化率/%	+10 ~ -30	

注: 1. 氧气胶管适用于 -20 ~ 45℃ 的环境中焊接和切割输送氧气。

2. 长度由使用方提出, 经制造方同意确定。长度偏差为胶管全长的 ±1%。

## 乙炔胶管的规格和性能 (摘自 GB/T 2551—1992)

表 3-3-16

内 径/mm		胶层厚度/mm, ≥		工作压力 /MPa
公称尺寸	偏 差	内胶层	外胶层	
6.3	±0.55	1.5	1.2	0.3 (试验压力 0.6, 最小爆破压力 0.9)
8	±0.60	1.5	1.2	
10	±0.60	1.5	1.2	

## 性 能

项 目		指 标	
		内 胶 层	外 胶 层
拉伸强度/MPa	≥	5.0	6.0
扯断伸长率/%	≥	250	300
热空气老化(70℃, 72h)	拉伸强度变化率/%	-25 ~ +25	
	扯断伸长率变化率/%	-30 ~ +10	

注: 1. 乙炔胶管适用于 -20 ~ 45℃ 的环境中焊接和切割输送乙炔。

2. 长度由使用方提出, 经制造方同意确定。长度偏差为胶管全长的 ±1%。

## 蒸汽橡胶软管及软管组件 (摘自 HG/T 3036—1999)

表 3-3-17

内径 /mm	基本尺寸	12.5	16	19	20	25	31.5	38	40	50	51	63	80	
	偏差	±0.75				±1.25			±1.5				±2.0	
胶层厚度 /mm	内胶层	≥2.0												
	外胶层	≥1.5												
		性 能												
类 别		I类: 外胶层不耐油; II类: 外胶层耐油												
型 式		1 型	2 型	3 型	4 型	5 型								
预定用于最大蒸汽压力和温度	压力/MPa	0.3	0.6	1.0	1.6	1.6								
	对应压力下的蒸汽温度/°C	144	165	184	204	204(能持续使用)								
结构及性能 的最低要求	内胶层	耐加压蒸汽老化												
	粘合强度	内胶层与增强层、各增强层之间及外胶层与增强层的粘合强度 ≥ 1.5kN/m												
	增 强 层	耐蒸汽试验条件												
		压力/MPa	0.25 ~ 0.35	0.55 ~ 0.65	0.95 ~ 1.05	1.55 ~ 1.65	1.55 ~ 1.65							
		时间/h	166 ~ 168	166 ~ 168	166 ~ 168	166 ~ 168	334 ~ 336							
		试验后性能												
		内胶层扯断伸长率的最大降低率/%	50	50	50	50	50							
	内胶层最小扯断伸长率/%	150	150	150	150	150								
内胶层硬度增加最大值(IRHD)	10	10	10	10	10									
持续暴露蒸汽试验	仅用于5型管。将软管暴露在压力为1.55~1.65MPa的饱和蒸汽流中,时间为28d,管壁不应出现泄漏,内、外胶层不出现龟裂等缺陷													
材料组成	由符合上述要求的织物组成						由符合上述要求的高强度钢丝组成							
外 胶 层	耐臭氧性能	按规定条件进行耐臭氧试验,不应出现龟裂												
	耐油性能	仅用于II类胶管。按规定条件将胶管浸泡在油中72h,体积变化率 ≤ 100%												

注: 1. 软管长度由需方提出, 长度公差符合 GB/T 9575—1988。

2. 1、2、3、4、5 型胶管试验压力分别为 1.5MPa、3MPa、5MPa、8MPa、8MPa, 最小爆破压力分别为 3MPa、6MPa、10MPa、16MPa、16MPa。胶管在试验压力下不应出现局部极度膨胀或异常变化。

3. 本标准规定的软管不适用于食品加工或某些特殊用途, 如蒸汽烹煮、打桩机等。

## 车辆门窗橡胶密封条 (摘自 HG/T 3088—1999)

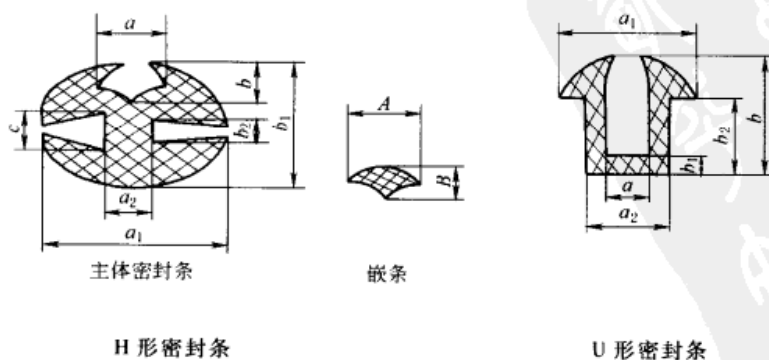


表 3-3-18

H 形密封条/mm								U 形密封条/mm									
主体密封条							嵌条			序号	a	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	
序号	a	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c	序号	A								B
1	7	22	6.5	6	16	4	5	1	8.5	6.7	1	4	—	7	10.5	1.2	—
2	7	22	6.5	7.5	16.5	2.4	4.8	2	9	5	2	5	—	8	13	1.5	10
3	7	29.5	9	9.2	22.4	2	5	3	9.5	7.5	3	5	—	9	10	—	—
4	9	25	6	5.5	16.5	3	5	4	9.5	8	4	5	15	9	12	2	8
5	9	26	6	5.6	18	3.5	5	5	10.5	9	5	5	—	9	14	2	10
6	9	28	7	7.5	21	3	5										
7	10	33	9	9	27	3	6										

橡胶材料物理性能 (摘自 HG/T 3088—1999)

序号	项 目	指 标			序号	项 目	指 标		
		50 ± 5	60 ± 5	70 ± 5					
1	硬度 (IRHD 或邵尔 A 度)	50 ± 5	60 ± 5	70 ± 5	7	热空气老化 (70℃ × 70h)			
2	拉伸强度 (最小)/MPa	7	7	7		硬度变化 (最大) (IRHD 或度)	10	10	10
3	扯断伸长率 (最小)/%	400	300	200		拉伸强度变化率 (最大)/%	-25	-25	-25
4	压缩永久变形 (B 型试样 70℃ × 22h, 最大)/%	50	50	50	8	污染性	试片上无转移污染		
						9	耐臭氧性 (50 × 10 <sup>-8</sup> , 拉伸 20% 40℃ × 72h)	无龟裂或异常现象	
5	撕裂强度 (最小)/kN · m <sup>-1</sup>	15	15	15	10	脆性温度 (不高于)/℃	-35	-35	-35
6*	耐候性 (63℃ × 300h, 拉伸 20%)	无龟裂或异常现象							

注: 1. 密封条结构及尺寸来源于原国标 GB 7526—1987, 该标准已由 HG/T 3088—1999 代替。但 HG/T 3088—1999 又未规定密封条的结构尺寸。为了方便读者使用, 表中尺寸仍采用原标准。

2. \* 表示当需方没有提出要求时, 第 6 项试验可以不进行。

## 2 工程用塑料及制品

### 2.1 塑料组成<sup>[4]</sup>

表 3-3-19

成分类别	材 料 名 称	作 用 及 有 关 说 明
树脂	<p>热固性树脂——酚醛树脂、氨基树脂 (包括脲醛及三聚氰胺甲醛树脂)、环氧树脂、聚酯树脂、硅树脂、聚氨酯树脂、呋喃树脂、聚邻 (间) 苯二甲酸二丙烯酸酯树脂等</p> <p>热塑性树脂——聚乙烯树脂、聚丙烯树脂、聚苯乙烯树脂、聚丙烯树脂、聚甲基丙烯酸甲酯树脂、聚酰胺树脂、聚甲醛树脂、聚碳酸酯树脂、聚氟类树脂、聚酰亚胺树脂、聚苯醚树脂、聚苯硫醚树脂、聚苯并咪唑树脂</p>	<p>树脂约占塑料全部组成的 40% ~ 100%。它能将全部组分黏结起来, 同时也决定和影响塑料的介电、理化性能和机械强度</p> <p>树脂有天然树脂和合成树脂两大类: 天然树脂 (如松香、虫胶、琥珀等) 由于产量极少、性能又不够理想, 现已很少用来制造塑料; 合成树脂是从石油、天然气、煤或农副产品中, 提炼出低分子量原料, 再通过化学反应而获得的一种高分子量的有机聚合物, 一般在常温常压下为固体, 也有的为黏稠状液体, 因性能好, 而且原料来源丰富, 是现代塑料的基本原料</p>

续表

成分类别	材 料 名 称	作 用 及 有 关 说 明
添 加 剂	<p>填料</p> <p>有机填料——木粉、核桃壳粉、棉子壳粉、木质素、棉纤维、麻丝、碎布和纸浆、纸屑等</p> <p>无机填料——高岭土、硅藻土、滑石粉、石膏、石粉、重晶石粉、二氧化硅、氧化铝、氧化锌、氧化钛、石墨、云母、石棉、二硫化钼、硫化钨、硫化铅、硫酸钙、硫酸钡、焦炭、碳化硅以及各种金属粉末(如铁粉、铅粉、铜粉、铝粉等)</p>	<p>填料是填充在树脂里的材料,又称填充剂,其作用主要在于改进塑料的某些固有缺点,以提高其硬度、冲击强度和耐热、导热、耐磨性能,减少收缩、开裂现象;其次也可改善成型加工性能,降低产品成本</p> <p>填料的品种很多,性能各异。以有机材料作填料的,具有较高的机械强度;以无机物作填料的,具有较高的耐热、导热、耐磨、耐腐蚀和自润滑性</p>
	<p>增强材料</p> <p>主要是玻璃纤维及其制品,其次是棉纤维和棉布、石棉纤维和石棉布、麻丝、合成纤维、纸张等以及碳纤维、石墨纤维、硼纤维、陶瓷纤维等新型的高强度增强材料</p>	<p>增强材料的作用是能提高塑料的物理性能和强度</p> <p>适于增强改性的热固性树脂有聚酯树脂、酚醛树脂、氨基树脂、环氧树脂和硅树脂;热塑性树脂有聚酰胺树脂、聚碳酸酯树脂、线型聚酯树脂、聚乙烯树脂和聚丙烯树脂</p>
	<p>固化剂</p> <p>主要有:用于环氧树脂的胺类、酸酐类、聚酯型类、咪唑类等;用于聚酯树脂的过氧化物、过氧化氢化物等;用于酚醛树脂的六次甲基次胺;促进剂环烷酸钴、环烷酸锌等</p>	<p>一般热固性树脂在成塑前必须加入固化剂,以促使塑料的线型或网型的分子结构相互交联,变成体型结构的硬固体。为了加速固化,常与促进剂配合使用</p>
	<p>增塑剂</p> <p>主要有:邻苯二甲酸酯类化合物;磷酸酯类化合物;有时也有氯化石蜡、环氧化油脂、烃类等</p>	<p>增塑剂能增加塑料的可塑性、流动性和柔软性,降低脆性,并改善加工性;但刚度减弱。用量一般不超过20%</p>
	<p>稳定剂 (又称防老剂)</p> <p>抗氧剂主要有胺类和酚类两大系列;光稳定剂主要有紫外线吸收剂;热稳定剂主要有盐基性铅盐、脂肪酸皂类、有机锡化合物等</p>	<p>稳定剂的作用在于增强塑料对光、热、氧等老化作用的抵抗力,延长制品的使用年限。用量一般为千分之几</p>
	<p>润滑剂</p> <p>常用的有硬脂酸盐、脂肪酸、脂肪酸酯和酰胺、石蜡四大类</p>	<p>改善塑料加热成型时的流动性和脱模性,防止粘模,也可使制品表面光滑美观。用量一般为0.5%~1.5%</p>
	<p>着色剂</p> <p>包括各种有机染料和无机颜料</p>	<p>增加制品美观,适合使用要求</p>
	<p>阻燃剂</p> <p>常用的有氧化锑、磷酸酯类和含溴化合物等</p>	<p>增加塑料的耐燃性,或能使之自熄</p>
	<p>发泡剂</p> <p>常用的有偶氮二甲酰胺、偶氮苯胺、碳酸钠、碳酸铵、氮气、二氧化碳、水、二氯甲烷</p>	<p>主要用于制备泡沫塑料,能产生泡孔结构</p>
	<p>抗静电 添加剂</p> <p>长链脂族胺类和酰胺类、磷酸酯类、季铵盐类和各种聚乙二醇及其酯类等</p>	<p>消除塑料在加工、使用中,因摩擦而产生的静电,以保证生产操作安全,并使塑料表面不易吸尘</p>

## 2.2 塑料分类

表 3-3-20

分类方法	分类名称	特点及说明	典型品种
按树脂的制取方法分	以聚合树脂为基础的塑料	是由很多低分子化合物通过聚合反应而合成的高分子聚合物。聚合物的成分与单体成分完全相同,只不过是低分子(单体)变成了高分子(高聚物)	聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS、聚甲基丙烯酸甲酯、聚甲醛、氯化聚醚、氟塑料、聚邻(间)苯二甲酸二丙烯酯
	以缩聚树脂为基础的塑料	是由很多低分子化合物通过缩聚反应而合成的高分子聚合物。在聚合过程中不断放出低分子物质,如水、氨、甲醇、氯化氢等;缩聚物的成分和单体的成分不一样	酚醛、氨基(包括脲醛及三聚氰胺甲醛)、有机硅、环氧、聚酯、聚氨酯、聚酰胺、聚碳酸酯、聚苯醚、聚苯硫醚、聚砜、聚酰亚胺、聚苯并咪唑、聚二苯醚
按成型工艺性能分	热固性塑料	多是以缩聚树脂为基料,加入填料、固化剂以及其他添加剂制取而成。性能特点是:在一定的温度下,经过一定时间的加热或加入固化剂后,即可固化成型。固化后的塑料质地坚硬、性质稳定,不再溶于溶剂中,也不能用加热方法使它再软化,强烈则分解、破坏。优点是:无冷流性、抗蠕变性强,受压不易变形;耐热性较高,即使超过其使用温度极限,也只是在表面产生碳化层而不失去其原有骨架形状。缺点是:树脂性质较脆、机械强度不高,必须加入填料或增强材料以改善性能,提高强度;成型工艺复杂,大多只能采用模压或层压法,生产效率低	酚醛、氨基(包括脲醛及三聚氰胺甲醛)、环氧、有机硅、不饱和聚酯(简称聚酯)、聚氨酯、聚邻(间)苯二甲酸二丙烯酯、呋喃、聚二苯醚
	热塑性塑料	以聚合树脂或缩聚树脂为基料,加入少量的稳定剂、润滑剂或增塑剂,加或不加填料制取而成。性能特点是:受热软化、熔融,具有可塑性,可塑制成一定形状的制品,冷却后坚硬;再热又可软化,塑制成另一形状的制品,可以反复重塑,而其基本性能不变。优点是:成型工艺简便,形式多种多样,生产效率高,可以直接注射或挤压、吹塑成所需形状的制品,而且具有一定的物理力学性能。缺点是:耐热性和刚性都较差,最高使用温度一般只有120℃左右,使用时不能超过温度极限,否则就会引起变形。氟塑料、聚酰亚胺、聚苯并咪唑等各有其突出的性能,如优良的耐腐蚀、耐高温、高绝缘、低摩擦因数等	聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS、聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)、聚甲醛、聚酰胺(尼龙)、聚碳酸酯、聚苯醚、聚砜、聚芳砜、氯化聚醚、线型聚酯、聚酚氧、氟塑料、聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚苯并咪唑
按实际应用情况及性能特点分	通用塑料	包括聚氯乙烯等六大常用塑料品种,特点是产量大,价格低,通用性强,用途广泛	聚氯乙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、酚醛、氨基
	工程塑料	是指力学性能比较好的,可以代替金属作为工程结构材料的一类塑料。它在各种环境(如高温、低温、腐蚀、机械应力等)下均能保持优良的性能,并有很好的机械强度、韧性和刚性,有的塑料还有很好的耐蚀性、耐磨性、自润滑性以及尺寸稳定性好等特点。它可用挤压、注射、浇注、模塑或压制等方法加工成型 工程塑料通常是指热塑性塑料,但也包括少数的热固性塑料	聚酰胺(尼龙)、聚甲醛、聚碳酸酯、ABS、聚砜、氯化聚醚、聚苯醚、聚酚氧、线型聚酯、聚邻(间)苯二甲酸二丙烯酯、环氧
	耐高温塑料	是指耐高温及其他特殊用途的塑料品种,特点是耐热性好,大都可以在150℃以上工作,有的还可在200~250℃下长期工作,但一般价格较高、产量较小	有机硅、氟塑料、聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚苯并咪唑、聚二苯醚、芳香尼龙、聚芳砜

续表

分类方法	分类名称	特点及说明	典型品种
按成型方法和制品状态分	压塑料	是指以热固性树脂或热塑性树脂和填料为基础,再加其他必要的添加剂配制而成的一种粉状或纤维状、碎屑状的半成品,利用模压法在模型中压制所需形状的塑料制品。其成品性能不仅取决于树脂品种,而且与填料有密切关系。根据所用填料的不同,压塑料通常分为:以有机物为主填料的压塑料,如酚醛木粉压塑料、酚醛碎纸压塑料;以无机物为主填料的压塑料,如酚醛石棉压塑料、聚酯玻璃纤维压塑料	酚醛木粉、酚醛高岭土、酚醛石粉、酚醛玻璃纤维、酚醛石棉、酚醛石棉云母、三聚氰胺甲醛玻璃纤维、三聚氰胺石棉、有机硅石棉、聚酰亚胺玻璃纤维、聚酯玻璃纤维
	层压塑料	是指以片状增强材料(如纸、布、玻璃纤维布等)在合成树脂中浸渍后,用层压法(或卷制法)压制而成的一种板状或棒状、管状半成品。层压制品一般适用于热固性塑料,通过机械加工制作成各种耐磨、传动机械零件和电气绝缘结构件	酚醛层压纸、酚醛层压布、环氧酚醛层压玻璃纤维布、三聚氰胺层压玻璃纤维布、聚酰亚胺层压玻璃纤维布
	铸塑料	又称浇铸塑料,是以纯树脂或树脂与填料按一定配比配制,采用浇铸成型方法制作各种制品,如有机玻璃和其他成型零件	有机玻璃、单体浇铸尼龙、环氧浇铸料、聚酯浇铸料、酚醛浇铸料、聚苯乙烯浇铸料
	增强塑料	<p>是指以热固性或热塑性树脂为黏结剂,以纤维为增强材料的一种复合材料</p> <p>热塑性增强塑料一般都采用玻璃纤维增强,对尼龙增强的效果最为显著,对聚碳酸酯、线型聚酯、聚乙烯和聚丙烯等的效果也很优良。热塑性树脂增强后的强度、刚性、硬度及抗蠕变性能都有所提高,耐热性也显著上升,线胀系数和吸水率降低,尺寸稳定性增加,并可抑制应力开裂。冲击强度有所下降,但缺口敏感性有改善。成型工艺可采用一般注射方法。用于对强度、耐热、尺寸稳定性和电性能等要求较高的机械零件</p> <p>热固性增强塑料所用的增强材料,主要是玻璃纤维或玻璃布、玻璃带、玻璃毡等,这种增强塑料一般称为玻璃钢。成型方法有手糊法、模压法、层压法、袋压法、液压法、喷射法和缠绕法等多种,特点是重量轻、强度大,特别是比强度高,超过普通钢材;耐腐蚀、耐热、耐辐射,有优越的电绝缘性能和良好的高频电磁波渗透性;成型方法比较方便,价格较低</p>	<p>热塑性玻璃纤维增强塑料主要有尼龙、聚碳酸酯、线型聚酯、聚乙烯、聚丙烯</p> <p>热固性玻璃增强塑料的主要品种有酚醛玻璃钢、环氧玻璃钢、聚酯玻璃钢、呋喃玻璃钢、聚二苯醚玻璃钢</p>
	泡沫塑料	是以合成树脂为基料,加入一定量的发泡剂、催化剂、稳定剂等辅助材料,经加热发泡而制成。特点是单位体积重量极小,热导率低,具有轻质、绝热、隔声、耐潮、耐蚀、抗振等优良性能。热固性泡沫塑料耐热性较高,但制造困难,易脆;热塑性泡沫塑料有较高的弹性和抗振能力,但耐热性差	聚氯乙稀泡沫塑料、聚苯乙烯泡沫塑料、脲醛泡沫塑料、聚氨酯泡沫塑料



## 2.3 工程常用塑料的综合性能、用途及选用

工程常用塑料

表 3-3-21

塑料名称	物 理 力													
	密度 /g· cm <sup>-3</sup>	吸水 率 /%	成品 收缩 率 /%	马丁 耐热 /°C	连续 耐热 /°C	维卡 耐热 /°C	热变形温度 /°C		脆化 温度 /°C	燃烧性	线胀 系数 /10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>	拉伸 强度 /M	弯曲 强度 /M	
							1.86 MPa	0.46 MPa						
硬聚氯乙烯(PVC)	1.35 ~ 1.45	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	50 ~ 65	49 ~ 71		56 ~ 73	75 ~ 82	-15	自熄	5 ~ 8	45 ~ 50	70 ~ 112	
软聚氯乙烯	1.16 ~ 1.35	0.15 ~ 0.75	2 ~ 4	40 ~ 70	55 ~ 80				-30 ~ -35	缓慢 至自熄	7 ~ 25			
高密度聚乙烯(HDPE)	0.94 ~ 0.965	<0.01	1.5 ~ 3.6		121	121 ~ 127	48	60 ~ 82	-70	很慢	12.6 ~ 16	屈服 22 ~ 29 断裂 15 ~ 16	25 ~ 40	
改性有机玻璃 (372)(PMMA)	1.18	<0.2	0.5	≥60		≥110	85 ~ 100				5 ~ 6	≥50	≥100	
聚丙烯(PP)	0.90 ~ 0.91	0.03 ~ 0.04	1.0 ~ 1.2	44	121		56 ~ 67	100 ~ 116	-35	自熄	10.8 ~ 11.2	30 ~ 39	42 ~ 56	
改性聚苯乙烯 (204)(PS)	1.07	0.17	0.4 ~ 0.7	75	60 ~ 96		175 ~ 205				5 ~ 5.5	≥50	≥72	
聚砜(PSU)	1.24	0.12 ~ 0.22	0.8	156	150 ~ 174		174	181	-100	自熄	5.0 ~ 5.2	72 ~ 85	108 ~ 127	
ABS	超高冲击型	1.05	0.3	0.5			87	96		缓慢	10.0	35	62	
	高强度中冲击型	1.07	0.3	0.4			89	98			7.0	63	97	
	低温冲击型	1.02	0.2				78 ~ 85	98		厚 > 1.27mm, 0.55mm/s	8.6 ~ 9.9	21 ~ 28	25 ~ 46	
	耐热型	1.06 ~ 1.08	0.2				96 ~ 110	104 ~ 116			6.8 ~ 8.2	53 ~ 56	84	
聚酰胺 (PA)	尼龙 1010	未增强	1.04 ~ 1.06	0.39	1.0 ~ 2.5	45	80 ~ 120	123 ~ 190		-60	自熄	10.5	52 ~ 55	89
		玻璃纤维增强	1.23	0.05		180				-60	自熄	3.1	180	237
	尼龙 610	干态	1.07 ~ 1.09	0.4 ~ 0.5	1.0 ~ 1.5	51 ~ 56		195 ~ 205			自熄	9 ~ 12	60	
		含水 1.5%											47	
	尼龙 66	干态	1.14 ~ 1.15	1.5	1.5	50 ~ 60	82 ~ 140	66 ~ 68	182 ~ 185	-25 ~ -30	自熄	9 ~ 10	83	100 ~ 110
		含水 2.3%											56.5	
	尼龙 6	干态	1.13 ~ 1.15	1.9	0.8 ~ 1.5	40 ~ 50	79 ~ 121	55 ~ 58	180	-20 ~ -30	自熄	7.9 ~ 8.7	74 ~ 78	100
		含水 3.5%											52 ~ 54	70
	尼龙 11	1.04	0.4		(38)			173 ~ 178			自熄	11.4 ~ 12.4	47 ~ 58	76
	尼龙 9	1.05	1.2	1.5 ~ 2.5	42 ~ 48							8 ~ 12	58 ~ 65	80 ~ 85
MC 尼龙 (单体浇铸尼龙)	1.16			55			94	205		自熄	8.3	90 ~ 97	152 ~ 171	

的综合性能<sup>[4]</sup>

学 性 能							电 性 能							
压缩 强度	疲劳 强度 (10 <sup>7</sup> 次)	冲击韧度 /J·cm <sup>-2</sup>		拉伸弹 性模量	弯曲弹 性模量	断裂 伸长率 /%	硬 度		介电 常数	介电 损耗	体积 电阻 率	击穿 强度 /kV· mm <sup>-1</sup>	耐电 弧性/s	
		缺口	无缺口				/10 <sup>3</sup> MPa	洛 氏						布氏 HB
Pa							R	M						
56.2 ~ 91.4		1.09 ~ 2.18	0.3 ~ 0.4			20 ~ 40		邵氏 D 70 ~ 90		14 ~ 17		10 <sup>12</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	17 ~ 52	60 ~ 80
6.2 ~ 11.8			0.39 ~ 1.18			200 ~ 450		邵氏 D 20 ~ 30		5 ~ 9	0.08 ~ 0.015	10 <sup>11</sup> ~ 10 <sup>18</sup>	12 ~ 40	
22.5	11	7 ~ 8	不断	0.84 ~ 0.95	1.1 ~ 1.4	60 ~ 150		邵氏 D 60 ~ 70		2.3 ~ 2.35	<0.005	10 <sup>16</sup>		150
			≥0.12									表面 4.5 × 10 <sup>15</sup>	20	
39 ~ 56	11 ~ 22	0.22 ~ 0.5	不断	1.1 ~ 1.6	1.2 ~ 1.6	> 200	95 ~ 105			2.0 ~ 2.6	0.001	> 10 <sup>16</sup>	30	125 ~ 185
≥90		≥1.6	0.12 ~ 0.26			1.0 ~ 3.7		68 ~ 98 (HRM)		3.12		10 <sup>16</sup>	25	
89 ~ 97		0.7 ~ 0.81	1.72 ~ 3.7	2.5 ~ 2.8	2.8	20 ~ 100	120		10.8	2.9 ~ 3.1	0.001 ~ 0.006	10 <sup>16</sup>	16.1 ~ 20	122
		5.3		1.8	1.8		100			2.4 ~ 5.0	0.003 ~ 0.008	10 <sup>16</sup>		50 ~ 85
		0.6		2.9	3.0		121			2.4 ~ 5.0	0.003 ~ 0.008	10 <sup>16</sup>		50 ~ 85
18 ~ 39		2.7 ~ 4.9		0.7 ~ 1.8	1.2 ~ 2.0		62 ~ 88			3.7	0.011 ~ 0.073	10 <sup>13</sup>	15.1 ~ 15.7	70 ~ 80
70		1.6 ~ 3.2		2.5	2.5 ~ 2.6		108 ~ 116			2.7 ~ 3.5	0.034	10 <sup>13</sup>	14.2 ~ 15.7	70 ~ 80
79		0.4 ~ 0.5	不断	1.6	1.3	100 ~ 250			7.1	2.5 ~ 3.6	0.020 ~ 0.026	> 10 <sup>14</sup>	> 20	
157		0.85	100	8.8	5.9				12.4		0.027	10 <sup>15</sup>	29	
90		0.35 ~ 0.55		2.3		85	111 ~ 113			3.9	0.04	10 <sup>14</sup>	28.5	
70		0.98		1.2		220 ~ 240	90							
120		0.39		3.2 ~ 3.3	2.9 ~ 3.0	60	118			40	0.014	10 <sup>14</sup>	15 ~ 19	130 ~ 140
90	23 ~ 25	1.38		1.4	1.2	200	100							
90	12 ~ 19	0.31		2.6	2.4 ~ 2.6	150	114			4.1	0.01	10 <sup>14</sup> ~ 10 <sup>15</sup>	22	
60		> 5.5		0.83	0.53	250	85							
80 ~ 110		0.35 ~ 0.48	3.8	1.2	1.1	60 ~ 230	100 ~ 113		7.5		0.06	10 <sup>15</sup>	29.5	
			2.5 ~ 3.0	1.0 ~ 1.2	1.0 ~ 1.2					3.7	0.019	5.5 × 10 <sup>14</sup>	> 15	
107 ~ 130	约 20		> 5.0	3.6	4.2	20 ~ 30			14 ~ 21	3.7	0.02			

塑料名称		物 理 力												
		密度 /g· cm <sup>-3</sup>	吸水率 /%	成品 收缩率 /%	马丁 耐热 /°C	连续 耐热 /°C	维卡 耐热 /°C	热变形温度 /°C		脆化 温度 /°C	燃烧性	线胀 系数 /10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>	拉伸 强度 /M	弯曲 强度 /M
								1.86 MPa	0.46 MPa					
聚甲醛 (POM)	共聚	1.41 ~ 1.43	0.22 ~ 0.25	2.0 ~ 3.0	57 ~ 62	104		110	168	-40	缓慢	11.0	屈服 62 ~ 68	91 ~ 92
	均聚	1.42 ~ 1.43	0.25	2.0 ~ 2.5	60 ~ 64	85		124	170		缓慢	10.0	70	98
聚碳酸酯 (PC)	未增强	1.20	0.13	0.5 ~ 0.8	110 ~ 130	121		132 ~ 138		-100	自熄	6 ~ 7	67	98 ~ 106
	增强	1.40	0.07 ~ 0.09	0.1 ~ 0.5	150 ~ 152	140 ~ 141		147 ~ 149			不燃	1.6 ~ 2.7	110 ~ 140	160 ~ 190
氯化聚醚(聚氯醚) (CPE)		1.40	0.01	0.4 ~ 0.8	72	120 ~ 143		100	141	-40	自熄	12	42.3	70 ~ 77
聚酚氧(苯氧树脂)		1.18	0.13	0.3 ~ 0.4		77		86	92	-60		5.8 ~ 6.8	63 ~ 70	90 ~ 110
线型 聚酯 (PET)	未增强	1.37 ~ 1.38	0.26	1.8				85	115			6.0	80	117
	增强	1.63 ~ 1.70		0.2 ~ 1.0	130 ~ 140			240			缓慢	2.5 ~ 3.4	120	145 ~ 175
聚苯醚 (PPO)	PPO	1.06 ~ 1.07	0.07	0.7 ~ 1.0	144 ~ 160	200		190		-127	缓慢 至自熄	5.0 ~ 5.6	屈服 86.5 ~ 89.5 断裂 66.5	98 ~ 137
	改性 PPO	1.06	0.066	0.7		100		190		-45	自熄	6.7	67	95
氟塑料	F-4(聚四氟乙 烯)(PTFE)	2.10 ~ 2.20	0.001 ~ 0.005	模压 1 ~ 5		260		55	121	-180 ~ -195	自熄	10 ~ 12	14 ~ 25	11 ~ 14
	F-3(聚三氟乙 烯)(PCTFE)	2.10 ~ 2.20	<0.005	1 ~ 2.5	70	120 ~ 190		75	130	-180 ~ -195	自熄	4.5 ~ 7.0	32 ~ 40	55 ~ 70
	F-2	1.76	0.04	2.0		150		91	149	-62	自熄	8.5 ~ 15.3	46 ~ 49.2	
	F-46(聚全氟 乙丙烯)(FEP)	2.10 ~ 2.20	<0.01	2 ~ 5		204		51	70	-200	自熄	8.3 ~ 10.5	20 ~ 25	
	F-23	2.02				170 ~ 180							25 ~ 30	35
聚酰 亚胺 (PI)	均苯型	1.40 ~ 1.60	0.2 ~ 0.3			260	>300	360		-180	自熄	5.5 ~ 6.3	94.5	>100
	可溶型	1.34 ~ 1.40	0.2 ~ 0.3	0.5 ~ 1.0		200 ~ 250	250 ~ 270			-180	自熄		120	200 ~ 210
酚醛塑料(PF)		1.60 ~ 2.00	≤0.05		≥150							1.5 ~ 2.5	≥25	≥60
聚苯 硫醚 (PPS)	未增强	1.30 ~ 1.50			105			135				2.8	6.5	9.6
	增强	1.60 ~ 1.65	0.02					260				14.2 ~ 17.9		1.96

注: 还有如下塑料未列入本表, 即醋酸纤维素(CA); 甲酚甲醛树脂(CF); 氯化聚乙烯(CPE); 邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP); 聚酯(UP)。

续表

学 性 能							电 性 能							
压缩 强度	疲劳 强度 (10 <sup>7</sup> 次)	冲击韧度 /J·cm <sup>-2</sup>		拉伸弹 性模量	弯曲弹 性模量	断裂 伸长率 /%	硬 度			介电 常数	介电 损耗	体积 电阻率 /Ω·cm	击穿 强度 /kV· mm <sup>-1</sup>	耐电 弧性/s
		缺口	无缺口				洛 氏		布氏 HB					
							R	M						
Pa				/10 <sup>3</sup> MPa						/10 <sup>6</sup> Hz				
113	25~27	0.65~ 0.76	0.9~ 1.1	2.8	2.6	60~75	120	94		3.8	0.005	10 <sup>14</sup>	18.6	240
122	30~35	0.65	1.08	2.9	2.9	15~25		80		3.7	0.004	10 <sup>14</sup>		129
83~88	7~10	6.4~ 7.5	不断	2.2~ 2.4	2.0~ 3.0	60~ 100		75	9.7~ 10.4	3.0	0.006~ 0.007	10 <sup>16</sup>	17~22	120
120~ 135			0.65	6.6~ 11.9	4.8~ 7.5	1~5			12.8	3.2~ 3.5	0.003~ 0.005	10 <sup>15</sup>		5~120
63~87		0.21	>0.5	1.1	0.9	60~ 160	100			3.1~ 3.3	0.011	6×10 <sup>14</sup>	15.8	
84		0.134	不断	2.7	2.9	60~ 100	121	72		3.8~ 4.1	0.0012	10 <sup>15</sup>		
		0.04		2.9		200				3.4	0.021	10 <sup>14</sup>		
130~ 161		0.085		8.3~ 9.0	6.2	15		95~ 100	14.5	3.78	0.016	10 <sup>16</sup>	18~35	90~120
91~ 112	14	0.083~ 0.102	0.53~ 0.64	2.6~ 2.8	2.0~ 2.1	30~80	118~ 123	78		2.58	0.001	10 <sup>16</sup> ~ 10 <sup>17</sup>	15.8~ 20.5	
115	约20	0.7		2.5	2.5	20	119	78		2.64	0.0004	10 <sup>17</sup>		
12		0.164		0.4		250~ 350	58	邵氏 D 50~65		2.0~ 2.2	0.0002	10 <sup>18</sup>	25~40	>200
		0.13~ 0.17		1.1~ 1.3	1.3~ 1.8	50~ 190		邵氏 D 74~78	10~13	2.3~ 2.7	0.0017	1.2× 10 <sup>16</sup>	19.7	360
70		0.203	0.16	0.84	1.4	30~ 300		邵氏 D 80		8.4	0.018	2×10 <sup>14</sup>	10.2	50~70
		不断	不断	0.35		250~ 370	25			2.1	0.0007	2×10 <sup>18</sup>	40	>160
					1.0~ 1.2	150~ 250			7.8~ 8.0	3.0	0.012	10 <sup>16</sup> ~ 10 <sup>17</sup>	23~25	
>170	26	0.38	0.54		3.2	6~8				3~4	0.003	10 <sup>17</sup>	>40	230
>230		1.2	不断		3.3	6~10				3.1~ 3.5	0.001~ 0.005	10 <sup>15</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	>30	
≧100	抗剪 强度 ≧25		≧0.35						≧30					
			0.78~ 0.98		3.8	3	117			3.4~ 3.8			20	
			2.9~ 3.9		10.7	3	123	428		3.8~ 4.2	0.002~ 0.006		17.1~ 18.4	160

二甲基乙酰胺 (DMA); 环氧树脂 (EP); 玻璃纤维 (GF); 聚乙烯醇 (PVAI); 聚氨基甲酸酯 (PUR); 增强塑料 (RP); 不饱和

工程常用塑料的特点和用途<sup>[4]</sup>

表 3-3-22

塑料名称	特点	用途
硬聚氯乙烯 (PVC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①耐腐蚀性能好,除强氧化性酸(浓硝酸、发烟硫酸)、芳香族及含氟的碳氢化合物和有机溶剂外,对一般的酸、碱介质都是稳定的</li> <li>②机械强度高,特别是冲击韧性优于酚醛塑料</li> <li>③电性能好</li> <li>④软化点低,使用温度为<math>-10 \sim +55^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①可代替铜、铝、铅、不锈钢等金属材料制作耐腐蚀设备与零件</li> <li>②可制作灯头、插座、开关等</li> </ul>
高密度聚乙烯 (HDPE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①耐寒性良好,在<math>-70^{\circ}\text{C}</math>时仍柔软</li> <li>②摩擦因数低,为0.21</li> <li>③除浓硝酸、汽油、氯化烃及芳香烃外,可耐强酸、强碱及有机溶剂的腐蚀</li> <li>④吸水性小,有良好的电绝缘性能和耐辐射性能</li> <li>⑤注射成型工艺性好,可用火焰、静电喷涂法涂于金属表面,作为耐磨、减摩及防腐涂层</li> <li>⑥机械强度不高,热变形温度低,故不能承受较高的载荷,否则会产生蠕变及应力松弛,使用温度可达<math>80 \sim 100^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①制作一般结构零件</li> <li>②制作减摩自润滑零件,如低速、轻载的衬套等</li> <li>③制作耐腐蚀的设备与零件</li> <li>④制作电器绝缘材料,如高频、水底和一般电缆的包皮等</li> </ul>
改性有机玻璃 (372) (PMMA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①有极好的透光性,可透过92%以上的太阳光,紫外线光达73.5%</li> <li>②综合性能超过聚苯乙烯等一般塑料,机械强度较高,有一定耐热耐寒性</li> <li>③耐腐蚀、绝缘性能良好</li> <li>④尺寸稳定,易于成型</li> <li>⑤质较脆,易溶于有机溶剂中,作为透光材料,表面硬度不够,易擦毛</li> </ul>	可制作要求有一定强度的透明结构零件
聚丙烯 (PP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①是最轻的塑料之一,它的屈服、拉伸和压缩强度以及硬度均优于高密度聚乙烯,有很突出的刚性,高温(<math>90^{\circ}\text{C}</math>)抗应力松弛性能良好</li> <li>②耐热性能较好,可在<math>100^{\circ}\text{C}</math>以上使用,如无外力,在<math>150^{\circ}\text{C}</math>也不变形</li> <li>③除浓硫酸、浓硝酸外,在许多介质中,几乎都很稳定。但低相对分子质量的脂肪烃、芳香烃、氯化烃对它有软化和溶胀作用</li> <li>④几乎不吸水,高频电性能好,成型容易,但成型收缩率大</li> <li>⑤低温呈脆性,耐磨性不高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①制作一般结构零件</li> <li>②制作耐腐蚀化工设备与零件</li> <li>③制作受热的电气绝缘零件</li> </ul>
改性聚苯乙烯 (204) (PS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①有较好的韧性和一定的抗冲击性能</li> <li>②有优良的透明度(与有机玻璃相似)</li> <li>③化学稳定性及耐水、耐油性能都较好,并易于成型</li> </ul>	制作透明结构零件,如汽车用各种灯罩、电气零件等
改性聚苯乙烯 (203A) (PS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①与聚苯乙烯相比有较高的韧性和抗冲击性能</li> <li>②耐酸、碱性能好,但不耐有机溶剂</li> <li>③电气性能优良</li> <li>④透光性好,着色性佳,并易于成型</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①制作一般结构零件和透明结构零件</li> <li>②制作仪表零件、油浸式多点切换开关、电池外壳等</li> </ul>
聚砜 (PSU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①不仅能耐高温,也能在低温下保持优良的力学性能,故可在<math>-100 \sim +150^{\circ}\text{C}</math>下长期使用</li> <li>②在高温下能保持常温下所具有的各种力学性能和硬度,蠕变值很小。冲击韧性好,具有良好的尺寸稳定性</li> <li>③化学稳定性好</li> <li>④电绝缘、热绝缘性能良好</li> <li>⑤用F-4填充后,可制作摩擦零件</li> </ul>	适用于高温下工作的耐磨受力传动零件,如汽车分速器盖、齿轮等,以及电绝缘零件、耐热零件

续表

塑料名称	特点	用途	
ABS	①由于 ABS 是由苯乙烯-丁二烯-丙烯腈为基的三元共聚体,故具有良好的综合性能,即高的冲击韧性和良好的机械强度 ②优良的耐热、耐油性能和化学稳定性 ③尺寸稳定,易于成型和机械加工,且表面还可镀金属 ④电性能良好	①制作一般结构或耐磨受力传动零件,如齿轮、轴承等,也可制作叶轮 ②制作耐腐蚀设备与零件 ③用 ABS 制成的泡沫夹层板可制作小轿车车身	
聚酰胺 (PA)	尼龙 66 (PA-66)	疲劳强度和刚性较高,耐热性较好,耐磨性好,但吸湿性大,尺寸稳定性不够,摩擦因数低,为 0.15 ~ 0.40, $pv$ 极限值为 $0.9 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{m/s}$	适用于在中等载荷、使用温度不高于 120℃、无润滑或少润滑条件下工作的耐磨受力传动零件
	尼龙 6 (PA-6)	疲劳强度、刚性、耐热性略低于尼龙 66,但弹性好,有较好的消振、降噪能力。其余同尼龙 66	适用于在轻负荷、中等温度(最高 100℃)、无润滑或少润滑、要求噪声低的条件下工作的耐磨受力传动零件
	尼龙 610 (PA-610)	强度、刚性、耐热性略低于尼龙 66,但吸湿性较小,耐磨性好	同尼龙 6。制作要求比较精密的齿轮,并适用于在湿度波动较大的条件下工作的零件
	尼龙 1010 (PA-1010)	强度、刚性、耐热性均与尼龙 6、尼龙 610 相似,而吸湿性低于尼龙 610。成型工艺性较好,耐磨性也好	适用于在轻载荷、温度不高、湿度变化较大且无润滑或少润滑的情况下工作的零件
	MC 尼龙 (PA-MC)	强度、耐疲劳性、耐热性、刚性均优于尼龙 6 及尼龙 66,吸湿性低于尼龙 6 及尼龙 66,耐磨性好,能直接在模型中聚合成型。适宜浇铸大型零件,如大型齿轮、蜗轮,轴承及其他受力零件等。摩擦因数为 0.15 ~ 0.30	适用于在较高载荷、较高使用温度(最高使用温度低于 120℃)、无润滑或少润滑条件下工作的零件
聚甲醛 (POM)	①耐疲劳性和刚性高于尼龙,尤其是弹性模量高、硬度高,这是其他塑料所不能相比的 ②自润滑性能好,耐磨性好,摩擦因数为 0.15 ~ 0.35, $pv$ 极限值为 $1.26 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{m/s}$ ③较小的蠕变性和吸湿性,故尺寸稳定性好,但成型收缩率大于尼龙 ④长期使用温度为 -40 ~ +100℃ ⑤用聚四氟乙烯填充的聚甲醛,可显著降低摩擦因数,提高耐磨性和 $pv$ 极限值	①制作对强度有一定要求的一般结构零件 ②适用于在轻载荷、无润滑或少润滑条件下工作的各种耐磨受力传动零件 ③制作减摩自润滑零件	
聚碳酸酯 (PC)	①力学性能优异,尤其是具有优良的冲击韧性 ②蠕变性相当小,故尺寸稳定性好 ③耐热性高于尼龙、聚甲醛,长期工作温度可达 130℃ ④疲劳强度低,易产生应力开裂,长期允许负荷较小,耐磨性欠佳 ⑤透光率达 89%,接近有机玻璃	①制作耐磨受力的传动零件 ②制作支架、壳体、垫片等一般结构零件 ③制作耐热透明结构零件,如防爆灯、防护玻璃等 ④制作各种仪器仪表的精密零件	
氯化聚醚 (CPE)	①具有独特的耐腐蚀性能,仅次于聚四氟乙烯,可与聚三氟乙烯相比,能耐各种酸、碱和有机溶剂。在高温下不耐浓硝酸、浓双氧水和湿氯气等 ②可在 120℃ 下长期使用 ③强度、刚性比尼龙、聚甲醛等低,耐磨性略优于尼龙, $pv$ 极限值为 $0.72 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{m/s}$ ④吸湿性小,成品收缩率小,尺寸稳定,成品精度高 ⑤可用火焰喷镀法涂于金属表面	①制作耐腐蚀设备与零件 ②制作在腐蚀介质中使用的低速或高速、低负荷的精密耐磨受力传动零件	

塑料名称	特点	用途
聚酚氧(苯氧树脂)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①具有优良的力学性能,高的刚性、硬度和韧性。冲击强度可与聚碳酸酯相比,抗蠕变性能与大多数热塑性塑料相比属于优等</li> <li>②吸湿性小,尺寸稳定,成型精度高</li> <li>③一般推荐的最高使用温度为 77℃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①适用于精密的、形状复杂的耐磨受力传动零件</li> <li>②适用于仪表、计算机等零件</li> </ul>
线型聚酯(聚对苯二甲酸乙二醇酯)(PETP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①具有很高的力学性能,拉伸强度超过聚甲醛,抗蠕变性能、刚性和硬度都胜过多种工程塑料</li> <li>②吸湿性小,线胀系数小,尺寸稳定性高</li> <li>③热力学性能与冲击性能很差</li> <li>④耐磨性可与聚甲醛、尼龙比美</li> <li>⑤增强的线型聚酯,其性能相当于热固性塑料</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①制作耐磨受力传动零件,特别是与有机溶剂如油类、芳香烃、氯化烃接触的上述零件</li> <li>②增强的聚酯可代替玻璃纤维填充的酚醛、环氧等热固性塑料</li> </ul>
聚苯醚(PPO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①在高温下仍能保持良好的力学性能,最突出的特点是拉伸强度和蠕变性能极好</li> <li>②较高的耐热性,可与一般热固性塑料比美,长期使用温度为 -127 ~ +120℃</li> <li>③成型收缩率低,尺寸稳定</li> <li>④耐高浓度的无机酸、有机酸及其盐的水溶液、碱及水蒸气,但溶于氯化烃和芳香烃中,在丙酮、石油、甲酸中龟裂和膨胀</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①适用于高温工作下的耐磨受力传动零件</li> <li>②制作耐腐蚀的化工设备与零件,如泵叶轮、阀门、管道等</li> <li>③可代替不锈钢制作外科医疗器械</li> </ul>
聚四氟乙烯(F-4)(PTFE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①聚四氟乙烯素称“塑料王”,具有高度的化学稳定性,对强酸、强碱、强氧化剂、有机溶剂均耐蚀,只有对熔融状态的碱金属及高温下的氟元素才不耐蚀</li> <li>②有异常好的润滑性,具有极低的动、静摩擦因数,对金属的摩擦因数为 0.07 ~ 0.14,自摩擦因数接近冰,<math>p_v</math> 极限值为 <math>0.64 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{m/s}</math></li> <li>③可在 260℃ 长期连续使用,也可在 -250℃ 的低温下满意地使用</li> <li>④优异的电绝缘性</li> <li>⑤耐大气老化性能好</li> <li>⑥突出的表面不粘性,几乎所有的黏性物质都不能附在它的表面上</li> <li>⑦其缺点是强度低、刚性差,冷流动性大,必须用冷压烧结成型,工艺较复杂</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①制作耐腐蚀化工设备及其衬里与零件</li> <li>②制作减摩自润滑零件,如轴承、活塞环、密封圈等</li> <li>③制作电绝缘材料与零件</li> </ul>
填充 F-4	用玻璃纤维末、二硫化钼、石墨、氧化镉、硫化钨、青铜粉、铅粉等填充的聚四氟乙烯,在承载能力、刚性、 $p_v$ 极限值等方面都有不同程度的提高	用于高温或腐蚀性介质中工作的摩擦零件,如活塞环等
聚三氟氯乙烯(F-3)(PCTFE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①耐热性、电性能和化学稳定性仅次于 F-4,在 180℃ 的酸、碱和盐的溶液中也溶解或侵蚀</li> <li>②机械强度、抗蠕变性能、硬度都比 F-4 好</li> <li>③长期使用温度为 -195 ~ 190℃ 之间,但要求长期保持弹性时,则最高使用温度为 120℃</li> <li>④涂层与金属有一定的附着力,其表面坚韧、耐磨,有较高的强度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①制作耐腐蚀化工设备与零件</li> <li>②悬浮液涂于金属表面可作为防腐、电绝缘防潮等涂层</li> <li>③制作密封零件、电绝缘件、机械零件(如润滑齿轮、轴承)</li> <li>④制作透明件</li> </ul>
聚全氟乙丙烯(F-46)(FEP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①力学、电性能和化学稳定性基本与 F-4 相同,但突出的优点是冲击韧性高,即使带缺口的试样也冲不断</li> <li>②能在 -85 ~ 205℃ 温度范围内长期使用</li> <li>③可用注射法成型</li> <li>④摩擦因数为 0.08, <math>p_v</math> 极限值为 <math>(0.6 \sim 0.9) \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{m/s}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①同 F-4</li> <li>②用于制作要求大批量生产或外形复杂的零件,并用注射成型代替 F-4 的冷压烧结成型</li> </ul>
聚酰亚胺(PI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①是新型的耐高温、高强度的塑料之一,可在 260℃ 温度下长期使用,在有惰性气体存在的情况下,可在 300℃ 下长期使用,间歇使用温度高达 430℃</li> <li>②耐磨性能好,且在高温和高真空下稳定,挥发物少,摩擦因数为 0.17</li> <li>③电性能和耐辐射性能良好</li> <li>④有一定的化学稳定性,不溶于一般有机溶剂和不受酸的侵蚀,但在强碱、沸水、蒸汽持续作用下会破坏</li> <li>⑤主要缺点是质脆,对缺口敏感,不宜在室外长期使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①适用于高温、高真空条件下的减摩、自润滑零件</li> <li>②适用于高温电机、电器零件</li> </ul>

续表

塑料名称	特点	用途
酚醛塑料 (PF)	<p>①具有良好的耐腐蚀性能,能耐大部分酸类、有机溶剂,特别能耐盐酸、氯化氢、硫化氢、二氧化硫、三氧化硫、低及中等浓度硫酸的腐蚀,但不耐强氧化性酸(如硝酸、铬酸等)及碱、碘、溴、苯胺嘧啶等的腐蚀</p> <p>②热稳定性好,一般使用温度为<math>-30 \sim 130^{\circ}\text{C}</math></p> <p>③与一般热塑性塑料相比,它的刚性大,弹性模量均为<math>60 \sim 150\text{MPa}</math>;用布质和玻璃纤维层压塑料,力学性能更高,具有良好的耐油性</p> <p>④在水润滑条件下,只有很低的摩擦因数,约为<math>0.01 \sim 0.03</math>,宜制作摩擦磨损零件</p> <p>⑤电绝缘性能良好</p> <p>⑥冲击韧性不高,质脆,故不宜在机械冲击、剧烈振动、温度变化大的情况下使用</p>	<p>①制作耐腐蚀化工设备与零件</p> <p>②制作耐磨受力传动零件,如齿轮、轴承等</p> <p>③制作电器绝缘零件</p>
聚苯硫醚 (PPS)	<p>①突出的热稳定性</p> <p>②吸湿性小,易加工</p> <p>③与金属、无机材料有良好的附着性,尺寸稳定性好</p> <p>④耐化学性极好,在<math>191 \sim 204^{\circ}\text{C}</math>没有能溶解它的溶剂</p>	<p>①最适宜制作耐腐蚀涂层</p> <p>②注射制品可代替金属材料,制作汽车、照相机部件,如轴承、衬套</p> <p>③制作泵的叶轮、压盖、滚动轴承保持架、机械密封件、密封圈等</p>

工程常用塑料的选用<sup>[4]</sup>

表 3-3-23

产品要求	典型产品名称	工作条件	对材料的性能要求	选用
一般结构零件	壳体、盖板、外罩、支架、手柄、手轮、导管、管接头、紧固件等	不承受动载荷或承受很小的动载荷,工作环境温度不高	只要求较低的强度和耐热性能,但因其用量较大,还要求有较高的生产率、成本低	高密度聚乙烯、改性聚乙烯、聚丙烯、ABS
耐磨传动零件	各种轴承、衬套、齿轮、凸轮、蜗轮、蜗杆、齿条、滚子、联轴器等	承受交变应力和冲击负荷,表面受磨损	要求有较高的强度、刚性、韧性、耐磨性和耐疲劳性,并有较高的热变形温度	尼龙、MC 尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、ABS、酚醛层压板棒、聚酚氧、线型聚酯、氯化聚酯、玻璃纤维增强塑料
减摩、自润滑零件	活塞环、机械动密封圈、填料函、滑动导轨以及轴承等	一般受力较小,但运动速度较高,有的是在无油润滑的情况下运转	机械强度要求不高,主要要求具有低的摩擦因数和良好的自润滑性,并应有高的耐磨性和一定的耐腐蚀性	F-4、填充的 F-4、F-4 填充的聚甲醛、填充改性的聚酰亚胺、高密度聚乙烯、F-46、填充改性酚醛塑料
耐腐蚀零部件	化工容器、管道、泵、阀门、塔器、搅拌器、反应釜、热交换器、冷凝器、分离和排气净化设备等	在常温或较高温度下,长期受酸、碱或其他腐蚀介质的侵蚀	要求具有抗各种强酸、强碱、强氧化剂以及各种有机溶剂等腐蚀的能力,保证正常操作、安全生产	硬聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、ABS、氟塑料、氯化聚酯、聚苯硫醚、酚醛玻璃钢、环氧玻璃钢、呋喃玻璃钢
耐高温零部件	煮沸杀菌用的外科医疗器械,蒸汽管道中的泵及阀门零部件, B 级、F 级、H 级和 C 级电气绝缘零件,高温下工作的齿轮、轴承以及其他机械零件	一般工作温度在 $120^{\circ}\text{C}$ 以上,有的高达 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$	要求具有高的热变形温度及高温抗蠕变性能,有的还要求有高温耐磨、耐腐蚀以及电绝缘性能	<p>①工作温度<math>\leq 130^{\circ}\text{C}</math>——聚苯醚、聚碳酸酯、氯化聚酯、线型聚酯、填充改性酚醛塑料</p> <p>②工作温度<math>\leq 150^{\circ}\text{C}</math>——聚砜、环氧、玻璃纤维增强聚丙烯或尼龙66</p> <p>③工作温度<math>\leq 180 \sim 200^{\circ}\text{C}</math>——有机硅、芳香尼龙、F-46、玻璃纤维增强聚酯或尼龙1010</p> <p>④工作温度<math>\leq 250^{\circ}\text{C}</math>——F-4、聚酰亚胺、聚芳砜、聚苯硫醚</p> <p>⑤工作温度<math>\leq 315^{\circ}\text{C}</math>——聚苯并咪唑、体型聚酯</p>



续表

产品要求	典型产品名称	工作条件	对材料的性能要求	选 用
耐低温零部件	与液氨或液氢、液氧接触的有关零件以及在严寒地区使用的各种机械、电气零部件	在低温或超低温下使用(氨的沸点为 $-33.4^{\circ}\text{C}$ ,凝固点为 $-77.7^{\circ}\text{C}$ ,氢的沸点为 $-252.7^{\circ}\text{C}$ ,凝固点为 $-259.2^{\circ}\text{C}$ ,氧的沸点为 $-182.97^{\circ}\text{C}$ ,熔点为 $-218.9^{\circ}\text{C}$ )	要求在低温或超低温下仍具有良好的力学、电气性能	① $-40^{\circ}\text{C}$ 以上——聚甲醛、线型聚酯、ABS、尼龙1010 ② $-60^{\circ}\text{C}$ 以上——聚甲基丙烯酸甲酯、聚酚氧、F-2 ③ $-70^{\circ}\text{C}$ 以上——低压聚乙烯、芳香尼龙、环氧 ④ $-100^{\circ}\text{C}$ 以上——聚碳酸酯、聚砜、聚苯醚、F-46 ⑤ $-180^{\circ}\text{C}$ 以上——F-4、聚酰亚胺 ⑥ $-240^{\circ}\text{C}$ 以上——聚芳砜
透明结构件	仪表壳、灯罩、风窗玻璃、液面计、油标、设备标牌、光学镜片等	不承受载荷或承受很小的载荷,工作环境温度不高,但需要透光性好	要求一定的透明度和强度,并有一定的耐热性、耐候性和耐磨性	有机玻璃、聚苯乙烯、高压聚乙烯、聚碳酸酯、聚砜、透明ABS、透明芳香尼龙
高强度、高模结构件	燃气轮机压气机叶片、高速风扇叶片、泵叶轮、船用螺旋桨、发电机护环、压力容器、高速离心转筒、船艇壳体、汽车车身等	负荷大,运转速度高;有的承受强大的离心力和热应力,有的受介质腐蚀	要求高强度、高的弹性模量、耐冲击、耐疲劳、耐腐蚀以及较高的热变形温度	玻璃布层压塑料、玻璃纤维增强塑料(如玻璃纤维增强尼龙、玻璃纤维增强聚酯等)、环氧玻璃钢、聚酯玻璃钢

## 2.4 硬聚氯乙烯制品

硬聚氯乙烯层压板材 (摘自 GB/T 4454—1996)

表 3-3-24

项 目	厚 度 $d$		宽 度 $b$	长 度 $l$
	$2 \leq d < 20$	$20 \leq d \leq 50$	$b \geq 700$	$l \geq 1600$
公称尺寸/mm	$2 \leq d < 20$	$20 \leq d \leq 50$	$b \geq 700$	$l \geq 1600$
极限偏差/mm	$\pm 10\%$	$\pm 7\%$	+15 0	+15 0
性 能 及 应 用				
项 目	指 标			
	A 类		B 类	
相对密度	1.38 ~ 1.60			
拉伸强度(纵、横)/MPa	$\geq 49.0$		$\geq 45.0$	
冲击韧度(缺口、平面、侧面)/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	$\geq 3.2$		$\geq 3.0$	
热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\geq 73$		$\geq 65$	
加热尺寸变化率(纵、横)/%	$\pm 3.0$			
整体性	无裂缝			
燃烧性能	I (试样在火源撤离 2s 内熄灭)			

性能及应用			
项 目	指 标		
	A类	B类	
腐 蚀 度 (60℃ ± 2℃, 5h)/g·m <sup>-2</sup>	40% 氢氧化钠溶液	±1.0	—
	40% 硝酸溶液	±1.0	
	30% 硫酸溶液	±1.0	
	35% 盐酸溶液	±2.0	
	10% 氢氧化钠溶液	±1.5	
	水	±1.5	
应 用	在工业中,主要作为化工耐腐蚀材料,也可以作为其他工业用材料	普通用途中,主要用于台面、装饰材料等民用产品,但不宜作为食品容器材料	

注: 1. 厚度大于 20mm 的板材,不考核加热尺寸变化率。

2. 用户要求时考核燃烧性能。

3. 板材不允许有不平整、裂纹和气泡等现象。

4. 板材以聚氯乙烯树脂为主要原料,加入稳定剂和其他助剂,经压延成薄片,再经层压制成。

### 化工用硬聚氯乙烯 (PVC-U) 管材 (摘自 GB/T 4219—1996)

表 3-3-25

mm

公称 外径 <i>d<sub>e</sub></i>	平均 外径 极限 偏差	任何 部位 外径 极限 偏差	公称压力/MPa(适合 0~25℃,若超过按本表规定校正)									
			PN0.4		PN0.6		PN0.8		PN1.0		PN1.6	
			管 系 列									
			S-16.0		S-10.5		S-8.0		S-6.3		S-4.0	
			壁 厚 <i>e</i>									
公称值		极限偏差		公称值		极限偏差		公称值		极限偏差		
20	+0.3 0	0.5	—		—		—		2.0	+0.4 0	2.3	+0.5 0
25	+0.3 0	0.5	—		—		—		2.0	+0.4 0	2.8	+0.5 0
32	+0.3 0	0.5	—		—		2.0	+0.4 0	2.4	+0.5 0	3.6	+0.6 0
40	+0.3 0	0.5	2.0	+0.4 0	2.0	+0.4 0	2.4	+0.5 0	3.0	+0.5 0	4.5	+0.7 0
50	+0.3 0	0.6	2.0	+0.4 0	2.4	+0.5 0	3.0	+0.5 0	3.7	+0.5 0	5.6	+0.8 0
63	+0.3 0	0.8	2.0	+0.4 0	3.0	+0.5 0	3.8	+0.6 0	4.7	+0.7 0	7.1	+1.0 0
75	+0.3 0	0.9	2.3	+0.5 0	3.6	+0.6 0	4.5	+0.7 0	5.5	+0.8 0	8.4	+1.1 0
90	+0.3 0	1.1	2.8	+0.5 0	4.3	+0.7 0	5.4	+0.8 0	6.6	+0.9 0	10.1	+1.3 0
110	+0.4 0	1.4	3.4	+0.6 0	5.3	+0.8 0	6.6	+0.9 0	8.1	+1.1 0	12.3	+1.5 0

公称 外径 $d_e$	平均 外径 极限 偏差	任何 部位 外径 极限 偏差	公称压力/MPa(适合0~25℃,若超过按本表规定校正)									
			PN0.4		PN0.6		PN0.8		PN1.0		PN1.6	
			管 系 列									
			S-16.0		S-10.5		S-8.0		S-6.3		S-4.0	
			壁 厚 $e$									
公称值	极限偏差	公称值	极限偏差	公称值	极限偏差	公称值	极限偏差	公称值	极限偏差	公称值	极限偏差	
125	+0.4 0	1.5	3.9 +0.6 0	6.0 +0.8 0	7.4 +1.0 0	9.2 +1.2 0	14.0 +1.6 0					
140	+0.5 0	1.7	4.3 +0.7 0	6.7 +0.9 0	8.3 +1.1 0	10.3 +1.3 0	15.7 +1.8 0					
160	+0.5 0	2.0	4.9 +0.7 0	7.7 +1.0 0	9.5 +1.2 0	11.8 +1.4 0	17.9 +2.0 0					
180	+0.6 0	2.2	5.5 +0.8 0	8.6 +1.1 0	10.7 +1.3 0	13.3 +1.6 0	20.1 +2.3 0					
200	+0.6 0	2.4	6.2 +0.9 0	9.6 +1.2 0	11.9 +1.4 0	14.7 +1.7 0	22.4 +2.5 0					
225	+0.7 0	2.7	6.9 +0.9 0	10.8 +1.3 0	13.4 +1.6 0	16.6 +1.9 0	25.1 +2.8 0					
250	+0.8 0	3.0	7.7 +1.0 0	11.9 +1.4 0	14.8 +1.7 0	18.4 +2.1 0	27.9 +3.0 0					
280	+0.9 0	3.4	8.6 +1.1 0	13.4 +1.6 0	16.6 +1.9 0	20.6 +2.3 0	—					
315	+1.0 0	3.8	9.7 +1.2 0	15.0 +1.7 0	18.7 +2.1 0	23.2 +2.6 0	—					
355	+1.1 0	4.3	10.9 +1.3 0	16.9 +1.9 0	21.1 +2.4 0	26.1 +2.9 0	—					
400	+1.2 0	4.8	12.3 +1.5 0	19.1 +2.2 0	23.7 +2.6 0	29.4 +3.2 0	—					
450	+1.4 0	5.4	13.8 +1.6 0	21.5 +2.4 0	26.7 +2.9 0	—	—					
500	+1.5 0	6.0	15.3 +1.8 0	23.9 +2.6 0	29.6 +3.2 0	—	—					
560	+1.7 0	6.8	17.2 +2.0 0	26.7 +2.9 0	—	—	—					
630	+1.9 0	7.6	19.3 +2.2 0	30.0 +3.2 0	—	—	—					
710	+2.2 0	8.6	21.8 +2.4 0	—	—	—	—					

## 物理化学性能

指 标 名 称	指 标	备 注
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$\leq 1.55$	表中5个压力等级适用于20℃条件下,若使用温度不同,按下列校正系数校核工作压力
腐蚀度(盐酸、硝酸、硫酸、氢氧化钠)/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	$\leq 1.50$	
维卡软化温度/℃	$\geq 80$	
液压试验	不破裂,不渗漏	

续表

物理化学性能

指标名称	指标	备注	
纵向回缩率/%	≤5	温度 t/℃	校正系数
丙酮浸泡	无脱层、无碎裂	0 < t ≤ 25	1
扁平	无裂纹、无破裂	25 < t ≤ 35	0.8
拉伸屈服应力/MPa	≥45	35 < t ≤ 45	0.63

管材不宜输送的流体

化学药物名称	浓度	化学药物名称	浓度	化学药物名称	浓度
乙醛	40%	溴水	100%	二氯乙烷	100%
乙醛	100%	乙酸丁酯	100%	二氯甲烷	100%
乙酸	冰	丁基苯酚	100%	乙醚	100%
乙酸酐	100%	丁酸	98%	乙酸乙酯	100%
丙酮	100%	氟化氢	100%	丙烯酸乙酯	100%
二硫化碳	100%	乳酸	10% ~ 90%	糖醇树脂	100%
四氯化碳	100%	甲基丙烯酸甲酯	100%	氢氟酸	40%
氯气(干)	100%	硝酸	50% ~ 98%	氢氟酸	60%
液氯	Sat. sol	发烟硫酸	10% SO <sub>3</sub>	盐酸苯肼	97%
氯磺酸	100%	高氯酸	70%	氯化磷(三价)	100%
丙烯醇	96%	汽油(链烃/苯)	80/20	吡啶	100%
氨水	100%	苯酚	90%	二氧化硫	100%
苯胺	100%	苯肼	100%	硫酸	96%
苯胺	Sat. sol	甲酚	Sat. sol	甲苯	100%
盐酸化苯胺	Sat. sol	甲苯基甲酸	Sat. sol	二氯乙烯	100%
苯甲醛	0.1%	巴豆醛	100%	乙酸乙烯	100%
苯	100%	环己醇	100%	混合二甲苯	100%
苯甲酸	Sat. sol	环己酮	100%		

注: 1. 化工硬聚氯乙烯管材适用于输送温度在 45℃ 以下某些腐蚀性化学流体, 但不宜输送表中所列的流体, 也可用于输送非饮用水等压力流体。

- 对  $e/d_e < 0.035$  的管材, 不考核任何部位外径极限偏差。
- 管长为  $4\text{m} \pm 0.02\text{m}$ ;  $6\text{m} \pm 0.02\text{m}$  两种, 或按用户要求。
- 管材内、外壁应光滑、平整、无凹陷, 且无分解变色或其他影响性能的表面缺陷。管材不应含有可见杂质。管端应切割平整, 并与管的轴线垂直。
- 管材同一截面的壁厚偏差不得超过 14%。
- 管材弯曲度:  $d_e \leq 32\text{mm}$ , 弯曲度不规定;  $d_e = 40 \sim 200\text{mm}$ , 弯曲度  $\leq 1\%$ ;  $d_e \geq 225\text{mm}$ , 弯曲度  $\leq 0.5\%$ 。
- Sat. sol 指 20℃ 的饱和水溶液。

化工用硬聚氯乙烯管件 (摘自 QB/T 3802—1999)

表 3-3-26

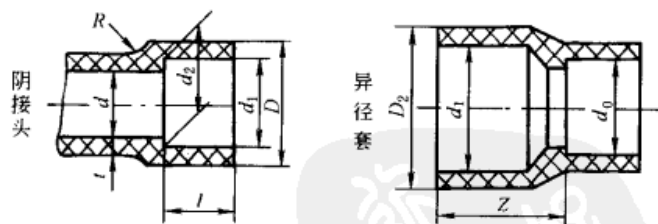
mm

①许用工作压力				
公称直径 $D_c$ /mm	10 ~ 90	110 ~ 140	160	
工作压力 $p/10^5$ Pa	16	10	6	
②用于输送 0 ~ 40℃ 酸、碱等腐蚀性液体				
③ $D_c$ 、 $D'$ 代表管材公称直径				

1. 阴 接 头

2. 弯 头

$D_c$	$d_1$		$d_2$		$l$		$d$	$D_{min}$	$t_{min}$	$D_c$	90°		45°	
	基本尺寸	偏差	基本尺寸	偏差	基本尺寸	偏差					$Z$	$L$	$Z$	$L$
10	10.3	±0.10	10.1	±0.10	12	±0.5	6.1	14.1	2	10	6 ± 1	18	3 ± 1	15
12	12.3	±0.12	12.1	±0.12	12	±0.5	8.1	16.1	2	12	7 ± 1	19	3.5 ± 1	15.5
16	16.3	±0.12	16.1	±0.12	14	±0.5	12.1	20.1	2	16	9 ± 1	23	4.5 ± 1	18.5
20	20.4	±0.14	20.2	±0.14	16	±0.8	15.6	24.8	2.3	20	11 ± 1	27	5 ± 1	21
25	25.5	±0.16	25.2	±0.16	19	±0.8	19.6	30.8	2.8	25	13.5 $^{+1.2}_{-1}$	32.5	6 $^{+1.2}_{-1}$	25
32	32.5	±0.18	32.2	±0.18	22	±0.8	25	39.4	3.6	32	17 $^{+1.6}_{-1}$	39	7.5 $^{+1.6}_{-1}$	29.5
40	40.7	±0.20	40.2	±0.20	26	±1	31.2	49.2	4.5	40	21 $^{+2}_{-1}$	47	9.5 $^{+2}_{-1}$	35.5
50	50.7	±0.22	50.2	±0.22	31	±1	39	61.4	5.6	50	26 $^{+2.5}_{-1}$	57	11.5 $^{+2.5}_{-1}$	42.5
63	63.9	±0.24	63.3	±0.24	38	±1	49.1	77.5	7.1	63	32.5 $^{+3.2}_{-1}$	70.5	14 $^{+3.2}_{-1}$	52
75	76	±0.26	75.3	±0.26	44	±1	58.5	92	8.4	75	38.5 $^{+4}_{-1}$	82.5	16.5 $^{+4}_{-1}$	60.5
90	91.2	±0.30	90.4	±0.30	51	±2	70	110.6	10.1	90	46 $^{+5}_{-1}$	97	19.5 $^{+5}_{-1}$	70.5
110	111.3	±0.34	110.4	±0.34	61	±2	94.2	127	8.1	110	56 $^{+6}_{-1}$	117	23.5 $^{+6}_{-1}$	84.5
125	126.5	±0.38	125.5	±0.38	69	±2	107.1	143.9	9.2	125	63.5 $^{+6}_{-1}$	132.5	27 $^{+6}_{-1}$	96
140	141.6	±0.42	140.5	±0.42	77	±2	119.3	162	10.6	140	71 $^{+7}_{-1}$	148	30 $^{+7}_{-1}$	107
160	161.8	±0.46	160.6	±0.46	86	±2.5	145.2	176	7.7	160	81 $^{+8}_{-1}$	167	34 $^{+8}_{-1}$	120



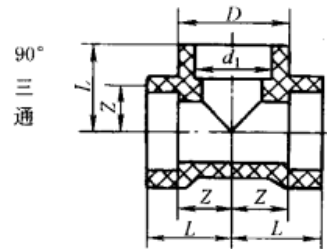
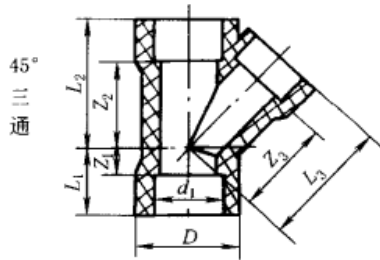
3. 异 径 套

$D_c \times D'_c$	$Z$	$D_2$	$D_c \times D'_c$	$Z$	$D_2$	$D_c \times D'_c$	$Z$	$D_2$
12 × 10	15 ± 1	16 ± 0.2	20 × 12	21 ± 1	25 ± 0.3	32 × 16	30 ± 1	40 ± 0.4
16 × 10	18 ± 1	20 ± 0.3	25 × 12	25 ± 1	32 ± 0.3	40 × 16	30 ± 1.5	50 ± 0.4
20 × 10	21 ± 1	25 ± 0.3	32 × 12	30 ± 1	40 ± 0.4	25 × 20	25 ± 1	32 ± 0.3
25 × 10	25 ± 1	32 ± 0.3	20 × 16	21 ± 1	25 ± 0.3	32 × 20	30 ± 1	40 ± 0.4
16 × 12	18 ± 1	20 ± 0.3	25 × 16	25 ± 1	32 ± 0.3	40 × 20	36 ± 1.5	50 ± 0.4

续表

3. 异 径 套

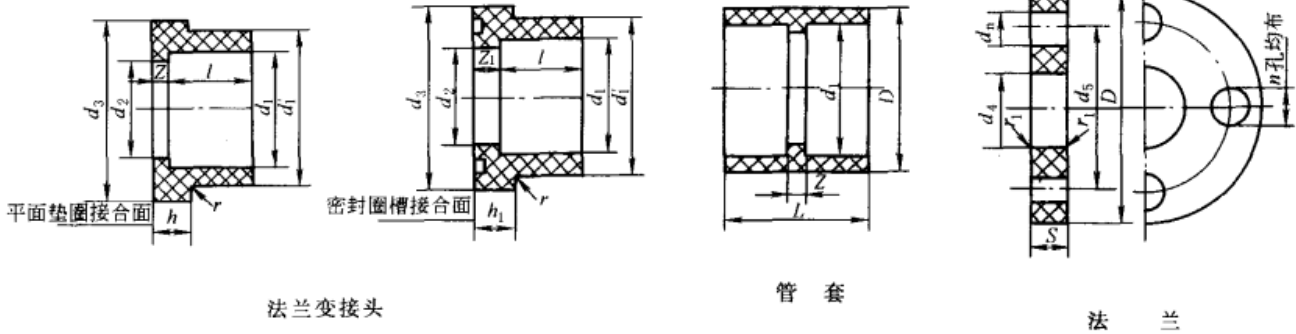
$D_e \times D_e'$	Z	$D_2$	$D_e \times D_e'$	Z	$D_2$	$D_e \times D_e'$	Z	$D_2$
50 × 20	44 ± 1.5	63 ± 0.5	90 × 40	74 ± 2	110 ± 0.8	140 × 75	111 ± 2	160 ± 1.2
32 × 25	30 ± 1	40 ± 0.4	63 × 50	54 ± 1.5	75 ± 0.5	110 × 90	88 ± 2	125 ± 1.0
40 × 25	36 ± 1.5	50 ± 0.4	75 × 50	62 ± 1.5	90 ± 0.7	125 × 90	100 ± 2	140 ± 1.0
50 × 25	44 ± 1.5	63 ± 0.5	90 × 50	74 ± 2	110 ± 0.8	140 × 90	111 ± 2	160 ± 1.2
62 × 25	54 ± 1.5	75 ± 0.5	110 × 50	88 ± 2	125 ± 1.0	160 × 90	126 ± 2	180 ± 1.4
40 × 32	36 ± 1.5	50 ± 0.4	75 × 63	62 ± 1.5	90 ± 0.7	125 × 110	100 ± 2	140 ± 1.0
50 × 32	44 ± 1.5	63 ± 0.5	90 × 63	74 ± 2	110 ± 0.8	140 × 110	111 ± 2	160 ± 1.2
63 × 32	54 ± 1.5	75 ± 0.5	110 × 63	88 ± 2	125 ± 1.0	160 × 110	126 ± 2	180 ± 1.4
75 × 32	62 ± 1.5	90 ± 0.7	125 × 63	100 ± 2	140 ± 1.0	140 × 125	111 ± 2	160 ± 1.2
50 × 40	44 ± 1.5	63 ± 0.5	90 × 75	74 ± 2	110 ± 0.8	160 × 125	126 ± 2	180 ± 1.4
63 × 40	54 ± 1.5	75 ± 0.5	110 × 75	88 ± 2	125 ± 1.0	160 × 140	126 ± 2	180 ± 1.4
75 × 40	62 ± 1.5	90 ± 0.7	125 × 75	100 ± 2	140 ± 1.0			



4. 45° 三通

5. 90° 三通

$D_e$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$D_e$	Z	L	$D_e$	Z	L
20	6 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	27 ± 3	29 ± 3	22	43	51	10	6 ± 1	18	63	32.5 <sup>+3.2</sup> <sub>-1</sub>	70.5
25	7 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	33 ± 3	35 ± 3	26	52	54	12	7 ± 1	19	75	38.5 <sup>+4</sup> <sub>-1</sub>	82.5
32	8 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	42 <sup>+4</sup> <sub>-3</sub>	45 <sup>+5</sup> <sub>-3</sub>	30	64	67	16	9 ± 1	23	90	46 <sup>+5</sup> <sub>-1</sub>	97
40	10 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	51 <sup>+5</sup> <sub>-3</sub>	54 <sup>+5</sup> <sub>-3</sub>	36	77	80	20	11 ± 1	27	110	56 <sup>+6</sup> <sub>-1</sub>	117
50	12 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	63 <sup>+6</sup> <sub>-3</sub>	67 <sup>+6</sup> <sub>-3</sub>	43	94	98	25	13.5 <sup>+1.2</sup> <sub>-1</sub>	32.5	125	63.5 <sup>+6</sup> <sub>-1</sub>	132.5
63	14 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	79 <sup>+7</sup> <sub>-3</sub>	84 <sup>+8</sup> <sub>-3</sub>	52	117	122	30	17 <sup>+1.6</sup> <sub>-1</sub>	39	140	71 <sup>+7</sup> <sub>-1</sub>	148
75	17 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	94 <sup>+9</sup> <sub>-3</sub>	100 <sup>+10</sup> <sub>-3</sub>	61	138	144	40	21 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	47	160	81 <sup>+8</sup> <sub>-1</sub>	167
90	20 <sup>+3</sup> <sub>-1</sub>	112 <sup>+11</sup> <sub>-3</sub>	119 <sup>+12</sup> <sub>-3</sub>	71	163	170	50	26 <sup>+2.5</sup> <sub>-1</sub>	57			
110	24 <sup>+3</sup> <sub>-1</sub>	137 <sup>+13</sup> <sub>-4</sub>	145 <sup>+14</sup> <sub>-4</sub>	85	198	206						
125	27 <sup>+3</sup> <sub>-1</sub>	157 <sup>+15</sup> <sub>-4</sub>	166 <sup>+16</sup> <sub>-4</sub>	96	226	236						
140	30 <sup>+4</sup> <sub>-1</sub>	175 <sup>+17</sup> <sub>-5</sub>	185 <sup>+18</sup> <sub>-5</sub>	107	252	262						
160	35 <sup>+4</sup> <sub>-1</sub>	200 <sup>+20</sup> <sub>-6</sub>	212 <sup>+21</sup> <sub>-6</sub>	121	286	298						



6. 法兰变接头

7. 管套

8. 法兰

6. 法兰变接头										7. 管套								
$D_e$	$d_1'$	$d_2$	$d_3$	$l$	$r_{max}$	平面结合面		带槽结合面		$D_e$	$Z$	$L$	$D_e$	$Z$	$L$	$D_e$	$Z$	$L$
						$h$	$Z$	$h_1$	$Z_1$									
16	22 ± 1	13	29	14	1	6	3	9	6	10	3 ± 1	27	32	3 <sup>+1.6</sup> <sub>-1</sub>	47	90	5 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	107
20	27 ± 0.16	16	34	16	1	6	3	9	6	12	3 ± 1	27	40	3 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	55	110	6 <sup>+3</sup> <sub>-1</sub>	128
25	33 ± 0.16	21	41	19	1.5	7	3	10	6	16	3 ± 1	31	50	3 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	65	125	6 <sup>+3</sup> <sub>-1</sub>	144
32	41 ± 0.2	28	50	22	1.5	7	3	10	6	20	3 ± 1	35	63	3 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	79	140	8 <sup>+3</sup> <sub>-1</sub>	152
40	50 ± 0.2	36	61	26	2	8	3	13	8	25	3 <sup>+1.2</sup> <sub>-1</sub>	41	75	4 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub>	92	160	8 <sup>+4</sup> <sub>-1</sub>	180
50	61 ± 0.2	45	73	31	2	8	3	13	8									
63	76 ± 0.3	57	90	38	2.5	9	3	14	8									
75	90 ± 0.3	69	106	44	2.5	10	3	15	8									
90	108 ± 0.3	82	125	51	3	11	5	16	10									
110	131 ± 0.3	102	150	61	3	12	5	18	11									
125	148 ± 0.4	117	170	69	3	13	5	19	11									
140	165 ± 0.4	132	188	77	4	14	5	20	11									
160	188 ± 0.4	152	213	86	4	16	5	22	11									

配合使用实例:										8. 法兰								
$D_e$	$d_4$	$D$	$d_5$	$r_{1min}$	$d_n$	$n$	螺栓	$S$										
16	23 <sup>0</sup> <sub>-0.15</sub>	90	60	1	14	4	M12											
20	28 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	95	65	1	14	4	M12											
25	34 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	105	75	1.5	14	4	M12											
32	42 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	115	85	1.5	14	4	M12											
40	51 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	140	100	2	18	4	M16											
50	62 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub>	150	110	2	18	4	M16											
63	78 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	165	125	2.5	18	4	M16											
75	92 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	185	145	2.5	18	8	M16											
90	110 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	200	160	3	18	8	M16											
110	133 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	220	180	3	18	8	M16											
125	150 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	250	210	3	18	8	M16											
140	167 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	250	210	4	18	8	M16											
160	190 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	285	240	4	22	8	M20											

根据使用温度、压力而定

- 注: 1. 配合时的最小承插深度为  $1/2D_e$ 。  
 2. 2、3、4、5、6、7 中的其他尺寸按阴接头相同尺寸确定, 3 的  $d_0$  按  $d_1$  相应比例确定。  
 3. 法兰变接头密封槽处均按 O 形橡胶密封圈的公称尺寸配合加工。  
 4.  $n$  为螺栓数。

## 2.5 软聚氯乙烯制品

软聚氯乙烯压延薄膜和片材 (摘自 GB/T 3830—1994)

表 3-3-27

分类	规格			
	厚度/mm		宽度/mm	
	公称尺寸	极限偏差	公称尺寸	极限偏差
薄膜	0.100 ~ 0.190	±0.020	<1000 ≥1000	±10 ±25
	0.200 ~ 0.240	±0.030		
片材	0.25 ~ 0.39	±0.03		
	0.40 ~ 0.45	±0.04		

## 物理力学性能

项 目	指 标										
	雨衣用薄膜			民杂用		印花用薄膜			农业用 薄膜	工业用 薄膜	玩具用 薄膜
	优等品	一等品	合格品	薄膜	片材	优等品	一等品	合格品			
拉伸强度(纵、横 向)/MPa	≥16.0	≥14.0	≥13.0	≥13.0	≥15.0	≥16.0	≥13.0	≥11.0	≥16.0	≥16.0	≥16.0
断裂伸长率(纵、 横向)/%	≥200	≥180	≥150	≥150	≥180	≥160	≥150	≥130	≥210	≥200	≥220
低温伸长率(纵、 横向)/%	≥30	≥25	≥20	≥10	—	≥8	≥8	≥8	≥22	≥10	≥20
直角撕裂强度 (纵、横 向)/kN · m <sup>-1</sup>	≥40	≥35	≥30	≥40	≥45	≥40	≥35	≥30	≥40	≥40	≥45
尺寸变化率(纵、 横向)%	≤7	≤7	≤7	≤7	≤5	≤7	≤7	≤7	—	—	≤6
加热损失率/%	≤5.0	≤5.0	≤5.0	≤5.0	≤5.0	≤7.0	≤7.0	≤7.0	≤4.0	—	≤4.0
水抽出物/%	—	—	—	—	—	—	—	—	≤1.0	—	—
耐油性/h	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	—

注：1. 薄膜和片材由悬浮法聚氯乙烯树脂加入增塑剂、稳定剂及其他助剂，用压延成型方法生产。

2. 雨衣用薄膜主要用于加工雨衣或雨具等；民杂用薄膜或片材主要用于加工书皮封套、票夹、手提袋等各种塑料民用制品；印花用薄膜主要用于加工成印花民杂用薄膜；农业用薄膜主要用于农田、盐田覆盖或铺垫，也可用于农田保温大棚等；工业用薄膜主要用于一般的防水覆盖，防渗铺垫及普通工业品的外包装等；玩具用薄膜主要用于加工充气塑料玩具等。



## 软聚氯乙烯管 (流体输送用) (摘自 GB/T 13527.1—1992)

表 3-3-28

项 目		规 格																
内径	公称内径/mm	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	20	25	32	40	50	
	极限偏差/mm	±0.3						±0.5						±0.7				
壁厚	公称壁厚/mm	1.0				1.5				2.0				3.0		3.5		4.0
	极限偏差/%	±30				±25				±20				±15				
使用压力/MPa		0.25						0.20										

## 物理力学性能

项 目		指 标	备 注
拉伸强度/MPa		≥14	产品检验分为出厂检验和型式检验两种;出厂检验项目包括尺寸、外观、拉伸强度、断裂伸长率;型式检验项目包括尺寸、外观、全部物理力学性能项目。型式检验每年至少一次
断裂伸长率/%		≥200	
热老化性能	拉伸强度变化率( $V_1$ )/%	$-20 \leq V_1 \leq 20$	
	断裂伸长率变化率( $V_2$ )/%	$-20 \leq V_2 \leq 20$	
水压试验		不破裂	
耐寒试验( $-10^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ )		无裂痕和破碎现象	
浸渍试验	H <sub>2</sub> O	吸水率/% 抽出率/%	≤0.5
	10% ± 1% (质量分数) NaCl 溶液	质量变化率( $W_c$ ) /%	-0.5 ≤ $W_c$ ≤ 0.5
	30% ± 1% (质量分数) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液		
	40% ± 1% (质量分数) NaOH 溶液		
	40% ± 1% (质量分数) HNO <sub>3</sub> 溶液		

注: 1. 管材是以聚氯乙烯树脂为主要原料, 挤出成型。该软管在常温下可用于输送某些流体。

2. 流体输送用软管名称用 LS 表示, 规格用内径 × 壁厚表示。例如, 管内径为 5mm, 壁厚为 1.0mm 的 LS 管, 则型号标记为: 管 LS-5 × 1.0。

## 2.6 聚乙烯制品

## 聚乙烯 (PE) 挤出板材的规格及性能 (摘自 QB/T 2490—2000)

表 3-3-29

板材规格/mm			技 术 性 能		
项 目	尺 寸	极 限 偏 差	项 目	指 标	
厚度 S	2 ~ 8	±(0.08 + 0.03S)	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.919 ~ 0.925	0.940 ~ 0.960
宽度	≥1000	±5	拉伸屈服强度(纵横向)/MPa	≥7.0	≥22.0
长度	≥2000	±10	简支梁缺口冲击韧性	无破裂	无破裂
对角线最大差值	每 1000 边长	≤5	断裂伸长率(纵横向)/%	≥200	≥500

聚乙烯管的规格 (摘自 GB/T 13018—1991)

表 3-3-30

mm

公称外径	壁 厚														
	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2.5	0.5														
3	0.5	0.5													
4	0.7	0.6	0.5												
5	0.9	0.7	0.6	0.5											
6	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5										
8	1.4	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5									
10	1.7	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5								
12	2.0	1.7	1.4	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5							
16	2.7	2.2	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	0.5						
20	3.4	2.8	2.3	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	0.5					
25	4.2	3.5	2.8	2.3	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	0.5				
32	5.4	4.4	3.6	2.9	2.4	1.9	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5			
40	6.7	5.5	4.5	3.7	3.0	2.4	1.9	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5		
50	8.3	6.9	5.6	4.6	3.7	3.0	2.4	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	
63	10.5	8.6	7.1	5.8	4.7	3.8	3.0	2.4	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5
75	12.5	10.3	8.4	6.8	5.5	4.5	3.6	2.9	2.3	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
90	15.0	12.3	10.1	8.2	6.6	5.4	4.3	3.5	2.8	2.2	1.8	1.4	1.2	0.9	0.8
110	18.3	15.1	12.3	10.0	8.1	6.6	5.3	4.2	3.4	2.7	2.2	1.8	1.4	1.1	0.9
125	20.8	17.1	14.0	11.4	9.2	7.4	6.0	4.8	3.9	3.1	2.5	2.0	1.6	1.3	1.0
140	23.3	19.2	15.7	12.7	10.3	8.3	6.7	5.4	4.3	3.5	2.8	2.2	1.8	1.4	1.1
160	26.6	21.9	17.9	14.6	11.8	9.5	7.7	6.2	4.9	4.0	3.2	2.5	2.0	1.6	1.3
180	29.9	24.6	20.1	16.4	13.3	10.7	8.6	6.9	5.5	4.4	3.6	2.8	2.3	1.8	1.5
200		27.3	22.4	18.2	14.7	11.9	9.6	7.7	6.2	4.9	3.9	3.2	2.5	2.0	1.6
225			25.1	20.5	16.6	13.4	10.8	8.6	6.9	5.5	4.4	3.5	2.8	2.3	1.8
250			27.9	22.7	18.4	14.8	11.9	9.6	7.7	6.2	4.9	3.9	3.1	2.5	2.0
280				25.4	20.6	16.6	13.4	10.7	8.6	6.9	5.5	4.4	3.5	2.8	2.2
315				28.6	23.2	18.7	15.0	12.1	9.7	7.7	6.2	4.9	3.9	3.2	2.5
355					26.1	21.1	16.9	13.6	10.9	8.7	7.0	5.6	4.4	3.5	2.8
400					29.4	23.7	19.1	15.3	12.3	9.8	7.8	6.3	5.0	4.0	3.2
450						26.7	21.5	17.2	13.8	11.0	8.8	7.0	5.6	4.5	3.6

注: 1. 公称外径 500mm、560mm、630mm、710mm、800mm、900mm、1000mm、1200mm 的壁厚见 GB/T 10798—1989。

2. 管材承受压力的壁厚计算见 GB/T 4217—1984。

3. 管材外径、壁厚极限偏差见 GB/T 13018—1991。

## 2.7 聚四氟乙烯制品

## 聚四氟乙烯板、管、棒的规格

表 3-3-31

mm

聚四氟乙烯板 (QB/T 3625—1999)				聚四氟乙烯管 (QB/T 3624—1999)						聚四氟乙烯棒 (QB/T 3626—1999)					
牌号	厚度	偏差	宽度 × 长度	牌号	内径	偏差	壁厚	偏差	长度	牌号	直径	偏差	长度		
SFB-3	0.5	±0.08	60, 90 120, 150 200, 250 300, 600 1000, 1200 1500 } × (≥500)	SFG-1	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0	±0.1	0.2	±0.06	≥200	SFB-1	1, 2, 3	±0.4	≥100		
	0.6	±0.09					0.3	±0.08			4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	±0.5			
	0.7	±0.11			1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8	±0.2	0.2	±0.06							
	0.8	±0.12					0.3	±0.08			18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40	+1 -0.5			
	0.9	±0.14			3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0	±0.3	0.4	±0.10							
	1.0	±0.20	2.0				±0.2	0.2			±0.06				
	1.2	±0.24			3.0, 4.0	±0.3		0.3			±0.08				
	1.5	±0.30	SFG-2				5.0, 6.0, 7.0, 8.0	±0.5			0.4	±0.10			
SFB-2	2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75	同上 120 × 120 160 × 160 200 × 200 250 × 250 300 × 300 400 × 400 450 × 450		SFB-1	见 QB/T 3625— 1999	9.0, 10.0, 11.0, 12.0			±0.5	0.5	±0.30	SFB-2	42, 44, 46, 48, 50	+1.5 -0.5	55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100
			1.0				±0.30	110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200		+6 -0.5					
			1.5				±0.30				13.0, 14.0, 15.0, 16.0, 17.0, 18.0, 19.0, 20.0				
SFB-1	80, 85, 90, 95, 100	300 × 300 400 × 400 450 × 450	SFB-2	见 QB/T 3625— 1999	25.0, 30.0	±1.0	1.5	±0.30	SFB-2	220, 240, 260, 280, 300, 350, 400, 450		+10 -0.5			
							2.0	±0.30							
SFB-1	0.8, 1.0, 1.2, 1.5	直径(圆形板) 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250	SFB-1	见 QB/T 3625— 1999	25.0, 30.0	±1.0	1.5	±0.30	SFB-2	220, 240, 260, 280, 300, 350, 400, 450	+10 -0.5				
							2.5	±0.30							
SFB-1 用于电器绝缘 SFB-2 用于腐蚀介质中的衬垫、密封件及 润滑材料 SFB-3 用于腐蚀介质中的隔膜与视镜				用于绝缘及输送腐蚀流体导管						用于各种腐蚀性介质中工作的 衬垫、密封件和润滑材料, 以 及在各种频率下使用的电绝缘 零件					

## 聚四氟乙烯制品的物理力学性能

表 3-3-32

项 目	指 标						
	聚四氟乙烯板(QB/T 3625—1999)			聚四氟乙烯管(QB/T 3624—1999)		聚四氟乙烯棒(QB/T 3626—1999)	
	SFB-1	SFB-2	SFB-3	SFG-1	SFG-2	SFB-1	SFB-2
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	2.1~2.3	2.1~2.3	2.1~2.3	—	2.1~2.3	2.1~2.3	2.1~2.3
拉伸强度/MPa	$\geq 15$	$\geq 15$	$\geq 15$	25	15	$\geq 14$	—
断裂伸长率/%	$\geq 150$	$\geq 150$	$\geq 30$	100	150	$\geq 140$	—
交流击穿电压/kV	$\geq 10$	—	—	壁厚 0.2mm	6	—	—
				壁厚 0.3mm	8		
				壁厚 0.4mm	10		
				壁厚 0.5mm	12		
				壁厚 1.0mm	18		

## 2.8 有机玻璃

浇铸型工业有机玻璃板材、棒材和管材 (摘自 GB/T 7134—1996)

表 3-3-33

板 材																									
厚度/mm	尺寸	1、1.5			2	3	4、5	6	7	8	9	10													
	偏差(优等品)	$\pm 0.2$			$\pm 0.4$		$\pm 0.5$	$\pm 0.6$		$\pm 0.7$		$\pm 1.0$													
长×宽/m		(0.2×0.2)~(0.9×1)			(0.3×0.3)~(1×1.3)		(0.4×0.5)~(1.5×1.7)																		
厚度/mm	尺寸	12	14	15	16	18	20	25	30	35	40	45													
	偏差(优等品)	$\pm 1.2$	$\pm 1.4$	$\pm 1.5$	$\pm 1.6$	$\pm 1.8$	$\pm 2.0$	$\pm 2.2$	$\pm 2.7$	$\pm 3.0$	$\pm 3.5$	$\pm 4$													
长×宽/m		(0.4×0.5)~(0.9×1.3)						(0.4×0.5)~(0.8~1.2)																	
棒 材																									
直径/mm				偏差/mm				长度/mm																	
5.0~16				直径 5.0~15mm 为 $\pm 0.5$				300~1300																	
18~40				直径 16~40mm 为 $\pm 0.8$				200~600																	
管 材																									
外径/mm	尺寸	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	160	170
	偏差	$\pm 1.0$			$\pm 1.2$			$\pm 1.5$						$\pm 1.8$				$\pm 2.0$							
壁厚/mm	2~5	3~5						4~10						5~15											
管长/mm	300~1300																								
管壁厚偏差(一等品)																									
壁厚/mm	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15											
偏差/mm	$\pm 0.4$	$\pm 0.5$	$\pm 0.8$	$\pm 0.6$	$\pm 0.7$	$\pm 0.7$	$\pm 0.8$	$\pm 0.8$	$\pm 1.0$	$\pm 1.1$	$\pm 1.2$	$\pm 1.3$	$\pm 1.4$	$\pm 1.5$											

板材、棒材性能					管材性能			
指标名称	指 标				指标名称	指 标		
	无色		有色			一等品		
	优等品	一等品	一等品					
洛氏硬度(M标尺)	≥	94	90	78	拉伸强度/MPa (外径不小于200mm)	≥	53	
冲击韧度/kJ·m <sup>-2</sup>	≥	17	17	14				
拉伸强度/MPa	≥	70	63	54	抗溶剂银纹性(浸泡1h)		无银纹出现	
断裂伸长率/%	≥	4	3	—	透光率/% (凸面入射)	≥	外径不大于200mm	90
热变形温度 /℃ ≥	厚度3~4mm	78	76	—			外径大于200mm	89
	厚度5~10mm	82	80	—				
	厚度大于10mm	84	84	—				
维卡软化温度/℃ (厚度5~10mm)	≥	89	84	—				
抗溶剂银纹性(浸泡4h)		无银纹出现		—				
透光率/% ≥	厚度不大于15mm	91	91	—				
	厚度大于15mm	90	90	—				

注: 1. 厚度为20mm、宽度为800mm、长度为1000mm的有机玻璃板材的标记为: 玻璃板20×800×1000GB/T 7134—1996。  
直径为18mm、长度为500mm的有机玻璃棒材的标记为: 玻璃棒18×500GB/T 7134—1996。  
外径为40mm、壁厚为5mm、长度为1000的有机玻璃管材的标记为: 玻璃管φ40×5×1000GB/T 7134—1996。  
2. 棒材由板材经机械加工而成。板材、棒材和管材为无色或有色的透明、半透明和不透明产品。

### 浇铸型珠光有机玻璃板材 (摘自 HG/T 2713—1995)

表 3-3-34

项 目		规 格							
板厚 /mm	尺寸	2.2	2.7~3.0	4	4.5~7	8	9	10	
	偏差 (一等品)	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8	±0.9	±1	
长×宽/mm		最大900×1300; 最小400×500							
物理力学性能									
洛氏硬度(M标尺)				≥78	拉伸强度/MPa				≥52

注: 1. 厚度为4mm、宽度为500mm、长度为500mm的浇铸型珠光有机玻璃板材标记为: 玻璃板4×500×500HG/T 2713—1995。

2. 珠光有机玻璃板材是在甲基丙烯酸甲酯中加入珠光颜色经过配色, 在特定的模具内进行本体聚合而成的。

## 2.9 尼龙制品

尼龙 1010 棒材及管材规格 (摘自 JB/ZQ 4196—1998)

表 3-3-35

棒 材																
直径/mm	10	12	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
偏差/mm	+1.0 0	+1.5 0		+2.0 0		+3.0 0				+4.0 0				+5.0 0		
管 材																
外径×壁厚/mm	4×1	6×1	8×1	8×2	9×2	10×1	12×1	12×2	14×2	16×2	18×2	20×2				
偏差/mm	外径	±1.0		±0.5		±0.1		±0.15								
	壁厚	±1.0		±0.5		±0.1		±0.15								

尼龙 1010 棒材及其他尼龙材料性能 (摘自 JB/ZQ 4196—1998)

表 3-3-36

项 目	尼龙 1010 棒材	尼龙 66 树脂	玻璃纤维增强尼龙 6 树脂
密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.04 ~ 1.05	1.10 ~ 1.14	1.30 ~ 1.40
拉伸屈服强度/MPa	≥ 500 ~ 600	59 ~ 79	118
断裂强度/MPa	≥ 420 ~ 500	—	—
相对伸长率/%	≥ 160 ~ 320	—	—
拉伸弹性模量/MPa	≥ 0.18 × 10 <sup>4</sup> ~ 0.22 × 10 <sup>4</sup>	—	—
抗弯强度/MPa	≥ 67 ~ 80	98 ~ 118	196
弯曲弹性模量/MPa	≥ 0.11 × 10 <sup>4</sup> ~ 0.14 × 10 <sup>4</sup>	0.2 × 10 <sup>4</sup> ~ 0.3 × 10 <sup>4</sup>	—
抗压强度/MPa	≥ 470 ~ 570	79	137
抗剪强度/MPa	≥ 400 ~ 420	—	—
布氏硬度/MPa	≥ 7.3 ~ 8.5	10	12
冲击韧度/kgf·cm· cm <sup>-2</sup> (J·cm <sup>-2</sup> )	缺口	15 ~ 25(1.47 ~ 2.45)	9(0.88)
	无缺口	不断	50 ~ 100(4.9 ~ 9.8)
			15(1.47)
			50 ~ 80(4.9 ~ 7.9)

尼龙棒材及管材的特性和用途<sup>[4]</sup>

名 称	特 性 和 用 途
尼龙 1010 棒材	尼龙 1010 是我国独创的一种新型聚酰胺品种,它具有优良的减摩、耐磨和自润滑性,且抗霉、抗菌、无毒、半透明,吸湿性较其他尼龙品种小,有较好的刚性、力学强度和介电稳定性,耐寒性也很好,可在 -60 ~ 80℃ 下长期使用;制成零件有良好的消声性,运转时噪声小;耐油性优良,能耐弱酸、弱碱及醇、酯、酮类溶剂,但不耐苯酚、浓硫酸及低分子有机酸的腐蚀。尼龙 1010 棒材主要用于切削加工制成的螺母、轴套、垫圈、齿轮、密封圈等机械零件,以代替铜和其他金属制件
尼龙 1010 管材	性能同上。主要用于机床输油管(代替铜管),也可输送弱酸、弱碱及一般腐蚀性介质;但不宜与酚类、强酸、强碱及低分子有机酸接触。可用管件连接,也可用粘接剂粘接;其弯曲可用弯卡弯成 90°,也可用热空气或热油加热至 120℃ 弯成任意弧度,使用温度为 -60 ~ 80℃,使用压力为 9.8 ~ 14.7MPa

注:1. 棒材、管材长度按供需双方协议。

2. 直径为 50mm、长度为 1000mm 尼龙 1010 棒材,标记为:尼龙 1010 棒 50 × 1000 JB/ZQ 4196—1998。

外径为 20mm、壁厚为 2mm、长度为 1000mm 的尼龙 1010 管材,标记为:尼龙 1010 管 φ20 × 2 × 1000 JB/ZQ 4196—1998。

## 2.10 泡沫塑料

## 泡沫塑料制品的规格、性能及用途

表 3-3-37

名称	性能	用途	制品型式及规格 /mm
聚苯乙烯泡沫塑料	质轻,保温,隔热,吸声,防振性能好,吸湿性小,耐低温性好,耐酸、碱好,有一定的弹性,易于加工。	作为吸声、保温、隔热、防振材料以及制冷设备、冷藏装备的隔热材料	板材:厚度 $\leq 100$ 管材:( $\phi 20 \times 35$ )~( $\phi 426 \times 60$ )
硬质聚氨酯泡沫塑料	机械强度高,热导率低,吸湿性小,耐油,隔声,绝热,绝缘,防振,防潮	作为雷达天线罩的夹层材料,飞机、船舶、火车防振隔声材料,保温、保冷材料,各种设备、仪器、仪表的包装材料	按需方要求可供各种规格的板材、管材
聚氯乙烯泡沫塑料	密度小,吸湿性小,隔声,绝热,不燃,防潮,防振,耐酸、碱,耐油	作为救生工具以及造船、交通运输、建筑和冷冻设备等工业方面的绝热保温材料	板材,长、宽、厚尺寸由供需双方商定
脲醛泡沫塑料	质轻,密度小,热导率低,价格较廉。缺点是吸湿性大,机械强度较低	用于夹层中作为填充保温、隔热、吸声材料	板材
聚乙烯泡沫塑料	质轻,吸湿性小,柔软,有一定弹性,隔热,吸声性好,耐化学腐蚀	作为保温、隔热、吸声、防振等材料	板材

注:产品详细规格可与制造厂联系。

## 泡沫塑料的物理力学性能

表 3-3-38

名称		密度 /kg·m <sup>-3</sup>	拉伸强度 /kPa	回弹率 /% ≥	撕裂强度 /N·cm <sup>-1</sup> ≥	形变 10% 时压缩 应力 /kPa ≥	吸水率 (体积 分数) /% ≤	水蒸气透湿系数 (23℃±2℃至 85%RH) /ng·Pa <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> ≤	热导率 /W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ≤	尺寸稳定性 (70℃, 48h) ≤	断裂伸 长率 /% ≥
隔热用聚苯乙烯泡沫塑料 (QB/T 3807—1999)	I类	15				60	6	9.5	0.041	5	
	II类	20				100	4	4.5			
隔热用硬质聚氨酯泡沫塑料 (QB/T 3806—1999)		30				100	4	6.5	0.022~ 0.027	5	
硬质聚氯乙烯泡沫塑料板材 (QB/T 1650—1992)	I类	34~45	400			100			0.044	5	
	II类	>45	450			200					
高回弹软质聚氨酯泡沫塑料 (QB/T 2080—1995)	HR-I型	40	80	60	1.75			75%压缩永久 变形≤10%			100
	HR-II型	65	100	55	2.5				90		
高发泡聚乙烯泡沫塑料 (QB/T 2188—1995)			纵/横 200/100		纵/横 20/4			热收缩率(70℃) 2.5/2.0(纵/横)			80

## 泡沫塑料的化学性能

表 3-3-39

名称	液体名称	作用情况		名称	液体名称	作用情况	名称	液体名称	作用情况
		室温	60℃						
聚苯乙烯泡沫塑料	乙酸乙酯	能溶	—	聚苯乙烯泡沫塑料	盐水	无作用	聚乙烯泡沫塑料	30% 硫酸	无作用
	乙醚	能溶	—		36% 盐酸	无作用		10% 盐酸	无作用
	丙酮	能溶	—		48% 硫酸	无作用		10% 硝酸	无作用
	四氯化碳	能溶	—		95% 硫酸	表面部分变黄		10% 氢氧化钾	无作用
	松节油	能溶	—		浓氨水	无作用		3% 过氧化氢	无作用
	苯	能溶	—		68% 硝酸	无作用		95% 乙醇	无作用
	甲醇	不溶	不溶		90% 磷酸	无作用		丙酮	无作用
	乙醇	不溶	逐步能溶		40% 氢氧化钠	无作用		乙酸乙酯	无作用
	矿物油	不溶	逐步能溶		5% 氢氧化钾	无作用		二氯乙烷	稍胀
	蓖麻油	不溶	逐步能溶		硬质聚氨酯泡沫塑料	20% 盐酸		浸 24h 无变化	庚烷
	70% 乙酸	不溶	逐步能溶	45% 氢氧化钠		浸 24h 无变化		甲苯	轻微溶胀
				1 级汽油		浸 24h 无变化		汽油	轻微溶胀

## 3 玻 璃

## 钢化玻璃 (摘自 GB/T 9963—1998)

表 3-3-40

种 类		建筑用和建筑以外用钢化玻璃								
		平面钢化玻璃						曲面钢化玻璃		
厚度/mm	尺寸	4	5	6	8	10	12	15	19	同平面钢化玻璃
	偏差	±0.3			±0.6		±0.8		±1.2	
长度、宽度/mm	尺寸	供需双方商定								形状和边长的允许偏差、吻合度由供需双方商定
	偏差	≤1000	+1 -2		+2 -3		±4	±5		
		>1000, ≤2000	±3				±4	±5		
	>2000, ≤3000	±4						±5		
技 术 要 求										
项目	种 类	尺寸偏差	外观质量	弯曲度	抗冲击性	碎片状态	霰弹袋冲击性能	透射比	抗风压性能	
检查和试验项目	建筑用钢化玻璃	●	●	●	●	●	●	供需方商定	供需方商定	
	建筑以外用钢化玻璃	●	●	●	●	●	—	供需方商定	—	
特点及用途 <sup>[1]</sup>		钢化玻璃是将玻璃进行淬火处理或用化学方法处理所得的制品,除具有普通平板玻璃的透明度外,还具有热稳定性、耐冲击性和机械强度高特点。钢化玻璃破碎后,碎片小且无锐角,因此使用比较安全。用于制作长期受振动和可能受冲击的汽车、火车、船舶的门窗玻璃和司机室的挡风玻璃、建筑物门窗、工业部门的观察玻璃、保护玻璃等								

注: 1. ●表示需进行的试验项目。

2. 玻璃开孔孔径一般不小于板厚, 孔径小于 4mm 需由供需双方商定。



普通平板玻璃尺寸 (摘自 GB/T 4870—1985)

表 3-3-41

mm

厚度	长 度		宽 度		说 明
	最 小	最 大	最 小	最 大	
2	400	1300	300	900	①长、宽尺寸比不超过 2.5 ②长、宽尺寸的进位基数均为 50mm
3	500	1800	300	1200	
4	600	2000	400	1200	
5	600	2600	400	1800	
6	600	2600	400	1800	

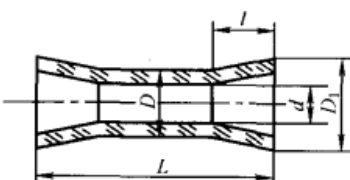
平端玻璃直管

表 3-3-42

公称直径 /mm	外 径 /mm	壁 厚 /mm	质 量 /kg·m <sup>-1</sup>	使用压力 /MPa	管内外温差 /℃	长 度 /m
15	21 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	2.5 ± 0.5	0.36	1.2	75	1、1.5、2
20	27 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	3.0 ± 0.5	0.57	1.0	75	1、1.5、2
25	33 <sup>0</sup> <sub>-1</sub>	3.5 ± 0.5	0.82	1.0	75	1、1.5、2
40	50 <sup>0</sup> <sub>-2</sub>	4.5 ± 1.0	1.61	0.7	70	1.5、2、2.5、3、3.5
50	62 <sup>0</sup> <sub>-2</sub>	5.0 ± 1.0	2.23	0.6	65	1.5、2、2.5、3、3.5
65	78 <sup>0</sup> <sub>-3</sub>	5.5 ± 1.0	3.27	0.6	65	1.5、2、2.5、3、3.5
80	93 <sup>0</sup> <sub>-3</sub>	6.0 ± 1.0	4.22	0.5	60	1.5、2、2.5、3、3.5
100	116 <sup>0</sup> <sub>-3</sub>	7.0 ± 1.0	6.05	0.4	60	1.5、2、2.5、3、3.5

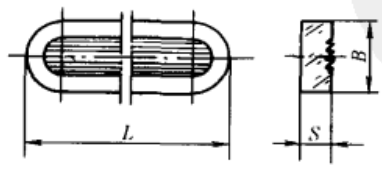
扩口玻璃管

表 3-3-43

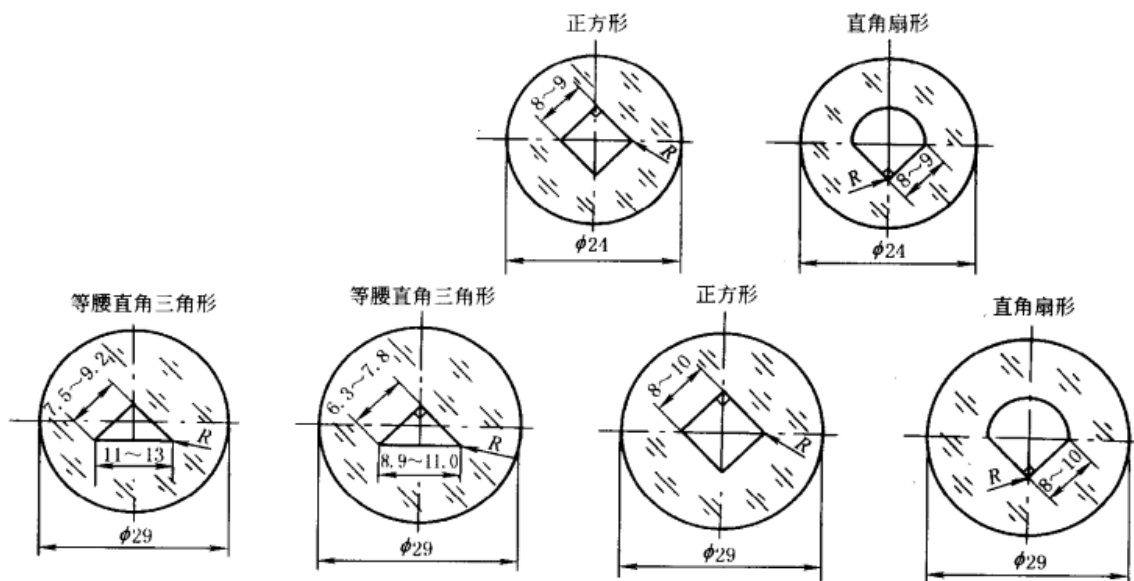
简 图	内 径 d/mm	外 径 D/mm	扩口外径 D <sub>1</sub> /mm	扩口长度 l/mm	管 长 L/m	工作压力 /MPa
	25	32	40	20	1.0、1.5、2.0	0.3
	40	45	53	20	1.0、1.5、2.0	0.25
	50	58	68	25	1.0、1.5、2.0	0.2
	65	74	84	25	1.0、1.5	0.2
	80	89	99	25	1.0、1.5	0.2
	100	110	122	30	1.0	0.15

水位计玻璃板

表 3-3-44

简 图	L/mm	B/mm	S/mm			
	216	34	17			
	218					
	250					
	280					
	320					
	340					
材 料	耐 压 /MPa	耐 温 /℃	急变温度 /℃	抗弯强度 /MPa	抗水性 /mg·dm <sup>-2</sup>	抗碱性 /mg·dm <sup>-2</sup>
硼硅玻璃	≤5	≥320	≥260	≥80	≤0.15	≤60

## 液位计用透明石英玻璃管 (摘自 JC/T 225—1997)



低压型多色液位管

未注圆角为  $R1 \sim 2$   
中、高压型多色液位管

表 3-3-45

mm

产品类型	名称	内孔形状	外径及偏差	内径	长度	椭圆度	偏壁度	适用范围
低压型	单色液位管	圆形	$\phi 20_{-0.4}^{-0.2}$	$\phi 8 \sim 10$	260 ~ 1700	$\leq 0.1$	$\leq 0.3$	工作压力 小于 2.5 MPa 工作温度 -40 ~ 450℃
			$\phi 40_{-0.4}^{-0.2}$	$\phi 27 \sim 30$	260 ~ 1700	$\leq 0.1$	$\leq 0.3$	
	多色液位管	三角形 (等腰直角)	$\phi 29_{-0.4}^{-0.2}$	7.5 ~ 9.2 (直角边长)	260 ~ 1700	$\leq 0.1$	—	
中、高压型	单色液位管	圆形	$\phi 24_{-0.4}^{-0.2}$	$\phi 8 \sim 10$	260 ~ 1000	$\leq 0.1$	$\leq 0.3$	工作压力 2.5 ~ 6.4 MPa 工作温度 -40 ~ 450℃
	多色液位管	正方形	$\phi 24_{-0.4}^{-0.2}$	8 ~ 9 (边长)	260 ~ 1700	$\leq 0.1$	—	
		扇形 (直角)	$\phi 24_{-0.4}^{-0.2}$	8 ~ 9 (边长)	260 ~ 1700	$\leq 0.1$	—	
		三角形 (等腰直角)	$\phi 29_{-0.4}^{-0.2}$	6.3 ~ 7.8 (直角边长)	260 ~ 1300	$\leq 0.1$	—	
		正方形	$\phi 29_{-0.4}^{-0.2}$	8 ~ 10 (边长)	260 ~ 1300	$\leq 0.1$	—	
扇形 (直角)	$\phi 29_{-0.4}^{-0.2}$	8 ~ 10 (边长)	260 ~ 1300	$\leq 0.1$	—			

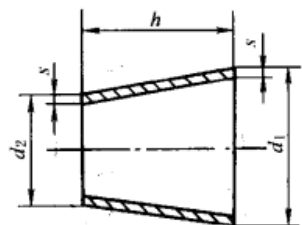
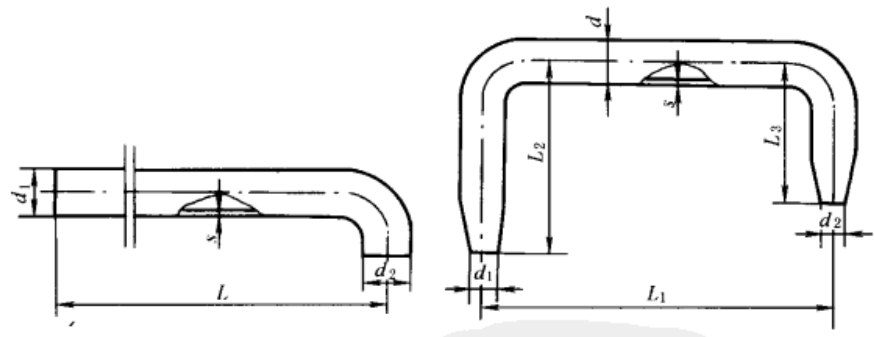
注: 1. 单色液位管的内孔为圆形, 只能显示液位, 多色液位管的内孔为异形, 利用边、角成像, 气液界面显示清楚。

2. 表中所规定外径偏差及椭圆度是指管子两端长度为 100mm 以内的密封端, 管子其他部位的外径上偏差定为  $-0.2\text{mm}$ , 下偏差定为  $-0.7\text{mm}$ , 椭圆度定为  $\leq 0.3\text{mm}$ 。3. 管弯曲度不得超过管长的  $1/1000$ 。

## 不透明石英玻璃制品 (摘自 JC/T 182—1997)

表 3-3-46

mm

直 管 规 格					锥形管规格					
外 径	外径偏差	壁厚范围	壁厚偏差	同一横截面 壁厚偏差						
75 ~ 99	±1.0	2.5 ~ 10	±1.0	1.0						
100 ~ 149	±1.5	5 ~ 25	±1.0	1.0						
150 ~ 199	±2.0	5 ~ 25	±2.0	2.0						
200 ~ 249	±2.5	10 ~ 25	±3.0	3.0						
250 ~ 299	±3.0	10 ~ 25	±3.0	3.0						
300 ~ 349	±3.0	10 ~ 25	±3.0	3.0						
350 ~ 399	±3.5	25 ~ 50	±4.0	4.0						
400 ~ 424	±3.5	25 ~ 50	±4.0	4.0					高度 h	大端外径 $d_1$
425 ~ 459	±4.0	25 ~ 50	±5.0	5.0	500 ± 5	300 ± 3	270 ± 3	20 ± 5		
460 ~ 500	±5.0	25 ~ 50	±5.0	5.0	610 ± 5	370 ± 3	270 ± 3	20 ± 5		
长度由供需双方商定					660 ± 5	380 ± 3	270 ± 3	20 ± 5		
弯 管					玻 璃 砖					
					长度 L	宽度 H	厚度 B	偏差		
					200	150 ~ 200	250 ~ 300	± 5		
					300	150 ~ 200	250 ~ 300	± 5		
					400	150 ~ 200	250 ~ 300	± 5		
					500	150 ~ 200	250 ~ 300	± 5		
					600	150 ~ 200	250 ~ 300	± 5		
					700	150 ~ 200	250 ~ 300	± 5		
					800	150 ~ 200	250 ~ 300	± 5		
型式	外径 $d_1$	外径 $d_2$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	壁厚 s	900	150 ~ 200	250 ~ 300	± 5
大弯头	75 ± 1.5	80 ± 1.5				5 ± 1.5	1000	150 ~ 200	250 ~ 300	± 5
小弯头	75 ± 1.5	50 ± 1.5	570 ± 3	350 ± 5	240 ± 5	5 ± 1.5				
不透明 石英玻 璃板材	圆板	最大规格: $\phi(550 \pm 5) \times (30 \pm 3)$								
	矩形板	最大规格: $(800 \pm 5) \times (550 \pm 5) \times (30 \pm 3)$								

注: 1. 不透明石英玻璃板材、管材的  $\text{SiO}_2$  含量应不小于 99.5%, 玻璃砖的  $\text{SiO}_2$  含量应不小于 99%。

2. 热稳定试验: 一组三个试样于 1100℃ 下恒温 30min 后, 置于空气中冷却至室温, 不出现裂纹。

3. 不透明石英玻璃制品用于耐电压、耐高温、耐强酸及对热稳定性有一定要求的场合。

4. 有色冶金工业用电除尘器、电除雾器上的石英管要求击穿电压达 180kV/mm。

## 4 陶瓷制品

陶瓷制品的分类、特点与用途<sup>[4]</sup>

表 3-3-47

分类名称	制造原料	主要特性	用途	
传统陶瓷(普通陶瓷)	日用陶瓷	黏土、石英、长石、滑石等	有较好的热稳定性、致密度、强度和硬度	生活器皿
	建筑陶瓷	黏土、长石、石英等	有较好的吸湿性、耐磨性、耐酸碱腐蚀性	铺设地面、输水管道、装置卫生间等
	电瓷	一般采用黏土、长石、石英等配制	介电强度高,抗拉、抗弯强度较好,耐冷热急变	隔电、机械支持以及连接配电、输电线路
	化工陶瓷(耐酸陶瓷)	黏土、焦宝石(熟料)、滑石、长石等	耐腐蚀性能好,不易氧化,耐磨,不污染介质	石油化工、冶炼、造纸、化纤等工业防腐设备
	多孔陶瓷(过滤陶瓷)	原料品种多,如刚玉、碳化硅、石英质等均可作骨料	具有微孔结构,能过滤、净化流体,耐高温,耐化学腐蚀	液体过滤、气体过滤、散气、隔热保温、催化剂载体、辐射板
新型陶瓷(特种陶瓷)	装置瓷	高铝原料或滑石、菱镁矿、尖晶石等	介电常数和介质损耗小,机械强度较高	无线电设备中的高频绝缘子、插座、瓷轴等
	电容器陶瓷	原料品种多,如二氧化钛、钛酸盐、锡酸盐、氟化钙	介电常数大,高频损耗小,比体积电阻和介电强度高	电容器的介质
	透明铁电陶瓷(光电陶瓷)	主要成分为掺镧的锆钛酸铅或铅钛酸铅	具有电控光散射和双折射效应	光阀、光闸或电控多色滤色器
			具有光色散效应	光存储和显示材料
	压电陶瓷	钛酸钡、钛酸钙、钛酸铅、锆酸铅,外加各种添加物	有良好的压电性能,能将电能和机械能互相转换	滤波器、电声器件、超声和水声换能器等
	磁性陶瓷(铁氧体)	生产方法多,主要采用氧化物法,以各种氧化物作原料	比金属磁性材料的涡流损失小、介质损耗低、高频磁导率高	高频磁芯、电声器件、超高频器件(磁控管、环形器等)、电子计算机中的磁性存储器等
	电解质瓷	氧化铝、氧化锆(掺有金属氧化物作稳定剂)、氧化铀、氧化钍等	常温下对电子有良好的绝缘性,在一定温度和电场下对某些离子有良好的离子导电性	钠硫电池的隔膜材料、电子手表和高温燃料的电池材料、氧量分析器的检测元件
	半导体陶瓷	原料品种多,主要采用氧化物再掺入各种金属元素或金属氧化物	具有半导体的特性,对热、光、声、磁、电压或某种气体变化等有特殊的敏感性	各种敏感元件,如热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻、力敏电阻以及各种气敏元件、湿敏元件,半导体电容器等
	导电陶瓷	氧化锶、氧化铬、氧化镧等复合而成	电导率高,热稳定性好	磁流体发电的电极材料
高温、高强度、耐磨、耐蚀陶瓷	氧化物陶瓷,以氧化铝或氧化锆、氧化钇为主要成分 非氧化物陶瓷,以氮化硅、氮化硼、碳化硅、碳化硼等为主要成分	热稳定性好、荷重软化温度高、导热性好、高温强度大,化学稳定性高、抗热冲击性好,硬度高、耐磨性好,高频绝缘性佳,有的还具有良好的高温导电性及耐辐照、吸收热中子截面大等特性	电炉发热体、炉膛、高温模具、特殊冶金坩埚、高温器皿、高温轴承、火花塞、燃气轮机叶片、浇注金属用喉嘴、火箭喷嘴、热电偶套管、金属切削刀具及其他耐磨、耐蚀零件、原子能反应堆吸收热中子控制棒等	

分类名称	制造原料	主要特征	用途	
新型陶瓷(特种陶瓷)	透明陶瓷	氧化物透明陶瓷以氧化铝、氧化钇、氧化镁等为主要成分。非氧化物透明陶瓷以氟化镁、硫化锌等为主要成分	可以通过一定波长范围光线或红外光,具有较好的透明度	高温透镜、红外检测窗和红外元件、高压钠光灯灯管及其他高温碱金属蒸气灯灯管、防弹窗、高温观察窗
	玻璃陶瓷(微晶玻璃)	原料品种多,主要有氧化铝、氧化镁、氧化硅,外加晶核剂	力学强度高、耐热、耐磨、耐蚀、线胀系数为零,并有良好的电特性	望远镜头、精密滚珠轴承、耐磨耐高温零件、微波天线、印制电路板等

耐酸陶瓷(化工陶瓷)性能与制品

表 3-3-48 常用耐酸陶瓷的种类、用途及耐腐蚀性能

种类	主要制品	用途	普通陶瓷耐腐蚀性能			
			介质	浓度(质量分数)/%	温度/℃	耐腐蚀性能
普通耐酸陶瓷	耐酸砖、板	砌筑耐酸池、电解电镀槽、造纸蒸煮锅、防酸地面和墙壁、台面等	亚硝酸	任何浓度	—	耐
			硝酸	任何浓度	低于沸腾	耐
			硝酸铅	任何浓度	沸腾	耐
	管道	输送腐蚀性流体和含有固体颗粒的腐蚀性物料	硝酸铵	任何浓度	低于沸腾	耐
			亚硫酸	任何浓度	低于沸腾	耐
			盐酸	任何浓度	低于沸腾	耐
	塔、塔填料	对腐蚀性气体进行干燥、净化、吸收、冷却、反应和回收废气	醋酸	任何浓度	低于沸腾	耐
			蚁酸	任何浓度	沸腾	耐
			乳酸	任何浓度	沸腾	耐
	容器	酸洗槽、电解电镀槽、计量槽	柠檬酸	任何浓度	低于沸腾	耐
			硼酸	任何浓度	沸腾	耐
			脂肪酸	任何浓度	沸腾	耐
	过滤器	两相分离或两相结合、渗透、渗析、离子交换	铬酸	任何浓度	沸腾	耐
			草酸	任何浓度	低于沸腾	耐
			硫酸	96	沸腾	耐
硬质瓷	阀、旋塞	输送腐蚀性流体的管道	硫酸钠	任何浓度	沸腾	耐
	泵、风机	输送腐蚀性流体	硫酸铅	任何浓度	沸腾	耐
			硫酸铵	任何浓度	沸腾	耐
新型耐酸陶瓷	莫来石瓷	同硬质瓷,性能较好	硫化氢	任何浓度	沸腾	耐
	75%氧化铝瓷(含铬)	同硬质瓷	氟硅酸	—	高温	不耐
			氨	任何浓度	沸腾	耐
			丙酮	100 以下	—	耐
	97%氧化铝瓷(刚玉瓷)	同硬质瓷,性能优异	苯	100	—	耐(不使用陶制品)
			氢氟酸	—	—	不耐
	氟化钙瓷	耐腐蚀性超过纯氧化铝瓷的20倍,用于耐氢氟酸的零件	碳酸钠	稀溶液	20	较耐
			氢氧化钠	稀溶液	25	较耐
氢氧化钠			20	60	较耐	
			氢氧化钠	浓溶液	沸腾	不耐

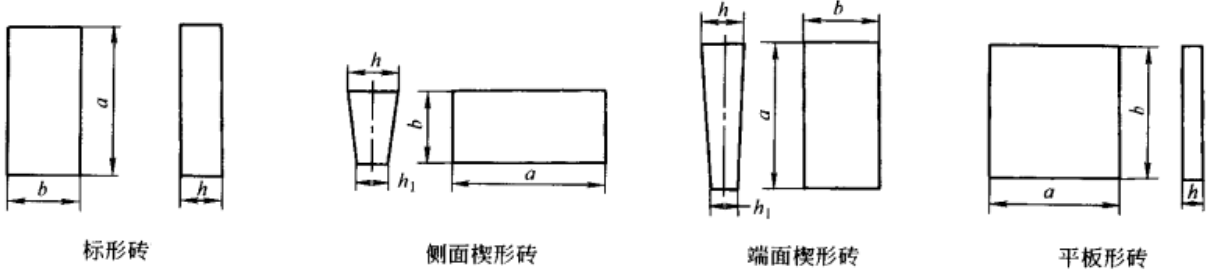
续表

新型耐酸陶瓷的耐腐蚀性能

介质	浓度(质量分数) /%	温度/℃	莫来石瓷		97%氧化铝瓷	
			失重/%	腐蚀深度/mm·a <sup>-1</sup>	失重/%	腐蚀深度/mm·a <sup>-1</sup>
硫酸	40	沸腾	0.05	0.04	0.13	0.09
	95~98	沸腾	0.16	0.12	0.01	0.01
硝酸	65~68	沸腾	0.03	0.03	0.01	0.01
盐酸	10	沸腾	0.04	0.04	0.02	0.01
	36~38	沸腾	0.05	0.04	0.02	0.01
氢氟酸	40		不耐		0.47	0.06
醋酸	99	沸腾	0.01	0.00	0.01	0.00
氢氧化钠	20	沸腾	0.21	0.16	0.02	0.01
	50	沸腾	2.03	0.63	0.07	0.05
氨	25~28	常温	0.01	0.00	0.00	0.00

注：75%氧化铝瓷(含铬)对95%~98%沸腾硫酸的失重为1%，对50%沸腾氢氧化钠的失重为0.8%。

表 3-3-49 耐酸砖的标准规格及性能 (摘自 GB/T 8488—2001)



规格尺寸/mm	标形砖			端面楔形砖				侧面楔形砖				平板形砖				
	长 a	宽 b	厚 h	厚 h <sub>1</sub>	厚 h	厚 h	厚 h	厚 h	厚 h	厚 h	厚 h	厚 h	厚 h	厚 h	厚 h	厚 h
长 a	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	150	150	100	100	125
宽 b	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	150	75	100	50	125
厚 h	65	40	30	65	65	55	65	65	65	55	65	15~30	15~30	10~20	10~20	15
厚 h <sub>1</sub>	—	—	—	55	45	45	35	55	45	45	35	—	—	—	—	—

砖的物理化学性能

项目	要求			
	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4
吸水率(A)/%	0.2 ≤ A < 0.5	0.5 ≤ A < 2.0	2.0 ≤ A < 4.0	4.0 ≤ A < 5.0
弯曲强度/MPa	≥ 58.8	≥ 39.2	≥ 29.4	≥ 19.6
耐酸度/%	≥ 99.8	≥ 99.8	≥ 99.8	≥ 99.7
耐急冷急热性	温差 100℃	温差 100℃	温差 130℃	温差 150℃
	试验一次后,试样不得有裂纹、剥落等破损现象			

耐酸耐温砖规格及性能 (摘自 JC 424—1991)

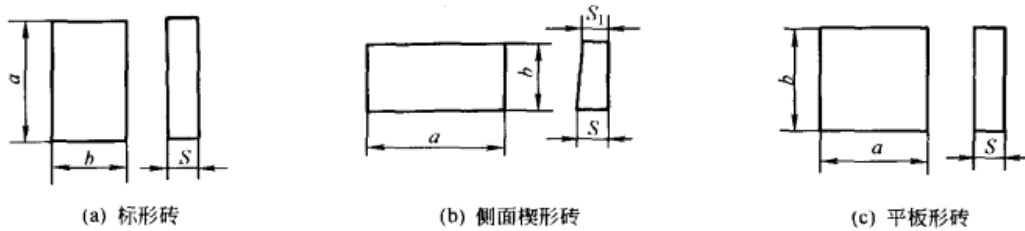


表 3-3-50

规格				物理化学性能								
制品名称及形状	尺寸/mm			制品名称及形状	尺寸/mm			项目	指标			
	长 a	宽 b	厚 S		厚 S <sub>1</sub>	长 a	宽 b		厚 S	厚 S <sub>1</sub>	NSW1 类	NSW2 类
标形砖	230	113	65	平板形砖	200	100	50	吸水率/%	≤5.0	>5.0, ≤8.0		
	230	113	40		200	100	25					
	230	113	30		150	150	50					
侧面楔形砖	230	113	65		55	150	150	25	耐酸度/%	≥99.7	≥99.7	
	230	113	65		45	150	75	25				
	230	113	65		35	120	120	50				
平板形砖	200	200	50		100	50	50	抗压缩强度/MPa	≥80	≥60	耐急冷急热性	
	200	200	25		100	100	25					
								试验温差 200℃	试验温差 250℃	试验一次后, 试样 不得有新生裂纹和破 损剥落		

注: 耐酸耐温砖按砖的吸水率分 NSW1 类 (吸水率小于或等于 5%) 和 NSW2 类 (吸水率大于 5%, 小于或等于 8.0%)。按砖的工作面分釉面和素面 (不带釉)。

化工陶管及配件 (摘自 JC 705—1998)

表 3-3-51

性能	$D_g$ /mm	抗外压强度 /kN·m <sup>-1</sup>	$D_g$ /mm	弯曲强度 /MPa	直管	弯管
	性	50	17.7	100		
能	75	19.6	150	9.8	50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600	50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400
	100					
	150	耐酸度/%	≥98			
	200	耐水压	0.275MPa 并 保持 5min 不漏			
	250	按协议要求				
	341					
400						
≥500						

直管	$D_g$ (内径 d)	50	75	100	150	200	250	300	400	500	600
	有效长度 L		300, 500	500, 600, 700, 800, 1000							
管身壁厚 δ		14	17	18	20	22	24	30	35	40	
承口壁厚 t		≥10	≥13	≥16	≥20	≥24	≥28	≥32			
承口深度 L <sub>0</sub>		≥40	≥50	≥55	≥60	≥70	≥75	≥80			
承插口间隙 (d <sub>2</sub> - d <sub>1</sub> )/2		≥10	≥12	≥15	≥20	≥25					
承口倾斜 H		≈4	≈5	≈6	≈7						

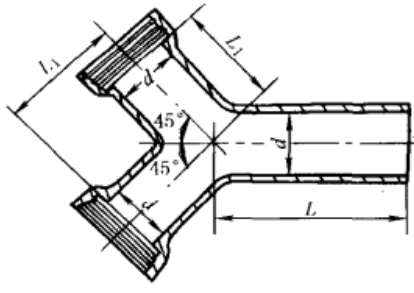
  

弯管	$D_g$ (内径 d)	50	75	100	150	200	250	300	400
	$\alpha = 30^\circ$	L <sub>1</sub>	120	130	140	150	160	180	200
L <sub>2</sub>		140	150	160	180	200	220	250	
$\alpha = 45^\circ$	L <sub>1</sub>		150		200	220	240	300	
	L <sub>2</sub>	150		220	260	280	300	400	
$\alpha = 60^\circ$	L <sub>1</sub>	150	200	220	300	330	350		
	L <sub>2</sub>	150	200	220	300	330	350		
$\alpha = 90^\circ$	L <sub>1</sub>	150	220		330	350	380	400	
	L <sub>2</sub>	150	220		330	350	380	400	

标记示例  
 公称直径为 100mm、长为 1000mm 直管标记为: 直管  $D_g 100 \times 1000$   
 JC 705—1998  
 公称直径为 100mm 的 90° 弯管标记为: 弯管  $D_g 100 \times 90^\circ$  JC 705—1998

续表

Y形三通管					$D_g$	主管 $d$	支管 $d'$	45° 三通和四通			90° 三通和四通		
$D_g$	$d$	$L$	$L_1$					$L$	$L_1$	$L_2$	$L$	$L_1$	$L_2$
50	50		110	标记示例 公称直径为100mm的Y形三通管标记为： Y形三通管 $D_g$ 100 JC 705—1998	50 × 50	50	50	400	150	180	400	75	250
75	75	200	140		75 × 50	75	50		165	190		85	
			160		75 × 75	75	75		180	210		90	
100	100		230		100 × 50		50	500		220	500	100	300
150	150		380		100 × 75	100	75		200	230		105	
					100 × 100		100					110	
				150 × 50		50	220		250	120			
				150 × 75	150	75	235		270	130			
				150 × 100		100	250		290	170			
				150 × 150		150	280	320	180				
				200 × 50		50	280	290	170				
				200 × 75		75	300	310					
				200 × 100	200	100	320	340	180				
				200 × 150		150	340	375					
				200 × 200		200	410	440	170				
				250 × 75		75	280	290					
				250 × 100		100	300	310	180				
				250 × 150	250	150	320	340					
				250 × 200		200	340	375	600				
				250 × 250		250	410	440					
				300 × 75		75	360	370	220				
				300 × 100		100	390	410					
				300 × 150	300	150	410	430	230				
				300 × 200		200	480	500					
				300 × 300		300	520	570	240				
				400 × 75		75	420	420					
				400 × 100		100	450	450	260				
				400 × 200	400	200	480	480					
				400 × 300		300	530	550	270				
				400 × 400		400	580	620					

注： $D_g$ 代表公称直径。

异径管

$D_g$	$d$	$d'$	$L$
100 × 50	100	50	300
100 × 75		75	
150 × 75	150	75	
150 × 100		100	
200 × 100	200	100	
200 × 150		150	
250 × 150	250	150	
250 × 200		200	
300 × 200	300	200	
300 × 250		250	

标记示例  
公称直径从100mm至50mm的异径管标记为：异径管  $D_g$ 100 × 50 JC 705—1998

45°、90°三通管和四通管



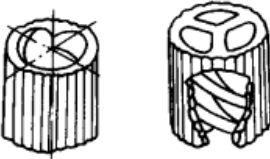
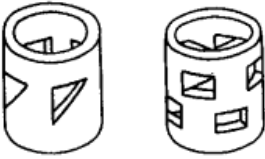
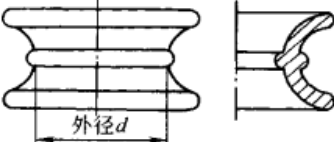



标记示例(三通管与四通管表示类同)  
主管内径为100mm、支管内径为50mm的45°四通管标记为：  
四通管  $D_g$ 100 × 50 × 45° JC 705—1998

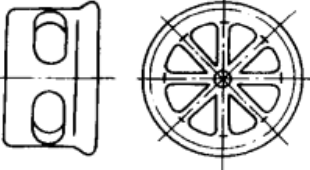


瓷 制 填 料<sup>[8]</sup>

表 3-3-52

名 称	规格 外径×长度 ×厚度 /mm	堆 放					整 放				
		比表面 积 $a$ /m <sup>2</sup> · m <sup>-3</sup>	空隙率 $\varepsilon$ /m <sup>3</sup> · m <sup>-3</sup>	个数 $n$ /个· m <sup>-3</sup>	堆积密 度 $\rho$ /kg· m <sup>-3</sup>	干填料 因子 ( $a/\varepsilon^3$ ) /m <sup>-1</sup>	比表面 积 $a$ /m <sup>2</sup> · m <sup>-3</sup>	空隙率 $\varepsilon$ /m <sup>3</sup> · m <sup>-3</sup>	个数 $n$ /个· m <sup>-3</sup>	堆积密 度 $\rho$ /kg· m <sup>-3</sup>	干填料 因子 ( $a/\varepsilon^3$ ) /m <sup>-1</sup>
 拉西环	25 × 25 × 2.5	190	0.78	49000	505	400	241	0.73	62000	720	629
	40 × 40 × 4.5	126	0.75	12700	577	305	197	0.60	19800	898	891
	50 × 50 × 4.5	93	0.81	6000	457	177	124	0.72	8830	673	339
	80 × 80 × 9.5	76	0.68	1910	750	243	102	0.57	2000	962	564
	100 × 100 × 13						65	0.72	1060	930	172
	125 × 125 × 14						51	0.68	530	825	165
	150 × 150 × 16						44	0.68	318	802	142
 十字隔板环	75 × 75 × 10								2300	1020	
	100 × 100 × 13								950	1140	
	120 × 120 × 12									1080	
	150 × 150 × 16								280	1000	
 单螺旋 三螺旋 螺旋环	80 × 80 × 8								1900	840	
	100 × 100 × 10								950	890	
	150 × 150 × 13								280	825	
	75 × 75 × 8 (三螺旋)						140		2200	1250	
 外径 ≤ 25mm 外径 > 25mm 鲍尔环	15 × 15 × 2	350	0.70	250000	690	500					
	25 × 25 × 2.5	220	0.76	48000	565	300					
	40 × 40 × 4.5	140	0.76	12700	577	190					
	50 × 50 × 4.5	110	0.81	6000	457	130					
	80 × 80 × 8	66	0.75	2000	714	100					
 矩鞍环	25 × 12 × 1.2	378	0.710	269900	688	1056					
	40 × 20 × 3	200	0.772	58230	544	434.6					
	60 × 30 × 4	131	0.804	19680	502	252.0					
	80 × 42 × 6	105.4	0.791	8243	470	212.9					
	119 × 53 × 9	76.3	0.752	2400	537.7	179.4					
 异鞍环	φ25	270	0.76	76600	580	340					
	φ38	190	0.794	24600	480	196					
	φ50	140	0.81	9600	460	140					
	φ76	120	0.71	2800	552	120					

续表

名 称	规格 外径×长度 ×厚度 /mm	堆 放					整 放				
		比表 面积 $a$ /m <sup>2</sup> · m <sup>-3</sup>	空隙率 $\epsilon$ /m <sup>3</sup> · m <sup>-3</sup>	个数 $n$ /个· m <sup>-3</sup>	堆积密 度 $\rho$ /kg· m <sup>-3</sup>	干填料 因子 ( $a/\epsilon^3$ ) /m <sup>-1</sup>	比表 面积 $a$ /m <sup>2</sup> · m <sup>-3</sup>	空隙率 $\epsilon$ /m <sup>3</sup> · m <sup>-3</sup>	个数 $n$ /个· m <sup>-3</sup>	堆积密 度 $\rho$ /kg· m <sup>-3</sup>	干填料 因子 ( $a/\epsilon^3$ ) /m <sup>-1</sup>
 阶梯环(米字内筋)	25 × 17.5 × 3	250	0.9	74000	530	245					
	30 × 21 × 3			46200	650						
	40 × 28 × 4			32500	650						
	50 × 30 × 5	108.6	0.787	9091	516	223					
	76 × 45 × 7	63.4	0.795	2517	426	126					

注: 1. 十字隔板环通常用于整砌式作第一层支撑小填料用, 压降相对较低, 沟流和壁流较少。  
2. 表中数据各生产厂家相差较大, 选用时请与生产厂家联系。

### 过 滤 陶 瓷<sup>[4]</sup>

表 3-3-53 过滤陶瓷种类、特性及应用

种 类	适用条件	特 性	应 用 举 例
石英质过滤陶瓷	适于酸性、中性气体和液体过滤, 无温度急变状况	过滤陶瓷是一种用于过滤和透气的多孔陶瓷, 含有大量一定孔径的开口气孔, 其气孔率通常为 30% ~ 40%; 需要时可高达 60% ~ 70%, 气孔半径一般在 0.2 ~ 200 μm 范围内。过滤陶瓷还具有耐蚀、耐高温、高强度、寿命长、易清洗等特点。可制作的产品有厚度 0.1mm 以下的薄膜、圆板(φ700mm)、大管(φ150 ~ 250mm × 1000mm)和薄壁长管(φ10mm × 2mm × 1000mm)等	用于农药生产中氯化氢气体分布、液态氧和干冰分离、污水处理、高压气体过滤、味精发酵液电渗析预滤等
刚玉质过滤陶瓷	适于冷热酸性、中性、碱性气体和液体过滤, 有温度急变状况		用于双氧水电解隔膜、电解电镀槽液过滤、高温烟气过滤、热碱液过滤、气动仪表执行机构液体过滤等
硅藻土质过滤陶瓷	适于酸性、中性气体和液体过滤, 无温度急变状况		用于尘埃分离、细菌过滤、酸性电解质过滤等
矾土质过滤陶瓷	适于酸性、中性、弱碱性气体和液体过滤, 有温度急变状况		用于汽油和柴油过滤、汽车废气处理等
氧化铝质过滤陶瓷	适于冷热酸性、中性、碱性气体和液体过滤, 有温度急变状况		用于银锌电池隔膜、油水分离、压缩空气油雾分离、土壤张力计测头等
碳化硅质过滤陶瓷			用于制酸中 SO <sub>2</sub> 热气体过滤、潜水泵呼吸器、气体分析过滤器、熔融铝过滤等
素烧陶土质过滤陶瓷	适于无腐蚀性气体和液体过滤, 无温度急变状况		用于饮用水过滤、药物生产过滤等

表 3-3-54 过滤陶瓷的物理力学性能

项 目	石英质 过滤陶瓷	刚玉质 过滤陶瓷	硅藻土质 过滤陶瓷	矾土质 过滤陶瓷	氧化铝质 过滤陶瓷	碳化硅质 过滤陶瓷	素烧陶土质 过滤陶瓷
孔半径/μm	1.4 ~ 190	0.22 ~ 200	0.5 ~ 8	25 ~ 55	0.2 ~ 0.8	40 ~ 100	1.1 ~ 8
气孔率(体积分数)/%	30 ~ 50	30 ~ 55	40 ~ 65	—	25 ~ 55	32 ~ 37	最高达 70
透气度/[m <sup>3</sup> ·cm/(m <sup>2</sup> ·h·mmH <sub>2</sub> O <sup>①</sup> )]	0.08 ~ 40	0.0001 ~ 58	0.001 ~ 0.33	7 ~ 10	0.022 ~ 0.36	2.3 ~ 20	—
体积密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.5 ~ 1.8	1.7 ~ 2.4	—	—	—	1.9 ~ 2.1	0.7 ~ 0.85
抗弯强度/MPa	4.9 ~ 14.7	19.6 ~ 43.2	4.9 ~ 30.9	—	39.2 ~ 118	—	1.96 ~ 4.9
抗压强度/MPa	17.7 ~ 39.2	39.2 ~ 88.3	—	—	—	39.2 ~ 58.8	6.87 ~ 12.75
酸蚀失重/%	<2	<1	—	—	2	—	—
碱蚀失重/%	—	<5	—	—	—	—	—
允许使用温度/℃	300 以下	1000 短时 1400	300 以下	900	1000	900	300
耐热震性 <sup>②</sup>	差	好	差	好	好	好	—

① 1mmH<sub>2</sub>O = 9.80665Pa。

② “差”指 700℃ ⇌ 室温水 中急冷 1 ~ 2 次即裂。“好”指 700℃ ⇌ 室温水 中急冷 80 次才破裂。

表 3-3-55 刚玉质微孔过滤管、板的规格及主要质量指标 (陕西省工业陶瓷厂企业标准)

规格/mm			主要质量指标	
内 径	外 径	长 度	项 目	指 标
85	120	400 ~ 1000	耐酸度/%	≥99
50	80	400	吸水率/%	18 ~ 25
直 径		厚 度	气孔率(体积分数)/%	35 ~ 45
1000		10 ~ 30	容重/g · cm <sup>-3</sup>	2.2 ~ 2.4
600		20	耐压强度/MPa	49 ~ 88.3
500		20	管内耐水压/MPa	≥1.37

注: 刚玉质微孔过滤制品的孔径如下。

孔径/μm	< 10	10 ~ 25	25 ~ 50	> 50
含量/%	25 ~ 40	20 ~ 30	18 ~ 25	14 ~ 30

耐温、耐磨、耐腐蚀、高强度陶瓷<sup>[4]</sup>

表 3-3-56

种 类	适用最高温度/℃		特 性	应 用
氧化铝瓷 (高铝瓷)	空气	1980	耐高温、高强度、耐磨、耐腐蚀,具有良好的抗氧化性、电绝缘性、真空气密性及透微波特性,对气氛不敏感,硬度很高(低于金刚石、碳化硼、立方氮化硼、碳化硅,居第五位),耐酸碱和其他腐蚀性介质,且高温下也不会氧化,但脆性大,不能承受冲击负荷,不能承受温度急变状况,抗热震性差 微晶刚玉瓷和氧化铝金属瓷是新型氧化铝瓷,其性能明显优于氧化铝瓷	制作高温器皿、电绝缘及电真空器件、磨料、高速切削工具,如熔融金属液坩埚、高温容器、测温热电偶的绝缘套管、内燃机火花塞、电子管外壳、电子管内的绝缘零件、微波功率输出窗口等。微晶刚玉瓷和氧化铝金属瓷可用于金属切削工具、耐磨性能高的零件(金属拉丝模、石油化工用泵及农用水泵的密封环、纺织机高速导纱的零件等)
	真空	1800		
	还原气氛	1925		
氧化铍瓷	空气	2400	导热性极好,与金属铝相近,抗热震性优良,介电常数和介质损耗都低于氧化铝瓷,密度较小,粉末和蒸气甚毒	制作高温、高导热、高绝缘及低损耗的各种电子器件,高密度集成电路外壳及基片、大功率气体激光管和晶体管的散热片等
	真空	2000		
	水汽	1200(挥发)		
氧化镁瓷	空气	2400	耐高温,抗熔融金属侵蚀,在真空中易挥发,热稳定性差,机械强度低,易水解	制作碱性耐火材料和坩埚,用于冶炼高纯度铁、铁合金、铜、钨、镁等,还可熔化高纯度铀、钍及其合金
	真空	1600		
	还原气氛	1700 ~ 1980		
氧化锆瓷	空气	2400	耐高温,抗氧化,抗熔融金属侵蚀,室温下为绝缘体,1000℃以上则为导电体	制作熔炼铂、钨、钼等金属的坩埚,1800℃以上的高温发热体,离子导电体材料、氧量分析器等
	真空	2200		
	还原气氛	1955 ~ 2205		
碳化硅瓷	空气	1400 ~ 1500	强度高,硬度高,导电性能优良,热稳定性和抗氧化性能均好,高温强度高,热传导性能好,并且具有耐磨、耐蚀、抗蠕变性能好的特点	制作高温、高强度的零件(浇注金属用喉嘴、热电偶套管、炉管等),热传导能力高的零件(高温下的热交换器零件),耐磨耐蚀优良的零件(各种泵的密封圈),高温下导电良好的电热元件等
	短时	1600		
	不活泼气氛	2300		
	NH <sub>3</sub>	< 1400		

续表

种类	适用最高温度/℃	特性	应用
氮化硼瓷 (六方晶、热压 烧结)	空气 1100 ~ 1400 (氧化严重) He 3000	具有良好的抗热震性、耐热性、化学稳定性和电绝缘性,密度小,在高温下仍有高的电绝缘性、润滑性和导热性,能抗熔融铁、铝、铜、锗、砷、硅、锑、砷化镓和玻璃熔体的侵蚀。烧结后的制品硬度低,能进行机械切削加工	用于制作热电偶套管、半导体散热绝缘件、熔炼半导体的单晶坩埚、一般冶金用的高温容器和管道、高温轴衬耐磨材料、玻璃制品成型模及高频电绝缘材料等
氮化硅瓷 (反应烧结或 热压烧结两 种)	空气 1100 ~ 1400 中性气氛 1850 还原气氛 1850	具有良好的耐磨性及自润滑性,高硬度,耐腐蚀,耐高温,抗热震性和耐热疲劳性能均优良,能耐各种无机酸(甚至沸腾的盐酸、硝酸、硫酸、磷酸和王水,但不包括氢氟酸)、30%的烧碱液及其他碱液的腐蚀,能抗熔融铝、铅、锌、金、银、黄铜、镍等金属熔体的侵蚀,有良好的电绝缘性和耐辐射性能	反应烧氮化硅适于制作形状复杂、尺寸精确的零件,如盐酸泵、氯气压缩机中的端面密封环,炼铝测温用的热电偶套管,铁、锌熔体的流量计零件,化工用球阀的阀芯,炼油厂提升管装置中的球阀等;热压烧氮化硅力学性能优于反应烧氮化硅,但只能制造形状简单的制品,如转子发动机中的刮片、高温轴承、金属切削刀具等

## 5 石墨制品

### 石墨制品的类型与应用

表 3-3-57

工业部门	制品类型	应用
机械工业用 碳石墨制品	石墨耐磨制品	制作碳石墨轴承、碳石墨活塞环、碳石墨密封环、石墨刹车片等
	石墨润滑剂	用于高温及高负荷的滑动轴承及各种机械的滑动或转动部分,适用于作为金属拉丝、管棒挤压以及冲压、模锻等冷、热加工时的润滑剂
	碳纤维	采用碳纤维增强塑料可制成磨床用的磨头以及其他各种磨床零件,如旋转刀具、齿轮、轴承等
	柔性石墨	用于腐蚀性和高温条件下的密封垫圈或垫片、阀门的密封垫料环、仪器仪表的密封元件等
	玻璃态碳	用于化工、冶金、半导体等工作部门,在机械工业中可制成玻璃工业用的心轴、各种高温耐腐蚀介质中的轴承和机械密封件等
电工用碳石 墨制品	电机用电刷	可作为汽轮发电机、牵引电机、汽车拖拉机、电动工具电机等的电刷
	电接点用碳石墨制品	用于断开触点、电机车用碳石墨滑块以及各种碳石墨滑轮、滑块等
	碳石墨电阻及发热材料	用于碳石墨固定电阻、无级调节碳电阻、片柱和碳石墨发热元件
	整流器和电子管用石墨制品	可作为水银整流器的阳极、栅极和大型电子管的阳极、栅极等
	电加工用石墨电极	用于电火花加工、电解加工以及电解成形磨削用石墨电极
	碳棒	可制作照明碳棒、加热碳棒、导电碳棒、光谱分析用碳棒、电弧气刨用碳棒以及接地用碳棒等
冶金工业用 碳石墨制品	石墨制品	制成各种石墨电极,用于电弧炉炼钢
	炭制品	制成各种炭块,砌筑炉衬;制成炭电极,用于导电电极
	炭糊类制品	用于矿热炉作自焙电极,或用于砌筑炭块
	石墨模	用于有色金属连续铸造、压力铸造和离心铸造的石墨模以及热压模等
化工用碳石 墨制品	不透性石墨制品	可制成换热设备、反应和吸收设备以及流体输送系统中的管道、旋塞和泵等
	石墨阳极	制成氯碱工业用石墨阳极、电渗析用石墨电极

石墨耐磨材料的性能与应用<sup>[2]</sup>

表 3-3-58

石墨耐磨材料的性能

类别	体积密度 /g·cm <sup>-3</sup>	硬度 HS	气孔率(体积 分数)/%	抗压强度 /MPa	抗弯强度 /MPa	线胀系数 /10 <sup>-6</sup> ℃ <sup>-1</sup>	耐热温度 /℃	
碳石墨	1.50~1.70	50~85	10~20	80~180	25~55	—	350	
电化石墨	1.60~1.80	40~55	10~20	35~75	20~40	3	400	
碳石墨 基体	浸酚醛	1.65	90	5	260	65	14	170
	浸环氧	1.62~1.68	65~92	2	100~270	45~75	11.5	—
	浸呋喃	1.70	70~90	2	170~270	60	6.5	—
	浸四氟乙烯	1.60~1.90	80~100	<8	140~180	40~60	—	—
	浸巴氏合金	2.40	60	2	200	65	—	—
	浸青铜	2.40	90	4	320	80	6	500
电化石墨 基体	浸酚醛	1.80	45~72	2~3	90~140	35~50	14	170
	浸环氧	1.80~1.90	40~90	1	70~150	30~80	11.5	—
	浸呋喃	1.85~1.90	50~80	2	120~150	45~50	6.5	170
	浸四氟乙烯	1.70	65	—	60	30	5.2	250
	浸巴氏合金	2.40	42~60	3	100~200	40~70	5.5	200
	浸青铜	2.45	45~60	2~3	120~150	60~70	6	500
	浸铝合金	2.10~2.20	45	1	200	100	6	400
	浸磷酸盐	1.60	65	—	50	30	5.2	500

注：石墨是用焦炭粉和石墨粉或加炭黑作基料，用沥青为黏结剂，经模压成型，在高温条件下烧制而成的。根据所用原料、烧结时间和烧结温度不同，通常可以制成具有两种不同物理力学性能的烧结石墨。一种为碳素石墨，又称碳石墨，其特点是硬、脆；另一种是石墨化石墨，又称电化石墨，其特点是质软、强度低。碳石墨比电化石墨不易加工、热导率低，而强度及耐磨性优于电化石墨。

表 3-3-59

石墨耐磨材料的应用

材料名称	用途举例
浸渍石墨 (树脂、青铜、巴氏合金)	油泵、水泵、汽轮机、搅拌机以及各种酸碱化工泵的密封环(静环)、防爆片、管道、管件等
碳石墨-浸渍石墨(树脂、金属)	造纸、木材加工、纺织、食品等机械上,用于忌油脂场所的轴承
电化石墨-浸渍石墨(金属)	化工用气体压缩机的活塞环等
浸渍石墨(金属)	计量泵、真空泵、分配泵的刮片

## 不透性石墨块和石墨管性能

表 3-3-60

项 目	石墨块 (HG/T 2370—1992)		石墨管 (HG/T 2059—1991)			石墨酚醛 粘接剂 (HG/T 2370—1992)
	未浸渍石 墨块材	酚醛树脂 浸渍石墨	压型酚醛石墨管		浸渍树脂石墨管	
			YFSG1	YFSG2	JSSG	
真密度/kg·m <sup>-3</sup>	≥ 2.18 × 10 <sup>3</sup>	2.03 × 10 <sup>3</sup>				
体积密度/kg·m <sup>-3</sup>	≥ 1.52 × 10 <sup>3</sup>	1.8 × 10 <sup>3</sup>				
抗压强度/MPa	≥ 17.6	60	88.2	73.5	75	12(粘接后抗 剪强度)
抗拉强度/MPa	≥ 3.5	14	19.6	16.7	15.7	11(粘接后)
抗弯强度/MPa	≥ 6.4	27	68.6(φ32/22)	58.8(φ32/22)	60(φ32/22)	—
热导率/W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	—	[105~128]	[31.4~40.7]	[31.4~40.7]	[104.6~116]	[21~23]
线胀系数/10 <sup>-6</sup> ℃ <sup>-1</sup>	2.2~2.9(130℃)	5.1~5.7(130℃)	24.7(129℃)	8.2(129℃)	2.4(129℃)	2.5~2.7 (130℃)
许用温度/℃	—	170	170	300	170	—
抗渗透性	制成设备后,以 1.25 倍设计压力 作为试验压力,保压 30min 不渗漏		φ32/22 × 100mm 的试样在 1MPa 压力下进行 水压试验,10min 不渗漏			—

注: 1. 带方括号的为参考数值。

2. 石墨管许用设计压力不大于 0.3MPa。YFSG1 型石墨管成型后在 130℃ 下热处理, YFSG2 型石墨管成型后在 300℃ 以下热处理。

## 树脂浸渍石墨的耐腐蚀性能

表 3-3-61

## 酚醛树脂浸渍石墨及压型酚醛石墨的耐腐蚀性能

类别	介 质	浓度/%	温度/%	耐蚀性	类别	介 质	浓度/%	温度/℃	耐蚀性	
酸 类	盐酸、亚硫酸 草酸、乙酸酐 油酸、脂肪酸 甲酸、柠檬酸 乳酸、酒石酸 亚硝酸、硼酸	任意	低于沸点	耐	酸 类	铬酐	40	常温	耐	
						乙酸	< 50	沸点	耐	
						乙酸	100	20	耐	
					碱 类	NaOH	10	< 20	不耐	
	KOH	10	常温	不耐						
	氨水、一乙醇胺	任意	低于沸点	耐						
	酸 类	硝酸	5	常温	尚耐	盐 类	硫酸钠、硫酸氢钠 硫酸镍、硫酸锌 硫酸铝、硫酸铵 氯化铝、氯化铵 氯化铜、氯化亚铜 氯化铁、氯化亚铁 氯化锡、氯化钠	任意	低于沸点	耐
		硫酸	< 75	< 120	耐					
		硫酸	80	120	不耐					
		磷酸	< 80	低于沸点	耐					
		氢氟酸	< 48	低于沸点	耐					
		氢氟酸	48~60	< 85	耐					
		氢溴酸	10		耐					
		氢溴酸	任意	低于沸点	不耐					
铬酸		10	常温	尚耐						
铬酐		10	低于沸点	耐						
					碳酸钠、硝酸钠 硫代硫酸钠	任意	低于沸点	耐		

类别	介质	浓度/%	温度/℃	耐腐蚀性	类别	介质	浓度/%	温度/℃	耐腐蚀性	
盐类	磷酸铵	任意	低于沸点	耐	有机物	苯乙烯、乙基苯		20	耐	
	硫酸锌	27	低于沸点	耐		乙醛	100	20	耐	
	硫酸锌	饱和	60	耐	其他	尿素	70	常温	耐	
	硫酸铜	任意	<100	耐		硫酸乙酯	50	低于沸点	耐	
	三氯化砷	100	<100	耐		使用实例	二氯苯 + 二氯乙烷 + 聚氯化物		100	耐
	高锰酸钾	20	60	尚耐			醛醚凝氯		20	耐
卤素	氟气	100	常温	不耐	扩散剂 H <sub>2</sub>			20~60	耐	
	干氯	100	常温	耐	拉开粉		20	20	耐	
	湿氯			不耐	拉开粉		20	100	不耐	
	溴、碘	100	20	不耐	发泡粉		20	100	不耐	
	溴水	饱和	50	不耐	氯乙烷 + 盐酸 + 乙醇			140→25	耐	
	有机化合物	甲醇、异丙醇					氯油 + 氯气 + 乙醇 + 水		60	不耐
戊醇、丙酮					湿二氧化硫			80→40	耐	
丁酮、苯胺					硫酸镍 + 氯化镍			50→70	耐	
苯、二氯甲烷		100	低于沸点	耐	硫酸锌 + 硫酸		40→60	耐		
氯化苯、二氯乙烷					苯 + 二氯乙烷 + 氯气 + 盐酸		120→130	耐		
汽油、四氯乙烷					季戊四醇 + 盐酸		180	耐		
三氯甲烷、四氯化碳					烷基磺酰氯		80→25	耐		
二氧杂环乙烷					硫酸 + 萘	含 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	90	耐		
乙醇、丙三醇		95	低于沸点	耐	蛋白质水解液	70	70→120	耐		
三氯乙醛		33	20	耐						
二氯乙醚		20~100	耐							
丙烯腈		20~60	耐							

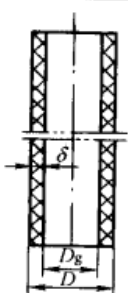
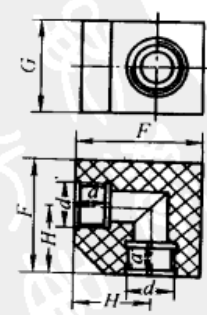
表 3-3-62 呋喃树脂浸渍石墨的耐腐蚀性能

介质	质量浓度/10g·L <sup>-1</sup>	温度/℃	耐腐蚀性	介质	质量浓度/10g·L <sup>-1</sup>	温度/℃	耐腐蚀性
硫酸	90	50	耐	次氯酸钙	20	60	耐
铬酸	10	50	耐	高锰酸钾	20	60	耐
氢氧化钠	<50	沸点	耐	重铬酸钾	20	60	耐
氢氧化钾	20	40	耐				

石 墨 管 件

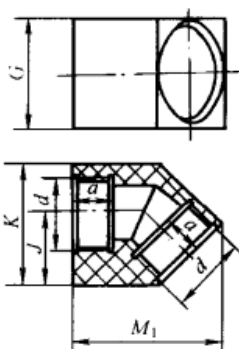
(使用温度 170℃, 许用应力 0.3MPa, 螺纹按 GB/T 15054.2—1994 加工)

表 3-3-63

石墨直管 (HG/T 3191—1980)	质量					石墨直角弯头 (HG/T 3192—1980)	mm						
	D <sub>g</sub>	内径	D	δ	/kg·m <sup>-1</sup>		D <sub>g</sub>	d	a	F	G	H	
22	22	32	5	0.76	 <p>标记示例: 直管 D<sub>g</sub>25 HG/T 3191—1980</p>	25	38	25	75	50	50		
25	25	38	6.5	1.16		36	50	25	90	70	55		
30	30	43	6.5	1.22		50	67	32	115	90	70		
36	36	50	7	1.69		65	85	32	130	110	75		
40	40	55	7.5	2.04		75	100	38	155	130	90		
50	50	67	8.5	2.81		102	133	38	195	170	110		
65	65	85	10	4.25		127	159	44	230	200	130		
75	75	100	12.5	6.17		152	190	44	260	230	145		
102	102	133	15.5	9.95		 <p>标记示例: 直角弯头 D<sub>g</sub>25 HG/T 3192—1980</p>							
127	127	159	16	12.9									
152	152	190	19	18.7									
203	203	254	25.5	33.0									
254	254	330	38	62.0									

石墨45°弯头(HG/T 3354—1981)

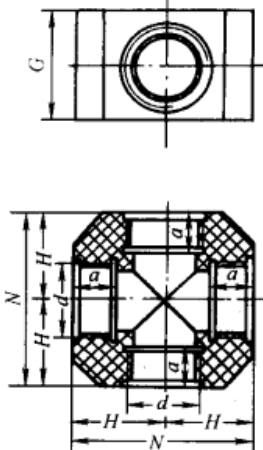
$D_g$	$d$	$a$	$G$	$J$	$K$	$M_1$
25	38	25	50	46	75	84
36	50	25	70	52	85	92
50	67	32	90	70	113	126
65	85	32	110	82	137	141
75	100	38	130	98	161	172
102	133	38	170	117	201	198
127	159	44	200	137	234	234
152	190	44	230	153	269	256



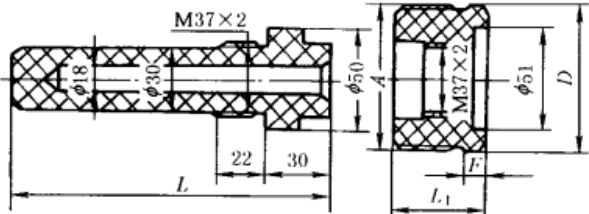
标记示例：  
45°弯头  $D_g 25$   
HG/T 3354—1981

石墨四通(HG/T 3195—1981)

$D_g$	$d$	$a$	$G$	$H$	$N$
25	38	25	50	50	100
36	50	25	70	55	110
50	67	32	90	70	140
65	85	32	110	75	150
75	100	38	130	90	180
102	133	38	170	110	220
127	159	44	200	130	260
152	190	44	230	145	290



标记示例：  
四通  $D_g 25$   
HG/T 3195—1981



石墨温度计套管 (HG/T 3202—1981)

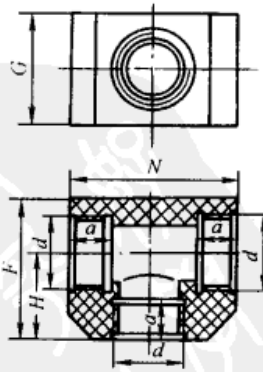
石墨温度计套管

$D_g$	$A$	$D$	$L_1$	$L$	$F$
36	50	54	38	100	15
50	67	72	45	150	15
65	85	90	45	200	15
75	100	106	50	250	15
102	133	138	54	300	18

标记示例：  
温度计套管  $D_g 36$   
HG/T 3202—1981

石墨三通(HG/T 3194—1981)

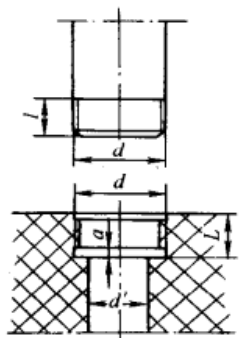
$D_g$	$d$	$a$	$G$	$F$	$H$	$N$
25	38	25	50	75	50	100
36	50	25	70	90	55	110
50	67	32	90	115	70	140
65	85	32	110	130	75	150
75	100	38	130	155	90	180
102	133	38	170	195	110	220
127	159	44	200	230	130	260
152	190	44	230	260	145	290



标记示例：  
三通  $D_g 25$   
HG/T 3194—1981

石墨管道用螺纹系列(HG/T 3204—1981)

$D_g$	$d'$	$d$	$L$	$a$	$l$	螺距
25	25	38	25	4	27	2
36	36	50	25	4	27	3
50	50	67	32	4	34	3
65	65	85	32	4	34	4
75	75	100	38	4	40	4
102	102	133	38	5	40	6
127	127	159	44	5	48	6
152	152	190	44	5	48	6
203	203	254	51	5	55	6
254	254	330	63	5	57	6



标记示例： $D_g 25$ 、  
螺距 2mm 标记为  
M25 × 2  
HG/T 3204—1981



## 6 石棉制品

### 石棉橡胶板(摘自 GB/T 3985—1995)

表 3-3-64

牌号	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	规格/mm			适用条件≤		性能			用途
		厚度	长度	宽度	温度/℃	压力/MPa	拉伸强度 /MPa ≥	回弹率 /%	老化系数 ≥	
XB450 (紫色)	1.6~2.0	0.5, 0.6	500	500	450	6	19	45	0.9	用于以水、水蒸气等介质 为主的设备管道法兰连接 处所用的密封衬垫材料
		0.8, 1.0	620	620						
XB350 (红色)		1.5, 2.0	1260	1200	350	4	12	40	0.9	
		2.5, 3.0	1350	1260						
XB200 (灰色)	>3.0	1500	1500	200	1.5	6	35	0.9		
	4000									

注: 宽度为 550mm、长度为 1000mm、厚度为 2mm, 用于温度为 450℃、压力为 6MPa 的管道法兰用垫片的石棉橡胶板标记为: 石棉板 XB450-2×550×1000 GB/T 3985—1995

### 耐油石棉橡胶板(摘自 GB/T 539—1995)

表 3-3-65

牌号	表面 颜色	密度 /g· cm <sup>-3</sup>	规格/mm			适用条件≤		性能			用途
			厚度	长度	宽度	温度 /℃	压力 /MPa	拉伸强度 /MPa ≥	吸油率 /% ≤	浸油增厚 率/% ≤	
NY150	灰白	1.6~2.0	0.4, 0.5 0.6, 0.8 0.9, 1.2 1.5, 2.0 2.5, 3.0	550	550	150	1.5	8	23	—	制作炼油设备、管道及汽 车、拖拉机、柴油机的输油 管道接合处的密封
NY250	浅蓝			620		250	2.5	9	23	20	制作炼油设备及管道法 兰连接处的密封
NY400	石墨色			1260	400	4	26	9	15	制作热油、石油裂化、煤 蒸馏设备及管道法兰连接 处的密封	
				1500	300	—	10.8	23	15	制作航空燃油、石油基润 滑油及冷气系统的密封	

注: 宽度为 550mm、长度为 1000mm、厚度为 2mm、最高温度为 250℃ 一般工业用耐油石棉橡胶板标记为: 石棉板 NY250-2×550×1000 GB/T 539—1995

### 耐酸、绝缘石棉橡胶板

表 3-3-66

品 种	颜 色	使 用 条 件	拉伸强度/MPa		标准厚度/mm
			纵 向	横 向	
耐酸石棉橡胶板	浅灰色	温度 200℃; 压力 2MPa	36	14	0.8~3.2
绝缘石棉橡胶板	灰白色	击穿电压不小于 8kV/mm	14	6	0.2~0.3
用 途	耐酸石棉橡胶板可抵抗硫酸、硝酸和盐酸等的腐蚀作用, 适用于制作与酸性物质接触的管道密封衬垫。绝缘石棉橡胶板有良好的电绝缘性能, 适用于制作电机、电器的绝缘衬垫和其他绝缘零件				

### 增强石棉橡胶板

表 3-3-67

品 种	颜 色	使用条件		拉伸强度/MPa		标准厚度/mm
		温度/℃	压力/MPa	纵 向	横 向	
高压增强石棉橡胶板	石墨色或银色	450	10	72.5	30	0.8~3.2
耐油增强石棉橡胶板	棕色或黑色	—	—	70	27.6	0.8~1.2
用 途	高压增强石棉橡胶板用于温度为 450℃、压力为 10MPa 以下的水、饱和蒸汽、过热蒸汽、空气、煤气、碱液、酒精及其他惰性气体等介质为主的设备、管道法兰连接处作密封衬垫材料 耐油增强石棉橡胶板在航空发动机中用于密封衬垫, 在其他燃油物中工作的零件中用于两部件接合处的衬垫					



## 汽车离合器面片 (摘自 GB 5764—1998)

表 3-3-71

基本尺寸	外径基本尺寸 /mm	偏差/mm			每片厚薄差 /mm	摩擦因数			磨损率/cm <sup>3</sup> ·N <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup>			弯曲强度 /MPa ≥	最大应变 (质量分数) /% ≥
		外径	内径	厚度		试验温度/℃			试验温度/℃				
						100	150	200	100	150	200		
由需方确定	300 >300	-1.0 -1.2	+0.8 +1.0	±0.12 ±0.15	<0.12 <0.15	0.25~ 0.6	0.2~ 0.6	0.15~ 0.6	0.5	0.75	1.0	25	0.6

## 工业机械用石棉摩擦片 (摘自 GB/T 11834—2000)

表 3-3-72

项 目		分 类								
		1类(软质)		2类(半硬质)		3类(硬质)				
						1号		2号	3号	
代号	ZP1		ZD1		ZP2	ZD2	ZP3-1	ZD3-1	ZP3-2	LP3-3
用途	制动片		制动带		制动片	制动带	制动片	制动带	制动片	离合器片
材料	普通编织制品		软质模压制品		特殊加工编织制品		模压制品、半模压制品、半金属模压制品			
制动片(带)的尺寸极限偏差 /mm	宽度尺寸 /mm	≤30	±1				±0.5		弯曲强度≥24.5MPa 最大应变(质量分数) ≥0.6%	
		>30~60	±1				±0.6			
		>60~100	±1.5				±0.8			
		>100~200	±2				±1.0			
		>200	±2.5				±1.2			
制动片(带)、离合器片尺寸极限偏差 /mm	厚度尺寸 /mm	≤6.3	±0.3				±0.2		±0.15(每片厚薄差≤0.15mm)	
		>6.3~10	±0.5				±0.25		±0.2(每片厚薄差≤0.2mm)	
		>10	±0.6				±0.3		±0.25(每片厚薄差≤0.25mm)	
离合器片外径(内径)极限偏差 /mm	外径尺寸 /mm	≤100							0 (+0.8) -0.8 (0)	
		>100~250							0 (+1.0) -1.0 (0)	
		>250~400							0 (+1.5) -1.5 (0)	
		>400							0 (+2.0) -2.0 (0)	
摩擦因数	摩擦面温度 /℃	100	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.25~0.6		
		150	0.25~0.6	0.25~0.6	0.25~0.6	0.25~0.6	0.3~0.6	0.2~0.6		
		200		0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.15~0.6		
		250					0.15~0.6			
磨损率 /10 <sup>-7</sup> cm <sup>3</sup> ·N <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup>	摩擦面温度 /℃	100	≤1.0	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.50		
		150	≤2.0	≤0.75	≤0.75	≤0.75	≤0.75	≤0.75		
		200		≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0		
		250					≤2.0			

注: 1. 制动片(带)宽度、厚度尺寸及离合器片内(外)径、厚度尺寸由需方确定。

2. 摩擦片表面加工与否由供需双方商定。摩擦片不允许有影响使用的龟裂、起泡、分层等缺陷。

3. 宽为100mm、厚为4mm半硬质制动带标记为: 制动带 ZD2 100×4 GB/T 11834—2000。

外径为380mm、内径为202mm、厚为10mm离合器片标记为: 离合器片 LP3-3 380×202×10 GB/T 11834—2000。

7 保温、隔热、吸声材料<sup>[5]</sup>

常用保温、隔热材料的性能及规格

表 3-3-73

种类	材料名称		密度 /kg·m <sup>-3</sup>	热导率 /W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ≤	使用温度 /℃ ≤	规格/mm			说明
						长度	宽度	厚度	
岩棉、矿渣棉及制品 (GB/T 11835—1998)	棉		150	0.044	650	渣球含量(颗粒直径 >0.25mm) ≤12%			吸水率可要求到不 大于5%,用于设备及 管道绝热
	板		61~200	0.044	600	910,1000、 1200,1500	500,600、 630,910	30~150	
	带		61~100 101~160	0.052 0.049	600	1200,2400	910	30,50,75、 100,150	
	毡,贴面毡 缝毡		61~80 81~100	0.049	400 600	910,3000、 4000,5000、 6000	600,630、 910	50,60,70	
	管壳		61~200	0.044	600	900,1000、 1200	内径 22~89 102~ 325	30,40 50,60、 80,100	
玻璃棉及制品 (GB/T 13350—2000)	棉	1号	40	0.041	400	纤维平均直径 ≤5μm (超细玻璃棉)			超细玻璃棉密度 小,热导率低,具有耐 腐、吸声、减振和过滤 等性能,用途广
		2号	64	0.042		纤维平均直径 ≤8μm			
		3号				纤维平均直径 ≤13μm			
	高硅氧棉 <sup>[8]</sup>		95~100	0.068~ 0.103	100				
	板		24	0.049	250	1200 <sup>+10</sup> -3	600 <sup>+10</sup> -3	25,30,40、 50,75,100	
			32	0.046	300			15,20,25、 30,40,50	
			40	0.044	350				
			48	0.043					
			64	0.042	400			12,15,20、 25,30,40	
			80						
			96						
	80 96 120	0.047		15,30,50					
	带	2号	25~32	0.052	300	1820	605	25	
>32~48			350						
>48~120			400						
毡	2号	24~40	0.048	350	1000,1200、 5000	600	25,40,55、 75,100		
		>40	0.043	400					
毡	2号	10	0.062	250	1000,1200、 2800,5500、 11000,20000	600,1200、 1800	25,30,40、 50,75,100		
		12 16	0.058						
		20	0.053						
		24 32 40	0.048	350					
		48	0.043	400					
管壳		45~90	0.043	350	100	内径 22,38、 45,57、 89,108、 133,159、 194,219、 245,273、 325	20,25,30、 40,50		

种类	材料名称	密度 /kg·m <sup>-3</sup>	热导率 /W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ≤	使用温度 /°C ≤	规格/mm			说明	
					长度	宽度	厚度		
硅酸钙绝热制品 (GB/T 10699—2003)	平板(P)	170号	170	0.055	400、500、 600	200、250、 300	40、50、60、 70、80、90	制品中有氯离子,对 不锈钢有腐蚀(50~ 200℃时)	
		220号	220	0.062					
		240号	240	0.064					
	弧形板 (G)	170号	170	0.055	400、500、 600	内 508、530、 560、630、 720、820、 920、1020、 1420、 1620 径			
		220号	220	0.062					
		240号	240	0.064					
	管壳(H)	170号	170	0.055	400、500、 600	内 57、73、76、 83、89、 103、108、 114、121、 133、140、 146、159、 168、194、 219、245、 273、325、 356、377、 419、426、 480 径			
		220号	220	0.062					
		240号	240	0.064					
硅酸铝棉及制品 (GB/T 16400—2003)	毡	65	0.178	1号:800 2号:1000 3号:1100 4号:1200 5号:1300	供需双方 商定	350、610	10、15、20、 25、30、40、 50	抗拉 强度 /kPa	>10
		100	0.161						≥14
		130	0.156						≥21
		160	0.153						≥35
	板、毡	60	0.178		600~1000	400~600	10~80		
		90	0.161						
		120	0.156						
		≥160	0.153						
	管壳	60	0.178		1000、1200	内 22~59 径 102~325	30、40 50、60、 75、100		
		90	0.161						
		120	0.156						
		≥160	0.153						
	膨胀珍珠岩制品 (GB/T 10303—2001)	200号	≤200		0.068 (25℃)	800	平板: 400~600	200~400	
0.11 (350℃)									
250号		≤250	0.072 (25℃)	弧形板: 400~600	>1000		40~100		
			0.12 (350℃)						
350号		≤350	0.087 (25℃)	管壳: 400~600	径 50~1000				
			0.12 (350℃)						

续表

种类	材料名称		密度 /kg·m <sup>-3</sup>	热导率 /W·m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ≤	使用温度 /℃ ≤	规格/mm			说明
						长度	宽度	厚度	
膨胀蛭石及制品 (JC/T 441—1996, JC/T 442—1996)	膨胀 蛭石	1号	100	0.062	-30 ~ 900	蛭石粒度 ≤ 2.5mm			吸水率高, 需注意 防水。按黏结剂不同 分三个品种 ① 水泥膨胀蛭石: 用于中、低温管道绝 热, 冷库不宜用 ② 水玻璃膨胀蛭 石: 用于非潮湿环境 ③ 沥青膨胀蛭石: 用于建筑防水层、 冷库
		2号				蛭石粒度 ≤ 1.25mm			
		3号				蛭石粒度 ≤ 0.63mm			
		4号				蛭石粒度 ≤ 0.25mm			
		5号				蛭石粒度 ≤ 0.16mm			
	砖	230 × 113 × 65, 240 × 115 × 53							
板			350	0.090	-40 ~ 800	200, 250、 300, 400	200, 250、 300, 500、	40, 50, 60、 65, 70, 80、 100, 120、 150, 200	
	管壳					150, 300、 350	内 径 25, 28, 32、 38, 42, 45、 48, 57, 73、 76, 83, 89、 103, 108、 114, 121、 140, 146、 159, 168、 194, 219、 245, 273、 325, 356、 377, 419、 426, 480	50, 60, 70、 80, 100、 120, 200	
泡沫玻璃制品 (JC/T 467—1996)		平板	150号	150	0.058 (35℃) 0.046 (-40℃)	-200 ~ 400	300, 400、 500	200, 250、 300, 350、 400	40, 50, 60、 70, 80, 90、 100
	180号		0.062 (35℃) 0.050 (-40℃)						
	管壳	150号	0.058 (35℃) 0.046 (-40℃)	300, 400、 500	内 径 57, 76, 89、 103, 114、 133, 159、 194, 219、 245, 273、 325, 356、 377, 426、 430				
		180号	0.062 (35℃) 0.050 (-40℃)						
泡沫石棉制品 (JC/T 812—1996)			30	0.046	500	800, 1000、 1500	500	25, 30, 35、 40, 45, 50、 55, 60	防潮、防火、防腐、 保温、保冷

注: 湿法制品是指硅酸铝棉经水洗除去部分渣球, 并施加黏结剂经压制或真空方法成型、干燥而成产品。干法制品是指在成棉过程中, 加入热固性黏结剂经加热固化而成的制品, 或将不加黏结剂的硅酸铝棉采用针刺等方法制得的制品。

## 普通硅酸铝耐火纤维毡的规格及性能 (摘自 GB/T 3003—1982)

表 3-3-74

性能			尺寸规格/mm			应用	牌号及含义
项目	指标		长	宽	厚		
密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	130 ~ 220		500 ~ 1000 >1000	400 ~ 500 >500	10 ~ 40 >40	适用于在 自然环境下 长期工作温 度 1000℃ 以 下的中性或 氧化性气氛 的工业炉	P X Z - 1000 ————长期工作温度 ————毡的代号 ————纤维的代号 ————普通代号
渣球含量 (>0.25mm)/%	≤ 5						
含水量/%	≤ 0.5						
加热线收缩(1150℃、保温 6h)/%	≤ 4						
化学成分(质 量分数)/%	( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ )(其中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ≥45)	≥ 96					
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	≤ 1.2					
	( $\text{K}_2\text{O} + \text{NaO}$ )	≤ 0.5					
热导率/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	≤ 0.12						

注: GB/T 3003—1982 标准中未规定热导率性能指标, 表中数值供参考。

常用吸声材料的性能和规格<sup>[6]</sup>

表 3-3-75

常用吸声材料一般性能

材料名称	规格/ $\mu\text{m}$		密度 $/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	热导率 $/10^{-3} \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	使用温度 $/^\circ\text{C} \leq$	吸声系数 (厚 50mm、 频率 500 ~ 4000Hz)	说明
	直径	厚度					
玻 璃 棉	玻璃棉	<15	80 ~ 100	0.052	300		耐腐蚀性较差
	超细玻璃棉	<5	20	0.035	400	≥0.85	耐腐蚀性较差
	无碱超细玻璃棉	<5	<20	0.033	600	≥0.75	耐腐蚀性较强
	高硅氧棉	<5	95 ~ 100	0.068 ~ 0.103 (在 262 ~ 413℃ 时)	1000	≥0.75	耐高温、化学稳定性好
	中级纤维玻璃棉	15 ~ 25	5 ~ 140	80 ~ 100	0.058	300	≥0.55
聚氨酯泡沫塑料		30、40、 50、60、 80	40 ~ 50			0.31 ~ 0.84	
有 机 纤 维	棉纺飞花	4	50	20 ~ 60		0.27 ~ 0.73	
	人造纤维	4	50	20 ~ 60		0.30 ~ 0.68	
	杂羊毛	20 ~ 30	50	20 ~ 70		0.28 ~ 0.61	

表 3-3-76

超细玻璃棉吸声系数

名 称	厚度 /mm	密度 /kg·m <sup>-3</sup>	频率/Hz					
			125	250	500	1000	2000	4000
			吸声系数 $\alpha_0$					
超细玻璃棉毡,贴实( $\alpha_T$ )	40	40	0.09	0.56	1.15	1.16	1.11	1.11
超细玻璃棉毡,空腔 50mm( $\alpha_T$ )	40	40	0.13	0.83	1.33	1.06	1.01	1.23
超细玻璃棉,贴实( $\alpha_T$ )	50	40	0.41	0.76	1.13	1.09	0.99	0.97
	50	80	0.59	1.29	1.35	1.16	0.98	0.88
	100	40	0.75	0.96	1.06	1.07	1.13	1.02
	100	80	0.67	1.14	1.22	1.00	1.01	1.11
超细玻璃棉,贴实( $\alpha_0$ )	20	20	0.04	0.08	0.29	0.66	0.66	0.66
	20	30	0.03	0.04	0.29	0.80	0.79	0.79
	25	—	0.10	0.14	0.30	0.50	0.90	0.70
	40	20	0.05	0.12	0.48	0.88	0.72	0.66
	50	12	0.06	0.16	0.68	0.98	0.93	0.90
	50	15	0.05	0.24	0.72	0.92	0.90	0.98
	50	17	0.06	0.19	0.71	0.98	0.91	0.90
	50	20	0.10	0.35	0.85	0.85	0.86	0.86
	50	24	0.10	0.30	0.85	0.85	0.85	0.85
	60	23	0.08	0.87	0.80	0.87	0.82	0.86
	75	10	0.11	0.71	0.95	0.85	0.85	0.88
	80	20	0.12	0.94	0.67	0.79	0.88	0.95
	100	15	0.11	0.85	0.88	0.83	0.93	0.97
	100	20	0.25	0.60	0.85	0.81	0.87	0.85
	150	20	0.50	0.80	0.85	0.85	0.86	0.80
超细玻璃棉,贴实(玻璃布护面) ( $\alpha_0$ )	100	20	0.29	0.88	0.87	0.87	0.98	—
	150	20	0.48	0.87	0.85	0.96	0.99	—
防水超细玻璃棉,贴实( $\alpha_0$ )	50	20	0.14	0.25	0.85	0.94	0.91	0.95
	100	20	0.25	0.94	0.93	0.90	0.96	—

注:  $\alpha_T$  为驻波管法吸声系数;  $\alpha_0$  为混响室法吸声系数。

表 3-3-77

中级纤维玻璃棉吸声系数

名 称	厚度 /mm	密度 /kg·m <sup>-3</sup>	频率/Hz						
			125	250	500	1000	1600	2000	4000
			吸声系数 $\alpha_0$						
酚醛玻璃棉,贴实	50	77	—	0.24	0.59	0.90	0.99	—	—
	70	77	—	0.46	0.84	0.98	0.97	0.97	—
	100	77	—	0.52	0.88	0.97	0.95	0.96	—
	140	77	—	0.70	0.95	0.96	0.99	0.99	—



名 称	厚度 /mm	密度 /kg·m <sup>-3</sup>	频率/Hz						
			125	250	500	1000	1600	2000	4000
			吸声系数 $\alpha_0$						
酚醛玻璃棉保温板,贴实	25	100	0.03	0.08	0.22	0.46	0.67	—	—
	50	100	0.08	0.25	0.58	0.92	0.99	—	—
酚醛玻璃棉保温板,空腔50mm	25	100	0.10	0.37	0.74	0.98	0.83	—	—
酚醛玻璃纤维板,贴实,去掉表面硬层	20	100	0.05	0.08	0.22	0.42	—	0.78	0.90
	25	120~130	0.05	0.12	0.38	0.80	—	0.99	0.93
	40	100	0.08	0.21	0.55	0.93	—	0.99	0.95
	50	120~130	0.15	0.35	0.44	0.99	—	0.96	0.98
	60	100	0.15	0.37	0.75	0.95	—	0.99	0.95
	80	100	0.25	0.55	0.80	0.92	—	0.98	0.95
酚醛玻璃棉毡,贴实	30	80	—	0.12	0.26	0.57	—	0.85	0.94
沥青玻璃棉毡,贴实	30	80	—	0.10	0.27	0.61	—	0.94	0.99
	50	100	0.09	0.24	0.55	0.93	—	0.98	0.98

表 3-3-78

泡沫塑料吸声系数

名 称	厚度 /mm	密度 /kg·m <sup>-3</sup>	频率/Hz						
			125	250	500	1000	2000	4000	
			吸声系数 $\alpha_0$						
聚氨酯泡沫塑料	30	45	0.09	0.14	0.47	0.88	0.70	0.77	
	40	40	0.10	0.19	0.36	0.70	0.75	0.30	
	50	45	0.15	0.35	0.84	0.68	0.82	0.82	
	60	45	0.11	0.25	0.52	0.87	0.79	0.81	
	80	45	0.20	0.40	0.95	0.90	0.98	0.85	
聚氨酯泡沫塑料	25	40	0.04	0.07	0.11	0.16	0.31	0.83	
	30	40	0.06	0.12	0.23	0.46	0.86	0.82	
	50	40	0.06	0.13	0.31	0.65	0.70	0.82	
聚氨酯泡沫塑料	30	53	0.05	0.10	0.19	0.38	0.76	0.82	
	30	56	0.07	0.16	0.41	0.87	0.75	0.72	
	30	71	0.11	0.21	0.71	0.65	0.64	0.65	
	40	56	0.09	0.25	0.65	0.95	0.73	0.79	
聚氨酯泡沫塑料	40	71	0.17	0.30	0.76	0.56	0.67	0.65	
	50	56	0.11	0.31	0.91	0.75	0.86	0.81	
	50	71	0.20	0.32	0.70	0.62	0.68	0.65	
脲醛泡沫塑料(米波罗)	30	20	0.10	0.17	0.45	0.67	0.65	0.85	
	50	20	0.22	0.29	0.40	0.68	0.95	0.94	
	100	—	0.47	0.70	0.87	0.86	0.96	0.97	
氨基甲酸酯泡沫塑料	20	—	0.06	0.07	0.16	0.51	0.84	0.65	
	25	25	0.12	0.22	0.57	0.77	0.77	0.76	
	30	—	0.07	0.13	0.32	0.91	0.72	0.89	
	40	—	0.12	0.22	0.57	0.77	0.77	0.76	
	50	36	0.21	0.31	0.86	0.71	0.86	0.82	
酚醛泡沫塑料	10	28	0.05	0.10	0.26	0.55	0.52	0.62	
	20	16	0.08	0.15	0.30	0.52	0.56	0.60	

## 8 工业用毛毡、帆布

工业用毛毡分类和编号 (摘自 FZ/T 25001—1992)

表 3-3-79

编 号 及 含 义	数 字 意 义		数 字 意 义	
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">T</div> <div style="margin-bottom: 5px;">1</div> <div style="margin-bottom: 5px;">1</div> <div style="margin-bottom: 5px;">2-65</div> <div style="margin-bottom: 5px;">—密度</div> <div style="margin-bottom: 5px;">—品种规格</div> <div style="margin-bottom: 5px;">—原料</div> <div style="margin-bottom: 5px;">—颜色</div> <div>—特品毡</div> </div>	第一位数字(颜色)	1—白色(即羊毛本色) 2—灰色(即有部分再生毛作原料,一般呈灰色) 3—天然杂色(即有部分黑色或棕色羊毛作原料) 4—彩色(由人工染色或人工加白等各色) 5—各种杂色(包括人工染色和天然杂色等混合色)	第三位数字(品种规格)	1—匹毡(钢丝针布毡)及长度在5m以上的(包括5m) 2—块毡(长度在5m以下的) 3—毡轮 4—毡筒 5—环形零件(即油封) 6—缝接环形零件(即缝接油封) 7—块形零件 8—圆片零件 9—条形零件 0—滤芯
	第二位数字(原料)	1—细毛 2—半粗毛 3—粗毛 4—杂毛 5—兽毛	第四位数字(密度)	65 即 0.65g/cm <sup>3</sup> 32~44 即 0.32~0.44g/cm <sup>3</sup>

平面毛毡的牌号及性能 (摘自 FZ/T 25001—1992)

表 3-3-80

类型	牌 号	密 度 /g·cm <sup>-3</sup>	断裂强度 /N·cm <sup>-2</sup> ≥		断裂时伸长 / % ≤		游离硫酸含量 / % ≤		植物性杂质(包 括矿物性杂 质)含量/ % ≤		矿物性杂质(包 括植物性杂质 灰分)含量/ % ≤		
			一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	
细 毛	T112-65	0.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	T112-32~44	0.32~0.44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			490 <sup>①</sup>	40	90	108	0.30	0.60	0.35	0.75	0.12	0.17	
			460 <sup>②</sup>	38	105	126							
			441 <sup>③</sup>	36	110	132							
			343 <sup>④</sup>	28	115	138							
	245 <sup>⑤</sup>	20	120	144									
	T112-25~31	0.25~0.31	—	—	—	—	0.15	0.30	0.35	0.75	0.12	0.17	
112-32~44	0.32~0.44	—	—	—	—	0.30	0.60	0.35	0.75	0.12	0.17		
112-25~31	0.25~0.31	—	—	—	—	0.30	0.60	0.35	0.75	0.12	0.17		
112-09~24	0.09~0.24	—	—	—	—	—	—	0.50	0.90	—	—		
111-32	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
半 粗 毛	T122-30~38	0.30~0.38	392 <sup>⑥</sup>	32	95	114	0.40	0.70	0.60	1.00	0.15	0.20	
			294 <sup>⑦</sup>	24	110	132							
			245 <sup>⑧</sup>	20	110	132							
			245 <sup>⑨</sup>	20	125	150							
	T122-24~29	0.24~0.29	—	—	—	—	0.15	0.30	0.50	0.90	0.15	0.20	
	122-30~38	0.30~0.38	—	—	—	—	0.40	0.70	0.60	1.00	0.15	0.20	
122-24~29	0.24~0.29	—	—	—	—	0.30	0.60	0.50	0.90	0.12	0.17		
222-34~36	0.34~0.36	—	—	—	—	0.40	0.70	—	—	—	—		
粗 毛	T132-32~36	0.32~0.36	294 <sup>⑩</sup>	24	110	132	0.40	0.70	0.70	1.10	0.20	0.25	
			245 <sup>⑪</sup>	20	130	156							
	T132-24~31	0.24~0.31	—	—	—	—	0.15	0.30	0.50	0.90	0.20	0.25	
	T132-23	0.23	—	—	—	—	0.20	0.40	0.50	0.90	0.20	0.25	
	132-32~36	0.32~0.36	—	—	—	—	0.40	0.70	0.70	1.10	0.20	0.25	
	132-23~31	0.23~0.31	—	—	—	—	0.30	0.60	0.50	0.90	0.20	0.25	
232-36	0.36	—	—	—	—	0.40	0.70	—	—	—	—		

注: 1. 断裂强度中, ①、②、③、④、⑤分别为 0.44g/cm<sup>3</sup>、0.41g/cm<sup>3</sup>、0.39g/cm<sup>3</sup>、0.36g/cm<sup>3</sup>、0.32g/cm<sup>3</sup> 细毛特品; ⑥、⑦、⑧、⑨分别为 0.38g/cm<sup>3</sup>、0.36g/cm<sup>3</sup>、0.34g/cm<sup>3</sup>、0.32g/cm<sup>3</sup> 半粗毛特品; ⑩、⑪分别为 0.36g/cm<sup>3</sup>、0.32g/cm<sup>3</sup> 粗毛特品。  
 2. 毛毡特性: 富有弹性, 可作为防振、密封、衬垫和弹性钢丝针布底毡的材料; 由于粘性能好, 不易松散, 可冲切制成各种形状的零件; 保温性较好, 可作为隔热保温材料; 组织紧密, 孔隙小, 并且在制造上, 对厚度又不像交织物那样受到限制, 可作为良好的过滤材料; 耐磨性较好, 可作为抛、磨光的材料。

## 特种工业帆布规格、技术性能 (摘自 FZ/T 66104—1995)

表 3-3-81

品号	品名	用途类别	基本性能指标						专用性能指标					经纱 /tex	纬纱 /tex	织物组织	染色及加工要求	可染色泽
			幅宽/cm	连边质量 /g·m <sup>-2</sup> ≤	密度 /根·(10cm) <sup>-1</sup>		断裂强力 /N		标准伸长率 /%		厚度 /mm	干摩擦色牢度 /级	静水压水柱高 /cm ≥					
					经纱	纬纱	经向 ≥	纬向 ≥	经向 ≤	纬向 ≤								
231	染色帆布	航空	100 <sup>+2.0</sup> <sub>-1.0</sub>	425	370 ± 7	102 ± 6	1128	1128	17	14	0.65 ~ 0.75	3	30	53.8	53.8 × 3	平纹	染色防水防霉	草绿浅灰
232	染色薄帆布	航空	100 <sup>+2.0</sup> <sub>-1.0</sub>	320	382 ± 8*	168 ± 7*	981	981	17	15	0.4 ~ 0.5	3	27	18.2 × 2	18.2 × 4	平纹	染色防水防霉	草绿
233	染色帆布	其他	100 <sup>+2.0</sup> <sub>-1.0</sub>	445	370 ± 7*	108 ± 6*	1128	1128	—	—	—	3	30	27.8 × 2	27.8 × 6	平纹	染色防水防霉	草绿浅灰
234	染色帆布	其他	76 <sup>+2.0</sup> <sub>-1.0</sub>	320	203 ± 8*	166 ± 7*	981	922	—	—	—	3	27	18.2 × 4	18.2 × 4	平纹	染色防水防霉	草绿

注：带\*者为参考指标，不作考核。

## 9 电气绝缘层压制品

## 酚醛纸层压板 (摘自 JB/T 8149.1—2000)

表 3-3-82

型号	应用范围与特性				
3020	工频高电压用,油中电气强度高,正常湿度下电气强度高				
3021	机械及电气用,正常湿度下电气性能好,也适用于热冲加工				
厚度及允许偏差 /mm		宽度、长度及允许偏差/mm		(450 ~ 1000) ± 15; > (1000 ~ 2600) ± 25	
		吸水性/mg		垂直层向电气强度(90℃ ± 2℃油中)/MV·m <sup>-1</sup>	
		3020	3021	3020	3021
0.4 ± 0.07	≤ 165	≤ 160	≥ 19.0	≥ 15.7	
0.5 ± 0.08	≤ 167	≤ 162	≥ 18.2	≥ 14.7	
0.6 ± 0.09	≤ 168	≤ 163	≥ 17.6	≥ 14.0	
0.8 ± 0.10	≤ 173	≤ 167	≥ 16.6	≥ 12.9	
1.0 ± 0.12	≤ 180	≤ 170	≥ 15.8	≥ 12.1	
1.2 ± 0.14	≤ 188	≤ 174	≥ 15.2	≥ 11.4	
1.6 ± 0.16	≤ 204	≤ 182	≥ 14.3	≥ 10.1	
2.0 ± 0.19	≤ 220	≤ 190	≥ 13.6	≥ 9.3	
2.5 ± 0.22	≤ 240	≤ 195	—	—	

续表

厚度及允许偏差 /mm	吸水性/mg		垂直层向电气强度(90℃ ± 2℃油中)/MV · m <sup>-1</sup>	
	3020	3021	3020	3021
3.0 ± 0.25	≤ 260	≤ 200	≥ 13.0	≥ 8.4
4.0 ± 0.30	≤ 300	≤ 220	平行层向击穿电压(90℃ ± 2℃油中)/kV	
5.0 ± 0.34	≤ 342	≤ 235	3020	3021
6.0 ± 0.37	≤ 382	≤ 250	≥ 35	≥ 20
8.0 ± 0.47	≤ 470	≤ 285	垂直层向弯曲强度/MPa	
10 ± 0.55	≤ 550	≤ 320	3020	3021
12 ± 0.62	≤ 630	≤ 350	≥ 120	≥ 120
14 ± 0.69	≤ 720	≤ 390	说明: ①垂直层向弯曲强度试验用最小板厚为 1.6mm ②垂直层向电气强度试验用最大板厚为 3mm ③平行层向击穿电压试验用板厚大于 3mm	
16 ± 0.75	≤ 800	≤ 420		
20 ± 0.86	≤ 970	≤ 490		
25 ± 1.00	≤ 1150	≤ 570		
30 ± 1.15	厚度大于 25mm 时,单面加工至 22.5mm			
35 ± 1.25	≤ 1380	≤ 684		
40 ± 1.35				
45 ± 1.45				
50 ± 1.55				

酚醛棉布层压板 (摘自 JB/T 8149.2—2000)

表 3-3-83

型 号	应用范围与特性							
3025	机械用(粗布),电气性能差							
3026	机械用(细布),电气性能差							
3027	机械及电气用(粗布),电气性能差							
3028	机械及电气用(细布),电气性能差。推荐制作小零部件(像 3026)							
厚度及允许偏差 /mm	吸水性/mg				垂直层向电气强度/MV · m <sup>-1</sup>			
	3025	3026	3027	3028	3025	3026	3027	3028
0.8 ± 0.19	≤ 201	≤ 201	≤ 133	≤ 133	≥ 0.89	≥ 0.89	≥ 5.6	≥ 7.0
1.0 ± 0.20	≤ 206	≤ 206	≤ 136	≤ 136	≥ 0.82	≥ 0.82	≥ 5.1	≥ 6.3
1.2 ± 0.22	≤ 211	≤ 211	≤ 139	≤ 139	≥ 0.80	≥ 0.80	≥ 4.6	≥ 5.8
1.6 ± 0.24	≤ 220	≤ 220	≤ 145	≤ 145	≥ 0.72	≥ 0.72	≥ 3.8	≥ 5.1
2.0 ± 0.26	≤ 229	≤ 229	≤ 151	≤ 151	≥ 0.65	≥ 0.65	≥ 3.4	≥ 4.6
2.5 ± 0.29	≤ 239	≤ 239	≤ 157	≤ 157	—	—	—	—
3.0 ± 0.31	≤ 249	≤ 249	≤ 162	≤ 162	≥ 0.50	≥ 0.50	≥ 3.0	≥ 4.0
4.0 ± 0.36	≤ 262	≤ 262	≤ 169	≤ 169	平行层向击穿电压(90℃ ± 2℃油中)/kV			
5.0 ± 0.42	≤ 275	≤ 275	≤ 175	≤ 175	3025	3026	3027	3028
6.0 ± 0.46	≤ 284	≤ 284	≤ 182	≤ 182	≥ 1	≥ 1	≥ 18	≥ 20
8.0 ± 0.55	≤ 301	≤ 301	≤ 195	≤ 195	垂直层向弯曲强度/MPa			
10.0 ± 0.63	≤ 319	≤ 319	≤ 209	≤ 209	3025	3026	3027	3028
12.0 ± 0.70	≤ 336	≤ 336	≤ 223	≤ 223	≥ 100	≥ 110	≥ 90	≥ 100
14.0 ± 0.78	≤ 354	≤ 354	≤ 236	≤ 236	说明: ①垂直层向弯曲强度试验用最小板厚为 1.6mm ②垂直层向电气强度试验用最大板厚为 3mm ③平行层向击穿电压试验用板厚大于 3mm			
16.0 ± 0.85	≤ 371	≤ 371	≤ 250	≤ 250				
20.0 ± 0.95	≤ 406	≤ 406	≤ 277	≤ 277				
25.0 ± 1.10	≤ 450	≤ 450	≤ 311	≤ 311				
30.0 ± 1.22	厚度大于 25mm 时,单面加工至 22.5mm							
35.0 ± 1.34	≤ 540	≤ 540	≤ 373	≤ 373				
40.0 ± 1.45								
45.0 ± 1.55								
50.0 ± 1.65								

## 层压棒 (摘自 GB/T 5133—1985)

表 3-3-84

规格						性能								特点及用途	
牌号	名称	直径	直径	直径	长度	试件直径	密度	弯曲强度	压缩强度	平行层间击穿电压	吸水性/%				
		/mm	/mm	偏差/mm							/mm	直径/mm			
										6	13	25	25~51		
3722	酚醛布棒	6~100	5~12	±0.5	450~1250	6~51	1.28	112.5	133.6	—	2.5	2.0	2.0	1.5	机械用(粗布)
3723			>12~16	±0.7			1.26	91.4	141	10	1.7	1.3	1.0	1.2	
3724		5~100	>16~28	±1.0			1.28	112.5	133.6	—	2.0	1.5	1.2		1.1
3725			>28~45	±1.5			1.26	84.4	141	10	1.4	1.1	1.0	机械和电气用(细布),可精密加工	
3841	环氧玻璃布棒	6~50	>65~100	±2.3			1.70	246.1	246.1	15	0.75	0.5	0.5	0.5	在干燥和潮湿条件下机械用,介电强度高

10 胶黏剂<sup>[6]</sup>

## 10.1 结构胶黏剂

表 3-3-85

牌号或名称	组成和固化条件	性能							特点及用途
铁锚 201 (FSC-1 胶)	由聚乙烯缩甲醛和酚醛树脂组成 在压力 0.1~0.2MPa、160℃ 条件下需 2h 固化	①常温下测试胶接强度							胶接强度高,耐老化、耐水、耐油,性能稳定,价格低廉,使用温度为 -70~150℃ 用于金属、金属与陶瓷、玻璃、电木等材料的胶接。还可用于浸渍玻璃布
		材料	铝合金	不锈钢	耐热钢	黄铜			
		剪切强度/MPa	22~23	23~25	23	22~24			
		拉伸强度/MPa	31~35	—	—	—			
		②不均匀扯离强度;35~39kN/m(铝合金)							
		③不同温度下测试胶接强度(铝合金)							
	测试温度/℃	-70	20	60	100	150	200		
	剪切强度/MPa	23	22.4	22	20.6	13.5	3.7		
J-15 胶黏剂	由热固性高邻位酚醛树脂、混炼丁腈橡胶和氯化物催化剂等组成 在 0.1~0.3MPa、180℃ 条件下需 3h 固化	胶接铝合金材料在不同温度下的测试强度(表面经化学氧化处理)							具有较高的静强度,疲劳、持久性能和耐湿热、耐大气老化等综合性能优良,使用温度为 -60~260℃ 用于各种金属结构件的胶接。也可用于有孔蜂窝结构或耐高温密封结构
		温度/℃	剪切强度/MPa		不均匀扯离强度/kN·m <sup>-1</sup>				
		-60	≥28.0		—				
		20	30.0~32.0		70~100				
		100	22.0~25.0		38~40				
		150	16.0~18.0		—				
250	8.0~10.0		—						
300	5.0~6.0		—						

续表

牌号或名称	组成和固化条件	性能				特点及用途			
J-19 胶黏剂	由环氧树脂和聚砜树脂等组成。分 A、B、C 三种型号 接触压力、180℃ 条件下需 3h 固化	①胶接钢材在不同温度下的测试强度				胶接强度高,使用温度为常温至 120℃ 用于各种金属和非金属结构的胶接			
		型号	A	B	C				
		剪切强度/MPa	常温	60.0 ~ 65.0			50.0		
			120℃	30.0 ~ 35.0					
②不均匀扯离强度(常温):90 ~ 100kN/m									
J-22 胶黏剂	由环氧树脂、增韧剂和固化剂等组成 接触压力、80℃ 条件下需 2h 固化	①胶接铝合金材料在不同温度下的测试强度(表面经化学氧化处理)				韧性和综合性能好,工艺简便,使用温度为 -60 ~ 80℃ 用于航空仪表的粘合和密封及电子仪器的组装等			
		温度/℃	-60	20	100				
		剪切强度/MPa	≥25.0	≥30.0	≥8.0				
		②不均匀扯离强度(常温):≥60kN/m							
J-32 高强度胶黏剂	由环氧树脂、增韧剂和固化剂等组成 接触压力、80℃ 条件下需 2h 固化	①胶接件在不同温度下的测试强度				胶接强度高,耐疲劳性能好,使用温度为 -60 ~ 150℃ 用于各种金属结构件的胶接,也可用于玻璃钢等非金属与金属的胶接			
		温度/℃	20	100	150				
		剪切强度/MPa	≥35.0	≥24.0	≥8.0				
		②不均匀扯离强度:≥60kN/m ③拉伸强度:≥50.0MPa							
J-48 修补胶	由环氧树脂、橡胶、酸酐固化剂等组成 在 0.1 ~ 0.3MPa、100℃ 条件下需 3h 或 60℃ 需 6h 固化	胶接铝合金材料的测试强度(表面经化学氧化处理)				固化温度低,耐介质、耐湿热老化及耐热老化等性能良好,工艺简便,使用温度为 -60 ~ 175℃ 主要用于设备的修复			
		剪切强度/MPa	常温	18.0					
			175℃	6.0					
		剥离强度/kN·m <sup>-1</sup>	板-板	3.0					
板-芯	2.0								
蜂窝拉脱强度/MPa 2.0									
KH-225 胶黏剂	由环氧树脂、端羧基丁腈橡胶、咪唑类固化剂和白炭黑等组成 接触压力、120℃ 需 1 ~ 3h 或 80℃ 需 4 ~ 8h 固化	①胶接碳钢件的测试强度(120℃ 固化)				中温固化,胶接强度高,使用温度约 100℃ 用于胶接钢、铝、不锈钢等金属材料,玻璃钢、硬塑料、陶瓷、玻璃、玉石等无机非金属材料。适用于对热敏感、形状复杂的部件			
		温度/℃	常温				100		
		剪切强度/MPa	40.0				15.0		
		②胶接铝合金材料常温不均匀扯离强度≥60kN/m							
KH-506 胶黏剂	由丁腈橡胶、改性酚醛树脂和醋酸乙酯等组成 在 0.3MPa、180℃ 条件下需 2h 固化	①胶接铝合金材料在不同条件下的测试强度(表面经化学氧化处理)					耐油、耐老化性好,且具韧性,使用温度为 -60 ~ 200℃ 用于胶接金属结构件。在印制电路板制造中,胶接铜箔与玻璃钢;汽车、拖拉机用刹车片的胶接;胶液中加入二硫化钼可用于轴瓦的修复和电机转子外层的防水涂层		
		老化条件	温度/℃	常温	200	250		55 98% RH	
			时间/h	0	200	500		200	200
		剪切强度/MPa	常温	20.0 ~ 24.0	18.0	16.0		8.0 ~ 9.0	—
			200℃	9.0 ~ 10.0	9.0 ~ 10.0	8.8		—	9.0 ~ 10.0
			250℃	7.0 ~ 9.0	7.4	7.8		7.0	—
		不均匀扯离强度/kN·m <sup>-1</sup>	40 ~ 50	24	21	10		35	
		②胶接碳钢件在不同条件下的测试强度							
		老化条件	温度/℃	常温	200	250			
			时间/h	0	200	200			
		剪切强度/MPa	-50℃	30.0	—	—			
			常温	24.0 ~ 28.0	30.5	11.2			
200℃	10.0		16.0	—					
250℃	9.0		13.1	12.5					

## 10.2 通用胶黏剂

表 3-3-86

牌号或名称	组成和固化条件	性能					特点及用途	
EF 型胶黏剂	由乙烯-醋酸乙烯共聚物及增黏树脂等配制。有 EF-1 型泡沫材料用胶黏剂, EF-2 型复合粘接用胶黏剂 接触压力、常温需 5~10min 固化	剥离强度(胶接 24h 后测定): > 0.3kN/m					溶剂型、无毒害、透光性好, 使用温度为 -30~60℃ EF-1 型适合于聚乙烯、聚氨酯软泡沫, 聚苯乙烯、聚氯乙烯硬泡沫, 橡胶海绵等胶接, 也可与金属、木材等胶接; EF-2 型主要用于聚丙烯、聚酯、聚氨酯等薄膜与纸张复合用	
铁锚 801 强力胶	由氯丁橡胶、酚醛树脂、溶剂等组成 常温、数小时基本固化, 3~6d 达最高强度	①胶接不同材料的常温测试强度					初始胶接强度高, 胶膜柔软, 耐冲击、耐振、耐介质性优良, 最高使用温度为 80℃ 主要用于橡胶、皮革、织物、塑料及各种金属材料的胶接	
		材料	丁腈橡胶-铝	帆布-铝	丁腈橡胶-钢			
		剥离强度 /N·(2.5cm) <sup>-1</sup>	≥118	≥80	≥103			
		②耐水性(浸渍 6d)						
		材料	丁腈橡胶-铝		帆布-铝			
		剥离强度/N·(2.5cm) <sup>-1</sup>	≥92		≥177			
		③耐油性(浸渍 6d)						
材料	丁腈橡胶-铝		帆布-铝					
剥离强度/N/(2.5cm) <sup>-1</sup>	≥95		≥208					
铁锚 901、902 胶	聚氯乙烯溶剂 50~100kPa、常温需 3d 固化	①胶接聚氯乙烯的常温剪切强度: ≥7MPa					快速定位, 强度高, 常温使用 901 胶专用于硬质聚氯乙烯和高抗冲聚氯乙烯的胶接; 902 胶用于聚氯乙烯薄膜、吹塑玩具、人造革、泡沫塑料、薄片及硬聚氯乙烯的胶接	
		②耐介质性: 试件在下列介质中浸泡一周的测试强度						
		介质	水	10% NaOH	10% HCl	—		
剪切强度/MPa	7.8	8.8	8.6	7.5				
HY-901 常温固化韧性环氧胶	由(甲)缩水甘油酯型环氧树脂、低分子聚硫橡胶和(乙)长链酚醛改性胺类固化剂组成 20℃、24h(2~3h 即固硬)固化	①胶接铝合金材料在不同条件下的常温测试强度					胶接强度较高, 韧性好, 接头密封性和抗振性好, 使用方便, 使用温度为常温至 60℃ 主要用于铭牌与各种材料的胶接, 也可用于电子元器件的胶接密封及应变片的防水等	
		试验条件		常温 24h	浸水 30d	浸汽 油 7d		-60~60℃ 5 次交变
		甲:乙 =2:1	剪切强度/MPa	8.0~12.0	8.7	12.0		12.9
			"T"剥离强度 /kN·m <sup>-1</sup>	3.5~4.2	3.5	4.0		3.5
		甲:乙 =2.5:1	剪切强度/MPa	10.0~18.0	13.0	18.5		16.5
			"T"剥离强度 /kN·m <sup>-1</sup>	2.5~3.5	3.0	3.25		3.5
		②胶接不同材料的常温测试强度						
		材料	铝合金-有机玻璃	铝合金-聚碳酸酯	铝合金-ABS 塑料	铝合金-硬聚氯乙烯		黄铜-黄铜
		剪切强度/MPa	5.5~7.0	10~12	6~7	6~7		13~20

续表

牌号或名称	组成和固化条件	性 能					特点及用途
HY-919 硬质塑料管材胶	由(甲)环氧树脂、液体羧基聚丁二烯和(乙)105缩胺固化剂组成 20℃需2d固化	①胶接不同材料的常温测试强度 (甲:乙=2.5:1)					毒性小,配比要求不严格,使用温度为常温至60℃ 主要用于硬PVC、ABS、ACS、有机玻璃、聚碳酸酯等塑料型材的胶接
		材料	硬PVC	MBS	ABS	ACS	
		剪切强度/MPa	5~7	5.9~6.4	7~8	5~6	
		材料	有机玻璃	聚碳酸酯	铜-PVC		
		剪切强度/MPa	材料断裂	材料断裂	9~13		
		②在不同介质中浸泡30d后的常温测试强度 (甲:乙=2:1)					
		介质	浸介质前	自来水	海水	22#机油	
剪切强度/MPa	硬PVC	4	5	5	4		
	MBS	3.5	4	4	3.8		
HH-703 胶黏剂	由环氧树脂、稀释剂、填充剂和聚酰胺固化剂组成 接触压力、常温需24~48h或60℃需5~6h固化	胶接不同材料的常温测试强度					配制方便,毒性小,使用温度为-50~50℃ 用于胶接模具、量具、硬质聚苯乙烯泡沫塑料、酚醛布板、机床导轨及铸件修补等
		材 料		剪切强度/MPa			
		铝合金		≥20.0			
		低碳钢		≥20.0			
		铝-酚醛布板		布板破坏			
铝-硬聚苯乙烯泡沫塑料		塑料破坏					
KH-520 胶黏剂	由环氧树脂、聚硫橡胶和低相对分子质量聚酰胺、酚醛胺固化剂组成 接触压力、60℃需2~3h固化或10℃需24h固化	①胶接铝合金材料的测试强度					胶接强度较高,耐介质性好,但耐热性较差,使用温度为常温至60℃ 主要用于柴油机缸体、油管、油箱、水箱及各种农具的胶接修补,也可用于各种金属与非金属的胶接
		测试温度/℃		常温	60		
		剪切强度/MPa		≥28	≥10		
		不均匀扯离强度/kN·m <sup>-1</sup>		≥50	—		
		②耐介质性(在下列介质中浸渍30d)					
		介质	自来水	乙醇	机油	甲苯	
剪切强度/MPa	27	26	29	29			
J-39 快干胶	由甲基丙烯酸甲酯或丙烯酸双酯、橡胶和引发剂组成。分2A、2B、2C及底胶四种型号 接触压力、8~25℃,10~20min变化,24h完全固化	①胶接铝合金材料在不同温度下的测试强度					室温快速固化,胶接强度较高,柔韧性和耐热性好,并可进行油面胶接,工艺简便,使用温度为-40~100℃ 主要用于机械修补、铭牌胶接、油管堵漏等非结构性胶接密封。2A适于铭牌粘贴,2B用于大面积和需韧性的场合;2C用于油箱、油管的快堵
		测试温度/℃	-60	常温	100	120	
		剪切强度/MPa	7.7	23.6	13.2	9.1	
		②剥离性能					
		90°剥离强度(铝-铝,经化学处理并加FT-1表面处理剂,常温测试):≥9kN/m					
		180°剥离强度(氯丁橡胶-环氧玻璃钢,橡胶用FT-2表面处理剂处理):常温>5kN/m;120℃>1kN/m					
		③对不同金属材料的油面胶接性能					
材 料	铝合金	钛合金	碳钢	不锈钢			
剪切强度保持率/%	89	82	83	99			



牌号或名称	组成和固化条件	性能					特点及用途		
AR-4、AR-5 耐磨胶	由环氧树脂和聚酰胺、聚硫橡胶及多种无机填料组成 接触压力、常温需 24h 或 60℃需 2h 固化	不同型号胶对铝件的胶接性能					胶接强度较高,耐磨性好,AR-5 比 AR-4 硬度高,机械加工性和耐介质性良好,使用温度为 -45 ~ 120℃ 用于机械零件磨损的尺寸恢复、机床导轨及缸体等损伤部件的修复,还可用于堵塞裂缝、气孔、砂眼等		
		型号	AR-4		AR-5				
		剪切强度/MPa	15.0 ~ 16.0		18.0 ~ 20.0				
		布氏硬度 HB	5.00 ~ 6.87		11.7 ~ 11.9				
		摩擦因数(油润滑,200r/min,负荷 100 ~ 200N/cm <sup>2</sup> )	0.01 ~ 0.013						
		热导率/W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	3.05 × 10 <sup>-2</sup>						
		线胀系数/℃ <sup>-1</sup>	4.5 × 10 <sup>-5</sup>						
尺寸恢复胶 (R 型)	由环氧树脂、聚酰胺、间苯二胺和填料(二硫化钼、石墨或金属材料)组成 常温需 2 ~ 4d 或 150℃需 2h 固化	不同型号胶对铝件的胶接性能					具有优良的胶接性和耐磨性,使用温度为常温至 80℃ 用于修补磨损的机械零件,恢复机械表面的几何形状和配合精度;也可用于一般零件的胶接、裂纹或崩块的修补、砂眼的填补等		
		型号	R-0	R-1	R-2	R-3		R-4	
		剪切强度 /MPa	常温	28.5	15.5	18.0		16.8	29.7
			80℃	18.0	11.3	17.6		16.1	14.6
		压缩强度/MPa	70.7	77.3	63.3	78.0		73.0	
		不均匀扯离强度 /kN · m <sup>-1</sup>	37	12.6	14	14		29	
		硬度/MPa	149	131	159	149		131	
		摩擦因数	0.0355	0.0402	0.0371	0.0421		0.0399	
		热导率 /W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	—	1.190	0.464	1.005		0.527	
		线胀系数/℃ <sup>-1</sup> (常温至 120℃)	(1.588 ~ 0.931) × 10 <sup>-3</sup>	(1.124 ~ 1.198) × 10 <sup>-3</sup>	(2.031 ~ 2.125) × 10 <sup>-3</sup>	(1.659 ~ 0.165) × 10 <sup>-3</sup>		(1.843 ~ 0.997) × 10 <sup>-3</sup>	

### 10.3 特种胶黏剂

#### 耐高温胶

表 3-3-87

牌号或名称	组成和固化条件	性能				特点及用途	
H-02 胶黏剂	由 H-02 环氧树脂、4,4'-二氨基二苯甲烷和气溶胶组成 接触压力、150℃需 4h 固化	①胶接铝合金件在不同温度下的测试强度				具有良好的耐高温性能,使用温度为 20 ~ 200℃ 主要用于铝及铝合金、碳钢、不锈钢等金属材料的胶接	
		测试温度/℃	常温	150	200		300
		剪切强度/MPa	26.5	25	10.3		3.3
		②不均匀扯离强度:80N/cm					

续表

牌号或名称	组成和固化条件	性能						特点及用途						
KH505 高温胶黏剂	由甲基苯基硅树脂、无机填料和甲苯等组成 0.5MPa、270℃需3h固化,去除压力后425℃固化3h可提高强度	①胶接钢件在不同温度下的测试强度						具有良好的耐水、耐大气老化性,对金属无腐蚀性,使用温度为-60~400℃ 用于高温下金属、玻璃、陶瓷的胶接。适用于螺栓的紧固密封、钠硫电池耐高温密封,也可作为耐高温应变片胶						
		测试温度/℃		常温		425								
		剪切强度/MPa	未后固化	7.9~8.7		3~3.5								
			经后固化	9.9~11		3.4~4								
		②胶接钢件在下列老化条件下于425℃的测试强度												
		老化条件	温度/℃	400		-60~425								
			时间或交变次数	200h		5次	10次							
剪切强度/MPa	未后固化	3.1~3.7		2.9~3.3	3.4~3.5									
	经后固化	2.9~3.3		3.4~4.7	—									
③持久强度(切应力1.5MPa、425℃测): >30h														
聚苯并咪唑胶黏剂(PBI胶)	15%聚苯并咪唑的二甲基乙酰胺溶液 0.1MPa、100~120℃下0.5h后,从120℃升至200℃为0.5h,再在200℃下0.5h,从200℃升至250℃为0.5h,最后在250℃下3h固化	①胶接不同金属材料的测试强度						瞬间耐高温性能良好,低温时也有较好的性能,但高温时易氧化而破坏,使用温度为-253~538℃ 用于胶接不锈钢、45钢、黄铜、紫铜、铝合金等,还可胶接聚酰亚胺、硅片、硅树脂等						
		材料		铝合金	黄铜	紫铜	45钢		不锈钢					
		剪切强度/MPa	-78℃	—	29.0	—	46.0		39.0					
			常温	30.0	28.0	12.0	42.0		36.0					
			250℃	20.0	23.0	9.7	23.8		24.0					
		②不均匀扯离强度:常温7kN/m;200℃50kN/m												
		③耐老化性(铝合金件经不同老化后的测试强度)												
		老化温度/℃		260					317					
		老化时间/h		0	100	200	300		400	500	50	100	150	200
		剪切强度/MPa	常温	26.4	14.3	7.7	7.0		3.3	2.1	10.8	3.1	2.5	5
250℃	18.4		11.1	7.6	8.1	6.8	1.6	8.9	6.7	5.6	0			
30号胶	由芳香族二胺、芳香族二元酸酐和芳香族二酰胺聚合成聚酰亚胺的二甲基乙酰胺溶液组成 0.1~0.3MPa、200℃下1h,然后在280℃下2h固化	①胶接铝合金件在不同温度下的测试强度						高温下具有优良的介电性、阻燃性、耐辐射性及较高的胶接强度,使用温度为-60~280℃ 适用于铝合金、钛合金、不锈钢、陶瓷、应变片片基及耐高温、耐辐射方面的胶接						
		测试温度/℃		-60	常温		250		300					
		剪切强度/MPa		≥20	≥20		≥15		≥10					
		②胶接铝合金件的测试强度												
		测试条件			常温		250℃、1000h							
		不均匀扯离强度/N·cm <sup>-1</sup>			350~400		350							
		③耐热老化性(铝合金件在下列介质中浸泡31d,常温测试)												
		介质		水		汽油			海水					
剪切强度/MPa		18		19		17								

## 耐 低 温 胶

表 3-3-88

牌号或名称	组成和固化条件	性 能				特点及用途		
DW-1 耐超低温胶	由三羟基聚氧化丙烯醚异氰酸酯的预聚体和 3,3'-二氯 4,4'-二氨基二苯基甲烷组成 0.2MPa, 60℃ 下 2h 或 100℃ 下 1h 或常温数天固化	铝(打毛)胶接件在不同条件下的测试强度				具有优良的低温胶接性能,黏度低,使用方便,常温或加温固化,使用温度为 -196℃ 至常温 主要用于制氧机的胶接、修补和密封,也可用于玻璃钢、陶瓷、铝合金等材料的低温胶接		
		测试条件	常温	-196℃	-196~40℃ 冷热交变 5 次			
		剪切强度/MPa	≥5.0	≥18.0	≥5.0			
DW-3 耐超低温胶	由四氢呋喃共聚酯环氧树脂、双酚 A 环氧树脂、间苯二胺衍生物和有机硅化合物等组成 接触压力,100℃ 下 2h 或 60℃ 下 8h 固化	①胶接铝合金件在不同温度下的测试强度					具有优良的低温胶接性能,黏度低,使用方便,胶接强度高,韧性好,使用温度为 -269~60℃ 主要用于超低温下工作的金属、非金属材料的胶接,也可用于两种线胀系数差别较大的材料胶接	
		测试温度/℃	60	20	-196	-253		-269
		剪切强度/MPa	7.8	≥18.0	≥20.0	≥20.0		≥20.0
		②胶接不同材料的测试强度						
		材料	钢	不锈钢	紫铜	黄铜		
		剪切强度 /MPa	-196℃	≥20.0	≥20.0	≥20.0		≥20.0
	常温	≥18.0	≥18.0	≥18.0	≥18.0			
H-01 耐低温环氧胶	由环氧树脂、桐油酸酐、顺丁烯二酸酐及气相二氧化硅组成 接触压力,150℃ 下 3h 固化	①胶接铝合金件在不同温度下的测试强度				具有优良的低温和高温胶接性能,使用温度为 -170~200℃ 主要用于既在低温又在高温(200℃ 以下)工作的各种金属、非金属材料的胶接		
		测试温度/℃	-196	常温	200			
		剪切强度/MPa	≥17.0	≥20.0	≥11.0			
		②不均匀扯离强度: ≥80N/cm						
H-006 耐低温环氧胶	由均苯三酸三缩水甘油酯、液体丁腈橡胶和 4,4'-二氨基二苯基甲烷组成 接触压力,80℃ 下 5h 固化	①胶接铝合金件在不同温度下的测试强度				具有优良的耐辐照、耐高低温交变性和低温胶接性能,使用温度为 -196~150℃ 主要用于低温和高温下工作的铝合金、钛合金、不锈钢等金属材料的胶接		
		测试温度/℃	-196	常温	200			
		剪切强度/MPa	≥19.0	≥20.0	≥14.0			
		②不均匀扯离强度: ≥350N/cm						
		③耐老化性(150℃、500h)						
		测试温度/℃	-196	常温	200			
		剪切强度/MPa	≥17.0	≥18.0	≥15.0			
		④耐高低温交变性(-196~150℃、120次)						
		测试强度/℃	-196	常温	200			
剪切强度保持率/%	≥92	≥96	≥82					

续表

牌号或名称	组成和固化条件	性能				特点及用途	
HY-912 耐超低温胶	由环氧树脂、聚氨酯树脂和铝粉等组成 接触压力、100℃ 下4h固化	①胶接铝合金件在不同条件下的测试强度				胶液活性期长,使用方便,低温和室温下都有较高的胶接强度,使用温度为-190℃至常温 用于低温下工作的各种金属、非金属材料的胶接和修补	
		测试条件	常温	50℃	-190℃		-190~100℃ 冷热交替3次
		剪切强度/MPa	21.7	4.7	15.4		20.3
		②胶接不同材料的测试强度					
		材 料	铝合金- 环氧玻璃钢	紫铜- 环氧玻璃钢	不锈钢- 环氧玻璃钢		
剪切强度/MPa	常温	10.5~14	10~13	9~15			
	-190~25℃ 冷热交替3次	9~10.7	12~14	8~13			
铁锚104胶 (超低温发泡型)	由(甲)环氧丙烷聚醚聚氨酯和(乙)环氧丙烷聚醚、交联剂及催化剂组成 接触压力、常温 下24h固化	①胶液的技术指标				无溶剂,具有优良的低温胶接性能,在胶接时有低发泡性,能很好的填充结合部位的缝隙,使用温度为-196℃至常温 广泛用于泡沫塑料与金属或非金属材料的胶接,保冷管道中泡沫材料与金属管的胶接	
		甲组分	游离异氰酸根3.5%~6.0%				
		乙组分	羟值(140±30)mgKOH/g				
		②胶接铝合金件的测试强度					
		测试温度/℃	25		-196		
剪切强度/MPa	≥1.2(泡沫塑料断)			≥30			

## 应变片用胶

表 3-3-89

牌号或名称	组成和固化条件	性能				特点及用途		
J-06-2 应变胶	由钡酚醛树脂、E-06环氧树脂、间苯二酚和石棉等组成 0.3MPa、150℃下3h 固化	①胶接不锈钢件在不同温度下的测试强度				具有优良的耐高低温性能,电绝缘性良好,工艺简便,使用温度为-269~250℃ 适用于各种金属、非金属材料的高温应变测量及各类应变片的制造,也可用于粘贴各种应变片及半导体片		
		测试温度/℃	20		250			
		剪切强度/MPa	7.1		4.2			
		②应变性能						
		视应变(20~250℃)/με	≤±150					
		应变极限/με	≤3500					
		灵敏度系数	2					
体积电阻率/Ω·cm	6×10 <sup>10</sup>							
KY-4 应变胶	由711环氧树脂、低相对分子质量聚硫橡胶和酚醛胺固化剂组成 室温下1h变定,然后 60~80℃下1~2h完全 固化或室温下5h完全 固化	①胶接45钢在不同温度下的测试强度				固化速度快,工艺简便,耐介质性、抗蠕变性及电绝缘性优良,使用温度为-50~60℃ 适用于缩醛、聚酰亚胺或环氧树脂为底基的丝式、箔式和半导体应变片的粘贴		
		测试温度/℃	-50	常温	60		80	100
		剪切强度/MPa	12.4	20.6	14.9		11.3	6.9
		拉伸强度/MPa	—	43.8	45.1		26.9	12.7
		②应变性能(4mm×10mm箔式应变片、25℃固化5h)						
		灵敏度系数	2.17					
		机械滞后/με	18					
		零点漂移/με·h <sup>-1</sup>	0.5					
		蠕变/%	-0.12					
		体积电阻率/Ω·cm	5×10 <sup>11</sup>					
③耐介质性 在乙醇、水、汽油、10%NaOH、10%NaCl中 浸泡24h,性能不下降								

牌号或名称	组成和固化条件	性能		特点及用途
PE-2 应变胶	由酚醛树脂、环氧树脂和溶剂等组成 0.5 ~ 1MPa、160℃ 下 2 ~ 4h 固化	性能指标		具有优良的抗蠕变性、电绝缘性和胶接性能,工艺简便,使用温度为-40 ~ 80℃ 用于半导体应变片的粘贴,适用于各种高精度传感器的制造,精度小于0.03%
		剪切强度(钢)/MPa	≥9	
		弹性模量/MPa	≥3.6 × 10 <sup>3</sup>	
		蠕变/%	≤0.01	
		机械滞后/%	≤0.03	
		疲劳寿命(±1500με)/10 <sup>4</sup> 次	≥100	
		绝缘电阻/MΩ	10 <sup>5</sup>	
		折射率 n <sub>D</sub> <sup>25</sup>	1.5890 ~ 1.5970	
	凝胶时间(160℃)/min	10		

## 胶接点焊用胶

表 3-3-90

牌号或名称	组成和固化条件	性能				特点及用途	
203 胶接点焊胶	由 E-51 环氧树脂、JLY-121 聚硫橡胶和间苯二胺组成 接触压力、80℃ 下 3h 固化	①胶接铝合金件在不同温度下的测试强度				具有优良的综合胶接性能和耐阳极氧化性能,使用温度为-60 ~ 60℃ 适用于铝合金的胶接点焊	
		测试温度/℃	-60	室温	60		100
		剪切强度/MPa	>20.0	>18.0	>17.0		>11.5
		②不均匀扯离强度: ≥170N/cm ③胶焊强度(焊点 3cm × 3cm): ≥100MPa					
KH-120 胶黏剂	由多种低黏度环氧树脂、端羧基液体丁腈橡胶、催化剂、固化剂等组成 30℃ 预固化 36h 或 20℃ 预固化 48h, 然后 150℃ ± 3℃ 固化 4h, 自然冷却	①胶接铝合金件在不同温度下测试强度				胶液黏度低,工艺性好,胶接强度高,柔韧性好,使用温度为-60 ~ 120℃ 用于汽车、飞机、机器、船舶等制造中的结构胶接,加入银粉可作为导电胶使用	
		测试温度/℃	常温	100	120		135
		剪切强度/MPa	>25.0	>20.0	>20.0		>15.0
		②不均匀扯离强度: >350N/cm ③耐老化性能(55℃, 95% RH)					
		老化时间/h	0	1000	2000		3000
		剪切强度/MPa	常温 >25.0 120℃ >20.0 135℃ >15.0	>22.0	>20.0		>20.0 >11.0 >6.5
SY-201 胶黏剂	由 E-51 环氧树脂、液体聚硫橡胶、低分子聚酰胺、双氰胺和填料组成 120℃ 下 4h 或 140℃ 下 2h 固化	①胶接铝合金件在不同温度下的测试强度				具有优良的综合性能和耐阳极氧化性能,对铝合金不腐蚀,使用温度为-60 ~ 100℃ 适用于铝合金胶焊,也可用于其他金属结构件的胶接	
		测试温度/℃	-60	常温	100		
		剪切强度/MPa	12.0	23.4	13.5		
		②耐热老化性(100℃, 200h 老化)					
		测试温度/℃	常温	100			
		剪切强度/MPa	≥27	≥14			
		③耐介质性(在下列介质中浸泡 30d 后常温测试)					
		介质	水	乙醇	煤油		
剪切强度/MPa	≥21	≥25	≥21				

续表

牌号或名称	组成和固化条件	性能					特点及用途	
TF-3 胶黏剂	由 E-51 环氧树脂、H-71 环氧树脂、JLY-121 聚硫橡胶、液体丁腈橡胶-40、4,4'-二氨基二苯基甲烷和偶联剂等组成 30℃ 预固化 48h 或 20℃ 预固化 72h, 然后 90℃ 下 1h, 150℃ 下 4h 固化	①胶接铝合金件在不同条件下的测试强度					具有高的静强度、疲劳强度和良好的抗湿热老化性能, 胶液渗透性好, 工艺简便, 使用温度为 -60 ~ 60℃ 主要用于铝合金的胶焊, 也可用于其他金属的胶接	
		测试温度/℃		-60	常温	60		
		剪切强度 /MPa	老化前		17	20		18
			老化 4000h		16	19		13
		拉伸强度/MPa		—	≥51	—		
		②不均匀扯离强度: ≥500N/cm						
		③耐介质性(在下列介质中浸渍 60d 后常温测试)						
介 质	人工海水	RH-791 汽油	RR-1 煤油	YH-1 机油				
剪切强度/MPa	16	17	17	18				

## 热 熔 胶

表 3-3-91

牌号或名称	组成和固化条件	性能					特点及用途		
CKD-1 热熔胶	由乙烯-醋酸乙烯共聚树脂及其他添加剂等组成 将胶加热至 150 ~ 170℃, 熔融后涂胶, 迅速合拢, 加压 0.7MPa, 冷却 1 ~ 4min 即固化	①胶液技术指标					无毒, 使用温度为 -30 ~ 50℃ 主要用于聚乙烯、聚丙烯等难粘塑料的胶接, 也可用于金属、陶瓷、木材、纸张等的胶接		
		软化点(环球法)/℃		熔融黏度/mPa·s					
		>85		<10000 [(20 ± 2)℃]					
		②胶接不同材料的常温测试强度							
		材料	聚丙烯	高密度聚乙烯	低密度聚乙烯				
剪切强度 /MPa	≥3.0	≥2.8	≥2.5						
③“T”剥离强度(聚丙烯编织袋): 袋破坏									
HM-2 热熔胶	由乙烯-醋酸乙烯共聚树脂、松香脂和防老剂等组成 将胶加热至 170 ~ 180℃ 使之熔融, 涂胶后露置 5s, 迅速合拢, 冷却后即固化(如被胶接材料为金属, 对其预热至 100 ~ 120℃)	①软化点(环球法): ≥72℃					固化速度快, 无毒, 无溶剂, 可用于流水线高效率操作, 使用温度为 -40 ~ 55℃ 可胶接多种材料, 尤其是未经表面处理过的聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛、尼龙等难粘材料。用于冷库保温材料胶接密封, 无线电器件、塑料管材、泡沫塑料等的胶接		
		②胶接强度							
		剪切强度/MPa		剥离强度/N·(2.5cm) <sup>-1</sup>					
		≥2(聚丙烯) ≥3(硬铝)		≥20(铝箔)					
		③胶接不同材料的常温测试强度							
		材料	紫铜	铁	铝	低密度聚乙烯		改性聚丙烯	尼龙 1010
		压剪强度 /MPa	≥6	≥6	≥6	≥3		≥4	≥5
材料	ABS		聚乙烯-铝		聚丙烯-铝				
压剪强度 /MPa	≥5		≥4		≥5				

牌号或名称	组成和固化条件	性能					特点及用途
ME 热熔胶	由乙烯-醋酸乙烯共聚树脂及其他助剂等组成 将胶加热至熔融状态下涂胶,胶接后1~3min即可固化。被粘材料无需表面处理	熔点/℃		≥90			具有良好的耐酸碱介质、耐老化、电气绝缘等性能,无毒,不用溶剂、工艺简便,使用温度为-20~50℃ 主要用于聚乙烯、聚丙烯管材、板材的胶接,也可用于封口、书籍无线装订及铝箔与玻璃的胶接
		邵氏硬度		75~85			
		断裂伸长率/%		130~150			
		剪切强度/MPa		≥4			
		拉伸强度/MPa		≥4			
		“T”剥离强度/N·cm <sup>-1</sup>		13			
PV-1 热熔胶	由乙烯-醋酸乙烯共聚树脂及其他助剂等组成 将胶加热至熔融后,涂布于清洁接合面,迅速合拢,冷却后即固化	①胶接不同材料的常温测试强度					具有优良的耐水性,使用温度为-10~60℃ 主要用于聚乙烯、聚丙烯管材、板材、薄膜的胶接,也可用于木材、陶瓷、金属等的胶接
		材料	聚乙烯		聚丙烯		
		剪切强度/MPa	1.2~1.4(材料断)		1.8~2.0		
		②剥离强度(聚乙烯薄膜):7~9N/cm					
		③耐油压:≥1.8MPa					
		④耐介质性					
介质	水	5%盐溶液	5%硫酸	5%烧碱			
剪切强度保持率/%	100	100	100	97			
HM-3 热熔胶	由改性乙烯-醋酸乙烯共聚树脂、增黏剂、防老剂等组成 将胶加热至150~160℃使之熔融,并将接合面预热至50℃,涂胶后迅速合拢,冷却后即固化,30min后达最高强度	胶接强度					软化点大于80℃,分解温度大于170℃,无毒,使用温度为常温至60℃ 专用于硬PVC塑料制品的胶接。对皮革、织物等材料也有良好的胶接性能
		材料		硬PVC			
		剪切强度/MPa		≥15			
		剥离强度/N·(2.5cm) <sup>-1</sup>		≥500			
HM-1 热熔胶	由乙烯-醋酸乙烯共聚树脂和松香甘油酯等组成 将胶加热至120~160℃使之熔融,热涂于被粘物表面,迅速合拢,冷却后即固化	性能指标					固化速度快,工艺简便,无毒,无溶剂,使用温度为-30~50℃ 主要用于铝、钢等金属材料的胶接,也可用于难粘的聚乙烯、聚丙烯等塑料的胶接,常用于电子线圈的固定和金属铭牌的胶接
		软化点(环球法)/℃		≥70			
		拉伸强度/MPa		3(铝合金)			
				1.5(镀锌钢片)			
压剪强度/MPa		>1.5(聚乙烯)					

## 厌氧胶

表 3-3-92

牌号或名称	组成和固化条件	性能		特点及用途	
铁锚 302 厌氧胶	由丙烯酸酯、引发剂、稳定剂和促进剂等组成 常温下10~60min 变定,3~6h 达实用强度,24h 完全固化	黏度/mPa·s	10~20		常温固化,工艺简便,使用温度为-55~60℃ 主要用于螺栓的紧固和铸件砂眼的修补
		破坏扭矩/N·m	30		
		牵出扭矩/N·m	40		
		剪切强度/MPa	≥30		

续表

牌号或名称	组成和固化条件	性能						特点及用途				
		黏度/mPa·s		300~500								
铁锚 351 厌氧胶	由丙烯酸酯、引发剂、稳定剂和促进剂等组成 常温下 10~60min 变定, 3~6h 达实用强度, 24h 完全固化	破坏扭矩/N·m		≥20				常温固化, 工艺简便, 使用温度为 -55~120℃ 主要用于螺栓的紧固密封; 机械零件的装配定位; 轴承与轴套的胶接等				
		牵出扭矩/N·m		≥30								
		剪切强度/MPa		≥21								
铁锚 372 厌氧胶	由丙烯酸酯、引发剂、稳定剂和促进剂等组成 常温下 10~60min 变定, 3~6h 达实用强度, 24h 完全固化	黏度/Pa·s		1.5~2.0				常温固化, 工艺简便, 具有优良的耐高温性能, 使用温度为 -55~200℃ 主要用于在高温下的螺栓紧固和平面接合部件的胶接				
		破坏扭矩/N·m		≥10								
		牵出扭矩/N·m		≥20								
XQ-1 厌氧胶	由聚酯树脂 309、过氧化羟基异丙苯、三乙胺和丙烯酸等组成。另附促进剂 隔绝空气, 28~30℃ 下 24~72h 固化	胶接不同材料在不同固化时间后的常温测试强度								无溶剂, 毒性小, 常温固化, 使用方便, 在 100℃ 以下使用 用于在振动冲击条件下工作的不经常拆卸螺纹连接件的紧固及密封, 管道螺纹连接接头及平面法兰接合面的耐压密封和紧固, 也可作为一般胶黏剂使用		
		固化时间/h		0.15	0.5	1	24	72				
		剪切强度/MPa	钢	无促进剂	—	—	—	8.9	—			
				有促进剂	6.5	8.3	10.3	14.1	17.6			
		铝合金		无促进剂	—	—	—	2.8	—			
有促进剂	1.9			5.6	6.6	9.5	—					
CY-340 厌氧胶	由甲基丙烯酸环氧树脂、双甲基丙烯酸缩醇酯等组成 常温下 2~6h 固化	密度/g·cm <sup>-3</sup>		1.12±0.02				常温固化速度快, 胶接强度高, 使用温度为 -55~150℃ 主要用于螺栓的紧固密封和阀件、液压元件、空气压缩机部件等的胶接				
		黏度/mPa·s		150~300								
		剪切强度/MPa		≥20								
		破坏扭矩/N·m		≥30								
		最大填充间隙/mm		0.18								
Y-82 厌氧胶	由双甲基丙烯酸缩醇酯、甲基丙烯酸苯甲酸缩醇酯和氧化还原催化剂等组成, 或加促进剂组成双组分 配用促进剂时, 隔绝空气, 常温下 1h 固化	密度/g·cm <sup>-3</sup>		1.07±0.02				常温快速固化, 使用温度为 -45~100℃ 主要用于螺栓的紧固密封和可拆部位的胶接密封				
		黏度/mPa·s		164								
		稳定性(80℃)/min		≥30								
		剪切强度(钢)/MPa		≥9								
		最大破坏扭矩/N·m		8~15								
Y-150 厌氧胶	由甲基丙烯酸环氧树脂等组成; 加促进剂为双组分 单组分: 隔绝空气, 常温下 24h 达最大强度 双组分: 常温下 10min 变定	密度/g·cm <sup>-3</sup>		1.12±0.02				无溶剂, 黏度低, 使用温度为 -45~150℃ 主要用于不经常拆卸的螺栓、轴、轴承、转子、滑轮、键合件等的紧固、胶接和密封				
		黏度/mPa·s		150~300								
		稳定性(80℃)/min		≥30								
		剪切强度/MPa		≥9								
		最大破坏扭矩/N·m		≥25								



牌号或名称	组成和固化条件	性能							特点及用途
ZY-801 厌氧胶	由甲基丙烯酸四氢糠醇酯等组成;加促进剂为双组分 单组分:常温下 24h 固化 双组分:常温下 5min 变定,3h 达实用强度	①性能指标							胶接强度高,工艺简便,耐介质性优良,使用温度为 -30 ~ 150℃ 主要用于螺栓的紧固和各种金属接合件的胶接
		密度/ $g \cdot cm^{-3}$		1.11					
		黏度/ $mPa \cdot s$		80					
		破坏扭矩/ $N \cdot m$		34 ~ 36					
		牵出扭矩/ $N \cdot m$		40 ~ 50					
		剪切强度/MPa		25 ~ 30					
		②耐介质性(87℃浸渍 168h)							
		介质	水	柴油	机油	10%烧碱	10%硫酸	3%盐水	
		剪切强度保持率/%	82	91	114	27.5	55	76	

## 密封胶

表 3-3-93

牌号或名称	组成和固化条件	性能							特点及用途
604 密封胶 (铁锚 604 胶)	由改性蓖麻油、氧化铁粉、羊毛脂等组成 可采用笔涂、刷涂、刮涂和辊涂等涂胶方式,涂胶后即可合拢压紧	密度/ $g \cdot cm^{-3}$		1.2 ± 0.05					无溶剂、无毒,具有优良的耐高温性和密封性,最高使用温度为 500℃ 主要用于蒸汽透平机及螺栓连接处端面等高温条件下的密封防漏
		密封性(300℃)/MPa		1.4					
7302 密封胶	由改性聚酯树脂、增韧剂、溶剂、填料等组成 涂胶后晾置 10 ~ 15min,然后合拢压紧,如接合部位间隙大于 0.3mm,应与固体垫圈配合使用	密度/ $g \cdot cm^{-3}$		1.7					具有良好的密封性和涂布浸润性,使用温度为 -40 ~ 120℃ 主要用于汽车、拖拉机、机床、工程机械等的平面静接合部位和输油管道法兰、螺纹的密封
		黏度/ $Pa \cdot s$		23 ~ 28					
		热分解温度/℃		318					
		不挥发分/%		64.5					
		接合强度/MPa		0.97					
		密封性(120℃)/MPa		1.1					
		耐介质性 重量变化率/%	机油	-9.24					
	水	-9.06							
	汽油	-0.92							
7303 密封胶	由聚酯树脂、酚醛树脂、酒精等组成 涂胶后晾置 5 ~ 10min,然后合拢压紧,如接合部位间隙大于 0.3mm,应与固体垫圈配合使用	密度/ $g \cdot cm^{-3}$		1.2					具有良好的密封性和涂布浸润性,最高使用温度为 300℃ 主要用于机械、管道、电子仪表、交通运输等设备静接合部位的密封。 可在水、蒸汽、汽油、机油、甲苯、硫酸介质中使用
		不挥发分/%		85					
		密封性(300℃)/MPa		7					
D-03 硅橡胶密封腻子	由硅橡胶、补强剂、抗烧蚀剂、交联剂和催化剂等组成 接触压力、常温下 7d 完全固化	密度/ $g \cdot cm^{-3}$		1.77					具有优良的抗火焰烧蚀性,对金属无腐蚀,无毒,使用温度为 -60 ~ 3000℃ 主要作为具有密封隔热作用的抗烧蚀材料,用于金属、玻璃、陶瓷等材料的填隙、胶接和涂覆
		表面失黏时间(20 ~ 35℃,50% ~ 60% RH)/min		30 ~ 60					
		拉伸强度/MPa		≥ 2					
		伸长率/%		≥ 150					
		邵氏硬度 A		≥ 36					
		脆化温度/℃		-60					
		剪切强度(不锈钢)/MPa		≥ 12					
		烧蚀率(氧-乙炔,3000℃)/ $mm \cdot s^{-1}$		≤ 0.25					

续表

牌号或名称	组成和固化条件	性能		特点及用途	
D-06 硅橡胶密封胶	由室温硫化型硅橡胶、白炭黑、交联剂等组成 无压力或接触压力、常温下1~3d固化	拉伸强度/MPa	≥4.5		具有优异的耐温性和电性能,工艺简便,使用温度为-70~230℃ 主要用于玻璃、陶瓷、涤纶、硅橡胶等材料的胶接密封。不适于铜、镁等金属
		扯断伸长率/%	≥350		
		邵氏硬度 A	35~45		
		表面失黏时间/min	20		
		撕裂强度/N·cm <sup>-1</sup>	≥150		
D-10 硅橡胶密封胶	由醋酸型室温硫化硅橡胶及其他添加剂等组成 直接涂布,常温数小时表面固化,24h完全固化	拉伸强度/MPa	2.5~4.0		工艺简便,具有优良的耐高温性能和电性能,使用温度为-60~200℃ 主要用于玻璃、陶瓷、铝合金等材料的胶接密封
		撕裂强度/N·cm <sup>-1</sup>	8~12		
		伸长率/%	400~500		
D-20 硅橡胶密封胶	由醇型室温硫化硅橡胶及其他添加剂组成 直接涂布,常温数小时可表面固化,24h完全固化	拉伸强度/MPa	2.0~3.5		常温固化,工艺简便,具有优良的耐热、耐寒、防潮、防振和电绝缘性能,使用温度为-60~200℃ 主要用于除聚乙烯、聚丙烯和聚四氟乙烯等难粘塑料之外的各种材料的胶接和密封
		撕裂强度/N·cm <sup>-1</sup>	5~9		
		伸长率/%	200~300		
CH-107 聚硫密封胶	由聚硫橡胶和硫化橡胶组成 接触压力、常温下10d或100℃下24h固化	胶接铝合金件在不同条件下的测试强度			具有优良的耐油、耐热及密封性能,使用温度为-50~130℃ 主要用于铆接、螺栓连接及其他结构的密封和填隙防漏
		测试条件	常温	130℃、50h后,常温	
		剪切强度/MPa	1.5	1.5	
		剥离强度/N·(2.5cm) <sup>-1</sup>	50	50	
G-3 密封胶	由聚异丁烯、聚醚、铝粉等组成 可采用笔涂、刷涂、刮涂、辊涂等涂胶方式,涂胶后即可合拢压紧	密度/g·cm <sup>-3</sup>	5.0		无溶剂,工艺简便,具有不干性和优异的耐高温性,使用温度为-40~300℃ 主要用于高温条件下的平面接合部位及管道法兰、螺纹等的密封
		黏度/Pa·s	250~300		
		不挥发分/%	70.5		
		接合力/kPa	63		
		流动性	—		
		密封性(300℃)/MPa	1.6		
		耐介质性 重量变化率/%	机油	-2.56	
	水	-7.91			
	汽油	-26.6			
JLC-1 聚硫密封胶	由聚硫橡胶、环氧树脂和填料、促进剂组成 常温或加热固化	拉伸强度/MPa	≥2.5		具有优良的耐油、耐老化和胶接性能,使用温度为-45~100℃ 主要用于非金属油罐的密封堵漏,也可用于机械接合部位的胶接和密封
		相对伸长率/%	≥250		
		永久变形/%	≤6		
		邵氏硬度 A	≥40		
		剥离强度 /N·cm <sup>-1</sup>	铁	≥30	
	水泥-帆布	≥10			

牌号或名称	组成和固化条件	性能		特点及用途				
JLC-2 聚硫密封胶	由聚硫橡胶、钛白粉和二氧化锰、促进剂组成 常温或加热固化	拉伸强度/MPa	≥ 2.5		具有优良的耐油、耐老化和胶接性能,使用温度为 -45 ~ 100℃ 主要用于汽车挡风玻璃、汽车驾驶室顶篷及中空玻璃的胶接密封,也可用于机械接合部位的密封堵漏			
		相对伸长率/%	≥ 150					
		永久变形/%	≤ 20					
		邵氏硬度 A	≥ 40					
		剥离强度(铁-玻璃)/N·cm <sup>-1</sup>	≥ 20					
JN-11 聚硫密封胶	由聚硫橡胶和硫化橡胶组成 常温下 10d 或 70℃ 下 24h 或 100℃ 下 8h 固化	①胶接不同材料的常温测试强度					具有良好的耐油、耐水和气密性,使用温度为 -40 ~ 90℃ 主要用于各种金属、非金属材料的胶接和密封	
		材料	铝	铝-铁	铝-玻璃	铝-钢		铝-硬 PVC
		剥离强度 /N·(2.5cm) <sup>-1</sup>	≥ 100	≥ 100	≥ 100	≥ 100		≥ 100
		②耐介质性: 铝胶接件在煤油中, 100℃ 浸 50h 和 90℃ 浸 100h 后, 强度无变化						
M-7 聚硫密封胶	由液态聚硫橡胶和重铬酸钠组成 常温下 48h 或 70℃ 下 24h 固化	脆化温度/℃	- 38			具有优良的耐油、耐热和胶接性能,使用温度为 -50 ~ 130℃ 主要用于铆接、螺栓连接等的紧固密封,油箱、气柜等外接合面的填隙堵漏		
		伸长率/%	≥ 360					
		永久变形/%	≤ 6.5					
		拉伸强度/MPa	≥ 1.5					
S-2 聚硫密封胶 (JN-4 密封胶)	由液态聚硫橡胶、硫化剂、环氧树脂、促进剂组成 常温下 10d 或 70℃ 下 24h 或 100℃ 下 8h 固化	拉伸强度/MPa	≥ 3.0			具有良好的气密性、堆积性和优良的胶接性能,使用温度为 -60 ~ 100℃, 短期可达 130℃ 主要用于油箱、齿轮箱、气柜及建筑构件的填隙密封。适于顶面和立面部位的密封		
		相对伸长率/%	≥ 300					
		永久变形/%	≤ 20					
		邵氏硬度 A	40 ~ 60					
		剥离强度/N·(2.5cm) <sup>-1</sup>	≥ 50					
W-1 密封胶 (铁锚 603 胶)	由聚醚型聚氨酯、聚醚环氧树脂、高岭土等组成 可采用笔涂、刷涂、刮涂和辊涂等多种方式涂胶,涂胶后即可合拢压紧	密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.2			无溶剂,工艺简便,具有不干性和优良的耐油性,使用温度为 -40 ~ 160℃ 主要用于各种平面接合部位、管道法兰及螺栓的密封防漏,如用于汽车油箱壳、变速箱盖、机床齿轮箱盖、机车车轴座、柴油机分箱面等部位的密封防漏		
		黏度/Pa·s	400 ~ 420					
		热分解温度/℃	220					
		不挥发分/%	48.1					
		接合力/kPa	47					
		流动性	—					
		密封性(160℃)/MPa	1.3					
		耐介质性重量变化率/%	机油	1.76				
水	-7.91							
汽油	5.69							

塑料用胶黏剂和其他用途胶黏剂

表 3-3-94

牌号或名称	组成和固化条件	性能			特点及用途	
ABS 塑料胶黏剂	由 ABS 树脂和混合溶剂组成,将胶刮涂于被粘物,合拢,常温自干	胶接 ABS 塑料的常温测试强度 剪切强度:4.0MPa			低毒性,工艺简便,使用温度为-50~70℃ 用于 ABS 塑料的胶接	
FS-203B 氟塑料胶黏剂	由有机聚硅氧烷等组成,150~165℃下 10min 固化	固含量/%	50~60		具有优良的电绝缘性、耐水性和耐高低温性能,工艺简便,使用温度为-100~250℃ 主要用于氟塑料的胶接,也可用于金属、非金属材料的胶接	
		剥离强度(PIFE)/N·(2.5cm) <sup>-1</sup>	≥12			
		体积电阻率/Ω·cm	≥1×10 <sup>15</sup>			
		介电常数/10 <sup>3</sup> Hz	3.03			
		介电损耗角正切/10 <sup>3</sup> Hz	1×10 <sup>-3</sup>			
TS-2 塑料胶黏剂(泰山牌 B-2 塑料胶)	单组分 常温下 2~3d 固化,如黏度太大,可加入适量醋酸乙酯、丙酮、香蕉水稀释	黏度/Pa·s		2	溶于一般有机溶剂,固化快,柔韧性好,具有优良的耐沸水、耐寒、耐油及耐化学介质性,能在 20% 盐酸、20% 硫酸、20% 烧碱溶液中使用 主要用于聚乙烯、聚丙烯等难粘塑料等的胶接,也可用于金属、橡胶、木材等与聚乙烯、聚丙烯等塑料的胶接	
		固含量/%		30±5		
		拉伸强度/MPa	聚乙烯	≥1		
			聚丙烯	≥1		
无机胶黏剂	由(甲)氧化铜粉和(乙)磷酸溶液组成 接触压力、40℃下 1.5h 或 100℃下 2h 或室温下 24h 固化	密度/g·cm <sup>-3</sup>	甲组分	≥3.4	耐油性好,具有优异的耐热性,但耐酸碱性较差;套接形式能达到最高强度,不宜于平面搭接;在 600℃下长期使用,瞬时可耐 800~1000℃ 主要用于胶接钢、铸铁、铝、铜等金属及陶瓷、水泥制品,如刀具、量具、模具、钻头、砂轮的胶接,还可用于配制高温应变胶	
			乙组分	1.90~1.92		
		固化后硬度 HB		45~65		
		套接压剪强度(钢)/MPa		≥85		
		槽接剪切强度(钢)/MPa		≥45		
		平面拉伸强度(钢)/MPa		≥10		
		套接扭剪强度(钢)/MPa		≥45		
SR-2 阻尼材料胶黏剂	由丁腈橡胶、酚醛树脂、古马隆树脂、硫化剂和填料组成或由丁腈橡胶、酚醛树脂、促进剂、溶剂和填料组成 接触压力、室温下 5d 或 30℃下 3d 固化	固含量/%		≥25	工艺简便,胶接强度高,耐介质性好 主要用于氯化丁基橡胶等黏弹性阻尼材料与铝、钢等金属材料的胶接。 降低噪声和减振效果显著	
		剥离强度/N·(2.5cm) <sup>-1</sup>	氯化丁基橡胶-铝	≥37		
			氯化丁基橡胶-钢	≥28		
			丁腈橡胶-铝	≥58		
			氯丁橡胶-铝	≥49		
			氟橡胶-铝	≥78		
		耐介质性(浸渍 5d) 剥离强度/N·(2.5cm) <sup>-1</sup>	海水	≥29		
10# 机油	≥29					
20# 机油	≥36					
HS-20 胶黏剂	由环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛、三乙胺和氧化铝粉组成 0.2MPa、30℃下 3d 固化	不同温度下剪切强度			常温固化,使用温度约为 90℃ 主要用于机床导轨的胶接	
		测试温度/℃	25	60		122
		剪切强度/MPa	18	20		9.2

# 11 涂 料

涂料类别、品种及其代号 (摘自 GB/T 2705—2003)

表 3-3-95

涂料类别代号	代号	涂料名称	代号	涂料名称	代号	涂料名称	代号	涂料名称	代号	涂料名称	代号	涂料名称							
	Y T F	油脂漆类 天然树脂漆类 酚醛漆类	L C A	沥青漆类 醇酸漆类 氨基漆类	Q M G	硝基漆类 纤维素漆类 过氯乙烯漆类	X B Z	烯树脂漆类 丙烯酸漆类 聚酯漆类	H S W	环氧漆类 聚氨酯漆类 元素有机漆类	J E	橡胶漆类 其他漆类							
基本名称代号	分类	代号	基本名称	分类	代号	基本名称	分类	代号	基本名称	分类	代号	基本名称							
	基本名称代号	00	清油	美术漆	14	透明漆	绝 缘 漆	30	(浸渍) 绝缘漆	防腐漆	37	电阻漆、 电位器漆	特种漆	65	感光涂料				
		01	清漆		15	斑纹漆		31	(覆盖) 绝缘漆		38	半导体漆		50	耐酸漆	67	隔热涂料		
		02	厚漆		16	锤纹漆		32	互感器漆		船舶漆	40		防污漆	52	防腐漆	70	机床漆	
		03	调和漆		17	皱纹漆			33	(粘合) 绝缘漆		41		水线漆	53	防锈漆	71	工程机械漆	
		04	磁漆		18	金属效应漆			34	漆包线漆		42		甲板漆、 甲板防 滑漆	54	耐油漆	72	农机用漆	
		05	粉末涂料		19	闪光漆		35		硅钢片漆	特种漆	43		船壳漆	55	防火漆	80	地板漆	
		06	底漆		轻工用漆	20				铅笔漆		36		电容器漆	44	船底漆	61	耐热漆	82
		07	腻子			22			木器漆	36				电容器漆	62	示温漆	62	示温漆	83
		09	大漆			23		罐头漆	36		电容器漆			63	涂布漆	63	涂布漆	84	黑板漆
		11	电泳漆	轻工用漆	22	木器漆		36			电容器漆	64		可剥漆	64	可剥漆	86	标志漆	
		12	乳胶漆		23	罐头漆				36	电容器漆	64		可剥漆	64	可剥漆	98	胶液	
		13	水溶性漆		23	罐头漆			36		电容器漆	64		可剥漆	64	可剥漆	99	其他	

产品序号	涂料品种		序号		涂料品种		序号		代号标记示例
	清漆、底漆、腻子	磁漆	自干	烘干	清漆	专用漆	自干	烘干	
			1~29	30以上	清漆	专用漆	1~9	10~29	xxx-xx └───┬───┘ 产品序号 └───┬───┘ 基本名称代号 └───┬───┘ 涂料类别代号 例: Q01-17 表示硝基清漆
	有光	1~49	50~59	有光磁漆	30~49	50~59			
	半光	60~69	70~79	半光磁漆	60~64	65~69			
	无光	80~89	90~99	无光磁漆	70~74	75~79			
				底漆	80~89	90~99			

## 各类涂料的特点及应用<sup>[4]</sup>

表 3-3-96

涂料类别(代号)	主要成膜物质	特 点	应 用
油脂漆类 (Y)	天然动植物油、鱼油、合成油、松浆油(焦油)	耐大气性、涂刷性、渗透性好,价廉;干燥较慢,膜软,力学性能差,水膨胀性大,不耐碱,不能打磨抛光	用于质量要求不高的建筑工程或其他制品的涂饰
天然树脂漆类 (T)	松香及其衍生物、虫胶、动物胶、乳酪素、大漆及其衍生物	涂膜干燥较油脂漆快,坚硬耐磨,光泽好,短油度的涂膜坚硬好打磨抛光,长油度的漆膜柔韧,耐大气性较好;力学性能差,短油度的耐大气性差,长油度的不能打磨抛光,天然大漆毒性较大	短油度的适用于室内物件的涂层,长油度的适宜室外使用

续表

涂料类别(代号)	主要成膜物质	特 点	应 用
酚醛漆类 (F)	酚醛树脂、改性酚醛树脂、二甲苯树脂	涂膜坚硬,耐水性良好,耐化学腐蚀性良好,有一定的绝缘强度,附着力好;涂膜较脆,颜色易变深,易粉化,不能制白漆或浅色漆	广泛应用于木器、建筑、船舶、机械、电气及防化学腐蚀等方面
沥青漆类 (L)	天然沥青、煤焦沥青、石油沥青、硬脂酸沥青	耐潮、耐水性良好,价廉,耐化学腐蚀性较好,有一定的绝缘强度,黑度好;对日光不稳定,不能制白漆或浅色漆,有渗透性,干燥性不好	广泛用于缝纫机、自行车及五金零件。还可用于浸渍、覆盖及制造绝缘制品
醇酸漆类 (C)	甘油醇酸树脂、季戊四醇醇酸树脂、改性醇酸树脂	光泽较亮,耐候性优良,施工性好,可刷、烘、喷,附着力较好;涂膜较软,耐水耐碱性差,干燥较慢,不能打磨	适用于大型机床、农业机械、工程机械、门窗、室内木结构的涂装
氨基漆类 (A)	脲醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂、聚酰亚胺树脂	涂膜坚硬、丰满、光泽亮,可以打磨抛光,色浅,不易泛黄,附着力较好,有一定的耐热性,耐水性、耐候性较好;需高温烘烤才能固化,若烘烤过度,漆膜变脆	广泛用于五金零件、仪器仪表、电机电器设备的涂装
硝基漆类 (Q)	硝酸纤维素酯	干燥迅速,涂膜耐油、坚韧,可以打磨抛光;易燃,清漆不耐紫外线,不能在60℃以上使用,固体分低	适合金属、木材、皮革、织物等的涂饰
纤维素漆类 (M)	乙基纤维、苯基纤维、羟甲基纤维、乙酸纤维、乙酸丁酸纤维、其他纤维酯及醚类	耐大气性和保色性好,可打磨抛光,个别品种耐热、耐碱,绝缘性也较好;附着力和耐潮性较差,价格高	用于金属、木材、皮革、纺织品、塑料、混凝土等的涂覆
过氯乙烯漆类 (G)	过氯乙烯树脂	耐候性和耐化学腐蚀性优良,耐水、耐油、防延燃性及三防性能好;附着力较差,打磨抛光性差,不能在70℃以上使用,固体分低	用于化工厂的厂房建筑、机械设备的防护及木材、水泥表面的涂饰
烯树脂漆类 (X)	聚二乙烯乙炔树脂、氯乙烯共聚树脂、聚酯酸乙烯及其共聚物、聚乙烯醇缩醛树脂、含氟树脂	有一定的柔韧性,色浅,耐化学腐蚀性较好,耐水性好;耐溶剂性差,固体分低,高温时炭化,清漆不耐紫外线	用于织物防水、化工设备防腐及玻璃、纸张、电缆、船底防锈、防污、防延燃用的涂层
丙烯酸漆类 (B)	丙烯酸酯树脂、丙烯酸共聚物及其改性树脂	色浅,保光性良好,耐候性优良,耐热性较好,有一定的耐化学腐蚀性;耐溶剂性差,固体分低	用于汽车、医疗器械、仪表、表盘、轻工产品、高级木器、湿热带地区的机械设备等的涂饰
聚酯漆类 (Z)	饱和聚酯树脂、不饱和聚酯树脂	固体分高,能耐一定的温度,耐磨,能抛光,绝缘性较好;施工较复杂,干燥性不易掌握,对金属附着力差	用于木器、防化学腐蚀设备以及金属、砖石、水泥、电气绝缘件的涂装
环氧漆类 (H)	环氧树脂、改性环氧树脂	涂膜坚韧,耐碱、耐溶剂,绝缘性良好,附着力强;保光性差,色泽较深,外观较差,室外暴晒易粉化	适于作为底漆和内用防腐蚀涂料

涂料类别(代号)	主要成膜物质	特点	应用
聚氨酯漆类 (S)	聚氨基甲酸酯	耐潮、耐水、耐热、耐溶剂性好,耐化学和石油腐蚀,耐磨性好,附着力强,绝缘性良好;涂膜易粉化泛黄,对酸、碱、盐、水等物质敏感,施工要求高,有一定毒性	广泛用于石油、化工、海洋船舶、机电设备等作为金属防腐漆。也适用于木器、水泥、皮革、塑料、橡胶、织物等非金属材料的涂装
元素有机漆类 (W)	有机硅、有机钛、有机铝	耐候性极好,耐高温,耐水性、耐潮性好,绝缘性能良好;耐汽油性差,涂膜坚硬较脆,需要烘烤干燥,附着力较差	主要用于涂装耐高温机械设备
橡胶漆类 (J)	天然橡胶及其衍生物、合成橡胶及其衍生物	耐磨、耐化学腐蚀性良好,耐水性好;易变色,个别品种施工复杂,清漆不耐紫外线,耐溶剂性差	主要用于涂装化工设备、橡胶制品、水泥、砖石、船壳及水线部位、道路标志、耐大气暴晒机械设备等
其他漆类 (E)	以上 16 类包括不了的成膜物质,如无机高分子材料等		

防锈漆种类和性能<sup>[3]</sup>

表 3-3-97

名称	牌号 标准号	性能	用途
灰酚醛防锈漆	F53-32 HG/T 3345—1999	漆膜防锈性能较好 干燥时间:表干 4h,实干 24h	用于涂刷钢铁表面
铁红酚醛防锈漆	F53-33 HG/T 3345—1999	具有一般的防锈性能 干燥时间:表干 5h,实干 24h	用于防锈性要求不高的钢铁结构表面,作为打底用
红丹酚醛防锈漆	F53-31 HG/T 3345—1999	具有很好的防锈性能 干燥时间:表干 5h,实干 24h	同红丹油性防锈漆
红丹醇酸防锈漆	C53-31 HG/T 3346—1999	防锈性能好,附着力强 干燥时间:表干 4h,实干 24h	用于钢铁结构表面,作防锈打底用
云铁酚醛防锈漆	F53-40 HG/T 3369—2003	防锈性能好,遮盖力及附着力强,无铅毒 干燥时间:表干 5h,实干 24h	用于铁路、桥梁、铁塔、车辆、船舶、油罐等户外钢铁结构上作防锈打底用

底漆种类和性能<sup>[3]</sup>

表 3-3-98

名称	牌号 标准号	性能	用途
乙烯磷化底漆 (分装)	X06-1 HG/T 3347—1987	主要作为黑色及有色金属底层的表面处理剂,能起磷化作用,可增加有机涂层和金属表面的附着力 干燥时间:实干≤30min	也称洗涤底漆,适用于涂覆各种船舶、浮筒、桥梁、仪表及其他各种金属构件和器材表面
铁红醇酸底漆	C06-1 HG/T 2009—1991	漆膜具有良好的附着力和一定的防锈性能,与硝基、醇酸等面漆结合力好。在一般气候条件下耐久性好,但在湿热条件下耐久性差 干燥时间:表干 2h,烘干(105℃±2℃)0.5h,实干 24h	用于黑色金属表面打底防锈
铁红、锌黄、铁黑 环氧酯底漆	H06-2 HG/T 2239—1991	漆膜坚韧耐久,附着力良好 干燥时间:18h	与磷化底漆配套使用,可提高漆膜耐潮、耐盐雾和防锈性能,用于沿海地区和湿热气候中金属表面打底
各色硝基底漆	Q06-4 HG/T 3355—2003	漆膜干得快,易打磨 干燥时间:表干 10min,实干 50min	用于铸件、车辆表面的涂覆,作各种硝基漆的配套底漆用

硝基漆种类和性能<sup>[3]</sup>

表 3-3-99

名称	牌号 标准号	性能	用途
红、白、绿硝基外用磁漆	Q04-2 HG/T 2277—1992	漆膜干燥快,平整光亮,耐候性较好。采用砂蜡和光蜡打磨保养漆膜,可以延长漆膜的使用寿命 干燥时间:表干≤10min,实干≤50min	用于各种交通车辆、机床、机器设备和工具的保护装饰
各色硝基腻子	Q07-5 HG/T 3356—2003	附着力好,容易打磨 干燥时间:≤3h	用于涂有底漆的金属和木质物表面,作填平细孔或缝隙用
硝基清漆	HG/T 2592—1994	干燥快,有良好的光泽和耐久性 干燥时间:表干 10min,实干 50min	I型硝基漆用于木质制品表面涂饰;II型硝基漆用于室外木制品和金属表面的涂饰,也可作硝基磁化罩光用



天然树脂、醇酸漆种类和性能<sup>[3]</sup>

表 3-3-100

名称	牌号 标准号	性能 (25℃ ± 1℃, 相对湿度 65% ± 5%)	用途
各种醇酸磁漆	HG/T 2576—1994	漆膜有较好的光泽和机械强度, 耐候性较好, 能自然干燥, 也可低温烘干 干燥时间: 表干 5h, 实干 15h	用于金属及木制表面的保护和装饰性涂覆
醇酸清漆	HG/T 2453—1993	具有较好的附着力和耐久性, 通用性能好, 价格适中 干燥时间: 表干 ≤ 5h, 实干 ≤ 10h	涂覆一般金属、木质物, 起保护装饰作用
各色酯胶调和漆	T03-1 HG/T 3364—1987	干燥性比油性调和漆好, 漆膜较硬, 有一定的耐水性 干燥时间: 表干 ≤ 8h, 实干 ≤ 24h	用于室内外一般金属、木质物及建筑物表面的涂覆, 作保护和装饰用
各色酯胶磁漆	T04-1 HG/T 3370—1987	漆膜光亮鲜艳, 但耐候性差 干燥时间: 表干 ≤ 8h, 实干 ≤ 24h	用于室内一般金属、木质物以及五金零件、玩具等表面作装饰保护用

其他涂料种类和性能<sup>[3]</sup>

表 3-3-101

名称	牌号 标准号	性能 (25℃ ± 1℃, 相对湿度 65% ± 5%)	用途
沥青磁漆	L04-1 HG/T 3348—1987	漆膜黑亮平滑, 耐水性较好 干燥时间: 表干 ≤ 8h, 实干 ≤ 24h	用于涂覆汽车底盘、水箱及其他金属零件表面
草绿有机硅耐热漆	W61-34 HG/T 3361—1987	有良好的耐汽油、耐盐水性。耐高温, 常温干燥, 若烘干则效果更好 干燥时间: 表干 ≤ 8h, 实干 ≤ 18h	用于要常温干燥的耐高温的钢铁金属设备零件表面 (使用温度 400℃)
铝粉有机硅烘干耐热漆	W61-55 HG/T 3362—2003	有防腐作用, 耐高温 干燥时间 (150℃ ± 2℃): ≤ 2h	用于高温设备的钢铁零件, 如发动机外壳、烟囱、排气管、烘箱、火炉、暖气管道外壳, 作耐热防腐涂料 (使用温度 500℃)
红有机硅烘干电阻漆	W37-51 HG/T 3363—1987	附着力好, 并具有良好的耐热、防潮及耐温变性 干燥时间: ≤ 3.5h (先在 25℃ ± 1℃ 放 1h, 再在 30 ~ 60min 内由 25℃ ± 1℃ 升至 150℃, 并在 150℃ ± 2℃ 烘烤)	用于涂覆非线性电阻以及其他金属零件表面
聚氨酯清漆	S01-4 HG/T 2240—1991	具有优良的附着力、硬度和光泽 干燥时间: 表干 2h, 实干 14h	用于木器装饰、金属保护和木船外壳保护
氨基烘干清漆	A01-1, A01-2 HG/T 2237—1991	漆膜坚硬、光亮、丰满度好, 附着力强, 有良好的物理性能 干燥时间 (110℃ ± 2℃): 1.5h	用于金属表面涂过各种氨基烘漆或环氧烘漆罩光, 是用途广泛的装饰性较好的烘干清漆
沥青烘干清漆	L01-34 HG/T 3368—1987	漆膜坚硬, 光亮而耐磨, 耐候性、附着力及保光性能好 干燥时间 (195℃ ± 5℃): 1.5h	用于涂有沥青底漆的金属表面, 如自行车、缝纫机、电器仪表、一般金属、文具用品及五金零件的表面涂装

续表

名称	牌号 标准号	性能 (25℃ ± 1℃, 相对湿度 65% ± 5%)	用途
环氧-聚酯粉末涂料	HG/T 2597—1994	有较好附着力、耐化学性、耐磨性和装饰性,漆膜光滑、坚硬 干燥时间(175 ~ 185℃): 15 ~ 20min	用于容器及轻工、机电金属产品的表面涂饰
各色氨基烘干磁漆	HG/T 2594—1994	漆膜光亮坚硬,附着力强,并具有良好的柔韧性、冲击韧性和耐水性。该漆若与 X06-1 磷化底漆、H06-2 环氧酯底漆配套使用,则具有一定的耐湿热、耐盐雾性能 干燥时间: 30min	用于金属表面涂过各色氨基烘漆和环氧烘漆的罩光,是用途广泛的装饰性较好的烘干磁漆
各色过氯乙烯防腐漆	G52-31 HG/T 3358—1987	漆膜具有优良的耐腐蚀性和防潮性 干燥时间: 实干 ≤ 1h	用于各种化工机械、管道、设备、建筑等金属或木材表面上,可防止酸、碱及其他化学药品的腐蚀,使用温度为 -30 ~ 70℃ (适宜 -20 ~ 60℃)
过氯乙烯防腐清漆	G52-2 HG/T 3359—1987	具有优良的防腐蚀性能,也可防火 干燥时间: 实干 ≤ 1h	与各色过氯乙烯防腐漆配套使用,涂于化工机械、设备、管道、建筑物等处,以防酸、碱、盐、煤油等物质的侵蚀。也可单独使用,但附着力差。加紫外线吸收剂后,可用于室外的耐腐蚀设备表面,使用温度为 -30 ~ 70℃
各色氨基烘干锤纹漆	A16-51 HG/T 3353—1987	漆膜表面有似锤击铁板所留下的锤痕花纹,具有坚韧耐久、色彩调和、花纹美观等特点 干燥时间: 烘干(100℃ ± 2℃) ≤ 3h	适宜喷涂于各种医疗器械及仪器、仪表等各种金属制品表面作装饰涂料
各色酚醛磁漆	F04-1 HG/T 3349—2003	漆膜坚硬,光泽、附着力较好,但耐候性差 干燥时间: 表干 6h, 实干 18h	用于建筑、交通工具、机械设备等室内材料和金属表面的涂覆、保护、装饰
各色过氯乙烯腻子	G07-3 HG/T 3357—2003	腻子膜干燥快,坚硬,附着力强,易打磨,有良好的耐水性及耐油性,不宜多次涂刮 干燥时间: 实干 3h	用于已涂醇酸底漆或过氯乙烯底漆的各种车辆、机床等钢铁铸件或木质表面的填平
各种环氧酯(烘干)腻子	H07-5, H07-34 HG/T 3354—2003	腻子膜坚硬,耐潮性好,与底漆有良好的结合力,经打磨表面光洁 干燥时间: H07-5 自干 24h H07-34 烘干 1h	供各种预先涂有底漆的金属表面填平用
丙烯酸清漆	HG/T 2593—1994	漆膜有良好的耐候性,较好的附着力,透明性极佳,可明显呈现底层材质的花纹和光泽 干燥时间: 表干 0.5h, 实干 2h	用于经阳极化处理的铝合金及其他金属表面的装饰与保护
机床面漆	HG/T 2243—1991	漆膜具有良好的抗冲击性能和遮盖力,耐油性和耐切削液侵蚀良好 干燥时间: I 型, 表干 15min, 实干 1h II 型, 表干 90min, 实干 24h	用于各种机床表面保护和装饰

## 12 其他非金属材料

常用木材的物理力学性能

表 3-3-102

树种	地区	气干密度/ $g \cdot cm^{-3}$	体积干缩系数/%	顺纹抗压强度/MPa	横纹抗压强度(弦向)/MPa		顺纹抗拉强度/MPa	抗弯强度(弦向)/MPa	抗弯模量(弦向)/GPa	冲击韧度(弦向)/N·m	顺纹抗剪强度(弦面)/MPa	硬度(端面)/MPa
					局部受压	全部受压						
针叶树材												
冷杉	四川大渡河、青衣江	0.433	0.537	34.8	4.3	3.2	95.4	68.6	9.8	3.8	5.4	31
杉松冷杉	东北长白山	0.390	0.437	31.9	3.5	2.4	72.1	65.1	9.1	3.0	6.4	25
臭冷杉	东北小兴安岭	0.384	0.472	38.8	3.3	2.3	77.2	63.8	9.4	3.1	6.2	22
杉木	湖南江华	0.371	0.420	37.0	3.2	1.4	75.7	62.5	9.4	2.5	4.8	25
柏木	湖北崇阳	0.600	0.320	53.2	9.4	6.6	114.8	98.5	10.0	4.5	10.9	58
银杏	安徽歙县	0.532	0.417	40.2	5.2	3.1	80.4	76.2	9.1	3.3	10.8	111
油杉	福建永泰	0.552	0.510	43.7	7.1	4.5	107.8	89.3	12.3	5.6	6.9	43
落叶松	东北小兴安岭	0.641	0.588	56.4	8.2	—	127.3	111.0	14.2	4.8	6.7	37
黄菠萝	东北长白山	0.594	0.554	51.3	7.6	—	120.1	97.3	12.4	4.8	6.9	33
红杉	四川平武	0.452	0.416	34.3	6.2	4.3	76.0	68.8	8.6	2.8	5.1	31
云杉	四川平武、理县	0.459	0.521	37.8	4.4	2.8	92.1	74.4	10.1	3.8	5.8	24
红皮云杉	东北小兴安岭	0.417	0.484	34.5	4.3	—	94.8	68.5	10.9	3.2	6.1	21
紫果云杉	四川平武	0.481	0.521	42.1	4.9	2.8	111.5	81.1	11.4	4.1	6.1	34
华山松	贵州威宁	0.476	0.449	35.3	4.3	2.6	85.5	63.3	8.5	3.6	7.5	25
红松	小兴安岭、长白山	0.440	0.459	32.7	3.7	—	96.1	64.0	9.8	3.4	6.8	21
广东松	湖南莽山	0.501	0.409	31.4	—	6.1	96.2	89.9	9.9	3.9	7.8	34
黄山松	安徽霍山	0.571	0.589	46.6	6.6	4.5	—	89.4	12.8	5.4	8.7	31
马尾松	湖南郴县、会同	0.519	0.470	43.5	6.5	3.0	102.8	89.2	12.1	3.8	6.6	29
樟子松	黑龙江图里河	0.477	—	36.1	3.4	—	112.8	69.9	9.8	4.1	7.7	25
油松	湖北秭归	0.537	0.476	41.6	5.4	3.5	118.2	86.2	11.3	4.2	6.2	28
云南松	云南广通	0.588	0.612	44.6	4.6	3.1	118.1	93.4	12.6	5.5	7.6	38
铁杉	四川青衣江	0.511	0.439	45.4	6.0	3.5	115.4	89.7	11.1	3.9	8.2	40
阔叶树材												
槭木	东北长白山	0.709	0.510	47.8	8.4	6.2	—	13.1	13.1	8.3	14.0	66
山合欢	江西武宁	0.577	0.390	45.9	6.7	4.2	88.3	11.9	11.9	6.9	12.4	58
拟赤杨	福建南靖	0.431	0.399	29.9	2.7	2.0	—	8.0	8.0	3.3	7.8	34
西南椴木	云南广通	0.503	0.441	39.1	3.7	2.9	80.4	74.6	9.6	4.1	9.4	38
西南蕈树	云南屏边	0.768	0.627	66.5	7.1	4.9	—	121.6	12.7	7.3	14.5	89
光皮桦	安徽岳西	0.723	0.557	58.2	9.4	6.5	148.0	127.8	14.3	8.6	19.0	81
红桦	四川岷江、黑水	0.597	0.474	44.4	4.6	3.4	147.7	90.6	10.6	6.9	11.4	53
白桦	甘肃洮河	0.615	0.466	41.7	4.7	3.4	101.4	85.6	9.0	7.8	11.6	38
枫木	广西龙津县	1.130	0.806	75.1	17.8	12.5	—	158.2	20.7	17.9	20.7	140
亮叶鹅耳枥	海南尖峰岭	0.651	0.518	44.1	7.8	5.1	—	71.3	11.2	5.0	10.5	75
米槠	广东乳沅	0.548	0.465	37.9	4.1	2.6	108.3	81.4	10.7	6.5	9.2	38
甜槠	安徽歙县	0.552	0.400	37.7	4.5	3.4	71.8	73.5	9.1	4.4	9.9	43
栲树	福建建瓯	0.610	0.446	43.0	5.1	3.5	—	85.4	11.0	7.0	9.4	39
苦槠	福建	0.595	0.392	41.7	4.9	3.3	75.7	82.7	8.8	4.5	8.7	47
山枣	江西武宁	0.569	0.463	43.3	5.9	3.6	—	96.5	12.1	6.9	10.7	41
香樟	湖南郴县	0.580	0.412	40.8	7.1	—	—	73.6	9.0	3.9	9.1	40
青岗	安徽黟县	0.892	0.598	64.2	12.9	8.4	—	141.7	16.3	11.1	20.7	111
细叶青岗	安徽黟县	0.893	0.635	63.6	11.9	7.9	139.7	139.2	16.6	9.6	20.9	110
黄檀	江西武宁	0.897	0.579	—	12.3	8.0	—	156.6	18.0	13.0	20.5	124
黄杞	福建南靖	0.569	0.411	44.2	5.5	4.3	113.2	89.4	9.9	4.3	9.8	55
柠檬桉	广西宜山	0.968	0.732	63.5	14.4	7.7	148.5	142.3	18.6	15.7	15.5	85
水青岗	云南金平	0.793	0.617	51.5	6.8	4.7	139.6	113.2	13.4	13.3	14.0	62
水曲柳	东北长白山	0.686	0.577	51.5	10.5	—	135.9	116.2	14.3	7.0	10.3	63
毛坡垒	云南屏边	0.965	0.787	72.8	8.2	5.6	—	152.7	20.3	12.4	15.3	112

续表

树种	地区	气干密度/ $g \cdot cm^{-3}$	体积干缩系数/%	顺纹抗压强度/MPa	横纹抗压强度(弦向)/MPa		顺纹抗拉强度/MPa	抗弯强度(弦向)/MPa	抗弯模量(弦向)/GPa	冲击韧度(弦向)/N·m	顺纹抗剪强度(弦面)/MPa	硬度(端面)/MPa
					局部受压	全部受压						
核桃楸	东北长白山	0.526	0.465	36.0	4.5	—	125.0	26.3	11.8	5.174	9.8	34
枫香	湖南郴县	0.608	0.468	41.8	5.4	—	106.5	80.8	9.6	5.145	7.0	62
石栎	浙江昌化	0.665	0.480	49.5	11.0	—	108.1	94.5	11.3	4.312	11.9	62
红楠	广东乳沉	0.560	0.468	37.5	5.5	3.8	100.2	79.7	10.1	6.546	9.0	35
花榈木	江西武宁	0.588	0.448	40.8	6.0	3.5	—	91.6	8.9	8.506	13.4	59
黄椴	东北长白山	0.449	0.368	33.0	4.6	3.8	—	74.6	8.8	4.194	9.0	32
山杨	黑龙江带岭	0.364	—	30.7	2.3	—	—	54.8	5.9	7.683	6.6	20
毛白杨	北京	0.525	0.458	38.2	3.4	2.7	91.6	77.0	10.2	7.850	9.4	38
麻栎	安徽肥西	0.930	0.616	51.1	9.9	6.4	152.3	126.0	16.5	11.985	17.6	80
柞木	东北长白山	0.766	0.590	54.5	8.6	—	152.3	121.5	15.2	11.074	12.6	74
刺槐	北京	0.792	0.548	52.8	10.2	7.3	—	124.3	12.7	17.042	12.8	67
橡木	湖南郴县	0.584	0.469	40.5	7.1	—	108.6	91.2	11.3	6.194	7.8	41
荷木	湖南郴县	0.611	0.473	43.8	4.7	—	121.0	91.0	12.7	6.811	10.0	52
槐树	山东	0.702	0.511	45.0	8.1	6.5	—	103.3	10.2	12.642	13.6	65
柚木	云南景东	0.601	0.413	49.8	7.3	5.0	79.4	103.2	10.0	4.567	4.7	49
紫椴	东北长白山	0.493	0.470	28.4	2.7	—	105.8	59.2	11.0	4.792	7.7	21
裂叶榆	黑龙江带岭	0.548	0.517	31.8	4.2	2.9	114.6	79.3	11.6	5.635	8.3	38
榉树	安徽滁县	0.791	0.591	47.7	8.6	6.9	149.6	127.5	12.3	15.053	15.0	82

注：表列木材的物理力学性能，除体积干缩系数、冲击韧度及针叶树材顺纹抗拉强度外，均为含水率15%的数值。

机械产品适用木材品种

表 3-3-103

用途	技术要求	主要适用木材	用途	技术要求	主要适用木材	
木质机械	容重大,强度和冲击韧度高,不劈裂,易加工	柏木、硬木松类、铁杉属、落叶松属、山毛榉、水曲柳、柞、槐、椴属	车架	强度高	铁杉属、落叶松属、云杉属、松属、桦属、榆属、锥栗属、刺槐、银荷木、荷木、西南荷木、云南双翅龙脑香	
农业机械	机械零部件	强度和硬度高,冲击韧性较高,不易翘曲和变形,易加工	车辆	内墙板(侧板)	外貌美观易加工	冷杉属、云杉属、铁杉属、桦属、槭属、柞属、锥栗属、桐属、山毛榉属、水曲柳、柞、椴属、荷木、银荷木、西南荷木、椴科、榆科等
				地板(底板)	木材耐磨、有装饰价值	柞属、鹅耳枥属、柞属、椴属、桦属、榆属、桐属、刺槐、槐树、云南双翅龙脑香等
	农具	强度中等,有一定弹性和韧性,变形小	硬木松类、云杉属、铁杉属、落叶松属、柏木、旱柳、槐树、荷木、桑树、榆属、桦属、朴属、青岗属、柞属、桐属、锥栗属	车梁		同上
锻锤垫木	横纹全部抗压强度和横纹抗压模量较高	落叶松属、云杉属、红松、华山松、马尾松、樟子松、云南松、油松、铁杉、云南铁杉、柞属、麻栎、小叶栎、青岗、红锥、海南锥、荷木、红桦、水曲柳、椴属	蓄电池隔板	纹理直,结构均匀,耐酸	松属、罗汉松属、黄杉属、椴属、拟赤杨	
			箱桶	有适当的强度,钉着性较好,变形小	冷杉属、云杉属、铁杉属、松属、柳杉、杉木、杨属、柳属、杨桐属、桦属、苦楝、拟赤杨、枫杨、青钱柳、锥栗属、榆属、椴属、臭椿、朴属、早莲、山枣、白颜树、兰果树、悬铃木、荷木、银荷木、西南荷木	
木模	以胀缩性小为主,强度较高,易加工	松属、云杉属、铁杉属、柏木属、梓树属、黄桐、杨属、柳属、椴属、黄杞、苦楝、臭椿、桦属、锥栗属、朴属、荷木、槭属	重型机械	强度较大	落叶松属、硬木松类、铁杉属、桦属、榆属、锥栗属、柞属、杜英属、马蹄荷、粘木、灰木属等	

硬钢纸板规格及技术性能 (摘自 QB/T 2199—1996)

表 3-3-104

项 目		技 术 指 标						
		A 类		B 类		C 类		
用途	供航空构件用		供机械、电器、仪表的部件和绝缘消弧材料用		供纺织、铁路、氧气设备及其他机械部件电器、电机的绝缘消弧材料用			
					I 型	II 型		
					间歇性生产	连续性生产		
长 × 宽/m		1 × 1.2, 0.9 × 1.2, 0.85 × 1, 0.7 × 1.2, 0.5 × 0.6, 或按订货合同						
密度/g · cm <sup>-3</sup>		1.25 ~ 1.3		1.15 ~ 1.25		1.1 ~ 1.2		
体积电阻率(23℃ ± 1℃)/Ω · cm		10 <sup>9</sup>				10 <sup>8</sup>		
击穿电压 /kV · mm <sup>-1</sup>	壁厚 /mm	0.5 ~ 2.0	—		7 ~ 8		5 ~ 6	
		2.1 ~ 12.0	—		4 ~ 5		2.5 ~ 3	
纵向(横向)拉伸 强度/MPa	壁厚 /mm	0.5 ~ 0.9	85(45)		70(40)		55(35) 55(30)	
		1.0 ~ 2.0	90(55)		75(40)		60(35) 60(30)	
		2.1 ~ 3.5	90(50)		75(45)		60(40) 60(30)	
		3.6 ~ 5.0	85(50)		65(45)		50(30)	
		> 5.0	—		50(35)		40(30)	
吸水率/%	壁厚 /mm	1.0 ~ 3.5	—		50 ~ 60		60 ~ 65	
		≥ 3.6	—		30 ~ 40		40 ~ 50	

软钢纸板规格及技术性能 (摘自 QB/T 2200—1996)

表 3-3-105

纸板规格/mm		密度/g · cm <sup>-3</sup> (A、B类)	技 术 性 能				用 途			
长度 × 宽度	厚度		项 目		A 类	B 类	A 类	B 类		
920 × 650 650 × 490 650 × 400 400 × 300 按订货合同规定	0.5 ~ 3.0	1.1 ~ 1.4	拉伸强度 /MPa ≥	厚度 /mm	0.5 ~ 1.0	30	25	供飞机发动机制作密封连接处的垫片及其他部件用	供汽车、拖拉机的发动机及其他内燃机制作密封垫片和其他部件用	
					1.1 ~ 3.0	30	30			
			抗压强度/MPa ≥		160	—				
			水分/%		4 ~ 8	4 ~ 8				

滤芯纸板 (摘自 QB/T 1712—1993)

表 3-3-106

项 目	指 标		纸板尺寸/mm
	薄滤芯纸板	厚滤芯纸板	
厚度/mm	0.6 ± 0.05	3.0 ± 0.25	长度 × 宽度 (1350 × 920) ± 10 (1150 × 880) ± 5
密度/g · cm <sup>-3</sup> ≤	0.70	0.76	
纵横平均拉伸强度/kPa ≥	8.80	—	
交货水分/%	10 ± 2.0		
用途	适用于作冲压滤清器的垫片或垫架供汽车、拖拉机等滤机油用		

常用水泥标号、特性及应用 (摘自 GB 175—1999、GB 1344—1999)

表 3-3-107

品 种	强度等级	28d 期强度/MPa ≧		凝结时间	组 成	特 性		使用范围	
		抗压强度	抗弯强度			优点	缺点	适用于	不适用于
硅酸盐水泥 (GB 175—1999)	42.5 42.5R	42.5	6.5	初凝不得早于45min, 终凝不得迟于6.5h	硅酸盐水泥熟料、0~5%石灰石和粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料 不掺加混合材料为 I 型, 代号 P-I; 掺加混合材料为 II 型, 代号 P-II	① 标号高 ② 快硬、早强 ③ 抗冻性好, 耐磨性和不透水性强	① 水化热高 ② 抗水性差 ③ 耐蚀性差	① 配制高标号混凝土 ② 先张预应力制品、石棉制品 ③ 道路、低温下施工的工程	① 大体积混凝土 ② 地下工程
	52.5 52.5R	52.5	7.0						
	62.5 62.5R	62.5	8.0						
普通硅酸盐水泥 (GB 175—1999)	32.5 32.5R	32.5	5.5	初凝不得早于45min, 终凝不得迟于10h	硅酸盐水泥熟料、混合材料(6%~15%)、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料, 代号 P-O	与硅酸盐水泥相比无根本区别, 但有所改变: ① 早期强度增进率略有减少 ② 抗冻性、耐磨性稍有下降 ③ 低温凝结时间有所延长 ④ 抗硫酸盐侵蚀能力有所增强		适应性较强, 如无特殊要求的工程都可以使用	
	42.5 42.5R	42.5	6.5						
	52.5 52.5R	52.5	7.0						
矿渣硅酸盐水泥 (GB 1344—1999)	32.5 32.5R	32.5	5.5	初凝不得早于45min, 终凝不得迟于10h	硅酸盐水泥熟料、粒化高炉炉渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料, 允许用石灰石、窑灰、粉煤灰和火山灰质混合材料中的一种材料代替矿渣, 代号 PS	① 水化热低 ② 抗硫酸盐侵蚀性好 ③ 蒸汽养护有较好的效果 ④ 耐热性较普通硅酸盐水泥高	① 早期强度低, 后期强度增进率大 ② 保水性差 ③ 抗冻性差	① 地面、地下、水中各种混凝土工程 ② 高温车间建筑	需要早强和受冻融循环, 干湿交替的工程
	42.5 42.5R	42.5	6.5						
	52.5 52.5R	52.5	7.0						
火山灰质硅酸盐水泥 (GB 1344—1999)	32.5 32.5R	32.5	5.5	初凝不得早于45min, 终凝不得迟于12h	硅酸盐水泥熟料、火山灰质混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料, 代号 P-P	① 保水性好 ② 水化热低 ③ 抗硫酸盐侵蚀能力强	① 早期强度低, 但后期强度增进率大 ② 需水性大, 干缩性大 ③ 抗冻性差	① 地下、水下工程、大体积混凝土工程 ② 一般工业和民用建筑	需要早强和受冻融循环, 干湿交替的工程
	42.5 42.5R	42.5	6.5						
	52.5 52.5R	52.5	7.0						

# 第 4 章 其他材料及制品

## 1 工业用网

工业用金属丝编织方孔筛网 (摘自 GB/T 5330—2003)

表 3-4-1

网孔基本尺寸		金属丝直径/mm	筛分面积百分率 $A_0$ /%	单位面积网质量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$				相当英制目数 /目· $(25.4 \text{ mm})^{-1}$	网孔基本尺寸		金属丝直径/mm	筛分面积百分率 $A_0$ /%	单位面积网质量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$				相当英制目数 /目· $(25.4 \text{ mm})^{-1}$
系列	尺寸/mm			低碳钢	黄铜	锡青铜	不锈钢		系列	尺寸/mm			低碳钢	黄铜	锡青铜	不锈钢	
R10 R20 R40/3	16.0	3.15	69.8	6.58	7.29	7.40	6.67	1.33	R10 R20 R40/3	4.00	1.40	54.9	4.61	5.11	5.19	4.67	4.70
		2.24	76.9	3.49	3.87	3.93	3.54	1.39			1.25	58.0	3.78	4.19	4.25	3.83	4.84
		2.00	79.0	2.82	3.13	3.18	2.86	1.41			1.12	61.0	3.11	3.45	3.50	3.15	4.96
		1.80	80.8	2.31	2.56	2.60	2.34	1.43			0.900	66.6	2.10	2.33	2.36	2.13	5.18
		1.60	82.6	1.85	2.05	2.08	1.87	1.44			0.710	72.1	1.36	1.51	1.53	1.38	5.39
R10 R20	12.5	2.50	69.4	5.29	5.87	5.95	5.36	1.69	R10 R20	3.15	1.25	51.3	4.51	5.00	5.07	4.57	5.77
		2.24	71.9	4.32	4.79	4.86	4.38	1.72			1.12	54.4	3.73	4.14	4.20	3.78	5.95
		2.00	74.3	3.50	3.88	3.94	3.55	1.75			0.900	60.5	2.54	2.82	2.86	2.57	6.27
		1.80	76.4	2.88	3.19	3.24	2.91	1.78			0.800	63.6	2.06	2.28	2.32	2.08	6.43
		1.60	78.6	2.31	2.56	2.59	2.34	1.80			0.710	66.6	1.66	1.84	1.87	1.68	6.58
R10 R20	10.0	2.50	64.0	6.35	7.04	7.14	6.43	2.03	R10 R20	2.50	1.00	51.0	3.63	4.02	4.08	3.68	7.26
		2.24	66.7	5.21	5.77	5.86	5.27	2.08			0.800	57.4	2.46	2.73	2.77	2.49	7.70
		2.00	69.4	4.23	4.69	4.76	4.29	2.12			0.710	60.7	1.99	2.21	2.24	2.02	7.91
		1.80	71.8	3.49	3.87	3.92	3.53	2.15			0.630	63.8	1.61	1.79	1.81	1.63	8.12
		1.60	74.3	2.80	3.11	3.15	2.84	2.19			0.560	66.7	1.30	1.44	1.46	1.32	8.30
R10 R20 R40/3	8.00	2.24	61.0	6.22	6.90	7.00	6.30	2.48	R10 R20	2.00	0.500	69.4	1.06	1.17	1.19	1.07	8.47
		2.00	64.0	5.08	5.63	5.72	5.15	2.54			0.450	71.8	0.87	0.97	0.98	0.88	8.61
		1.80	66.6	4.20	4.65	4.72	4.25	2.59			0.900	47.6	3.55	3.93	3.99	3.59	8.76
		1.60	69.4	3.39	3.75	3.81	3.43	2.65			0.710	54.5	2.36	2.62	2.66	2.39	9.37
		1.40	72.4	2.65	2.94	2.98	2.68	2.70			0.630	57.8	1.92	2.12	2.16	1.94	9.66
R10 R20	6.30	1.25	74.8	2.15	2.38	2.41	2.17	2.75	R10 R20 R40/3	2.00	0.560	61.0	1.56	1.72	1.75	1.58	9.92
		1.00	79.0	1.41	1.56	1.59	1.43	2.82			0.500	64.0	1.27	1.41	1.43	1.29	10.16
		1.80	60.5	5.08	5.63	5.72	5.15	3.14			0.450	66.6	1.05	1.16	1.18	1.06	10.37
		1.40	66.9	3.23	3.58	3.64	3.27	3.30			0.315	74.6	0.54	0.60	0.61	0.55	10.97
		1.12	72.1	2.15	2.38	2.42	2.17	3.42			0.800	44.4	3.39	3.75	3.81	3.43	10.58
R10 R20	5.00	1.00	74.5	1.74	1.93	1.96	1.76	3.48	R10 R20	1.60	0.630	51.5	2.26	2.51	2.54	2.29	11.39
		0.800	78.7	1.14	1.27	1.29	1.16	3.58			0.560	54.9	1.84	2.04	2.07	1.87	11.76
		1.60	57.4	4.93	5.46	5.54	4.99	3.85			0.500	58.0	1.51	1.68	1.70	1.53	12.10
		1.40	61.0	3.89	4.31	4.38	3.94	3.97			0.450	60.9	1.25	1.39	1.41	1.27	12.39
		1.25	64.0	3.18	3.52	3.57	3.22	4.06			0.400	64.0	1.02	1.13	1.14	1.03	12.70
		1.00	69.4	2.12	2.35	2.38	2.14	4.23			0.355	67.0	0.82	0.91	0.92	0.83	12.99

续表

网孔基本尺寸		金属丝直径/mm	筛分面积百分率 $A_0$ /%	单位面积网质量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$				相当英制目数 /目·(25.4 mm) <sup>-1</sup>	网孔基本尺寸		金属丝直径/mm	筛分面积百分率 $A_0$ /%	单位面积网质量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$				相当英制目数 /目·(25.4 mm) <sup>-1</sup>
系列	尺寸/mm			低碳钢	黄铜	锡青铜	不锈钢		系列	尺寸/mm			低碳钢	黄铜	锡青铜	不锈钢	
R10 R20	1.25	0.630	44.2	2.68	2.97	3.02	2.72	13.51	R10 R20	0.800	0.450	41.0	2.06	2.28	2.31	2.08	20.32
		0.560	47.7	2.20	2.44	2.48	2.23	14.03			0.355	48.0	1.39	1.54	1.56	1.40	21.99
		0.500	51.0	1.81	2.01	2.04	1.84	14.51			0.315	51.5	1.13	1.25	1.27	1.14	22.78
		0.450	54.1	1.51	1.68	1.70	1.53	14.94			0.280	54.9	0.92	1.02	1.04	0.93	23.52
		0.400	57.4	1.23	1.37	1.39	1.25	15.39			0.250	58.0	0.76	0.84	0.85	0.77	24.19
		0.355	60.7	1.00	1.11	1.12	1.01	15.83			0.224	61.0	0.62	0.69	0.70	0.63	24.80
		0.315	63.8	0.81	0.89	0.91	0.82	16.23			0.200	64.0	0.51	0.56	0.57	0.51	25.40
		0.280	66.7	0.65	0.72	0.73	0.66	16.60									
R10 R20 R40/3	1.00	0.560	41.1	2.55	2.83	2.87	2.59	16.28	R10 R20	0.630	0.400	37.4	1.97	2.19	2.22	2.00	24.66
		0.500	44.4	2.12	2.35	2.38	2.14	16.93			0.355	40.9	1.63	1.80	1.83	1.65	25.79
		0.450	47.6	1.77	1.97	2.00	1.80	17.52			0.315	44.4	1.33	1.48	1.50	1.35	26.88
		0.400	51.0	1.45	1.61	1.63	1.47	18.14			0.280	47.9	1.09	1.21	1.23	1.11	27.91
		0.355	54.5	1.18	1.31	1.33	1.20	18.75			0.250	51.3	0.90	1.00	1.01	0.91	28.86
		0.315	57.8	0.96	1.06	1.08	0.97	19.32			0.224	54.4	0.75	0.83	0.84	0.76	29.74
		0.280	61.0	0.78	0.86	0.88	0.79	19.84			0.200	57.6	0.61	0.68	0.69	0.62	30.60
		0.250	64.0	0.64	0.70	0.71	0.64	20.32			0.180	60.5	0.51	0.56	0.57	0.51	31.36

注：1. 本表对标准中 R10 系列删去了：0.500、0.400、0.355、0.315、0.250、0.200、0.180、0.160、0.125、0.100、0.080、0.063、0.050、0.040、0.032、0.020 等；R20 系列删去了：14.0、11.2、9.00、7.10、5.60、4.50、3.55、2.80、2.24、1.80、1.40、1.12、0.900、0.710、0.560、0.500、0.450、0.400、0.355、0.315、0.280、0.250、0.224、0.200、0.180、0.160、0.140、0.125、0.112、0.100、0.090、0.080、0.071、0.063、0.056、0.050、0.045、0.040、0.036、0.032、0.028、0.025、0.020 等；R40/3 系列删去了：13.2、11.2、9.50、6.70、5.60、4.75、3.35、2.80、2.36、1.70、1.40、1.18、0.850、0.710、0.600、0.500、0.425、0.355、0.300、0.250、0.212、0.180、0.150、0.125、0.106、0.090、0.075、0.063、0.053、0.045、0.038、0.032 等，详见原标准。

2. 本标准用于固体颗粒的筛分，液体、气体物质的过滤或其他工业用途。
3. 金属丝材料为软态黄铜、锡青铜、不锈钢和碳素钢。
4. 网幅宽度为 800mm、1000mm、1250mm、1600mm、2000mm 五种，根据需要也可制造其他网幅宽度。
5. 网段最小长度如下。

网孔基本尺寸 /mm	16.0 ~ 8.50	8.00 ~ 0.630	0.600 ~ 0.100	0.095 ~ 0.040	0.038 ~ 0.020
网段长度/m	≥2.0	≥2.5	≥2.5	≥2.5	≥1.0

6. 型号标记示例如下。

网孔基本尺寸为 1.00mm，金属丝直径为 0.355mm，  
工业用金属丝平纹编织方孔筛网为：  
GFW1.00/0.355（平纹）GB/T 5330—2003。



合成纤维网

表 3-4-2

网号 /目·(25.4mm) <sup>-1</sup>	12	14	16	18	20	25	30	40	50	60	80	100
丝径 /mm	0.55	0.4	0.4	0.35	0.35	0.35	0.3, 0.25	0.25	0.2	0.2, 0.15	0.15	0.1

注：1. 材料为尼龙 6、尼龙 1010、涤纶，耐磨耐酸碱。  
2. 幅宽为 1~2m。



## 蚕丝绢网

表 3-4-3

型号 XX	孔 (10cm)	孔径 /mm	目数 /目·(25.4 mm) <sup>-1</sup>	型号 GG	孔 (10cm)	孔径 /mm	目数 /目·(25.4 mm) <sup>-1</sup>	型号 GG	孔 (10cm)	孔径 /mm	目数 /目·(25.4 mm) <sup>-1</sup>	型号 GG	孔 (10cm)	孔径 /mm	目数 /目·(25.4 mm) <sup>-1</sup>
6	296	0.209	74	18	70	1.174	17.5	38	148	0.5	37	56	218	0.302	54.5
7	328	0.184	82	20	76	0.92	19	40	156	0.46	39	58	226	0.29	56.5
8	344	0.167	86	22	84	0.916	21	42	162	0.446	40.5	60	232	0.287	58
9	388	0.145	97	24	92	0.81	23	44	170	0.398	42.5	62	240	0.28	60
10	436	0.133	109	26	100	0.776	25	46	178	0.385	44.5	64	248	0.273	62
11	464	0.126	116	28	108	0.65	27	48	186	0.378	46.5	66	256	0.271	64
12	500	0.12	125	30	116	0.61	29	50	194	0.365	48.5	68	264	0.265	66
13	516	0.109	129	32	124	0.6	31	52	202	0.346	50.5	70	272	0.24	68
14	556	0.106	139	34	132	0.576	33	54	210	0.305	52.5	72	288	0.288	72
15	600	0.098	150	36	140	0.564	35								
16	628	0.086	157												
17	650	0.072	162.5												
18	680	0.065	170												

注: XX型和GG型筛绢,宽度为1m,每卷长约10~50m。

## 机织热镀锌六角形钢丝网

表 3-4-4


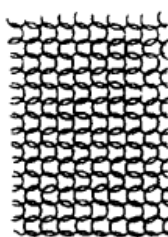
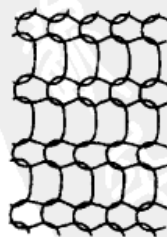
公称网孔/mm	12	16	20	25	40	50
实际网孔/mm	15 <sup>+1</sup> <sub>0</sub>	18 <sup>+1.5</sup> <sub>0</sub>	22 <sup>+1</sup> <sub>0</sub>	28 <sup>+2</sup> <sub>0</sub>	44 <sup>+1</sup> <sub>0</sub>	56 <sup>+3</sup> <sub>0</sub>
斜边长短差/mm	2.5	2.5	4	5	6	6
规格(宽×长)/m	1×50、1×30、1×25、1×20、2×50、2×20					
线径/mm	0.81、0.71、 0.64		1.25、1.07、0.89、 0.81、0.71、0.64			1.25、1.07、 0.89、0.81、0.71

注: 1. 此网适用于管道、设备绝热时的丝网。

2. 此网先织后镀,材料为低碳钢。

## 气液过滤网

表 3-4-5

	型 式	型 号		型 式	型 号		型 式	型 号
标准型		40-100型 60-150型 150-300型 140-400型 160-400型	高效型		60-100型 80-100型 80-150型 90-150型 150-300型 200-400型	高穿透型		20-100型 30-150型 70-400型 170-500型 170-600型


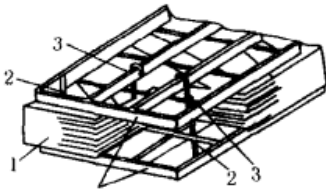
注: 1. 材料为各种不锈钢丝、镀锌铁丝、紫铜丝、磷铜丝、镍丝、钛丝; 锦纶丝、聚乙烯丝、F46丝、玻璃纤维丝; 金属丝与非金属丝交织。

2. 型号说明: 140-400型即400mm宽的网上有140个眼孔。

3. 过滤网常用于制作丝网除沫器; 用于气液分离, 除去气体夹带的雾沫。

常用丝网除沫器网块结构

表 3-4-6

型 式	说 明	型 式	说 明
<p>盘形网块</p> 	<p>用丝网卷成所需直径的网块，网块的厚度等于丝网的宽度规格。这种网块不宜用手工卷制，应用机械卷制，各卷必须卷得疏密一致，不然易产生短路，影响除沫效果。适用于直径较小的丝网除沫器</p>	<p>条形网块</p>  <p>1—网层；2—定距杆 3—钩子；4—格栅</p>	<p>条形网块是目前使用最普遍的结构。它是用丝网一层层地平铺，再在网层上面与下面各放一格栅，用定距杆与钩连接使其成为一整块，即可放在设备上使用，条形网块的尺寸形状，随公称直径与分块数量而变化</p>

注：除沫器详细规格及性能见标准 HG/T 21618—1998（丝网除沫器）。

钢板网（摘自 QB/T 3896—1999）

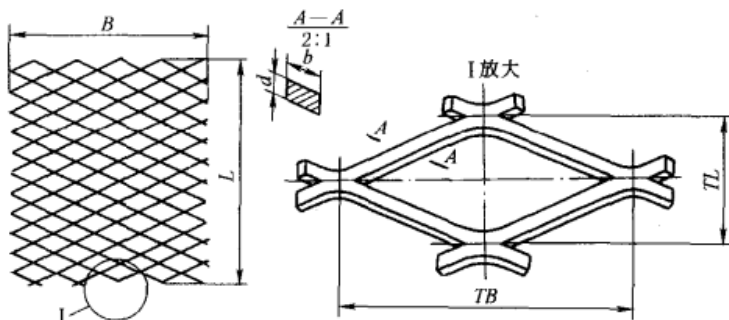


表 3-4-7

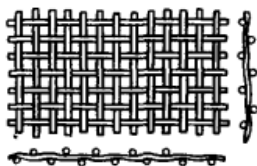
d /mm	网格尺寸/mm			网面尺寸 /mm		钢板网理论质量 /kg · m <sup>-2</sup>	d /mm	网格尺寸/mm			网面尺寸 /mm		钢板网理论质量 /kg · m <sup>-2</sup>			
	TL	TB	b	B	L			TL	TB	b	B	L				
0.5	5	12.5	1.11	2000	1000	1.74	1.0	10	25	1.10	2000	600	1.73			
	10	25	0.96		600	0.75				1.15		1000	1.81			
	14		0.62		1000	0.35				1.12		1.76				
	0.8	5	12.5		1.10	1000		2000	1.73	1.2		12	30	1.35	4000	1.77
		8	20	1.12	2000	3000		1.08	15			40	1.68	1.76		
		10	25			4000		0.88	10			25	1.13	2.13		
		12	30	1.35	600	1.20		12	30			1.35	2.12			
0.8		10	25	0.96	2000	600	1.20	1.5	18		50	2.03	2000	4000		2.11
				1.14					1000		1.43	15				40
	1.12			4000					1.41	18	50	2.03			2.66	
	12	30	1.35	2000	600	1.20	22		60	2.47	4000	2.64				
	15	40	1.68				29		80	3.25					3.54	
2.0	18	50	2.03	22	60	2.47	29	80	3.26	5000	3.53					

d /mm	网格尺寸/mm			网面尺寸/mm		钢板网 理论质量 /kg·m <sup>-2</sup>	d /mm	网格尺寸/mm			网面尺寸/mm		钢板网 理论质量 /kg·m <sup>-2</sup>			
	TL	TB	b	B	L			TL	TB	b	B	L				
2.0	36	100	4.05	2000	4000	5.33	5.0	24	60	6.0	1500	1800	19.63			
	44	120	4.95			32		80	2400			14.72				
2.5	29	80	3.26			5000		4.41	38			100	7.0	4200	8.41	
	36	100	4.05					4.42	56	150		6.0	5700	6.20		
3.0	44	120	4.95			5000		5000	5.30	6.0		32	80	7.0	2000	20.60
	55	150	4.99						38			100	2400		17.35	
	4.0	65	180		4.60		5000		4.27			56	150		3600	11.78
		22	60		4.5		6400		3.33			76	200		4200	9.92
4.0	30	80	5.0		1500	2200	12.85	7.0	40	100		8.0	2200	21.98		
	38	100	6.0			2700	10.47		60	150			3400	14.65		
	4.5	22	60			5.0	2800		9.92	80			200	4000	12.36	
30		80	6.0		2000	16.05	8.0	40	100	8.0		2200	25.12			
				2200	14.13	60		150	9.0	3000	18.84					
38	100	2800	11.16	80	200	9.0		3600	15.70							

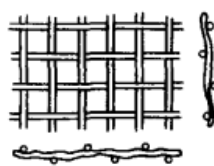
注：钢板网由薄钢板经冲切拉制而成，作安全防护及隔离用。

10.0

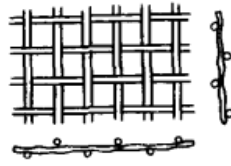
预弯成型金属丝编织方孔网 (摘自 GB/T 13307—1991)



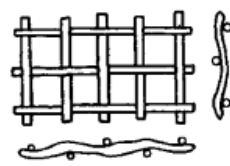
A型:双向弯曲  
金属丝编织网



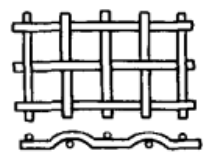
B型:单向隔波弯  
曲金属丝编织网



C型:双向隔波弯  
曲金属丝编织网



D型:销紧(定位)  
弯曲金属丝编织网



E型:平顶弯曲  
金属丝编织网

表 3-4-8

主要尺寸	补充尺寸		金属丝直径基本尺寸 d (筛分面积百分率 A <sub>0</sub> /%)	主要尺寸	补充尺寸		金属丝直径基本尺寸 d (筛分面积百分率 A <sub>0</sub> /%)
	R10 系列	R20 系列			R40/3 系列	R10 系列	
125	125	125	10.0(86)、12.5(83)、16.0(79)、20.0(74)、25.0(69)	63	63	63	8.0(79)、10.0(74)、12.5(70)、16.0(64)
		112	10.0(84)、12.5(81)、16.0(77)、20.0(72)			56	8.0(77)、10.0(72)、12.5(67)、16.0(61)
		106	10.0(84)、12.5(81)、16.0(77)、20.0(72)			53	8.0(75)、10.0(71)、12.5(65)、16.0(59)
100	100		10.0(83)、12.5(79)、16.0(74)、20.0(69)、25.0(64)	50	50		6.3(79)、8.0(74)、10.0(69)、12.5(64)、16.0(57)
	90	90	10.0(81)、12.5(77)、16.0(72)、20.0(67)		45	45	6.3(77)、8.0(72)、10.0(67)、12.5(61)、16.0(54)
80	80		10.0(79)、12.5(75)、16.0(69)、20.0(64)	40	40		6.3(75)、8.0(69)、10.0(64)、12.5(58)
		75	10.0(78)、12.5(73)、16.0(69)、20.0(62)			37.5	6.3(74)、8.0(68)、10.0(63)、12.5(56)
	71		10.0(77)、12.5(72)、16.0(67)、20.0(61)		35.5		5.0(77)、6.3(72)、8.0(67)、10.0(61)

续表

主要尺寸 R10 系列	补充尺寸		金属丝直径基本尺寸 $d$ (筛分面积百分率 $A_0/\%$ )	主要尺寸 R10 系列	补充尺寸		金属丝直径基本尺寸 $d$ (筛分面积百分率 $A_0/\%$ )
	R20 系列	R40/3 系列			R20 系列	R40/3 系列	
31.5	31.5	31.5	5.0 (74)、6.3 (69)、8.0 (64)、10.0(58)		7.1		1.8 (64)、2.0 (61)、2.5 (55)、3.15(48)
	28		5.0 (72)、6.3 (67)、8.0 (60)、10.0(54)			6.7	1.8 (62)、2.5 (53)、3.15 (46)、4.0(39)
		26.5	5.0 (71)、6.3 (65)、8.0 (59)、10.0(53)	6.3	6.3		1.6 (64)、2.0 (58)、2.5 (51)、3.15(44)
25	25		4.0 (74)、5.0 (69)、6.3 (64)、8.0(57)、10.0(51)		5.6	5.6	1.6 (60)、2.0 (54)、2.5 (48)、3.15(41)
	22.4	22.4	4.0(72)、5.0(67)、6.3(61)、8.0(54)	5	5		1.6 (57)、2.0 (51)、2.5 (44)、3.15
20	20		3.15 (75)、4.0 (69)、5.0 (64)、6.3(58)、8.0(51)			4.75	1.6 (56)、1.8 (53)、2.24 (47)、3.15
		19	4.0 (68)、5.0 (63)、6.3 (56)、8.0(50)		4.5		1.4 (58)、1.8 (51)、2.24 (45)、2.5(41)
	18		3.15 (72)、4.0 (67)、5.0 (61)、6.3(55)、8.0(48)	4	4	4	1.25 (58)、1.6 (51)、2.0 (45)、2.24(41)、2.5(38)
16	16	16	2.5 (75)、3.15 (70)、4.0 (64)、5.0(58)、6.3(51)		3.55		1.25 (55)、1.4 (51)、1.6 (48)、1.8(44)、2.0(41)
	17		2.5 (72)、3.15 (67)、4.0 (60)、5.0(54)、6.3(48)			3.35	1.0 (59)、1.25 (53)、1.8 (42)、2.24(36)
		13.2	3.15 (65)、4.0 (59)、5.0 (53)、6.3(46)	3.15	3.15		1.12 (54)、1.4 (4.8)、1.6 (44)、1.8(41)、2.0(37)
12.5	12.5		2.5 (69)、3.15 (64)、4.0 (57)、5.0(51)、6.3(44)		2.8	2.8	0.9(57)、1.12(51)、1.4、1.6 (44)、1.8(41)、2.0(37)
	11.2	11.2	2.5 (67)、3.15 (61)、3.55 (58)、4.0(54)、5.0(48)	2.5	2.5		1.0 (51)、1.12 (48)、1.25 (44)、1.4(41)、1.6(37)
10	10		2.0 (69)、2.5 (64)、3.15 (58)、4.0(51)			2.36	0.8 (56)、1.0 (49)、1.4 (39)、1.8(32)
		9.5	2.24 (65)、3.15 (56)、4.0 (50)、5.0(43)		2.24		0.71 (58)、0.9 (51)、1.12 (44)、1.4(38)
	9		1.8 (69)、2.24 (64)、2.5 (61)、3.15(55)	2	2	2	0.71 (54)、0.8 (51)、0.9 (48)、1.12(41)、1.25(38)
8	8	8	2.0 (64)、2.5 (58)、3.55 (51)、4.0(48)				

注：1. 网孔尺寸偏差如下。

网孔基本尺寸	125~63	56~18	16~11.2	12.5~11.2	10~5.6	5~2
网孔尺寸偏差	4.5	5	5.6	5.6	6.3	7
大网孔尺寸偏差	8~15	10~20	15~25	10~25	21~35	21~35

2. 网孔基本尺寸优先选用 R10 系列，其次选用 R20 系列，如果需要，也可选用 R40/3 系列。

3. 标记示例如下。

网孔基本尺寸为 10mm，金属丝直径为 2.5mm，网宽 1200mm，网长 5000mm，Q215 材料，A 型编织预弯成型网标记为 YFW10/2.50-A-Q215-1.2×5 GB/T 13307

网孔基本尺寸为 2.5mm，金属丝直径为 1.25mm，网宽 1000mm，网长 2500mm，1Cr18Ni9 材料，B 型编织预弯成型网标记为

YFW2.5/1.25-B-1Cr18Ni9-1×2.5 GB/T 13307

## 重型钢板网

表 3-4-9

mm

型号	网格尺寸				标准成品尺寸		理论质量 /kg·m <sup>-2</sup>	型号	网格尺寸				标准成品尺寸		理论质量 /kg·m <sup>-2</sup>
	丝板厚 <i>d</i>	丝板宽 <i>b</i>	短节距 <i>TL</i>	长节距 <i>TB</i>	网面宽 <i>B</i>	网面长 <i>L</i>			丝板厚 <i>d</i>	丝板宽 <i>b</i>	短节距 <i>TL</i>	长节距 <i>TB</i>	网面宽 <i>B</i>	网面长 <i>L</i>	
ZW24	4	4.5	22	60	1500 1800 2000	2000	12.84	ZW40	7	8	40	100	1500 1800 2000	1900 ~ 5000	21.98
	4.5	5					16.05		8	9					28.26
	5	6	24				19.62	5	6	56	8.41				
ZW32	4	5	30	80		2000 ~ 5000	10.46	ZW60	6	7	60	150		2000 ~ 5000	11.77
	4.5	6					14.13		7	8					14.65
	5	6	32				14.71		8	9					18.84
	6	7					20.60		5	6					76
ZW40	4	6	36	100		1900 ~ 5000	10.46	ZW80	6	8	80	200		2000 ~ 5000	9.91
	4.5	6					11.77		7	9					12.36
	5	7	38				14.46		8	10					15.70
	6	7			17.35										

注: 1. 用于大型设备的操作平台、矿用筛、高强度混凝土的钢筋等。

2. 结构同钢板网。

## 人字形铝板网

表 3-4-10

mm

板材厚 <i>d</i>	网格尺寸				错位 <i>t</i>	标准成品尺寸		理论质量 /kg·m <sup>-2</sup>	板材厚 <i>d</i>	网格尺寸				错位 <i>t</i>	标准成品尺寸		理论质量 /kg·m <sup>-2</sup>
	短节距 <i>TL</i>	长节距 <i>TB</i>	丝板宽 <i>b</i>	网面宽 <i>B</i>		网面长 <i>L</i>	短节距 <i>TL</i>			长节距 <i>TB</i>	丝板宽 <i>b</i>	网面宽 <i>B</i>	网面长 <i>L</i>				
0.4	1.7	6	0.5	1.5	500 1000	500	0.635	0.5	2.8	10	0.7	2.5	500 1000	500 1000	0.675		
	2.2	8	0.5	2			0.491		3.5	12.5	0.8	3.1			0.617		
	2.8	10	0.6	2.5			0.463		2.8	10	1.0	2.5			1.929		
0.5	1.7	6	0.5	1.5			0.794	1.0	3.5	12.5	1.1	3.1			2000	1.697	
	2.2	8	0.6	2					0.736								

## 铝板网

表 3-4-11

mm

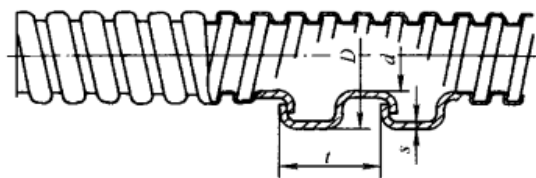
板材厚 <i>d</i>	网格尺寸			标准成品尺寸		理论质量 /kg·m <sup>-2</sup>	板材厚 <i>d</i>	网格尺寸			标准成品尺寸		理论质量 /kg·m <sup>-2</sup>			
	短节距 <i>TL</i>	长节距 <i>TB</i>	丝板宽 <i>b</i>	网面宽 <i>B</i>	网面长 <i>L</i>			短节距 <i>TL</i>	长节距 <i>TB</i>	丝板宽 <i>b</i>	网面宽 <i>B</i>	网面长 <i>L</i>				
0.1	0.8	2	0.2	≤200		0.135	0.4	2.3	6	0.6	≥400	500 1000	0.563			
	1.1	3	0.2			0.098		2.3	6	0.7			0.822			
0.2	0.8	2	0.3			0.405	0.5	3.2	8	0.8			0.675			
	1.1	3	0.3			0.295		4.0	10	0.9			0.608			
	1.5	4	0.4			0.288		5.0	12.5	1.0			0.54			
0.3	1.1	3	0.4			≤400		0.589	1.0	4.0			10	1.1	1000	1.48
	1.5	4	0.5					0.54		5.0			12.5	1.2	2000	1.296
0.4	1.5	4	0.5					0.72								

注: 1. 铝板网用优质铝合金制成, 经表面处理, 具有耐腐蚀、抗氧化性能, 主要用于各种类型仪表电气设备, 还可用于船舶建造、机车车辆修造等。

2. 结构同钢板网。

## 2 金属软管

P3型镀锌金属软管 (摘自 GB/T 3641—1983)



标记示例：公称内径为15mm的P3型镀锌金属软管

P3d15 - GB/T 3641—1983

表 3-4-12

公称内径 $d$ /mm	最小内径 $d_{\min}$ /mm	外径及偏差 $D$ /mm	节距及偏差 $t$ /mm	钢带厚度 $s$ /mm	自然弯曲直径 $R$ /mm	轴向拉力 $N$ $\geq$	理论质量 /kg·m <sup>-1</sup>
(4)	3.75	6.20 ± 0.25	2.65 ± 0.40	0.25	30	240	49.6
(6)	5.75	8.20 ± 0.25	2.70 ± 0.40	0.25	40	360	68.6
8	7.70	11.00 ± 0.30	4.00 ± 0.40	0.30	45	480	111.7
10	9.70	13.50 ± 0.30	4.70 ± 0.45	0.30	55	600	139.0
12	11.65	15.50 ± 0.35	4.70 ± 0.45	0.30	60	720	162.3
(13)	12.65	16.50 ± 0.35	4.70 ± 0.45	0.30	65	780	174.0
(15)	14.65	19.00 ± 0.35	5.70 ± 0.45	0.35	80	900	233.8
(16)	15.65	20.00 ± 0.35	5.70 ± 0.45	0.35	85	960	247.4
(19)	18.60	23.30 ± 0.40	6.40 ± 0.50	0.40	95	1140	326.7
20	19.60	24.30 ± 0.40	6.40 ± 0.50	0.40	100	1200	342.0
(22)	21.55	27.30 ± 0.45	8.70 ± 0.50	0.40	105	1320	375.1
25	24.55	30.30 ± 0.45	8.70 ± 0.50	0.40	115	1500	420.2
(32)	31.50	38.00 ± 0.50	10.50 ± 0.60	0.45	140	1920	585.8
38	37.40	45.00 ± 0.60	11.40 ± 0.60	0.50	160	2280	804.3
51	50.00	58.00 ± 1.00	11.40 ± 0.60	0.50	190	3060	1054.6
64	62.50	72.50 ± 1.50	14.20 ± 0.60	0.60	280	3840	1522.5
75	73.00	83.50 ± 2.00	14.20 ± 0.60	0.60	320	4500	1841.2
(80)	78.00	88.50 ± 2.00	14.20 ± 0.60	0.60	330	4800	1957.0
100	97.00	108.50 ± 3.00	14.20 ± 0.60	0.60	380	6000	2420.4

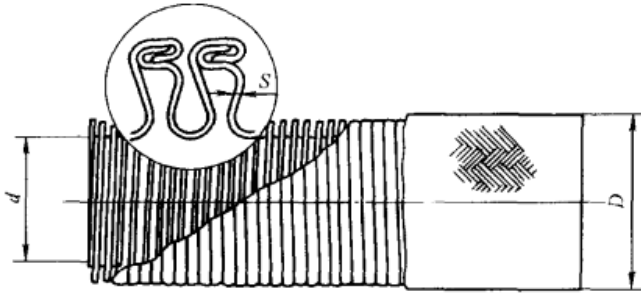
注：1. 本标准金属软管作电线保护管用，一般长度不小于3m。

2. 钢带厚度及理论质量仅供参考。

3. 括号中的规格不推荐使用。

4. 镀锌层厚度 $\geq 7\mu\text{m}$ 。

## S型钎焊不锈钢金属软管 (摘自 GB/T 3642—1983)



标记示例：公称内径为10mm的S型钎焊不锈钢金属软管  
S10-GB/T 3642—1983

用途：电缆的防护套管及非腐蚀性的液压油、燃油、润滑油和蒸汽系统的输送管道，使用温度为0~400℃，耐压密封，材料为1Cr18Ni9Ti

表 3-4-13

公称内径 $d$ /mm	最小内径 $d_{\min}$ /mm	软管外径 $D$ /mm	钢带厚度 $S$ /mm	编织钢丝直径 $d_1$ /mm	软管性能参数		理论质量 (参考) /kg·m <sup>-1</sup>
					20℃时工作压力 /MPa	20℃时爆破压力 /MPa	
6	5.9	10.8 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.13	0.3	15	45	0.209
8	7.9	12.8 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.13	0.3	12	36	0.238
10	9.85	15.6 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.16	0.3	10	30	0.367
12	11.85	18.2 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.16	0.3	9.5	28.5	0.434
14	13.85	20.2 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.16	0.3	9	27	0.494
(15)	14.85	21.2 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.16	0.3	8.5	25.5	0.533
16	15.85	22.2 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.16	0.3	8	24	0.553
(18)	17.85	24.3 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.16	0.3	7	22.5	0.630
20	19.85	29.3 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.20	0.3	7	21	0.866
(22)	21.85	31.3 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.20	0.3	6.5	19.5	0.946
25	24.80	35.3 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.25	0.3	6	18	1.347
30	29.80	40.3 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.25	0.3	5	15	1.555
32	31.80	44 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.30	0.3	4.5	13.5	1.864
38	37.75	50 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.30	0.3	4	12	2.142
40	39.75	52 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.30	0.3	3.5	10.5	2.207
42	41.75	54 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.30	0.3	3.5	10.5	2.342
48	47.75	60 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.30	0.3	3	9	2.634
50	49.75	62 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.30	0.3	2.5	7.5	2.714
52	51.75	64 <sup>0</sup> <sub>-0.3</sub>	0.30	0.3	2.5	7.5	2.795

注：1. 带括号的规格不推荐使用。

2. 软管长度不小于500mm。交货时可带、也可不带软管接头。

3. S型软管为右旋卷绕而成的互锁型结构的软管，由不锈钢带和不锈钢丝制成。管接头焊料采用HL312银钎焊或其他银基焊料。

4. 软管在出厂前按合同的耐内压要求进行液压试验，并以0.3~0.6MPa进行气密性试验。

### 3 粉末冶金材料

#### 3.1 粉末冶金结构材料

粉末冶金烧结铁基结构材料 (摘自 GB/T 14667.1—1993)

表 3-4-14

材 料	化学成分(质量分数)/%					物理力学性能					参 考 性 能				主要特点与应用举例	
	C <sub>总</sub>	Cu	Mo	Fe	其他	密度 $/g \cdot cm^{-3}$	抗拉强度 $\sigma_b/MPa$	伸长率 $\delta$ /%	冲击韧性 $a_k$ (无切口) $/J \cdot cm^{-2}$	表面硬度 HB	屈服强度 $\sigma_{0.2}/MPa$	规定比例 极限 $\sigma_{0.01}$ /MPa	弹性模 量 E $/10^3 MPa$	剩余变形 为 0.1% 的 抗压强度 $\sigma_b/MPa$		
烧 结 铁																
F0001J						6.4	100	3.0	5.0	40	70	50	78	80		塑性、韧性、焊接性与导磁性较好,适于制造受力极低、要求翻钢或焊接以及要求导磁的零件,如垫片、尺框、接铁、磁筒、极靴等
F0002J	$\leq 0.1$	—	—	余量	$\leq 1.5$	6.8	150	5.0	10.0	50	100	80	88	100		
F0003J						7.2	200	7.0	20.0	60	135	100	98	120		
F0101J	0.1					6.2	100	1.5	5.0	50	70	50	78	100		塑性、韧性、焊接性较好,可进行渗碳淬火处理,适于制造受力较小、要求翻钢或焊接以及要求渗碳淬火零件,如端盖、滑块、底座等
F0102J	~	—	—	余量	$\leq 1.5$	6.4	150	2.0	10.0	60	100	80	83	120		
F0103J	0.4					6.8	200	3.0	15.0	70	135	100	88	145		
F0111J	0.4					6.2	150	1.0	5.0	60	100	80	83	120		强度高,可进行热处理,适于制造轻负荷结构零件和及要求热处理的零件,如隔套、接头、调节螺母、传动小齿轮、油泵转子等
F0112J	~	—	—	余量	$\leq 1.5$	6.4	200	1.5	5.0	70	135	100	88	145		
F0113J	0.7					6.8	250	2.0	10.0	80	180	135	98	190		
F0121J	0.7					6.2	200	0.5	3.0	70	135	100	88	145		强度与硬度较高,耐磨性较好,可进行热处理,适于制造一般结构零件和耐磨零件,如推力垫、挡套等
F0122J	~	—	—	余量	$\leq 1.5$	6.4	250	0.5	5.0	80	180	135	93	190		
F0123J	1.0					6.8	300	1.0	5.0	90	220	180	103	245		
F0201J	0.5					6.2	250	0.5	3.0	90	190	135	93	190		强度与硬度高,耐磨性好,抗大气氧化性较好,可进行热处理,适于制造受力较大或耐磨的零件,如链轮、齿轮、推杆体、锁紧螺母、摆线转子等
F0202J	~	2~4	—	余量	$\leq 1.5$	6.4	350	0.5	5.0	100	245	180	107	295		
F0203J	0.8					6.8	500	0.5	5.0	110	345	245	122	390		
F0211J	0.4		0.5			6.4	400	0.5	5.0	120	295	190	112	345		强度与硬度高,耐磨性好,渗透性好,热稳定性好,高温回火脆性低,适于制造受力高、要求耐磨或要求调质处理的零件,如滚子、螺旋螺母、活塞环、锁紧块、齿轮等
F0212J	0.7		~	余量	$\leq 1.5$	6.8	550	0.5	5.0	130	390	295	127	440		



## 热处理状态粉末冶金铁基结构材料 (摘自 JB/T 3593—1999)

表 3-4-15

材料	牌号	化学成分(质量分数)/%					物理力学性能				
		C <sub>化合</sub>	Cu	Mo	Fe	其他	密度 /g·cm <sup>-3</sup> ≥	抗拉强度 σ <sub>b</sub> /MPa ≥	冲击初度a <sub>k</sub> (无切口) /J·cm <sup>-2</sup> ≥	表观硬度 HRA ≥	
烧结碳钢	F0102J F0103J	0.1~0.4	—	—	余量	≤1.5	6.5 6.8	(400) 450	(3.0) 3.0	45 50	
	F0112J F0113J	0.4~0.7	—	—			6.5 6.8	450 500	3.0 5.0	50 55	
	F0122J F0123J	0.7~1.0	—	—			6.5 6.8	500 550	3.0 5.0	50 55	
	烧结铜钢	F0202J F0203J	0.5~0.8	2~4			—	6.5 6.8	550 650	3.0 5.0	55 60
		烧结铜钼钢	F0211J F0212J	0.4~0.7			2~4	0.5~1.0	6.5 6.8	550 700	3.0 5.0

注: 1. JB/T 3593—1999 标准适用于 GB/T 14667.1—1993《粉末冶金铁基结构材料 第一部分 烧结铁 烧结碳钢 烧结铜钢 烧结铜钼钢》规定的烧结碳钢、烧结铜钢、烧结铜钼钢热处理状态的选材。

2. 化合碳量低于 0.4% 采用渗碳淬火。

3. 括号内数字为参考值。

## 烧结奥氏体不锈钢结构零件材料 (摘自 GB/T 13827—1992)

表 3-4-16

牌 号	类 别	性 能			化学成分(质量分数)/%							
		密度 /g·cm <sup>-3</sup> ≥	抗拉强度 /MPa ≥	硬度 HB ≥	Fe	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	C <sub>化合</sub>	其他 元素
F5001T	镍-铬	6.4	230	68	余量	8~11	17~19	—	≤2	≤1.5	≤0.08	≤3
F5001U		6.8	310	80								
F5011T	镍-铬-钼	6.4	230	68	余量	10~14	16~18	1.8~2.5	≤2	≤1.5	≤0.08	≤3
F5011U		6.8	295	75								

注: 1. GB/T 13827—1992 标准适用于镍-铬、镍-铬-钼两类不锈钢粉末通过成型和烧结而成的烧结结构零件。

2. 结构零件不同部位的密度差不大于 0.3g/cm<sup>3</sup>。

## 3.2 粉末冶金烧结金属摩擦材料 (摘自 JB/T 3063—1996)

## 铁基干式摩擦材料组成、性能及主要适用范围

表 3-4-17

牌 号	组成(质量分数)/%											平均动摩擦因数 $\mu_d$	静摩擦因数 $\mu_s$	磨损率 / $\text{cm}^3 \cdot \text{J}^{-1}$	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	表观硬度 HB	横向断裂强度 /MPa	主要适用范围						
	铁	铜	锡	铅	石墨	二氧化硅	三氧化二铝	二硫化钼	碳化硅	铸石	其他													
F1001G	65 ~75	2 ~5		2 ~10	10 ~15	0.5 ~3		2 ~4			0 ~3	>0.25	>0.45	<5.0 $\times 10^{-7}$	4.2 ~5.3	30 ~60	>50	载重汽车和矿山重型车辆的制动带						
F1002G	73	10		8	6					3														拖拉机、工程机械等干式离合器片和刹车片
F1003G	69	1.5	1	8	16	1					3.5													工程机械如挖掘机、吊车等干式离合器
F1004G	65 ~70		3 ~5	2 ~4	13 ~17			3 ~5	3 ~4	3 ~5														合金钢为对偶的飞机制动片
F1005G	65 ~70	1 ~5	2 ~4	2 ~4		4 ~6												>0.35						重型淬火吊车、缆索起重吊等制动器

注：烧结金属摩擦材料适用于制造离合器和制动器，按工作条件分为干式(G)和湿式(S)。

## 铜基干式摩擦材料组成、性能及主要适用范围

表 3-4-18

牌号	组成(质量分数)/%										平均动摩擦因数 $\mu_d$	静摩擦因数 $\mu_s$	磨损率 / $\text{cm}^3 \cdot \text{J}^{-1}$	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	表观硬度 HB	横向断裂强度 /MPa	主要适用范围						
	铜	铁	锡	锌	铅	石墨	二氧化硅	硫酸钡	其他														
F1106G	68	8	5			10	4	5			>0.15	>0.45	<3.0 $\times 10^{-7}$	5.5 ~6.5	25 ~50	>40	干式离合器及制动器						
F1107G	64	8	7		8	8	5															拖拉机、冲压及工程机械等干式离合器	
F1108G	72	5	10		3	2	8				>0.20											DLM <sub>2</sub> 型、DLM <sub>3</sub> 型等系列机床、动力头的干式电磁离合器和制动器	
F1109G	63 ~67	9 ~10	7 ~9		3 ~5	7 ~9	2 ~5			3													喷撒工艺,用于DLMK型系列机床、动力头的干式电磁离合器和制动器
F1110G	70 ~80		6 ~8	3.5 ~5	2 ~3	3 ~4	3 ~5			2	>0.25						>0.40						锻压机床、剪切机、工程机械干式离合器

铜基湿式摩擦材料组成、性能及主要适用范围

表 3-4-19

牌号	组成(质量分数)/%							平均动摩擦因数 $\mu_d$	静摩擦因数 $\mu_s$	磨损率/ $\text{cm}^3 \cdot \text{J}^{-1}$	能量负荷许用值/ cm	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	表观硬度 HB	横向断裂强度 /MPa	主要适用范围
	铜	铁	锡	锌	铅	石墨	二氧化硅								
F1111S	69	6	8		8	6	3					5.8 ~6.4	20 ~50	>60	船用齿轮箱系列离合器、拖拉机主离合器、载重汽车及工程机械等湿式离合器
F1112S	75	8	3		5	5	4	0.04 ~0.05		<2.0 $\times 10^{-8}$		5.5 ~6.4	30 ~60	>50	中等载荷(载重汽车、工程机械)的液力变速箱离合器
F1113S	73	8	8.5		4	4	2.5			8500		5.8 ~6.4	20 ~50	>80	飞溅离合器
F1114S	72 ~76	3 ~6	7 ~10		5 ~7	6 ~8	1 ~2	0.03 ~0.05				$\geq 6.7$	$\geq 40$		转向离合器
F1115S	67 ~71	7 ~9	7 ~9		9 ~11	5 ~7			0.12 ~0.17						喷撒工艺,用于调速离合器
F1116S	63 ~67	9 ~10	7 ~9		3 ~5	7 ~9	2 ~5	3				5.0 ~6.2	20 ~50	>60	喷撒工艺,用于船用齿轮箱系列离合器、拖拉机主离合器、载重汽车及工程机械等湿式离合器
F1117S	70 ~75	4 ~7	3 ~5		2 ~5	5 ~8	2 ~3	0.05 ~0.08		<2.5 $\times 10^{-8}$		5.5 ~6.5	40 ~60		重载荷液力变速箱离合器
F1118S	68 ~74		2 ~4	4.5 ~7.5	2 ~4	13.5 ~16.5	2 ~4			32000		4.7 ~5.1	14 ~20	>30	工程机械高载荷传动件,如主离合器、动力换挡变速箱等

注:见表3-4-17注。

## 3.3 粉末冶金减摩材料

粉末冶金减摩材料类型、特点及应用<sup>[2]</sup>

表 3-4-20

按润滑条件分类		特 点	说 明	用 途
有油润滑类	粉末冶金含油轴承材料(铜基、铁基)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①没有或仅有少量切削加工</li> <li>②有大量贯通的孔隙,贮油量约占容积的20%左右,能自动供油到摩擦面上</li> <li>③自润滑时,摩擦因数为0.05~0.1;供油充分时则为0.004~0.007</li> <li>④能添加固体润滑组分,改善润滑性能</li> <li>⑤有利于消声减振</li> </ul>	<p>轴承壁厚通常为2~5mm,最小不宜小于0.8~1mm。轴承长度不大于外径3倍(用于壁厚大于孔径)或不大于壁厚20倍(用于壁厚小于孔径)</p> <p>利用毛细管的作用,孔隙中含有润滑油。摩擦热使金属膨胀,孔隙缩小,将油挤到摩擦面。当线速度高、载荷小、间隙小时,易形成液体润滑,否则形成半干摩擦。运转停止,轴承冷却,孔隙增大,大部分油被吸回孔隙内,少部分留在摩擦表面,再启动时,避免完全干摩擦</p>	<p>用于不便经常加油或不能加油的场合,如放映机、冰箱电机、电风扇、洗衣机电机、磁带录音机的轴承</p> <p>含油轴承工作面尽可能不切削加工,以免切屑和油污堵塞孔隙,降低减摩性能</p>
	双金属减摩材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>①组织结构均匀,避免铅偏析、疏松等缺陷,废品率低</li> <li>②耐磨性好,比铸造轴瓦提高2倍</li> <li>③减摩组元添加范围宽</li> <li>④材料利用率高</li> <li>⑤成本低</li> </ul>	<p>钢背利用率为78%~88%,铜铅合金利用率为65%~75%,大大高于离心铸造。为了改善减摩性能,可在工作表面再镀第三层合金,合金成分中通常含锡、铅、铟等,厚度为0.02~0.03mm。这种三层结构的轴瓦承载能力高,抗咬合性好,对润滑油附着力大,耐腐蚀性强,显著地减少磨损</p>	<p>在内燃机和齿轮泵中得到广泛应用,如油泵侧板、衬套、轴套、曲轴瓦等</p>
	粉末冶金双金属套	<p>由于外层是铁基粉末或致密钢,内层是青铜粉末,不仅提高了衬套的承压能力和疲劳强度,且保留了青铜减摩性能,还可添加石墨或其他固体润滑剂</p>	<p>这种双金属套能节约大量有色金属</p>	<p>用于汽车、拖拉机、胶印机、轧钢机等设备,制作衬套、轴套、衬板、轴瓦等</p>
无油润滑类	金属塑料减摩材料(整体金属塑料、复合金属塑料)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①有较宽的工作温度范围(-200~280℃),温度超过80℃时,寿命降低</li> <li>②有较好的镶嵌性,能在一定尘埃环境中工作</li> <li>③不会产生静电,有一定抗辐射能力</li> <li>④能经受一般工业液体(如汽油、煤油、合成洗涤剂)的腐蚀</li> <li>⑤兼有金属的强度和工程塑料的自润滑性能</li> <li>⑥浸渍聚四氟乙烯表面很软,易拉伤,因此要求对偶表面<math>R_a \leq 0.2 \mu\text{m}</math>, <math>\text{HB} \geq 300</math>;热压聚甲醛塑料,表层厚度为0.3~0.4mm,可在较长时间内不需补加润滑剂,要求对偶表面<math>R_a \leq 0.4 \mu\text{m}</math>, <math>\text{HB} \geq 200</math></li> </ul>	<p>金属塑料减摩材料分两类:整体金属塑料(ZT)和复合金属材料(FH)</p> <p>整体金属塑料是由粉末冶金多孔制品或金属纤维制品,经真空浸渍聚四氟乙烯分散液和其他固体润滑剂制成</p> <p>复合金属塑料是以低碳钢板为基体,烧结球形青铜粉末为中间层,用工程塑料及添加剂作填充物,用轧制方法将塑料填充物轧入中间层的孔隙内,形成表面减摩层,三者牢固结合为一体,成为复合的自润滑材料</p>	<p>属于新型减摩材料,用途广。常用于制作衬套、轴瓦、止推垫圈、球面座、压缩机活塞环、导向环、支承环、球形补偿器密封圈、动密封环、滑板、机床横导轨、减振离合器片等,工作时不需或只需少量润滑油</p> <p>金属塑料减摩材料能适应旋转、摆动、往复等多种运动</p>

按润滑条件分类		特 点	说 明	用 途
无油润滑类	镶嵌固体润滑剂轴承材料	①是自润滑轴承材料 ②金属或非金属材料为骨架,在骨架上打孔,将固体润滑剂镶嵌在孔中,孔的面积占整个摩擦面积的25%~35%,镶嵌后精加工制成成品 ③提高使用寿命,如铁水包起重机和1150初轧机比原用轴瓦寿命高6~8倍 ④选择适当材料,提高耐腐蚀性能 ⑤耐高温、尘埃能力强	摩擦热使得固体润滑剂膨胀,自动转移到摩擦表面,形成一层润滑膜,防止金属间接触,从而减小摩擦因数、减少磨损,提高轴承的承载能力 金属骨架可选用青铜、黄铜、铸铁、铸钢和不锈钢,非金属骨架可用胶木、酚醛塑料、尼龙等。固体润滑剂可用石墨、硫化物、塑料树脂、软金属、氮化物	用于油膜不易形成的重载、低速、高温、有水汽等腐蚀工况条件,现已用于矿山、冶金、石油、地质、化工、造纸、桥梁、水力枢纽、船舶、航天等工业部门

## 粉末冶金含油轴承材料

表 3-4-21 粉末冶金减摩材料(粉末冶金滑动轴承)的成分和性能(摘自 GB/T 2688—1981)

类 别	材料牌号	化学成分(质量分数)/%								物理力学性能				
		Fe	C <sub>化合</sub>	C <sub>总合</sub>	Cu	Sn	Zn	Pb	其他	含油密度 (体积分数) /g·cm <sup>-3</sup>	含油率 /% ≥	压溃强度 /MPa >	表面硬度 HB	
铁基	FZI160	余量	<0.25	<0.5	—	—	—	—	<3.0	5.7~6.2	18	200	30~70	
	FZI165									>6.2~6.6	12	250	40~80	
	铁-碳	FZI260	余量	0.25~0.60	<1.0	—	—	—	<3.0	5.7~6.2	18	250	50~100	
		FZI265								>6.2~6.6	12	300	60~110	
	铁-碳-铜	FZI360	余量	0.25~0.60	<1.0	2~5	—	—	<3.0	5.7~6.2	18	350	60~110	
		FZI365								>6.2~6.6	12	400	70~120	
	铁-铜	FZI460	余量	—	—	18~22	—	—	<3.0	5.8~6.3	18	300	50~100	
		FZI465								>6.3~6.7	12	350	60~110	
	铜基	铜-锡-锌-铅	<0.5	—	0.5~2.0	余量	5~7	5~7	2~4	<1.5	6.6~7.2	18	150	20~50
											FZ2175	>7.2~7.8	12	200
铜-锡		<0.5	—	0.5~2.0	余量	8~11	—	—	<1.0	6.2~6.8	18	150	25~55	
										FZ2270	>6.8~7.4	12	200	35~65
铜-锡-铅	<0.5	—	0.5~2.0	余量	6~10	<1	3~5	<1.0	6.3~6.9	18	150	20~50		

表 3-4-22 常用含油轴承的成分和物理力学性能<sup>[2]</sup>

类 别	化学成分(质量分数)/%								物理力学性能				特 点	
	Fe	C	S	Cu	Sn	Zn	Pb	其他 ≤	密度/ g·cm <sup>-3</sup>	含油率 (体积分数) /%	硬度 HB	压溃强度 /MPa ≥		
铜基	铜-锡-锌-铅	<0.5	0.5~2.0	—	余量	5~7	5~7	2~4	1.3	6.5~7.1	>18	20~40	147	一般用途
	铜-锡-锌-铅	<0.4	—	—	余量	5~7	5~7	2~4	—	6.5~7.1	>18	20~40	147	一般用途

续表

类别	化学成分 (质量分数) /%								物理力学性能				特点	
	Fe	C	S	Cu	Sn	Zn	Pb	其他 ≤	密度/ $g \cdot cm^{-3}$	含油率 (体积分数) /%	硬度 HB	压溃强度 /MPa ≥		
铜基	铜-锡	—	0.5 ~2.0	—	余量	9~11	—	—	2.0	6.4	开口孔隙率 ≥22	—	120	无噪声轴承, 低负荷用
	铜-锡	—	—	—	余量	8~11	—	—	0.5	6.7	≥18	—	147	无噪声轴承
	铜-锡-铅	—	<3.0	—	余量	8~11	—	<3	0.5	6.5	≥18	—	147	自润滑性好, 较高速用
铁基	铁	余量	<0.25	—	—	—	—	—	2.0	5.4	开口孔隙率 ≥27	20~40	120	易跑合,自润 滑性好
	铁	余量	<0.25	渗入 <sup>①</sup>	—	—	—	—	—	5.0 ~5.8	少量	20~60	117	摩擦因数小, 抗咬合性好
	铁-碳	余量	0.5 ~3.0	—	—	—	—	—	—	5.8 ~6.5	12~18	30 ~110	196	硬度可调范围 大,有游离石墨 润滑
	铁-碳-硫	余量	1~2	0.5 ~1.0	—	—	—	—	—	5.8 ~6.2	—	35~70	196	摩擦因数小, 抗咬合性好
	铁-碳-硫-铜	余量	3.5	1.0	2.5	—	—	—	—	5.6 ~6.8	—	50~80	196	强度较高,抗 冲击性好
	铁-铜	余量	<0.25	—	1~4	—	—	—	2.0	5.8	开口孔隙率 22	40~80	200	强度高,抗冲 击性好

① 将熔融硫渗入孔隙,并热处理成 FeS。

表 3-4-23

三种含油轴承极限  $pv$  值 (自润滑)<sup>[2]</sup>

轴承种类	密度 $/g \cdot cm^{-3}$	含油率 (体积分数) /%	线速率 $v$ $/m \cdot s^{-1}$	压力 $p$ /MPa	极限 $pv$ 值 $/MPa \cdot m \cdot s^{-1}$
纯铁	5.9~6.1	21.0~23.3	0.10	15.30	1.53
			0.25	15.92	3.98
			0.50	7.34	3.67
			1.00	7.50	7.50
			1.50	5.17	7.76
铁-0.9% 石墨	5.8~6.0	20.7~23.2	0.10	15.60	1.56
			0.25	12.96	3.24
			0.50	14.58	7.29
			0.75	8.40	6.30
			1.00	4.30	4.30
6-6-3 青铜-1.5% 石墨	6.5~6.6	19.3~20.7	0.10	8.20	0.82
			0.25	12.20	3.05
			0.50	7.36	3.68
			1.00	6.53	6.53
			1.50	4.81	7.22

注: 1. 许用  $pv$  值通常为极限  $pv$  值的 1/2 左右。2. 有无润滑对许用  $pv$  值影响很大,如含碳量为 1.5% 的铁基含油轴承的许用  $pv$  值: 不补充供油,靠自润滑,许用  $pv$  值为 1.4~1.6MPa·m/s; 定期补油或少量供油时,许用  $pv$  值为 2.5MPa·m/s; 连续充足供油时,许用  $pv$  值为 7~10MPa·m/s; 压力供油时,许用  $pv$  值为 40MPa·m/s。

双金属含油减摩材料<sup>[2]</sup>

表 3-4-24

粉末冶金铜铅轴瓦的性能

制造方法	化学成分(质量分数)/%			抗拉强度 /MPa	硬 度 HB	密 度 /g·cm <sup>-3</sup>	金 相 组 织
	Cu	Pb	Sn				
粉末冶金	70	30	—	70	35~40	9.51	铅粒呈细小点块状,均匀分布在铜的基体上
	73.5	25	1.5	88	34~44	9.20	铅粒呈细小点块状,均匀分布在铜的基体上,并有少量铜-锡α固溶体
	62	38	—	58	35	9.55	
	72	24	4	116	50	9.10	
离心铸造	70	30	—	54	35	9.10	树枝状分布铅块,不均匀

表 3-4-25

常见的铜铅轴瓦材料应用举例

牌 号	化学成分(质量分数)/%					应用举例
	Pb	Sn	Zn	Cu	其 他	
QB-01	4~7	4~7	2~4	余量		油泵侧板、衬套、轴套
QB-02	8~11	8~11	—	余量		衬套、轴套
QB-03	8~11	4~6	—	余量		板簧衬套
QB-04	—	9~12	—	余量		离合器衬套
QB-05	19~26	2~4	—	余量	表面镀 0.02~0.03mm 三元合金	曲轴瓦、主轴瓦
QB-06	19~26	0.5~1	—	余量		

金属塑料减摩材料<sup>[2]</sup>

表 3-4-26

整体金属塑料性能

牌 号	化学成分(质量分数) /%	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	硬 度 HB	摩擦因数 <sup>①</sup>	冲击韧度 /J·cm <sup>-2</sup>	抗拉强度 /MPa	抗压强度 /MPa	压溃强度 /MPa	线胀系数 /10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
ZT-1	6-6-3 青铜(-80目):80 PbCO <sub>3</sub> (-50目):20 NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> (另加):3 浸入物: F-4:98 WS <sub>2</sub> :2	5.3~5.7	11~14	0.21	2.45~ 2.94	27.4~ 33.3	45.1 (塑性变 形0.3% 时)	55.9~ 64.7	19.58 (27~ 300℃)
ZT-2	球形青铜(Sn:9%~ 10%)(-60~+80 目):100 浸入物: F-4:95 WS <sub>2</sub> :5	5.3~5.7	—	0.15	—	—	—	176.4~196	17.3~17.5 (18~ 300℃)

① 测试设备为 MM-200 磨损试验机,干摩擦,对偶材料为 45 钢,硬度 40~45HRC,表面粗糙度  $R_a 0.4\mu\text{m}$ ,受力 137.2N,线速度 0.418m/s。

表 3-4-27

复合金属塑料性能

牌号	化学成分 (质量分数) /%	抗压强度 /MPa	线胀系数 / $10^{-5} \text{K}^{-1}$	热导率 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	摩擦因数	$pv$ 值 / $\text{MPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	说 明
FH-1	基板:磷青铜 中间层:球形青铜粉 浸入物:F-4 + 添加剂	205.8 (塑性变形 0.7%时)	17.6 ~ 18.4 (18 ~ 300℃)	0.35 ~ 0.67	$\leq 0.13$ (干摩擦)	1.96 (干摩擦)	表层为浸渍 F-4 与 添加剂混合料的薄 膜,膜厚度为 0.02 ~ 0.03mm,在运行初期 起磨合作用,使表层 一部分转移到对偶表 面,形成两个光滑表 面的摩擦,使摩擦状 态稳定,磨损小,故表 面不必切削加工。浸 渍 F-4 的金属塑料工 作温度为 -200 ~ 80℃,当环境温度升 到 120℃ 时,轴承寿 命比室温时降至 1/2,升到 200℃ 时, 寿命降至 1/3
GS-1	基板:08 钢 中间层:球形青铜粉 浸入物:F-4 + 添加剂	98 (塑性变形 0.1%时)	$\leq 30$	2.3	$\leq 0.12$ (干摩擦)	2.35 (干摩擦)	
CM	基板:08 或 10 钢 中间层:球形青铜粉 浸入物:F-4 + 添加剂	343	11 (沿表面方向) 30 (垂直表面方向)	—	—	0.98 ~ 1.63 (干摩擦)	
GS-2	基板:08 钢 中间层:球形青铜粉 浸入物:改性聚甲醛	107.6 (塑性变形 0.2%时)	$\leq 23$	1.7	$\leq 0.15$ (干摩擦) $\leq 0.05$ (脂润滑)	1.57 (干摩擦) 9.8 (脂润滑)	
STG-2	基板:08 钢 中间层:球形青铜粉 浸入物:改性聚甲醛	137.2	37 ~ 47	2.61 ~ 3.20	0.14 ~ 0.16 (干摩擦) 0.06 ~ 0.08 (脂润滑)	0.98 ~ 1.57 (干摩擦)	

镶嵌固体润滑剂轴承材料<sup>[2]</sup>

表 3-4-28

青铜基体物理力学性能

牌 号	密 度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	硬 度 HB	冲击韧度 / $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	线胀系数 / $10^{-6} \text{K}^{-1}$	伸 长 率 /%
XQZ62	8.2 ~ 8.5	180 ~ 230	30 ~ 55	15 ~ 20	> 7
XQZ63	8.5 ~ 8.7	60 ~ 90	10 ~ 25	16 ~ 18	> 18





表 3-4-29

青铜基体轴承使用性能

牌 号	润滑工况	极限载荷 /MPa	极限速率 /m·s <sup>-1</sup>	许用 $pv$ 值 /MPa·m·s <sup>-1</sup>	摩擦因数 <sup>①</sup>	适用温度 /°C
XQZ62	不加油	25	0.25	1.67	0.05~0.16	室温
	定期加油	50	0.25	3.33	0.05~0.16	250
XQZ63	不加油	15	0.42	1.00	0.05~0.16	400
	定期加油	15	2.50	1.67	0.05~0.16	400

① 在 M200 磨损试验机上测定, 镶嵌物覆盖面积占 25%~35%, 对偶材料为 45 钢, 硬度 40~45HRC, 表面粗糙度  $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。

### 3.4 粉末冶金过滤材料

烧结不锈钢过滤元件 (摘自 GB/T 6886—2001)

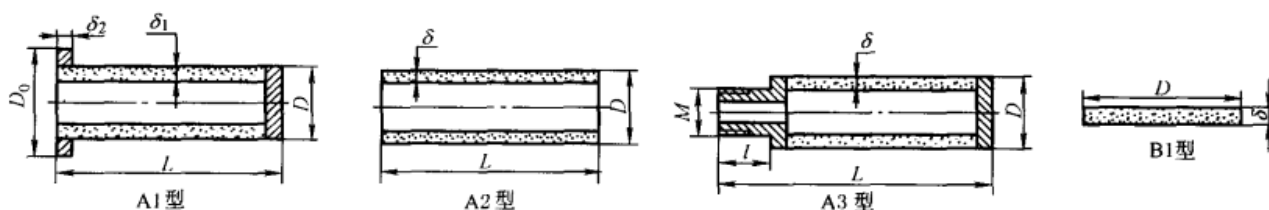


表 3-4-30

烧结不锈钢过滤元件规格

mm

型 号		直径 $D$		长度 $L$		壁厚 $\delta_1$	法兰直径 $D_0$		法兰厚度 $\delta_2$
		尺寸	允许偏差	尺寸	允许偏差		尺寸	允许偏差	
A1 型	A1-20-200	20	$\pm 0.5$	200	$\pm 2$	1~3	30	$\pm 1.0$	2~3
	A1-30-200	30	$\pm 1.0$	200	$\pm 2$		40		2~3
	A1-30-300	30	$\pm 1.0$	300	$\pm 2$		40		2~3
	A1-40-200	40	$\pm 1.0$	200	$\pm 2$		52		2~3
	A1-40-400	40	$\pm 1.0$	400	$\pm 3$		52		2~3
	A1-50-300	50	$\pm 1.5$	300	$\pm 2$		62		3~5
	A1-50-500	50	$\pm 1.5$	500	$\pm 3$		62		3~5
	A1-60-300	60	$\pm 1.5$	300	$\pm 2$		72		3~5
A1-60-500	60	$\pm 1.5$	500	$\pm 3$	72	3~5			
型 号		直径 $D$		长度 $L$		壁厚 $\delta$			
		尺寸	允许偏差	尺寸	允许偏差				
A2 型	A2-20-200	20	$\pm 0.5$	200	$\pm 2$	1~3			
	A2-30-200	30	$\pm 1.0$	200	$\pm 2$				
	A2-30-300	30	$\pm 1.0$	300	$\pm 2$				
	A2-40-200	40	$\pm 1.0$	200	$\pm 2$				
	A2-40-400	40	$\pm 1.0$	400	$\pm 3$				
	A2-50-300	50	$\pm 1.5$	300	$\pm 2$				
	A2-50-500	50	$\pm 1.5$	500	$\pm 3$				
	A2-60-300	60	$\pm 1.5$	300	$\pm 2$				
A2-60-500	60	$\pm 1.5$	500	$\pm 3$					

续表

型号		直径 $D$		长度 $L$		壁厚 $\delta$	管接头	
		尺寸	允许偏差	尺寸	允许偏差		$M$	$l$
A3 型	A3-20-200	20	$\pm 1.0$	200	$\pm 2$	1~3	M16×1.5	32
	A3-30-200	30	$\pm 1.0$	200	$\pm 2$		M16×1.5	
	A3-30-300	30	$\pm 1.0$	300	$\pm 2$		M16×1.5	
	A3-40-200	40	$\pm 1.0$	200	$\pm 2$		M20×1.5	
	A3-40-400	40	$\pm 1.0$	400	$\pm 3$		M20×1.5	
	A3-50-300	50	$\pm 1.5$	300	$\pm 2$		M20×1.5	
	A3-50-500	50	$\pm 1.5$	500	$\pm 3$		M20×1.5	
	A3-60-300	60	$\pm 1.5$	300	$\pm 2$		M20×1.5	
	A3-60-500	60	$\pm 1.5$	500	$\pm 3$	M20×1.5		

型号		直径 $D$		厚度 $\delta$	
		尺寸	允许偏差	尺寸	允许偏差
B1 型	B1-10	10	$\pm 0.2$	1~3	$\pm 0.1$
	B1-30	30	$\pm 0.5$	1~3	$\pm 0.1$
	B1-50	50	$\pm 1.0$	1~3	$\pm 0.2$
	B1-80	80	$\pm 1.5$	2~3	$\pm 0.2$
	B1-100	100	$\pm 2.0$	2~3	$\pm 0.3$
	B1-200	200	$\pm 2.5$	3~5	$\pm 0.4$
	B1-300	300	$\pm 2.5$	3~5	$\pm 0.4$
	B1-400	400	$\pm 2.5$	3~5	$\pm 0.4$

表 3-4-31

烧结不锈钢过滤元件的性能

型号	液体中阻挡的颗粒尺寸值/ $\mu\text{m}$		渗透性, $\geq$		耐压破坏强度 /MPa $\geq$	壁厚 /mm
	过滤效率 98%	过滤效率 99.9%	渗透系数 / $10^{-12}\text{m}^2$	相对透气系数 / $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kPa}^{-1}$		
SG003	3	5	0.09	18	3.0	1.0~2.0
SG006	6	10	0.23	45	3.0	1.0~2.0
SG010	10	15	0.91	90	3.0	1.5~2.5
SG016	16	24	1.81	180	3.0	1.5~2.5
SG025	25	35	3.82	380	3.0	1.5~2.5
SG035	35	55	7.29	580	2.5	1.5~3.0
SG050	50	80	9.43	750	2.5	1.5~3.0
SG080	80	120	15.10	1200	2.5	1.5~3.0

注：1. 管状元件进行耐内压破坏强度试验。

2. 各元件采用的不锈钢牌号为：1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni9、00Cr19Ni10、0Cr17Ni12Mo2、00Cr17Ni14Mo2 共 6 个牌号，其化学成分应符合 GB/T 1220 相应牌号的规定。

3. 元件的型号是按液体过滤效率为 98% 时所阻挡的固体颗粒尺寸值进行分类的。元件用于液体净化与分离，当用于气体的净化与分离时，效果更佳。

4. 阻挡颗粒尺寸值为  $10\mu\text{m}$ 、A1 型、外径为 20mm、长度为 50mm 的烧结不锈钢过滤元件，标记为：SG010-A1-20-50 GB/T 6886—2001。

烧结钛过滤元件及材料 (摘自 GB/T 6887—1986)

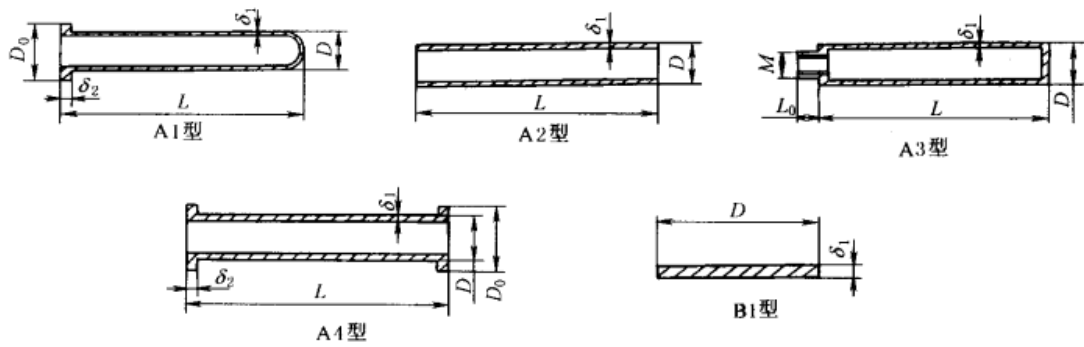


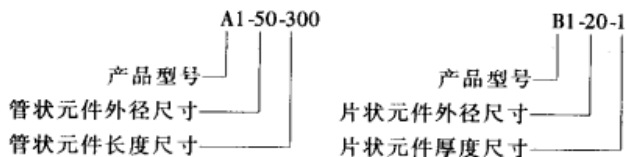
表 3-4-32

烧结钛过滤元件规格

mm

型 号	直径 $D$		长度 $L$		壁厚 $\delta_1$	法兰直径 $D_0$		法兰厚度 $\delta_2$	型 号	直径 $D$		长度 $L$		壁厚 $\delta_1$		
	公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差		公称尺寸	允许偏差			公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差			
A1型	A1-50-300	50	$\pm 3$	300	$\pm 5$	2~3	70	$\pm 2$	A2型	A2-20-100	20	$\pm 2$	100	$\pm 3$	1.5	
	A1-60-350	60	$\pm 3$	350	$\pm 5$	80	$\pm 2$	A2-20-200		200						
	A1-90-800	90	$\pm 5$	800	$\pm 10$	110	$\pm 5$	A2-20-300		300						
							A2-20-400	400								
A4型	A4-90-800	90	$\pm 5$	800	$\pm 10$	3~5	110	$\pm 5$	B1型	厚 度 $\delta_1$						
	A4-120-800	120	$\pm 5$	800	$\pm 10$	3~5	140	$\pm 5$		公称尺寸		允许偏差				
A3型					管 接 头					B1-20-1	20	$\pm 0.5$	1	$\pm 0.1$		
					螺纹尺寸 $M$		长度 $L_0$			B1-30-1	30		1.2	$\pm 0.12$		
					M20 x 1.5		27			B1-40-1.2	40		1.5	$\pm 0.15$		
	A3-50-100	50	$\pm 2$	100	0	0.8~1.2					B1-50-1.2	50	$\pm 1$	2	$\pm 0.2$	
	A3-50-200			200	-5		B1-60-1.5	60		3	$\pm 0.3$					
	A3-50-300			300	0		B1-80-1.5	80		4	$\pm 0.4$					
	A3-50-400			400	-10		B1-100-2	100		2	$\pm 0.2$					
	A3-50-500			500	0		B1-100-3	100		3	$\pm 0.3$					
	A3-60-300	60	$\pm 3$	300	0	2~3					B1-150-2	150	$\pm 2$	2	$\pm 0.2$	
	A3-60-400			400	-5		B1-150-3	150		3	$\pm 0.3$					
A3-60-600	600			0	B1-200-2		200	2		$\pm 0.2$						
A3-60-800	800			-10	B1-200-4		200	4		$\pm 0.4$						
											B1-250-2	250	$\pm 3$	2	$\pm 0.2$	
							B1-250-4	250	4	$\pm 0.4$						
							B1-300-3	300	$\pm 5$	3	$\pm 0.3$					
							B1-300-4	300		4	$\pm 0.4$					
							B1-350-4	350		5	$\pm 0.5$					

标记示例:



- 注: 1. A3型管状元件, 壁厚0.8~1.2mm是粉轧板卷焊管元件, 壁厚2~3mm是等静压管元件。
- 2. 各种型号过滤元件的基本性能按表3-4-34选用。
- 3. 适用的过滤介质: 亚硝酸酞、醋酸、硫酸、盐酸、硝酸、王水及有机酸(蚁酸、柠檬酸)。

表 3-4-33

烧结钛板材和带材尺寸规格

mm

板材	宽 度		长 度		厚 度	
	公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差
	200	0 -5	200~1000	±15	0.7,0.8,0.9,1.0 1.2,1.5,1.7,2.0	±0.1 ±0.15
300	0 -10	300~1000	±10	1.2,1.5,1.7,2.0 2.5,3.0	±0.15 ±0.25	
450	0 -15	450~800	±15	2.0,2.5 3.0,4.0	±0.2 ±0.3	

带材	宽 度		厚 度	
	公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差
	200	0 -5	0.8,0.9,1.0 1.2,1.5	±0.1 ±0.15

表 3-4-34

烧结钛过滤元件在室温下的基本性能

牌 号	开口孔隙率 /% ≥	气泡试验 最大孔径/μm ≤	渗 透 性		抗拉强度 /MPa ≥
			相对透气系数 /L·cm <sup>-2</sup> ·min <sup>-1</sup> ·mmH <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> ≥	渗透系数 /m <sup>2</sup> ≥	
			F2300G-160	25	
G2300G-100	30	100	$5.5 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-12}$	29
F2300G-60	30	60	$4 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-12}$	29
F2300G-30	30	30	$2 \times 10^{-3}$	$0.5 \times 10^{-12}$	39
F2300G-15	30	15	$0.1 \times 10^{-3}$	$0.04 \times 10^{-12}$	49

- 注：1. 产品化学成分，除氧允许不超过1.0%以外，其余应符合GB/T 2524—1981《海绵钛》中MHTi-4或NHTi-4的规定。  
2. 渗透性是在600mmH<sub>2</sub>O (1mmH<sub>2</sub>O = 9.80665Pa) 压力下测定的。  
3. 相对透气系数试验用试样厚度为1~2mm。  
4. 管状元件不进行拉力试验。

烧结镍过滤元件 (摘自 GB/T 6888—1986)

表 3-4-35

烧结镍过滤元件在室温下的基本性能

过滤元件	牌 号	气泡试验 最大孔径 /μm	渗 透 性		管状元件内压 破坏压力 /MPa ≥	壁厚 /mm
			相对渗透系数 /L·cm <sup>-2</sup> ·min <sup>-1</sup> ·mmH <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> ≥	渗透系数 /m <sup>2</sup> ≥		
			A1 型	F2400G3		
A2 型	F2400G5	5	$5.0 \times 10^{-5}$	$2.29 \times 10^{-14}$		
A3 型	F2400G10	10	$1.0 \times 10^{-4}$	$6.11 \times 10^{-14}$		
B1 型	F2400G15	15	$5.0 \times 10^{-4}$	$3.06 \times 10^{-13}$	1.5	1.5~2.0
(上述各 型号、尺寸 及图见表 3-4-30)	F2400G30	30	$1.3 \times 10^{-3}$	$9.93 \times 10^{-13}$		
	F2400G45	45	$3.0 \times 10^{-3}$	$2.29 \times 10^{-12}$		
	F2400G60	60	$5.7 \times 10^{-3}$	$4.36 \times 10^{-12}$		
	F2400G70	70	$8.0 \times 10^{-3}$	$7.34 \times 10^{-12}$		
	F2400G90	90	$1.4 \times 10^{-2}$	$1.28 \times 10^{-11}$	1	2.5~3.0
F2400G100	100	$2.0 \times 10^{-2}$	$1.83 \times 10^{-11}$			

- 注：1. F2400G的化学成分应符合GB/T 5235—1985中NY2的规定。  
2. 渗透性的测试条件：介质为空气，其黏度为 $1.83 \times 10^{-5}$ Pa·s；压差为600mmH<sub>2</sub>O (1mmH<sub>2</sub>O = 9.80665Pa) 以下。  
3. 各种型号过滤元件按本表选用基本性能。  
4. 适用的过滤介质：液态金属钠和钾、水银、氢氧化钠、氢氟酸、氟化物。

## 4 磁性材料

磁性材料的类型、牌号和用途<sup>[11]</sup>

表 3-4-36

类别与名称		牌号或代号	用途	
软 磁 材 料	工业电磁纯铁	DT3、DT4、DT5、DT6	主要制造电磁铁的铁芯和极靴、继电器和扬声器的磁导体、电话机中的振膜、电工仪表仪器零件、磁屏蔽罩,以及用于电信技术中	
	热轧电工硅钢片 冷轧电工钢带(DW型)	DW270-35、DW310-35、DW435-35、DW500-35、DW550-35、DW315-50、DW360-50、DW460-50、DG1、DG2、DG3、DQ1、DQ2、DQ3、DR530-50、DR510-50、DR490-50、DR450-50、DR420-50、DR400-50	主要用于电力工业和电信仪表工业	
	铁钴合金	1J22	特别适用于小型化、轻型化及有较高飞行要求的飞行器及仪器仪表元件的制造。制造伺服电机、饱和电抗器和变压器、电磁铁极头和高级耳膜振动片	
	中饱和和中导磁材料	冷轧带材 热轧(锻)扁材 热轧(锻)棒材	1J46、1J50、1J54、Fe-Ni 36%合金	主要用于中弱磁场范围的高频器材,如译码器、高频滤波器、间歇振荡变压器、脉冲变压器、灵敏断电器、电缆屏蔽及磁偏转示波管铁扼等
	高导磁材料	坡莫合金(铁镍系合金)	1J76、1J77、1J79、1J80、1J85、1J86	用于电信和仪器仪表中的各种音频变压器、高精度电桥变压器、互感器、磁屏蔽器、磁放大器、磁调制器、频磁头、扼流圈、精密电表中的动片及定片等
	耐磨高导磁材料	新型高镍铁镍基合金 导磁型非晶态软磁合金 铁硅铝合金  铁氧体	1J87、1J88、1J89、1J90、1J91  YEP-TB、YEP-TC、YEP-TD、YEP-TE、YEPTF、YEP-TG	用于录音机、录像机、磁盘机、数字磁带机,以及某些电影放映机的磁头、铁芯材料
矩磁材料		1J403、1J34、1J51、1J52、1J65、1J67、1J83	用来制造磁放大器、磁调制器、中小功率脉冲变压器、方波变压器和磁心存储器	
恒导磁材料		1J66	主要用于恒电感器、中功率单极脉冲变压器	

续表

类别与名称		牌号或代号	用途	
软磁材料	磁温度补偿材料	1J30、1J31、1J32、1J33、1J38	主要用于磁电式仪表、转速表、速度表、里程表、电度表、调温及与温度有关的电感、开关仪表	
	磁致伸缩材料	1J13、1J22、1J50	主要用于音频或超声波发生器振子,如水下通信和探测金属、探伤、疾病诊断,研磨、焊接,将高频率机械振动传给刀具,可以对硬质材料如玻璃、陶瓷、硬质合金进行雕刻加工	
永磁材料	铝镍钴系永磁合金	铸造合金 铝镍型 铝镍钴型 铝镍钴钛型	LN9、LN10、LNG12、LNG16、LNG34、LNG37、LNG40、LNG44、LNG52等	用于精密仪器仪表
		烧结合金(又称粉末磁钢)	FLN8、FLNG12、FLNG28、FLNG34、FLNGT31、FLNGT31J	适合生产小、薄、形状复杂的永磁体,外形光洁、尺寸精确,还可钻孔机加工
	永磁铁氧体	各向同性钡铁氧体 各向同性锶铁氧体 各向异性钡铁氧体 各向异性锶铁氧体	Y10T、Y15、Y20、Y25、Y30、Y35、Y15H、Y20H、Y25BH、Y30BH	用于精密仪器仪表、电机及簧簧接点元件、扬声器、电话机、电子仪器、家用电器、音响设备、转动机械
	稀土永磁材料	稀土钴永磁材料 RCo <sub>5</sub> 型 R <sub>2</sub> TM <sub>17</sub> 型	XGS80/36、XGS96/40、XGS112/96、XGS128/120、XGS144/120、XGS160/96、XGS196/96、XGS196/40、XGS208/44、XGS240/46	矫顽力极高,约为永磁铁氧体的3~4倍,最大磁能积高,磁体形状为小片状,最能完美地适应电子元件轻、薄、短、小的要求,但价格高。用途同永磁铁氧体
		钕铁硼合金永磁材料		同永磁铁氧体,用于伺服电机、陀螺、飞机发动机、线性加速器、音响及宇航、军事、电子工业和微机技术等,适于轻、薄、小及超小型磁性元件
	铁铬钴系永磁合金		2J83、2J84、2J85	加工性能好,弥补了上面材料不可加工的缺点。适于制造形状特殊、需机加工的磁铁
黏结(复合)永磁材料	黏结稀土永磁材料 黏结 Alnico 永磁材料 烧结铁氧体永磁密封条	YX-20G、YX-40H、YX-80H、NJ-XG40、SmCo-B、NJ-LNGT8	制造磁轴承、电冰箱和冷藏库的门封条、教具、玩具、电子仪器元件如音响设备与簧簧接点元件、复印机、传真机中的磁辊、工具固定永磁吸盘、永磁式传动装置	

类别与名称		牌号或代号	用途
半硬磁材料	磁滞合金冷轧带	淬火硬化钢 中碳钢、Cr钢、Co-Cr钢 α-γ 相变合金 Fe-Co-V (Cr) 系合金 Fe-Mn 系合金 Fe-Ni 系合金 1J4 (相当于国外的 P-6)、2J7、2J9、2J10、2J11、2J12、2J4、2J51、2J52、2J53、2J31、2J32、2J33、2J63、2J64、2J65、2J67 两相分散型合金 Fe-Mn-Co 系合金、Fe-Mn-Ti 系、Fe-Ni15% - Al3% Ti 系合金	用于磁滞电机、自保持型继电器如铁簧继电器、门锁继电器、剩磁舌簧继电器及半固定存储器、磁翻板显示器、磁离合器、报警器
	磁泡材料	稀土亚铁磁性石榴石 ( $R_3Fe_5O_{12}$ , 简称 RIG) 单晶薄膜 代号 RIG $Gd_3Ga_5O_{12}$ 型单晶薄膜 代号 GGG	磁泡直径可控制为几微米乃至亚微米,任人操纵以完成器件功能,实现信息的传输、存取、复制和读出、修改,制造磁泡存储器,制备完成器件功能的图案如传输图案、检出器、控制发生器、开关、消灭器、复制转移门,其应用位于众多信息存储技术之首,存取速度快
	磁记录介质材料	磁粉涂布型介质 $\gamma-Fe_2O_3$ 磁粉 包钴 $\gamma-Fe_2O_3$ 磁粉 $CrO_2$ 磁粉 金属磁粉 1128 型、0222 型、1072 型、1126 型 片状 Ba 铁氧体微粉 连续薄膜型磁记录介质 溅射 Co- $\gamma-Fe_2O_3$ 薄膜 电镀 Co 系薄膜介质 化学镀 Co 系薄膜介质 真空蒸镀 Co-Ni 合金金属膜磁带	在计算机技术中,用于高速、大容量的数字磁记录装置,如硬磁盘、软盘、磁带机、磁鼓及磁卡片机等 在军事和空间科学方面,用于高空侦察机、资料卫星、宇宙飞船、人造卫星、飞机的飞行记录 广播电视中,用于高清晰录像带、电影制片、信息复制等 用于在科研和工农业生产中的数据磁带,高速、高密度记录所得的各种信息资料 在科研中,用于测量分析压力、应力、位移、温度、流量等物理量的变化过程的磁带记录器;在农业中,可用于研究农作物的连续生长变化过程的磁带记录器
磁性液体	磁液 (由磁性微粒、界面活性剂和载液三者组成,呈液体状态)		用于磁液陀螺、加速度表、光纤、连接装置、机器人的筋肉、工业用机械手、水下低频声波发生器、显示磁带磁迹、检查磁头缝隙、磁性显影剂、软磁路、磁液研磨、磁液水平仪、磁液驱动装置、选矿、无摩擦开关、继电器、密度计、各种习惯性阻尼器、减振器、联轴器、制动器、磁液轴承、磁场传感器、光传感器、电流计、磁强计、激光稳定器、光计算机超声波传递、外科手术的“磁刀”、放射治疗的显影剂、磁液高音扬声器、密封、轴承润滑、机器人关节、机械手夹钳、能量转换装置等

## 铁钴钒永磁合金 (摘自 GB/T 14989—1994)

表 3-4-37

冷拉丝材		冷轧带材				长度/mm	用途
直径/mm	偏差/mm	厚度/mm		宽度/mm			
		尺寸	偏差	尺寸	偏差		
0.5~1.0	±0.02	0.20~0.40	-0.03	50~120	±0.05	300	制作小截面永磁铁
>1.0~2.0	±0.03	>0.40~0.60	-0.05				
>2.0~3.0	±0.05	>0.60~0.80	-0.07				

## 磁性能及化学成分

合金 牌号	磁性能						化学成分(其余为Fe) (质量分数)/%		
	丝材			带材			Co	V	其他元素
	矫顽力 $H_c$ /Oe( $\text{kA} \cdot \text{m}^{-1}$ )	剩余磁感应 强度 $B_r$ /Gs(T)	$B_r H_c$ /Gs · Oe	矫顽力 $H_c$ /Oe( $\text{kA} \cdot \text{m}^{-1}$ )	剩余磁感应 强度 $B_r$ /Gs(T)	$B_r H_c$ /Gs · Oe			
2J31	300 (23.88)	10000 (1.0)	$3.0 \times 10^6$	220 (17.51)	10000 (1.0)	$2.4 \times 10^6$	51~53	10.8~11.7	C≤0.12 Mn≤0.7
2J32	350 (27.86)	8500 (0.85)	$3.0 \times 10^6$	300 (23.88)	7500 (0.75)	$2.4 \times 10^6$	51~53	11.8~12.7	Si≤0.7 P≤0.025 S≤0.02
2J33	400 (31.84)	7000 (0.70)	$3.0 \times 10^6$	350 (27.86)	6000 (0.60)	$2.3 \times 10^6$	51~53	12.8~13.8	Ni≤0.7

注: 制造厂应提供最大磁能积  $(BH)_{\max}$  数据, 但不作为考核依据。

## 变形永磁钢 (摘自 GB/T 14991—1994)

表 3-4-38

热锻(轧)棒材			热轧扁材				冷轧带材			
直径/mm	直径偏差/mm	长度/mm ≥	厚度/mm	厚度偏差/mm	宽度/mm	宽度偏差/mm	厚度/mm	厚度偏差/mm	宽度/mm	宽度偏差/mm
31~45	+2 -1	200	3~6	±0.3	20~100	±3.0	0.4~0.6	-0.05	40~120	±0.5
>45~70	±2						>0.6~0.8	-0.07		
>70~100	+3 -2						>0.8~1.0	-0.09		
(10~20)	±0.5	500	>15~20	±0.5	>1.0~1.5	-0.11	>1.5~2.0	-0.13		
(>20~30)	±0.8		>20~25	±0.6	>2.0~2.5	-0.15	>2.5~3.0	-0.17		



磁性能及化学成分

牌号	磁性能			硬度 HB ≤	化学成分(其余为Fe)(质量分数)/%							
	矫顽力 $H_c$ /Oe( $kA \cdot m^{-1}$ )	剩余磁 感应强度 $B_r$ /Gs(T)	$B_r H_c$ /Gs · Oe		C	Cr	W	Co	Mo	Mn	Si	其他元素
2J63	62(4.93)	9500 (0.95)	$0.59 \times 10^6$	285	0.95 ~ 1.1	2.8 ~ 3.6	—	—	—	0.2 ~ 0.4	0.17 ~ 0.4	P ≤ 0.03 S ≤ 0.02 Ni ≤ 0.03 (2J65: N ≤ 0.06)
2J64	62(4.93)	10000 (1.0)	$0.62 \times 10^6$	321	0.68 ~ 0.78	0.3 ~ 0.5	5.2 ~ 6.2	—	—	0.2 ~ 0.4	0.17 ~ 0.4	
2J65	100(7.96)	8500 (0.85)	$0.85 \times 10^6$	341	0.9 ~ 1.05	5.5 ~ 6.5	—	5.5 ~ 6.5	—	0.2 ~ 0.4	0.17 ~ 0.4	
2J67	260(20.89)	10000 (1.0)	$2.6 \times 10^6$	263	≤ 0.03	—	—	11 ~ 13	16.5 ~ 17.5	0.1 ~ 0.5	≤ 0.3	P, S ≤ 0.025

注: 1. 制造厂应提供最大磁能积  $(BH)_{max}$  数据, 但不作为考核依据。

2. 变形永磁钢用于制作永久磁铁, 其中 2J63、2J64 可制成棒材、扁材和带材; 2J65、2J67 可制成棒材、扁材。

## 5 复合材料

### 5.1 复合钢板

#### 不锈钢复合板和钢带

表 3-4-39 不锈钢复合板和钢带尺寸 (摘自 GB/T 8165—1997)

项目	级 别			总厚度/mm			复层厚度/mm			基层厚度/mm		宽度(B)偏差/mm				
				尺寸	允许偏差/%		尺寸	偏差		复合板	复合带	B < 1450	B ≥ 1450			
	I 级	II 级	III 级		I、II 级	III 级		I 级	II 级				III 级			
代号	爆炸法	B I	B II	B III	4* ~ 8*	+10 -8	±9	0.5 ~ 14 通 常为 2 ~ 3 或由 供需 双方 协商	±9% 板 厚, 且 ≤ 1mm	± 10% 板厚, 且 ≤ 1mm	最小厚度 为 6 mm	最小厚度 由供需 双方协 商	按 GB 709	+6 0	+10 0	+15 0
	轧制法	R I	R II	R III	> 8 ~ 15	+9 -7	±8							+20 0	+25 0	+30 0
	爆炸轧 制法	BR I	BR II	BR III	16 ~ 25	+8 -6	±7								+25 0	+30 0
用途		用于 不允许 有未结 合区存 在的、 加工时 要求严 格的构 件上	用于 可允许 有少量 未结合 区存在 的构 件上	用于 复层材 料只作 为抗腐 蚀使用 的一般 构件	26 ~ 30	+7 -5	±6									
					31 ~ 60	+6 -4	±5									
					> 60	协商	协商									

注: 1. 带 \* 者仅用于不锈钢复合钢带。

2. 复合钢板宽度为 1450 ~ 3000mm, 复合钢带宽度为 1000 ~ 1400mm, 两者长度为 4000 ~ 10000mm。

表 3-4-40 不锈钢复合板和钢带技术性能 (摘自 GB/T 8165—1997)

化 学 成 分				结合率 /% ≥			界面抗剪切 强度 /MPa ≥			屈服点 $\sigma_s$ /MPa ≥	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa ≥	伸长率 $\delta$ /% ≥	冲击功 $A_{KV}$ /J	弯曲试验结果 (冷弯性能)	
复 层		基 层		I 级	II 级	III 级	I、II 级	III 级	内弯					外弯	
典型钢号	执行标准	典型钢号	执行标准							基层钢板标准值	基层钢板标准下限值, 且不大于上限值 35MPa	基层钢板标准值	符合基层钢板规定		在弯曲部分的外侧不得产生裂纹, 复合界面不允许分层
0Cr13															
0Cr13Al															
0Cr17		Q235-A	GB 3274	100	99	95	210	200							
0Cr17Ti		Q235-B	GB 713												
0Cr18Ni9	GB/T 3280	20	GB 3531	式中 $\sigma_{s1}$ 、 $\sigma_{b1}$ ——复层钢板屈服点和抗拉强度下限值, MPa; $\sigma_{s2}$ 、 $\sigma_{b2}$ ——基层钢板屈服点和抗拉强度下限值, MPa; $t_1$ 、 $t_2$ ——复层和基层钢板厚度, mm ①屈服点下限也可按下式计算: $\sigma_s = \frac{t_1 \sigma_{s1} + t_2 \sigma_{s2}}{t_1 + t_2}$ ②抗拉强度下限值也可按下式计算: $\sigma_b = \frac{t_1 \sigma_{b1} + t_2 \sigma_{b2}}{t_1 + t_2}$											
0Cr18Ni10Ti	GB/T 4237	20R	GB 6654												
00Cr19Ni10		20g	YB/T 40												
0Cr17Ni12Mo2		Q345	YB/T 41												
00Cr17Ni14Mo2		15CrMoR													
00Cr18Ni5Mo3Si2															

注: 1. 复层不进行冲击功试验。

2. 复层应按 GB/T 3280、GB/T 4237 规定, 经晶间腐蚀试验合格后进行复合。复合后成品可根据需方要求, 按相应标准进行晶间腐蚀检验。

3. 复合钢板、钢带应经热处理, 复层表面应经酸洗钝化或抛光处理交货。

表 3-4-41 上钢三厂和重钢生产的不锈钢复合钢板

钢 号	厚度/mm	宽度/mm	长度/mm	使用温度/℃	用 途
1Cr18Ni9Ti + Q235	$\frac{2 \sim 3}{6 \sim 18}$	1000	2000	400	适用于制造各种需防锈蚀的容器、管、槽和有害气体的防护罩、通风管等
1Cr17Ni13Mo2Ti + Q235					
1Cr18Ni9Ti + Q235	$\frac{2 \sim 4}{6 \sim 30}$	1400 ~ 1800	4000 ~ 8000	400	
0Cr18Ni9Ti + Q235					
Cr18Ni12Mo2Ti + Q235					
1Cr18Ni9Ti + 20g					
1Cr18Ni9Ti + Q345					
Cr18Ni12Mo2Ti + Q345					

注: 1. 厚度栏分子表示复层不锈钢板的厚度, 分母表示复合钢板的总厚度。

2. 钢板按协议供货。

3. 上钢三厂是上海钢铁三厂的简称, 重钢是重庆钢铁厂的简称。

钛-钢复合板 (摘自 GB/T 8547—1987)

钛-钢复合板的尺寸及技术要求

厚度/mm	厚度允许偏差/mm	宽度允许偏差/mm		长度允许偏差/mm		平面度/mm·m <sup>-1</sup>	拉伸试验		剪切试验 剪切强度 τ /MPa	弯曲试验			面积结合率		复层		基层		
		≤1600	1600~2200	≤1600	1600~2800		2800~4500	抗拉强度 σ <sub>b</sub> /MPa		伸长率 δ/%	0类	1类	2类	0类	1类	2类		厚度	钢号
8~18	+0.8	+15	+30	+15	+25	0类	2类	1类	2类	0类	1类	2类	0类	>98%, 单个不结 合区的长 度≤75mm, 其面积 ≤45cm <sup>2</sup>	>95%, 单个不结 合区的长 度≤60mm, 其面积 ≤60cm <sup>2</sup>	按 GB/T 709— 1988的 规定执行	压力容器 用碳素钢和 低合金钢、 锅炉用的碳 素钢、船体 用结构钢的 有关牌号		
19~28	±1.0	±1.2	±1.5	±1.0	±1.5	≤8	≤15	≥138	≥196	≥180	按 复材标准 规定厚度 的3倍	按 复材标准 规定厚度 的2倍	按 复材标准 规定厚度 的2倍	TA1、 TA2、 +10+20Ti-0.3 -20-10Mo-0.8 Ni、Ti- 0.2Pd	按 GB/T 709— 1988的 规定执行	压力容器 用碳素钢和 低合金钢、 锅炉用的碳 素钢、船体 用结构钢的 有关牌号			
29~30	±1.2	+50	0	+50	0	≤8	≤15	≥138	≥196	≥180	按 复材标准 规定厚度 的3倍	按 复材标准 规定厚度 的2倍	按 复材标准 规定厚度 的2倍	TA1、 TA2、 +10+20Ti-0.3 -20-10Mo-0.8 Ni、Ti- 0.2Pd	按 GB/T 709— 1988的 规定执行	压力容器 用碳素钢和 低合金钢、 锅炉用的碳 素钢、船体 用结构钢的 有关牌号			
31~46	±1.5	+50	0	+50	0	≤8	≤15	≥138	≥196	≥180	按 复材标准 规定厚度 的3倍	按 复材标准 规定厚度 的2倍	按 复材标准 规定厚度 的2倍	TA1、 TA2、 +10+20Ti-0.3 -20-10Mo-0.8 Ni、Ti- 0.2Pd	按 GB/T 709— 1988的 规定执行	压力容器 用碳素钢和 低合金钢、 锅炉用的碳 素钢、船体 用结构钢的 有关牌号			
47~64	±1.5	+50	0	+50	0	≤8	≤15	≥138	≥196	≥180	按 复材标准 规定厚度 的3倍	按 复材标准 规定厚度 的2倍	按 复材标准 规定厚度 的2倍	TA1、 TA2、 +10+20Ti-0.3 -20-10Mo-0.8 Ni、Ti- 0.2Pd	按 GB/T 709— 1988的 规定执行	压力容器 用碳素钢和 低合金钢、 锅炉用的碳 素钢、船体 用结构钢的 有关牌号			

注: 1. 复层厚度允许偏差指复层名义厚度的允许偏差。

2. 爆炸钛-钢复合板生产分0类、1类、2类, 其代号分别为B0、B1和B2, “B”为“爆”字汉语拼音首字, 爆炸-轧制钛-钢复合板生产分1类和2类, 其代号分别为BR1和BR2, “BR”为“爆”和“热”字汉语拼音首字, 0类为用于过渡接头、法兰等的高结合强度, 且不允许不结合区存在的复合板, 1类为用于将钛材作为强度设计的或特殊用途的复合板, 如管板等, 2类为用于将钛材作为耐腐蚀设计而不考虑其强度的复合板, 如筒体等。

3. 复合板复层和基层应符合表中的规定, 表中所列的复层与基层可以自由结合。经供需双方协商也可提供其他复层或基层的复合板。

4. 爆炸-轧制复合板的伸长率可由供需双方协商确定。

5. 复合板的平面度应符合表中的规定。需方有特殊要求时, 可由供需双方协商确定。

6. 复合板四角应切成直角, 切斜应不大于其长度或宽度的允许偏差。厚度大于18mm或长度大于2800mm的复合板允许用其他切割方法切边。需方同意时, 可不切边交货。

7. 复合板复层的表面不允许有裂纹、起皮、压折、金属或非金属夹杂物等宏观缺陷, 允许有不超出复层厚度公差之半的划伤、凹坑、压痕等缺陷。

8. 允许顺加工方向清除复层表面的局部缺陷, 但清理后复层的厚度不得小于其最小允许厚度。

9. 复层表面未贯穿到基层的较小缺陷允许焊接修补, 修补后的表面应与复层表面齐平。

10. 当用户要求时, 供方可以进行基层的拉伸试验, 其抗拉强度应达到基层相应标准的要求。

11. 宽度大于1100mm或长度大于2200mm的复合板允许复层或基层拼焊。复层或基层的拼焊焊应满足以下条件: 复层焊缝和基层焊缝应经无损检验, 其判定标准及焊缝要求

由供需双方协商确定; 拼板最小板宽不小于300mm; 基层和复层对接焊缝距离不小于100mm。

12. 爆炸复合板以原始表面交货, 长度小于3000mm的以酸洗表面交货。需方对表面有特殊要求时, 可由供需双方协商确定。

13. 复合板以爆炸 (B) 或爆炸-轧制 (BR) 状态交货。爆炸复合板一般以消除应力 (M) 状态供应, 其热处理制度按如下要求执行: 热处理温度为  $540^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ ; 保温时间小于 3h; 加热和冷却速度为  $80 \sim 200^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

14. 复合板的抗拉强度理论下限标准值  $\sigma_B$  按下列公式计算:

$$\sigma_B = \frac{t_1 \sigma_1 + t_2 \sigma_2}{t_1 + t_2}$$

- 式中  $\sigma_1$  —— 基层抗拉强度下限标准值, MPa;  
 $\sigma_2$  —— 复层抗拉强度下限标准值, MPa;  
 $t_1$  —— 基层厚度, mm;  
 $t_2$  —— 复层厚度, mm。

15. 标记示列如下。

复层厚度为 6mm 的 TA2、基层厚度为 30mm 的 Q235 钢、宽度为 1000mm、长度为 3000mm、消除应力状态的 1 类爆炸复合板标记为

TA2/Q235 B1 M 6/30 x 1000 x 3000 GB 8547—1987

复层厚度为 2mm 的 TA1、基层厚度为 10mm 的 Q235 钢、宽度为 1100mm、长度为 3500mm 的 2 类爆炸-轧制复合板标记为

TA1/Q235 BR2 2/10 x 1100 x 3500 GB 8547—1987

表 3-4-43

钛-钢复合板基材和复材的化学成分

钢号	主要成分(质量分数)/%						杂质含量(质量分数)/%, ≤					
	Ti	Mo	Ni	Pd	Fe	Si	C	N	H	O	其他元素总和	
基	—	—	—	0.12~0.25	0.3	0.1	0.1	0.03	0.015	0.25	0.3	
基	—	0.2~0.4	0.6~0.9	—	0.3	0.1	0.08	0.03	0.015	0.25	0.3	
复材	应符合 GB/T 3620.1—1994《钛及钛合金牌号和化学成分》的规定											
TA1	应符合相应标准的规定											
TA2	应符合相应标准的规定											

注: 带 \* 者其他元素含量出厂时不检验。



钛-不锈钢复合板 (摘自 GB/T 8546—1987)

表 3-4-44

种类(代号)	厚度/mm	厚度允许偏差/mm	宽度允许偏差/mm			长度允许偏差/mm			拉伸试验		剪切试验	弯曲试验		分离试验 分离强度 $\sigma_t$ /MPa				
			$\leq 1100$	$> 1100 \sim 1600$	$> 1600 \sim 2200$	$\leq 1100$	$> 1100 \sim 1600$	$> 1600 \sim 2800$	抗拉强度/MPa	伸长率/%		内弯	外弯		弯曲角 $\alpha$ /( $^\circ$ )	内弯	外弯	
0类(B0) 用于过渡接头、法兰等高强度, 不允许不结合区存在的某些特殊用途																		
1类(B1) 钛材参与强度设计的复合板, 或复合板需进行严格加工的构件, 如管板等	8 ~ 18	$\pm 0.8$	+10 0	+15 0	+20 0	+15 0	+20 0	+30 0	$\geq \sigma_B$	大于基 材或 复材 标准 中较 低一 方观 定值	$\geq 197$		按 复材 标准 确定	按 基材 标准 不够 2倍 时取 2倍	为 复合 板厚 度的 3倍			
2类(B2) 钛材作为耐蚀设计, 不参加强度设计的复合板, 如筒体等	19 ~ 28	$\pm 1.0$	+50 0	+50 0	+50 0				协									
	29 ~ 46	$\pm 1.2$	+50 0	+50 0	+50 0	+50 0	+50 0	+50 0										0类: $\geq 274$
	47 ~ 64	$\pm 1.5$	+50 0	+50 0	+50 0	+50 0	+50 0	+50 0										

注: 1. 复合板的抗拉强度理论下限标准值  $\sigma_B$  按表 3-4-42 注 14 的公式计算。  
 2. 复合板进行弯曲试验, 弯曲部分的外侧不允许产生裂纹, 复合界面不允许分层。  
 3. 复合板采用爆炸方法制成。

## 铜-钢复合钢板 (摘自 GB/T 13238—1991)

表 3-4-45

总厚度/mm		复层厚度/mm		长度/mm		宽度/mm	
公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差
8~30	+12% -8%	2~6	±10%	≥1000	+25 -10	≥1000	+20 -10
复合钢板材料牌号							
复层	Tul		T2		B30		
基层	Q235、20g、16Mng		20R、16MnR、16Mn		20		
复合钢板力学性能及用途							
抗拉强度 $\sigma_b$	≥	$\sigma_b = \frac{l_1 \sigma_1 + l_2 \sigma_2}{l_1 + l_2}$		式中 $\sigma_b$ ——复合钢板的抗拉强度, MPa; $\sigma_1$ ——基材抗拉强度下限值, MPa; $\sigma_2$ ——复材抗拉强度下限值, MPa; $l_1, l_2$ ——基材、复材的厚度, mm			
伸长率 $\delta_5/\%$	≥	基材标准的规定值					
抗剪强度 $\tau_b$	≥	100MPa					
用途	制造耐腐蚀的压力容器和真空设备						

注: 经供需双方协商可供应其他规格及允许偏差的板材。板材长度可按需方名义尺寸倍尺供料。

## 塑料复合薄钢板

表 3-4-46

复材	基材	基层厚度/mm	复层厚度/mm	宽度×长度/mm	工作温度	用途
软质和半软质聚氯乙烯塑料薄膜 (可复合成两面塑料)	BY1 BY2	0.35	0.15~0.20	(900~1000)× (1500~2000)	在 10~60℃ 时可长期使用, 短期可耐 120℃	排气通风道, 电解槽, 食盐中和槽, 硝酸、硫酸及盐酸桶, 电器外壳, 配电盘等
		0.50				
		0.70				
		0.80				
		1.00				
		1.20				
		1.50				
2.00						

注: 1. 耐化学性好, 能耐浓酸、浓碱及醇类的侵蚀, 耐水性好, 对有机溶剂的耐蚀差 (如酮、酯、醛、芳香族等)。

2. 具有普通钢板所应有的切断、弯曲、深冲、钻孔、铆接、咬合、卷边等加工性能。加工温度在 20~40℃ 之间为最佳。

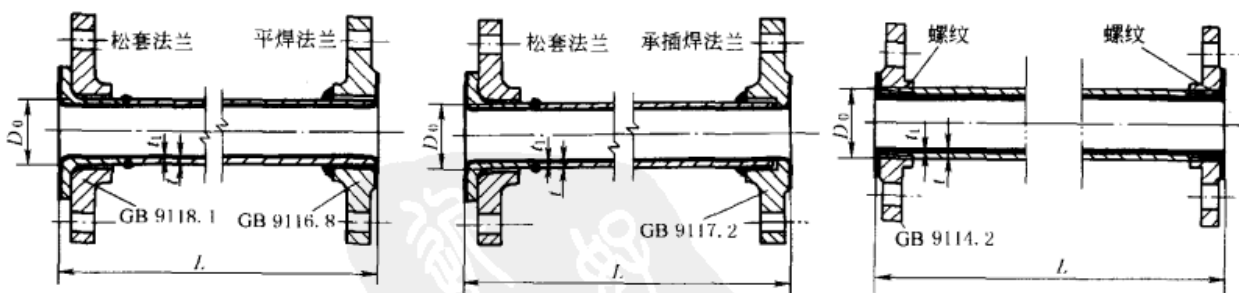
塑料-青铜-钢背三层复合自润滑板材<sup>[7]</sup>

表 3-4-47

项 目	类 型											
	I				II				III			
名 称	改性聚四氟乙烯-青铜-钢背三层复合材料				改性聚甲醛-青铜-钢背三层复合材料				填充增强酚醛-青铜-钢背三层复合材料			
结构及特点	以钢板为基体、多孔青铜为中间层、塑料为表面层制成。复合材料的物理力学性能取决于基体；摩擦、磨损性能取决于塑料；多孔性青铜为媒介，从而使结合更可靠，结合强度高于喷涂和胶接，一旦塑料磨损，露出青铜，也不致严重磨损轴，三层复合材料具有自润滑性能											
用 途	特别适用于无油润滑条件				特别适用于边界润滑及无油润滑				特别适用于水润滑条件			
	用于卷制轴承、轴瓦、止推垫片、滑块、机床导轨、闸门滑道、球座及关节轴承垫层等滑动摩擦副											
板材公称尺寸/mm	板厚	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5	20	40	
	板厚公差	0.05		0.06	0.07	0.05		0.06	0.07			
	长度×宽度	500×120										
板材压缩永久变形/mm	压力 280MPa 时, ≤0.08					压力 140MPa 时, 有油坑: ≤0.05 无油坑: ≤0.04					压力 250MPa 时, ≤0.10	
板材磨痕宽度/mm	干摩擦	≤6.0				≤5.5(脂润滑)				≤2.5(水润滑)		
	油润滑	≤4.5										
摩擦因数	干摩擦	≤0.20				≤0.50				≤0.12(水润滑)		
	油润滑	≤0.08				≤0.10(脂润滑)						
线胀系数/℃ <sup>-1</sup>	数值	≤30×10 <sup>-6</sup>				≤70×10 <sup>-6</sup>						
	温度范围	20~180℃				0~80℃						
热导率/W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	≥2.3					≥1.7						

## 5.2 衬里钢管和管件

衬聚四氟乙烯钢管和管件 (摘自 HG/T 21562—1994)



平焊法兰 DN &gt; 80

承插焊法兰 DN ≤ 80

(a) 一端固定法兰、另一端松套法兰

(b) 突面带颈螺纹法兰连接

适用压力和温度:

聚四氟乙烯管成型方式	正 压		负 压	
	使用温度/℃	公称压力/MPa	温度/℃	负压/kPa
缠绕管	> -20 ~ 150	≤0.6	> 0 ~ 110	-95
焊接管	> -20 ~ 180	≤1.0	> 110 ~ 140	-65
推、挤压管	> -20 ~ 180	≤1.6	> 140 ~ 180	-40

表 3-4-48

衬聚四氟乙烯直管

mm

公称直径 DN	管子 外径 $D_0$	壁 厚				管长 $L$			说 明
		钢管 $t$ (最小)		聚四氟乙烯管 $t_1$		推、挤压管	缠绕管	焊接管	
		图(a)	图(b)	推、挤压管	缠绕管				
25	33.7	2.9	3.2	2	1.2	3000、 6000	3000	3000	①HG/T 21562—1994 不适用于采用喷涂聚四氟乙烯的钢管和管件,也不适用于粘贴法加工的衬里钢管和管件 ②聚四氟乙烯焊接管最小壁厚为2mm ③钢管采用 HG 20533《化工配管用无缝及焊接钢管尺寸选用系列》中 I 系列;若工程需要 II 系列时,请见标准 HG/T 21562—1994 附录 A ④铸钢(仅有管件)衬聚四氟乙烯详细规格见 HG/T 21562—1994
32	42.4	2.9	3.6	2	1.25				
40	48.3	2.9	3.6	2.5	1.3				
50	60.3	3.2	4.0	2.5	1.35				
65	76.1	4.5	5.0	3	1.4				
80	88.9	4.5	5.6	3	1.45				
100	114.3	5.0	5.9	3.5	1.5				
125	139.7	5.0	6.3	3.5	1.6				
150	168.3	5.6	7.1	4	1.8				
200	219.1	6.3	8.0	4.5	2				
250	273.0	6.3	8.8	5	2.2				
300	323.9	6.3	10.0	6	2.4				
350	355.6	6.3	11.0		2.6				
400	406.4	6.3	12.5		2.8				

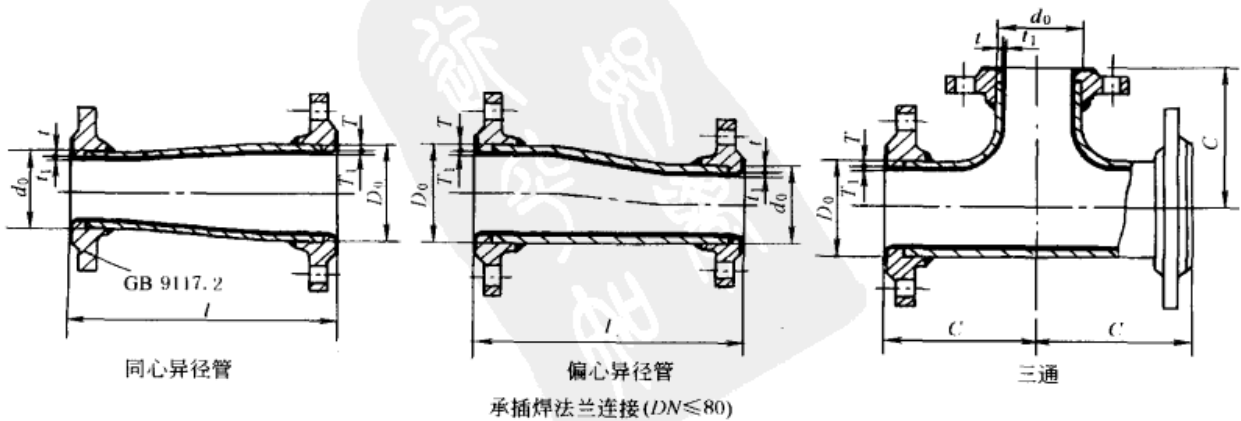
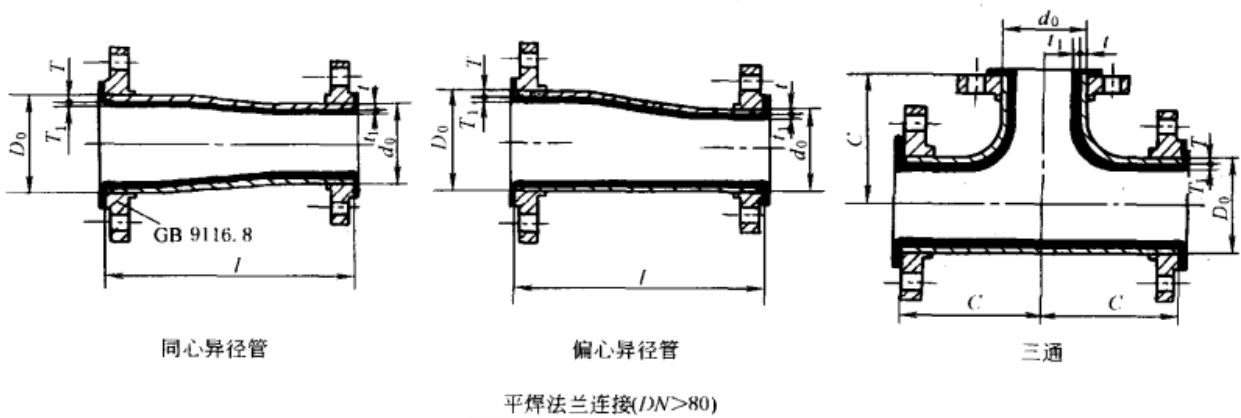




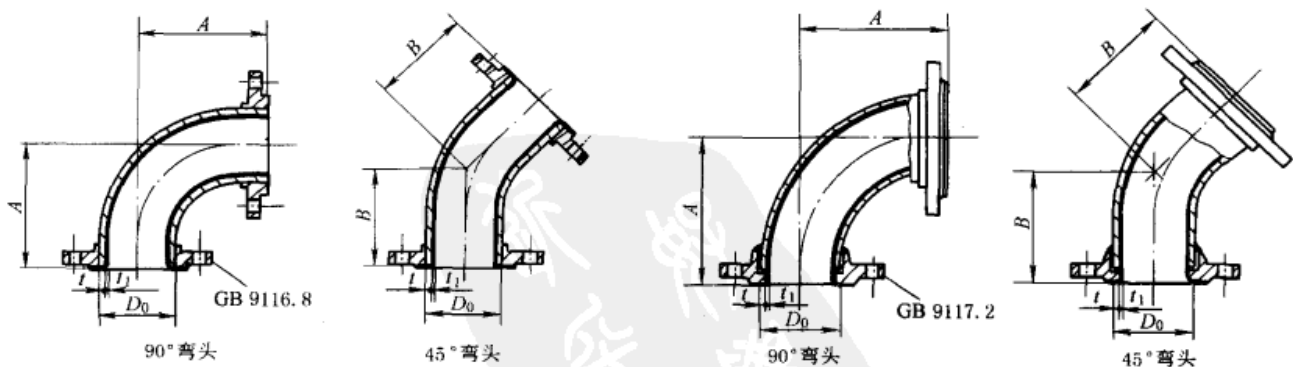
表 3-4-49

衬聚四氟乙烯三通和异径管

mm

公称直径 DN	外 径 $D_0 \times d_0$	壁 厚		三 通 C	异径管 l	说 明	
		钢管件 $T \times t$ (最小)	衬塑 $T_1 (t_1)$				
25 × 25	33.7 × 33.7	2.9 × 2.9	见 表 3-4-48	88	—	公称直径 DN: 200 × 200 200 × 150 200 × 125 200 × 100 250 × 250 250 × 200 250 × 150 250 × 125 300 × 300 300 × 250 300 × 200 300 × 150 350 × 350 350 × 300 350 × 250 350 × 200 400 × 400 400 × 350 400 × 300 400 × 250 400 × 200 见 HG/T 21562—1994	
32 × 32	42.4 × 42.4	2.9 × 2.9		98	—		
32 × 25	42.4 × 33.7	2.9 × 2.9		107	151		—
40 × 40	48.3 × 48.3	2.9 × 2.9			—		—
40 × 32	48.3 × 42.4	2.9 × 2.9		114	164		—
40 × 25	48.3 × 33.7	2.9 × 2.9			—		—
50 × 50	60.3 × 60.3	3.2 × 3.2		126	—		—
50 × 40	60.3 × 48.3	3.2 × 2.9			—		—
50 × 32	60.3 × 42.4	3.2 × 2.9		136	176		—
50 × 25	60.3 × 33.7	3.2 × 2.9			—		—
65 × 65	76.1 × 76.1	4.5 × 4.5		155	—		—
65 × 50	76.1 × 60.3	4.5 × 3.2			—		—
65 × 40	76.1 × 48.3	4.5 × 2.9		184	189		—
65 × 32	76.1 × 42.4	4.5 × 2.9			—		—
80 × 80	88.9 × 88.9	4.5 × 4.5		203	—		—
80 × 65	88.9 × 76.1	4.5 × 4.5			—		—
80 × 50	88.9 × 60.3	4.5 × 3.2		260	189		—
80 × 40	88.9 × 48.3	4.5 × 2.9			—		—
100 × 100	114.3 × 114.3	5.0 × 5.0		—	—		—
100 × 80	114.3 × 88.9	5.0 × 4.5		155	—		—
100 × 65	114.3 × 76.1	5.0 × 4.5			—		—
100 × 50	114.3 × 60.3	5.0 × 3.2		184	202		—
125 × 125	139.7 × 139.7	5.0 × 5.0			—		—
125 × 100	139.7 × 114.3	5.0 × 5.0		203	—		—
125 × 80	139.7 × 88.9	5.0 × 4.5			—		—
125 × 65	139.7 × 76.1	5.0 × 4.5		—	—		—
150 × 150	168.3 × 168.3	5.6 × 5.6		—	—		—
150 × 125	168.3 × 139.7	5.6 × 5.0		—	—		—
150 × 100	168.3 × 114.3	5.6 × 5.0	—	—	—		
150 × 80	168.3 × 88.9	5.6 × 4.5	—	—	—		

注：适用压力、温度范围及说明见表 3-4-48。



平焊法兰连接 (DN > 80)

承插焊法兰连接 (DN ≤ 80)

表 3-4-50

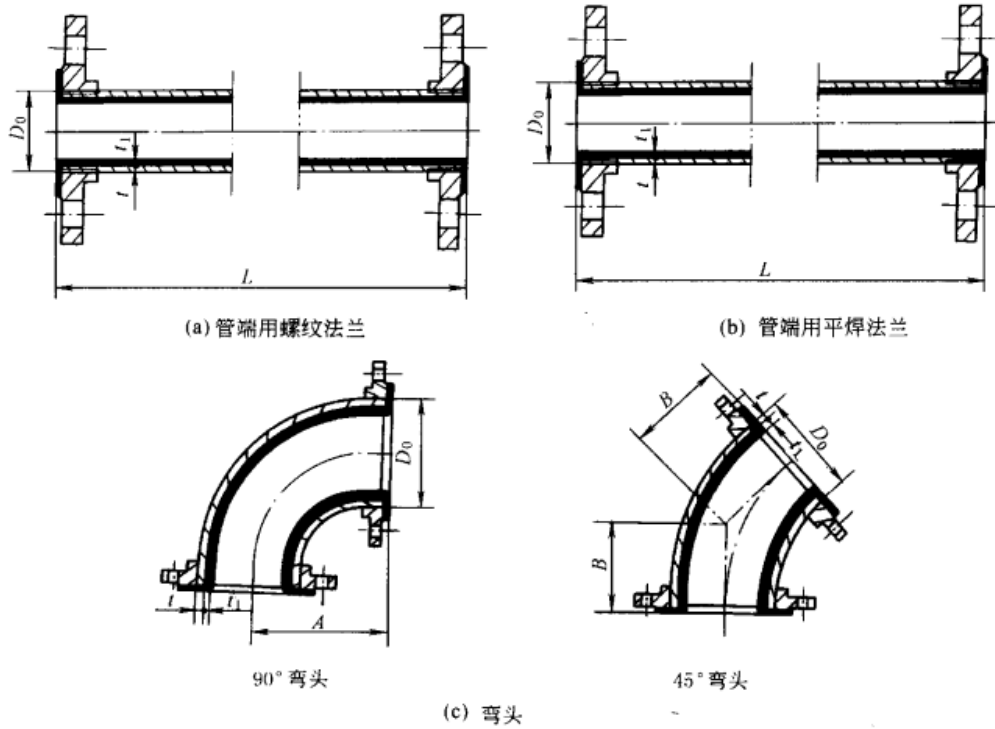
衬聚四氟乙烯弯头

mm

公称直径 DN	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
A(90°弯头)	88	98	107	126	145	164	202	250	289	375	451	537	613	700
B(45°弯头)	50	55	60	65	76	80	105	114	130	155	188	223	255	291

注：壁厚  $t$ 、 $t_1$  及适用压力、温度范围和说明见表 3-4-48。

衬塑 (PP、PE、PVC) 钢管和管件 (摘自 HG/T 20538—1992)



适用压力、温度范围:

衬塑材料	塑料缩写代号	使用温度/°C	使用压力/MPa
聚丙烯	PP	-14 ~ 100	PN1.0, 法兰标准 GB 9116.4
聚乙烯	PE	-20 ~ 85	PN1.6, 法兰标准 GB 9116.5
聚氯乙烯	PVC	-20 ~ 65	PN2.0, 法兰标准 GB 9116.8

表 3-4-51

衬塑钢管及弯头

mm

公称直径 DN	管子外径 D <sub>0</sub>	壁厚			管长 L	90°弯头 A	45°弯头 B	说 明
		钢管 t (最小)		衬塑 t <sub>1</sub>				
		图(a)	图(b)、(c)	PP、PE、PVC				
25	33.7	3.2	2.9	2	4000	88	50	①涂塑钢管和管件的结构尺寸、压力等级和检验要求与衬塑钢管和管件相同 ②钢管采用 HG 20533《化工配管用无缝及焊接钢管尺寸选用系列》中 I 系列 ③衬塑铸钢管件详细规格见 HG/T 20538—1992 ④衬塑钢制三通、异径管尺寸与衬聚四氟乙烯三通、异径管相同, 详见表 3-4-49, 但两端法兰连接都是平焊法兰, 超过表中所列的大规格尺寸见 HG/T 20538—1992
32	42.4	3.6	2.9	2	4000	98	55	
40	48.3	3.6	2.9	2	4000	107	60	
50	60.3	4	3.2	2.5	4000	126	65	
65	76.1	5	4.5	2.5	4000	145	76	
80	88.9	5.6	4.5	3	6000	164	80	
100	114.3	5.9	5	3	6000	202	105	
125	139.7	6.3	5	3.5	6000	250	114	
150	168.3	7.1	5.6	3.5	6000	289	130	
200	219.1	7.1	6.3	4.5	6000	375	155	
250	273.0		6.3	4.5	6000	451	188	
300	323.9		6.3	5	6000	537	223	
350	355.6		6.3	5	6000	613	255	
400	406.4		6.3	5	6000	700	291	

## 5.3 玻璃纤维增强热固性塑料（玻璃钢）

### 5.3.1 玻璃钢的种类和特点

表 3-4-52

种 类	特 点
酚醛玻璃钢	耐酸性强,耐温较高,成型较困难
环氧玻璃钢	机械强度高,收缩率小,耐温不够高
呋喃玻璃钢	耐酸耐碱性好,耐温高,工艺性能差
聚酯玻璃钢	工艺性能优良,力学性能较好,耐蚀性差,收缩率大
酚醛环氧玻璃钢	提高耐酸性
酚醛呋喃玻璃钢	提高耐碱性
环氧酚醛呋喃玻璃钢	提高耐酸耐碱性及机械强度
环氧聚酯玻璃钢	韧性好
环氧煤焦油玻璃钢	造价低
环氧呋喃玻璃钢	提高耐酸耐碱性
硼酚醛玻璃钢	高强度,高介电常数,耐高温,耐腐蚀,耐中子辐射

### 5.3.2 玻璃钢的性能

表 3-4-53

四种玻璃钢性能比较

项 目	环氧玻璃钢	酚醛玻璃钢	呋喃玻璃钢	聚酯玻璃钢
制品性能	机械强度高,耐酸碱性好,吸湿性低,耐热性较差,固化后收缩率小,黏结力强,成本较高	机械强度较差,耐酸性好,吸湿性低,耐热性较高,固化后收缩率大,成本较低,性脆	机械强度较差,耐酸耐碱性较好,吸湿性较低,耐热性高,固化后收缩率大,性脆,与壳体黏结力较差,成本较低	机械强度较高,耐酸耐碱性较差,吸湿性低,耐热性低,固化后收缩率大,成本较低,韧性好
工艺性能	有良好的工艺性,固化时无挥发物,可常压也可加压成型,随所用固化剂的不同,可室温或加热固化 易于改性,黏结性大,脱模较困难	工艺性比环氧树脂差,固化时有挥发物放出,一般适合于干法成型,一般的常压成型品性能差得多	工艺性比酚醛树脂还差,固化反应较猛烈,对光滑无孔底材黏结力差,变定和养护期较长	工艺性能优越,胶液黏度低,对玻璃纤维渗透性好,固化时无挥发物放出,能常温常压成型,适于制大型构件
参考使用温度/℃	<100	<120	<180	<90
毒性	胺类和酸类固化剂均有毒性及刺激性,国内低毒固化剂已试制应用,有的正试制			常用的交联剂苯乙烯有毒
应用情况	使用广泛,一般用于酸、碱性介质中高强度制品或作加强用	使用一般,用于酸性较强的腐蚀介质中	用于酸或碱性较强的,以及酸、碱交变腐蚀介质中,或者使用于温度较高的腐蚀介质中	用于腐蚀性较弱的酸性介质中

表 3-4-54

四种玻璃钢的耐腐蚀性能

介 质	浓度 /%	环氧玻璃钢		酚醛玻璃钢		呋喃玻璃钢		聚酯玻璃钢 306 <sup>#</sup>	
		25℃	95℃	25℃	95℃	25℃	120℃	20℃	50℃
硝 酸	5	尚耐	不耐	耐	不耐	尚耐	不耐	耐	不耐
	20	不耐	不耐	不耐	不耐	不耐	不耐	不耐	不耐
	40	不耐	不耐	不耐	不耐	不耐	不耐	不耐	不耐
硫 酸	5							耐	耐
	10							耐	尚耐
	30							耐	不耐
	50	耐	耐	耐	耐	耐	耐		
	70	尚耐	不耐	耐	不耐	耐	不耐		
	93	不耐	不耐	耐	不耐	不耐	不耐		
发烟硫酸		不耐	不耐	耐	不耐	不耐	不耐		
盐 酸	浓	耐	耐	耐	耐	耐	耐	不耐	不耐
	5							耐	不耐
醋 酸	浓	不耐	不耐	耐	耐	耐	耐	不耐	不耐
	5							耐	
磷 酸	浓	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	不耐
氢氧化钾	10	耐		不耐	不耐	耐	耐		
氯化钠		耐		耐		耐			
氢氧化钠	10	耐	不耐	不耐	不耐	耐	耐	耐	不耐
	30	尚耐	尚耐	不耐	不耐	耐	耐	耐	不耐
	50	尚耐	不耐	不耐	不耐	耐	耐		
氨 水		尚耐	不耐	不耐	不耐	耐	耐		
氯 仿		尚耐	不耐	耐	耐	耐	耐	不耐	
四氯化碳		耐	不耐	耐	耐	耐	耐	耐	
丙 酮		耐	不耐	耐	耐	耐	耐	不耐	

注：1. 浓度栏中的“浓”字指介质浓度很高。

2. 在硫酸工厂中，以双酚 A 不饱和树脂为基体的玻璃钢设备和管道对高温稀硫酸的耐腐蚀性能更优。

表 3-4-55 不同含量玻璃纤维增强热塑性塑料的性能

材 料	ABS		聚甲 醛		聚四氯乙烯		聚碳酸酯			聚 酰 胺			
			均聚	共聚						尼龙 6	尼龙 66	尼龙 66	尼龙 1010
	玻璃纤维含量(体积分数)												
成型收缩率/%	20%		20%	25%	25%	25%	10%	30%	30%~35%	30%~33%	20%+20% 碳纤维	28%	
拉伸强度/MPa	0.2	72~90	0.9~1.2	0.4~1.8	127	13.8~18.6	65	131	165 <sup>①</sup>	193 <sup>①</sup>	0.25~0.35	58	
断后伸长率/%	3		6~7	2~3		200~300	5~7	2~5	110 <sup>②</sup>	152 <sup>②</sup>	3~4	—	
抗压强度/MPa	96		124	117		6.9~9.6	93	124~138	—	154	—	137	
抗弯强度/MPa	96~120		103	193		13.8	103~110	158~172	165 <sup>①</sup>	282 <sup>①</sup>	343	202	
冲击韧度(缺口)/kJ·m <sup>-2</sup>	2.3~2.9		1.7~2.1	2.1~3.8		5.7	2.5~5.5	3.6~6.3	4.6~7.1 <sup>①</sup>	4.2~4.6	3.78	81.8	(无缺口)
拉伸弹性模量/GPa	5.1~6.1		6.9	8.6~9.6		1.4~1.6	3.4~4	8.6~9.6	7.8 <sup>②</sup>	9 <sup>①</sup>	—	7.7	
压缩弹性模量/GPa	5.5		—	—		—	3.6	8.96	—	—	—	—	
弯曲弹性模量/GPa	4.5~5.5		5	7.6		1.62	3.4	7.6	9.6 <sup>①</sup>	9~10 <sup>①</sup>	19.6	4.1	
硬度	85~98HRM 107HRR		90HRM	79HRM		60~70HSD	75HRM 118HRR	92HRM 119HRR	96HRM <sup>①</sup> 78HRR <sup>②</sup>	101HRR 109HRR <sup>①</sup>	—	11.48HB	
线胀系数/10 <sup>-5</sup> ·K <sup>-1</sup>	2.1		3.8~8.1	2~4.4		7.7~10	3.2~3.8	2.2~2.3	1.6~8	1.5~5.4	2.07	—	
热变形温度(1.82MPa)/°C	99		157	163		—	138~142	146~149	200~215	254 <sup>①</sup>	260	马丁温度 176	
热导率/W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	—		—	—		0.34~0.42	0.20~0.22	0.22~0.32	0.24~0.48	0.21~0.49	—	—	
密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.18~1.22		1.54~1.56	1.55~1.61		2.2~2.3	1.27~1.28	1.4~1.43	1.35~1.42	1.15~1.4	1.4	1.19	
吸水率/% (24h) (饱和)	0.18~0.2		0.25	0.22~0.29		—	0.12~0.15	0.08~0.14	1.1~1.2	0.7~1.1	0.5	—	
击穿强度/kV·mm <sup>-1</sup>	18		193	18.9~22.9		12.6	20.9	18.5~18.7	15.8~17.7	14.2~19.7	—	—	

续表

材 料	聚酰胺		聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)		聚对苯二甲酸乙二酯(PET)		聚酰胺	聚酰胺亚胺	聚醚醚酮(PEEK)	高密度聚乙烯
	尼龙 610	尼龙 612					聚酰胺	聚酰胺亚胺	聚醚醚酮(PEEK)	高密度聚乙烯
	33%	30%~35%	30%	35% 玻璃纤维、滑石粉	30%	40%~50% 玻璃纤维、滑石粉	30%	30%	30%	30%
成型收缩率/%	—	0.2~0.5	0.2~0.8	0.3~1.2	0.2~0.9	0.2~0.4	0.2~0.4	0.1~0.2	0.2	0.2~0.6
拉伸强度/MPa	170	152 <sup>①</sup> 138 <sup>②</sup>	96~131	78.5~95	145~158	96~179	221	172~196	162	62
断后伸长率/%	—	4	2~4	2~3	2~7	1.5~3	2.3	2~5	3	1.5~2.5
抗压强度/MPa	145	152 <sup>①</sup>	124~162	—	172	141~165	264	162~165	154	34~41
抗弯强度/MPa	234	220	156~200	124~152	214~230	145~273	317	227~255	227~289	55~65
冲击韧度(缺口)/kJ·m <sup>-2</sup>	11.7	—	1.9~3.4	2.7~3.8	3.4~4.2	1.9~5	3.2	3.6~4.2	4.2~5.4	2.3~3.1
拉伸弹性模量/GPa	6	8.3 <sup>①</sup>	8.96~10	—	8.96~9.9	12~13	14.5	9~11	8.6~11	5.5~6.2
压缩弹性模量/GPa	—	6.2 <sup>②</sup>	—	—	—	—	7.9	3.79	9.6	4.8~5.5
弯曲弹性模量/GPa	4.1	7.6 <sup>①</sup> 6.2 <sup>②</sup>	5.9~8.3	8.3~9.6	8.6~10	9.6~13.8	11.7	8.3~8.6	—	—
硬度	10.65HB	93HRM	90HRM	50HRM	90~100HRM	118~119HRR	94HRE	125HRM 123HRR	—	75~90HRR
线胀系数/10 <sup>-5</sup> ·K <sup>-1</sup>	—	—	2.5	—	2.5~3	2.1	1.3~1.8	2~2.1	1.5~2.2	4.8
热变形温度(1.82MPa)/°C	马丁温度	199~218 <sup>①</sup>	196~218	166~197	216~224	211~227	281	208~215	288~315	121
热导率/W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	—	0.43	0.29	—	0.25~0.29	—	0.68	0.25~0.39	0.2	0.36~0.46
密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.30	1.30~1.38	1.48~1.53	1.59~1.73	1.56~1.67	1.58~1.68	1.61	1.49~1.51	1.49~1.54	1.18~1.28
吸水率/%	—	0.2	0.06~0.08	0.06~0.07	0.05	0.05	—	0.18~0.2	0.06~0.12	0.02~0.06
击穿强度/kV·mm <sup>-1</sup>	—	1.85	0.3	—	—	—	0.24	0.9	0.11~0.12	—
	—	20.5	15.8~21.7	17.7~23.6	16.9~25.6	22.5~23.6	33.1	19.5~24.8	—	19.7~21.7



材 料	聚苯醚和改性聚苯醚		聚苯硫醚(PPS)	聚丙烯均聚	聚氯乙烯	聚苯乙烯		丙烯腈-苯乙烯共聚物(SAN)	聚砜	改性聚砜	聚醚砜
						均聚	耐热共聚物				
	30%	40%	40%	40%	15%	20%	20%	20%长玻璃纤维	30%	30%	20%
成型收缩率/%	0.1~0.4	0.2~0.4	0.2~0.4	0.3~0.5	0.1	0.1~0.3	0.3~0.4	0.1~0.3	0.1~0.3	0.1~0.3	0.2~0.5
拉伸强度/MPa	103~127	120~158	120~158	58~103	62	68.9~82.7	68.9~96	107~124	100	103~131	138~170
断后伸长率/%	2~5	0.9~4	0.9~4	1.5~4	2.3	1.3	1.4~3.5	1.2~1.8	1.5	1.9~3	2~3.5
抗压强度/MPa	123	145~179	145~179	61~68	62	110~117	—	117~145	131	—	134~165
抗弯强度/MPa	145~158	156~220	156~220	72~152	93	96~124	112~151	138~156	138	138~176	169~190
冲击韧度(缺口)/kJ·m <sup>-2</sup>	3.6~4.8	2.3~3.2	2.3~3.2	2.9~4.2	2.1	1.9~5.3	4.4~5.5	2.1~6.3	2.3	2.1~4.2	2.5~3.6
拉伸弹性模量/GPa	6.9~8.9	7.6	7.6	7.6~10	6	6.2~8.3	5.8~6.2	6.3~11.8	9.3	5.7~6.89	5.9
弯曲弹性模量/GPa	7.6~7.9	11.7~12.4	11.7~12.4	6.5~6.9	5.2	6.5~7.6	5.5~7.2	6.9~8.8	7.2	8.86	5.9~6.2
硬度	115~116HRR	123HRR	123HRR	102~111HRR	118HRR	80~95HRR	—	89~100HRR	90~100HRR	80~85HRR	98~99HRR
线胀系数/10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>	1.4~2.5	2.2	2.2	2.7~3.2	—	119HRR	—	122HRR	2.5	4.8~5.4	2.3~3.2
热变形温度(1.82MPa)/℃	135~158	252~263	252~263	149~165	68	3.96~4	2	2.34~4.14	177	160~167	209~218
热导率/W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	0.15~0.17	0.29~0.45	0.29~0.45	0.35~0.37	—	93~104	110~119	99~110	—	—	—
密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.27~1.36	1.6~1.67	1.6~1.67	1.22~1.23	1.54	0.25	1.21~1.22	1.2~1.22	1.46	1.52	1.51
吸水率/%	0.06	0.02~0.05	0.02~0.05	0.05~0.06	0.01	0.07~0.1	0.1	0.1~0.2	0.3	0.1~0.2	0.15~0.4
	—	—	—	0.09~0.1	—	0.3	—	0.7	—	0.43	1.65~2.1
击穿强度/kV·mm <sup>-1</sup>	21.7~24.8	14.2~17.7	14.2~17.7	19.7~20.1	23.6~31.5	16.7	—	19.7	—	15.7	14.8~19.7

① 干燥状态。

② 50%相对湿度。

### 5.3.3 玻璃钢的组成和主要的成型方法

玻璃钢（玻璃纤维增强热固性塑料）是由合成树脂作为基体材料及其辅助材料和经过表面处理的玻璃纤维增强材料所组成。合成树脂种类很多，常用的有酚醛树脂、环氧树脂、呋喃树脂、聚酯树脂等。由它们所制的玻璃钢分别称为酚醛玻璃钢、环氧玻璃钢、呋喃玻璃钢和聚酯玻璃钢。为了适应某种需要，如为改良性能、降低成本，采用第二种合成树脂进行改性，如环氧酚醛玻璃钢、环氧呋喃玻璃钢，基体材料分别由环氧-酚醛合成树脂、环氧-呋喃合成树脂构成。加入合成树脂中的固化剂、增塑剂、填充剂、稀释剂等辅助材料，都在不同程度上影响玻璃钢的性能。

玻璃钢另一个重要成分是玻璃纤维及其制品。玻璃钢的物理力学性能与玻璃纤维的性能、品种、规格等有直接关系。由于玻璃纤维耐腐蚀性能优于合成树脂，所以除个别情况外（如氢氟酸、浓碱），玻璃钢的耐腐蚀性能主要取决于树脂的耐腐蚀性。

玻璃钢层的结构随不同成型方法和用途而异，主要凭经验和试验确定。图 3-4-1 所示为用手糊法制作耐腐蚀玻璃钢设备的玻璃钢层典型结构。各层情况大致如下。

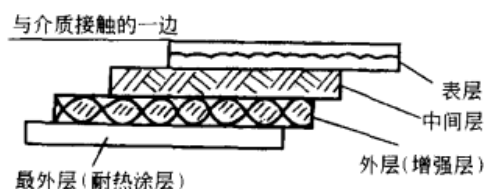


图 3-4-1 玻璃钢耐蚀设备的基本结构

① 耐蚀层：由表层和中间层组成，表层是接触介质的最内层是由玻璃纤维毡增强的富树脂层。

② 中间层：由短玻璃纤维毡增强，厚约 2mm，能在介质浸透表层后，不会再浸透外层。

③ 外层（增强层）：满足强度要求的一层，由无捻粗纱布、短纤维增强。

④ 最外层：它的组成与表层相同，其目的是使增强层不露在腐蚀性环境中。

#### 合成树脂及辅助材料<sup>[10]</sup>

表 3-4-56

环氧树脂及辅助材料

材料功能	材料名称、特点及说明
基体材料	<p>环氧树脂是指分子中含有两个或两个以上环氧基团的有机高分子化合物。它具有机械强度高、良好的耐腐蚀性、粘接性、绝缘性和防水性，但价格高、某些固化剂毒性大等特点。环氧树脂种类很多，常用环氧树脂如下：</p> <p>① 双酚 A 环氧树脂（通用型环氧树脂） 它由环氧氯丙烷与双酚 A 缩聚而成，牌号有 E-51、E-44、E-42、E-20、E-12。这种树脂应用最广，使用温度较低，可以与其他树脂混用，以改进性能</p> <p>② 酚醛多环氧树脂 它是酚醛树脂与环氧氯丙烷缩合而成。这种树脂耐热性能好，耐腐蚀性能也较好，所以常用于制作耐热玻璃钢</p> <p>③ 脂环族环氧树脂 它是由脂环烯烃的双键环氧化而得的相对分子质量比较小的环氧化合物，牌号有 R-122、H-71、W-95 等。这种树脂经固化后具有很好的物理力学性能、较高的热变形温度和紫外线的稳定性</p>
辅助材料	<p>固化剂可分催化性和反应性两类。催化性固化剂是通过催化作用去促进环氧树脂分子自身的交联反应，一般应用较少。反应性固化剂直接参加固化反应。常用固化剂有如下几类：</p> <p>① 胺类固化剂 它是环氧树脂最常用的一种固化剂，包括</p> <p>脂肪族胺类 它能在室温下固化环氧树脂、固化速度快、黏度低、使用方便，但固化后产物耐热性差，会使皮肤过敏。常用的品种有乙二胺（EDA）、二乙烯三胺（DETA）、三乙烯四胺（TETA）、四乙烯五胺、多乙烯多胺（PE-DA）、二甲氨基丙胺（DMAPA）、二乙氨基丙胺（DEAPA）、六氢吡啶（PRN）</p> <p>芳香族胺类 它的分子中含有稳定的苯环结构，固化后的树脂热变形温度高，耐腐蚀性、电性能和力学性能也比较好。常用固化剂品种有间苯二胺（MPDA）、间苯二甲胺（MXDA）、二氨基二苯砜（DDS）、4,4'-次甲基二苯胺（MDA）</p> <p>改性胺类 它是对胺类固化剂进行改性。固化后树脂抗冲击性强，耐溶剂性能较好，施工时毒性低，常用品种有 590 型、591 型、593 型和 120 型</p> <p>② 酸酐类固化剂 除胺类外，酸酐是环氧树脂中应用最多的一种固化剂。它需要在较高温度下长时间固化。为加速固化，加入胺类促进剂。固化后的树脂具有优良的物理、电和耐腐蚀性能，有中等或较高的热变形温度。常用固化剂有顺丁烯二酸酐（MA）、邻苯二甲酸酐（PA）、内次甲基四氢邻苯二甲酸酐（NA）、均苯四甲酸酐（PMDA）、十二烷基丁二酸酐（DDSA）、四氢苯酐（THPA）、甲基内次甲基四氢邻苯二甲酸酐（MNA）、聚壬二酸酐（PA-PA）等</p>



材料功能		材料名称、特点及说明
辅助材料	固化剂	<p>③咪唑类固化剂 它是一种新型固化剂,毒性低、用量少、黏度低、固化速度快、中温固化。固化后树脂机械强度高、耐热、耐腐蚀、电性能好、价格贵。常用咪唑类固化剂有咪唑、2-甲基咪唑、2-乙基-4-甲基咪唑、三氟化硼与乙胺络合物,后者要避免使用石棉、云母和某些碱性填充剂</p> <p>④潜伏性固化剂 它是指与环氧树脂混合后在室温下有较长贮存期,经加热后作固化剂。品种有偏硼酸己丁酯与仲胺的加成物,594 硼化剂、双氰胺</p> <p>⑤合成树脂固化剂 常用品种有氨基聚酰胺、酚醛树脂、苯胺甲醛树脂</p>
	稀释剂	<p>稀释剂用以降低树脂黏度,便于工艺操作,满足施工要求,改进润湿能力,增加填充剂的填充体积,利于放热。稀释剂分为两类:</p> <p>①活性稀释剂 它能参与树脂的固化反应,对树脂起增韧作用,固化后收缩率小,用量少,价格贵,有毒,长期接触会引起皮肤过敏,甚至溃烂。常用品种有环氧丙烷丙烯醚(500<sup>#</sup>)、环氧丙烷丁基醚(501<sup>#</sup>)、环氧丙烷苯基醚(690<sup>#</sup>)、二缩水甘油醚(600<sup>#</sup>)、脂环族环氧(6269<sup>#</sup>、6206<sup>#</sup>、6221<sup>#</sup>)、乙二醇二缩水甘油醚(512<sup>#</sup>)、甘油环氧(662<sup>#</sup>)</p> <p>②非活性稀释剂 它不参与树脂的固化反应,纯属物理混合。稀释后挥发,使固化后树脂收缩率增加,黏结力降低,残留的溶剂使强度和耐热性降低,价格低。常用品种有丙酮、甲乙酮、环己酮、苯、甲苯、二甲苯、正丁醇、苯乙烯</p>
	增韧剂	<p>增韧剂用于增加环氧树脂的韧性、提高弯曲和冲击韧性。增韧剂分为两类:</p> <p>①活性增韧剂 它参与固化反应,对树脂起增韧作用。主要品种有低相对分子质量的聚酰胺(650<sup>#</sup>、651<sup>#</sup>)、聚硫橡胶、丁腈橡胶、不饱和树脂、环氧化聚丁烯树脂等</p> <p>②非活性增韧剂 它不参与固化反应,只发生物理变化。对固化后树脂的性能影响较小,但时间长了会游离出来,导致塑性变形或老化。黏度小,可兼作稀释剂用,增加树脂的流动性。常用品种有邻苯二甲酸二甲酯、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯、磷酸三乙酯、磷酸三苯酯、磷酸三甲酚酯等</p>
	填充剂	<p>填充剂可以减小树脂的流动性和放热作用,降低树脂固化收缩性和线胀系数,增加导热性,改善表面硬度,同时还可减少树脂用量、降低成本。常用填充剂有灰绿岩粉、石英粉、瓷粉和石墨粉。填充剂中不应含水,且应耐腐蚀,细度一般在 120 目以上</p>

表 3-4-57

聚酯树脂及辅助材料

材料功能		材料名称、特点及说明
基体材料	聚酯	<p>聚酯树脂是不饱和树脂的简称,按其性能可分为:</p> <p>①通用型(邻苯型) 它具有良好的综合性能,用于制造船舶、车辆、板材及强度要求不高的化工设备,适用温度低于 70℃,通用型聚酯多为邻苯二甲酸型</p> <p>②耐热型 以通用型为基础的耐热型聚酯 如常州 253 厂生产的 198<sup>#</sup>、199<sup>#</sup>耐热型聚酯,长期使用温度分别在 80~90℃和 120℃ 以下 以丙烯基型单体为交联剂的聚酯 如以内次甲基四氢邻苯二甲酸酐或三聚氰酸三丙烯酯为交联剂的不饱和聚酯,能在 250~260℃ 长期使用 丙烯基型聚酯 如邻苯二甲酸二丙烯酯(DAP),其制品可在 200℃ 以下长期使用</p> <p>③耐化学腐蚀型 通用型聚酯只能满足一般性防腐要求。间苯二甲酸型和对苯二甲酸型聚酯可满足中等耐腐蚀要求,双酚 A 型聚酯耐腐蚀最好,尤其是耐碱</p> <p>④胶衣树脂(表面层聚酯) 它用于玻璃钢制品表面,具有良好的耐化学性、耐水性和韧性。胶衣树脂可以是透明的或着色的</p> <p>除上述外,聚酯树脂还有光稳定型、自熄型及韧性型。聚酯树脂按化学组成不同分为双酚 A 型、间苯二甲酸型、对苯二甲酸型、邻苯二甲酸型、丙烯基型等</p>
	辅助材料	<p>在聚酯中加入交联剂后的固化过程很缓慢,因此需在树脂中加引发剂。以便在引发剂的引发下,聚酯与交联剂在加热条件下进行固化,称热固化;如果同时加入促进剂,则聚酯与交联剂在引发剂-促进剂条件下,可室温固化,或称冷固化。交联剂与聚酯分子链发生固化反应。常用交联剂有苯乙烯、甲基丙烯酸甲酯,其次有乙烯基甲苯、氯代苯乙烯、二乙烯基苯、丙烯酸乙酯</p>

续表

材料功能		材料名称、特点及说明
辅助材料	引发剂	引发剂能使交联剂和聚酯树脂变成活性单体和活性链,达到交联固化的目的。引发剂一般为有机过氧化物,如叔丁基过氧化氢、异丙苯过氧化氢、过氧化二异丙苯、过氧化二苯甲酰、过氧化二月桂酰、过苯甲酸叔丁酯、过氧化环己酮、过氧化甲乙酮等。引发剂的选用原则是所选引发剂的临界温度应低于固化温度,上述引发剂的临界温度为60~130℃
	促进剂	促进剂能促使降低引发剂的引发温度,从而降低固化温度,加快固化速度,减少引发剂用量,适合手糊法成型。促进剂应与引发剂配对使用。常用促进剂有含6%的环烷酸钴的苯乙烯液(I号)、含10%的二甲基苯胺的苯乙烯液(II号)
	阻聚剂	阻聚剂的作用是提高聚酯的贮存稳定性,调节聚酯胶液的使用期。常用阻聚剂有对苯二酚
	其他辅助材料	触变剂 它用于大型设备成型,防止垂直面或斜面树脂流胶。常用的触变剂有可溶性的聚氯乙烯粉和活性的二氧化硅粉 填充剂 添加适量的填充剂可以改善树脂固化后的物理力学性能,详见表3-3-56的有关说明 颜料 为使制品具有某种颜色,常加入一些无机颜料,但必须对引发剂具有化学惰性,如红色氧化铁等

表 3-4-58

酚醛树脂及辅助材料

材料功能		材料名称、特点及说明
基础材料	酚醛树脂	酚醛树脂是以酚类化合物与醛类化合物为原料,在催化剂作用下缩聚而得。酚醛树脂一般分为高、中、低三种不同黏度,其中中黏度树脂用于制作玻璃钢。它们的落球法黏度(直径8.5mm的钢球、落下高度100mm,20℃±1℃条件下测得时间)为5~20min,游离酚含量一般在14%~19%,若含量过高,会影响树脂的性能,所以一般控制游离酚含量在15%以下。游离醛含量一般在1.8%~2.5%。在树脂固化时,游离醛易逸出,造成树脂的孔隙率加大,所以游离醛含量一般控制在2%以下。树脂中水分含量一般在10%~12%,含量过高,导致玻璃钢强度下降,抗渗透性差。树脂中游离酚有毒、有刺激作用,会引起皮肤过敏。除强氧化酸外,酚醛树脂能耐各种酸的腐蚀,如任何浓度的盐酸、稀硫酸及大部分的有机酸和苯、氯苯等有机溶剂,但耐碱性差 因酚醛玻璃钢具有脆性大、耐碱性差等缺点,所以现多用改性酚醛树脂,如聚乙烯醇缩醛改性酚醛树脂、环氧改性酚醛树脂、有机硅改性酚醛树脂、硅酚醛树脂及二甲苯改性酚醛树脂等
	固化剂	酚醛树脂固化分热固化和酸固化两种。热固化不需添加固化剂。固化温度控制在175℃左右,同时施加一定压力,压力大小与成型工艺有关,一般层压工艺的压力为10~12MPa,模压工艺为30~50MPa。酸固化是指树脂在酸性固化剂中于常温或较低温度下固化。常用固化剂有盐酸、磷酸、对甲苯磺酸、苯酚磺酸等,一般用量为树脂重量的10%左右。目前热固法应用较广,因固化产物即玻璃钢的耐热性能、力学性能及耐溶剂性能比酸固化的好
	改进剂(软化剂)	加入改进剂的目的主要是为了降低酚醛树脂固化后的脆性。改进剂一般采用桐油钙松香、苯二甲酸二丁酯,用于改善树脂的脆性时,前者优于后者,且不降低树脂的耐酸性,但在有机溶剂中的耐腐蚀性有所降低
	稀释剂	稀释剂用以降低树脂的黏度,便于工艺操作。酚醛树脂常用稀释剂有乙醇,黏度过高时可用丙酮或两者混合来调节施工黏度
辅助材料	填充剂	酚醛树脂在酸性介质中固化,它和填充剂中不耐酸杂质进行化学反应,放出气体,使玻璃钢产生气鼓或气泡,降低抗渗透性和粘接强度,所以要严格控制填充剂中碳酸盐含量,一般含量超过0.1%时必须进行酸洗,同时除去铁粉,提高耐蚀性 其他详见环氧树脂及辅助材料(表3-3-56)

玻璃纤维及制品<sup>[10]</sup>

玻璃纤维及制品是玻璃钢的重要组成部分，它基本上决定了玻璃钢的机械强度和弹性模量。玻璃纤维具有下列特点。

- ① 相对密度、拉伸强度高：玻璃纤维相对密度为 2.5 ~ 2.7，拉伸强度约 200MPa，且直径越小，强度越高。
  - ② 耐热性好：玻璃纤维在 200 ~ 300℃ 时强度无明显变化，300℃ 以上时强度才逐渐下降，在强度要求不高的场合，有碱玻璃纤维可用到 450℃，无碱玻璃纤维可用到 700℃。
  - ③ 弹性模量高：玻璃纤维弹性模量约为  $(0.3 \sim 0.7) \times 10^5$  MPa，是钢的 1/6 ~ 1/3。
  - ④ 化学稳定性好：除氢氟酸、热浓磷酸和浓碱外，玻璃纤维具有良好的化学稳定性。
- 玻璃纤维的缺点是脆性大、耐磨性较差；玻璃纤维表面光滑，不易与其他纤维相结合；使人的皮肤有刺痛感。

玻璃钢是由无机增强玻璃纤维与有机基体材料两相组成，两相之间存在性质不同的界面。为了使两相之间粘接在一起，以达到提高玻璃钢性能的目的，就需要对玻璃纤维进行表面处理，即在玻璃纤维表面包覆一种称为表面处理剂（或称偶联剂）的特殊物质。

表面处理工艺方法有前处理法、后处理法和迁移法三种。

玻璃纤维的分类见表 3-4-59，玻璃纤维及制品的用途及成型工艺见表 3-4-60。

表 3-4-59 玻璃纤维的分类

分类项目	按化学成分(含碱量)分类			按纤维直径分类					按纤维外观分类		
	<1%	2% ~ 6%	11.5% ~ 12.5%	30μm	20μm	10 ~ 20μm	5 ~ 10μm	<5μm	—	长度 <70mm	—
名称	无碱玻璃纤维	中碱玻璃纤维	高碱玻璃纤维	粗纤维	初级纤维	中级纤维	高级纤维	超细纤维	长纤维	短纤维	空心纤维

注：含碱量是指玻璃纤维组成中含金属钾、钠氧化物的质量分数。无碱玻璃纤维具有耐水性、耐老化性和电绝缘性好、机械强度高，但价格贵的特点。

表 3-4-60 不同玻璃纤维及制品的用途、成型工艺

纤维及制品名称	成型工艺	纤维含量 /%	主要用途	说明
无捻粗纱	缠绕、连续成型、喷射成型、挤出成型、模压	25 ~ 80	管道、容器、汽车车身、棒、火箭发动机壳体、武器等	将玻璃纤维原丝合股，但不加捻得到的纱
加捻纱	缠绕、纺织	60 ~ 80	飞机、船舶及电器绝缘板等	
玻璃布 (斜纹、缎纹)	手糊成型、袋压、层压、模压、卷管	45 ~ 65	飞机、船舶、贮罐、管道、绝缘板、武器等	用加捻玻璃纤维制成的布，按织法分为平纹布、斜纹布和缎纹布
方格布	手糊成型	40 ~ 70	船舶、大罩、贮罐、容器等	是无捻粗纱布，用无捻粗纱织成较厚的平纹布
短切纤维	预混料模压	15 ~ 40	电气设备、机械及武器零件等	将短纤维在平面上无规则交叉重叠，再用黏结剂粘接后经滚压、烘干、冷却
短切连续纤维毡	模压、手糊成型、缠绕	20 ~ 45	阀门、零件、贮罐、透明板等	
表面毡	手糊成型、缠绕、连续成型	5 ~ 15	表面光滑的部件、管道及容器外表面	厚度为 0.3 ~ 0.4mm，是将短纤维均匀铺放，中间用黏结剂粘接

续表

纤维及制品名称	成型工艺	纤维含量 /%	主要用途	说明
无纺布	手糊成型、缠绕	60~80	飞机构件	将纤维直径为12~15 $\mu\text{m}$ 的长纤维平行或交叉排列后,用黏结剂粘接而成
布带	连续成型、缠绕、卷管	45~65	管道	用加捻玻璃纤维制成带,与玻璃布相比仅幅宽较窄

玻璃钢主要成型方法、特点及应用<sup>[2]</sup>

表 3-4-61

成型方法	基本原理	特点	应用
手糊法	边铺覆玻璃布、边涂刷树脂胶料,固化后而成。固化条件为低压、室温、压力一般在35~680kPa范围内,为使制品外表面光滑,可利用真空或压缩空气使浸润过树脂的纤维布紧贴模具	<ul style="list-style-type: none"> <li>①操作简便,专用设备少,成本低。不受制品形状和尺寸限制</li> <li>②质量不稳定,劳动条件差,效率低</li> <li>③制品机械强度较低</li> <li>④适用树脂主要是聚酯和环氧树脂</li> </ul>	广泛用于整体制品和机械强度要求不高的大型制品,如汽车车身、船舶外壳等
模压法	将已干燥的浸胶玻璃纤维布叠后放入金属模具内,加热加压,经过一定时间成型	<ul style="list-style-type: none"> <li>①质量稳定、尺寸准确、表面光滑</li> <li>②制品机械强度高</li> <li>③生产效率高,适合成批生产</li> </ul>	用于压制泵、阀门壳体、小型零件等
缠绕法	将连续纤维束通过浸胶槽浸上树脂胶液后缠绕在芯模上,常温或加热固化、脱模即成制品	<ul style="list-style-type: none"> <li>①制品机械强度较高</li> <li>②质量稳定,可得到内表面尺寸准确、表面光滑的制品</li> <li>③可采用机械式、数控式和计算机控制的缠绕机</li> <li>④轴向增强较困难</li> </ul>	用于制造管道、贮槽、槽车等圆截面制品、也可制作飞机横梁、风车翼梁等不同截面的制品
拉挤成型法	玻璃纤维通过浸树脂槽,再经模管拉挤,加热固化后即成制品	<ul style="list-style-type: none"> <li>①工艺简单,效率高</li> <li>②能最佳地发挥纤维的增强作用</li> <li>③质量稳定、工艺自动化程度高</li> <li>④制品长度不受限制</li> <li>⑤原材料利用率高</li> <li>⑥保持良好的耐腐蚀性能</li> <li>⑦生产速度受树脂加热和固化速度限制</li> <li>⑧制品轴向强度大、环向强度小</li> </ul>	用于制作电线杆、电工用脚手架、汇流线管、导线管、无线电天线杆、光学纤维电缆,以及石油化工用管、贮槽,还有汽车保险杠、车辆和机床驱动轴、车身骨架、体育用品中的单杠、双杠
树脂传递成型法	这是一种闭模模塑成型法。首先在模具成型面上涂脱模剂或胶衣层,然后铺覆增强材料,锁紧闭合的模具,再用注射机注入树脂,固化后开模即得制品	<ul style="list-style-type: none"> <li>①生产周期短,效率高</li> <li>②材料损耗少</li> <li>③制品两面光洁,允许埋入嵌件和加强筋</li> </ul>	用于制作小型零件

## 5.4 碳纤维增强塑料

### 5.4.1 碳纤维增强热固性塑料

表 3-4-62

碳纤维增强热固性塑料单向层压板性能及特点

性能	T300/3231 <sup>①</sup>	T300/4211 <sup>②</sup>	T300/5222 <sup>①</sup>	T300/QY8911 <sup>③</sup>	T300/5405 <sup>④</sup>
纵向拉伸强度/MPa	1750	1396	1490	1548	1727
纵向拉伸弹性模量/GPa	134	126	135	135	115
泊松比	0.29	0.33	0.30	0.33	0.29
横向拉伸强度/MPa	49.3	33.9	40.7	55.5	75.5
横向拉伸弹性模量/GPa	8.9	8.0	9.4	8.8	8.6
纵向抗压强度/MPa	1030	1029	1210	1226	1104
纵向压缩弹性模量/GPa	130	116	134	125.6	125.5
横向抗压强度/MPa	138	166.6	197	218	174
横向压缩弹性模量/GPa	9.5	7.8	10.8	10.7	8.1
纵横抗剪强度/MPa	106	65.5	92.3	89.9	135
纵横切变模量/GPa	4.7	3.7	5.0	4.5	4.4
密度/g·cm <sup>-3</sup>	—	1.56	1.61	1.61	—
玻璃化转变温度/℃	—	154~170	230	268~276	210
特 点	用 途 举 例				
碳纤维增强热固性塑料具有很好的力学性能,包括较高的高温和低温力学性能,抗疲劳及耐腐蚀性能均好,并且具有高的比强度和比模量,同时,可以通过设计和加工的措施,获得材料多项特殊性能,以满足不同的应用要求,在机械工业、航空航天及其他工业中都得到了应用	汽车工业	螺旋桨轴、弹簧、底盘、车轮、发动机零件,如活塞、连杆、操纵杆等			
	纺织机械	综框、传箭带、梭子等			
	电子器械	雷达设备、复印机、电子计算机、工业机器人等			
	化工机械	导管、油罐、泵、搅拌器、叶片等			
	医疗器械	X射线床和暗盒、骨夹板、关节、轮椅、单架等			
	体育器械	高尔夫球棒、球头、钓竿、羽毛球拍、网球拍、小船、游艇、赛车、自行车等			
	航空航天	飞机方向舵、升降舵、口盖、机翼、尾翼、机身、发动机零件等;人造卫星、火箭、飞船等			
	其他	石油井架、建筑物、桥、铁塔、高速离心机转子、飞轮、烟草制造机板簧等			

① 纤维体积分数  $\varphi_f = 65\% \pm 3\%$ , 环氧体系, 孔隙率  $< 2\%$ 。

② 纤维体积分数  $\varphi_f = 60\% \pm 3\%$ , 环氧体系, 孔隙率  $< 2\%$ 。

③ 纤维体积分数  $\varphi_f = 60\% \pm 5\%$ , 双马来酰亚胺体系, 孔隙率  $< 2\%$ 。

④ 纤维体积分数  $\varphi_f = 65\% \pm 3\%$ , 双马来酰亚胺体系, 孔隙率  $< 2\%$ 。

## 5.4.2 碳纤维增强热塑性树脂

表 3-4-63

碳纤维增强热塑性树脂的性能及特点

性 能	聚 砜		线型聚酯		乙烯-四氟乙烯共聚物		
	纯树脂	碳纤维 30%	纯树脂	碳纤维 30%	纯树脂	碳纤维 30%	
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.24	1.37	1.32	1.47	1.70	1.73	
吸水率/%	(24h)	0.20	0.15	0.03	0.02	0.018	
	(饱和)	0.60	0.38	—	0.23	—	
加工收缩率/%	0.7~0.8	0.1~0.2	1.7~2.3	0.1~0.2	1.5~2.0	0.15~0.25	
拉伸强度/MPa	71	161	56	140	45	105	
断后伸长率/%	20~100	2~3	10	2~3	150	2~3	
抗弯强度/MPa	108	224	91	203	70	140	
弯曲弹性模量/GPa	2.7	14.3	2.4	14	1.4	11.6	
抗剪强度/MPa	63	66	49	56	42	49	
冲击韧度(悬臂梁)/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	(缺口)	2.5	2.5	0.63	2.5	未断	8.4~16.5
	(无缺口)	126	12.6~14.7	52.5	8.4~10.5	未断	21
热变形温度(1.85MPa)/ $^{\circ}\text{C}$	174	185	68	221	74	241	
线胀系数/ $10^{-5} \text{K}^{-1}$	5.6	1.08	9.5	0.9	7.6	1.4	
热导率/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0.26	0.79	0.15	0.94	0.23	0.81	
表面电阻/ $\Omega$	$10^8$	1~3	$10^{15}$	2~4	$5 \times 10^{14}$	3~5	
特 点	应 用 举 例						
韧性好,损伤容限大,耐环境性能优异,对水、光、溶剂和化学药品均有很好的耐蚀性,耐高温性能好(长期工作温度一般可达 $150^{\circ}\text{C}$ 以上),预浸料贮存期长,工艺简单、效率高,成型后的制品可采用热加工方法修整,装配自由度大,废料可回收,在各个工业部门有广泛的应用前景	用于制造轴承、轴承保持架、活塞环、调速器、复印机零件、齿轮、化工设备、电子电器工业中的继电器零件及印制电路板、赛车、网球拍、高尔夫球棒、钓鱼杆、撑杆跳高杆、医用 X 射线设备以及纺织机械中的剑杆、连杆、推杆、梭子等;航空航天工业中作结构材料用,如制作机身、机翼、尾翼、舱内材料、人造卫星支架、导弹弹翼、航天机构件等						



## 参 考 文 献

- 1 中国第一汽车集团公司编写组编. 机械工程材料手册. 金属材料. 第5版. 北京: 机械工业出版社, 1998
- 2 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会. 机械工程手册. 第3卷. 工程材料. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 3 张俊臣主编. 化工产品手册. 涂料及涂料用无机颜料. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 1999
- 4 中国第一汽车集团公司编写组编. 机械工程材料手册. 非金属材料. 第5版. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 5 王巧云, 李金平主编. 设备及管道绝热应用技术手册. 北京: 中国标准出版社, 1998
- 6 化学工业部环境保护设计技术中心站组织编写. 化工环境保护设计手册. 北京: 化学工业出版社, 1998
- 7 方昆凡, 黄英主编. 机械工程材料实用手册. 沈阳: 东北大学出版社, 1995
- 8 中国化工装备总公司、上海工程技术大学组织编写. 塔填料产品及技术手册. 北京: 化学工业出版社, 1995
- 9 于兵编. 非金属材料大全. 北京: 中国物资出版社, 1997
- 10 李卓球, 岳红军主编. 玻璃钢管道与容器. 北京: 科学出版社, 1990
- 11 功能材料及其应用手册编写组编. 功能材料及其应用手册. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 12 林慧国等主编. 袖珍世界钢号手册. 第3版. 北京: 机械工业出版社, 2004
- 13 安继儒主编. 中外常用金属材料手册. 修订本. 西安: 陕西科学技术出版社, 2005
- 14 李成功等主编. 中国材料工程大典. 第四卷. 有色金属材料工程(上). 北京: 化学工业出版社, 2006
- 15 机械设计手册编委会编. 机械设计手册(新版). 第一卷. 北京: 机械工业出版社, 2004





## 第 4 篇 机 构



主要撰稿 阮忠唐 雷淑存 田惠民 殷鸿樑 王德夫

审 稿 王德夫 成大先 王孝先

蘇  
平  
如  
雷

HANDBOOK





# 第 1 章 机构分析的常用方法 <sup>[1~9]</sup>

## 1 机构的自由度分析

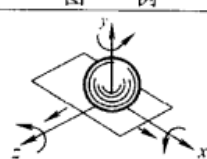


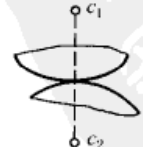
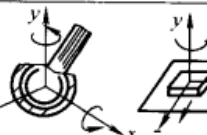

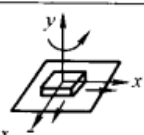
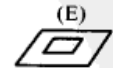
### 1.1 常用术语的概念

表 4-1-1

术 语	意 义	术 语	意 义
零件	机器中的制造单元, 如螺钉、键、轴等	主动件	由外界给予的确定独立运动或力的构件。一般与机架相连, 又称原动件、起始构件或输入构件
构件	组成机构的各相对运动的单元	从动件	机构中除机架和主动件以外的构件都叫从动件。其中直接输出运动或力的构件叫输出构件
运动副	两构件直接接触而又保持一定相对运动的连接。按所加的约束条件数的多少, 可将运动副分为五级, 见表 4-1-2	机架	机构中用以支持运动构件的构件, 通常把它看成是相对静止的, 用作研究运动的参考坐标
高副	点或线接触的运动副	运动链	若干个构件通过运动副连接成可动的构件系统
低副	面接触的运动副	闭环运动链	将构件以运动副相互连接而构成首尾封闭环路的可动构件系统, 它可分为单环或多环闭链, 闭链是组成一般机械的基础
闭式运动副	低副所连接的两构件上瞬时接触 (重合) 点的相对运动轨迹相同, 其相对运动特性是可逆的; 而高副所连接的两构件的相对运动特性是不可逆的	开环运动链	构件以运动副相互连接而不构成首尾封闭环路的可动构件系统, 它是组成机械手或工业机器人的基础
开式运动副	用几何形状来保证接触的运动副	机构	两个以上的构件以机架为基础, 由运动副以一定方式连接形成的具有确定相对运动的构件系统。其运动特性取决于构件间的相对尺寸、运动副的性质及其相互配置方式
约束	依靠外力来保证接触的运动副	平面机构	各构件均在相互平行的平面内运动的机构
自由度	限制系统运动自由的条件	空间机构	各构件不在相互平行的平面内运动的机构
	描述或确定一个系统 (构件也是一个简单系统) 的运动 (或状态, 如位置) 所必需的独立参变量 (或坐标数)。例如一个不受任何约束的自由构件, 在空间运动时, 具有六个独立运动参数 (自由度), 即绕 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 轴的三个独立转动 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ 和沿这三个轴的独立移动 $S_x$ 、 $S_y$ 、 $S_z$ 。而在作平面运动时只具有三个独立运动参数, 如 $S_x$ 、 $S_y$ 和 $\theta_z$	机器	由一个或多个机构组成, 用于执行机械运动, 以变换和传递能量、物料或信息
		机械	一般为机器和机构的通称

表 4-1-2

运动副的分类

名 称	图 例	简图符号	副级	代号	约 束 条 件	自 由 度	
开式空间运动副	球面高副			I	$P_1$ ( $S_h$ )	$S_y$	5
	柱面高副			II	$P_2$ ( $C_h$ )	$S_y, \theta_z$	4
闭式空间运动副	球面低副			III	$P_3$ (S) (E)	$S_x, S_y, S_z$	3
	平面低副						

名称	图例	简图符号	副级	代号	约束条件	自由度
闭式空间运动副	球销副 		IV	$P_4$ (S')	$S_x, S_y, S_z, \theta_x$	2
	圆柱套筒副 		IV	$P_4$ (C)	$S_x, \theta_x, S_y, \theta_y$	2
	螺旋副 		V	$P_5$ (H)	$S_x, S_y, \theta_x, S_z, \theta_y$	1
闭式平面运动副	回转副 		V	$P_5$ (R)	$S_x, \theta_x, S_z, S_y, \theta_y$	1
	移动副 		V	$P_5$ (P)	$S_x, \theta_x, \theta_z, S_y, \theta_y$	1

注：1. 对柱面高副再增加  $S_z, \theta_z$  的约束条件则变成二自由度的开式平面滚滑高副；若再增加约束条件  $S_x$ ，则其变成一个自由度的开式平面纯滚动高副。

2. 表中带括号的代号是机构学中常用的代号。

## 1.2 机构的运动简图和机动示意图

表 4-1-3 机构运动简图的画法

定义	画法	图例
<p>机构运动简图是把组成机构的构件和运动副，用表 4-1-2、表 4-1-4 的符号按尺寸比例画出的图形。它与原机构有完全相同的运动；可用来表达机构的组成和传动情况，便于进行机构的运动和受力分析。不按尺寸比例绘制的机构运动简图称为机动示意图</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 确定机架及活动构件数，标上编号；如图 a 中有主动件 1（包括 <math>1_a, 1_b, 1_c</math> 等组成）、连杆 2、滑块 3 共三个活动构件及机架 4</li> <li>2. 由相邻两构件间的相对运动性质，定出运动副要素：转动副中心位置、移动副导路的方位和高副廓线的形状等，如图 a 中构件 4 与 <math>1_a, 1</math> 与 2、2 与 3 分别绕 A、B、C 相对转动（B 为圆盘 <math>1_c</math> 的圆心），是三个五级回转副，3 和 4 可沿 AC 方位相对移动，是一个五级移动副。构件上转动副中心的连线即代表该构件的长度</li> <li>3. 选择恰当的视图（图 a 选择垂直 <math>1_a</math> 的平面为主视图），以主动件的某一位置为作图位置（以主动件 1 与水平线呈某角度），用表 4-1-4 符号，根据构件尺寸按比例画出机构运动简图 b</li> <li>4. 必要时应标出主动件的运动方向和参数，如转速、功率或转矩，以及齿轮的齿数、模数等，如图 c</li> </ol>	<p>(a) 冲床的曲柄滑块机构</p> <p>(b) 曲柄滑块机构简图</p> <p>(c) 运锭车翻斗机构简图</p> <p>1—电机；2—传动轴；3—减速器；4—蜗杆；5—连杆；6—翻斗</p> <p>作图比例尺：<math display="block">\mu (\text{m/mm}) = \frac{\text{构件的实际长度 (m)}}{\text{简图上代表构件的线段长度 (mm)}}</math></p> <p>即图上每 1mm 长度代表构件的实际长度 <math>\mu\text{m}</math></p>

表 4-1-4

机动运动简图符号 (摘自 GB/T 4460—1984)

名称	基本符号	名称	基本符号	名称	基本符号		
机构构件的运动		运动副		五的自由度副	球与平面副		
单向运动	直线运动	单自由度的运动副	棱柱副 (移动副)	可用符号	构件及其组成部分的连接		
	回转运动						
具有瞬时停顿的单向运动	直线运动		具有停留的单向运动	直线运动	具有局部反向的单向运动	直线运动	
往复运动	直线运动		在一个极限位置停留的往复运动	直线运动	在两个极限位置停留的往复运动	直线运动	
在中间位置停留的往复运动	直线运动		具有局部反向及停留的单向运动	直线运动	运动终止	直线运动	
运动副			两自由度的运动副		轴、杆		
单自由度的运动副	回转副		平面机构	圆柱副	可用符号	构件组成部分的永久连接	
			可用符号	球销副	可用符号		
			可用符号	球面副			
四自由度的运动副	球与圆柱副	可用符号	可用符号	可用符号	可用符号		
		可用符号	可用符号	可用符号	可用符号		
		三自由度的运动副		组成部分与轴(杆)的固定连接			
		平面副		可用符号			
				构件组成部分的可调连接			
				可用符号			



名称		基本符号		名称		基本符号		名称		基本符号	
多杆构件及其组成部分											
低副机构		附注 细实线所画为相邻构件						连接回转副与棱柱副的构件		可用符号	
单副元素构件		构件是回转副的一部分		连接两个回转副的构件		曲柄 (或摇杆)		双副元素构件		导杆	
		机架是回转副的一部分		偏心轮		通用情况				滑块	
		可用符号						双副元素构件		连接两个棱柱副的构件	
		构件是棱柱副的一部分		滑块		举例					
		可用符号									
构件是圆柱副的一部分		通用情况		连接回转副与棱柱副的构件		导杆		举例			
可用符号											
构件是球面副的一部分											
连接两个回转副的构件		连杆		通用情况							
		平面机构									
		空间机构									







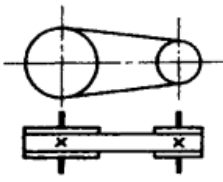
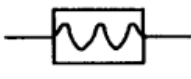

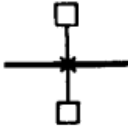

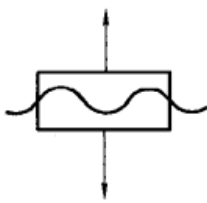

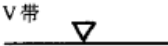
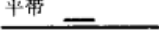
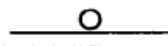
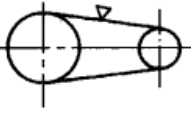


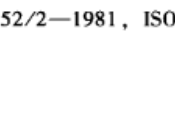
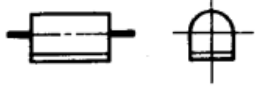
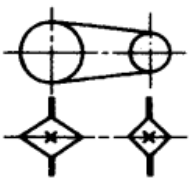
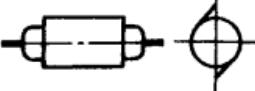
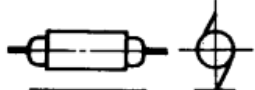
续表

名称	基本符号	名称	基本符号	名称	基本符号
圆柱轮		圆柱齿轮		螺旋齿轮	
	可用符号				可用符号
圆锥轮		非圆齿轮		一般表示	
可用符号	可用符号				可用符号
双曲面轮	可用符号	圆锥齿轮		蜗线齿条与蜗杆	
摩擦轮机构	可用符号				准双曲面齿轮
		可调圆锥轮		扇形齿轮传动	
				带可调圆锥体的轮	
		带的可调圆锥环			
带轮的可调圆锥面				盘形凸轮	
		可调冕状轮	可用符号		
蜗轮与圆柱蜗杆				可用符号	
		蜗轮与球面蜗杆			可用符号



名称	基本符号	名称	基本符号	名称	基本符号
移动凸轮		<b>棘轮机构</b>		啮合式离合器	单向式 可用符号 
与杆固接的凸轮	可调连接 	外啮合			双向式 
空间凸轮		内啮合		可控离合器	摩擦离合器
圆柱凸轮			可用符号 		单向式 可用符号 
圆锥凸轮		棘齿条啮合		双向式 可用符号 	
双曲面凸轮			可用符号 	液压离合器 一般符号 	
平面凸轮		<b>联轴器、离合器及制动器</b>		电磁离合器 	
副尖顶		<b>联轴器</b>		自动离合器	一般符号 
从动杆曲面		一般符号 (不指明类型)			离心摩擦离合器 
从动杆滚子		固定联轴器			超越离合器 
平底从动杆		可移式联轴器			安全离合器 带有易损元件 无易损元件 
槽轮机构和棘轮机构	<b>槽轮机构</b>		弹性联轴器		<b>制动器</b>
一般符合		一般符号		一般符号 	
外啮合		<b>离合器</b>			附注 例: 具有气动开关启动的单向摩擦离合器 
	可用符号 	可控离合器	操纵方式符号 M——机动的 H——液动的 P——气动的 E——电动的		
内啮合		可用符号 	附注 例: 具有气动开关启动的单向摩擦离合器 	附注 不规定制动器外观操纵方式符号与离合器同	

续表

名称	基本符号	名称	基本符号	名称	基本符号	
其他机构及其组件		附注 若需指明链条类型,可采用下列符号: 环形链  无声链  滚子链  例: 无声链传动 		挠性轴	 可以只画一部分 	
带传动一般符号(不指明类型)		整体螺母		轴上飞轮	 可用符号 	
轴上的宝塔轮			开合螺母		 可用符号 	分度头
附注 若需指明带类型可采用下列符号: V带  平带  圆带  例: V带传动  同步齿形带 		螺 杆 传 动	滚珠螺母	 可用符号 	通用符号(不指明类型)	
链传动一般符号(不指明类型)			电动机的一般符号		原动机	装在支架上的电动机 

注: 本标准等效采用国际标准 ISO 3952/1—1981, ISO 3952/2—1981, ISO 3952/3—1979 《机构运动简图——图示符号》第一、二、三部分。

### 1.3 机构的自由度分析

在设计新的机构或分析一个现有的机构时, 应明确给定几个主动件, 机构才能有确定的相对运动, 因此首先要分析机构的自由度是多少。要使机构实现预期的确定运动, 无论是平面机构或空间机构, 其自由度  $W$  都必须满足:

①  $W > 0$ ; ②  $W$  数等于机构的主动件数。

如果  $W = 0$ , 则机构不能运动;  $W > 0$  而主动件数与  $W$  不等, 则机构不能得到预期的确定运动。符合了这两个条件, 但由于构件尺寸与运动副配置不当, 也有得不到预期确定运动的。

#### 1.3.1 平面机构自由度分析

大多数平面机构的公共约束  $M = 3$ , 其自由度为:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4 \quad (4-1-1a)$$

全部由移动副(及螺旋副)组成的平面机构, 其  $M = 4$ , 自由度为:

$$W = 2n - P_5 \quad (4-1-1b)$$



式中  $n$ ——机构的活动构件数；

$P_5$ 、 $P_4$ ——分别为五级运动副及作平面运动的高副个数，参照表 4-1-2 确定。

平面机构自由度分析例题见表 4-1-5。

### 1.3.2 单闭环空间机构自由度的计算

单闭环机构是  $j - n = 1$  的机构。单闭环空间机构的自由度为：

$$W = P_5 + 2P_4 + 3P_3 + 4P_2 + 5P_1 - (6 - M)(j - n) \quad (4-1-2)$$

式中  $M$ ——各构件共同失去的自由度或各运动副共同得到的有效约束数，称为公共约束数，用割断机架法（表 4-1-8）或参考表 4-1-7 确定；

$P_5$ 、 $P_4$ 、 $\dots$ 、 $P_1$ ——分别为 V、IV、 $\dots$ 、I 级运动副的个数；其相对运动自由度依次为 1、2、 $\dots$ 、5；

$j$ ——运动副的总数。

式 (4-1-2) 只适用于单闭环机构或由  $M$  相同的单闭环组成的多闭环机构。计算  $W$  时应考虑表 4-1-6 所列注意事项。

表 4-1-5 平面机构自由度分析例题

	机构运动示意图	自由度分析及结果
大筛机构		<p>各机构均在同一平面运动，为 <math>M=3</math> 的平面机构。<math>n=7</math>，A、B、C、D、G、I、J 为转动副，E、F、M 为移动副，H 为高副。C 处滚子及转动副为多余自由度，E、F 处活塞及活塞杆与汽缸组成两平行移动副为虚约束，计算运动副时均应减去，按图 b 分析，C 处为复合铰链转动副，应为 <math>3-1=2</math> 个，故 <math>P_5=9</math>，<math>P_4=1</math></p> $W = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$ <p>故除构件 1 外，需再给定构件 5 的位置，构件 7 才能得到确定的运动</p>
压床机构		<p>为 <math>M=3</math> 的平面机构，A、B、C、<math>\dots</math>、N 均为转动副，O 为移动副，其中 C、D、E、F、H、I、J、L、M、N 及相应构件构成 3 个虚约束，计算运动副时应减去，按图 d 分析，C 处转动副为 <math>3-1=2</math>，故 <math>P_5=7</math>，<math>P_4=0</math>，<math>n=5</math></p> $W = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$ <p>按图 c 分析 <math>n=14</math>，<math>P_5=22</math>，虚约束 <math>C=3</math></p> $\bar{W} = 3n - 2P_5 - P_4 + C = 42 - 44 - 0 + 3 = 1$
牛头刨的主体机构		<p>图 e~图 j 均为 <math>M=3</math> 的平面机构</p> <p>图 e、图 f：<math>n=5</math>，<math>P_5=7</math>，<math>P_4=0</math></p> $W = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$ <p>图 g、图 h：是有一个高副的结构型式</p> $n=4$ ， $P_5=5$ ， $P_4=1$ $W = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$ <p>图 i、图 j 为错误的结构</p> <p>图 i：<math>n=5</math>，<math>P_5=7</math>，<math>P_4=0</math></p> <p>所以 <math>W = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1</math>，与主动件数相等，但是只能实现滑块 3 的往复移动，而不能实现刨头的预期往复移动；这是由于构件和运动副配置不当所造成的</p> <p>图 j：<math>W = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0</math>，所以不能动。图 e、图 f 较图 j 多了一杆和一 V 级副，增加了一个自由度；图 g、图 h 只是将图 j 中的一个 V 级副改为 II 级高副，而释放了一个自由度</p>

续表

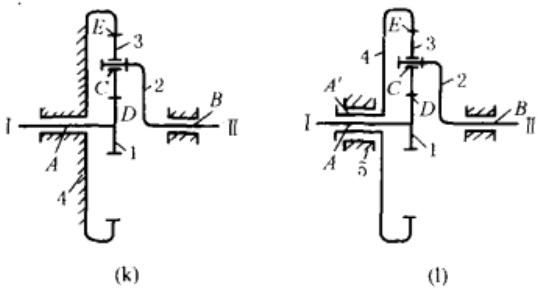
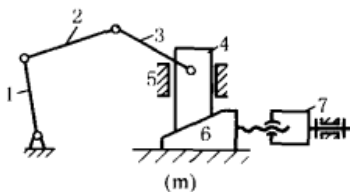
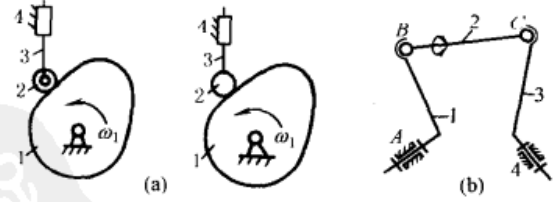
机构运动示意图	自由度分析及结果
<p style="text-align: center;">周转轮系</p> 	<p>图 k 为行星轮系。A、B、C 为回转副，D、E 为线接触高副</p> <p>所以 <math>n = 3, P_5 = 3, P_4 = 2</math></p> <p>故 <math>W = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 2 = 1</math></p> <p>因此，给 1 轮一个确定运动，其他构件的运动都完全确定了。如果 4 不固定，如图 l 成为差动轮系，则整个机构自由度就发生了变化，增加了一个构件 5 和一个回转副 A'</p> <p><math>n = 4, P_5 = 4, P_4 = 2</math>，故 <math>W = 3 \times 4 - 2 \times 4 - 2 = 2</math></p> <p>除给 1 一个确定运动外，还必须把另外一个构件也控制起来，机构的运动才能确定</p>
<p style="text-align: center;">不同 M 的多闭环机构</p> 	<p>图 m 为由 5-1-2-3-4-5、5-4-6-5 和 5-6-7-5 三个不同公共约束 M 的闭环机构组成的七杆多闭环机构，由表 4-1-7 查得，各环的公共约束为 <math>M_1 = 3, M_2 = M_3 = 4</math>，它由 5 个转动副、3 个移动副和 1 个螺旋副组成，共有 9 个 V 级副，按式 (4-1-3a) 计算得机构的自由度为：</p> $\bar{W} = P_5 - \sum_{i=1}^3 (6 - M_i) = 9 - (6 - 3) - 2 \times (6 - 4) = 2$

表 4-1-6

计算 W 时的注意事项

注 意 事 项	图 例
<p>减去多余自由度 <math>f</math></p> <p>构件与运动副组合后，所增多的、不影响机构整体运动特性的自由度，称为多余自由度或局部自由度 <math>f</math>。采用多余自由度，一般是为了减少摩擦损失和使运动副表面磨损均匀，以及补偿制造误差，计算 <math>\bar{W}</math> 时应减去 <math>f</math>，或去除形成局部自由度的构件及运动副数后计算，如图 a</p>	 <p>图 a 中滚子 2 处有一个多余自由度，将 2、3 刚化后：</p> $\therefore n = 3 - 1 = 2, P_5 = 3 - 1 = 2, P_4 = 1$ $\therefore W = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1 \text{ 或 } \bar{W} = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 - 1 = 1$ <p>图 b 中连杆 2 绕自身轴线 BC 的转动为局部自由度 <math>f = 1</math>，且 <math>M = 0, j = 4</math>，<math>n = 3, P_5 = 2, P_3 = 2</math></p> $\bar{W} = P_5 + 3P_3 - (6 - M)(j - n) - f = 1 \times 2 + 3 \times 2 - 6 \times (4 - 3) - 1 = 1$

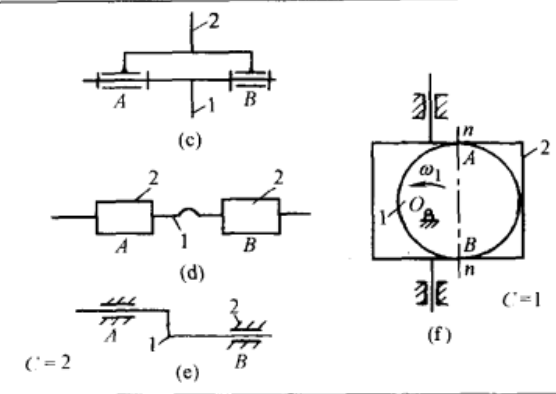
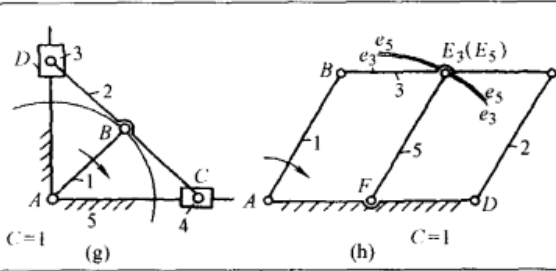
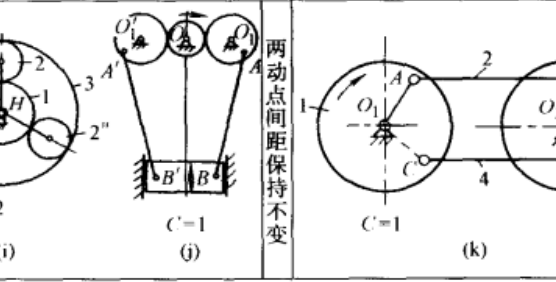
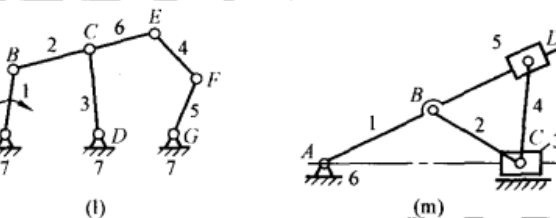
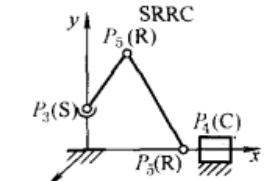
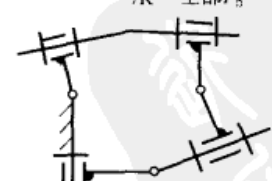
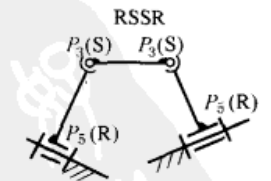
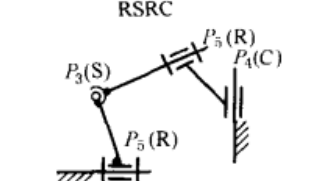
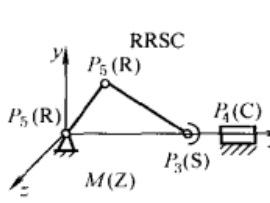

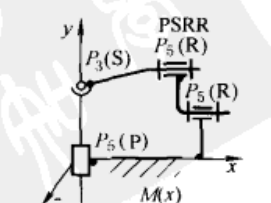
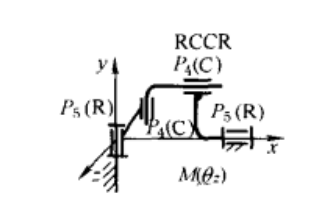
注 意 事 项	图 例
<p><b>去除虚约束 C</b></p> <p>在运动副所加的约束中,有些约束互相重合,重合的约束中有一些对构件运动不起约束作用的称为虚约束,亦称消极约束 C,计算 W 时应除去 C</p> <p>虚约束用于增加机构工作时的刚度,改善受力情况,渡过机构死点或满足工作需要。但必须有较高的制造和装配精度</p> <p>常见的虚约束有:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 两构件间形成 2 个以上运动副:转动副轴线重合(图 c),移动副导路重合或平行(图 d,e),高副接触点方法线重合(图 f)</li> <li>2. 轨迹重合约束:机构中构件尺寸满足特定条件时引入的虚约束(图 g 中 <math>AB = BC = BD, AD \perp AC</math> 时,杆 1 和 A、B 副或滑块 3 及复副 D 形成的约束为虚约束,图 h 中 <math>AB \parallel CD \parallel EF, AD \parallel BC, AF \parallel BE</math> 时,杆 1 和 E、F 副形成虚约束)</li> <li>3. 具有重复(图 i 中行星轮 2', 2" 与 2 重复,应将 2', 2" 去除后计算 W) 或对称结构(图 j 中 <math>O_1A'B'</math> 与 <math>O_1AB</math> 对称,应去除一个)以及表 4-1-5 图 e</li> <li>4. 如图 k 中,轮 1,3 上两动点 C、D 间的距离在运动中始终保持不变,故杆 4 及 C、D 副引入的约束为虚约束</li> </ol>	<p>两构件间形成多个运动副</p>  <p>轨迹重合</p>  <p>具有重复或对称结构时</p> 
<p><b>正确判断复合运动副的个数</b></p> <p>两个以上的构件同时在一处以运动副相连接,构成复合运动副。由 m 个构件组成的复合运动副为 m-1 个</p> <p>图 l 中 C 处有 2 个转动副;</p> <p>图 m 中 D 处有 1 个转动副、1 个移动副, C 处有 2 个转动副、1 个移动副</p>	

表 4-1-7

单闭环机构公共约束数 M 的判定

M	机构组成举例			
0	<p>SRRC</p> 	<p>7R 全部 P5</p> 	<p>RSSR</p> 	<p>RSRC</p> 
1	<p>RRSC</p> 	<p>6R 全部 P5</p> 	<p>PSRR</p> 	<p>RCCR</p> 

续表

M	机构组成举例			
2				
3				
4				

表 4-1-8 用割断机架法确定单闭环空间机构的 M

图例	说明:														
	<p>1. 关键在于建立恰当的坐标系, 利用虚位移原理写出末杆的运动方程式, 写方程式时应就各运动副对末杆产生的运动影响逐个仔细地考察</p> <p>2. 本例中球副 C 的两个转动 <math>\theta_{Cx}</math>、<math>\theta_{Cy}</math> 对机构的输出运动是不起作用的, 仅用来补偿制造运动副 A 时所产生的转角误差, 并增大承压面积</p>														
<p>1. 将图示机构的构件 4 割断, 使 4' 与机架脱离而成为运动链的末杆, 并取 4' 上任一点 D (图中取得与 C 重合) 为原点建立动坐标系 <math>x'y'z'</math></p> <p>2. 研究末杆 4' 在开式运动链中可能实现的独立运动 <math>\theta'_{Dx}</math>、<math>\theta'_{Dy}</math>、<math>\theta'_{Dz}</math>、<math>S'_{Dx}</math>、<math>S'_{Dy}</math> 和 <math>S'_{Dz}</math>, 它们是各运动副 A、B、C、D 所允许的独立运动 <math>\theta_{Ax}</math>、<math>\theta_{Bz}</math>、<math>\theta_{Cx}</math>、<math>\theta_{Cy}</math>、<math>\theta_{Cx}</math>、<math>\theta_{Dx}</math>、<math>S_{Dx}</math> 的合成结果, 在研究某一运动副对末杆的影响时, 暂时将其他运动副看成刚化的, 据此列出运动方程组:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>各运动副的独立运动</th> <th>末杆 4' 在各运动副影响下产生的运动及其方程</th> <th>方程组的系数矩阵</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>                     回转副 A: <math>\theta_{Ax}</math>                      B: <math>\theta_{Bz}</math> </td> <td> <math display="block">\begin{cases} S'_{Dy} = l_{AC}\theta_{Ax} + l_{BC}\cos\alpha\theta_{Bz} \\ \theta'_{Dz} = \theta_{Ax} + \theta_{Bz} + \theta_{Cx} \end{cases}</math> </td> <td rowspan="5"> <math display="block">\begin{bmatrix} \theta_{Ax} &amp; \theta_{Bz} &amp; \theta_{Cx} &amp; \theta_{Cy} &amp; \theta_{Dx} &amp; \theta_{Dy} &amp; S_{Dx} \\ \theta'_{Dx} &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 1 &amp; 1 &amp; 0 \\ \theta'_{Dy} &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 1 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 \\ \theta'_{Dz} &amp; 1 &amp; 1 &amp; 1 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 \\ S'_{Dx} &amp; 0 &amp; -l_{BC}\sin\alpha &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 1 \\ S'_{Dy} &amp; l_{AC} &amp; l_{BC}\cos\alpha &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 \\ S'_{Dz} &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; 0 \end{bmatrix}</math> </td> </tr> <tr> <td>球副 C: <math>\theta_{Cx}</math> <math>\theta_{Cy}</math></td> <td> <math display="block">\begin{cases} \theta'_{Dy} = \theta_{Cy} \\ \theta'_{Dx} = \theta_{Cx} + \theta_{Dx} \end{cases}</math> </td> </tr> <tr> <td>圆柱副 D: <math>\theta_{Dx}</math> <math>S_{Dx}</math></td> <td> <math display="block">\begin{cases} \theta'_{Dx} = \theta_{Cx} + \theta_{Dx} \\ S'_{Dz} = -l_{BC}\sin\alpha\theta_{Bz} + S_{Dz} \end{cases}</math> </td> </tr> <tr> <td>(回转副 B: <math>\theta_{Bz}</math>)</td> <td> <math display="block">S'_{Dz} = 0</math> </td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	各运动副的独立运动	末杆 4' 在各运动副影响下产生的运动及其方程	方程组的系数矩阵	回转副 A: $\theta_{Ax}$ B: $\theta_{Bz}$	$\begin{cases} S'_{Dy} = l_{AC}\theta_{Ax} + l_{BC}\cos\alpha\theta_{Bz} \\ \theta'_{Dz} = \theta_{Ax} + \theta_{Bz} + \theta_{Cx} \end{cases}$	$\begin{bmatrix} \theta_{Ax} & \theta_{Bz} & \theta_{Cx} & \theta_{Cy} & \theta_{Dx} & \theta_{Dy} & S_{Dx} \\ \theta'_{Dx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ \theta'_{Dy} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \theta'_{Dz} & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S'_{Dx} & 0 & -l_{BC}\sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ S'_{Dy} & l_{AC} & l_{BC}\cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S'_{Dz} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	球副 C: $\theta_{Cx}$ $\theta_{Cy}$	$\begin{cases} \theta'_{Dy} = \theta_{Cy} \\ \theta'_{Dx} = \theta_{Cx} + \theta_{Dx} \end{cases}$	圆柱副 D: $\theta_{Dx}$ $S_{Dx}$	$\begin{cases} \theta'_{Dx} = \theta_{Cx} + \theta_{Dx} \\ S'_{Dz} = -l_{BC}\sin\alpha\theta_{Bz} + S_{Dz} \end{cases}$	(回转副 B: $\theta_{Bz}$ )	$S'_{Dz} = 0$		
各运动副的独立运动	末杆 4' 在各运动副影响下产生的运动及其方程	方程组的系数矩阵													
回转副 A: $\theta_{Ax}$ B: $\theta_{Bz}$	$\begin{cases} S'_{Dy} = l_{AC}\theta_{Ax} + l_{BC}\cos\alpha\theta_{Bz} \\ \theta'_{Dz} = \theta_{Ax} + \theta_{Bz} + \theta_{Cx} \end{cases}$	$\begin{bmatrix} \theta_{Ax} & \theta_{Bz} & \theta_{Cx} & \theta_{Cy} & \theta_{Dx} & \theta_{Dy} & S_{Dx} \\ \theta'_{Dx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ \theta'_{Dy} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \theta'_{Dz} & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S'_{Dx} & 0 & -l_{BC}\sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ S'_{Dy} & l_{AC} & l_{BC}\cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S'_{Dz} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$													
球副 C: $\theta_{Cx}$ $\theta_{Cy}$	$\begin{cases} \theta'_{Dy} = \theta_{Cy} \\ \theta'_{Dx} = \theta_{Cx} + \theta_{Dx} \end{cases}$														
圆柱副 D: $\theta_{Dx}$ $S_{Dx}$	$\begin{cases} \theta'_{Dx} = \theta_{Cx} + \theta_{Dx} \\ S'_{Dz} = -l_{BC}\sin\alpha\theta_{Bz} + S_{Dz} \end{cases}$														
(回转副 B: $\theta_{Bz}$ )	$S'_{Dz} = 0$														
解	<p>3. 将末杆 4' 再与机架固定, 则上列方程组中各式均为零, 为确定这些方程组中有几个是独立的, 列出方程组的系数矩阵, 求出系数矩阵的秩, 则此秩就是上列方程组中独立方程的个数, 也就是被割断的机架 (末杆 4') 的自由度 (独立运动) 数 <math>\lambda</math>, 图示机构的 <math>\lambda = 5</math>, 表现为 <math>\theta'_{Dx}</math>、<math>\theta'_{Dy}</math>、<math>\theta'_{Dz}</math>、<math>S'_{Dx}</math>、<math>S'_{Dy}</math></p> <p>4. 割断机架后, 4' 所不能实现的独立运动, 必然是原机构中各运动构件中所共同失去的独立运动, 或运动副共同得到的有效约束——公共约束, 即 <math>M = 6 - \lambda</math>, 求得本机构的 <math>M = 6 - 5 = 1</math></p> <p>对所有机构 <math>\therefore 2 \leq \lambda \leq 6 \quad \therefore 0 \leq M \leq 4</math></p> <p>考虑到圆柱副的独立运动 <math>\theta_{Dx}</math> 对整个运动并无影响, 是多余自由度, 因此, 圆柱副实际相当一个移动副</p> <p>故图示机构的自由度为: <math>W = 1 \times 3 + 3 \times 1 - (6 - 1) \times (4 - 3) = 1</math></p>														

### 1.3.3 多闭环空间机构及开环机构的自由度的计算

① 对于由  $M$  相同的单闭环机构组成的多闭环机构，其自由度仍可直接用式 (4-1-2) 计算；

② 对于由  $M$  不同的单闭环机构组成的多闭环机构，其自由度应为机构各构件引入运动副后所留下的自由度减去各环割断机架后末杆的自由度（末杆焊上所失去的自由度）之差，即：

$$W = P_5 + 2P_4 + 3P_3 + 4P_2 + 5P_1 - \sum_{i=1}^{j-n} \lambda_i \quad (4-1-3a)$$

式中  $\lambda_i$  ——多闭环机构中第  $i$  个单闭环割断机架后末杆的自由度数  $\lambda_i = 6 - M_i$ ；

$i$  ——单闭环的编号；

$j - n$  ——闭环数， $j = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$ ；其余符号意义同式 (4-1-1) 和式 (4-1-2)。

③ 开环机构的自由度计算公式为

$$\bar{W} = P_5 + 2P_4 + 3P_3 + 4P_2 + 5P_1 \quad (4-1-3b)$$

### 1.3.4 空间机构自由度计算例题

(1) 拖拉机外轮调整机构（单闭环机构，图 4-1-1）

由表 4-1-7 查得此机构的  $M = 2$ ，表现为不能沿  $x$  轴移动和绕  $z$  轴转动：

$$n = 4, j = 5, P_5 = 5$$

$$\text{所以 } W = 1 \times 5 - (6 - 2) \times (5 - 4) = 1$$

(2) 割草机割刀机构（单闭环机构）

1) 设取坐标系如图 4-1-2，其运动方程式为：

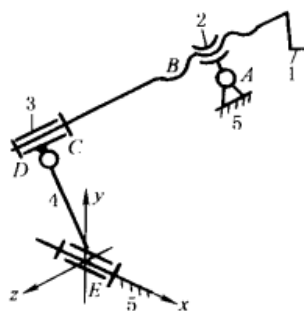


图 4-1-1 拖拉机外轮调整机构

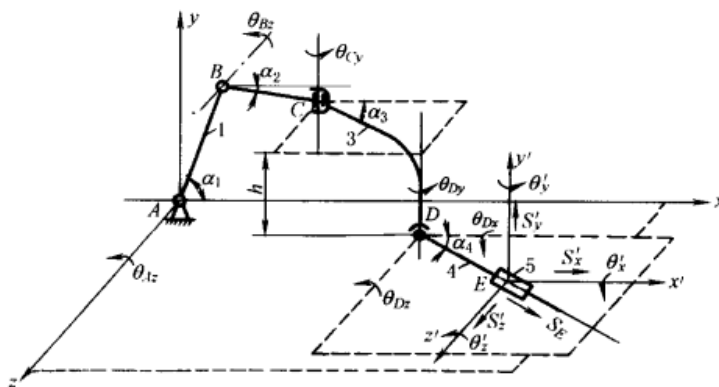


图 4-1-2 割草机割刀机构

$$\theta'_x = \theta_{Dx}$$

$$\theta'_y = \theta_{Cy} + \theta_{Dy}$$

$$\theta'_z = \theta_{Az} + \theta_{Bz} + \theta_{Dz}$$

$$S'_x = -a\theta_{Az} - b\theta_{Bz} + c\theta_{Cy} + d\theta_{Dy} + \cos\alpha_4 S_E$$

$$S'_y = e\theta_{Az} + f\theta_{Bz} + g\theta_{Dz} - d\theta_{Dx}$$

$$S'_z = -k\theta_{Cy} - g\theta_{Dy} + \sin\alpha_4 S_E$$

式中  $a = l_{AB} \sin\alpha_1 - l_{BC} \sin\alpha_2 - h$

$$b = -l_{BC} \sin\alpha_2 - h$$

$$c = l_{CD} \sin\alpha_3 + l_{DE} \sin\alpha_4$$

$$d = l_{DE} \sin\alpha_4$$

$$e = l_{AB} \cos\alpha_1 + l_{BC} \cos\alpha_2 + l_{CD} \cos\alpha_3 + l_{DE} \cos\alpha_4$$

$$f = l_{BC} \cos\alpha_2 + l_{CD} \cos\alpha_3 + l_{DE} \cos\alpha_4$$

$$g = l_{DE} \cos\alpha_4$$

$$k = l_{CD} \cos\alpha_3 + l_{DE} \cos\alpha_4$$

2) 求系数矩阵的秩： $\lambda = 6$ ，即  $M = 6 - 6 = 0$

3) 机构的自由度：此机构中  $n = 4$ ， $j = 5$ ， $P_5 = 4$ ， $P_3 = 1$

$$\therefore W = 1 \times 4 + 3 \times 1 - (6 - 0) \times (5 - 4) = 1$$

(3) 谷物收获机的割刀机构(多封闭环机构, 图 4-1-3)

$n = 6, j = 8, P_3 = 1, P_5 = 7$ , 所以  $j - n = 2$  为空间双闭环机构。

闭环 I 为 7-1-2-3-4-7, 闭环 II 为 7-4-5-6-7。分别求出环 I 和环 II 的  $\lambda$ , 由式 (4-1-3a) 可求出整个机构的自由度。

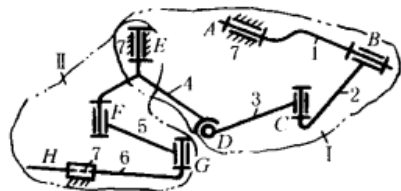


图 4-1-3 谷物收获机的割刀机构

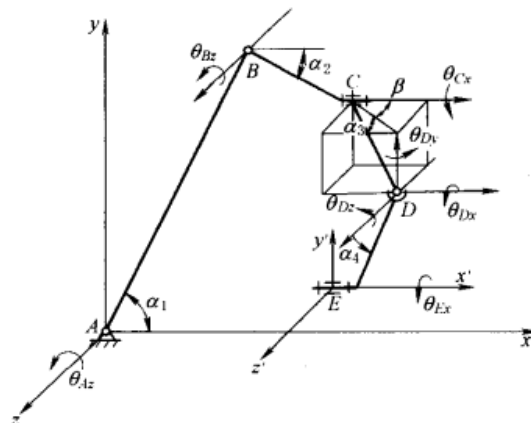


图 4-1-4 谷物收获机的割刀机构闭环 I

1) 闭环 I: 设取坐标系如图 4-1-4, 其运动方程式为:

$$\theta'_x = \theta_{Cx} + \theta_{Dx} + \theta_{Ex}$$

$$\theta'_y = \theta_{Dy}$$

$$\theta'_z = \theta_{Az} + \theta_{Bz} + \theta_{Dz}$$

$$S'_x = -a\theta_{Az} - b\theta_{Bz} + c\theta_{Dy} - d\theta_{Dz}$$

$$S'_y = e\theta_{Az} + f\theta_{Bz} - g\theta_{Cx} - h\theta_{Dx}$$

$$S'_z = -i\theta_{Cx} - j\theta_{Dx}$$

式中  $a = l_{AB}\sin\alpha_1 - l_{BC}\sin\alpha_2 - l_{CD}\sin\alpha_3 - l_{DE}\sin\alpha_4$

$$b = -l_{BC}\sin\alpha_2 - l_{CD}\sin\alpha_3 - l_{DE}\sin\alpha_4$$

$$c = l_{DE}\cos\alpha_4$$

$$d = -l_{DE}\sin\alpha_4$$

$$e = l_{AB}\cos\alpha_1 + l_{BC}\cos\alpha_2 + l_{CD}\cos\alpha_3\cos\beta$$

$$f = l_{BC}\cos\alpha_2 + l_{CD}\cos\alpha_3\cos\beta$$

$$g = l_{CD}\cos\alpha_3\sin\beta + l_{DE}\cos\alpha_4$$

$$h = l_{DE}\cos\alpha_4$$

$$i = l_{CD}\sin\alpha_3 + l_{DE}\sin\alpha_4$$

$$j = l_{DE}\sin\alpha_4$$

经求解此系数矩阵为满秩, 即  $\lambda_I = 6, \therefore M = 0$

2) 闭环 II: 为一平面曲柄滑块机构, 其  $M = 3, \lambda_{II} = 3$ , 由式 (4-1-3a) 得:

$$W = 1 \times 7 + 3 \times 1 - (6 + 3) = 1$$

## 1.4 平面机构的结构分析

机构结构分析是对测绘或设计所得的机构运动简图, 进行自由度计算, 再从机构结构的角度研究其组成原理, 并以此进行机构分类, 以便于按此分类研究机构运动和进行动力分析的一般方法, 以及根据机构组成原理进行机构综合创新设计。平面机构的组成及结构分类见表 4-1-9。

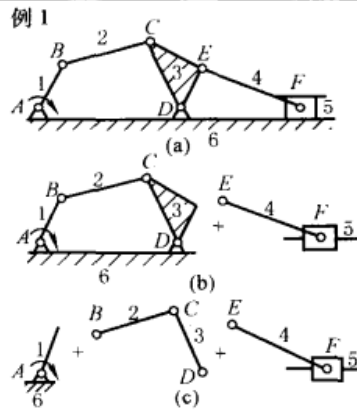
基于一个平面高副和一个带有两个低副的杆在约束上是等价的, 均为一个约束。高副低代时, 在高副两元素接触点的曲率中心处用两个转动副, 并以杆长为两曲率半径之和(凸凸接触)或差(凸凹接触)的杆相连, 用此一杆两低副来取代一个高副。除了以点、直线、圆弧为高副元素之外, 其他曲线的高副元素在不同接触点处的曲率半径是变化的, 因而低代杆的长度也是变化的; 所以一个高副机构在不同位置时的低代机构是不同的, 因而只能用来分析机构在某一瞬时位置的运动和受力。

表 4-1-9

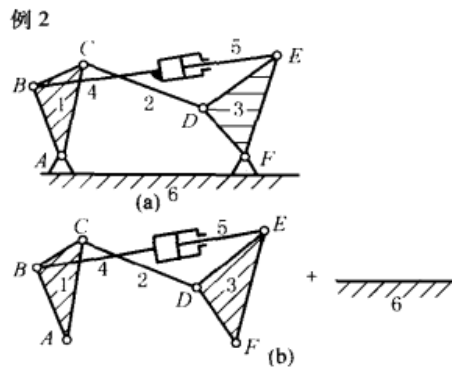
平面机构的组成及结构分类

机构的一般组成	平面低副机构(含有气、液元件的除外,高副可转换为低副)是由机架、主动件和从动系统(自由度为零的运动链)三部分组成				
基本杆组(杆组)	自由度为零的不能再分解(拆)的运动链				
机构的(结构)组成	自由度为 $W$ 的机构 = $W$ 个主动件 + 1 个机架 + 若干个自由度为零的杆组				
杆组结构属性	<p>1. 基本杆组的 <math>W = 3n - 2P_5 = 0</math> (无高副时)。<math>\overline{W} = 3n - 2P_5 - P_4 = 0</math> (含高副时)</p> <p>由此得 <math>P_5 = 3n/2</math>, 即构件数 <math>n</math> 应为偶数, 且当 <math>n = 2, 4, 6, \dots</math> 时, <math>P_5 = 3, 6, 9, \dots</math> 含高副时: <math>n = P_4 = P_5</math></p> <p>2. 杆组中与其他杆件或杆组相连接的运动副称为外部副(外副数为杆组的序数); 不与其他杆件或杆组相连的运动副为内部副</p> <p>3. 依据杆组中由杆件和运动副所形成的最高级别闭廓形式进行杆组的结构分类, 杆组中最高闭廓形式为直线、三角形和四边形时分别称此杆组为 II 类、III 类和 IV 类杆组</p> <p>4. 杆组上的所有外副不能连接到同一构件上(带缸杆组例外)</p>				
杆组的运动和动力属性	<p>1. 各类杆组具有运动确定性, 当已知杆组各外部副的运动时, 整个杆组的运动即可确定</p> <p>2. 各类杆组具有动力确定性, 杆组中内、外副中的反力均可按静力平衡方程求解</p>				
刚性杆、杆组中的转动副 一般可转换为移动副形式  带有液、气动缸杆组的 $W$ 等于缸数, 每增加一缸, 杆 数和运动副数均增加一个	类别	杆数和运动副数	刚性杆杆组型式	单缸杆组型式	
	II	$n = 2$ $P_5 = 3$	每个构件含两个低副		
	III	$n = 4$ $P_5 = 6$	至少有一个构件有三个低副		
		$n = 6$ $P_5 = 9$			
	IV	$n = 4$ $P_5 = 6$	杆组中有一个四边形		
		$n = 6$ $P_5 = 9$			
机构的结构分类	机构的类别是由机构中各基本杆组中的最高类别决定, 如杆组的最高类别为 III 类, 则机构为 III 类机构。机构的类别愈高, 机构就愈复杂, 分析也较困难				
机构结构分类的步骤和方法	<p>1. 画出机构运动简图</p> <p>2. 除去机构中的虚约束和局部自由度, 计算机构自由度, 用箭头标出选定或已知的主动杆(一般为连架杆)</p> <p>3. 将机构中的高副加以低代</p> <p>4. 从远离主动件处对机构进行拆组, 先试拆最简单的 II 类杆组, 当无法拆除 II 类杆组时, 再试拆 III 类或 IV 类杆组。注意所拆离杆组的构件一定要带走有关的外部运动副; 试拆完一个杆组后, 剩下的必须仍为一个完整的机构, 不允许出现零散的构件或运动副</p> <p>5. 每拆完一个杆组后, 再对剩余机构拆组, 直到全部杆组拆完, 只剩下 <math>\overline{W}</math> 个主动件和机架, 同一机构, 选取不同构件为主动件, 所拆得杆组的型式和类别也可能不同</p> <p>6. 根据所拆得各个杆组中的最高类别确定机构的类别</p> <p>7. 对带有气、液动缸的机构, 可先试拆杆数较少的带缸或不带缸的杆组, 如不可能, 再拆杆数较多的杆组, 但应注意, 带缸杆组的自由度等于缸数, 而不带缸杆组的自由度为零。带缸机构的自由度是组成机构的各带缸杆组自由度之和</p>				

判定平面机构类别示例



先将图 a 中的构件 4、5 连同 E、F 两个转动副及一个移动副的 II 类杆组拆下,剩下的是一个铰链四杆机构(见图 b)  
从这个四杆机构中再拆下构件 2、3 连同 B、C、D 三个转动副的又一个 II 类杆组,最后剩下的是主动件 1 和机架 6(图 c)  
可以判定该机构为具有一个自由度的 II 类机构



先从图 a 所示的带缸机构中试拆带缸或不带缸的 II 类杆组,都会导致将机构拆散,再试拆 III 类杆组也不行  
将全部运动构件连同 A、F 两个转动副从机架上拆下,得一 IV 类一缸杆组,见图 b  
可以判定该机构为一个自由度的 IV 级机构

要将杆数较少的机构扩展成杆数较多的机构,且保持原有自由度时,只需在机构的适当部位拼接若干个杆组。反之,则减少若干个杆组。

当发现机构的自由度不符合要求,希望机构增加一个自由度时,可在机构的适当部位增加一杆一低副或将一低副改为一高副、或拆去一杆二低副(见表 4-1-5 图 e~图 j);若希望机构减少一个自由度时,则拆去一杆一低副,或将一高副改为一低副,或增加一杆二低副。

## 2 平面机构的运动分析

机构的运动分析是按给定机构的尺寸、主动件的位置和运动规律,求解机构在一个运动循环内:①各构件的对应位置,构件上特定点的位移和轨迹;②构件上某些特定点的速度和加速度;③各构件的角速度和角加速度。

分析的结果可以用来:

①判定机构的运动特性与所需运动的适合程度;②为机构动力学计算作准备。

几种分析方法的比较见表 4-1-10。

表 4-1-10 平面机构运动分析方法的比较

序号	方法	特点
1	矢量图解法	简单、直观性强,但精度比解析法差
2	解析法	精度高、能够给出各运动参数与构件尺寸间的解析关系,便于合理确定机构参数,计算复杂,但可自行编制软件或利用现存软件用计算机解算
3	瞬心法	简单、尤其适用于求构件数较少的机构中某构件的角速度或某点的速度,不能用于求解机构的加速度,精度比解析法差
4	线图微、积分法	可以简便地求出构件在整个运动循环中的运动情况,并能求出速度和加速度的极限值,及其所在位置。但只能求运动参数的大小,不知方向,除直线运动外,只能求某点的切向加速度,本手册不作介绍
5	实验法	能反映机构在工作条件下的真实运动,可检验机构的运动与其主要尺寸间的关系,对解决输出构件的运动和轨迹问题较简便,需要测试设备,不便于分析中间构件的运动



## 2.1 机构的位置和构件上某点的轨迹分析

在按轨迹要求设计机器、确定机构的运动范围和各构件间是否发生干涉问题时，要用作图法或解析法进行轨迹和位置分析。作图步骤如下：

- ① 在图上按给定尺寸和相对位置，用取定的比例尺画出与机架相连的各运动副位置；
- ② 画出各连架杆另一端运动副中心的轨迹；
- ③ 以主动件某一设定位置时的非连架运动副中心  $B$  为基准，针对不同情况采用表 4-1-11 中所列方法之一，求作机构中其他各构件的位置。
- ④ 将机构在一系列位置时，某构件上指定点（如表 4-1-11 图 a 中  $BC$  杆上的  $M$ 、 $N$  点）的相应位置顺序连成光滑曲线即为该点轨迹。连杆上各点的轨迹叫做连杆曲线，其形状复杂多样，通常为高次方曲线。

## 2.2 机构的速度与加速度分析

### 2.2.1 矢量图解法

已知机构运动简图、主动件的位置  $\varphi_1$ 、角速度  $\omega_1$  ( $\text{rad/s}$ ) 及角加速度  $\varepsilon_1$  ( $\text{rad/s}^2$ )，各构件的长度  $L_{AB}$ 、 $L_{BC}$ 、 $\dots$  (m)；求在指定的机构主动件位置时，连杆 2 上  $C$  点的速度  $v_C$  和加速度  $a_C$  以及杆 2 的角速度  $\omega_2$  和角加速度  $\varepsilon_2$ 。其求解步骤与方法见表 4-1-12。几种常用四杆机构的速度和加速度矢量方程见表 4-1-13，Ⅲ、Ⅳ类机构的速度、加速度矢量方程见表 4-1-14。

表 4-1-11

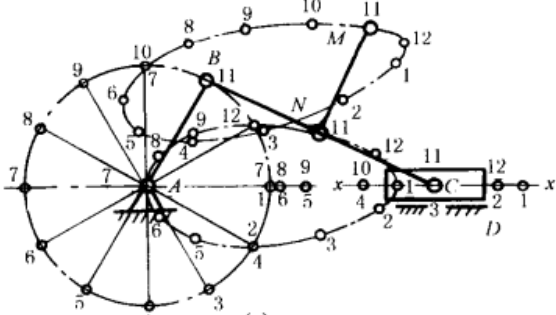
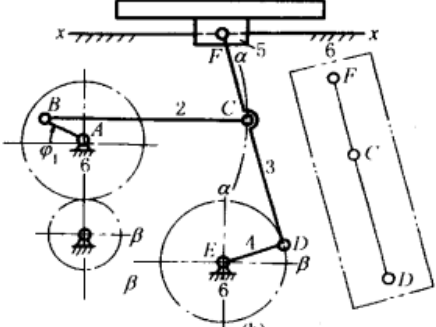
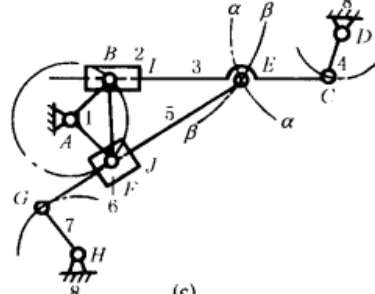
几何作图法	 <p>(a)</p>	<p>以 <math>B</math> 为圆心, <math>BC</math> 为半径, 作圆弧与 <math>C</math> 点的轨迹 <math>x-x</math> 相交于 <math>C</math>, 得 <math>C</math> 和 <math>BC</math> 杆上 <math>M</math>、<math>N</math> 点的一个位置; 如将 <math>B</math> 点轨迹分 12 等分, 顺序改变 <math>B</math> 的位置, 以同样方法求得 <math>C</math> 点、<math>M</math> 点和 <math>N</math> 点的一系列对应位置</p>
样板试凑法	 <p>(b)</p>	<p>图 b 为平板印刷机台板往复运动机构, 图中 <math>C</math>、<math>D</math>、<math>F</math> 点的轨迹分别为以 <math>B</math> 为圆心、<math>BC</math> 为半径的圆弧 <math>\alpha\alpha</math> 和以 <math>E</math> 为圆心、<math>ED</math> 为半径的圆 <math>\beta\beta</math> 和直线 <math>xx</math>, 用透明纸 <math>DCF</math> 覆盖在这些已作出的轨迹 <math>\alpha\alpha</math>、<math>\beta\beta</math> 和 <math>xx</math> 上试凑, 使 <math>D</math>、<math>C</math>、<math>F</math> 点落在各自的轨迹上, 得机构位置图</p>
拆副交轨法	 <p>(c)</p>	<p>图 c 为缝纫机送布机构, 给定主动件 1 的位置 (即 <math>B</math>、<math>F</math> 的位置给定), <math>E</math> 点作为杆 3 上的点, 当 <math>C</math> 点处于不同位置时, <math>E_3</math> 的轨迹是 <math>\alpha\alpha</math>; <math>E</math> 点作为杆 5 上的点, 当 <math>G</math> 点处于不同位置时, <math>E_5</math> 的轨迹是 <math>\beta\beta</math>; <math>\alpha\alpha</math>、<math>\beta\beta</math> 的交点就是在给定 <math>B</math>、<math>F</math> 位置下的 <math>E</math> 点位置, <math>E</math> 点的位置确定后, 杆 3 和杆 5 的位置随之确定</p>

表 4-1-12 矢量图解法求解机构运动的步骤与方法

步骤	方法	数值
<p>1. 选定长度比例尺 <math>\mu_1</math>, 绘给定位置 <math>\varphi_1</math> 时的机构运动简图</p>		<p>求速度 和 角速度</p> <p>取 <math>\mu_1 = \frac{L_{AB}}{AB}</math> (m/mm)</p> <p>极点 <math>P_0</math> 或 <math>P_0</math> 引出的线段为绝对运动矢量, 连接其他任意两点的矢量为相对运动矢量</p>
<p>2. 求主动件非连架运动副中心 B 的 <math>v_B</math> 和 <math>a_B</math></p>		<p>求加速度 和 角加速度</p> <p><math>a_B = L_{AB} \omega_1^2 = L_{AB} \left( \frac{\pi n_1}{30} \right)^2</math> (m/s<sup>2</sup>)</p> <p>方向由 B → A</p>
<p>3. 由主动件出发向远离主动件方向依次取各构件为脱离体, 利用运动分解成牵连运动和相对运动的原理列出相对运动矢量方程式, 用方程式, 用图法求解 (每一矢量方程式可求解两个未知量大小或方向)</p>	<p>根据平面运动的构件两点间速度的关系:</p> <p>绝对速度 = 牵连速度 + 相对速度</p> <p>先列出构件 2, 3 上瞬时重合点 <math>C_2, C_3</math> 的方程, 未知数为 <math>v_{D_2}, v_{D_3/2}</math> 间的速度方程:</p> $\vec{v}_{D_3} = \vec{v}_{D_2} + \vec{v}_{D_3/2} = \vec{v}_B + \vec{v}_{D_2B} + \vec{v}_{D_3/2}$ <p>方向: <math>\perp AB</math> <math>\perp DB</math> // xx</p> <p>大小: 0 <math>\omega_1 L_{AB}</math> ? (<math>\omega_2 L_{DB}</math>) ?</p>	<p>牵连运动为移动时:</p> <p>绝对加速度 = 牵连加速度 + 相对加速度</p> <p>牵连运动为转动时: 牵连运动 + 相对运动互相影响</p> <p>绝对加速度 = 牵连加速度 + 相对加速度 + 哥氏加速度</p> $\vec{a}_{D_3} = \vec{a}_{D_2} + \vec{a}_{D_3/2} = \vec{a}_B + \vec{a}_{D_2B} + \vec{a}_{D_3/2} + \vec{a}_{D_3/2}^k$ <p>方向: B → A <math>\perp AB</math> <math>D_2 \rightarrow B</math> <math>\perp D_2B</math> // xx 将 <math>\vec{v}_{D_3/2}</math> 顺 <math>\omega_2</math> 转 90°</p> <p>大小: 0 <math>\omega_1^2 L_{AB}</math> <math>\epsilon_1 L_{AB} = 0</math> <math>\omega_2^2 L_{D_2B}</math> ? (<math>\epsilon_2 L_{D_2B}</math>) ? <math>2\omega_2 v_{D_3/2}</math></p> <p><math>a_{D_3/2}^k</math> 为动点 <math>D_3</math> 相对牵连点 <math>D_2</math> 的相对加速度, <math>a_{D_3/2}^k</math> 为哥氏加速度</p>
<p>(2) 定出速度、加速度比例尺</p>	<p>取 <math>P_0</math> 为速度极点, 取长 <math>P_0 b</math> 表示 <math>\vec{v}_B</math> 大小, 并使 <math>P_0 b \perp AB</math>, 指向与 <math>\omega_1</math> 一致, 则 <math>\vec{P_0 b}</math> 即为 <math>\vec{v}_B</math>. 定出速度比例尺</p> <p><math>\mu_v = v_B / P_0 b</math> [(m/s)/mm]</p>	<p>取 <math>P_0</math> 为加速度极点, 取长 <math>P_0 b'</math> 表示 <math>\vec{a}_B</math> 大小, 并使 <math>P_0 b' \parallel BA</math> 指向由 B 到 A, 则 <math>\vec{P_0 b'}</math> 即为 <math>\vec{a}_B</math></p> <p><math>\mu_a = a_B / P_0 b'</math> (m/s<sup>2</sup>)</p>

步	骤	方	法	数	值
3. 由主动件出发向远离主动件方向依次取各构件为脱离体, 利用运动分解成牵连运动和相对运动的原理列出相对运动矢量方程式, 用作图法求解 (每一矢量方程式可求解两个未知量大小或方向)	<p>(3) 作速度、加速度多边形, 求 <math>\omega_2</math>、<math>\omega_3</math> 及 <math>\varepsilon_2</math>、<math>\varepsilon_3</math></p>	<p>求 速度 和 角 速度</p> <p>过 <math>b</math> 作 <math>bd_2 \perp BD</math>, 过 <math>P_0</math> 作 <math>d_3 d_2 // xx</math>, <math>d_3 d_2</math> 与 <math>bd_2</math> 交于 <math>d_2</math>, 则 <math>v_{D_2 B} = \mu_1 bd_2</math> (m/s)</p> $\therefore \omega_2 = \omega_3 = \frac{v_{D_2 B}}{L_{D_2 B}} = \frac{\mu_1 d_2 b}{\mu_1 D_2 B} \text{ (rad/s)}$ <p>将代表 <math>v_{D_2 B}</math> 的矢量 <math>\vec{bd}_2</math> 平移到杆 2 上的 <math>D_2</math> 点, 将 <math>B</math> 看作转动中心, 可求得 <math>\omega_2</math> 为逆时针方向; 构件 2 与 3 之间不得相对转动, 故 <math>\omega_3</math> 亦为逆时针方向</p>	<p>求 加 速 度 和 角 加 速 度</p> <p>过 <math>b'</math> 作 <math>\vec{b'n} // D_2 B</math>, 取 <math>b'n = \omega_2^2 L_{D_2 B} / \mu_0</math>, 过 <math>n</math> 作 <math>nd_2' \perp D_2 B</math>, 过 <math>P_0</math> 作 <math>kP_0 \perp v_{D_2 B}</math>, 使 <math>kP_0 = a_{D_2 B}^k / \mu_0</math>, 则 <math>kP_0</math> 表示 <math>a_{D_2 B}^k</math> 的位置, 过 <math>k</math> 作 <math>kd_2' // xx</math> 交 <math>nd_2'</math> 于 <math>d_2'</math>, 则 <math>a_{D_2 B}^k = \mu_0 nd_2'</math> (m/s<sup>2</sup>)</p> $\therefore \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \frac{a_{D_2 B}^k}{L_{D_2 B}} = \frac{\mu_0 nd_2'}{\mu_1 D_2 B} \text{ (rad/s}^2\text{)}$ <p>将代表 <math>a_{D_2 B}^k</math> 的矢量 <math>\vec{nd_2}'</math> 平移到杆 2 上的 <math>D_2</math> 点, 将 <math>B</math> 看作转动中心, 可求得 <math>\varepsilon_2</math> 和 <math>\varepsilon_3</math> 为逆时针方向</p>	<p>与</p>	<p>值</p>
(4) 列 $C_2$ 点的速度和加速度矢量方程式, 并作速度方程式, 求 $v_{C_2}$ 、 $v_{C_m}$ 及 $a_{C_2}$ 、 $a_{C_3}$ 、 $a_{C_m}$	<p>(4) 列 <math>C_2</math> 点的速度和加速度矢量方程式, 并作速度方程式, 求 <math>v_{C_2}</math>、<math>v_{C_m}</math> 及 <math>a_{C_2}</math>、<math>a_{C_3}</math>、<math>a_{C_m}</math></p>	<p>求 速度 和 角 速度</p> <p><math>\vec{v}_{C_2} = \vec{v}_B + \vec{v}_{C_2 B} = \vec{v}_{C_3} + \vec{v}_{C_2 C_3}</math></p> <p>方向: <math>? \perp AB \perp CB \perp CD \perp CD // xx</math></p> <p>大小: <math>? \omega_1 L_{AB} \quad \omega_2 L_{CB} \quad ? (\omega_3 L_{CD}) \quad ?</math></p> <p>过 <math>b</math> 作 <math>bc_2 \perp BC</math>, 取 <math>bc_2 = \omega_2 L_{CB} / \mu_0</math>, <math>P_0 C_2</math> 即代表 <math>\vec{v}_{C_2}</math></p> $\therefore v_{C_2} = \mu_0 P_0 C_2 \text{ (m/s)}$ <p>过 <math>P_0</math> 作 <math>P_0 c_3 \perp DC</math>, 过 <math>c_2</math> 作 <math>c_2 c_3 // xx</math>, <math>P_0 c_3</math> 与 <math>c_2 c_3</math> 相交于 <math>c_3</math> 点, 则 <math>v_{C_3} = \mu_0 P_0 c_3</math> (m/s)</p> <p>指向与 <math>\omega_3</math> 一致, 亦可由 <math>v_{C_3} = \omega_3 L_{CD}</math> 求得</p> <p><math>\Delta b c_2 d_2 \sim \Delta BCD</math>, 且字母顺序一致, 可将 <math>\Delta BCD</math> 沿 <math>\omega_2</math> 方向转过 <math>90^\circ</math> 而得, 此谓速度影像原理</p> <p>如已知构件上两点的速度, 便可求其上任一点的速度, 如 <math>BC</math> 上的 <math>C_m</math> 点, 可使</p> $\frac{c_2 c_m}{c_2 b} = \frac{C C_m}{CB}, \text{ 连 } P_0 c_m \text{ 则 } \vec{P_0 c_m} \text{ 代表 } \vec{v}_{C_m}$ $\therefore v_{C_m} = \mu_0 P_0 c_m \text{ (m/s)}$	<p>求 加 速 度 和 角 加 速 度</p> <p><math>\vec{a}_{C_2} = \vec{a}_B + \vec{a}_{C_2 B} + \vec{a}_{C_2 C_3} + \vec{a}_{C_2 B}</math></p> <p>方向: <math>? B \rightarrow A \quad C \rightarrow B \perp BC</math></p> <p>大小: <math>? \omega_1^2 L_{AB} \quad \omega_2^2 L_{C_2 B} \quad \varepsilon_2 L_{C_2 B}</math></p> <p>过 <math>b'</math> 作 <math>b'c_2'' // BC</math>, 使 <math>b'c_2'' = a_{C_2 B}'' / \mu_0</math>, 方向由 <math>C</math> 到 <math>B</math>, 过 <math>c_2''</math> 作 <math>c_2'' c_2' \perp CB</math>, 使 <math>c_2'' c_2' = a_{C_2 B}'' / \mu_0</math>, 方向与 <math>\varepsilon_2</math> 一致, 则 <math>a_{C_2} = \mu_0 P_0 c_2'</math> (m/s<sup>2</sup>)</p> <p><math>\vec{a}_{C_3} = \vec{a}_{C_3} + \vec{a}_{C_3}</math></p> <p>方向: <math>? C \rightarrow D \perp CD</math></p> <p>大小: <math>? \omega_3^2 L_{CD} \quad \varepsilon_3 L_{CD}</math></p> <p>过 <math>P_0</math> 作 <math>P_0 c_3'' // CD</math>, 指向由 <math>C</math> 到 <math>D</math>, 取 <math>P_0 c_3'' = a_{C_3}'' / \mu_0</math>, 过 <math>c_3''</math> 作 <math>c_3'' c_3' \perp CD</math>, 取 <math>c_3'' c_3' = a_{C_3}'' / \mu_0</math>, 方向与 <math>\varepsilon_3</math> 一致, 则 <math>\vec{a}_{C_3} = \mu_0 P_0 c_3'</math> (m/s<sup>2</sup>)</p> <p><math>\Delta b' c_2' d_2' \sim \Delta BCD</math>, 字母顺序一致, 可将 <math>\Delta BCD</math> 沿 <math>\varepsilon_2</math> 方向转过 <math>180^\circ - \theta</math> 而得, <math>\theta = \arctan \frac{ \varepsilon_2 }{\omega_2}</math>, 此谓加速度影像原理。可用同样原理求解构件上任一点的加速度, 如 <math>BC</math> 上的 <math>C_m</math> 点, 可使</p> $\frac{c_2' c_m'}{c_2' b'} = \frac{C C_m}{CB}, \text{ 连 } P_0 c_m' \text{ 则 } \vec{a}_{C_m} = \mu_0 P_0 c_m' \text{ (m/s}^2\text{)}$	<p>与</p>	<p>值</p>

表 4-1-13

几种常用四杆机构的速度和加速度矢量方程

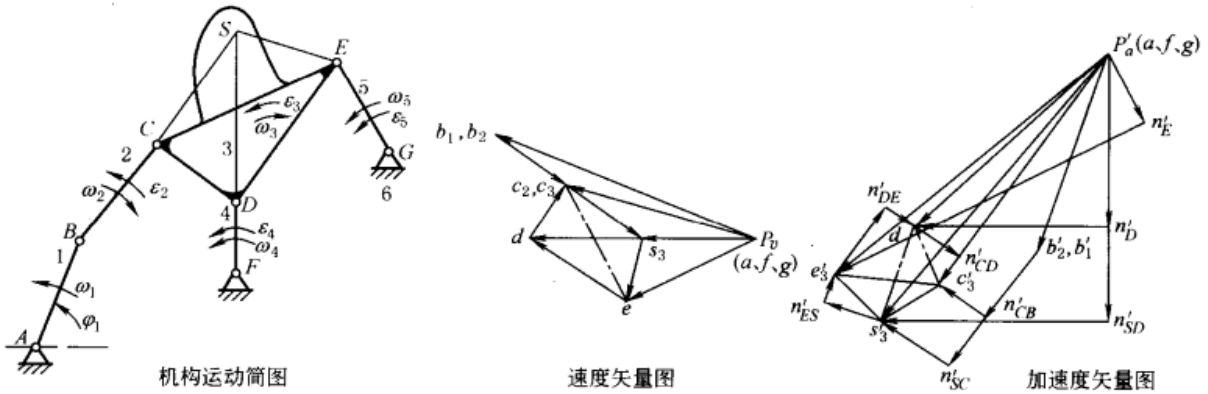
机构运动简图及速度、加速度矢量图		
		<p>速度、角速度</p> $\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB} = \vec{v}_D + \vec{v}_{CD}$ <p>方向: <math>\perp CD</math> <math>\perp AB</math> <math>\perp BC</math> <math>\perp CD</math></p> <p>大小: ? <math>\omega_1 L_{AB}</math> ? <math>(\omega_2 L_{BC})</math> 0 ? <math>(\omega_3 L_{CD})</math></p> $\omega_2 = \frac{v_{CB}}{L_{CB}} = \frac{\mu_v bc}{\mu_1 CB} \text{ (rad/s)}, \omega_3 = \frac{\mu_v P_v c}{\mu_1 CD}$ <p>用速度影像原理作图求得:</p> $\vec{v}_{C_m} = \mu_v \vec{P}_v c_m \text{ (m/s)}$
		<p>速度、角速度</p> $\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB}$ <p>方向: <math>\parallel xx</math> <math>\perp AB</math> <math>\perp BC</math></p> <p>大小: ? <math>\omega_1 L_{AB}</math> ? <math>(\omega_2 L_{CB})</math></p> $\omega_2 = v_{CB} / L_{CB} = \frac{\mu_v bc}{\mu_1 CB} \text{ (rad/s)}$ <p>由作图求得: <math>\vec{v}_C = \mu_v \vec{P}_v c</math> (m/s)</p> <p>用速度影像原理作图求得:</p> $\vec{v}_E = \mu_v \vec{P}_v c \text{ (m/s)}$
	<p>加速度、角加速度</p> $\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_B + \vec{a}_{CB} + \vec{a}_{CB} = \vec{a}_D + \vec{a}_{CD} + \vec{a}_{CD}$ <p>方向: <math>\parallel xx</math> <math>B \rightarrow A</math> <math>\perp AB</math> <math>C \rightarrow B</math> <math>\perp BC</math></p> <p>大小: ? <math>\omega_1^2 L_{AB}</math> <math>\varepsilon_1 L_{AB} = 0</math> <math>\omega_2^2 L_{BC}</math> ? <math>(\varepsilon_2 L_{CB})</math></p> $\varepsilon_2 = \frac{a_{CB}^i}{L_{CB}} = \frac{\mu_a c'' c'}{\mu_1 CB} \text{ (rad/s}^2\text{)}$ <p>作图求得: <math>\vec{a}_C = \mu_a \vec{P}_a c'</math> (m/s<sup>2</sup>), 用加速度影像原理作图求得: <math>\vec{a}_E = \mu_a \vec{P}_a e'</math> (m/s<sup>2</sup>)</p>	
		<p>速度、角速度</p> $\vec{v}_{B_3} = \vec{v}_{B_2} + \vec{v}_{B_3/2} = \vec{v}_D + \vec{v}_{B_3D}$ <p>方向: <math>\perp AB</math> <math>\parallel BD</math> <math>\perp B_3D</math></p> <p>大小: <math>\omega_1 L_{AB}</math> ? 0 ? <math>(\omega_3 L_{B_3D})</math></p> $\omega_2 = \omega_3 = \frac{v_{B_3D}}{L_{B_3D}} = \frac{\mu_v db_3}{\mu_1 DB_3} \text{ (rad/s)}$ <p>用速度影像原理作图求得: <math>\vec{v}_E = \mu_v \vec{P}_v e</math> (m/s)</p>
	<p>加速度、角加速度</p> $\vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{B_1} + \vec{a}_{B_1} = \vec{a}_{B_3} + \vec{a}_{B_3} + \vec{a}_{B_2/3} + \vec{a}_{B_2/3}$ <p>方向: <math>B \rightarrow A</math> <math>\perp AB</math> <math>B \rightarrow D</math> <math>\perp BD</math> <math>\parallel BD</math> 将 <math>v_{B_2/3}</math> 顺 <math>\omega_3</math> 转 <math>90^\circ</math></p> <p>大小: <math>\omega_1^2 L_{AB}</math> <math>\varepsilon_1 L_{AB} = 0</math> <math>\omega_3^2 L_{BD}</math> ? <math>(\varepsilon_2 L_{BD})</math> ? <math>2\omega_3 v_{B_2/3}</math></p> $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \frac{a_{B_2D}^i}{L_{B_3D}} = \frac{\mu_a b' b_3'}{\mu_1 B_3 D} \text{ (rad/s}^2\text{)}$ <p>用加速度影像原理作图求得: <math>\vec{a}_E = \mu_a \vec{P}_a e'</math> (m/s<sup>2</sup>)</p>	

表 4-1-14

III、IV类多杆机构的速度、加速度矢量方程

III类三序六杆机构

已知：固定铰A、F、G位置及各杆长度、主动件1的 $\omega_1, \varepsilon_1 = 0$ 及方向、位置 $\varphi_1$  选用作图比例尺 $\mu_l, \mu_v, \mu_a, v_B = \omega_1 L_{AB}$ , 方向垂直AB并与 $\omega_1$ 一致  $a_B = \omega_1^2 L_{AB}$ , 方向平行AB, 由B指向A



速度、角速度

$$\vec{v}_S = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB} + \vec{v}_{SC} = \vec{v}_F + \vec{v}_{DF} + \vec{v}_{SD} \quad (a)$$

方向  $\perp AB$        $\perp SCB$        $\checkmark$        $\perp SDF$

大小  $\omega_1 L_{AB}$       ? ( $\omega_2 L_{BC} + \omega_3 L_{SC}$ )      0      ? ( $\omega_4 L_{DF} + \omega_3 L_{SF}$ )

由式(a)求出:  $v_S = \overline{P_v S} \cdot \mu_v$        $\omega_2 = \mu_v bc / L_{BC}$        $\omega_3 = \mu_v se / L_{SE}$        $\omega_4 = \mu_v P_v d / L_{DF}$

$$\vec{v}_E = \vec{v}_S + \vec{v}_{ES} = \vec{v}_C + \vec{v}_{EC} \quad (b)$$

方向  $\checkmark$        $\perp ES$        $\checkmark$        $\perp EG$

大小  $\checkmark$        $\omega_3 L_{ES}$       0       $\omega_3 L_{EG}$

由式(b)求出  $v_E = \mu_v \overline{P_v e}$        $\omega_5 = \mu_v \overline{P_v e} / L_{EG}$

利用速度影像法求得

$$v_C = \mu_v \overline{P_v c} \quad v_D = \mu_v \overline{P_v d}$$

机构图中闭链CDE的三根悬杆2、4、5延长线的交点,在杆3上的投影称为特殊(辅助)点S。在运动分析时不能选择与绝对瞬心 $P_{36}$ 重合的 $S_{45}$ 作为S点,因为这时 $v_{S45} = v_{P36} = 0$ 。本例中用 $S_{24}$ 作为S点,这样可以使在同一直线SCB及SDF上各点间的相对速度( $v_{SC}, v_{CB}; v_{SD}, v_{DF}$ 等)、相对法向(切向)加速度 $a_{SC}^n, a_{CB}^n; a_{SD}^n, a_{DF}^n$  ( $a_{SC}^t, a_{CB}^t; a_{SD}^t, a_{DF}^t$ )等共线,减少了未知量,从而可以解出 $v_S$ 和 $a_S$ ;这就是S点的特殊性质。若取 $S_{25}$ 作为S点,则只需将矢量中的D、F用E、G相互置换即可,而所得结果完全相同

加速度、角加速度

$$\vec{a}_S = \vec{a}_B + \vec{a}_{C_2B_2}^n + \vec{a}_{S_3B_3}^n + \vec{a}_{C_2B_2}^t + \vec{a}_{S_3B_3}^t = \vec{a}_F + \vec{a}_{D_4F_4}^n + \vec{a}_{S_3D_3}^n + \vec{a}_{D_4F_4}^t + \vec{a}_{S_3D_3}^t \quad (c)$$

方向  $B \rightarrow A$        $\parallel SCB$        $\perp SCB$        $\checkmark$        $\parallel SDF$        $\perp SDF$

大小  $\omega_1^2 L_{AB}$        $\omega_2^2 L_{BC} + \omega_3^2 L_{SB}$       ? ( $\varepsilon_2 L_{BC} + \varepsilon_3 L_{SB}$ )      0       $\omega_4^2 L_{DF} + \omega_3^2 L_{SD}$       ? ( $\varepsilon_4 L_{DF} + \varepsilon_3 L_{SD}$ )

由式(c)及加速度矢量图求得:  $a_S = \mu_a \overline{P_a S}$ ,  $\varepsilon_2 = \mu_a n'_{CB} c'_3 / L_{CB}$ ,  $\varepsilon_3 = \mu_a n'_{SC} S' / L_{SC}$ ,  $\varepsilon_4 = \mu_a n'_D d'_3 / L_{SD}$

$$\vec{a}_E = \vec{a}_S + \vec{a}_{ES}^n + \vec{a}_{ES}^t = \vec{a}_C + \vec{a}_{EC}^n + \vec{a}_{EC}^t \quad (d)$$

方向  $\checkmark$        $\parallel ES$        $\perp ES$        $\checkmark$        $\parallel EG$        $\perp EG$

大小  $\checkmark$        $\omega_3^2 L_{ES}$       ?  $\varepsilon_3 L_{ES}$       0       $\omega_5^2 L_{EG}$       ?  $\varepsilon_5 L_{EG}$

由式(d)及加速度矢量图求得:

$$a_E = \mu_a \overline{P_a e'_3} \quad \varepsilon_5 = \mu_a n'_E e'_3 / L_{EG}$$

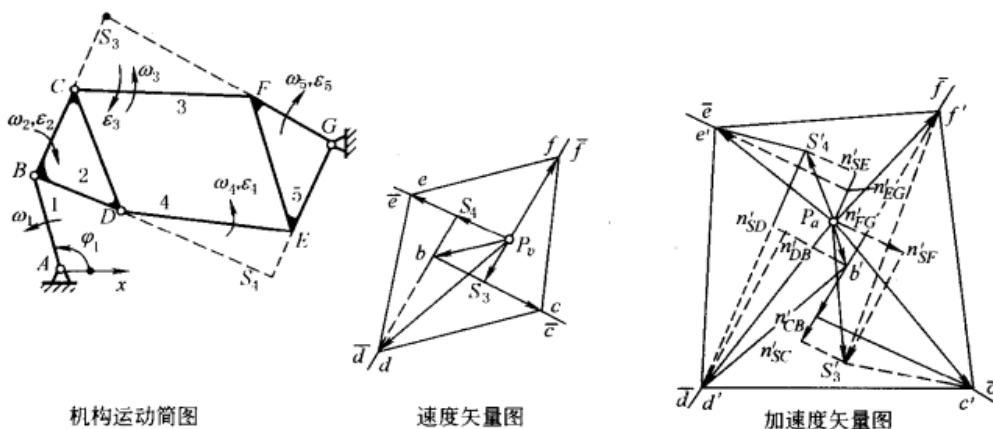
利用加速度影像法求得:  $a_C = \mu_a \overline{P_a c'_3}$ ,  $a_D = \mu_a \overline{P_a d'_3}$

IV类二序六杆机构

已知:固定铰A、G的位置及各杆长度主动件1的位置 $\varphi_1$ 、角速度 $\omega_1$ 、角加速度 $\varepsilon_1=0$

求:各杆的角速度 $\omega_i$ 及角加速度 $\varepsilon_i$

各活动铰(C、D、E、F)的速度及加速度



机构运动简图

速度矢量图

加速度矢量图

速度、角速度

$$\begin{aligned} \vec{v}_{S_3} &= \vec{v}_{B_2} + \vec{v}_{C_2B_2} + \vec{v}_{S_3C_3} = \vec{v}_C + \vec{v}_{FC} + \vec{v}_{SF} & (a) \\ \text{方向} & \perp AB \quad \perp S_3CB \quad \checkmark \quad \perp SFG \\ \text{大小} & \omega_1 L_{AB} \quad ? \omega_2 L_{BC} + \omega_3 L_{SC} \quad 0 \quad ? \omega_3 L_{FC} + \omega_3 L_{SF} \\ \vec{v}_{S_4} &= \vec{v}_{B_2} + \vec{v}_{D_2B_2} + \vec{v}_{S_4D_4} = \vec{v}_C + \vec{v}_{EC} + \vec{v}_{SE} & (b) \\ \text{方向} & \perp AB \quad \perp S_4DB \quad \checkmark \quad \perp SEG \\ \text{大小} & \omega_1 L_{AB} \quad ? \omega_2 L_{DB} + \omega_4 L_{SD} \quad 0 \quad ? \omega_3 L_{EC} + \omega_4 L_{SE} \end{aligned}$$

由式(a)及速度矢量图,过速度极点 $P_v$ 及 $v_B$ 矢端点 $b$ 分别作直线 $f \perp GF, \bar{c} \perp BC, \bar{c}$ 与 $\bar{f}$ 的交点为 $S_3$ ,则 $v_{S_3} = \mu_v \overrightarrow{P_v S_3}$ ,同理按式(b),由 $P_v$ 及 $b$ 点作直线 $\bar{e} \perp GE, \bar{d} \perp BD, \bar{d}$ 与 $\bar{e}$ 的交点为 $S_4, v_{S_4} = \mu_v \overrightarrow{P_v S_4}$ 。

以速度比例尺 $\mu_v = \omega_1 \mu_1 AB / P_v b$ 作 $\triangle cS_3f \sim \triangle CS_3F, \triangle dS_4e \sim \triangle DS_4E$ ,将 $\triangle cS_3f, \triangle dS_4e$ 分别绕速度矢量图中 $S_3, S_4$ 转动试凑,使 $\triangle cS_3f$ 的 $c, f$ 点落在 $\bar{c}, \bar{f}$ 直线上,使 $\triangle dS_4e$ 的 $d, e$ 点落在 $\bar{e}, \bar{d}$ 上,则 $v_C = \mu_v \overrightarrow{P_v c}, v_D = \mu_v \overrightarrow{P_v d}, v_E = \mu_v \overrightarrow{P_v e}, v_F = \mu_v \overrightarrow{P_v f}, \omega_2 = \mu_v bc / L_{BC}, \omega_3 = \mu_v cf / L_{CF}, \omega_4 = \mu_v de / L_{DE}, \omega_5 = \mu_v Pf / L_{FG}$ ,方向如图示。 $S_3, S_4$ 为杆3、4上的特殊点。

也可以上述特殊比例尺 $\mu_v$ 作 $\triangle P_v ef \sim \triangle GEF$ 及 $\triangle bcd \sim \triangle BCD$ ,再将 $\triangle P_v ef$ 及 $\triangle bcd$ 分别绕矢量图中 $P_v$ 及 $b$ 点转动,并使 $\triangle P_v ef$ 及 $\triangle bcd$ 的 $e, f, c, d$ 分别落在直线 $\bar{e}, \bar{f}, \bar{c}, \bar{d}$ 上,求得结果仍相同

加速度、角加速度

$$\begin{aligned} \vec{a}_{S_3} &= \vec{a}_B + \vec{a}_{C_2B_2}^n + \vec{a}_{S_3C_3}^n + \vec{a}_{C_2B_2}^t + \vec{a}_{S_3C_3}^t = \vec{a}_C + \vec{a}_{FC}^n + \vec{a}_{S_3F_3}^n + \vec{a}_{FC}^t + \vec{a}_{S_3F_3}^t & (c) \\ \text{方向} & B \rightarrow A \quad // SCB \quad \perp SCB \quad \checkmark \quad // SFG \\ \text{大小} & \omega_1^2 L_{AB} \quad \omega_2^2 L_{CB} + \omega_3^2 L_{SC} \quad ? \varepsilon_2 L_{CB} + \varepsilon_3 L_{SC} \quad 0 \quad \omega_3^2 L_{FC} + \omega_4^2 L_{SF} \quad ? \varepsilon_5 L_{FC} + \varepsilon_3 L_{SF} \\ \vec{a}_{S_4} &= \vec{a}_B + \vec{a}_{D_2B_2}^n + \vec{a}_{S_4D_4}^n + \vec{a}_{D_2B_2}^t + \vec{a}_{S_4D_4}^t = \vec{a}_C + \vec{a}_{EC}^n + \vec{a}_{S_4E}^n + \vec{a}_{EC}^t + \vec{a}_{S_4E}^t & (d) \\ \text{方向} & B \rightarrow A \quad // SDB \quad \perp SDB \quad \checkmark \quad // SEG \\ \text{大小} & \omega_1^2 L_{AB} \quad \omega_2^2 L_{DB} + \omega_4^2 L_{SD} \quad ? \varepsilon_2 L_{DB} + \varepsilon_4 L_{SD} \quad 0 \quad \omega_3^2 L_{EC} + \omega_4^2 L_{SE} \quad ? \varepsilon_5 L_{EC} + \varepsilon_4 L_{SE} \end{aligned}$$

由式(c)及加速度矢量图(比例尺 $\mu_a = \omega_1^2 \mu_1 AB / P_a b$ ),分别从加速度极点 $P_a$ 及 $a_B$ 矢端点 $b'$ ,作直线 $P_a n'_{SE} = (\omega_3^2 L_{EC} + \omega_4^2 L_{SE}) / \mu_a$ 且平行于 $SEG, P_a n'_{SF} = (\omega_3^2 L_{FC} + \omega_4^2 L_{SF}) / \mu_a$ 且平行于 $SFG; b' n'_{SC} = (\omega_2^2 L_{BC} + \omega_3^2 L_{SC}) / \mu_a$ 且平行于 $S_3CB, b' n'_{SD} = (\omega_2^2 L_{DB} + \omega_4^2 L_{SD}) / \mu_a$ 且平行于 $S_4DB$ ;再过 $n'_{SF}, n'_{SC}$ 作 $P_a n'_{SF}, b' n'_{SC}$ 的垂线,得两垂线的交点 $S'_3$ ,则 $\overrightarrow{P_a S'_3} \mu_a = a_{S_3}$ ,同理可得 $a_{S_4} = \mu_a \overrightarrow{P_a S'_4}$ 。过 $n'_{CB}, n'_{DB}, n'_{FC}, n'_{EC}$ 依次作 $b' n'_{CB}, b' n'_{DB}, P_a n'_{FC}$ 和 $P_a n'_{EC}$ 的垂线 $\bar{c}, \bar{d}, \bar{f}$ 和 $\bar{e}$ ,则 $a_C, a_D, a_F$ 和 $a_E$ 的矢端应在 $\bar{c}, \bar{d}, \bar{f}$ 线上,以比例尺 $\mu_a$ 作 $\triangle P_a e' f' \sim \triangle GEF, \triangle b' d' c' \sim \triangle BDC$ ,用试凑法使 $\triangle P_a e' f', \triangle b' d' c'$ 分别绕 $P_a, b'$ 转动,使 $e', f'$ 分别落在 $\bar{e}, \bar{f}$ 直线上, $d', c'$ 分别落在 $\bar{d}, \bar{c}$ 直线上,便可求得 $a_C = \mu_a \overrightarrow{P_a c'}, a_D = \mu_a \overrightarrow{P_a d'}, a_E = \mu_a \overrightarrow{P_a e'}, a_F = \mu_a \overrightarrow{P_a f'}, \varepsilon_2 = \mu_a n'_{DB} d' / L_{DB}, \varepsilon_3 = \mu_a n'_{CB} c' / L_{CB}, \varepsilon_4 = \mu_a n'_{DB} d' / L_{DB}, \varepsilon_5 = \mu_a n'_{FC} f' / L_{FC}$ ,方向如图示。亦可仿速度分析,先以 $\triangle P_a e' f'$ 及 $\triangle b' d' c'$ 绕 $P_a, b'$ 转动,求出 $e', f', c', d'$ ,再求 $S'_3, S'_4$ 。

2.2.2 解析法

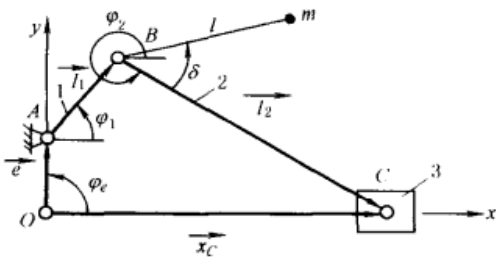


图 4-1-5 机构的封闭矢量多边形

用解析法求解机构的运动，可用多种数学方法求解，这里仅介绍封闭矢量法。

已知：机构的运动简图如图 4-1-5 所示，构件的长度  $l_1$ 、 $l_2$  和  $e$ ，以及杆 2 上距铰链点  $B$  为  $l$ ，与  $BC$  呈固定角度  $\delta$  的连杆点  $m$ ；主动件的位置  $\varphi_1$  及角速度  $\omega_1$ 、角加速度  $\varepsilon_1$ 。求构件 3 的位置  $x_C$ 、速度  $v_C$  和加速度  $a_C$ ；构件 2 的速度  $\omega_2$ 、 $v_m$  及加速度  $\varepsilon_2$ 、 $a_m$ 。其求解步骤与方法见表 4-1-15。三种常用四杆机构的运动分析公式见表 4-1-16。Ⅲ、Ⅳ类机构运动分析的解析法见表 4-1-17。

表 4-1-15 用解析法求解机构运动的步骤与方法

步 骤	方 法 与 公 式	
1. 选适当坐标作封闭矢量图	可用构件矢量( $l$ )和非构件矢量( $e, x_C$ )把机构表示成一个或若干个封闭矢量多边形	(1)由坐标原点画出的二个矢量均由原点出发,各个头尾相衔接的矢量均为正,反之则为负 (2)构件的方位角均由矢尾作 $x$ 轴的平行线,按逆时针方向转至与矢量相重合时所扫过的夹角表示
2. 列封闭矢量方程式	$\vec{e} + \vec{l}_1 + \vec{l}_2 = \vec{x}_C$	
3. 列封闭矢量方程式的投影方程	$x_C = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 \quad x_m = l_1 \cos \varphi_1 + l \cos(\varphi_2 + \delta)$ $\sin \varphi_2 = (\pm e + l_1 \sin \varphi_1) / l_2 \quad y_m = l_1 \sin \varphi_1 + l \sin(\varphi_2 + \delta) \pm e$ 滑块行程 $s = \sqrt{(l_1 + l_2)^2 - e^2} - \sqrt{(l_2 - l_1)^2 - e^2}$ ; 极位夹角 $\theta = \arccos\left(\frac{e}{l_1 + l_2}\right) - \arccos\left(\frac{e}{l_2 - l_1}\right)$	
4. 求速度方程式	$\omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} = -l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 / l_2 \cos \varphi_2$ $v_C = \frac{dx_C}{dt} = \omega_1 l_1 \cos \varphi_1 (\tan \varphi_2 - \tan \varphi_1)$ $v_m = \sqrt{v_{mx}^2 + v_{my}^2}, \tan \beta_{vm} = v_{my} / v_{mx}$ $v_{mx} = -l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 - l \omega_2 \sin(\varphi_2 + \delta)$ $v_{my} = l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 + l \omega_2 \cos(\varphi_2 + \delta)$	
5. 求加速度方程式	$\varepsilon_2 = \frac{d\omega_2}{dt} = \omega_1^2 \frac{l_1 \cos \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2} \left[ \tan \varphi_1 + \frac{l_1 \cos \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2} \tan \varphi_2 - \frac{\varepsilon_1}{\omega_1^2} \right]$ $a_C = \frac{dv_C}{dt} = -\omega_1^2 l_1 \cos \varphi_1 \left[ 1 + \tan \varphi_1 \tan \varphi_2 + \frac{l_1 \cos \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2} \sec^2 \varphi_2 + \frac{\varepsilon_1}{\omega_1^2} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \right]$ $a_m = \sqrt{a_{mx}^2 + a_{my}^2} \quad \tan \beta_{am} = a_{my} / a_{mx}$ $a_{mx} = -l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 - l_1 \varepsilon_1 \sin \varphi_1 - l \omega_2^2 \cos(\varphi_2 + \delta) - l \varepsilon_2 \sin(\varphi_2 + \delta)$ $a_{my} = -l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 + l_1 \varepsilon_1 \cos \varphi_1 - l \omega_2^2 \sin(\varphi_2 + \delta) + l \varepsilon_2 \cos(\varphi_2 + \delta)$	

在表 4-1-15 及表 4-1-16 中，不论杆 1 还是杆 3 作为主动件，其封闭矢量投影方程总是相同的，表中的位移、速度和加速度都是以杆 1 作为原动件求得的。如以杆 3 作为原动件，则杆 1、2 的位移、速度和加速度均应转化成以杆 3 的位移、速度和加速度为自变量的表达式。其中位移表达式要变成单一自变量的表达式有时是困难的，例如表 4-1-15 中，当以曲柄 1 为主动件时有： $x_C = l_1 \cos \varphi_1 + \sqrt{l_2^2 - e^2 - l_1^2 \sin^2 \varphi_1 \mp 2l_1 e \sin \varphi_1}$ ； $\sin \varphi_2 = (l_1 \sin \varphi_1 \pm e) / l_2$ ；而当滑块 3 为主动件时，只能用超越方程  $(x_C - l_1 \cos \varphi_1)^2 = l_2^2 - (l_1 \sin \varphi_1 \pm e)^2$  及  $\sin \varphi_2 = (l_1 \sin \varphi_1 \pm e) / l_2$  来求解  $\varphi_1$  及  $\varphi_2$  了。将表中连杆点  $m$  的  $x_m$ 、 $y_m$  表达式消去  $\varphi_2$ ，便可得到连杆点  $m$  的轨迹方程  $f(x_m, y_m, \varphi_1) = 0$ ，只要连杆点  $m$  ( $l, \delta$ ) 不变，不论杆 1 还是杆 3 作为主动件，其轨迹都是相同的，但  $f(x_m, y_m, \varphi_1) = 0$  与  $f(x_m, y_m, \varphi_3) = 0$  的形式则有差异。至于速度和加速度方程，则可将  $x$ 、 $y$  方向的投影方程对  $t$  求导一、二次，便可得到以  $\varphi_3$  为自变量的速度和加速度方程。

2.2.3 瞬心法

速度瞬心是互作平面运动的两构件上绝对速度相等（相对速度为零）的瞬时重合点，也就是在某瞬间一构件绕另一构件作相对转动的瞬时转动中心，如表 4-1-18 图中的  $A$  ( $P_{14}$ 、 $P_{41}$ )、 $B$  ( $P_{12}$ 、 $P_{21}$ )、 $\dots$ ；若两构件都是运动的，则称其为相对速度瞬心 ( $v \neq 0$ )，如图中  $B$ 、 $C$  等，若两构件中有一个是静止的，则称其为绝对速度瞬心 ( $v = 0$ )，如图中  $A$ 。

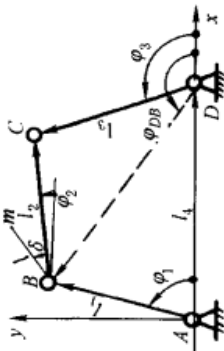
表 4-1-16 三种常用四杆机构的运动分析公式 (杆 1 为原动件)

机构名称及运动简图

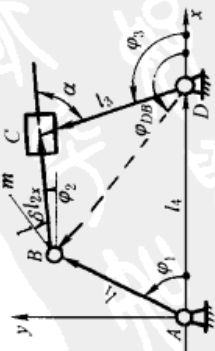
运动分析公式

<p>位置</p>	<p> <math display="block">l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 = l_4 + l_3 \cos \varphi_3; l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 = l_3 \sin \varphi_3; l_{DB} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1 l_2 \cos \varphi_1}</math> <math display="block">\varphi_2 = \pm \arccos \left( \frac{l_2^2 + l_{DB}^2 - l_1^2}{2l_1 l_{DB}} \right) - (180^\circ - \varphi_{DB}); \varphi_3 = \varphi_{DB} \mp \arccos \left( \frac{l_2^2 + l_{DB}^2 - l_1^2}{2l_1 l_{DB}} \right)</math> <math display="block">\tan \varphi_{DB} = l_1 \sin \varphi_1 / (l_1 \cos \varphi_1 - l_4); \text{ 杆 3 摆角 } \psi = \arccos \left[ \frac{l_2^2 + l_4^2 - (l_1 + l_2)^2}{2l_1 l_4} \right] - \arccos \left[ \frac{l_2^2 + l_4^2 - (l_2 - l_1)^2}{2l_1 l_4} \right]</math> <math display="block">x_m = l_1 \cos \varphi_1 + l \cos(\varphi_2 + \delta), y_m = l_1 \sin \varphi_1 + l \sin(\varphi_2 + \delta)</math> <p>极位夹角 <math>\theta = \arccos \left[ \frac{(l_2 - l_1)^2 + l_4^2 - l_3^2}{2(l_1 + l_2) l_4} \right] - \arccos \left[ \frac{(l_1 + l_2)^2 + l_4^2 - l_3^2}{2(l_1 + l_2) l_4} \right]</math></p> </p>
<p>速度</p>	<p> <math display="block">\omega_2 = -\omega_1 l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3) / l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3); \omega_3 = \omega_1 l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) / l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)</math> <math display="block">v_C = \omega_3 l_3 = \omega_1 l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) / \sin(\varphi_3 - \varphi_2); v_m = \sqrt{v_{mx}^2 + v_{my}^2}; \tan \beta_{im} = v_{my} / v_{mx}</math> <math display="block">v_{mx} = -l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 - l \omega_2 \sin(\varphi_2 + \delta); v_{my} = l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 + l \omega_2 \cos(\varphi_2 + \delta)</math> </p>
<p>加速度</p>	<p> <math display="block">\varepsilon_2 = \omega_1^2 \frac{l_1}{l_2} \left[ \frac{l_1 \sin^2(\varphi_1 - \varphi_2) - \cos(\varphi_1 - \varphi_3) \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}{l_3 \sin^3(\varphi_2 - \varphi_3)} - \frac{l_1 \sin^2(\varphi_1 - \varphi_3)}{l_2 \sin^2(\varphi_2 - \varphi_3)} \cot(\varphi_2 - \varphi_3) - \frac{\varepsilon_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{\omega_1^2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)} \right]</math> <math display="block">\varepsilon_3 = \omega_1^2 \frac{l_1}{l_3} \left[ \frac{l_1 \sin^2(\varphi_1 - \varphi_3) + \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}{l_2 \sin^3(\varphi_3 - \varphi_2)} - \frac{l_1 \sin^2(\varphi_1 - \varphi_2)}{l_3 \sin^2(\varphi_3 - \varphi_2)} \cot(\varphi_3 - \varphi_2) + \frac{\varepsilon_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\omega_1^2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)} \right]</math> <math display="block">a_C = l_3 \sqrt{\omega_3^4 + \varepsilon_3^2}; a_m = \sqrt{a_{mx}^2 + a_{my}^2}; \tan \beta_{am} = a_{my} / a_{mx}</math> <math display="block">a_{mx} = -l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 - l_1 \varepsilon_1 \sin \varphi_1 - l \omega_2^2 \cos(\varphi_2 + \delta) - l \varepsilon_2 \sin(\varphi_2 + \delta)</math> <math display="block">a_{my} = -l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 + l_1 \varepsilon_1 \cos \varphi_1 - l \omega_2^2 \sin(\varphi_2 + \delta) + l \varepsilon_2 \cos(\varphi_2 + \delta)</math> </p>
<p>位置</p>	<p> <math display="block">l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 = l_4 - l_3 \cos(\varphi_2 - \alpha); l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin(\varphi_2 - \alpha) = 0; l_{DB} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1 l_2 \cos \varphi_1}</math> <math display="block">\varphi_2 = \varphi_{DB} \pm \arccos \left( \frac{l_2^2 + l_{DB}^2 - l_1^2}{2l_1 l_{DB}} \right) - 180^\circ; \varphi_3 = 180^\circ \mp \alpha + \varphi_2</math> <math display="block">l_{2x} = -l_3 \cos \alpha + \sqrt{l_{DB}^2 - l_3^2 \sin^2 \alpha}; \tan \varphi_{DB} = l_1 \sin \varphi_1 / (l_1 \cos \varphi_1 - l_4)</math> <p>极位夹角 <math>\alpha = \arcsin \left( \frac{l_3 \sin \alpha + l_1}{l_4} \right) - \arcsin \left( \frac{l_3 \sin \alpha - l_1}{l_4} \right) = \psi</math> (摇块摆角)</p> <p>令 <math>l_3 = 0</math>, 即为对心曲柄摇块机构的运动分析公式(下同)</p> </p>

铰接四杆机构



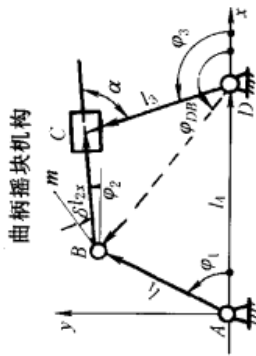
曲柄摇块机构





运动分析公式

机构名称及运动简图



速度

$$\omega_2 = \omega_3 = -\omega_1 l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) / (l_{2x} + l_2 \cos \alpha)$$

$$v_{C_{2/3}} = \omega_1 l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) - \omega_2 l_2 \sin \alpha = \omega_1 l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) \left[ 1 + \frac{l_2 \sin \alpha \cot(\varphi_1 - \varphi_2)}{l_{2x} + l_2 \cos \alpha} \right]$$

$$v_{C_3} = \omega_3 l_3 = -\omega_1 l_1 l_3 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) / (l_{2x} + l_3 \cos \alpha); v_m = \sqrt{v_{mx}^2 + v_{my}^2}; \tan \beta_{om} = v_{my} / v_{mx}$$

$$v_{mx} = -l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 - l \omega_2 \sin(\varphi_2 + \delta); v_{my} = l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 + l \omega_2 \cos(\varphi_2 + \delta)$$

加速度

$$e_2 = e_3 = \omega_1^2 \frac{l_1}{l_{2x} + l_3 \cos \alpha} \sin(\varphi_1 - \varphi_2) \left[ 1 + \frac{l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}{l_{2x} + l_3 \cos \alpha} \left( 2 + \frac{l_3 \sin \alpha \cot(\varphi_1 - \varphi_2)}{l_{2x} + l_3 \cos \alpha} \right) - \frac{e_1}{\omega_1^2} \cot(\varphi_1 - \varphi_2) \right]$$

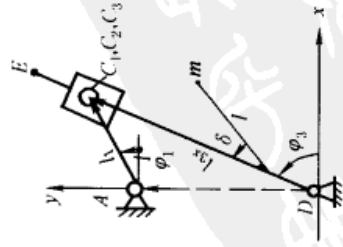
$$a_{C_3} = l_3 \sqrt{\omega_3^4 + \varepsilon_3^2}; a_{C_{2/3}}^k = 2\omega_2 v_{C_{2/3}}$$

$$a_{C_{2/3}}^t = \omega_1^2 l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \left[ 1 + \frac{e_1}{\omega_1^2} \tan(\varphi_1 - \varphi_2) \right] + \omega_2^2 (l_{2x} + l_3 \cos \alpha) - e_2 l_3 \sin \alpha$$

$$a_m = \sqrt{a_{mx}^2 + a_{my}^2}; \tan \beta_{om} = a_{my} / a_{mx}; a_{mx} = -l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 - l_1 \varepsilon_1 \sin \varphi_1 - l \omega_2^2 \cos(\varphi_2 + \delta) - l \varepsilon_2 \sin(\varphi_2 + \delta)$$

$$a_{my} = -l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 + l_1 \varepsilon_1 \cos \varphi_1 - l \omega_2^2 \sin(\varphi_2 + \delta) + l \varepsilon_2 \cos(\varphi_2 + \delta)$$

曲柄导杆机构



位置

$$l_1 \cos \varphi_1 = l_{2x} \cos \varphi_3; a + l_1 \sin \varphi_1 = l_{2x} \sin \varphi_3; \tan \varphi_3 = (a + l_1 \sin \varphi_1) / l_1 \cos \varphi_1; l_{3x} = l_1 \cos \varphi_1 / \cos \varphi_3$$

$$x_m = l_1 \cos \varphi_1 + l \cos(\varphi_3 \pm \delta); y_m = l_1 \sin \varphi_1 + l \sin(\varphi_3 \pm \delta) + a$$

极位夹角  $\theta = 2 \arcsin(l_1/a) = \Psi$  (导杆摆角)

速度

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) \cos \varphi_3 / \cos \varphi_1; v_{C_{2/3}} = -\omega_1 l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3); v_E = \omega_3 l_{DE}$$

$$v_m = \sqrt{v_{mx}^2 + v_{my}^2}; \tan \beta_{vm} = v_{my} / v_{mx}$$

$$v_{mx} = -l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 - l \omega_3 \sin(\varphi_3 \pm \delta); v_{my} = l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 + l \omega_3 \cos(\varphi_3 \pm \delta)$$

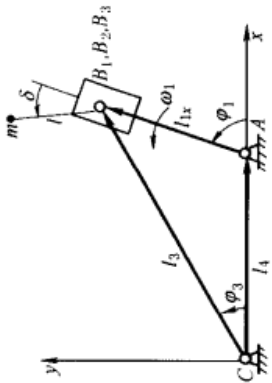
加速度

$$e_2 = e_3 = \omega_1^2 \frac{\cos \varphi_3 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{\cos \varphi_1} \left[ \frac{e_1}{\omega_1^2} \cot(\varphi_1 - \varphi_3) + 2 \times \frac{\cos \varphi_3 \cos(\varphi_1 - \varphi_3)}{\cos \varphi_1} - 1 \right]$$

$$a_{C_{2/3}}^t = \omega_1^2 l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) \left[ \frac{\cos \varphi_3 \cos(\varphi_1 - \varphi_3)}{\cos \varphi_1} - 1 - \frac{e_1}{\omega_1^2} \tan(\varphi_1 - \varphi_3) \right]$$

$$a_{C_{2/3}}^k = 2v_{C_{2/3}} \omega_3; a_E = l_{DE} \sqrt{\omega_3^4 + \varepsilon_3^2}; a_m = \sqrt{a_{mx}^2 + a_{my}^2}; \tan \beta_{om} = a_{my} / a_{mx}$$

$$a_{mx} = -l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 - l_1 \varepsilon_1 \sin \varphi_1 - l \omega_3^2 \cos(\varphi_3 \pm \delta) - l \varepsilon_3 \sin(\varphi_3 \pm \delta); a_{my} = -l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 + l_1 \varepsilon_1 \cos \varphi_1 - l \omega_3^2 \sin(\varphi_3 \pm \delta) + l \varepsilon_3 \cos(\varphi_3 \pm \delta)$$

机构名称及运动简图	运动分析公式
回转曲柄导杆机构 	$l_4 + l_{1x} \cos \varphi_1 = l_3 \cos \varphi_3; l_{1x} \sin \varphi_1 = l_3 \sin \varphi_3; \sin \varphi_3 = (-l_4 \cos \varphi_1 \pm \sqrt{l_3^2 - l_4^2 \sin^2 \varphi_1}) \sin \varphi_1 / l_3$ $l_{1x} = l_3 \sin \varphi_3 / \sin \varphi_1, \text{ 极位夹角 } \theta = 2 \arcsin(l_4 / l_3)$ 滑块相对导杆的位移 $S_r = l_4 \left( 1 - \frac{1}{\cos \varphi_1} \right) + l_3 \left( \frac{\cos \varphi_3}{\cos \varphi_1} - 1 \right)$ $x_m = l_4 + l_{1x} \cos \varphi_1 + l \cos(\varphi_1 \pm \delta), y_m = l_{1x} \sin \varphi_1 + l \sin(\varphi_1 \pm \delta)$
速度	$\omega_3 = \omega_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) \sin \varphi_3 / \sin \varphi_1; \omega_2 = \omega_1, v_x = v_{B_1 B_2}, v_y = v_{B_1 B_2} \sin(\varphi_1 - \varphi_3) \sin \varphi_3 / \sin \varphi_1$ $v_m = \sqrt{v_{xm}^2 + v_{ym}^2}; \tan \beta_{om} = v_{ym} / v_{xm}$ $v_{xm} = v_x \cos \varphi_1 - l_{1x} \omega_1 \sin \varphi_1 - l \omega_1 \sin(\varphi_1 \pm \delta); v_{ym} = v_y \sin \varphi_1 + l_{1x} \omega_1 \cos \varphi_1 + l \omega_1 \cos(\varphi_1 \pm \delta)$
加速度	$\varepsilon_3 = \omega_1^2 \sin \varphi_3 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) \left[ 2 \frac{\sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{\sin \varphi_1} + \frac{\varepsilon_1}{\omega_1^2 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)} \right]; a^k = 2v_x \omega_1$ $a' = l_3 \omega_1^2 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) \sin \varphi_3 \left[ \frac{1}{\sin^2(\varphi_1 - \varphi_3)} - \sin \varphi_3 \left( \frac{\cos(\varphi_1 - \varphi_3)}{\sin \varphi_1} \right)^2 - \frac{2 \sin^2(\varphi_1 - \varphi_3)}{\sin \varphi_1} - \frac{\varepsilon_1}{\omega_1^2} \right]$ $a_m = \sqrt{a_{xm}^2 + a_{ym}^2}; \tan \beta_{om} = a_{ym} / a_{xm}$ $a_{xm} = a' \cos \varphi_1 - 2a^k \sin \varphi_1 - l_{1x} \omega_1^2 \cos \varphi_1 - l \omega_1^2 \cos(\varphi_1 \pm \delta) - l \varepsilon_1 \sin(\varphi_1 \pm \delta)$ $a_{ym} = a' \sin \varphi_1 + 2a^k \cos \varphi_1 - l_{1x} \omega_1^2 \sin \varphi_1 - l \omega_1^2 \sin(\varphi_1 \pm \delta) + l \varepsilon_1 \cos(\varphi_1 \pm \delta)$

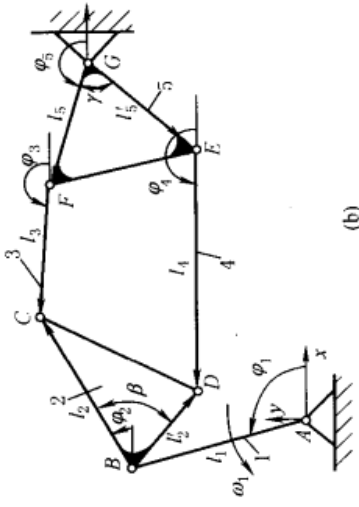
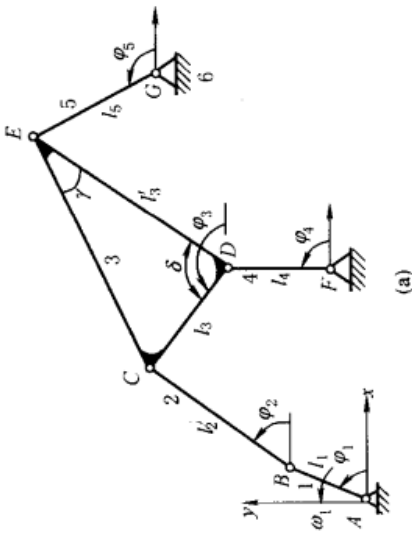
注：表中求  $\varphi_2$  和  $\varphi_3$  计算式中的“±”号应根据机构的连续位置确定。 $m$  点为杆 2 上距  $B$  铰点长为  $l$ ，与杆 2（杆 3）呈  $\delta$  角的点。



表 4-1-17 Ⅲ、Ⅳ类机构运动分析的解析法

表 4-1-17

已知:各固定铰的位置及各杆长度  $l_i$  及相对角度  $\beta, \delta, \gamma$  等  
 主动件 1 的位置  $\varphi_1$ , 角速度及角加速度  $\omega_1, \varepsilon_1$   
 求: 各杆的位置角  $\varphi_2, \dots, \varphi_5$ , 角速度  $\omega_i$  及角加速度  $\varepsilon_i$ , 动铰 C, D, E, F 的速度及加速度



1. 位置分析(投影式)

ABCD环  $l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 = x_F + l_4 \cos \varphi_4 + l_3 \cos \varphi_3$   
 $l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 = y_F + l_4 \sin \varphi_4 + l_3 \sin \varphi_3$   
 FDEG环  $x_F + l_4 \cos \varphi_4 + l_3 \cos(\varphi_3 - \delta) = x_C + l_5 \cos \varphi_5$   
 $y_F + l_4 \sin \varphi_4 + l_3 \sin(\varphi_3 - \delta) = y_C + l_5 \sin \varphi_5$   
 各动铰位置:  $x_C = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2$   $y_C = l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2$   
 $x_D = x_F + l_4 \cos \varphi_4$   $y_D = y_F + l_4 \sin \varphi_4$   
 $x_E = x_C + l_5 \cos \varphi_5$   $y_E = y_C + l_5 \sin \varphi_5$

(a)  $l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 = x_C + l_5 \cos \varphi_5 + l_3 \cos \varphi_3$   
 $l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 = y_C + l_5 \sin \varphi_5 + l_3 \sin \varphi_3$   
 ABDEG环  $l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos(\varphi_2 - \beta) = x_C + l_5 \cos(\varphi_5 + \gamma) + l_4 \cos \varphi_4$   
 $l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin(\varphi_2 - \beta) = y_C + l_5 \sin(\varphi_5 + \gamma) + l_4 \sin \varphi_4$   
 (b)  $x_C = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2$   $y_C = l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2$   
 $x_D = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos(\varphi_2 - \beta)$   $y_D = l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin(\varphi_2 - \beta)$   
 $x_E = x_C + l_5 \cos(\varphi_5 + \gamma)$   $y_E = y_C + l_5 \sin(\varphi_5 + \gamma)$   
 $x_F = x_C + l_5 \cos \varphi_5$   $y_F = y_C + l_5 \sin \varphi_5$

用迭代法或线性修正法由式(a)求出满足设定精度的位置角  $\varphi_i (i=2, 3, 4, 5)$ , 代入式(b)求出各动铰  $j(j=C, D, E, F)$  的坐标值

2. 速度分析 将式(a)对时间  $t$  求导一次, 得到求解角速度的线性方程组的矩阵形式(c), 将式(b)对时间求导一次得到各动铰的速度分量及速度

式(c)  $[A] \{\omega\} = \omega_1 [B]$   $\{\omega\} = \{\omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4 \ \omega_5\}^T$   
 $[A] = \begin{bmatrix} -l_2 \sin \varphi_2 & l_3 \sin \varphi_3 & l_4 \sin \varphi_4 & 0 \\ l_2 \cos \varphi_2 & -l_3 \cos \varphi_3 & -l_4 \cos \varphi_4 & 0 \\ 0 & -l_3 \sin(\varphi_3 - \delta) & l_5 \sin \varphi_5 & 0 \\ 0 & l_3 \cos(\varphi_3 - \delta) & -l_5 \cos \varphi_5 & 0 \end{bmatrix}$   $[B] = \begin{bmatrix} l_1 \sin \varphi_1 \\ -l_1 \cos \varphi_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$   
 (c)  $[A] = \begin{bmatrix} -l_2 \sin \varphi_2 & l_3 \sin \varphi_3 & 0 & l_5 \sin \varphi_5 \\ l_2 \cos \varphi_2 & -l_3 \cos \varphi_3 & 0 & -l_5 \cos \varphi_5 \\ -l_2 \sin(\varphi_2 - \beta) & 0 & l_4 \sin \varphi_4 & l_5 \sin(\varphi_5 + \gamma) \\ l_2 \cos(\varphi_2 - \beta) & 0 & -l_4 \cos \varphi_4 & -l_5 \cos(\varphi_5 + \gamma) \end{bmatrix}$   $[B] = \begin{bmatrix} l_1 \sin \varphi_1 \\ -l_1 \cos \varphi_1 \\ l_1 \sin \varphi_1 \\ -l_1 \cos \varphi_1 \end{bmatrix}$   
 (d)  $[A] \{\varepsilon\} = \omega_1 [B] \{\omega\} + \varepsilon_1 [B] + \{\varepsilon_2 \ \varepsilon_3 \ \varepsilon_4 \ \varepsilon_5\}^T \{\omega\}$  同前

3. 加速度分析 将式(c)对时间  $t$  求导一次, 得到求解角加速度的线性方程组的矩阵形式(d), 将式(b)对  $t$  求导二次得到各动铰的加速度分量及加速度

式(d)  $[A] = \frac{d[A]}{dt} = \begin{bmatrix} -l_2 \omega_2 \cos \varphi_2 & l_3 \omega_3 \cos \varphi_3 & l_4 \omega_4 \cos \varphi_4 & 0 \\ -l_2 \omega_2 \sin \varphi_2 & l_3 \omega_3 \sin \varphi_3 & l_4 \omega_4 \sin \varphi_4 & 0 \\ 0 & 0 & -l_4 \omega_4 \cos(\varphi_3 - \delta) & l_5 \omega_5 \cos \varphi_5 \\ 0 & 0 & -l_4 \omega_4 \sin(\varphi_3 - \delta) & -l_5 \omega_5 \sin \varphi_5 \end{bmatrix}$   
 $[B] = [l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 \quad l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 \quad 0 \quad 0]^T$   
 $[A] = \begin{bmatrix} -l_2 \omega_2 \cos \varphi_2 & l_3 \omega_3 \cos \varphi_3 & 0 & l_5 \omega_5 \cos \varphi_5 \\ -l_2 \omega_2 \sin \varphi_2 & l_3 \omega_3 \sin \varphi_3 & 0 & -l_5 \omega_5 \sin \varphi_5 \\ -l_2 \omega_2 \cos(\varphi_2 - \beta) & 0 & l_4 \omega_4 \cos \varphi_4 & l_5 \omega_5 \cos(\varphi_5 + \gamma) \\ -l_2 \omega_2 \sin(\varphi_2 - \beta) & 0 & -l_4 \omega_4 \sin \varphi_4 & -l_5 \omega_5 \sin(\varphi_5 + \gamma) \end{bmatrix}$   
 $[B] = [-l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 \quad l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 \quad 0 \quad 0]^T$   
 $\frac{d[B]}{dt} = [-l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 \quad -l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 \quad 0 \quad 0]^T$

瞬心的数目：每两个构件有一个瞬心，若一机构有  $N$  个构件，则此机构共有  $K = N(N-1)/2$  个瞬心。

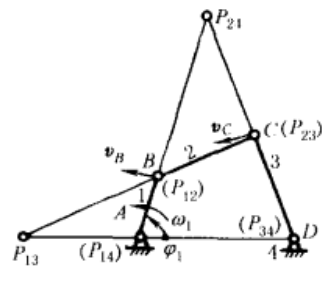
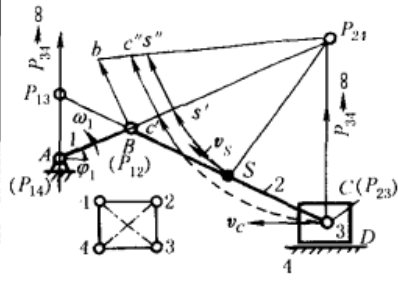
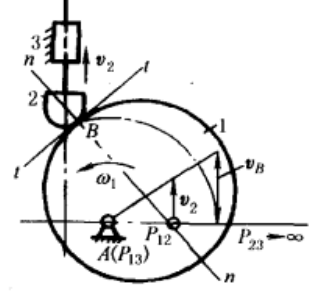
瞬心的位置：两构件以转动副、移动副相连时，其瞬心分别在转动副中心和导路的垂线上；两构件以平面纯滚动、滚滑高副相连时，其瞬心分别在接触点和接触点的公法线上。

三心定理：三个互作平行平面运动的构件，它们的三个速度瞬心必定在一条直线上，例如表 4-1-18 左图中构件 1、2 和 4 的三个瞬心  $A$ 、 $B$ 、 $P_{24}$  在一条直线上。

利用瞬心求构件的相对速度或绝对速度：构件上某点的相对速度或绝对速度等于其绕相对瞬心（或绝对瞬心）转动的角速度与该点到相对瞬心（或绝对瞬心）的距离的乘积。

几种常用机构的瞬心位置及构件速度求解见表 4-1-18。

表 4-1-18 几种常用机构的瞬心位置及构件速度

机 构	四杆铰链机构	曲柄滑块机构	凸 轮 机 构
已知条件	主动件 1 的转角 $\varphi_1$ 、角速度 $\omega_1$ ，各构件尺寸		凸轮角速度 $\omega_1$ ，其余同左
求 解	杆 2 的 $\omega_2$ 及 $v$	图示位置时，杆 2 的角速度 $\omega_2$ ， $S$ 及 $C$ 点的速度	瞬心及从动杆的速度 $v_2$
解 题 步 骤	1. 用长度比例尺 $\mu_l = \frac{L_{AB}}{AB} (\text{m/mm})$ 画机构运动简图 		
	2. 找出有关瞬心	因待求量均为杆 2 相对于机架 4 的运动量，故应找出 $P_{24}$ 的位置 方法 1：因为两构件的瞬心在其相对速度的垂线上， $P_{24}$ 应在 $v_B$ 和 $v_C$ 的两垂线的交点上。 方法 2：此机构共有 $K = 4 \times (4-1)/2 = 6$ 个瞬心，由观察知 $P_{14}$ 、 $P_{12}$ 、 $P_{23}$ 和 $P_{34}$ （曲柄滑块机构的在无穷远处）为瞬心。由三心定理知 $P_{24}$ 必然在 $P_{12}P_{14}$ 和 $P_{23}P_{34}$ 的交点处，同理也可找出 $P_{13}$	此机构共有 $K = 3 \times (3-1)/2 = 3$ 个瞬心； $P_{13}$ 、 $P_{23}$ 可直接看出，由三心定理知 $P_{12}$ 在 $P_{13}P_{23}$ 上，且 $P_{12}$ 点在 $B$ 点的公法线 $nn$ 上，则 $P_{12}$ 在 $P_{13}P_{23}$ 与 $nn$ 的交点处
	3. 求杆 2 的速度及角速度	$v_B = \omega_1 L_{AB} = \omega_1 \mu_l P_{12} P_{14} = \omega_2 \mu_l P_{24} P_{12}$ $\omega_2 = v_B / \mu_l P_{24} P_{12} = \omega_1 P_{12} P_{14} / P_{24} P_{12}$ ，方向顺时针方向 $v_C = \omega_2 \mu_l P_{24} P_{23}$	$v_S = \omega_2 \mu_l P_{24} S$ ， $v_C = \omega_2 \mu_l P_{24} C$ 取 $P_{12} b = \theta_B / \mu_v (\text{mm})$ ，同理也可使 $v_S = \mu_v s' s''$ ， $v_C = \mu_v c' c''$

## 2.3 高副机构的运动分析

### 2.3.1 用高副低代法求解

由于一个平面运动高副有一个约束条件，而一个具有两个平面运动低副的构件也具有一个约束条件，因而可将高副机构用瞬时运动特性相当的低副机构来代替，然后按 2.2 节中的矢量图解法或解析法来分析。代换的方法如下：

- ① 求出高副接触处  $P$  点的两个曲率中心  $B$ 、 $C$  和两个曲率半径  $\rho_1$ 、 $\rho_2$ ， $\rho_1 = BP$ ， $\rho_2 = CP$ （图 4-1-6a）；
- ② 以杆长为  $L_{BC} = \rho_1 + \rho_2$  的杆用两个回转副在  $B$ 、 $C$  处与杆 1、3 相拼接，得到低副机构  $ABCD$ 。当  $\rho_2$ （或  $\rho_1$ ）为无穷大时，则一个回转副变为移动副（图 4-1-6c、d）；当  $\rho_2$ （或  $\rho_1$ ）为零，则一个回转副即在高副接触

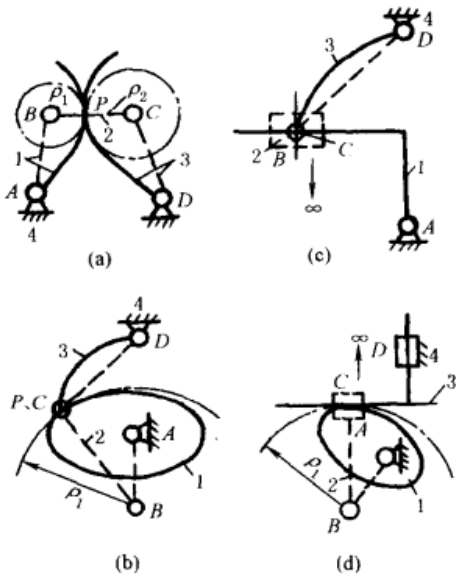


图 4-1-6

处 (图 4-1-6b)。由于一般高副机构中高副接触处的曲率半径是随机构位置的变化而变化的, 所以在不同瞬时的相当低副机构的构件尺寸是不同的, 应予注意。

### 2.3.2 用高副机构直接求解

平面高副机构的运动分析也可用 2.2.2 中的封闭构件矢量法, 对三构件单自由度平面高副机构, 可写出图 4-1-7 所示的 a、b、c 三种模型, 图 a 是两个运动构件以转动副与机架连接的, 图 b 是运动构件 1、2 分别以转动副和移动副与机架连接的, 图 c 是构件 1、2 均以移动副与机架连接。在接触点可写出它们的封闭构件矢量方程为:

$$\text{图 a、d、e: } \mathbf{R}_1(u) = \mathbf{R}_2(v) + \mathbf{a} \quad (4-1-4a)$$

$$\text{图 b、f: } \mathbf{R}_1(u) = \mathbf{S} + \mathbf{e} + \mathbf{R}_2(v) \quad (4-1-4b)$$

$$\text{图 c: } \mathbf{S}_1 + \mathbf{R}_1(u) = \mathbf{S}_2 + \mathbf{e} + \mathbf{R}_2(v) \quad (4-1-4c)$$

式中  $\mathbf{R}_1(u)$ 、 $\mathbf{R}_2(v)$ ——构件矢量;

$\mathbf{a}$ ——机架构件矢量 (中心距);

$\mathbf{S}$ 、 $\mathbf{e}$ ——表达运动副相对位置的定向非构件矢量;

$u$ 、 $v$ ——参变量。

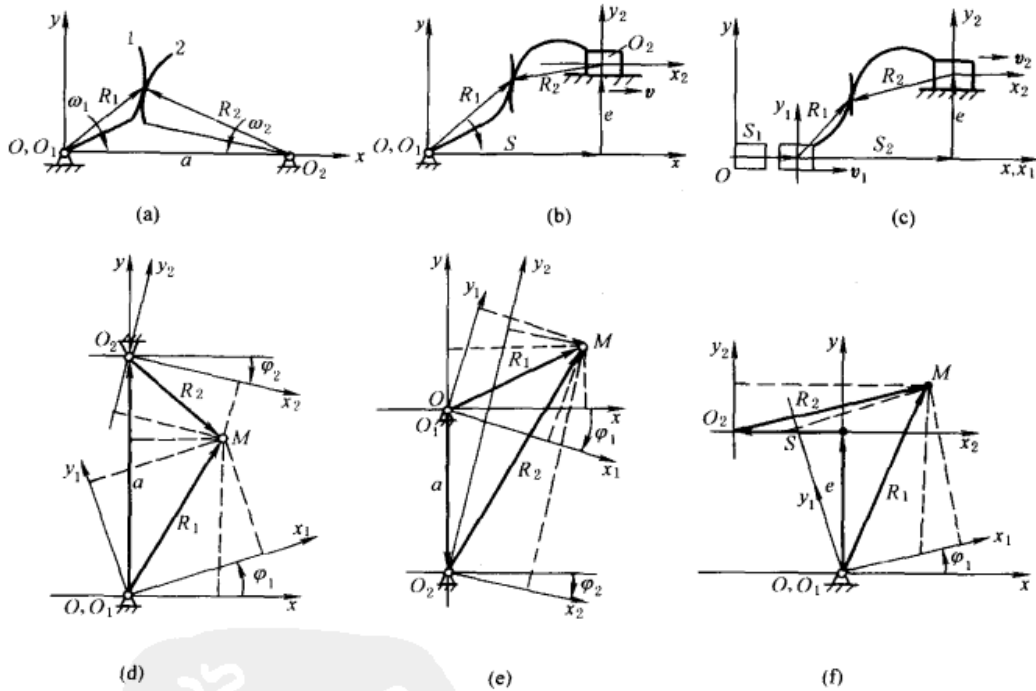


图 4-1-7

与低副构件不同, 高副构件的接触点是时变的, 因而需要在运动构件上设置一个与构件固连的坐标系以代表高副构件运动转角  $\varphi$  的计量准线。但是高副元素的接触点在此坐标系中的位置也是时变的, 它用参数  $u$ 、 $v$  来表达动点在动坐标系中的相对运动。构件的运动则用转角  $\varphi$  或位移  $S$  来表达牵连运动。根据以上分析, 按式 (4-1-4) 利用坐标变换方法, 可写成图 4-1-7 所示三种模型的投影标量表达式:

$$\text{图 4-1-7d, e: } \begin{Bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_1 & -\sin\varphi_1 & 0 \\ \sin\varphi_1 & \cos\varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1(u) \\ y_1(u) \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_2 & -\sin\varphi_2 & a\sin\theta \\ \sin\varphi_2 & \cos\varphi_2 & a\cos\theta \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_2(v) \\ y_2(v) \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (4-1-5a)$$

$$\text{图 4-1-7f: } \begin{cases} x \\ y \\ 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_1 & -\sin\varphi_1 & 0 \\ \sin\varphi_1 & \cos\varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{cases} x_1(u) \\ y_1(u) \\ 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & e\sin\theta + S\cos\theta \\ \sin\theta & -\cos\theta & e\cos\theta - S\sin\theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{cases} x_2(v) \\ y_2(v) \\ 1 \end{cases} \quad (4-1-5b)$$

$$\text{图 4-1-7c: } \begin{cases} x \\ y \\ 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & S\cos\theta \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{cases} x_1(u) \\ y_1(u) \\ 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & S\cos\theta \\ +\sin\theta & \cos\theta & e\cos\theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{cases} x_2(v) \\ y_2(v) \\ 1 \end{cases} \quad (4-1-5c)$$

式中  $x, y; x_1, y_1; x_2, y_2$ ——分别表示接触点  $M$  在机架坐标系和与运动构件固连的动坐标系中的坐标。 $\varphi$  角的度量方向与构件的转动方向相反,按右手法则确定其正、负号; $\omega_1$  与  $\omega_2$  方向相同时,  $\varphi_1$  与  $\varphi_2$  同号,  $\omega_1$  与  $\omega_2$  方向相反时,  $\varphi_1$  与  $\varphi_2$  异号。

式 (4-1-5) 只给出了联系四个未知变量  $u, v, \varphi_1, \varphi_2$  的两个标量方程,因而不可解的。为此,根据高副约束的特点,在接触点两高副元素的公切矢、公法矢应分别相等,且两者间的相对运动速度垂直于公法矢,因而可以补充一个约束方程,即

$$\begin{cases} n_x \\ n_y \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_1 & -\sin\varphi_1 \\ \sin\varphi_1 & \cos\varphi_1 \end{bmatrix} \begin{cases} n_{x1} \\ n_{y1} \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_2 & -\sin\varphi_2 \\ \sin\varphi_2 & \cos\varphi_2 \end{bmatrix} \begin{cases} n_{x2} \\ n_{y2} \end{cases} \quad (4-1-6)$$

式中  $n_x, n_y; n_{x1}, n_{y1}; n_{x2}, n_{y2}$ ——高副元素接触点的公法矢分别在固定坐标系与动坐标系 1 和 2 中沿  $x, y$  方向的分量。对平面曲线有:  $n_{x1} = \partial y_1(u)/\partial u, n_{y1} = -\partial x_1(u)/\partial u; n_{x2} = \partial y_2(v)/\partial v, n_{y2} = -\partial x_2(v)/\partial v$ 。

式 (4-1-5) 和式 (4-1-6) 共给出了三个标量方程,联系着  $u, v, \varphi_1$  和  $\varphi_2$  四个未知量,对单自由度机构通常  $\varphi_1$  (或  $S_1$ ) 是自变量,因而给定一个  $\varphi_1$  值便可求得相应的  $\varphi_2, u, v$  值和  $\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_1)$  的转角关系。通常联系着  $u, v, \varphi_1, \varphi_2$  的三个纯量超越方程式,不易写出显式表达式,宜用数值计算法求解。通常由式 (4-1-6) 可以得到  $v = f(u, \varphi_2 \pm \varphi_1)$  的关系,将此关系代入式 (4-1-5) 所给出的两个投影方程式,它是  $\varphi_1, \varphi_2 = \varphi_2 \pm \varphi_1, u$

及定长参数的两个纯量方程,给定  $\varphi_1$  便可求得  $u$  及  $\varphi_2$  (或  $\varphi_2$ )。如定义  $\partial x_i/\partial q = x_i', \frac{\partial^2 x_i}{\partial q^2} = x_i'', \frac{\partial y_i}{\partial q} = y_i',$

$\frac{\partial^2 y_i}{\partial q^2} = y_i'' (i = 1, 2; q = u, v), \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} = u', \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi_1^2} = u'', \frac{\partial v}{\partial \varphi_2} = v', \frac{\partial^2 v}{\partial \varphi_2^2} = v'', d\varphi_2/d\varphi_1 = i_{21}, d\varphi_i/dt = \omega_i$ 。以  $v =$

$f(u, \varphi_2 \pm \varphi_1)$  代入式 (4-1-5) 的两个投影式后,将其对  $\varphi_1$  求导数,可以得到  $u'$  及  $i_{21}$ ; 如对  $t$  求导数,则可得

到  $\omega_2 = d\varphi_2/dt = f_{\omega}(\varphi_1, \omega_1, u')$  的表达式。将  $v = f(u, \varphi_2 \pm \varphi_1)$  代入式 (4-1-5) 所得的两个投影式分别对  $\varphi_1,$

$t$  求二阶导数可分别得到  $i_{21}' = di_{21}/d\varphi_1, u''$  及  $\varepsilon_2 = \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} = f_{\varepsilon}(\varphi_1, \varepsilon_1, u',$

$u'')$  的表达式。 $i_{21}$  及  $i_{21}'$  是类速度和类加速度,它们并不一定等于  $\omega_2/\omega_1$  及  $\varepsilon_2/\varepsilon_1$ 。高副机构中构件的廓线通常是由几段曲线组成的,例如凸轮机构中凸轮廓线由停-推-停-回-停四段曲线组成,而瞬心线机构的构件廓线通常也是几段曲线组成的封闭或不封闭曲线,齿轮的廓线则是 1~2 段曲线组成的呈周期性排列的曲线,分析时并不需要分析整条曲线。为了说明方法如何应用,现举例如下。

**例** 齿廓分别为外摆线和圆的齿轮 1 和 2,各自绕固定中心  $O_1, O_2$  转动,中心距为  $a$ ,在初始位置二者相切于点  $P$  (图 4-1-8),已知轮 1 的角速度为  $\omega_1$ ,角加速度为  $\varepsilon_1$ ,试求轮 2 的  $\omega_2$  和  $\varepsilon_2$ 。

**解:** 如令  $u, v$  分别表示轮 1、2 的变量参数,  $r_b, r_1$  表示轮 1 的基圆半径和滚圆半径,且有  $r = r_1 + r_b, b = 1 + \frac{r_b}{2r_1}, \vec{i}_1, \vec{j}_1$  为动坐标系  $x_1 O_1 y_1$  的单位矢量,

$R_1(u)$  和  $n_1(u)$  分别为轮 1 上点在自身坐标系中的径矢和公法矢。 $r_2$  为轮 2 齿形圆的半径 (常数),  $R_2(v)$  和  $n_2(v)$  分别为轮 2 齿形上点在其自身坐标系中的径

矢和公法矢。 $\vec{i}_2, \vec{j}_2$  为动坐标系  $x_2 O_2 y_2$  的单位矢量。则可写出轮 1 和轮 2 的齿形曲线  $C_1, C_2$  及公法矢方程分别为:

$$C_1: R_1(u) = x_1 \vec{i}_1 + y_1 \vec{j}_1 = \left( r \sin u - r_1 \sin \frac{r}{r_1} u \right) \vec{i}_1 + \left( r \cos u - r_1 \cos \frac{r}{r_1} u \right) \vec{j}_1 \quad (a)$$

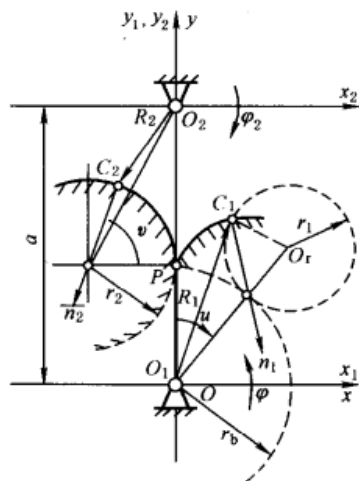


图 4-1-8

$$\mathbf{n}_1(u) = \cos bu \overline{\mathbf{i}}_1 + \sin bu \overline{\mathbf{j}}_1 \quad (\text{b})$$

$$C_2: \mathbf{R}_2(v) = x_2 \overline{\mathbf{i}}_2 + y_2 \overline{\mathbf{j}}_2 = r_2(\cos v - 1) \overline{\mathbf{i}}_2 + [r_2 \sin v - (a - r_b)] \overline{\mathbf{j}}_2 \quad (\text{c})$$

$$\mathbf{n}_2(v) = \cos v \overline{\mathbf{i}}_2 - \sin v \overline{\mathbf{j}}_2 \quad (\text{d})$$

将  $C_1$ 、 $C_2$  及公法矢利用坐标变换式 (4-1-5a) 及式 (4-1-6) 变换到固定坐标系  $xOy$  中, 由于  $C_1$ 、 $C_2$  上两点接触时在  $xOy$  中处于同一点并具有相同法矢, 于是有:

$$\begin{aligned} x \text{ 分量: } & \left( r \sin u - r_1 \sin \frac{r}{r_1} u \right) \cos \varphi_1 - \left( r \cos u - r_1 \cos \frac{r}{r_1} u \right) \sin \varphi_1 \\ & = r_2 (\cos v - 1) \cos \varphi_2 - [r_2 \sin v - (a - r_b)] \sin \varphi_2 + a \sin 0 \end{aligned} \quad (\text{e})$$

$$y \text{ 分量: } \left( r \sin u - r_1 \sin \frac{r}{r_1} u \right) \sin \varphi_1 + \left( r \cos u - r_1 \cos \frac{r}{r_1} u \right) \cos \varphi_1 = r_2 (\cos v - 1) \sin \varphi_2 - [r_2 \sin v - (a - r_b)] \cos \varphi_2 + a \cos 0 \quad (\text{f})$$

$$\text{公法矢: } \cos bu \cos \varphi_1 + \sin bu \sin \varphi_1 = \cos v \cos \varphi_2 - \sin v \sin \varphi_2 \quad (\text{g})$$

$$\text{由式 (g) 有: } v = -(\varphi_2 - \varphi_1) - bu = -\varphi_* - bu \quad (\text{h})$$

式 (h) 是两齿廓上的点接触时应满足的条件, 将式 (h) 代入式 (e)、(f) 后并对其施行坐标旋转后, 可得:

$$r \sin u - r_1 \sin \frac{r}{r_1} u + r_2 (\cos \varphi_* - \cos bu) - (a - r_b) \sin \varphi_* = -a \sin \varphi_1 \quad (\text{i})$$

$$r \cos u - r_1 \cos \frac{r}{r_1} u + r_2 (\sin \varphi_* + \sin bu) + (a - r_b) \cos \varphi_* = a \cos \varphi_1 \quad (\text{j})$$

给定  $\varphi_1$ , 由式 (i)、(j) 可求得  $\varphi_*$  和  $u$ , 则  $\varphi_2 = \varphi_* + \varphi_1$ ,  $v = -\varphi_* - bu$ 。

将式 (j) 对  $\varphi_1$  求导, 并化简得:

$$\dot{u} = \frac{du}{d\varphi_1} = \{ (i_{21} - 1) [(a - r_b) \sin \varphi_* - r_2 \cos \varphi_*] - a \sin \varphi_1 \} / \cos bu \left[ 2r \sin \left( \frac{r_b}{2r_1} u \right) + br_2 \right] \quad (\text{k})$$

$\dot{u}$  的物理意义是变量参数  $u$  对转角  $\varphi_1$  的变化率。

将式 (h) 对  $\varphi_1$  求导可求变量参数  $v$  对转角  $\varphi_2$  的变化率为:

$$\dot{v} = \frac{dv}{d\varphi_2} = -\frac{(i_{21} - 1) + bu}{i_{21}} \quad (\text{l})$$

由式 (k)、(l) 可见  $\dot{u}$ 、 $\dot{v}$  均与转动比  $i_{21}$  有关。为了求得  $i_{21}$ , 需要利用齿廓曲线  $C_1$ 、 $C_2$  在接触时, 齿廓间的相对滑动速度  $v_{12}$  与接触点的公法矢正交这一特性, 即应满足啮合方程  $\overline{v}_{12} \cdot \overline{n} = 0$ 。因此可得:

$$\begin{aligned} v_{12} &= \overline{\omega}_1 (x_{10} \overline{\mathbf{i}} + y_{10} \overline{\mathbf{j}}) - \overline{\omega}_2 (x_{20} \overline{\mathbf{i}} + y_{20} \overline{\mathbf{j}}) \\ &= \omega_1 \left\{ [i_{21} (r_2 (\cos v - 1) \sin \varphi_2 + (r_2 \sin v - (a - r_b)) \cos \varphi_2) + a] - \left[ \left( r \sin u - r_1 \sin \frac{r}{r_1} u \right) \sin \varphi_1 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \left( r \cos u - r_1 \cos \frac{r}{r_1} u \right) \cos \varphi_1 \right] \right\} \overline{\mathbf{i}} + \omega_1 \left\{ \left( r \sin u - r_1 \sin \frac{r}{r_1} u \right) \cos \varphi_1 - \left( r \cos u - r_1 \cos \frac{r}{r_1} u \right) \sin \varphi_1 \right. \\ &\quad \left. - i_{21} (r_2 (\cos v - 1) \cos \varphi_2 - (r_2 \sin v - (a - r_b)) \sin \varphi_2) \right\} \overline{\mathbf{j}} \\ \overline{n} &= \cos bu \cos \varphi_1 \overline{\mathbf{i}} + \sin bu \sin \varphi_1 \overline{\mathbf{j}} \end{aligned}$$

式中  $x_{10}$ 、 $y_{10}$ 、 $x_{20}$ 、 $y_{20}$  为曲线  $C_1$ 、 $C_2$  经坐标变换到固定坐标系后的  $x$ 、 $y$  分量, 见式 (e)、(f)。将  $\overline{v}_{12}$  点积  $\overline{n}$  后, 再以  $v = -\varphi_* - bu$  代入, 经化简后得到  $i_{21}$ :

$$i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \cos \left( \frac{r_b}{2r_1} u \right) \left/ \left[ \cos \left( \frac{r_b}{2r_1} u \right) - \frac{a}{r_b} \cos(\varphi_1 - bu) \right] \right. \quad (\text{m})$$

因此求得  $\omega_2 = i_{21} \omega_1$ 。

将式 (m) 对  $\varphi_1$  求导得到传动比  $i_{21}$  对转角  $\varphi_1$  的变化率  $i_{21}'$ 。

$$i_{21}' = \frac{a}{r_b} \left[ \frac{r_b}{2r_1} u \sin \left( \frac{r_b}{2r_1} u \right) \cos(\varphi_1 - bu) - (1 - bu) \cos \left( \frac{r_b}{2r_1} u \right) \sin(\varphi_1 - bu) \right] \left/ \left[ \cos \left( \frac{r_b}{2r_1} u \right) - \frac{a}{r_b} \cos(\varphi_1 - bu) \right]^2 \right. \quad (\text{n})$$

由于  $i_{21} = \omega_2 / \omega_1$ , 可有  $\frac{di_{21}}{dt} = \frac{di_{21}}{d\varphi_1} \times \frac{d\varphi_1}{dt} = \left( \omega_1 \frac{d\omega_2}{dt} - \omega_2 \frac{d\omega_1}{dt} \right) / \omega_1^2 = (\varepsilon_2 - i_{21} \varepsilon_1) / \omega_1$ , 于是有

$$\varepsilon_2 = i_{21}' \omega_1^2 - i_{21} \varepsilon_1$$

式中  $i_{21}'$ 、 $i_{21}$  分别由式 (n) 和式 (m) 确定, 而  $\omega_1$  及  $\varepsilon_1$  是原动件的给定运动参数。

### 3 平面机构的受力分析

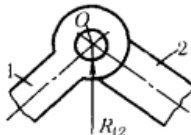
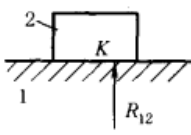
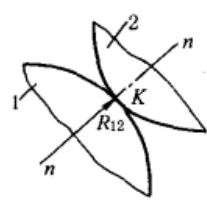
机构受力分析的目的在于: 根据给定的机构运动简图、运动规律、构件的质量和所受外力 (包括惯性力等),

确定各运动副中的反力、必须加到主动件上的平衡力或平衡力矩、传动机械所需的功率和机械效率，并为构件的承载能力计算和选用轴承等提供数据。

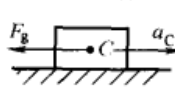

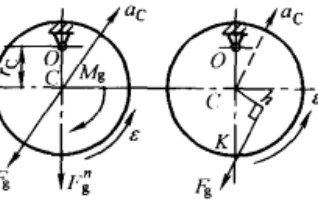
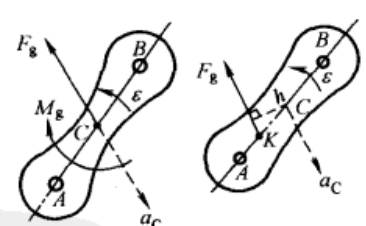
### 3.1 杆组静定条件和构件惯性力的计算

表 4-1-19

杆组静定条件和构件惯性力的计算

杆组静定条件				
运动副类型及简图				
运动副反力要素	已知	$R_{12}$ 作用点通过转动副中心	$R_{12}$ 垂直于导路(不计摩擦)	$R_{12}$ 通过接触点 $K$ , 方向沿公法线 $nn$
	未解	$R_{12}$ 的大小和方向	$R_{12}$ 的大小和作用点	$R_{12}$ 的大小
静定条件	<p>杆组有 <math>n</math> 个杆件, 可列出 <math>3n</math> 个独立的力平衡方程式, 杆组的 <math>W = 3n - 2P_3 - P_4 = 0</math>, 因而当作用于 <math>n</math> 个构件、<math>P_3</math> 和 <math>P_4</math> 运动副的杆组上的外力已知时, 平衡方程数 <math>3n</math> 恰好等于 <math>2P_3 + P_4</math> 个未知反力要素。故杆组中的所有未知力均可求得。求 <math>P_4 = 0</math> 时, <math>n/P_3 = 2/3</math>; 当 <math>P_4 \neq 0</math> 时, <math>n/P_3/P_4 = 1:1:1</math>, 所有杆组均满足静定条件</p>			

#### 构件惯性力的计算

构件类型及简图	定轴转动构件		平面复合运动构件
	轴、惯性主轴重合	轴与惯性主轴不重合	
			
惯性力 $F_g$ 与惯性力矩 $M_g$	$F_g = -ma_c$ $M_g = 0$	$F_g = 0$ $M_g = -J_C \varepsilon$	$F_g = -ma_c$ $M_g = -J_C \varepsilon$
		$F_g = -ma_c = -mr_c \sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}$ $M_g = -J_C \varepsilon$ 或用一个与质心 $C$ 相距 $h$ 的合成惯性力表示, $h = M_g/F_g$ , 这时 $F_g$ 对 $C$ 之矩与 $M_g$ 相等	$F_g = -ma_c$ $F_g$ 与质心 $C$ 相距 $h = M_g/F_g$

注:  $m$ ——构件质量,  $kg$ ;  $J_C$ ——构件对于惯性主轴的转动惯量,  $kg \cdot m^2$ ;  $r_c$ ——回转轴与惯性主轴间的距离,  $m$ ;  $\varepsilon$ ——构件的角加速度,  $s^{-1}$ ;  $a_c$ ——构件质心的加速度,  $m/s^2$ 。



## 3.2 运动副中摩擦力的计算

表 4-1-20

运动副名称	简图	公式	运动副名称	简图	公式
楔面移动副		$N' = Q \cos \lambda + P \sin \lambda$ $N = N' / 2 \sin \alpha$ $F = 2 \mu N = \frac{\mu N'}{\sin \alpha} = \mu' N'$ 含 $\alpha = 90^\circ$ 便得到平面移动副的公式	圆锥形轴颈		新轴颈 $M_m = \frac{2(R^3 - r^3)\mu Q}{3(R^2 - r^2) \sin \alpha}$ 跑合轴颈 $M_m = \frac{R+r}{2 \sin \alpha} \times \mu Q$
有间隙支承短轴的移动及回转副		$N_1 = Q \left( l + \frac{a}{2} \right) / a$ $N_2 = Q \left( l - \frac{a}{2} \right) / a$ $F = \mu(N_1 + N_2) = \frac{2\mu Q l}{a}$ $M_m = l Q \mu d / a$	螺旋副		$F = Q \tan(\lambda \pm \varphi)$ 使 Q 上升时用“+”号;反之用“-”号 $M_m = F r; F_k = F \frac{r}{l}$ 对三角、梯形螺纹将式中 $\varphi$ 用 $\varphi'$ 取代 $\tan \varphi' = \tan \varphi / \cos \alpha$
无间隙支承的移动及转动副		$F = 3\mu Q / a$ $M_m = 3\mu Q d / 2a$	滚动摩擦		$N = Q; M_m = \mu_k N; F = \mu_k N / r$ 纯滚动条件 $\mu_s > \mu_k / r$ 纯滑动条件 $\mu_s < \mu_k / r$
推力轴颈		新轴颈 $M_m = \frac{2(R^3 - r^3)}{3(R^2 - r^2)} \times \mu Q$ 跑合轴颈 $M_m = \frac{R+r}{2} \times \mu Q$	径向轴颈		总反作用力 R 恒切于 $\rho = \mu' r$ 的摩擦圆, 其形成的摩擦力矩 $M_m$ 与 $\omega$ 方向相反 $M_m = Q \rho = \mu' Q r$ 新轴颈 $\mu' = \frac{\pi}{2} \mu$ 跑合轴颈 $\mu' = \frac{4}{\pi} \mu$ 有间隙轴颈 $\mu' = \mu$ 滚动轴承 $\mu' = \frac{A \mu_k}{r} \left( 1 + \frac{d}{D} \right)$ 式中 $A = 1.4$ (钢球) $= 1.46$ (滚子)

注:  $\mu, \mu_k$ ——滑动摩擦因数与滚动摩擦因数, 见第 1 篇第 1 章, 在选用摩擦因数时, 应注意试验条件与使用条件是否一致;  $\mu_s$ ——静摩擦因数;  $F, M_m$ ——摩擦力和摩擦力矩;  $Q$ ——外力 (重力、轴向力);  $N$ ——法向压力;  $R$ ——总反作用力, 在转动副中其方向应根据运动副所在构件的力平衡条件来确定;  $2r, D, d$ ——轴、内圆和滚动体的直径;  $\lambda, \alpha$ ——螺旋的升角与牙型半角;  $\varphi$ ——摩擦角。

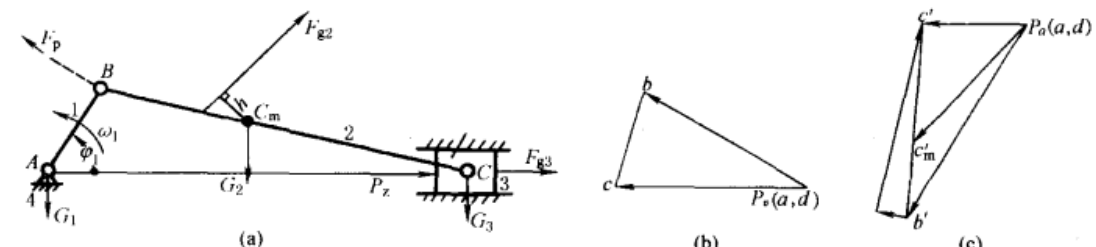
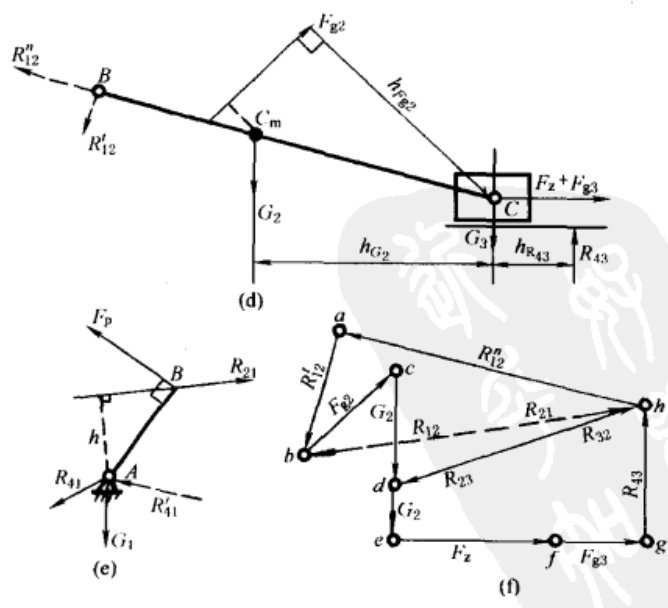
### 3.3 机构的受力分析

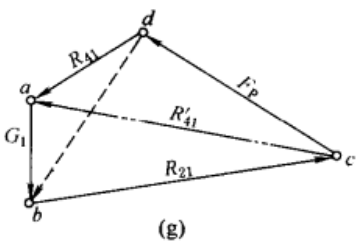
工程中常用的方法是按达朗贝尔原理，将惯性力和外力加于机构的相应构件上，用静力平衡的条件求出各运动副的反力和原动件上的平衡力，故又称动态静力分析。求解时，对于运动质量小的低速机构可不考虑惯性力；一般情况下不考虑摩擦力，但对在接近自锁位置的机构进行受力分析时，应计入摩擦力，并将应用摩擦圆（对转动副）和摩擦角（对移动副）来进行作图求解。

#### 3.3.1 图解计算法

现以曲柄滑块机构为例，用表 4-1-21 来说明其受力分析的步骤与方法。

表 4-1-21

解题步骤	方法及数值
<p>1. 作机构运动简图、求各构件的角加速度 <math>\varepsilon</math>，及其质心的加速度 <math>a</math></p>	<p>按表 4-1-12 矢量图解法，作图求 <math>\varepsilon</math> 及 <math>a</math></p> 
<p>2. 求各构件的惯性力 <math>F_g</math> 及其作用位置</p>	<p>按表 4-1-19 方法求得杆 2、3 上的 <math>F_g</math> (杆 1: 为等速回转 <math>\alpha=0, \varepsilon=0, F_g=0, M_g=0</math>)</p> <p>杆 2: <math>F_{g2} = -\frac{G_2}{g} a_{Cm}, M_{g2} = -J_{C2} \varepsilon_2</math>, 其作用位置 <math>h = \frac{M_{g2}}{F_{g2}}</math></p> <p>杆 3: <math>F_{g3} = -\frac{G_3}{g} a_C, M_{g3} = 0</math>, 其作用位置通过 C 点, 平行于导路</p>
<p>3. 取脱离体，作示力图，列力的平衡方程式，求各运动副的反力</p>	

解题步骤	方法及数值
<p>3. 取脱离体, 作示力图, 列力的平衡方程式, 求各运动副的反力</p>	<p>(1) 将包括惯性力在内的全部外力加在构件上, 如图 d                      (2) 将机构分成主动件 1 和构件组 (本例为杆 2、3), 画出示力图, 如图 d、e                      (3) 列出构件组的力平衡方程式 (为便于求解, 法向反力 <math>\vec{R}'_{12}</math>、<math>\vec{R}'_{43}</math> 放于首尾, 每一构件上的力列在一起)</p> $\vec{R}'_{12} + \vec{R}'_{12} + \vec{F}_{g2} + \vec{G}_2 + \vec{G}_3 + \vec{F}_x + \vec{F}_{g3} + \vec{R}_{23} = 0$ <p>方向: //BC    ⊥BC    ✓    ✓    ✓    ✓    ✓    ⊥AC                      大小: ?    ?    ✓    ✓    ✓    ✓    ✓    ?</p> <p>此方程的未知数超过 2 个, 需求出 <math>R'_{12}</math> 后, 才能求解, 故分别取构件 2 和 3 为示力体, 由 <math>\sum M_c = 0</math>, 可得,</p> $R'_{12} = (F_{g2}h_{F_{g2}} - G_2h_{C2})/l_{BC}; \quad h_{R_{43}} = \frac{(F_x + F_{g3}) \times 0 + G_3 \times 0}{R_{43}} = 0$ <p>若求出的 <math>R'_{12}</math> 为负值, 表示与原假定方向相反, <math>h_{R_{43}} = 0</math>, 表示 <math>R_{43}</math> 通过 c 点。</p> <p>(4) 按构件组的力平衡方程式作为矢量多边形, 如图 f 取力比例尺为 <math>\mu_p = \frac{F_x}{ef}</math> (N/mm),</p> $\therefore R'_{12} = \mu_p ha, R_{12} = \mu_p hb, R_{43} = \mu_p gh$ <p>列出构件 2 的力平衡方程式 <math>\vec{R}'_{12} + \vec{F}_{g2} + \vec{G}_2 + \vec{R}_{32} = 0</math>, 由图 f 得 <math>R_{23} = \mu_p hd = -R_{32}</math>                      也可由构件 3 求出 <math>\vec{R}'_{32}, \vec{R}'_{23} = -\vec{R}'_{32}</math></p>
<p>4. 求机构的平衡力 <math>F_p</math></p>	<p>(1) 在图 e 上, 取 <math>\sum M_A = 0</math>, 即得 <math>F_p = R_{21}h/l_{AB}</math></p> $R_{21} = -R_{12}$ <p>(2) 列构件 1 的力平衡方程式 <math>\vec{G}_1 + \vec{R}_{21} + \vec{F}_p + \vec{R}_{41} = 0</math>, 并作其力矢量多边形图 g。求得 <math>R_{41} = \mu_p da, R_{41}</math> 与 <math>G_1</math> 的合力沿 BA 方向                      当平衡力以力矩形式 (<math>M_p = -R_{21}h, F_p = 0</math>) 给出时, 杆 1 处于三力平衡状态: <math>\vec{G}_1 + \vec{R}_{21} + \vec{R}_{41} = 0</math></p> $R'_{41} = \mu_p ca$ <div style="text-align: right;">  <p>(g)</p> </div>

已知机构的尺寸、原动件的转速  $n_1$  (角速度  $\omega_1 = \text{常数}$ )、作用在输出构件 (滑块) 上的生产阻力  $F_x$ 、各构件的重力  $G_1、G_2、G_3$  及构件 2 的质心  $C_{m2}$ 、它们的转动惯量  $J_{C_{m1}}、J_{C_{m2}}$ 。求各运动副中的反力  $R_{12}、R_{23}、R_{34}、R_{41}$  和作用在 B 点并垂直于曲柄 AB 的平衡力  $F_p$ 。

### 3.3.2 用速度杠杆法求平衡力 $F_p$

在不要求运动副反力时, 应用此法求平衡力很方便。现仍以前例曲柄滑块机构为例, 将求解步骤与方法列于表 4-1-22。

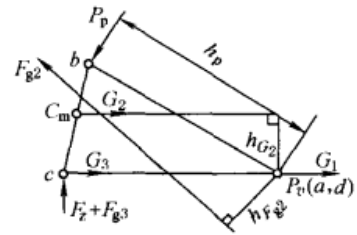
### 3.3.3 机构动态静力分析的解析法

表 4-1-23 建立了受有未知外力的平衡构件 (转动或移动的连架杆) 和三种常见的 II 类杆组的力平衡方程。为了便于列矩阵方程: 规定以 A、B、...、D 表示运动副; i、j 表示构件号; 以  $R_{ij}$  表示构件 i 对构件 j 的运动副反力, 且下标 i 的值必小于 j 的值, 且以  $-R_{ij}$  表示  $R_{ji}$ , 再以下标 x、y 表示其 x、y 方向的分量, 如  $R_{12x}、R_{12y}$ ; 以  $S_i$  表示构件 i 的质心位置。构件上两点间的距离以分量形式表达, 如 C 点到 B 点的距离表示为  $x_{CB} = x_C - x_B、y_{CB} = y_C - y_B、l_{CB} = (x_{CB}^2 + y_{CB}^2)^{1/2}$ ; 以  $m_i、J_{S_i}$  表示构件 i 的质量和对质心的转动惯量; 以  $a_{S_i}$  及  $\epsilon_i$  表示构件 i 的质心加速度和角加速度。将所有作用在构件上的已知外力 (矩) 向质心 S 简化得到一个主矢  $F_i$  和主矩  $M_i$  (不含惯性力及矩)。力矩规定以逆时针方向为正。对每个构件分别列出  $\sum F_{xi} = 0、\sum F_{yi} = 0$  及  $\sum M_{Si} = 0$  方程, 略去中间过程, 便得到表 4-1-23 的各方程。

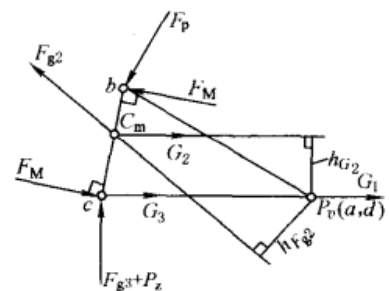
利用表 4-1-23 中的公式可以对多杆 II 级平面机构进行力分析。只需将受有未知外力 (矩) 的机构看成平衡构件, 由远离平衡构件处依次将机构拆成若干个 II 级杆组, 仿照表 4-1-23 写出各杆组及平衡构件的平衡方程, 编成子程序, 便可进行力分析计算。程序可自编或采用有关软件中的程序, 但必须注意符号的对应关系。

表 4-1-22

解题步骤	方法与数值
1. 作速度图	以某一比例尺,可用表 4-1-21 的图 b
2. 将全部外力沿同一方向旋转 90° 后加到速度图的对应点上	本题即将表 4-1-21 图 a 中全部外力均沿逆时针方向旋转 90° 后加到速度图 b 的对应点上,如右图
3. 过速度极点 $P_v$ 作各转向力的垂线	如右图中的 $h_p, h_{F_{g2}}, h_{G_2}, \dots$
4. 对 $P_v$ 取矩,求得平衡力 $F_p$ 或平衡力矩 $M_p$	$F_p = \frac{(F_x + F_{g3})P_v c + F_{g2} h_{F_{g2}} + G_2 h_{G_2} + G_1 \times 0 + G_3 \times 0}{h_p}$ $M_p = F_p L_{AB}$ 若求出的 $F_p$ 为负值,表示 $F_p$ 的方向与原假设相反



注: 1. 若构件上作用有力偶  $M$ , 则应将其化为作用于构件上两选定点 (通常为转动副中心) 的力偶, 此力偶中的每个力为  $F_M = M/L$  ( $L$  为两选定点间的距离)。如表 4-1-21 图 a 中的  $F_{g2}$  若以作用于  $C_m$  的  $F_{g2}$  和惯性力矩  $M_{g2} = -J_{C_{m2}} \varepsilon_2$  的形式给出时, 则应将  $M_{g2}$  化为由两个力  $F_M = -J_{C_{m2}} \varepsilon_2 / L_{BC}$  组成的力偶, 如右图所示, 然后把  $F_M$  按已知外力处理。



2. 也可以将速度图旋转 90°, 而将诸外力按原来的方向加到转向速度图的对应点上, 然后对  $P_v$  取矩, 所得结果不变。

表 4-1-23

简图	力和力矩平衡方程式
<p>(a)</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -y_{BS_2} & x_{BS_2} & y_{CS_2} & -x_{CS_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -y_{CS_2} & x_{CS_2} & y_{DS_3} & -x_{DS_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{12x} \\ R_{12y} \\ R_{23x} \\ R_{23y} \\ R_{34x} \\ R_{34y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 a_{S_2x} - F_{2x} \\ m_2 a_{S_2y} - F_{2y} \\ J_{S_2} \varepsilon_2 - M_2 \\ m_3 a_{S_3x} - F_{3x} \\ m_3 a_{S_3y} - F_{3y} \\ J_{S_3} \varepsilon_3 - M_3 \end{bmatrix}$
<p>(b)</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -y_{BS_2} & x_{BS_2} & y_{CS_2} & -x_{CS_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \varphi_3 & \sin \varphi_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{12x} \\ R_{12y} \\ R_{23x} \\ R_{23y} \\ R_{34x} \\ R_{34y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 a_{S_2x} - F_{2x} \\ m_2 a_{S_2y} - F_{2y} \\ J_{S_2} \varepsilon_2 - M_2 \\ m_3 a_{S_3x} - F_{3x} \\ m_3 a_{S_3y} - F_{3y} \\ 0 \end{bmatrix}$ $l_{CN} = \frac{J_{S_3} \varepsilon_3 - M_3 + y_{CS_3} (R_{23x} - R_{34x}) - x_{CS_3} (R_{23y} - R_{34y})}{R_{34x} \sin \varphi_3 - R_{34y} \cos \varphi_3}$

简图	力和力矩平衡方程式
<p>(c)</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ -y_{CS_2} & x_{CS_2} & y_{S_2S_3} & -x_{S_2S_3} & y_{BS_3} & -x_{BS_3} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & \cos\varphi_3 & \sin\varphi_3 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{12x} \\ R_{12y} \\ R_{23x} \\ R_{23y} \\ R_{34x} \\ R_{34y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 a_{S_2x} - F_{2x} \\ m_2 a_{S_2y} - F_{2y} \\ (J_{S_2} + J_{S_3}) \varepsilon_3 - M_2 - M_3 \\ m_3 a_{S_3x} - F_{3x} \\ m_3 a_{S_3y} - F_{3y} \\ 0 \end{bmatrix}$ $l_{CN} = \frac{J_{S_2} \varepsilon_2 - M_2 + y_{CS_2} (R_{12x} - R_{23x}) - x_{CS_2} (R_{12y} - R_{23y})}{R_{23x} \sin\varphi_3 - R_{23y} \cos\varphi_3}$
<p>(d)</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -y_{AS_1} & x_{AS_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{01x} \\ R_{01y} \\ M_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 a_{S_1x} - F_{1x} + R_{12x} \\ m_1 a_{S_1y} - F_{1y} + R_{12y} \\ J_{S_1} \varepsilon_1 - M_1 - y_{BS_1} R_{12x} + x_{BS_1} R_{12y} \end{bmatrix}$ <p>有平衡力矩 <math>M_b</math>, 无平衡力 <math>P_b</math></p> $\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cos\alpha \\ 0 & 1 & \sin\alpha \\ -y_{AS_1} & x_{AS_1} & x_{NR_1} \tan\alpha - y_{NR_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{01x} \\ R_{01y} \\ P_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 a_{S_1x} - F_{1x} + R_{12x} \\ m_1 a_{S_1y} - F_{1y} + R_{12y} \\ J_{S_1} \varepsilon_1 - M_1 - y_{RS_1} R_{12x} + x_{BS_1} R_{12y} \end{bmatrix}$ <p>无 <math>M_b</math>, 有 <math>P_b</math> 时, <math>N</math> 点及 <math>\alpha</math> 给定</p>
<p>(e)</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cos\alpha \\ 0 & 1 & \sin\alpha \\ -y_{NS_1} & x_{NS_1} & x_{N_bS_1} \tan\alpha - y_{N_bS_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{01x} \\ R_{01y} \\ P_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 a_{S_1x} - F_{1x} + R_{12x} \\ m_1 a_{S_1y} - F_{1y} + R_{12y} \\ -M_1 - y_{BS_1} R_{12x} + x_{BS_1} R_{12y} \end{bmatrix}$ $l_{S_1N} = \frac{-M_1 + y_{BS_1} R_{12x} - x_{BS_1} R_{12y} + P_b (x_{N_bS_1} \tan\alpha - y_{N_bS_1})}{R_{01x} \sin\varphi - R_{01y} \cos\varphi}$

### 3.4 惯性力的平衡<sup>[1,6]</sup>

为消除或减小不平衡惯性力引起的附加动载荷和振动, 应进行惯性力的平衡计算, 以确定附加平衡重量来消除由于结构特点 (如构件形状不对称等) 引起的不平衡; 并进行平衡工序, 在平衡机上用实验方法将由于材质不均匀和制造不精确所引起的不平衡度减小到允许的范围内 (允许不平衡度的参考数据见第 1 篇第 8 章)。

工作转速在一阶临界转速的 75% 以下的旋转体称为刚性旋转体, 反之称为挠性旋转体。挠性旋转体的平衡必须考虑其轴线的动挠度, 其振型曲线可分解为一、二、三、……阶振型分量, 其中对平衡影响大的主要是工作转速范围内的几阶振型, 旋转体的转速接近某阶临界转速时, 该阶的振型分量就显著增大; 当低阶振型已平衡时, 在更高阶临界转速下运转时, 则出现更高阶的振型, 因此, 应按工作需要对其有关各阶振型分别予以校正。在作挠性体平衡之前, 一般先作刚性旋转体的平衡, 然后在一定的真空条件下进行挠性体平衡, 本手册只讨论刚性旋转体因结构原因使质量分布不均匀而引起的不平衡。

刚性旋转体的平衡分为两类: 静平衡 (长径比  $\frac{b}{d} < 0.2$ 、转速低时采用) 其目的在于平衡不平衡惯性力; 动平衡 (长径比大、转速较高时采用) 其目的在于平衡其不平衡的惯性力和力偶。

3.4.1 具有不规则形状的旋转构件平衡重力的确定

表 4-1-24

平衡种类	静平衡	动平衡
简图		
平衡方法	<p>1. 对转子进行形体分析,定出各不平衡重力 <math>G_1, G_2, G_3, \dots</math>, 及其质心半径 <math>r_1, r_2, r_3, \dots</math></p> <p>2. 算出各重径积值 <math>G_1 r_1, G_2 r_2, G_3 r_3, \dots</math>, 并将它们按某一比例尺 <math>\mu_w</math> 用矢量 <math>W_1, W_2, W_3, \dots</math> 表示</p> $\mu_w = \frac{G_1 r_1}{W_1} (\text{N} \cdot \text{cm}/\text{mm})$ <p>3. 由平面共点力系的平衡条件:</p> $\overline{G_1 r_1} + \overline{G_2 r_2} + \overline{G_3 r_3} + \dots + \overline{G_p r_p} = 0$ <p>或 <math>\overline{W_1} + \overline{W_2} + \overline{W_3} + \dots + \overline{W_p} = 0</math></p> <p>作封闭矢量多边形求出 <math>W_p</math></p> <p>4. 按转子结构条件选定平衡重 <math>G_p</math> 的配置半径 <math>r_p</math>, 求出平衡重力</p> $G_p = \mu_w W_p / r_p$ <p>其方位平行于 <math>W_p</math>, 即与 <math>G_1</math> 方向呈 <math>\theta_p</math> 角</p>	<p>1. 对转子进行形体分析, 选定两个平衡平面 I 和 II (应在两端支承附近), 定出不平衡重力 <math>G_1, G_2, G_3, \dots</math>, 质心半径 <math>r_1, r_2, r_3, \dots</math> 及其轴向位置 <math>l_1, l_2, l_3, \dots</math></p> <p>2. 算出各重径积值 <math>G_1 r_1, G_2 r_2, G_3 r_3, \dots</math>, 利用平行力系平衡的条件将它们分解到平衡平面 I 和 II 上</p> $G_1'' r_1 = \frac{l_1}{l} G_1 r_1; G_2'' r_2 = \frac{l_2}{l} G_2 r_2; G_3'' r_3 = \frac{l_3}{l} G_3 r_3$ $G_1' r_1 = G_1 r_1 - G_1'' r_1; G_2' r_2 = G_2 r_2 - G_2'' r_2; G_3' r_3 = G_3 r_3 - G_3'' r_3$ <p>3. 按比例尺 <math>\mu_w</math> 用矢量 <math>W_1', W_2', W_3', \dots, W_1'', W_2'', W_3'', \dots</math> 分别表示 <math>G_1' r_1, G_2' r_2, \dots, G_1'' r_1, G_2'' r_2, \dots</math></p> <p>4. 由平衡平面 I 和 II 的平衡条件:</p> $W_1' + W_2' + W_3' + \dots + W_p' = 0$ $W_1'' + W_2'' + W_3'' + \dots + W_p'' = 0$ <p>作封闭矢量多边形求出 <math>W_p', W_p''</math> 及其相位角 <math>\theta', \theta''</math></p> <p>5. 按转子结构条件选定平衡重 <math>G_p', G_p''</math> 的配置半径 <math>r_p', r_p''</math>, 求出平衡重:</p> $G_p' = \mu_w W_p' / r_p'; G_p'' = \mu_w W_p'' / r_p''$ <p>其方位分别与 <math>G_1' r_1, G_1'' r_1</math> 呈 <math>\theta', \theta''</math> 角</p>

注: 计算时也可用质径积  $mr$  取代重径积  $Gr$ 。

3.4.2 平面机构的平衡

平面机构中存在着质心作周期运动的构件, 在高速运动中它们所产生的惯性力和惯性力偶的大小和方向均作周期性变化, 形成动载荷而在机器的基础上引起振动。运动构件惯性力作用在机座上的合力称为振动力, 而产生



在垂直于机构运动平面的、作用在机座上的惯性力偶矢则称为振动力偶。使振动力和振动力偶完全消失的措施就是机构的完全平衡；而使之减弱的措施是机构的部分（不完全）平衡。

平面机构平衡的方法有：①当机器有几个机构同时工作时，可将这些机构合理布置，使振动力达到完全或部分平衡（表 4-1-25）；②通过加平衡质量以改变构件的质量及分布情况，使振动力平衡（表 4-1-25）；③通过附加平衡装置（一般为齿轮惯性配重）使振动力及力偶平衡（表 4-1-25）。其中，加平衡质量的方法简单易行，较常采用，其基本思想是通过加平衡质量后，使机构的总质心固定不变。20 世纪 70 年代以来大多采用线性独立矢量法<sup>[1,6]</sup>，用这种方法基本上只能获得振动力完全平衡，而极难达到振动力偶完全平衡。要使机构达到振动力完全平衡，需利用通路定理，即机构中任何一个构件都有一条通到机架的路径，在此路径上只经过转动副而没有移动副，不满足通路定理的机构不可能实现振动力完全平衡；单自由度  $n$  杆机构在满足通路定理的前提下，要实现振动力完全平衡应加的平衡质量数不得少于  $n/2$ 。

振动力偶的平衡比较复杂，要求不高的机构常只作振动力平衡，振动力完全平衡的机构，将可能使机构重量、运动副反力、振动力偶以及驱动力矩增大。因此，20 世纪 80 年代出现了以机构一个运动周期内的振动力偶及振动力的均方根最小值为优化目标的综合优化平衡<sup>[1]</sup>、谐波平衡<sup>[6]</sup>等；90 年代采用了用改变构件质量及其分布情况和附加平衡装置相结合的方法来获得振动力及振动力偶完全平衡的近 30 种具体机构。

振动力矩  $M_z$  是通过角动量原理给出其表达式的，其标量表达式为：

$$M_z = - \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^m m_i (x_i \dot{y}_i - y_i \dot{x}_i + k_i^2 \dot{\varphi}_i)$$

式中， $x_i$ 、 $y_i$ 、 $\dot{x}_i$ 、 $\dot{y}_i$  分别为构件  $i$  在固定坐标系中的坐标值和速度分量值； $m_i$ 、 $k_i$  为构件  $i$  的质量和回转半径  $k_i^2 = J_{Si}/m_i$ ； $\dot{\varphi}_i$  为构件  $i$  的角速度； $m$  为活动构件数。

要使机构的振动力偶完全平衡，也就是通过质量的合理配置使  $M_z = 0$ ，显然这是十分复杂的。以四杆机构为例，如设其已经过振动力完全平衡，则机构的振动力偶表达式可写为<sup>[6]</sup>：

$$M_z = - \left[ \sum_{i=1}^3 m_i (k_i^2 + r_i^2 - a_i r_i \cos \theta_i) \ddot{\varphi}_i \right] - 2m_2 a_1 r_2 \sin \theta_2 [\ddot{\varphi}_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) - (\dot{\varphi}_1^2 - \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_2) \cos(\varphi_1 - \varphi_2)]$$

(4-1-7)

式中， $a_i$ 、 $r_i$  分别为  $i$  杆长度和质心距转动副的径矢； $\theta_i = (\vec{r}_i, \vec{a}_i)$  为质心径矢  $\vec{r}_i$  与构件矢量  $\vec{a}_i$  间的夹角（图 4-1-9）； $\varphi_i$ 、 $\dot{\varphi}_i$ 、 $\ddot{\varphi}_i$  分别为  $i$  杆位置角、角速度和角加速度。

由式 (4-1-7) 可见：要使机构振动力偶完全平衡，即  $M_z = 0$ ，则应使机构在振动力已完全平衡的前提下，满足下列条件。

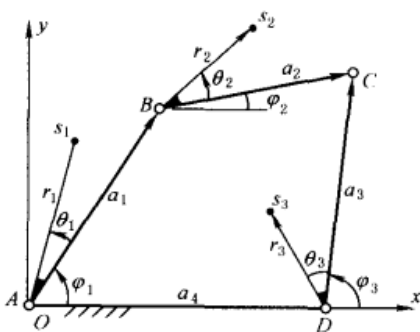


图 4-1-9

①  $\theta_2 = 0$ ，连杆 2 的质心在连杆线  $BC$  上； $\ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}_2 = \ddot{\varphi}_3 = 0$ ，即所有构件均作匀速转动。只有平行四边形机构能满足这个条件。

②  $\theta_2 = 0$ 、 $\ddot{\varphi}_1 = 0$ ；且  $\ddot{\varphi}_2 = -\ddot{\varphi}_3$ 、 $m_1 (k_1^2 + r_1^2 - 2a_1 r_1 \cos \theta_1) = m_3 (k_3^2 + r_3^2 - 2a_3 r_3 \cos \theta_3)$ ；只有  $a_1 = a_4$ 、 $a_2 = a_3$  的菱形机构能满足这个条件。

以上分析说明机构要通过加平衡质量来实现振动力偶完全平衡是困难的；但是可以通过以下措施来减小机构的振动力偶：

①使输入构件作匀速转动， $\ddot{\varphi}_1 = 0$ ；②使连杆的质心位于铰  $B$ 、 $C$  的连线上， $\theta_2 = 0$  或  $\theta_2' = \pi$ ；③任何构件的质量分布都是一个物理摆，即  $k_i^2 + r_i^2 - 2a_i r_i \cos \theta = 0$ 。

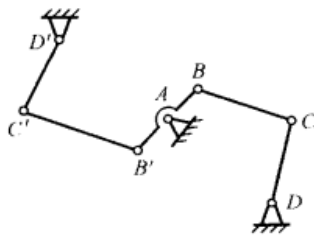
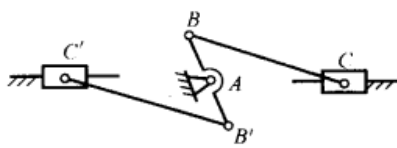
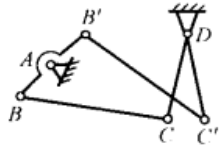
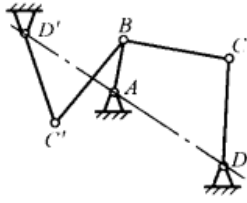
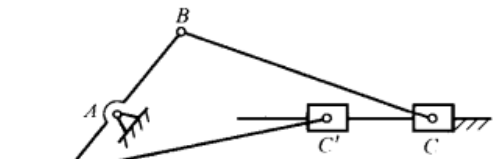
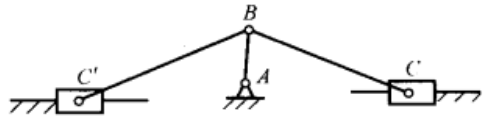
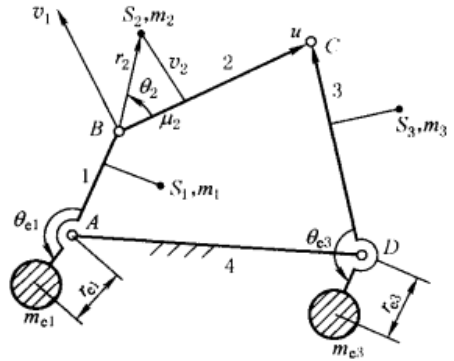
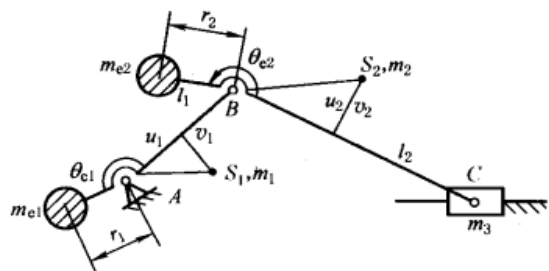
当满足不了上述条件，而要实现机构振动力偶完全平衡时，则应在连架副  $A$ 、 $D$  处加装齿轮惯性配重的附加平衡装置。

要进行平面机构的平衡，通常是第一步将构件设计成物理摆，第二步实现振动力的完全平衡，第三步添加惯性配重来实现振动力偶的完全平衡或部分平衡。

关于多杆机构的振动力及振动力偶的平衡可参阅文献[7,8]。关于平面四杆机构的综合优化平衡，请参阅文献[1]。

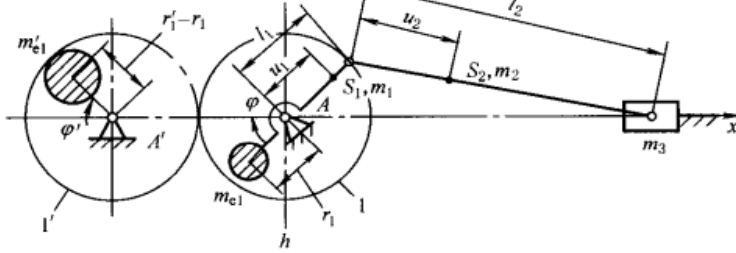
表 4-1-25

平面四杆机构的平衡

合理布置机构	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p> <math>l_{AB} = l_{A'B'}</math>, <math>l_{BC} = l_{B'C'}</math>,  <math>l_{CD} = l_{C'D'}</math>, <math>l_{AD} = l_{A'D'}</math> </p> </div> <div style="text-align: center;">  <p> <math>l_{AB} = l_{A'B'}</math>  <math>l_{BC} = l_{B'C'}</math> </p> </div> </div>
振动力部分平衡	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p> <math>l_{AB} = l_{A'B'}</math>, <math>l_{BC} = l_{B'C'}</math>,  <math>l_{CD} = l_{C'D'}</math> </p> </div> <div style="text-align: center;">  <p> <math>l_{BC} = l_{B'C'}</math>, <math>l_{CD} = l_{C'D'}</math>,  <math>l_{AD} = l_{A'D'}</math> </p> </div> <div style="text-align: center;">  <p> <math>l_{BC} = l_{B'C'}</math> </p> </div> <div style="text-align: center;">  <p> <math>l_{BC} = l_{B'C'}</math> </p> </div> </div>
加平衡质量	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;">  <p>平衡质量大小及位置:</p> <math display="block">m_{e1} = \frac{\sqrt{[l_2 u_1 m_1 + l_1 (l_2 - u_2) m_2]^2 + [l_2 v_1 m_1 + l_1 v_2 m_2]^2}}{l_2 r_{e1}}</math> <math display="block">\tan \theta_{e1} = (l_2 v_1 m_1 + l_1 v_2 m_2) / [l_2 u_1 m_1 + l_1 (l_2 - u_2) m_2]</math> <math display="block">m_{e3} = \frac{\sqrt{(l_3 u_2 m_2 + l_2 u_3 m_3)^2 + (l_3 v_2 m_2 + l_2 v_3 m_3)^2}}{l_2 r_{e3}}</math> <math display="block">\tan \theta_{e3} = (l_3 v_2 m_2 + l_2 v_3 m_3) / (l_3 u_2 m_2 + l_2 u_3 m_3)</math> <p><math>l_i, m_i</math> 分别为构件 <math>i</math> 的长度、质量; <math>u_i, v_i, \theta_i</math> 为质心 <math>S_i</math> 在所属构件坐标系的坐标和方位角。质心 <math>S</math> 在转动副连线上时只需令各式中 <math>v=0</math></p> </div> <div style="width: 45%;">  <p>在 <math>r_2</math> 端加 <math>m_{e2}</math> 使 <math>m_{e2}, m_2, m_3</math> 总质心在 <math>B</math> 点:</p> <math display="block">m_{e2} = \sqrt{(m_2 u_2 + m_3 l_2)^2 + (m_2 v_2)^2} / r_2</math> <math display="block">\tan \theta_{e2} = m_2 v_2 / (m_2 u_2 + m_3 l_2)</math> <p>加在 <math>r_1</math> 端的平衡质量:</p> <math display="block">m_{e1} = \sqrt{[u_1 m_1 + (m_{e2} + m_2 + m_3) l_1]^2 + (r_1 m_1)^2} / r_1</math> <math display="block">\tan \theta_{e1} = (v_1 m_1) / [u_1 m_1 + (m_{e2} + m_2 + m_3) l_1]</math> </div> </div>



振动力平衡  
附加平衡装置  
振动力、振动力偶的完全平衡

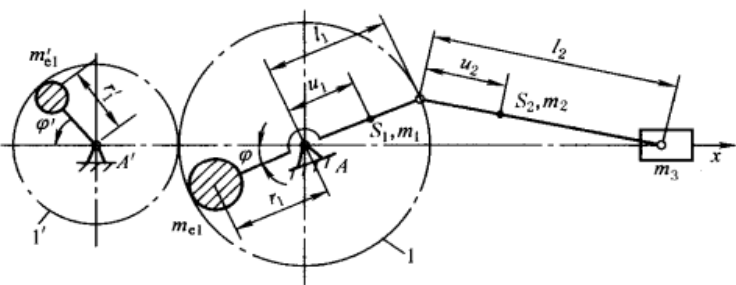


平衡质量

$$m_{e1} = \left[ \left( \frac{l_2 - u_2}{l_2} \right) m_2 + \frac{u_1}{l_1} m_1 + 0.5 \left( \frac{u_2}{l_2} m_2 + m_3 \right) \right] \frac{l_1}{r_1}$$

$$m'_{e1} = 0.5 \left( \frac{u_2}{l_2} m_2 + m_3 \right) \frac{l_1}{r_1}$$

齿轮 1, 1' 的齿数  $Z_1 = Z'_1$ , 两平衡质量与水平轴的夹角  $\varphi' = \varphi$ , 且分别位于轴上、下两侧。可将移动质量一阶惯性力完全平衡

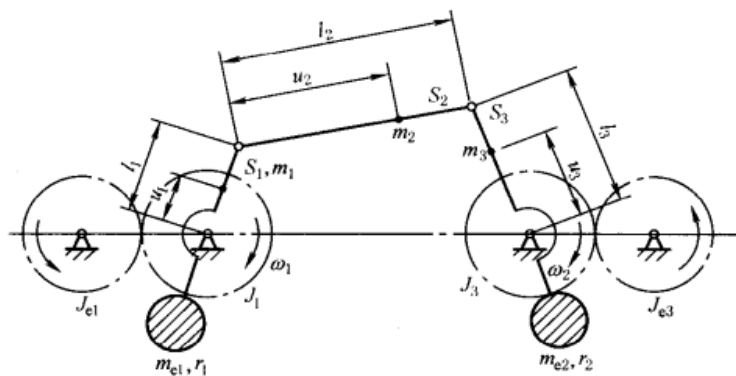


平衡质量

$$m_{e1} = \left[ \left( \frac{l_2 - u_1}{l_2} \right) m_2 + \frac{u_1}{l_1} m_1 + \frac{u_2}{l_2} m_2 + m_3 \right] \frac{l_1}{r_1}$$

$$m'_{e1} = \frac{1}{4} \left( \frac{u_2}{l_2} m_2 + m_3 \right) \frac{l_1^2}{l_2 r_1}$$

齿轮 1, 1' 的齿数  $Z_1 = 2Z'_1$ ,  $m_{e1}, m'_{e1}$  与水平轴的夹角  $\varphi' = 2\varphi$ , 分别位于轴上、下两侧。可平衡移动质量一、二阶惯性力, 但垂直方向有不平衡惯性力



平衡质量

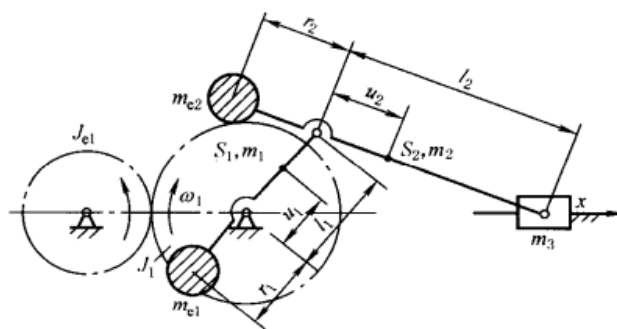
$$m_{e1} = \frac{m_2 l_1 (l_2 - u_2) + m_1 l_2 u_1}{l_2 r_1}$$

$$m_{e2} = \frac{m_3 l_2 u_3 + m_2 l_3 u_2}{l_2 r_3}$$

连杆 BC 结构满足物理摆条件  $k_2^2 = u_2 (l_2 - u_2)$

分别设置与两连架杆按速比为  $i_e$  反向转动的转动惯量  $J_{ei}$

$$J_{ei} = [m_i (k_i^2 + r_i^2 + l_i r_i) + J_i] / i_e \quad i = 1, 3; J_i \text{ 为齿轮 } i \text{ 的转动惯量}$$



平衡质量:  $m_{e2} = (m_2 u_2 + m_3 l_2) / r_2$

$$m_{e1} = [(m_{e2} + m_2 + m_3) l_1 + m_1 u_1] / r_1$$

设置与曲柄轴联轴齿轮传动比为  $i_e$  的反向转动的转动惯量配重  $J_{e1}$

$$J_{e1} = [m_1 (k_1^2 + r_1^2 + l_1 r_1) + J_1] / i_e$$

## 4 单自由度机器的动力分析

机器的动力分析以力和能的分析为基础, 解决下列基本问题: ①确定机器所传递的力和功; ②确定机器在给定的质量分布情况和外力作用下的真实运动; ③机器速度的调节。

### 4.1 机器的运动过程和运动方程式

机器的整个运动(常以主轴代表)可以分为三个阶段, 如图 4-1-10 所示。

在启动阶段, 机器存在着较大的加速度以及由其惯性所引起的附加动载荷, 很容易引起机件的损坏, 因而对于惯性大的机器应仔细地考虑其启动方式, 并设置相应的装置。

在稳定运动阶段, 机器主轴的运动速度为常数, 即匀速运动, 如图 4-1-10 中曲线 1 所示(例如电动机、鼓风机等), 或在其正常工作速度相对应的平均值  $\omega_m$  的上下作周期性(周期为  $t_c$ )变动, 即变速运动, 如图 4-1-10 中曲线 2 所示(例如各种活塞式原动机和工作机)。这是机器的正常工作阶段, 其运动特性应满足工作机械的要求。

在停车阶段, 为了缩短停车时间往往在机器中设置制动装置。

机器在运动过程中的功能关系可用下列运动方程式表示

$$A_c - A_z - A_m \pm A_G = E_2 - E_1 \quad (4-1-8)$$

式中  $A_c$  ——在时间间隔  $t_2 - t_1$  内驱动力  $P_c$  所作的功;

$A_z$  ——在时间间隔  $t_2 - t_1$  内生产阻力  $P_z$  所作的功;

$A_m$  ——在时间间隔  $t_2 - t_1$  内摩擦阻力  $P_m$  等所作的功;

$A_G$  ——在时间间隔  $t_2 - t_1$  内所有构件重力所作的功; 有时为正, 取“+”号; 有时为负, 取“-”号;

$E_2$  ——机器在  $t_2$  时所具有的总动能,  $E_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (m_i v_{ci_2}^2 + J_{ci_2} \omega_{i_2}^2)$ ;

$E_1$  ——机器在  $t_1$  时所具有的总动能,  $E_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (m_i v_{ci_1}^2 + J_{ci_1} \omega_{i_1}^2)$ ;

$v_{ci_2}(\omega_{i_2})$  ——在  $t_2$  时第  $i$  个构件质心的线速度(第  $i$  个构件的角速度);

$v_{ci_1}(\omega_{i_1})$  ——在  $t_1$  时第  $i$  个构件质心的线速度(第  $i$  个构件的角速度)。

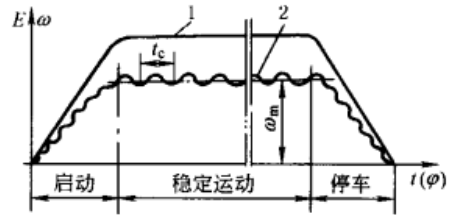


图 4-1-10

### 4.2 机器运动方程的求解

在求解给定质量分布情况和外力作用下的机构运动问题时, 可将机构简化为一个与机架相连的转化构件(转动或移动)的二构件转化机构。为此, 必须: ①将所有作用在原机构上的驱动力和阻力等, 按做功相等原则, 用一个作用在转化构件的转化点上的等功力  $F_{dg}$  (或等功力矩  $M_{dg}$ ) 代替; ②将原机构所有构件的质量和转动惯量, 按动能相等原理, 用一个转化到转化构件上的等能质量  $m_{dn}$  (或等能转动惯量  $J_{dn}$ ) 来代替。然后用机器的运动方程式求解其运动。计算公式见表 4-1-26。运动方程的应用举例见表 4-1-27。

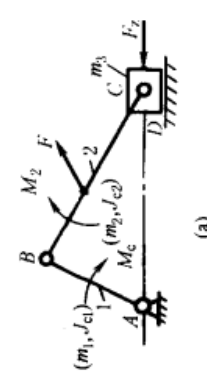
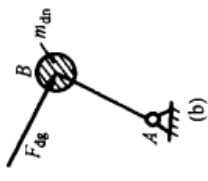
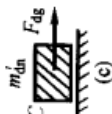
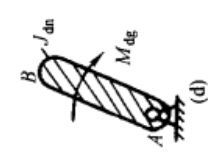
### 4.3 机器周期性速度波动的调节和飞轮设计

机器的非周期性速度波动, 可由自动调节装置调节力能来源获得稳定运动。

当机器在一个运动循环内的输入能量(驱动功)等于输出能量(阻抗功), 而在任一时间间隔内它们并不相等时, 将产生周期性速度波动。因此, 凡是在一个运动循环内, 输入或输出能量有较大的周期性变化的机器, 均应装设飞轮, 以便当能量有盈余时被飞轮所吸收而储存起来, 而当能量有亏损时由飞轮将积蓄的能量放出给予补偿。飞轮具有以下功能:



表 4-1-26 机器的运动方程

<p>原机构</p>	 <p>(a)</p>	
<p>具有 转化点 的转 化机 构</p>	 <p>(b)</p>	<p>移动转 化机构</p>  <p>(c)</p>
<p>转化机构</p>	<p>没有转化点的转化机构</p>  <p>(d)</p>	
<p><math>F_i, M_i</math>——作用在原机构上的第 <math>i</math> 个力、力矩;  <math>m_i, J_{ci}</math>——原机构中第 <math>i</math> 个构件的质量、对其质心的转动惯量;  <math>v_i, \omega_i</math>——<math>F_i</math> 力作用点的速度, <math>M_i</math> 作用所在构件的角速度;  <math>v_{ci}</math>——第 <math>i</math> 个构件质心的速度</p>	<p>等功力(矩)是作用在转化机构的转化构件上的一个假想力(矩);在所研究的可能位移中,等功力对转化构件所作的功,恒等于原来的力(矩)作用在原机构的相应构件上所做功之和</p>	
<p>等功力 <math>F_{dg}</math> 或等功力矩 <math>M_{dg}</math></p>	<p>对于图 b、c 所示转化机构常采用等功力</p> $F_{dg} = \sum_{i=1}^k F_i \left( \frac{v_i}{v_d} \right) \cos(\widehat{F_i v_i}) + \sum_{i=1}^k M_i \left( \frac{\omega_i}{\omega_d} \right) \cos(\widehat{M_i \omega_i}) \quad (1)$	<p>对于图 d 所示转化机构常采用等功力矩</p> $M_{dg} = \sum_{i=1}^k F_i \left( \frac{v_i}{\omega_d} \right) \cos(\widehat{F_i v_i}) + \sum_{i=1}^k M_i \left( \frac{\omega_i}{\omega_d} \right) \cos(\widehat{M_i \omega_i}) \quad (2)$
<p>将驱动力(矩)或生产阻力(矩)、惯性力(矩)和重力均包括在内时,所求得等功力(矩)与用动态静力学或速度杠杆法求得的平衡力 <math>F_p</math> (力矩 <math>M_p</math>) 等值而反向          也可以将外力按类(驱动力、生产阻力、惯性力等)分别求出其相应的等功力(矩)</p>		

续表

<p>转化机构中等能质量或等能转动惯量所具有的动能等于原机构中所有构件具有的动能之和, <math>m_{dg}</math> 和 <math>J_{dn}</math> 同样是转化构件所具有的一个假想质量和转动惯量</p>	<p>对于上图所示转化机构常采用等能质量</p> $m_{dn} = \sum_{i=1}^k m_i \left( \frac{v_{oi}}{v_o} \right)^2 + \sum_{i=1}^k J_{oi} \left( \frac{\omega_i}{\omega_o} \right)^2 \quad (3)$	<p>对于上图所示转化机构常采用等能转动惯量</p> $J_{dn} = \sum_{i=1}^k m_i \left( \frac{v_{oi}}{\omega_o} \right)^2 + \sum_{i=1}^k J_{oi} \left( \frac{\omega_i}{\omega_o} \right)^2 \quad (4)$
<p>等能质量 <math>m_{dn}</math> 或等能转动惯量 <math>J_{dn}</math></p>	<p><math>F_{dg}, M_{dg}, m_{dn}, J_{dn}</math> 是一个假想的力(矩)和质量(转动惯量), 是速度比的函数, 因而是原动件位置的函数, 而不是原动件的真实速度无关, 是用来研究机器功能问题的一种手段, 而不是原机构中所有外力的合力(矩)和所有构件质量(转动惯量)的总和; 所以不能用它们来进行机构的力计算、平衡计算和总惯性力(矩)。例题见表 4-1-27 例 1</p>	<p>对于上图所示转化机构常采用等能转动惯量</p> $\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{dg} d\varphi = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (M_{dgc} - M_{dgs}) d\varphi$ $= \frac{1}{2} [J_{dn}(\varphi_2)\omega_{\varphi_2}^2 - J_{dn}(\varphi_1)\omega_{\varphi_1}^2] \quad (5)$
<p>以动能形式表达</p>	$\int_{s_1}^{s_2} F_{dg} ds = \int_{s_1}^{s_2} (F_{dgc} - F_{dgs}) ds$ $= \frac{1}{2} [m_{dn}(s_2)v_2^2 - m_{dn}(s_1)v_1^2] \quad (6)$	$M_{dg} = M_{dgc} - M_{dgs}$ $= J_{dn} \frac{d\omega_d}{dt} + \frac{\omega_d^2}{2} \frac{dJ_{dn}}{d\varphi} = \frac{1}{2} \frac{d(J_{dn}\omega_d^2)}{d\varphi} \quad (7)$
<p>以力或力矩形式表达</p>	$F_{dg} = F_{dgc} - F_{dgs}$ $= m_{dn} \frac{dv_d}{dt} + \frac{v_d^2}{2} \frac{dm_{dn}}{ds} = \frac{1}{2} \frac{d(m_{dn}v_d^2)}{ds} \quad (8)$	$M_{dg} = M_{dgc} - M_{dgs}$ $= J_{dn} \frac{d\omega_d}{dt} + \frac{\omega_d^2}{2} \frac{dJ_{dn}}{d\varphi} = \frac{1}{2} \frac{d(J_{dn}\omega_d^2)}{d\varphi} \quad (8)$

对于转化机构机器的运动方程式

用分析法(当原始数据以某种函数形式给出时)或图解法(当原始数据以线图或数值形式给出时), 按给定初始条件求解运动方程中的某一方程, 便可求解机构的真实运动; 假如, 在一般情况下, 给定机器的驱动力和阻抗力的变化规律以及质量分布情况, 即可求出机器主轴的角位移、角速度和角加速度和启、制动时间等过渡过程问题; 反之给定了作用力及运动的变化情况, 可以求出机器各质量的配置情况, 如飞轮设计问题等。由于情况的多样性, 方程的解并非在任何条件下均可得出, 因此不予赘述。详见文献[1, 3, 8, 9], 这里通过表 4-1-27 例 2、3 说明其原理

式中  $F_{dgc}, M_{dgc}, F_{dgs}, M_{dgs}$  ——分别为所有驱动力(矩)、阻力(矩)的等功力(矩)

$\varphi, s$  ——转化构件的转角、转化点的位移

$\omega_d, v_d$  ——转化构件的角速度、转化点的线速度

$(\hat{F}_i, v_i), (\hat{M}_i, \omega_i)$  —— $F_i$  与  $v_i, \vec{M}_i$  与  $\vec{\omega}_i$  的夹角

注: 1. 解题时, 只需根据具体情况简化为表中的一种转化机构。解题可用微分、积分、差分、图解等方法进行。  
2. 也可将某一构件的质量或某一个作用力个别地转化到转化构件上去, 求出其相应的等能质量或等功力。

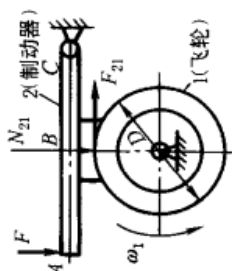


运动方程应用举例

已知条件	求解	方法与数值
<p>例 1 <math>\omega_1 = 200 \text{ s}^{-1}</math>,  <math>L_{AB} = 75 \text{ mm}</math>,  <math>L_{BC} = 200 \text{ mm}</math>,  <math>L_{BS_2} = 60 \text{ mm}</math></p>	<p>当 <math>\varphi_1 = 45^\circ</math> 时在                      (1) 转化在                      转化构件的转                      化点 B 上的  <math>m_{dn}</math> 和 <math>F_{dg}</math>;                      (2) 转化在                      没有转化点的                      转动构件 AB 上                      的 <math>J_{dn}</math> 和 <math>M_{dg}</math></p>	<p>1. 用比例尺 <math>\mu_l = 0.004 \text{ m/mm}</math>  <math>\mu_v = 0.75 \frac{\text{m/s}}{\text{mm}}</math>; <math>\mu_a = 100 \frac{\text{m/s}^2}{\text{mm}}</math> 分别画出机构运动简图 a、速度图 b 和加速度图 c, 求得:  <math>v_B = 15 \text{ m/s}</math> <math>v_C = P_v \mu_v = 13.5 \text{ m/s}</math>  <math>v_{S_2} = P_v \mu_v \mu_e = 13.5 \text{ m/s}</math>, <math>\omega_2 = 56.25 \text{ s}^{-1}</math>  <math>a_B^a = \omega_1^2 L_{AB} = 3000 \text{ m/s}^2</math>, <math>a_C = P_a \mu_a = 2300 \text{ m/s}^2</math>  <math>a_{S_2} = P_a \mu_a \mu_e = 2650 \text{ m/s}^2</math>, <math>\varepsilon_2 = 10^4 \text{ s}^{-2}</math>                      惯性力 <math>F_{\rho_3} = \frac{G_3}{g} a_C = 9378 \text{ N}</math>  <math>F_{\rho_2} = \frac{G_2}{g} a_{S_2} = 13507 \text{ N}</math>, <math>M_{\rho_2} = J_{S_2} \varepsilon_2 = 200 \text{ N} \cdot \text{m}</math></p>
<p>当 <math>\varphi_1 = 45^\circ</math> 时在                      转化构件的转                      化点 B 上的  <math>m_{dn}</math> 和 <math>F_{dg}</math>;                      (2) 转化在                      没有转化点的                      转动构件 AB 上                      的 <math>J_{dn}</math> 和 <math>M_{dg}</math></p>	<p>2. 转化机构为具有转化点的转动构件时, 转化点 B 上的 <math>F_{dg}</math> 及 <math>m_{dn}</math> 由表 4-1-26 公式求得:  <math>F_{dg} = F_{\rho_2} \frac{v_{S_2}}{v_B} \cos 112^\circ + M_{\rho_2} \frac{\omega_2}{v_B} + G_2 \frac{v_{S_2}}{v_B} \cos 126^\circ + (F_{\rho_3} - F_2) \frac{v_C}{v_B} \cos 180^\circ = 13507 \times \frac{13.5}{15} \times (-0.3746) + 200 \times \frac{56.25}{15} \times (-0.5878) - (9378 - 1000) \times \frac{13.5}{15} = -11370 \text{ N}</math> (即 <math>F_{dg}</math> 与 <math>v_B</math> 反向)  <math>m_{dn} = J_{S_1} \left( \frac{\omega_1}{v_B} \right)^2 + G_2 \left( \frac{v_{S_2}}{v_B} \right)^2 + J_{S_2} \left( \frac{\omega_2}{v_B} \right)^2 + \frac{G_3}{g} \left( \frac{v_C}{v_B} \right)^2</math>  <math>= 0.006 \times \left( \frac{200}{15} \right)^2 + \frac{50}{9.8} \times \left( \frac{13.5}{15} \right)^2 + 0.02 \times \left( \frac{56.25}{15} \right)^2 + \frac{40}{9.8} \times \left( \frac{13.5}{15} \right)^2 = 8.7867 \text{ kg}</math></p>	<p>3. 转化机构为没有转化点的转动构件时, 转化构件 AB 上的 <math>M_{dg}</math> 及 <math>J_{dn}</math> 由表 4-1-26 公式求得:  <math>M_{dg} = F_{\rho_2} \left( \frac{v_{S_2}}{\omega_1} \right) \cos 112^\circ + M_{\rho_2} \frac{\omega_2}{\omega_1} + G_2 \frac{v_{S_2}}{\omega_1} \cos 126^\circ + (F_{\rho_3} - F_2) \frac{v_C}{\omega_1} \cos 180^\circ = 13507 \times \left( \frac{13.5}{200} \right) \times (-0.3746) + 200 \times \left( \frac{56.25}{200} \right) + 50 \times \left( \frac{13.5}{200} \right) \times (-0.5878) - (9378 - 1000) \times \frac{13.5}{200} = -853 \text{ N} \cdot \text{m}</math> (即 <math>M_{dg}</math> 与 <math>\omega_1</math> 反向)  <math>J_{dn} = J_{S_1} \left( \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 + J_{S_2} \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + \frac{G_2}{g} \left( \frac{v_{S_2}}{\omega_1} \right)^2 + \frac{G_3}{g} \left( \frac{v_C}{\omega_1} \right)^2</math>  <math>= 0.006 + 0.02 \times \left( \frac{56.25}{200} \right)^2 + \frac{50}{9.8} \times \left( \frac{13.5}{200} \right)^2 + \frac{40}{9.8} \times \left( \frac{13.5}{200} \right)^2 = 0.0494 \text{ kg} \cdot \text{m}^2</math></p>

处理工程问题时, 2、3 两种情况仅能做一种即可

续表

已知条件	求解	方法与数值
<p>例 2 驱动力矩 <math>M_1 = 80\text{ N} \cdot \text{m}</math>, 产生阻力矩 <math>M_3 = 100\text{ N} \cdot \text{m}</math>, 各轮齿数 <math>z_1 = 20</math>, <math>z_2 = 30</math>, <math>z_3 = 40</math>, 各轮的转动惯量分别为:  <math>J_1 = 0.1\text{ kg} \cdot \text{m}^2</math>  <math>J_2 = 0.225\text{ kg} \cdot \text{m}^2</math>  <math>J_3 = 0.4\text{ kg} \cdot \text{m}^2</math></p>	<p>轮 1 在运动开始后 0.5 s 的 <math>\omega_1</math> 及 <math>\varepsilon_1</math></p>	<p>此机构为定轴转动机构, 其转化机构可视为由齿轮和机架组成的单自由度没有转化点的转化机构</p> <p>1. 求出转化到轴 1 上的等能转动惯量 <math>J_{dn}</math> 及等功力矩 <math>M_{dg}</math>:</p> $J_{dn} = J_1 \left( \frac{\omega_1}{\omega_1} \right)^2 + J_2 \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + J_3 \left( \frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 = J_1 + J_2 \left( \frac{z_1}{z_2} \right)^2 + J_3 \left( \frac{z_1}{z_3} \right)^2$ $= 0.1 + 0.225 \times \left( \frac{20}{30} \right)^2 + 0.4 \times \left( \frac{20}{40} \right)^2 = 0.3\text{ kg} \cdot \text{m}^2$ $M_{dg} = M_1 \left( \frac{\omega_1}{\omega_1} \right) + M_2 \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) + M_3 \left( \frac{\omega_3}{\omega_1} \right) = 80 + 0 - 100 \times \frac{20}{40} = 30\text{ N} \cdot \text{m}$ <p>2. 求解运动: 按表 4-1-26 式(8), 由于齿轮机构的 <math>J_{dn}</math> 为常量, 故式中 <math>\frac{dJ_{dn}}{d\varphi} = 0, M_{dg} = J_{dn} \varepsilon_1</math></p> <p><math>\therefore</math> 角加速度 <math>\varepsilon_1 = \frac{M_{dg}}{J_{dn}} = \frac{30}{0.3} = 100\text{ s}^{-2}</math>, 0.5 s 时的角速度 <math>\omega_1 = \omega_0 + \varepsilon_1 t = 0 + 100 \times 0.5 = 50\text{ s}^{-1}</math></p>
<p>例 3 <math>F = 200\text{ N}</math>; 飞轮 1 的转动惯量 <math>J_1 = 4\text{ kg} \cdot \text{m}^2</math>; <math>D = 0.2\text{ m}</math>; <math>L_{AC} = 0.5L_{BC}</math>; 轮缘与杆的摩擦因数 <math>\mu = 0.2</math>, 制动前飞轮的 <math>\omega_1 = 100\text{ s}^{-1}</math></p>	<p>若不计算轴承中的摩擦, 求由制动开始到轮完全静止所需的时间 <math>t</math> 和在此期间飞轮转过的转数 <math>n</math></p>	 <p>杆与轮缘间的正压力 <math>N_{21} = \frac{FL_{AC}}{L_{BC}} = \frac{200 \times 1}{0.5} = 400\text{ N}</math></p> <p>杆与轮缘间的摩擦力(制动力) <math>F_{21} = \mu N_{21} = 0.2 \times 400 = 80\text{ N}</math></p> <p>制动力矩 <math>M = F_{21} \times \frac{D}{2} = 80 \times \frac{0.2}{2} = 8\text{ N} \cdot \text{m}</math>; 此时, <math>M_{dg} = -M</math></p> <p>由于 <math>J_{dn}</math> 为常量, 表 4-1-26 式(8)可改写为 <math>\varepsilon_1 = \frac{d\omega_1}{dt} = \frac{-M}{J_1} = \frac{-8}{4} = -2\text{ s}^{-2}</math></p> <p>为等减角速度运动, 求出制动时间 <math>t = \frac{\omega_1' - \omega_1}{\varepsilon_1} = \frac{0 - 100}{-2} = 50\text{ s}</math></p> <p>飞轮制动转过的转角 <math>\varphi</math> 与转数 <math>n</math> 为: <math>n = \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{\omega_1 t + \frac{1}{2} \varepsilon_1 t^2}{2\pi} = \frac{100 \times 50 + \frac{1}{2} \times (-2) \times 50^2}{2\pi} = 398</math></p>



- ① 减小机器主轴的速度波动（但不能消除；减小的程度视飞轮的惯量与转速的高低而异）；
- ② 用较小功率的原动机带动瞬时需要较大功率的工作机；
- ③ 帮助机器启动和度过死点。

随着材质的改善与发展，飞轮的允许转速和储存的能量将显著提高，飞轮可望像蓄电池那样，作为短途交通运输工具的动力源，这对减少空气污染等均是有利的。近年来又出现了无轮辐的钢丝飞轮。

#### 4.3.1 机器主轴的平均角速度 $\omega_m$ 与速度不均匀系数 $\delta$

主轴的平均角速度  $\omega_m$  有两种表达方式：

- (1) 算术平均值（工程上常用）

$$\omega_m = \frac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2} \quad (4-1-9)$$

式中  $\omega_{\max}$ 、 $\omega_{\min}$ ——在一个运动循环中的最大和最小角速度值。

- (2) 实际平均值

瞬时角速度  $\omega$  为构件转角  $\varphi$  的函数时：

$$\omega_m = \frac{1}{\varphi} \int_0^{\varphi} \omega(\varphi) d\varphi \quad (4-1-10)$$

瞬时角速度  $\omega$  为时间  $t$  的函数时：

$$\omega_m = \frac{1}{t} \int_0^t \omega(t) dt \quad (4-1-11)$$

速度不均匀系数  $\delta$ ：

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_m} \quad (4-1-12)$$

式中， $\delta$  表示单位平均角速度内的角速度变化率， $\delta$  小，机器的速度波动小。各类机器的许用速度不均匀系数  $\delta_p$  值可参考表 4-1-28；设计飞轮时应使  $\delta < \delta_p$ 。

选取  $\delta$  值的原则：① 保证工作质量；② 不选取过小的  $\delta$ ，以免飞轮过大，经济性差；③ 如用电动机驱动工作机，应考虑电动机的特性，速度波动不应超出电动机的极限转差率。

最大、最小角速度  $\omega_{\max}$ 、 $\omega_{\min}$ ，算术平均角速度  $\omega_m$  和速度不均匀系数  $\delta$  之间存在下列关系：

$$\omega_{\max} = \omega_m \left( 1 + \frac{\delta}{2} \right) \quad (4-1-13)$$

$$\omega_{\min} = \omega_m \left( 1 - \frac{\delta}{2} \right) \quad (4-1-14)$$

$$\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2 = 2\delta\omega_m^2 \quad (4-1-15)$$

#### 4.3.2 飞轮设计

在机器设计基本完成后进行飞轮设计，其任务是根据机器的功、能变化情况（用最大盈亏功  $A_d$  或动能增量  $\Delta E$  表示）、机器所要求的速度不均匀系数  $\delta$  和飞轮所在轴的转速  $n_f$ ，求出飞轮的转动惯量  $J_f$ ，从而定出飞轮的尺寸。

- (1) 飞轮的设计步骤

已知条件：① 转化到转化构件上的驱动力矩曲线： $M_{dgc}(\varphi)$ ——内燃机、蒸汽机等；

$M_{dgc}(\omega)$ ——电动机、涡轮机等；

- ② 转化到转化构件上的阻力矩曲线： $M_{dgr}(\varphi)$ ——曲柄滑块机构型的泵、压缩机、锻压机械、剪切机、金属切削机床等；

$M_{dgr}(\omega)$ ——鼓风机、离心泵等；

$M_{dgr}(t)$ ——轧钢机等。

- ③ 转化到转化构件上的转动惯量  $J_0$ 。

- ④ 机器所要求的速度不均匀系数  $\delta_p$ ，由机器的工作要求参考表 4-1-28 确定。

- ⑤ 机器中安装飞轮的轴的转速  $n_f$ ：由机器的整体布置及运动学计算确定，但不宜装在低速轴上。

所需飞轮转动惯量  $J_f$  的求解, 可借助于机械系统的动力学分析, 即用迭代法令  $J_{dn} = J_0 + J_f$  代入表 4-1-26 中的公式 (6) 或 (8), 求出  $\omega_{max}$ 、 $\omega_{min}$ ,  $\delta = (\omega_{max} - \omega_{min}) / \omega_m$ , 验算是否满足  $\delta < \delta_p$ , 如不满足则变更  $J_f$  ( $J_0$  是固定值), 再进行计算, 直至  $\delta < \delta_p$ , 这时的  $J_f$  值便是所需的飞轮转动惯量。这种方法精度高、通用性强。在计算机技术发达的今天, 这种方法已被广泛应用。

飞轮转动惯量的求解也可根据转化到转化构件上的驱动力矩  $M_{dgc}$  和阻力矩  $M_{dgz}$ , 先求出机器在稳定运动阶段最高动能  $E_{max}$  与最低动能  $E_{min}$  区间的最大盈亏功  $A_d$ , 即该区间的驱动功与阻抗功之差。 $A_d$  的求法有多种形式, 可参见本手册第四版表 4-1-27 ~ 表 4-1-30。再按  $J_f = (A_d / \delta \omega_1^2) - J_0$  或  $J_f = (91.19 A_d / \delta n_1^2) - J_0$  算出飞轮所需的转动惯量  $J_f$ 。并按飞轮的材质、工艺方法所允许圆周速度  $v_p$  定出飞轮的计算直径  $D$ 。最后按  $J_f$  参考表 4-1-29 确定飞轮的结构和各部分尺寸。

表 4-1-28 各种机器允许的速度不均匀系数  $\delta_p$  [3,6,10]

机器种类		$\delta_p$	机器种类		$\delta_p$	机器种类		$\delta_p$		
破碎机		1/5 ~ 1/20	金属切削机床、泵、鼓风机		1/30 ~ 1/50	直流发电机	带传动		1/70 ~ 1/80	
矿井电动起重机、柴油机驱动的活塞式压缩机		1/7 ~ 1/10					具有电力传动的船用、内燃机车用发动机		1/20 ~ 1/100	直联
			用于电车		1/250 ~ 1/300					
冲床、剪床、活塞泵、混凝土搅拌机		1/7 ~ 1/30	电动机驱动的活塞式压缩机	带传动		交流发电机	带传动		1/125 ~ 1/150	
				弹性连接			1/80	直联		1/150 ~ 1/200
轧钢机		大型	1/10 ~ 1/12	刚性连接			小汽车用汽油机、航空发动机	并列运行		< 1/150
		中型	1/12 ~ 1/15	1/100 ~ 1/150		冲击类型机械电机 额定转差率 $S_N = 0.02 \sim 0.04$ $S_N = 0.05 \sim 0.08$ $S_N = 0.08 \sim 0.13$		1/200 ~ 1/300		
		小型	1/15 ~ 1/25							
农业机械		1/10 ~ 1/50		织布机、磨面机、造纸机						1/40 ~ 1/50
驱动螺旋桨用的船用发动机		1/20 ~ 1/150		纺纱机		1/60 ~ 1/100				
印刷机、磨粉机		1/20 ~ 1/50		内燃机驱动的发 电机		1/150 ~ 1/200		0.10 0.15 0.20		
汽车、拖拉机		1/20 ~ 1/60								

注: 原动机与工作机之间用刚性连接时取较小的  $\delta_p$  值, 弹性连接时取较大值。

对于交流异步电动机拖动的轧钢机<sup>[1]</sup>其等能转动惯量  $J_{dn}$  是常数, 等功力矩 (如图 4-1-11 所示) 为常数, 电动机的机械特性按线性变化, 即  $M_{dgc} = M_0 - c\omega$ ,  $J_f$  可按式 (4-1-16) 和式 (4-1-17) 计算:

$$J_{fg} = \frac{ct_g}{\ln \frac{M_0 - M_{dggz} - c\omega_{max}}{M_0 - M_{dggz} - c\omega_{min}}} \quad (4-1-16)$$

$$J_{fk} = \frac{ct_k}{\ln \frac{M_0 - M_{dgzk} - c\omega_{min}}{M_0 - M_{dgzk} - c\omega_{max}}} \quad (4-1-17)$$

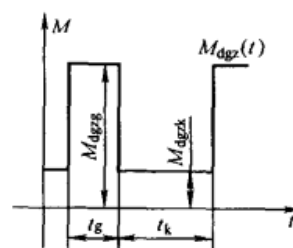


图 4-1-11

式中  $J_{fg}$ 、 $J_{fk}$ ——分别为工作行程和空程时所需的飞轮转动惯量, 力矩取  $N \cdot m$  时,  $J_f$  取  $kg \cdot m^2$ , 恒取  $J_{fg}$  为飞轮的转动惯量, 当  $J_{fg} > J_{fk}$  时,  $\omega_{min}$  将有所降低;

$t_g$ 、 $t_k$ ——工作行程与空程的时间, s;

$M_{dggz}$ 、 $M_{dgzk}$ ——工作行程与空程时的阻力矩;

$M_0$ ——电动机  $\omega = 0$  时的力矩,  $c = \frac{M_0}{\omega_0}$ ;

$\omega_0$ ——电动机的同步角速度。

(2) 飞轮尺寸的确定 (见表 4-1-29)



表 4-1-29

飞轮尺寸的确定<sup>[11,12]</sup>

项目	整体式(实腹式)	辐条式	辐板式
简图			
用于	小型飞轮	中、大型飞轮	中、小型飞轮
平均直径 $D/m$	由结构及允许圆周速度 $v_p$ 确定, $D \leq 60v_p/\pi n_m$		
允许圆周速度 $v_p/m \cdot s^{-1}$	铸铁: $v_p = 30 \sim 50$ 铸钢: $v_p = 70 \sim 90$ 锻钢: $v_p = 100 \sim 120$	铸铁: $v_p = 45 \sim 55$ 铸钢: $v_p = 40 \sim 60$	铸铁: $v_p = 30 \sim 50$ 铸钢: $v_p = 70 \sim 90$
飞轮转动惯量 $/kg \cdot m^2$	$J_f$		
飞轮质量 $m/kg$	$m = 8J_f/D_w^2$	轮缘质量: $m_0 = (0.7 \sim 0.9)4J_f/D^2$	
飞轮宽度 $b$ 及轮缘厚度 $H$	$b = \frac{32J_f}{\pi D_w^2 \rho}$	$b = [(2.8 \sim 3.6)J_f/\pi \rho k D^3]^{1/2}$ $H = kb; k = 1 \sim 2$ , 大型飞轮取小值; $\rho = 7850kg \cdot m^{-3}$ (钢的密度), $7250kg \cdot m^{-3}$ (铸铁密度)	
其他尺寸 (参照表图) 及强度校核 (当 $v < v_p$ 时可不校核)	轮毂直径 $d_1 = (2 \sim 2.5)d$ , 轮毂长度 $L = (1.5 \sim 2)d$ , $d$ ——轴的直径		
	$\sigma = \frac{\rho \omega^2}{8}(3 + \mu) \times \frac{(D_w^2 - 4y^2)(4y^2 - d^2)}{16y^2} \times 10^{-6} MPa \leq \sigma_p$ $\tau_{max} = \frac{\rho \omega^2 [(3 + \mu)D_w^2 + (1 - \mu)d^2]}{16} \times 10^{-6} MPa \leq \tau_p$ <p><math>\sigma_p, \tau_p</math>——铸铁为 110MPa, 铸钢为 200MPa, <math>\mu</math>——材料的泊松比, <math>y</math>——验算截面所在半径, m <math>\omega</math>——飞轮的最大角速度, <math>r \cdot s^{-1}</math></p>	飞轮外径 $D_w = D + H$ ; 轮缘内径: $D_N = D - H$  $h_1$ 由强度条件确定, $h_2 = 0.8h_1$ $a_1 = (0.4 \sim 0.6)h_1; a_2 = 0.8a_1$ 辐条截面长径 $h_1$ 的确定: $h_1 = 40 \sqrt[3]{2TL_1 - (d_1/D)J/\pi Z \sigma_{bp}}$ (mm) $z$ ——辐条数; $D < 500, z = 4; 500 < D < 2000, z = 6;$ $1600 < D < 3000, z = 8$ $T$ ——作用在飞轮轴上的最大转矩, $N \cdot m$ $\sigma_{bp}$ ——许用弯曲应力, 铸铁为 12~14MPa, 铸钢为 35MPa 对于重要的飞轮, 在必要时应验算 A—A、B—B 和 C—C 截面处的应力	
			$S = b/(4 \sim 5)$ $d_m = (D_N + d_1)/2$ $d_0 = (D_N - d_1)/4$

#### 4.4 机械效率的计算

机械效率  $\eta$  是衡量机器对能量有效利用程度的指标。

$$\eta = \frac{P_z}{P_c} = 1 - \frac{P_m}{P_c} = \frac{P_z}{P_z + P_m} \quad (4-1-18)$$


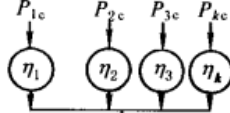
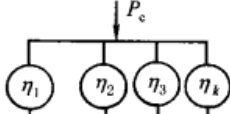
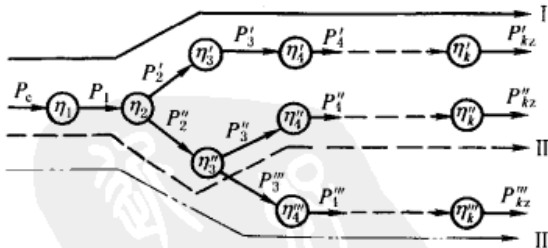
式中,  $P_c$ 、 $P_z$  和  $P_m$  分别是匀速稳定运动阶段的驱动功率、有用阻抗功率和摩擦等有害阻抗功率;对于变速稳定运动阶段,它们是指一个运动循环的相应平均值,这时效率亦指平均值。

机器的效率随其载荷、速度、运转时间、制造精度等的不同而异,其实际效率应由实验测定,在额定载荷和转速时效率最高;定轴转动机构的效率比具有移动构件者高。

提高机械效率的途径大致有:①缩短传动路线、减少运动副和虚约束;②把动力传动链和辅助传动链分开,特别是高速机器更应如此;③合理地分配能流;④使传动链中没有大的封闭功率(如行星差速器中);⑤保证恰当的制造与安装精度;⑥采用合理的润滑方式与润滑剂。

在已知各传动机构及运动副的传动效率时,机器的总效率与各组成机构的连接方式有关,可参照表 4-1-30 的公式进行计算。

表 4-1-30 传动机构以不同方式连接时的总效率及特点<sup>[6]</sup>

传动连接方式	功率流程及总效率计算公式	特 点
单流(串联)传动: k 个机构串联进行传动	 $\eta_{\Sigma} = \eta_1 \eta_2 \cdots \eta_k$	串联机构的个数愈多,总效率愈低,其中若有一个机构的效率特别低,则总效率也特别低,因此应提高每一个机构的效率并缩短传动链
汇流传动:数个原动机同时驱动一个机构	 $\eta_{H\Sigma} = \frac{P_z}{P_{1c} + P_{2c} + \cdots + P_{kc}}$ $= \frac{P_{1c}\eta_1 + P_{2c}\eta_2 + \cdots + P_{kc}\eta_k}{P_{1c} + P_{2c} + \cdots + P_{kc}}$	分、汇流传动的总效率不但与每个传动机构的传动效率有关,而且与通过各个机构的能量大小有关,如 $P_1 \geq P_2$ 、 $P_3$ 、 $\cdots$ 、 $P_k$ ;则 $\eta_{\Sigma} \approx \eta_1$ ,因此要提高总效率应提高传递功率最大的机构的效率
多 流 传 动  分流传动:一个原动机同时驱动数个传动机构	 $\eta_{F\Sigma} = \frac{P_{1z} + P_{2z} + \cdots + P_{kz}}{P_c}$ $= \frac{\frac{P_{1z}}{\eta_1} + \frac{P_{2z}}{\eta_2} + \cdots + \frac{P_{kz}}{\eta_k}}{P_c}$	汇流传动要注意各原动机之间的同步性,应设置浮动结构以均载,这种传动型式可缩小机器的体积和重力,且不致因一个原动机发生故障而影响整个机器
传 动  混流传动:是分、汇流传动的复合	 $P_z = P_{kz}^I + P_{kz}^II + P_{kz}^III$ $P_c = \frac{P_{kz}^I}{\eta_{1k}^I} + \frac{P_{kz}^II}{\eta_{1k}^II} + \frac{P_{kz}^III}{\eta_{1k}^III}$ $\eta_{1k}^I = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \cdots \eta_k^I; \eta_{1k}^II = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \cdots \eta_k^II$ $\eta_{1k}^III = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \cdots \eta_k^III$ $\eta_{\Sigma} = \frac{P_z}{P_c} = \frac{\eta_1 \eta_2 (P_{kz}^I + P_{kz}^II + P_{kz}^III)}{\frac{P_{kz}^I}{\eta_3 \cdots \eta_k^I} + \frac{P_{kz}^II}{\eta_3 \cdots \eta_k^II} + \frac{P_{kz}^III}{\eta_3 \cdots \eta_k^III}}$	可获得多种传动比;分流后再采用汇流传动,可改善传动性能和封闭功率流,在装甲车、工程机械中多有应用

# 第2章 基本机构的设计

## 1 平面连杆机构

### 1.1 四杆机构的结构型式

在平面连杆机构中广泛应用四杆机构。只有在实现某些特殊要求时才用多杆机构，例如要求输出杆有放大作用，或有更好的传力作用和更佳传动角，在固定铰链间有特定的大中心距及二自由度以上的函数或轨迹综合机构等。

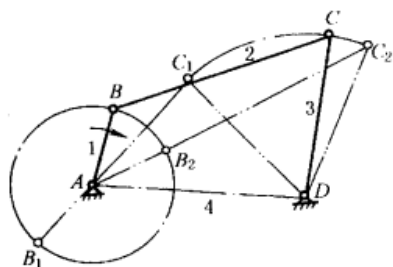


图 4-2-1

最基本的四杆机构是具有四个转动副的铰链四杆机构。图4-2-1中构件4为机架，构件1、3与机架相连，称为连架杆，其中构件1相对机架能作整周转动，称为曲柄，构件3相对机架在一定角度内摇摆，称为摇杆；构件2不与机架相连，称为连杆。这种机构称为曲柄摇杆机构，它是铰链四杆机构中最常见的一种。

铰链四杆机构中，与机架相连的连架杆成为曲柄的条件是：

- ① 最短杆长度 + 最长杆长度 ≤ 其他两杆长度之和；
- ② | 机架长度 - 被考察的连架杆长度 | ≥ | 连杆长度 - 另一连架杆长度 |

各种四杆机构的结构型式见表 4-2-1。常用四杆机构的运动分析公式见表 4-1-16。

表 4-2-1

四杆机构的结构型式

运动副种类	最短杆长度 + 最长杆长度 ≤ 其他两杆长度之和				最短杆长度 + 最长杆长度 > 其他两杆长度之和
四个转动副	曲柄摇杆机构 	双曲柄机构 	曲柄摇杆机构 	双摇杆机构 	双摇杆机构 (任一杆均可做机架)
三个转动副和一个移动副	曲柄滑块机构 	转动导杆机构 $l_1 < l_2$ 	摆动导杆机构 $l_1 > l_2$ 	曲柄摇块机构 	移动导杆机构 
两个转动副和两个移动副	正弦机构 $x = l_1 \sin \varphi$ 	十字滑块联轴器 	正弦机构 $x = l_1 \sin \varphi$ 	椭圆仪机构 	正切机构 $y = l_4 \tan \varphi$ 

### 1.2 按传动角设计四杆机构

不计摩擦力、重力和惯性力时，机构输出杆受力点的受力方向与该点速度方向间所夹的锐角称为压力角  $\alpha$ ，

压力角的余角称为传动角  $\gamma$ 。铰链四杆机构的传动角是连杆与输出杆之间所夹的锐角（图 4-2-2），传动角越大，则传力越好。按传动角设计四杆机构就是合理地选择各构件尺寸，使机构运转中的最小传动角具有最大值（最小传动角的最大值用  $\max\gamma_{\min}$  表示）。且最好使最小传动角位于机构的非工作行程。

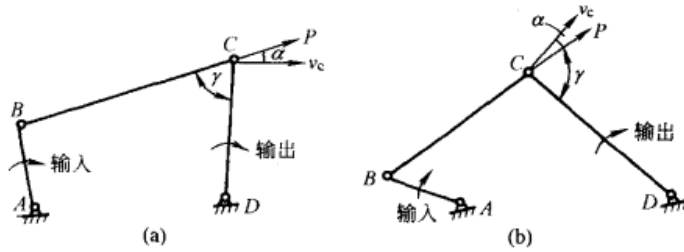


图 4-2-2 传动角  $\gamma$

机构运转中最小传动角的容许值应按受力情况、运动副间隙的大小、摩擦、速度等因素而定。一般传动角不小于  $40^\circ$ ，高速机构则不小于  $50^\circ$ 。某些四杆机构最小传动角出现的位置见图 4-2-3。

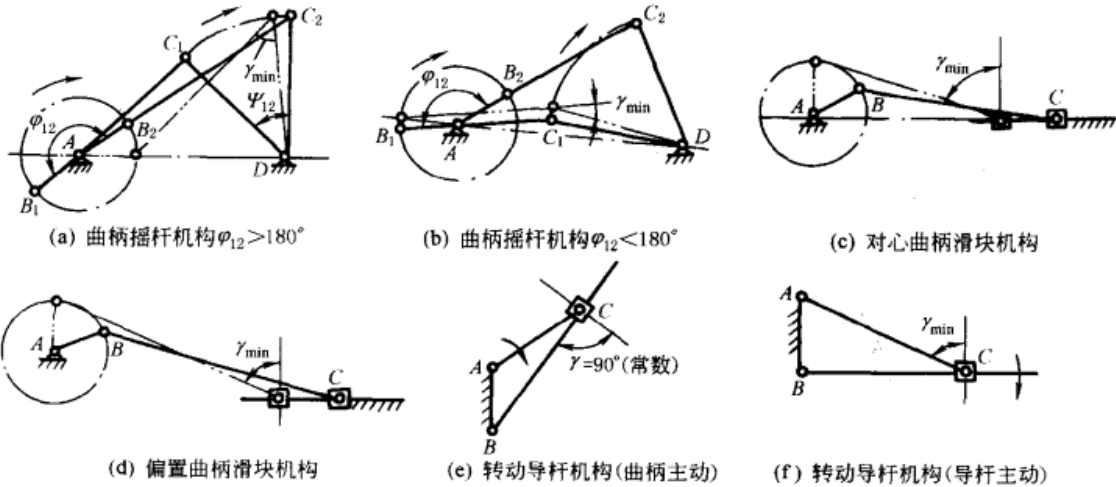


图 4-2-3 某些四杆机构最小传动角的位置（均指曲柄主动时）

对于曲柄摇杆机构（图 4-2-3a、b），最小传动角  $\gamma_{\min}$  在曲柄与机架重合位置；对于曲柄滑块机构（图 4-2-3c、d），最小传动角  $\gamma_{\min}$  在曲柄与滑块速度方向垂直位置；对于导杆为主动杆的转动导杆机构，（图 4-2-3f），最小传动角  $\gamma_{\min}$  在主动导杆与机架垂直位置。连杆与输出连架杆共线时，压力角  $\alpha = 90^\circ$ 、 $\gamma = 0^\circ$ ，这是机构的死点位置，应予合理利用。

### 1.2.1 按最小传动角具有最大值的条件设计曲柄摇杆机构<sup>[12]</sup>

根据已知的  $\varphi_{12}$  及  $\Psi_{12}$ ，由图 4-2-5 查得最大的最小传动角  $\max\gamma_{\min}$  及  $\beta$  角。 $\beta$  为摇杆在远极限位置时曲柄与机架间的夹角（图 4-2-4）。然后用下列公式计算各构件相对长度。

$$\frac{a}{d} = -\frac{\sin \frac{\Psi_{12}}{2} \cos \left( \frac{\varphi_{12}}{2} + \beta \right)}{\sin \left( \frac{\varphi_{12}}{2} - \frac{\Psi_{12}}{2} \right)}$$

$$\frac{b}{d} = \frac{\sin \frac{\Psi_{12}}{2} \sin \left( \frac{\varphi_{12}}{2} + \beta \right)}{\cos \left( \frac{\varphi_{12}}{2} - \frac{\Psi_{12}}{2} \right)}$$

$$\left( \frac{c}{d} \right)^2 = \left( \frac{a}{d} + \frac{b}{d} \right)^2 + 1 - 2 \left( \frac{a}{d} + \frac{b}{d} \right) \cos \beta$$

式中  $a$  —— 曲柄长度；  
 $b$  —— 连杆长度；

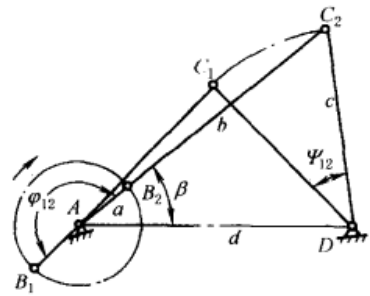


图 4-2-4

- $c$  —— 摇杆长度；
- $d$  —— 机架长度；
- $\Psi_{12}$  —— 摇杆  $c$  两极限位置间的夹角；
- $\varphi_{12}$  —— 摇杆  $c$  由极限位置 1 到极限位置 2 时主动曲柄转过的角度。

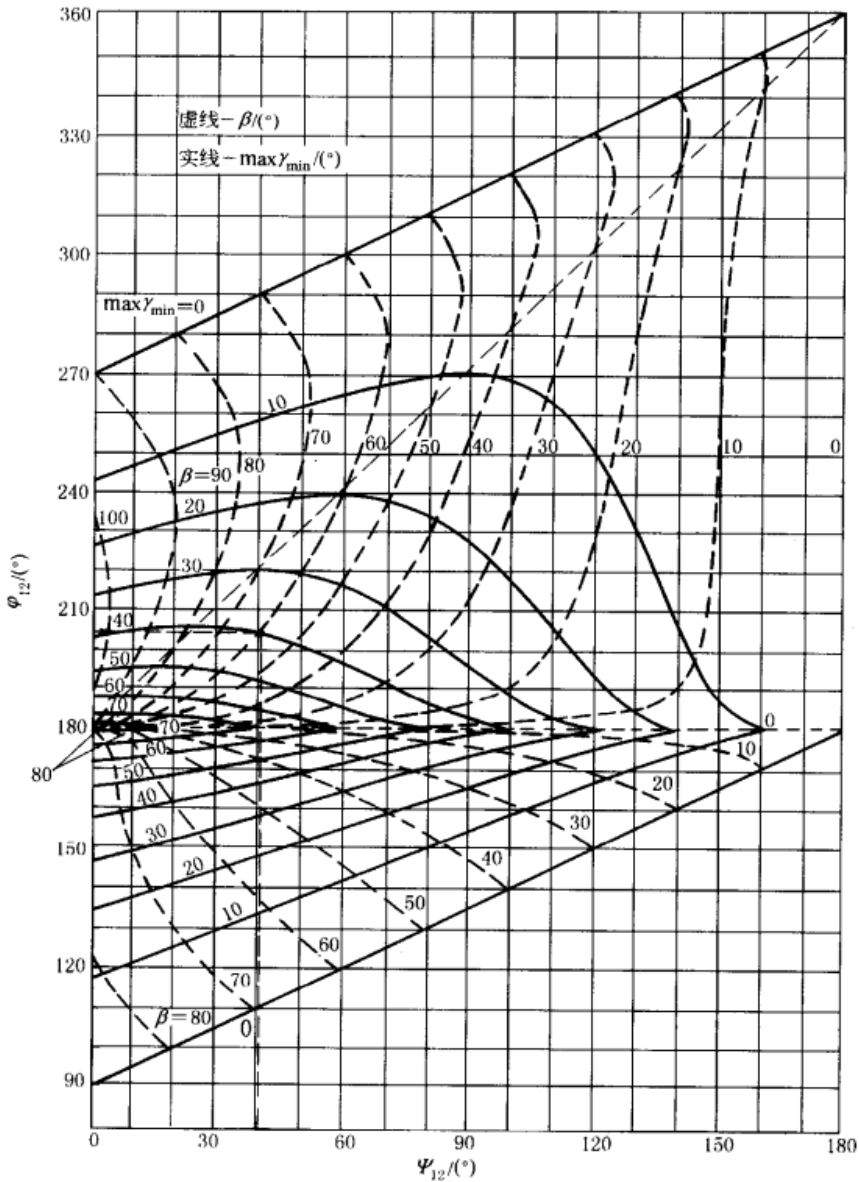


图 4-2-5

例 1 已知  $\varphi_{12} = 205^{\circ}$ ,  $\Psi_{12} = 40^{\circ}$ , 求各杆的相对长度。

解 由图 4-2-5 得  $\beta = 60^{\circ}$ ,  $\max \gamma_{\min} = 40^{\circ}$

$$\frac{a}{d} = \frac{\sin 20^{\circ} \cos 162.5^{\circ}}{\sin 82.5^{\circ}} = \frac{0.342 \times 0.9537}{0.9914} = 0.329$$

$$\frac{b}{d} = \frac{\sin 20^{\circ} \sin 162.5^{\circ}}{\cos 82.5^{\circ}} = \frac{0.342 \times 0.3007}{0.1305} = 0.788$$

$$\left(\frac{c}{d}\right)^2 = (0.329 + 0.788)^2 + 1 - 2 \times (0.329 + 0.788) \times \cos 60^{\circ} = 1.1307$$

$$\frac{c}{d} = 1.063$$

### 1.2.2 按最小传动角设计行程速比系数 $k = 1$ ( $\varphi_{12} = 180^{\circ}$ ) 的曲柄摇杆机构

可根据选定的最小传动角, 用图 4-2-6 确定各杆长度, 或用下列公式计算<sup>[17]</sup>:

$$\frac{b}{d} = \left[ \frac{1 - \cos \Psi_{12}}{2 \cos^2 \gamma_{\min}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{c}{d} = \left[ \frac{1 - \left( \frac{b}{d} \right)^2}{1 - \left( \frac{b}{d} \right)^2 \cos^2 \gamma_{\min}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{a}{d} = \left[ \left( \frac{b}{d} \right)^2 + \left( \frac{c}{d} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}}$$

例2 已知  $\varphi_{12} = 180^\circ$ ,  $\Psi_{12} = 40^\circ$ ,  $\gamma_{\min} = 50^\circ$ , 决定各杆的相对长度。

解 查图 4-2-6 得,  $\frac{a}{d} = 0.31$ ,  $\frac{b}{d} = 0.54$ ,  $\frac{c}{d} = 0.895$

### 1.2.3 按最小传动角具有最大值的条件设计偏置曲柄-滑块机构

根据  $\varphi_{12}$  查图 4-2-7。不适用于  $\varphi_{12} = 180^\circ$  时。曲柄顺时针转动时  $k > 1$  有急回；反之,  $k < 1$ 。

例3 已知偏置曲柄滑块机构, 当  $\varphi_{12} = 160^\circ$  时, 求曲柄、连杆及偏距  $e$  相对于滑块行程  $s$  的相对长度。

解 按  $\varphi_{12} = 160^\circ$  查图 4-2-7 得

$$\max \gamma_{\min} = 43^\circ, \quad \frac{a}{s} = 0.465,$$

$$\frac{b}{s} = 1.150, \quad \frac{a}{b} = 0.406, \quad \frac{e}{s} = 0.378$$

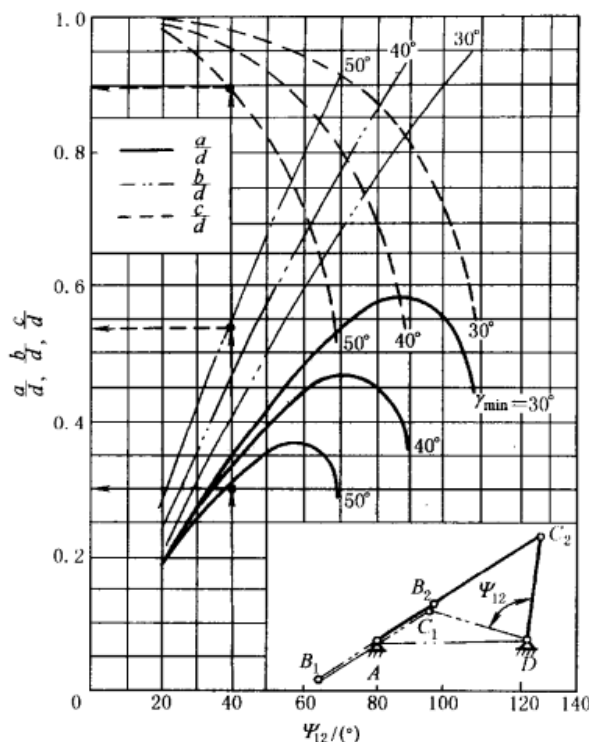


图 4-2-6 按最小传动角设计行程速比系数  $k=1$  的曲柄摇杆机构的线图

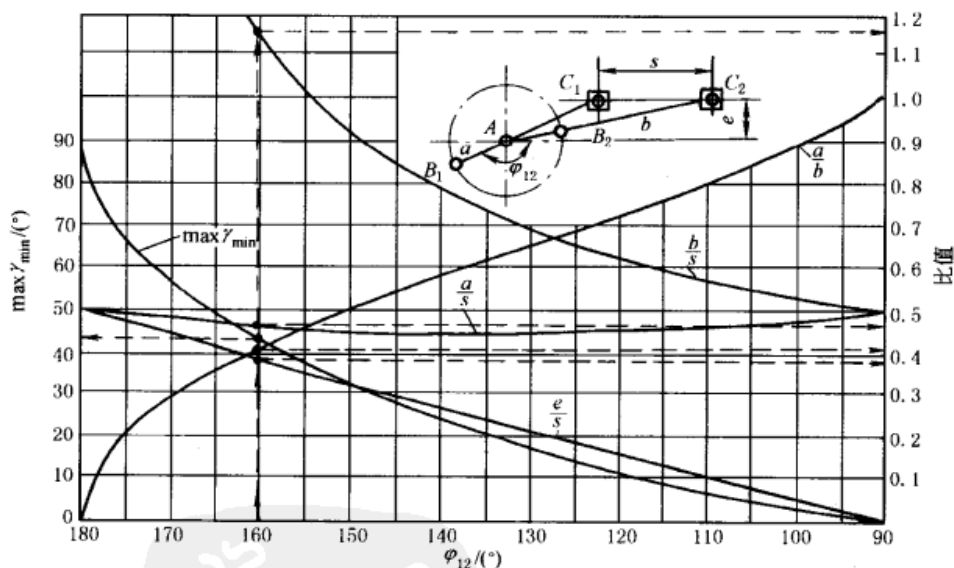


图 4-2-7 按  $\max \gamma_{\min}$  条件设计偏置曲柄滑块机构的线图

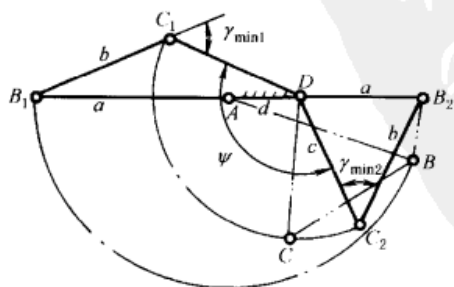


图 4-2-8

### 1.2.4 根据最小传动角设计双曲柄机构<sup>[14]</sup>

图 4-2-8 表示出双曲柄机构的两个位置  $AB_1C_1D$  及  $AB_2C_2D$ , 此时具有两个最小传动角 ( $\gamma_{\min 1}$ 、 $\gamma_{\min 2}$ )。在这两位置之间输入杆  $AB$  转  $180^\circ$ , 输出杆  $DC$  转  $\Psi$  角度。为了达到最佳传动条件, 给定  $\Psi$  时, 要求两个传动角的极小值相等。按最小传动角设计双曲柄机构时, 用线图 4-2-9a、b、c 分别根据给定的  $\Psi$  及  $\gamma_{\min}$  值, 求得  $a/d$ ,  $b/d$  及  $c/d$  三个相对长度值。其中  $d$  为机架  $AD$  的长度,  $a$  为输入杆

$AB$  的长度,  $c$  为输出杆  $CD$  的长度,  $b$  为连杆  $BC$  的长度。

例 4 设计一双曲柄机构, 已知  $\Psi = 100^\circ$  及  $\gamma_{\min} = 35^\circ$ 。

解 查图 4-2-9a、b、c 得

$$\frac{a}{d} = 2.1, \quad \frac{b}{d} = 1.9, \quad \frac{c}{d} = 1.37$$

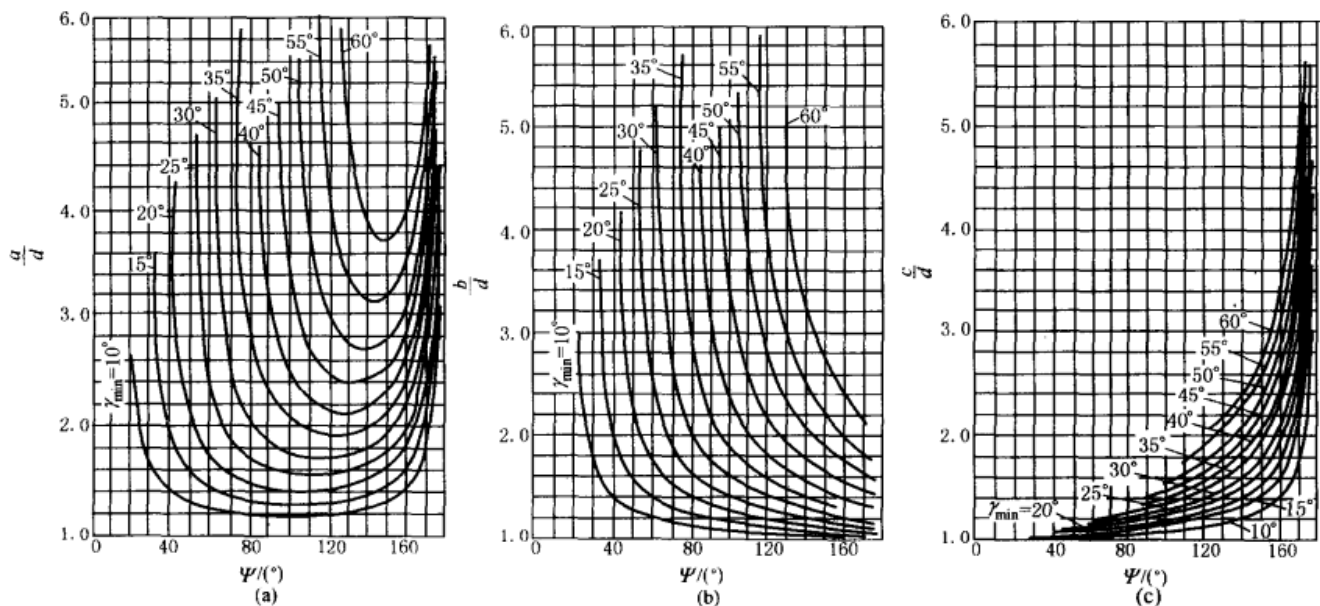


图 4-2-9 按最小传动角设计双曲柄机构的线图

### 1.3 按照输入杆与输出杆位置关系设计四杆机构

按输出杆与输入杆的位置关系设计连杆机构, 可采用几何法、分析法和实验法。几何法比较简便, 在一般设计中采用较多, 但它只能求解输入杆和输出杆的某几个有限位置的对应关系, 精度不如分析法高; 分析法则可在一定的范围内逼近给定的运动规律, 精度较高, 并可求出所求运动与实际运动的偏差 (四连杆机构不可能完全准确地完成任意给定的运动规律), 但计算较复杂; 实验法是通过作图试凑选择机构的基本尺寸, 精度低, 用于近似设计和机构尺寸的预选。

#### 1.3.1 几何法

(1) 转动极、等视角关系和相对转动极

① 转动极。铰链四杆机构 (图 4-2-10)  $ABCD$  中, 连杆  $BC$  从位置  $B_1C_1$  到  $B_2C_2$  所转过的角度为  $\theta_{12}$ , 作  $B_1B_2$  和  $C_2C_1$  的垂直平分线  $n_b$  和  $n_c$ , 其交点  $P_{12}$  称为连杆相对于机架从位置 1 转到位置 2 的转动极 (点)。图 4-2-10a 及 b 中  $\angle B_1P_{12}B_2 = \angle C_1P_{12}C_2 = \theta_{12}$ 。

② 等视角关系。即从转动极  $P_{12}$  看输入杆  $AB$  与输出杆  $CD$  时有相等或互补的视角, 即:

在图 4-2-10a 中  $\angle B_1P_{12}A = \angle C_1P_{12}D = \angle B_2P_{12}A = \angle C_2P_{12}D = \theta_{12}/2$

在图 4-2-10b 中  $\angle B_1P_{12}A = \theta_{12}/2$ ,  $\angle DP_{12}C_1 = \angle DP_{12}C_2 = 180^\circ - \theta_{12}/2$

从转动极  $P_{12}$  看连杆  $BC$  及机架  $AD$  时, 也有相等或互补的视角。

在图 4-2-10a 中  $\angle B_1P_{12}C_1 = \angle AP_{12}D = \angle B_2P_{12}C_2$

在图 4-2-10b 中  $\angle B_1P_{12}C_1 = \theta_{12}/2 + \angle AP_{12}C_1 = \angle AP_{12}n_c$

$$\angle B_2P_{12}C_2 = \theta_{12}/2 + \angle B_2P_{12}n_c = \angle AP_{12}B_2 + \angle B_2P_{12}n_c = \angle AP_{12}n_c$$

$$\angle B_1P_{12}C_1 + \angle DP_{12}A = \angle B_2P_{12}C_2 + \angle DP_{12}A = 180^\circ$$

③ 相对转动极。图 4-2-11a 表示机构的两个位置, 输入杆  $AB$  转过  $\varphi_{12}$  角, 输出杆  $CD$  转过对应的  $\Psi_{12}$  角 (顺时针方向的角度为正, 逆时针方向的角度为负)。图 4-2-11b 表示上述机构在第二位置时的图形  $AB_2C_2D$  绕固定铰链  $A$  逆时针旋转  $\varphi_{12}$  角度, 使  $AB_2$  还原到  $AB_1$ , 此时  $C_2$  到  $C_2'$ 、 $D$  到  $D'$  位置, 经这样倒置后, 相当于机构的输入

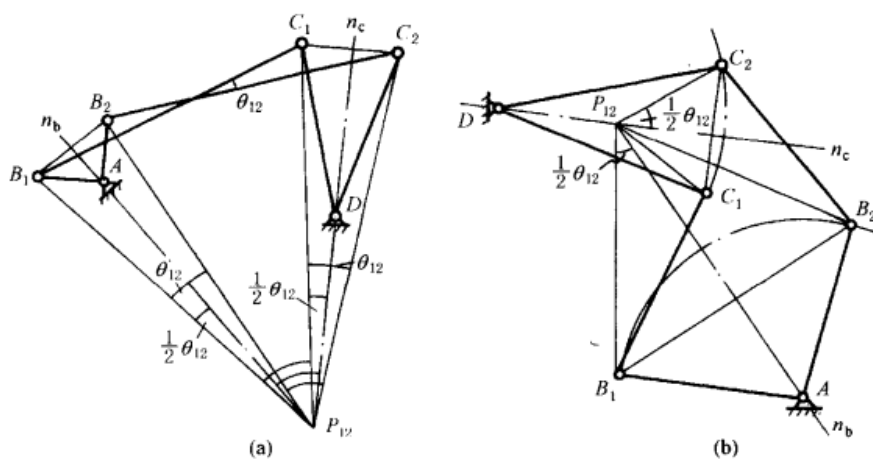


图 4-2-10

杆  $AB$  成为机架，而输出杆  $DC$  成为连杆。 $C_1C_2$  与  $DD'$  的垂直平分线的交点  $R_{12}$  称为输出杆  $CD$  相对于输入杆  $AB$  从位置 1 到位置 2 的相对转动极。

图 4-2-11c 是机构在第一位置时对相对转动极的等视角关系，即：

$$\angle B_1R_{12}C_1 = \angle AR_{12}D = \delta_{12}/2 = [(\Psi_2 - \varphi_2) - (\Psi_1 - \varphi_1)]/2 = (\Psi_{12} - \varphi_{12})/2$$

式中， $\delta_{12}$  是输出杆对输入杆的相对转角 ( $\Psi_{12} - \varphi_{12}$ )。

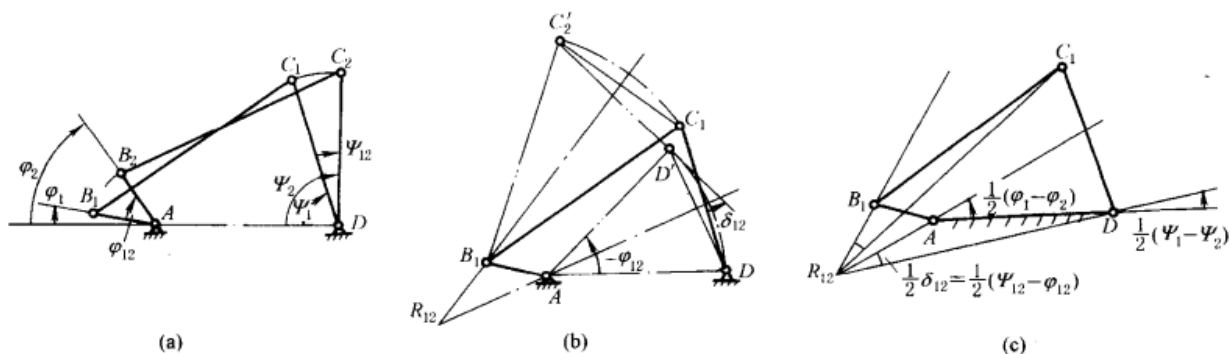


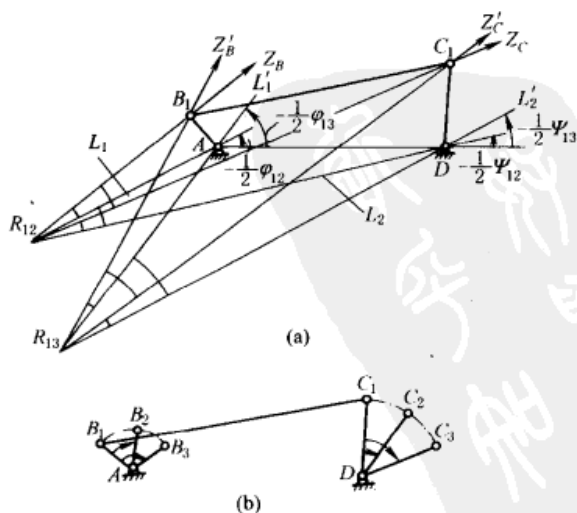
图 4-2-11

(2) 用相对极法综合四杆机构使输入与输出构件满足三个对应位置关系 (见表 4-2-2)

表 4-2-2

已知：机架长度  $d$ ，输入角  $\varphi_{12}$  及  $\varphi_{13}$  (顺时针方向)，输出角  $\Psi_{12}$  及  $\Psi_{13}$  (顺时针方向)

设计铰链四杆机构

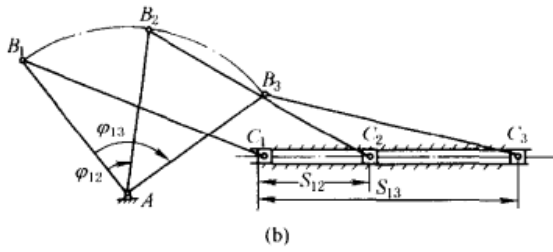
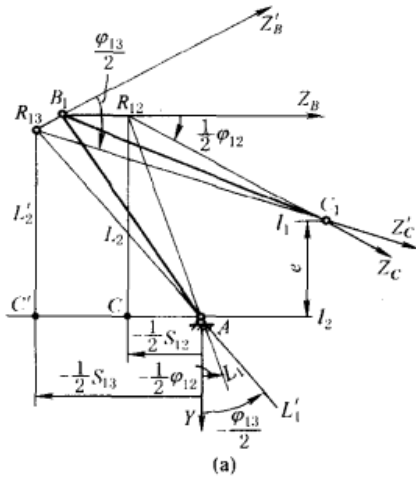


1. 作机架  $AD$ ，长度为  $d$  (图 a)
2. 在输入端固定铰链  $A$  作  $L_1, L'_1$  线分别与  $AD$  的夹角为  $-\varphi_{12}/2, -\varphi_{13}/2$  (从  $AD$  量起逆时针转向，与输入杆转向相反)  
过输出端固定铰链  $D$  作  $L_2, L'_2$  线分别与  $AD$  的夹角为  $-\Psi_{12}/2, -\Psi_{13}/2$  (从  $DA$  量起逆时针转向，与输出杆转向相反)。  $L_1$  与  $L_2$  线的交点即相对极  $R_{12}$ ； $L'_1$  与  $L'_2$  的交点为  $R_{13}$
3. 过  $R_{12}$  在任意位置作  $R_{12}Z_B$  与  $R_{12}Z_C$  线，使  $\angle Z_B R_{12} Z_C = \angle AR_{12} D$   
过  $R_{13}$  在任意位置作  $R_{13}Z'_B$  与  $R_{13}Z'_C$  线，使  $\angle Z'_B R_{13} Z'_C = \angle AR_{13} D$
4.  $R_{12}Z_B$  与  $R_{13}Z'_B$  交于  $B_1$  点， $R_{12}Z_C$  与  $R_{13}Z'_C$  交于  $C_1$  点  
图 b 为所求机构的三个位置  
当  $R_{12}Z_B$  及  $R_{13}Z'_B$  选不同位置时，可得到另外的解



已知:曲柄转角  $\varphi_{12}$ 、 $\varphi_{13}$  (顺时针向), 滑块位移  $S_{12}$  及  $S_{13}$  远离固定铰链  $A$ , 确定曲柄及连杆长度

设计曲柄滑块机构



1. 作  $l_1$ 、 $l_2$  两平行线相距为  $e$ , 在  $l_2$  上任选一点  $A$ , 并取  $AC = -S_{12}/2$ ,  $AC' = -S_{13}/2$  (图 a)

2. 作  $AY$  垂直于  $l_2$ , 作直线  $AL_1$ 、 $AL_1'$  使  $\angle YAL_1 = -\varphi_{12}/2$ ,  $\angle YAL_1' = -\varphi_{13}/2$  (从  $AY$  量起逆时针转向, 与输入杆转向相反)

3. 作  $CL_2$ 、 $C'L_2'$  线分别与  $AY$  线平行且相距  $-S_{12}/2$ 、 $-S_{13}/2$ ,  $CL_2$  线与  $AL_1$  线的交点  $R_{12}$  是相对极;  $C'L_2'$  与  $AL_1'$  的交点是  $R_{13}$

4. 过  $R_{12}$  在任意位置作  $R_{12}Z_B$  与  $R_{12}Z_C$ , 使  $\angle Z_B R_{12} Z_C = \varphi_{12}/2$ , 过  $R_{13}$  在任意位置作  $R_{13}Z_B'$  与  $R_{13}Z_C'$ , 使  $\angle Z_B' R_{13} Z_C' = \varphi_{13}/2$  (前者从  $R_{12}Z_B$ , 后者从  $R_{13}Z_B'$  量起, 顺时针转向与输入杆转向相同)

5.  $Z_B R_{12}$  及  $Z_B' R_{13}$  的交点为曲柄上铰链  $B_1$  的位置。  $Z_C R_{12}$  及  $Z_C' R_{13}$  的交点为连杆上铰链  $C_1$  的位置

图 b 为所求机构的三个位置

注: 如设计输入杆与输出杆满足两个对应位置关系, 只需在  $R_{12}Z_B$  线上任取一点作为输入杆上动铰链  $B_1$  的位置, 而在  $R_{12}Z_C$  线上任取一点 (对曲柄滑块机构为  $R_{12}Z_C$  与  $l_1$  线的交点) 为动铰链  $C_1$  的位置。

(3) 用相对极法综合四杆机构使输入与输出杆满足四个对应位置关系

这种机构 (图 4-2-12) 的设计步骤如下:

① 根据已知的输入角与输出角, 先求出三个相对极位置  $R_{12}$ 、 $R_{13}$  和  $R_{14}$ ;

② 用三张透明纸作顶角值分别为  $\angle AR_{12}D$ 、 $\angle AR_{13}D$  和  $\angle AR_{14}D$  的角度样板;

③ 用实验法将三块样板的顶角点分别绕  $R_{12}$ 、 $R_{13}$  和  $R_{14}$  点转动, 使样板的对应边 ( $Z_B$ 、 $Z_B'$ 、 $Z_B''$ ) 和 ( $Z_C$ 、 $Z_C'$ 、 $Z_C''$ ) 分别相交于点  $B_1$  及  $C_1$ , 便确定了待求的动铰链位置。

$AB_1C_1D$  即为机构图形。

为了得到比较精确的结果, 可用解析法计算出  $R_{12}$ 、 $R_{13}$  和  $R_{14}$  的坐标和样板角度的正切值, 然后做样板<sup>[15]</sup>。

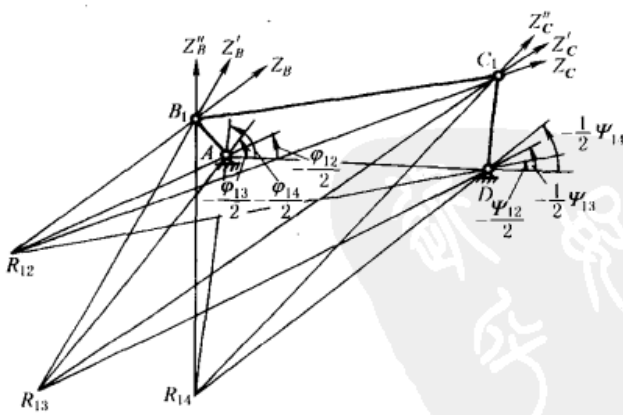


图 4-2-12

(4) 用倒置法综合四杆机构

用相对极法综合机构时应用了倒置原理, 这里所说倒置法是用点位还原的作图法。作图步骤见表 4-2-3。

表 4-2-3

设计曲柄摇杆机构	<p>已知条件和表 4-2-2 设计铰链四杆机构相同,但 <math>CD</math> 长度可求解前选定</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 作 <math>AD</math> 长度等于 <math>d</math></li> <li>2. 在输出端选一合适长度 <math>CD</math>, 作 <math>\angle C_1DC_2 = \Psi_{12}</math>, <math>\angle C_1DC_3 = \Psi_{13}</math>, <math>C_1, C_2, C_3</math> 是输出杆动铰链的三个位置</li> <li>3. 连 <math>AC_2</math>, 作 <math>\angle C_2AC'_2 = -\varphi_{12}</math>, 并作 <math>AC'_2 = AC_2</math></li> <li>4. 连 <math>AC_3</math>, 作 <math>\angle C_3AC'_3 = -\varphi_{13}</math>, 并作 <math>AC'_3 = AC_3</math></li> <li>5. 作 <math>C_1C'_2, C_1C'_3</math> 的垂直平分线 <math>m_1</math> 和 <math>m_2</math>, 相交于 <math>B_1</math> 点, <math>AB_1C_1D</math> 即为所求的机构</li> </ol>
设计曲柄滑块机构	<p>已知条件和表 4-2-2 设计曲柄滑块机构相同,但滑块偏距 <math>e</math> 给定</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 过 <math>A</math> 点按给定偏距 <math>e</math> 作 <math>L</math> 线</li> <li>2. 在 <math>L</math> 线上任选 <math>C_1</math> 点, 作 <math>C_1C_2 = S_{12}, C_1C_3 = S_{13}</math></li> <li>3. 连 <math>AC_2</math>, 以 <math>A</math> 为中心, <math>AC_2</math> 为半径绕 <math>A</math> 点反转 <math>-\varphi_{12} = 45^\circ</math>, 得 <math>AC'_2</math></li> <li>4. 连 <math>AC_3</math>, 使 <math>AC_3</math> 绕中心 <math>A</math> 反转一角度 <math>-\varphi_{13} = 90^\circ</math>, 得 <math>AC'_3</math></li> <li>5. 作 <math>C_1C'_2</math> 和 <math>C_1C'_3</math> 的垂直平分线 <math>m_1</math> 和 <math>m_2</math></li> <li>6. <math>m_1</math> 和 <math>m_2</math> 的交点即为 <math>B_1</math> 点, 机构在第一位置时的图形即为 <math>AB_1C_1</math></li> </ol>
设计双摇杆机构	<p>已知机架长度为 <math>d</math>, 输入角 <math>\varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14}</math> 和对应的输出角 <math>\Psi_{12}, \Psi_{13}, \Psi_{14}</math></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 作机架 <math>AD</math>, 长度为 <math>d</math> (图 a)</li> <li>2. 过 <math>A</math> 点作 <math>\angle xAB_4 = \varphi_{34}/2 = (\varphi_{14} - \varphi_{13})/2</math></li> <li>3. 过 <math>D</math> 点作 <math>\angle ADB_4 = \Psi_{34}/2 = (\Psi_{14} - \Psi_{13})/2</math>, <math>B_4D</math> 与 <math>B_4A</math> 相交于 <math>B_4</math>, 选择 <math>B_3, B_4</math> 对称于机架 <math>AD</math> 线, 使 <math>B'_3</math> 能与 <math>B'_4</math> 重合</li> <li>4. 以 <math>A</math> 为中心, <math>AB_4</math> 为半径, 作一圆弧 <math>B_1B_2B_3B_4</math>, 取 <math>\angle B_1AB_2 = \varphi_{12}, \angle B_1AB_3 = \varphi_{13}, \angle B_1AB_4 = \varphi_{14}</math></li> <li>5. 连 <math>B_4D</math>, 以 <math>D</math> 为中心, <math>DB_4</math> 为半径作圆弧 <math>B_4B'_4</math>, 使 <math>\angle B_4DB'_4 = -\Psi_{14}</math></li> <li>6. 连 <math>B_2D</math>, 以 <math>D</math> 为中心, <math>DB_2</math> 为半径, 作圆弧 <math>B_2B'_2</math> 使 <math>\angle B_2DB'_2 = -\Psi_{12}</math></li> <li>7. 作 <math>B'_4B_3</math> 及 <math>B'_2B_1</math> 的垂直平分线, 相交于 <math>C_1</math> 点, <math>B_1C_1</math> 即为连杆 图 b 为机构在四个位置时的简图</li> </ol>

### 1.3.2 分析法

以铰链四杆机构的函数综合的设计为例进行分析。图 4-2-13a 所示铰链四杆机构，其两连架杆角位置  $\Psi$  和  $\varphi$  存在函数关系，如果要求实现的运动规律为  $y=f(x)$ （式中  $x_0 \leq x \leq x_m$ ），就要选择一组机构参数，使上述两关系相同（精确实现）或接近（近似实现）。连杆机构一般很难完全精确地实现所要求的运动规律。所以设计机构时往往选择一组机构参数，使其中有若干个点（如图 4-2-13b 中  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ ）是精确地实现的，其他点则是近似地实现，但其误差不超过一定的允许值。

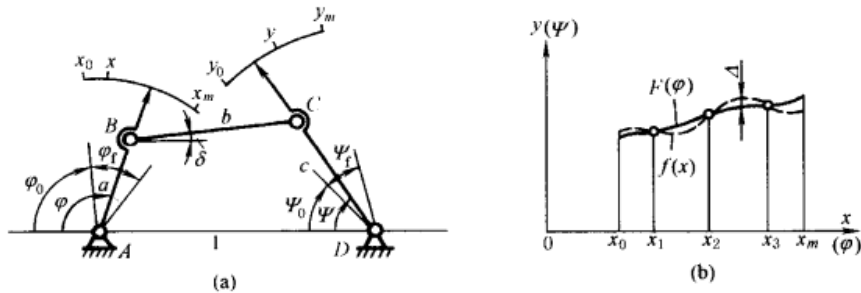


图 4-2-13

设计参数共有 7 个，即各构件的 3 个相对长度参数，输入角  $\varphi$ 、输出角  $\Psi$  的转角范围  $\varphi_f$  和  $\Psi_f$ ，以及输入角与输出角的起始值  $\varphi_0$  与  $\Psi_0$ 。

精确插值结点用图 4-2-14 的切氏区间法来确定。应用这个方法确定插值结点的横坐标值，在机构误差分析的多数情况中，其极限偏差值相差很小。

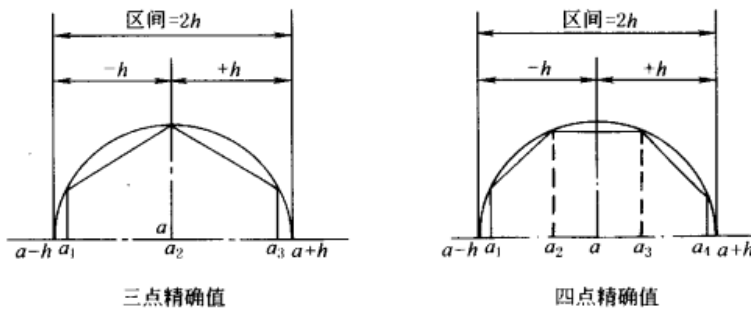


图 4-2-14

插值结点的横坐标根据下式确定：

$$x_i = a - h \cos \frac{2i-1}{2M} \pi = \frac{x_0 + x_m}{2} + \frac{x_0 - x_m}{2} \cos \frac{2i-1}{2M} \pi$$

式中， $i=1, 2, \dots, M$ 。

$M$  为精确插值结点的数目， $x_m - x_0 = 2h$  为逼近区间。 $x_0 + x_m = 2a$ ， $a$  为区间的中点值。

当  $M=3$  时，用内接于半径为  $h$  的圆的正六边形求  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  的横坐标。当  $M=4$  时，以内接正八边形求  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$  的横坐标。求得  $x_i$  后即可求出相应的  $y_i$ 。

用分析法设计铰链四杆机构，根据图 4-2-13a 对任一组对应位置可推导出求解的公式。

$$a \cos(\pi - \varphi) + b \cos \delta + c \cos \Psi = 1 \quad (4-2-1)$$

$$a \sin(\pi - \varphi) + b \sin \delta = c \sin \Psi \quad (4-2-2)$$

消去  $\delta$  得

$$\cos \varphi = p_1 \cos \Psi + p_2 \cos(\varphi - \Psi) + p_3 \quad (4-2-3)$$

式中

$$p_1 = \frac{c}{a}, \quad p_2 = c, \quad p_3 = \frac{b^2 - a^2 - c^2 - 1}{2a} \quad (4-2-4)$$

在设计满足三对对应位置关系的铰链四杆机构时，令：

$$W_1 = \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2, \quad W_2 = \cos \varphi_1 - \cos \varphi_3, \quad W_3 = \cos \Psi_1 - \cos \Psi_2,$$

$$W_4 = \cos \Psi_1 - \cos \Psi_3, \quad W_5 = \cos(\varphi_1 - \Psi_1) - \cos(\varphi_2 - \Psi_2), \quad W_6 = \cos(\varphi_1 - \Psi_1) - \cos(\varphi_3 - \Psi_3),$$

以  $\varphi_i$ 、 $\Psi_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) 代入方程式 (4-2-3), 得:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \frac{W_1 W_2 - W_2 W_5}{W_1 W_5 - W_4 W_5} \\ p_2 &= \frac{W_2 W_3 - W_1 W_4}{W_2 W_6 - W_4 W_5} \\ p_3 &= \cos \varphi_i - p_1 \cos \Psi_i - p_2 \cos(\varphi_i - \Psi_i), \quad i=1, 2, 3 \end{aligned} \right\} \quad (4-2-5)$$

因而决定了机构的参数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ , 如图 4-2-13b 中实线表示  $\Psi = F(\varphi)$ , 虚线表示要求的函数  $y = f(x)$ ,  $\Delta$  表示插值结点以外位置的误差。

例 设计四铰链机构实现  $y = x^{1.5}$ ,  $1 \leq x \leq 4$ 。

已知条件:  $x_0 = 1$ ,  $x_m = 4$ ,  $y_0 = 1$ ,  $y_m = 8$ 。选定  $\varphi_0 = 30^\circ$ ,  $\varphi_f = 90^\circ$ ,  $\Psi_0 = 90^\circ$ ,  $\Psi_f = 90^\circ$ 。

解 1. 插值结点的计算,  $M = 3$

$$x_1 = \frac{1+4}{2} + \frac{1-4}{2} \cos \frac{2-1}{2 \times 3} \pi = 1.2010, \quad x_2 = \frac{1+4}{2} + \frac{1-4}{2} \cos \frac{4-1}{2 \times 3} \pi = 2.5000,$$

$$x_3 = \frac{1+4}{2} + \frac{1-4}{2} \cos \frac{6-1}{2 \times 3} \pi = 3.7990$$

$$y_1 = x_1^{1.5} = 1.201^{1.5} = 1.3162, \quad y_2 = x_2^{1.5} = 2.5^{1.5} = 3.9528, \quad y_3 = x_3^{1.5} = 3.799^{1.5} = 7.4046$$

2. 插值结点的输入角及输出角的余弦值

$$\varphi_1 = \left( \frac{x_1 - x_0}{x_m - x_0} \right) \varphi_f + \varphi_0 = \left( \frac{1.201 - 1}{4 - 1} \right) \times 90^\circ + 30^\circ = 36.03^\circ$$

$$\varphi_2 = \left( \frac{x_2 - x_0}{x_m - x_0} \right) \varphi_f + \varphi_0 = \left( \frac{2.5 - 1}{4 - 1} \right) \times 90^\circ + 30^\circ = 75^\circ$$

$$\varphi_3 = \left( \frac{x_3 - x_0}{x_m - x_0} \right) \varphi_f + \varphi_0 = \left( \frac{3.799 - 1}{4 - 1} \right) \times 90^\circ + 30^\circ = 113.97^\circ$$

$$\Psi_1 = \left( \frac{y_1 - y_0}{y_m - y_0} \right) \Psi_f + \Psi_0 = \left( \frac{1.3162 - 1}{8 - 1} \right) \times 90^\circ + 90^\circ = 94.07^\circ$$

$$\Psi_2 = \left( \frac{y_2 - y_0}{y_m - y_0} \right) \Psi_f + \Psi_0 = \left( \frac{3.9528 - 1}{8 - 1} \right) \times 90^\circ + 90^\circ = 127.96^\circ$$

$$\Psi_3 = \left( \frac{y_3 - y_0}{y_m - y_0} \right) \Psi_f + \Psi_0 = \left( \frac{7.4046 - 1}{8 - 1} \right) \times 90^\circ + 90^\circ = 172.34^\circ$$

$$\cos \varphi_1 = 0.808709, \quad \cos \varphi_2 = 0.258819, \quad \cos \varphi_3 = -0.406258$$

$$\cos \Psi_1 = -0.070975, \quad \cos \Psi_2 = -0.615111, \quad \cos \Psi_3 = -0.991077$$

$$\cos(\varphi_1 - \Psi_1) = \cos 58.04 = 0.529327, \quad \cos(\varphi_2 - \Psi_2) = \cos 52.96 = 0.602372$$

$$\cos(\varphi_3 - \Psi_3) = \cos 58.37 = 0.524432$$

3.  $W$  值

$$W_1 = \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2 = 0.54989, \quad W_2 = \cos \varphi_1 - \cos \varphi_3 = 1.214967, \quad W_3 = \cos \Psi_1 - \cos \Psi_2 = 0.544136,$$

$$W_4 = \cos \Psi_1 - \cos \Psi_3 = 0.920102, \quad W_5 = \cos(\varphi_1 - \Psi_1) - \cos(\varphi_2 - \Psi_2) = -0.073045,$$

$$W_6 = \cos(\varphi_1 - \Psi_1) - \cos(\varphi_3 - \Psi_3) = 0.004895$$

$$W_1 W_6 = 0.002692, \quad W_2 W_3 = 0.661107, \quad W_3 W_6 = 0.002664,$$

$$W_2 W_5 = -0.088745, \quad W_1 W_4 = 0.505955, \quad W_4 W_5 = -0.067209$$

4.  $p$  值

$$p_1 = \frac{W_1 W_6 - W_2 W_5}{W_3 W_6 - W_4 W_5} = \frac{0.091437}{0.069873} = 1.3086, \quad p_2 = \frac{W_2 W_3 - W_1 W_4}{W_3 W_6 - W_4 W_5} = \frac{0.155152}{0.069873} = 2.2205$$

$$p_3 = \cos \varphi_1 - p_1 \cos \Psi_1 - p_2 \cos(\varphi_1 - \Psi_1) = 0.808709 - 1.3086 \times (-0.070975) - 2.2205 \times 0.529327 = -0.2738$$

校核  $p_3$

$$p_3 = \cos \varphi_2 - p_1 \cos \Psi_2 - p_2 \cos(\varphi_2 - \Psi_2) = 0.258819 - 1.3086 \times (-0.615111) - 2.2205 \times 0.602372 = -0.2738$$

5. 各构件相对长度  $d = 1$  (图 4-2-15)

$$a = \frac{p_2}{p_1} = 1.6969$$

$$c = p_2 = 2.2205$$

$$b^2 = 2ap_3 + a^2 + c^2 + 1 = 7.8809$$



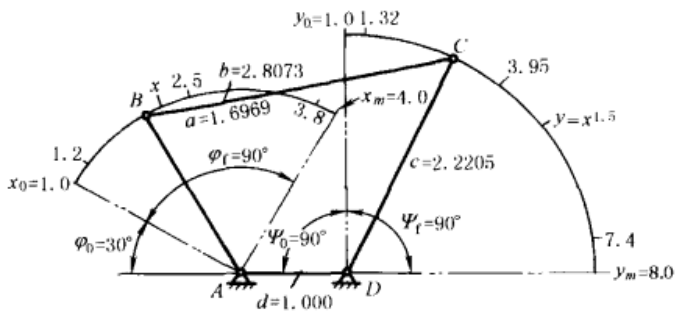


图 4-2-15

角度偏差值  $\Delta\Psi = \Psi^* - \Psi$ , 函数偏差值

$$\Delta y = \frac{y_m - y_0}{\Psi_f} \Delta\Psi = \frac{7}{90} \Delta\Psi$$

误差分析数据表如下。

$$a = 1.6969 \quad b = 2.8073 \quad c = 2.2205 \quad d = 1 \quad 1 + a^2 = 3.8795 \quad c^2 - b^2 = -2.9503 \quad 2c = 4.4410$$

$\varphi^\circ$	$\alpha_1 = \arctan$	$f =$	$\alpha_2 = \arccos$	$\Psi^* =$	$x =$	$y =$	$\Psi = \frac{90^\circ}{7} \times$	$\Delta\Psi =$	$\Delta y =$
	$\frac{1.6969 \sin \varphi}{1 + 1.6969 \cos \varphi}$		$\frac{f^2 - 2.9503}{4.441f}$						
30	18.96	2.6113	70.51	89.47	1	1	90	-0.53	-0.0412
36.03	22.82	2.5737	71.25	94.07	1.201	1.316	94.06	0.01	0.0008
40	25.37	2.5457	71.81	97.18	1.3333	1.5395	96.94	0.24	0.0189
50	31.87	2.4619	73.47	105.34	1.6667	2.1517	104.81	0.53	0.0412
60	38.48	2.3615	75.50	113.98	2	2.8284	113.51	0.47	0.0367
70	45.26	2.2451	77.90	123.16	2.3333	3.5642	122.97	0.19	0.0150
75	48.72	2.1813	79.25	127.97	2.5	3.9528	127.96	0.01	0.0008
80	52.23	2.1140	80.69	132.92	2.6667	4.3546	133.13	-0.21	-0.0164
90	59.49	1.9696	83.90	143.39	3	5.1962	143.95	-0.56	-0.0436
100	67.12	1.8139	87.58	154.70	3.3333	6.0858	155.39	-0.69	-0.0536
110	75.26	1.6488	91.81	167.07	3.6667	7.0210	167.41	-0.34	-0.0264
113.97	78.67	1.5814	93.67	172.34	3.7990	7.4046	172.35	-0.01	-0.0008
120	84.11	1.4773	96.72	180.83	4	8	180.00	0.83	0.0646

注：误差曲线如图 4-2-16。

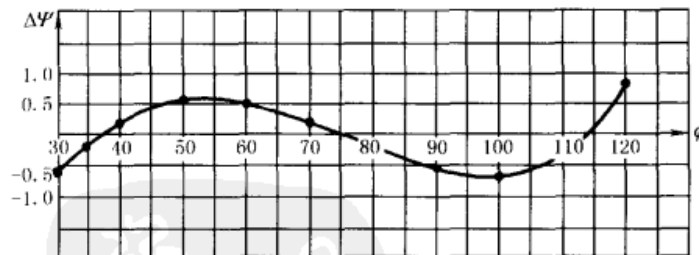


图 4-2-16

对于铰链四杆机构，当按照输入杆和输出杆的给定若干组对应角位移设计时，由于机构的设计参数最多为五个（如  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $\varphi_0$ 、 $\Psi_0$ ），故用精确点逼近设计时，最多只能按五个精确点设计。这时，式（4-2-5）应改写为式（4-2-5a）

$$\cos(\varphi_0 + \varphi_i) = p_1 \cos(\Psi_0 + \Psi_i) + p_2 \cos(\varphi_0 + \varphi_i - \Psi_0 - \Psi_i) + p_3 \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5) \quad (4-2-5a)$$

式中， $\varphi_i$  及  $\Psi_i$  分别为输入杆、输出杆相对于其起始角  $\varphi_0$ 、 $\Psi_0$  的角位移。

对于四组对应位置设计时，方程中  $i = 1, 2, 3, 4$ ，任意选定  $\varphi_0$ （或  $\Psi_0$ ）值可得到四个联立方程，待求参数为  $\Psi_0$ （或  $\varphi_0$ ）、 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 。设法消去  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$  先得到一个关于  $\Psi_0$ （或  $\varphi_0$ ）的代数方程，求出  $\Psi_0$  后，将  $\Psi_0$  代入原方程中的三个方程联立解出  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ ，再由式（4-2-4）求出  $a$ 、 $b$ 、 $c$ （ $d = 1$ ）。对于五组对应位置的设计，

方程中  $i=1, 2, 3, 4, 5$ ，可以列出五个方程，待求参数为  $\varphi_0, \Psi_0, p_1, p_2, p_3$ 。先设法消去  $p_1, p_2, p_3$  求出  $\varphi_0$  和  $\Psi_0$ ，然后将  $\varphi_0, \Psi_0$  代入原方程组，由其中三个方程联立解出  $p_1, p_2, p_3$ 。也可用数值迭代法计算求解。

### 1.3.3 实验法

用几何法、分析法设计输入杆及输出杆满足三对对应位置的四铰链机构时，可以得到精确解；多于三对对应位置时，可用实验法试凑进行设计，所得精度可以满足一般工程要求。如精度不够，可将其结果作为初值，再用解析法使之精确化。

例 设计一个铰链四杆机构，输入角与输出角的位置关系如下：

$i$	1	2	3	4	5	6
$j$	2	3	4	5	6	7
输入角位移 $\varphi_{ij}$ (顺时针向)	$15^\circ$	$15^\circ$	$15^\circ$	$15^\circ$	$15^\circ$	$15^\circ$
输出角位移 $\Psi_{ij}$ (逆时针向)	$10.8^\circ$	$12.5^\circ$	$14.2^\circ$	$15.8^\circ$	$17.5^\circ$	$19.2^\circ$

解 1. 用透明纸 I 按输入角位移的要求作出一系列输入杆的位置线  $j_1, j_2, \dots, j_7$ ，选一合适的输入杆长度  $AB$  和连杆长度  $BC$ ，以  $B_1, B_2, \dots, B_7$  为中心， $BC$  为半径，作一系列圆  $K_1, K_2, \dots, K_7$  (图 4-2-17a)。

2. 在另一透明纸 II 上，作输出杆的各个位置线  $l_1, l_2, \dots, l_7$ ，然后以  $D$  为中心作几个同心圆  $s_1, s_2, \dots, s_n$  (图 4-2-17b)。

3. 把透明纸 I 覆盖在透明纸 II 上进行试凑，使 I 上各圆弧  $K_1, K_2, \dots, K_7$  分别与 II 各对应的输出杆位置线  $l_1, l_2, \dots, l_7$  相交，且交点均在某一同心圆上 (如图 4-2-17c 中的  $s_2$ )，得到机构  $AB_1C_1D$ 。试凑时往往要改变连杆的长度作多次试凑才能得到满意的结果。有时也可能无解。

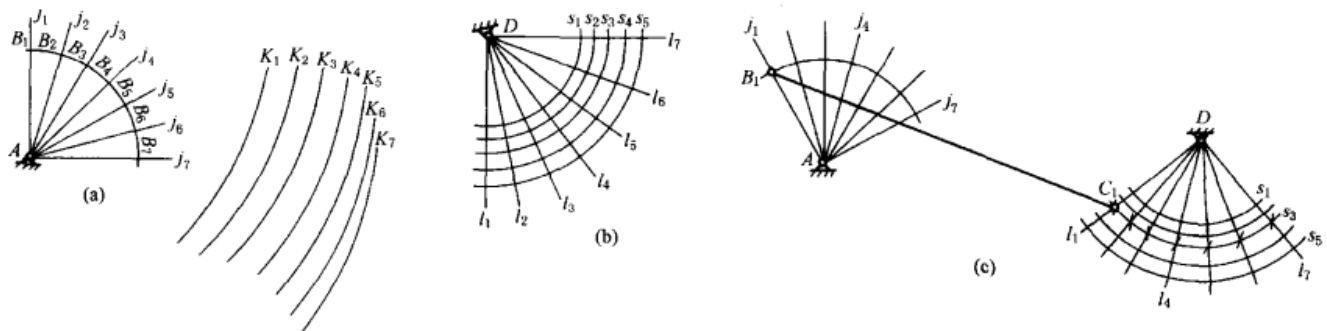


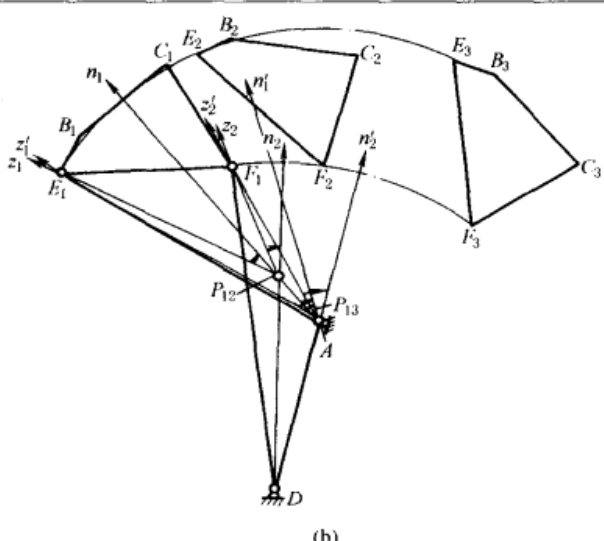
图 4-2-17

## 1.4 按照连杆位置及连杆点位置综合铰链四杆机构

### 1.4.1 已知连杆三个位置综合铰链四杆机构

表 4-2-4

已知条件	连杆 $BC$ 的三个位置, $B_1C_1, B_2C_2$ 及 $B_3C_3$ (如图 a 示)	
B、C 两点是铰链中心		<p>1. 作 <math>B_1B_2</math> 和 <math>B_1B_3</math> 的垂直平分线 <math>n_b</math> 和 <math>n_b'</math>，作 <math>C_1C_2</math> 和 <math>C_1C_3</math> 的垂直平分线 <math>n_c</math> 和 <math>n_c'</math>。</p> <p>2. <math>n_b</math> 与 <math>n_b'</math> 的交点即为固定铰链 <math>A</math> 的位置，<math>n_c</math> 与 <math>n_c'</math> 的交点即为固定铰链 <math>D</math> 的位置，机构在第一位置的图形即为 <math>AB_1C_1D</math>。</p> <p>对于给定连杆 <math>BC</math> 两个位置的设计，只需根据空间限制期望的机构类型及传动角 <math>\gamma</math> 的大小，分别在 <math>n_b</math> 和 <math>n_c</math> 上取定固定铰链 <math>A</math> 和 <math>D</math> 即可。</p>
作图步骤		

已知条件	连杆上 BC 的三个位置, $B_1C_1$ 、 $B_2C_2$ 和 $B_3C_3$ (如图 b 示)	
B、C 两点不是铰链中心	作图步骤	 <p>(b)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 参照图 a 作 <math>n_b</math> 及 <math>n_c</math>, 其交点 <math>P_{12}</math> 为连杆平面在 1、2 两位置之间的转动极, 作 <math>n'_b</math> 及 <math>n'_c</math>, 其交点 <math>P_{13}</math> 为连杆平面在 1、3 两位置之间的转动极。连杆从第一位置到第二位置及第三位置时的转角分别为 <math>\theta_{12}</math> 及 <math>\theta_{13}</math> (见本表图 a)</li> <li>2. 过 <math>P_{12}</math> 点作 <math>z_1</math> 与 <math>n_1</math> 线使 <math>\angle z_1 P_{12} n_1 = \frac{\theta_{12}}{2}</math>, 过 <math>P_{13}</math> 作 <math>z'_1</math> 及 <math>n'_1</math> 线使 <math>\angle z'_1 P_{13} n'_1 = \frac{\theta_{13}}{2}</math></li> <li>3. <math>z_1</math> 与 <math>z'_1</math> 的交点即为连杆上动铰链位置 <math>E_1</math>; <math>n_1</math> 与 <math>n'_1</math> 的交点, 即为固定铰链 <math>A</math> 之位置。</li> <li>4. 把 <math>\angle z_1 P_{12} n_1</math> 绕 <math>P_{12}</math> 转过任意一个角度得 <math>\angle z_2 P_{12} n_2</math>, 再把 <math>\angle z'_1 P_{13} n'_1</math> 绕 <math>P_{13}</math> 转过任一角度得 <math>\angle z'_2 P_{13} n'_2</math></li> <li>5. <math>z_2</math> 与 <math>z'_2</math> 的交点即为连杆上另一动铰链位置 <math>F_1</math>; <math>n_2</math> 与 <math>n'_2</math> 的交点即为另一固定铰链 <math>D</math> 的位置</li> <li>6. 机构在第一位置时的图形即为 <math>AE_1 F_1 D</math>, 当 <math>E_1, F_1</math> 分别转到 <math>E_2, F_2</math> 及 <math>E_3, F_3</math> 时, 连杆平面上的线段 <math>B_1 C_1</math> 相应转到 <math>B_2 C_2</math> 及 <math>B_3 C_3</math></li> </ol> <p>对于给定连杆上 B、C 两个位置的设计, 只需在 <math>n_1</math> 上任取点作为固定铰链 <math>A</math>, 在 <math>z_1</math> 上取点作为动铰链 <math>E</math>; 在 <math>n_2</math> 上任取点作为固定铰链 <math>D</math>, 在 <math>z_2</math> 上任取点作为动铰链 <math>F</math></p>

### 1.4.2 已知连杆四个位置综合铰链四杆机构

已知条件: 连杆平面上线段 BC 的四个位置  $B_1C_1$ 、 $B_2C_2$ 、 $B_3C_3$  和  $B_4C_4$ 。

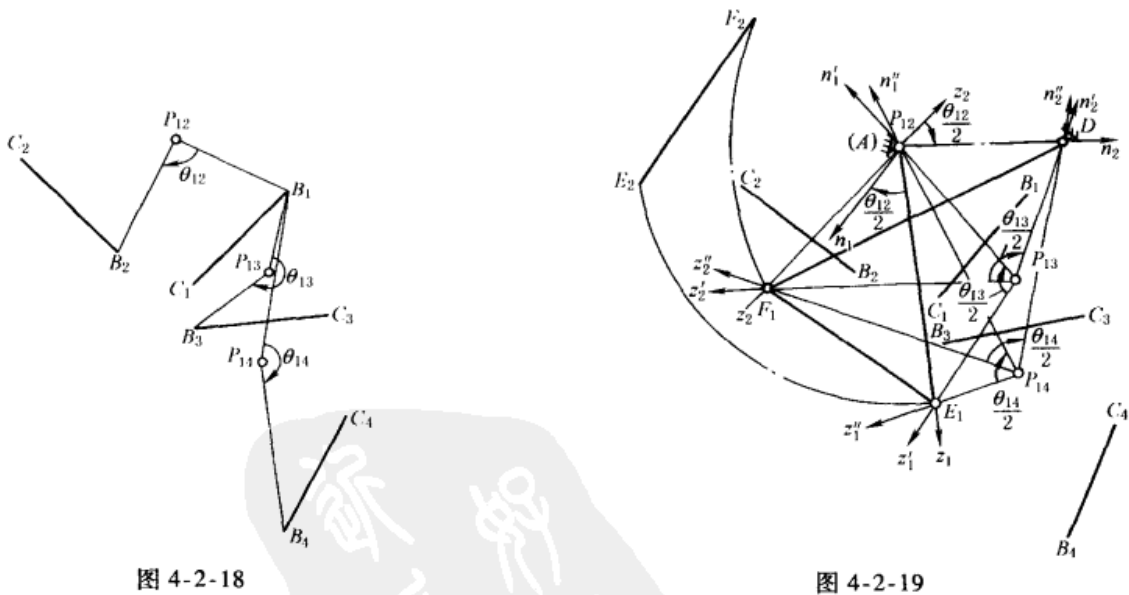


图 4-2-18

图 4-2-19

#### 作图步骤

① 根据已知的  $B_1C_1$ 、 $B_2C_2$ 、 $B_3C_3$  及  $B_4C_4$  的位置, 用作图法求出其转动极  $P_{12}$ 、 $P_{13}$ 、 $P_{14}$  和连杆的角位移  $\theta_{12}$ 、 $\theta_{13}$ 、 $\theta_{14}$  (图 4-2-18)。

② 过  $P_{12}$  作  $z_1$  和  $n_1$  线使  $\angle z_1 P_{12} n_1 = \frac{\theta_{12}}{2}$ , 过  $P_{13}$  作  $z'_1$  及  $n'_1$  线使  $\angle z'_1 P_{13} n'_1 = \frac{\theta_{13}}{2}$ , 过  $P_{14}$  作  $z''_1$  及  $n''_1$  线使  $\angle z''_1 P_{14} n''_1 = \frac{1}{2}\theta_{14}$  (图 4-2-19)。

③ 把上述三个角度  $\angle \theta_{12}/2$ 、 $\angle \theta_{13}/2$ 、 $\angle \theta_{14}/2$  做成透明纸样板  $\angle P_{12}$ 、 $\angle P_{13}$ 、 $\angle P_{14}$ , 分别以  $P_{12}$ 、 $P_{13}$ 、 $P_{14}$  为中心转动样

板试凑，使  $z_1, z'_1, z''_1$  汇交于一点  $E_1$ ，同时  $n_1, n'_1, n''_1$  汇交于另一点  $A$ ，就得到一组对应的动铰链  $E_1$  及固定铰链  $A$  的位置。

④ 再转动样板得另一组交点，即另一组对应的动铰链  $F_1$  及固定铰链  $D$  的位置。

⑤ 机构在第一位置的图形即为  $AE_1F_1D$ ，当  $E_1F_1$  转到  $E_2F_2, E_3F_3, E_4F_4$  时，连杆上的  $B_1C_1$  线相应地转到  $B_2C_2, B_3C_3$  及  $B_4C_4$  位置。如所得的机构不满足特定要求，可重复步骤③和④，求得另一机构解，直至满意。

⑥ 在上述求解过程中可根据机构的尺寸范围、是否需要曲柄及传动角等要求，选择合理的两组对应位置，作为机构图形。

⑦ 如在图 4-2-19 中，选择  $P_{12}$  作为固定铰链  $A$  的位置，则  $P_{13}n'_1$  边线及  $P_{14}n''_1$  边线交于  $P_{12}$  点， $P_{13}z'_1$  及  $P_{14}z''_1$  边线的交点即为动铰链的位置  $E_1$ 。 $D, F_1$  的解法同步骤 4，因而作图过程得到简化。

### 1.4.3 圆点曲线及圆心曲线

前面所述连杆四个位置综合作图法有无穷多解，只要绕各转动极  $P_{1i}$  ( $i=2, 3, 4$ ) 连续地转动样板  $\angle P_{1i}$ ，就可得到相应的一组  $z$  及  $n$  的交点， $z$  边的交点（动铰链可能位置）轨迹称为圆点曲线，用  $K_1$  表示； $n$  边的交点（固定铰链可能位置）轨迹称为圆心曲线，用  $M_{1234}$  表示（图 4-2-20）。

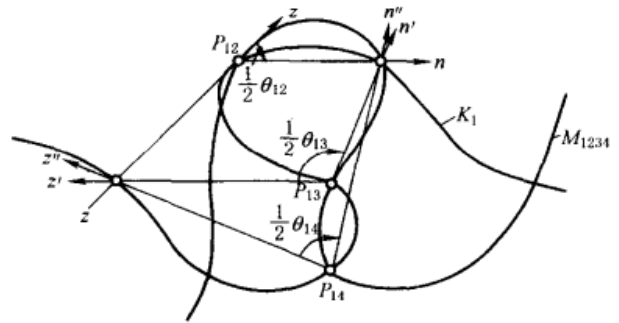


图 4-2-20

圆点曲线  $K_1$  是在第 1 参考位置时连杆动平面上的曲线，当连杆在给定的 4 个位置时， $K_1$  上的对应圆点依次落在一个圆弧上。圆弧中心的轨迹即为圆心曲线。圆心曲线在固定平面上。

于是前面所述实现四个位置的机构的设计也可以按这样的步骤进行，即先作出圆点曲线及圆心曲线，然后在曲线上选择合适的两对对应位置作为动铰链及固定铰链位置，从而求出机构图形。

关于连杆实现已知五个位置的机构综合，以及有关圆点曲线及圆心曲线的详细理论及作图方法可参考有关专门著作<sup>[9,13]</sup>。

### 1.4.4 已知连杆上点的位置综合铰链四杆机构

例 1 设计一个铰链四杆机构，已知输入角  $\varphi_{12}$  及  $\varphi_{13}$ （图 4-2-21a）及连杆上一点  $e$  的三个点位  $e_1, e_2, e_3$ 。

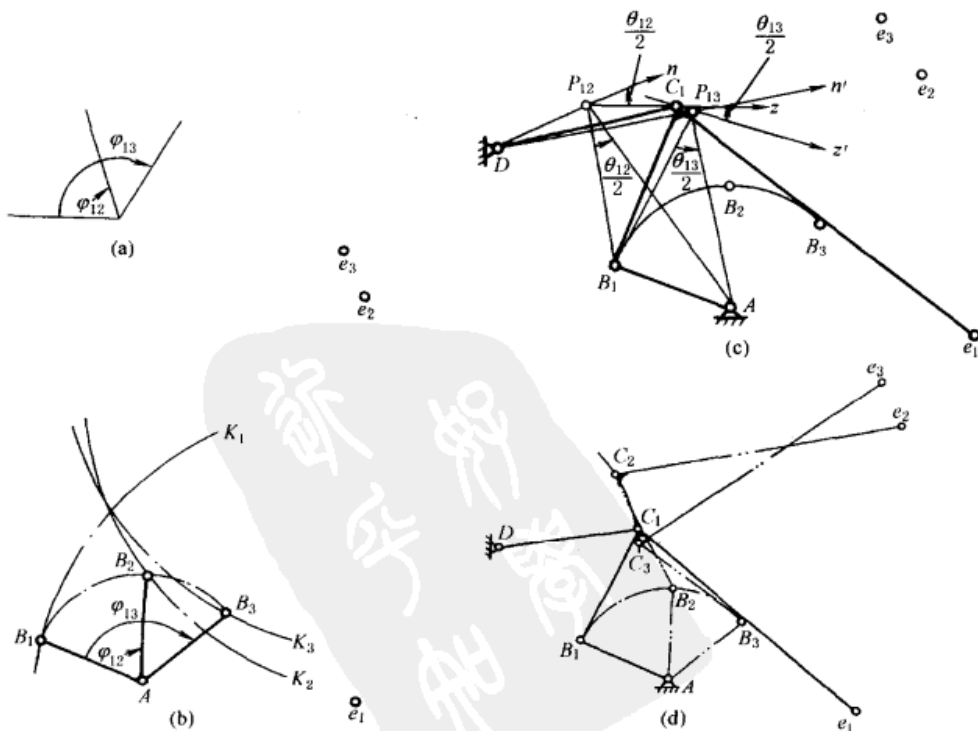


图 4-2-21



解 1. 取两张透明纸, 一张上面输入杆的位置线 (图 4-2-21a) 及若干同心圆 (图中未示), 另一张上分别以  $e_1$ 、 $e_2$ 、 $e_3$  为圆心、选定的半径为半径画圆弧  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ ; 将两张纸重叠并作相对转动, 直到  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  三个圆弧分别与图 a 上的三条位置线相交于同一半径圆弧上的  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  点, 求得固定铰链  $A$  及输入杆长度  $AB$  (图 4-2-21b)。

2. 根据连杆  $Be$  的三个位置  $B_1e_1$ 、 $B_2e_2$  和  $B_3e_3$ , 求连杆在 1、2 位置间的转动极  $P_{12}$  和在 1、3 位置间的转动极  $P_{13}$ , 以及连杆转动的半角 (图 4-2-21c)

$$\angle B_1P_{12}A = \frac{1}{2}\theta_{12}, \quad \angle B_1P_{13}A = \frac{1}{2}\theta_{13}$$

3. 过  $P_{12}$  可任意选合适位置作  $z$  和  $n$  线使  $\angle zP_{12}n = \frac{1}{2}\theta_{12}$ , 过  $P_{13}$  作  $z'$  及  $n'$  线使  $\angle z'P_{13}n' = \frac{1}{2}\theta_{13}$ 。  $z$  与  $z'$  的交点即为动铰链位置  $C_1$ ,  $n$  与  $n'$  的交点为固定铰链  $D$  的位置。

4. 机构在第 1 位置的图形为  $AB_1C_1D$  及连杆上一点  $e_1$ 。当输入杆由  $AB_1$  转到  $AB_2$  和  $AB_3$  时, 连杆相应地占有  $B_1C_1e_1$ 、 $B_2C_2e_2$  及  $B_3C_3e_3$  的位置 (图 4-2-21d)。

例 2 设计一个铰链四杆机构, 连杆上一点  $e$  需实现  $e_1$ 、 $e_2$ 、 $e_3$  和  $e_4$  四个点位 (图 4-2-22a)。

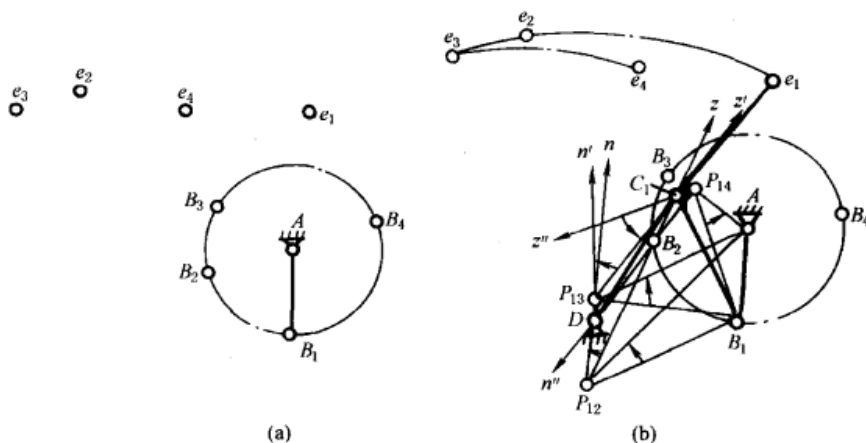


图 4-2-22

解 1. 由于本例未给定输入杆的位置要求  $\varphi_{1i}$ , 故可根据机构的尺寸范围选定固定铰链  $A$  的位置、曲柄长度  $AB$ 、 $B_1$  点位置以及连杆上  $Be$  的长度, 然后作曲柄圆及动铰链  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  和  $B_4$  (图 4-2-22a)。

2. 根据  $B_1e_1$ 、 $B_2e_2$ 、 $B_3e_3$  及  $B_4e_4$  (即连杆上  $Be$  线的四个位置) 求出转动极  $P_{12}$ 、 $P_{13}$ 、 $P_{14}$ 。

3. 求出连杆在第 1、2 位置, 第 1、3 位置及第 1、4 位置间转角的半角值

$$\angle B_1P_{12}A = \frac{1}{2}\theta_{12}, \quad \angle B_1P_{13}A = \frac{1}{2}\theta_{13}, \quad \angle B_1P_{14}A = \frac{1}{2}\theta_{14}$$

4. 以  $P_{12}$  为中心, 选合适位置作  $\angle zP_{12}n = \frac{1}{2}\theta_{12}$ ; 以  $P_{13}$  为中心作  $\angle z'P_{13}n' = \frac{1}{2}\theta_{13}$ ; 以  $P_{14}$  为中心作  $\angle z''P_{14}n'' = \frac{1}{2}\theta_{14}$ ; 试凑到使  $z'$ 、 $z''$  与  $z$  交于一点  $C_1$ , 同时  $n'$ 、 $n''$  与  $n$  交于一点  $D$ 。  $C_1$  与  $D$  是一对对应的动铰链及固定铰链的位置。

5. 机构在第 1 位置的图形即为  $ADB_1C_1e_1$ ,  $e_1$  为连杆  $B_1C_1$  上的一个点。如果所得机构的尺寸比例和传动角不合适, 则需另选  $\angle zP_{12}n$  的位置, 即令  $\angle zP_{12}n$  绕  $P_{12}$  点转一角度再进行试凑得另一解。有时整个设计过程需重选  $A$  点位置及  $AB$  长度。

例 3 设计一个带停歇期的六杆机构, 图 4-2-23 中基础的铰链四杆机构是一个曲柄摇杆机构。当已知输入杆转动  $\varphi_{14}$  角时, 六杆机构的输出杆  $GF$  近似地停歇不动。

解 1. 本例可先按机构空间尺寸, 选定处于某一圆弧上的四个

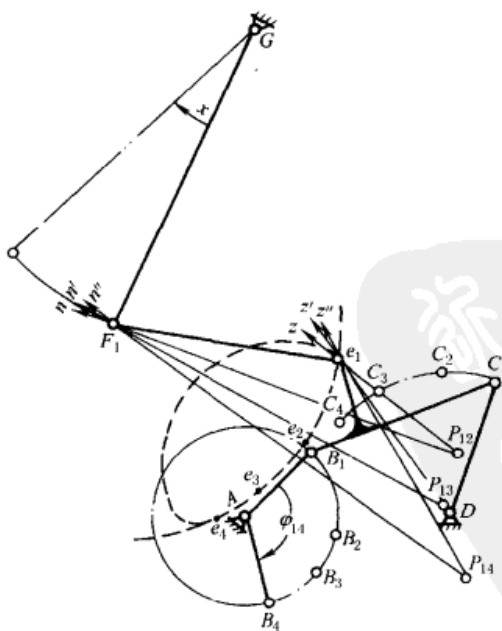


图 4-2-23

点  $e_1、e_2、e_3、e_4$ ；如给定了输入杆的  $\varphi_{12}、\varphi_{13}、\varphi_{14}$  时，可按例 1 的方法设计出基础铰链四杆机构  $ABCD$ 。如未给定  $\varphi_{12}、\varphi_{13}$ ，则可按例 2 的方法设计出基础四杆机构  $ABCD$ 。

2. 在第 1 步中已同时求得转动极  $P_{12}、P_{13}、P_{14}$  及  $\angle B_1P_{12}A = \frac{1}{2}\theta_{12}、\angle B_1P_{13}A = \frac{1}{2}\theta_{13}、\angle B_1P_{14}A = \frac{1}{2}\theta_{14}$ 。

3. 分别过  $P_{12}、P_{13}$  和  $P_{14}$  作直线  $P_{12}z、P_{13}z'$  和  $P_{14}z''$  通过  $e_1$  点；再作直线  $P_{12}n、P_{13}n'$  和  $P_{14}n''$  使  $\angle zP_{12}n = \frac{1}{2}\theta_{12}、\angle z'P_{13}n' = \frac{1}{2}\theta_{13}、\angle z''P_{14}n'' = \frac{1}{2}\theta_{14}$ ，则  $P_{12}n、P_{13}n'$  和  $P_{14}n''$  三条直线的交点  $F_1$  便是动铰链  $F$  的位置，而  $e_1$  则是连杆  $B_1C_1$  上的动铰链位置。显然  $F_1$  是动铰链  $e$  的圆弧轨迹的圆心。

4. 根据机构空间取定输出杆的固定铰链  $G$  的位置，得到机构在第一位置时的图形  $ADB_1C_1e_1F_1G$ 。确定  $GF$  杆长度时，应考虑输出杆  $GF$  的摆角  $\alpha$  值。连杆点  $e$  的整个轨迹可由作图法或解析法得到。

### 1.4.5 轨迹综合

四杆机构的轨迹综合，是使所设计的四杆机构的连杆某一点能实现某一已知轨迹。设计方法有以下几种。

① 用实验法求解。如图 4-2-24 已知要求实现的轨迹为  $mm$ ，可先选定一点  $A$  为原动件的铰链中心，然后选定曲柄  $AB$  及连杆  $BM$  的长度。令

$$l_{AB} = \frac{\rho' - \rho}{2}, l_{BM} = \frac{\rho' + \rho}{2}$$

式中， $\rho'$  为  $A$  点至轨迹  $mm$  的最长距离， $\rho$  为最短距离。

令连杆上  $M$  点在已知轨迹  $mm$  上运动，则  $B$  点在以  $A$  为圆心、 $AB$  为半径的圆周上移动，这时固结在连杆  $BM$  上的其他点如  $C'、C''、C'''$  点也各绘出其一定形状的轨迹。在这些轨迹中找出一与圆或圆弧相近似的轨迹，则形成此轨迹的点即为连杆上动铰链中心  $C$ ，此轨迹的圆心即作为机架上固定铰链中心  $D$ ， $ABCD$  即为实现已知轨迹  $mm$  的四杆机构。

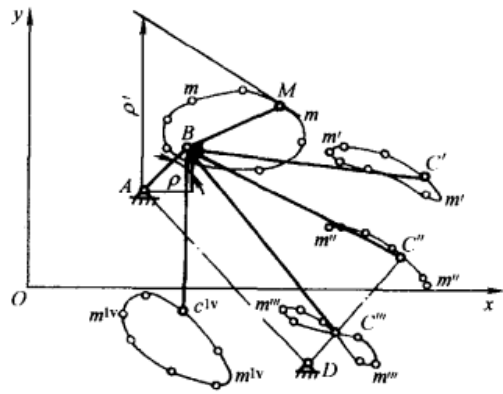


图 4-2-24

如果点的轨迹不是圆弧而是一直线，则可得曲柄滑块机构。

② 在工程上已有现成的连杆轨迹图谱<sup>[18]</sup>，设计者可以查阅图谱中相近的一条轨迹定出机构的初步尺寸。近年来出现了利用计算机按电子图谱设计的方法，但尚未推广。

③ 在所要求实现的轨迹上选择 3 个或 4 个点，用 1.4.4 节方法进行实现此种点位的四杆机构尺寸设计，设计所得的四杆机构连杆上某一点的轨迹有若干个位置能精确实现所设计的轨迹，其余各点则是近似实现。

④ 当要求较多点（最多不超过 9 个）实现给定轨迹时，宜采用解析法进行设计。解析法有位移矩阵法和形封闭法等。

图 4-2-25a 所示四杆机构  $ABCD$  的连杆刚体以动铰链  $B、C$  与连架杆  $AB$  和  $CD$  相连，而连架杆则以转动副或移动副（图 4-2-25b）相连， $B、C$  在固定坐标系  $xOy$  中的轨迹为圆或直线，而连杆刚体上的点在  $xOy$  平面上的轨

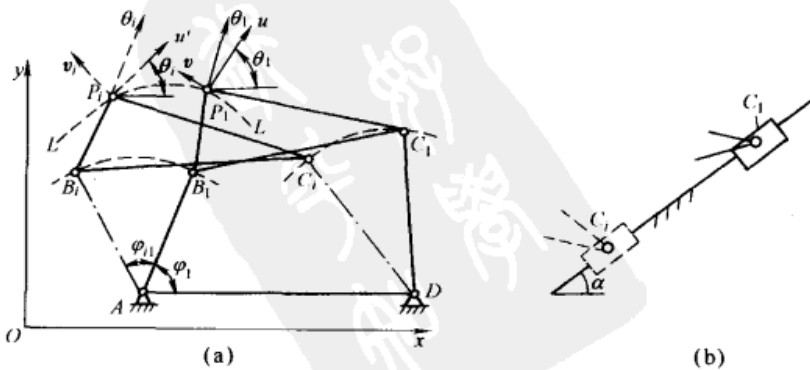


图 4-2-25

迹称为连杆曲线  $LL$ ，不同的点有不同的轨迹。在两个连架杆和连杆上各设置一个坐标系（动坐标系），则与连架杆相固连的动坐标系只能作定点转动或定向（沿导路）移动，而与连杆相固连的动坐标系（ $uP_i v$ ）则是作平面复合运动（即坐标原点  $P_i$  是运动的）；与机架固连的坐标系是固定坐标系  $xOy$ （ $O$  不一定与定铰  $A$  重合）；铰链  $B$ 、 $C$  与连杆点  $P$  在各自的动坐标系中的位置是固定不变的，然而它们在固定坐标  $xOy$  中的位置却是时变的； $B$  相对  $A$ 、 $C$  相对  $D$  以及  $P$  相对  $B$ 、 $C$  在各自动坐标系中的相对位置和距离都是固定不变的，而且连杆上  $B$ 、 $C$  点和连架杆上  $B$ 、 $C$  点在固定坐标系中同一时刻的坐标值必须是相等的。按给定轨迹要求设计四杆机构时，连杆点  $P$  在固定坐标系中坐标值系列  $(x_{P_i}, y_{P_i})$  是给定的，为了简化计算，在连杆上的动坐标系原点即取为  $P_i$ ，则连杆上给定点  $Q_i$  的坐标（ $u_Q, v_Q$  为动系坐标， $x_{Q_i}, y_{Q_i}$  为定系坐标）可表示为：

$$\begin{cases} x_{Q_i} = x_{P_i} + u_Q \cos \theta_i - v_Q \sin \theta_i \\ y_{Q_i} = y_{P_i} + u_Q \sin \theta_i + v_Q \cos \theta_i \end{cases} \quad (4-2-6)$$

式中， $\theta_i$  表示动坐标  $u$  与  $x$  坐标之间的夹角，它表示连杆刚体的姿态； $(x_{Q_i}, y_{Q_i})$  和  $(u_Q, v_Q)$  表示连杆点  $Q$  在定坐标和动坐标中的位置； $x_{Q_i}, y_{Q_i}$  和  $\theta_i$  三者合称连杆刚体的位姿。

取定连杆刚体的第一个位姿  $(x_{Q_1}, y_{Q_1}, \theta_1, x_{P_1}, y_{P_1})$ ，可得：

$$\begin{aligned} u_Q &= (x_{Q_1} - x_{P_1}) \cos \theta_1 + (y_{Q_1} - y_{P_1}) \sin \theta_1 \\ v_Q &= (y_{Q_1} - y_{P_1}) \sin \theta_1 - (x_{Q_1} - x_{P_1}) \cos \theta_1 \end{aligned}$$

再将  $(u_Q, v_Q)$  代入式 (4-2-6) 可得：

$$\begin{aligned} x_{Q_i} &= x_{P_i} + x_{Q_1} \cos \theta_{i1} - x_{P_1} \cos \theta_{i1} + y_{P_1} \sin \theta_{i1} - y_{Q_1} \sin \theta_{i1} \\ y_{Q_i} &= y_{P_i} + x_{Q_1} \sin \theta_{i1} - x_{P_1} \sin \theta_{i1} - y_{P_1} \cos \theta_{i1} + y_{Q_1} \cos \theta_{i1} \end{aligned} \quad (4-2-7)$$

$$\text{或} \quad \begin{cases} x_{Q_i} \\ y_{Q_i} \\ 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{i1} & -\sin \theta_{i1} & x_{P_i} - x_{P_1} \cos \theta_{i1} + y_{P_1} \sin \theta_{i1} \\ \sin \theta_{i1} & \cos \theta_{i1} & y_{P_i} - y_{P_1} \cos \theta_{i1} - x_{P_1} \sin \theta_{i1} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{cases} x_{Q_1} \\ y_{Q_1} \\ 1 \end{cases} = [D_{i1}]_P (x_{Q_1} \ y_{Q_1} \ 1)^T$$

式中， $\theta_{i1} = \theta_i - \theta_1$  为刚体由位姿 1 到达位姿  $i$  时的相对转角；有下标 1 和  $i$  的参数分别表示位姿 1 和  $i$  时的参数值； $[D_{i1}]_P$  为以  $P_1$  为原点的位移矩阵，此位移矩阵可用于任何作平面运动的刚体，例如用于连架杆则可以  $A_1$ （或  $D_1$ ）取代  $P_1$ ，这时  $\theta_{i1}$  应以  $\varphi_{i1}$  取代；如构件作平移（如滑块）则只需令  $\theta_{i1} = 0$ 。

对以转动副和机架相连的连架杆，有以下定杆长约束方程：

$$(x_{B_i} - x_A)^2 + (y_{B_i} - y_A)^2 = (x_{B_1} - x_A)^2 + (y_{B_1} - y_A)^2 \quad i = 2, 3, 4, \dots \quad (4-2-8)$$

$$\begin{aligned} (x_{B_i} \ y_{B_i} \ 1)^T &= [D_{i1}]_A (x_{B_1} \ y_{B_1} \ 1)^T = [D_{i1}]_P (x_{B_1} \ y_{B_1} \ 1)^T \\ (x_{C_i} - x_D)^2 + (y_{C_i} - y_D)^2 &= (x_{C_1} - x_D)^2 + (y_{C_1} - y_D)^2 \quad i = 2, 3, 4, \dots \quad (4-2-9) \\ (x_{C_i} \ y_{C_i} \ 1)^T &= [D_{i1}]_D (x_{C_1} \ y_{C_1} \ 1)^T = [D_{i1}]_P (x_{C_1} \ y_{C_1} \ 1)^T \end{aligned}$$

对以移动副和机架相连的连架杆（滑块），有以下定向约束方程：

$$y_{C_i} - y_{C_1} = (x_{C_i} - x_{C_1}) \tan \alpha \quad i = 2, 3, 4, \dots \quad (4-2-10)$$

式中， $\alpha$  是滑块导路与固定坐标系的  $x$  轴之间的夹角，且为定值。

由于连杆上的动铰链  $B$ 、 $C$  与连架杆上的动铰链  $B$ 、 $C$  在固定坐标系  $xOy$  中应该具有相同的值，所以同一连杆上的  $B$ 、 $C$  两点的位移矩阵中的  $\theta_{i1}$ 、 $x_{P_1}$ 、 $x_{P_i}$ 、 $y_{P_1}$  和  $y_{P_i}$  都是相同的。基于以上分析，将式 (4-2-7) 中的  $(x_{B_i} = x_{Q_i}, y_{B_i} = y_{Q_i})$  代入式 (4-2-8) 中，经整理后可以得到非线性的方程组：

$$\text{杆 } AB: \quad A_{i1} \cos \theta_{i1} + B_{i1} \sin \theta_{i1} = G_{i1} \quad (4-2-11)$$

$$A_{i1} = (x_{B_1} - x_{P_1})(x_{P_i} - x_A) + (y_{B_1} - y_{P_1})(y_{P_i} - y_A)$$

$$B_{i1} = (x_{B_1} - x_{P_1})(y_{P_i} - y_A) - (y_{B_1} - y_{P_1})(x_{P_i} - x_A)$$

$$G_{i1} = x_{B_1}(x_{P_1} - x_A) + y_{B_1}(y_{P_1} - y_A) + x_{P_i}x_A + y_{P_i}y_A - 0.5(x_{P_1}^2 + y_{P_1}^2 + x_{P_i}^2 + y_{P_i}^2)$$

$$i = 2, 3, \dots, n$$

$$\text{同理，杆 } CD: \quad C_{i1} \cos \theta_{i1} + D_{i1} \sin \theta_{i1} = K_{i1} \quad (4-2-12)$$

$$C_{i1} = (x_{C_1} - x_{P_1})(x_{P_i} - x_D) + (y_{C_1} - y_{P_1})(y_{P_i} - y_D)$$

$$D_{i1} = (x_{C_1} - x_{P_1})(y_{P_i} - y_D) - (y_{C_1} - y_{P_1})(x_{P_i} - x_D)$$

$$K_{i1} = x_{C_1}(x_{P_1} - x_D) + y_{C_1}(y_{P_1} - y_D) + y_{P_i}x_D + y_{P_i}y_D - 0.5(x_{P_1}^2 + y_{P_1}^2 + x_{P_i}^2 + y_{P_i}^2)$$

$$i = 2, 3, 4, \dots, n$$

滑块 C:

$$E_{i1} \cos \theta_{i1} + F_{i1} \sin \theta_{i1} = H_{i1} \quad (4-2-13)$$

$$E_{i1} = -(x_{C1} - x_{P1}) \tan \alpha + (y_{C1} - y_{P1})$$

$$F_{i1} = (y_{C1} - y_{P1}) \tan \alpha + (x_{C1} - x_{P1})$$

$$H_{i1} = -(x_{C1} - x_{P1}) \tan \alpha + (y_{C1} - y_{P1})$$

$$i = 2, 3, 4, \dots, n$$

对全铰链四杆机构, 联立式 (4-2-11) 和式 (4-2-12) 得:

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta_{i1} &= (G_{i1} D_{i1} - K_{i1} B_{i1}) / (A_{i1} D_{i1} - C_{i1} B_{i1}) \\ \sin \theta_{i1} &= (A_{i1} K_{i1} - C_{i1} G_{i1}) / (A_{i1} D_{i1} - C_{i1} B_{i1}) \end{aligned} \right\} \quad (4-2-14)$$

$$\text{和} \quad (G_{i1} D_{i1} - K_{i1} B_{i1})^2 + (A_{i1} K_{i1} - C_{i1} G_{i1})^2 = (A_{i1} D_{i1} - C_{i1} B_{i1})^2 \quad (4-2-15)$$

式 (4-2-15) 中各系数均不包含连杆的姿态角  $\theta_{i1}$ , 故式 (4-2-15) 是按给定连杆点轨迹 (不要求姿态角  $\theta$ ) 设计全铰链四杆机构参数的方程式。当给定点位数为  $n$  时, 方程数为  $n-1$ ; 而机构待定参数为 8 个, 即铰链 A、B、C、D 的 8 个坐标值。当方程可解时, 应满足  $n-1=8$ , 即  $n=9$ , 故用全铰链四杆机构实现给定轨迹时, 最多能精确实现轨迹上的 9 个点。其余点只能近似实现, 可以用优化的方法选择精确实现的 9 个点, 使误差最小。当给定点位数  $n$  小于 9 时, 可列方程数少于待定参数数, 这时可预先选定的参数个数为  $(9-n)$  个, 也就是说给定 9 个位置时无参数可供预选。

设计时, 按给定的  $x_{Pi}$ 、 $y_{Pi}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 代入式 (4-2-15) 中的系数  $A_{i1}$ 、 $B_{i1}$ 、 $C_{i1}$ 、 $D_{i1}$ 、 $G_{i1}$  和  $K_{i1}$ , 得到  $(n-1)$  个非线性方程式, 从而解得  $(n-1)$  个机构参数。例如  $n=9$  时为 8 个机构参数,  $n=5$  时为 4 个机构参数。再将求得的机构参数值代入式 (4-2-14) 便求出了连杆的姿态角  $\theta_{i1}$ 。应该指出: 上述非线性方程组求解时, 随着精确点数的增多, 求解也越困难, 而且可能无实解, 或即使有解, 也可能因杆长比或传动角等不合理而无实用价值。所以一般常按 4~6 个精确点设计, 这时有 3~5 个参数可以预选, 因而有无限多个解, 有利于机构多目标优化的设计。

按给定轨迹设计曲柄滑块机构时, 待求参数是铰链 A、B、C 的 6 个坐标值和导路的方向角  $\alpha$ , 共 7 个待求参数。这时能够精确实现的点位数为 8 个 (即  $n-1=7$ ,  $n=8$ )。所用的方程是式 (4-2-8)、式 (4-2-10) 或式 (4-2-11)、式 (4-2-13); 这时, 式 (4-2-14)、式 (4-2-15) 应变为式 (4-2-16)、式 (4-2-17):

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta_{i1} &= (G_{i1} F_{i1} - H_{i1} B_{i1}) / (A_{i1} F_{i1} - E_{i1} B_{i1}) \\ \sin \theta_{i1} &= (A_{i1} H_{i1} - E_{i1} G_{i1}) / (A_{i1} F_{i1} - E_{i1} B_{i1}) \end{aligned} \right\} \quad (4-2-16)$$

$$(G_{i1} F_{i1} - H_{i1} B_{i1})^2 + (A_{i1} H_{i1} - E_{i1} G_{i1})^2 = (A_{i1} F_{i1} - E_{i1} B_{i1})^2 \quad (4-2-17)$$

当设计连杆位置给定 (即  $\theta_{i1}$  给定) 的刚体引导机构时, 所用方程及待求参数均同前; 对铰链四杆机构  $n=5$ , 对曲柄滑块机构  $n=4$ 。

当按给定轨迹上一系列有序点  $P_i$  及其对应的曲柄转角  $\varphi_i$  的要求, 设计四杆机构时, 所用方程及待求参数均同前; 对铰链四杆机构  $n=5$ , 对曲柄滑块机构  $n=4$ 。而且式 (4-2-7) 中的位移矩阵  $[D_{i1}]_P$  应改为  $[D_{i1}]_A$ , 其元素中  $(x_{Pi}, y_{Pi})$ 、 $(x_{P1}, y_{P1})$  均用  $(x_A, y_A)$  取代, 将  $\theta_{i1}$  改成  $\varphi_{i1}$  即可。更为翔实的说明可参阅文献 [2、6、8]。

**例** 设计一铰链四杆机构, 实现图 4-2-26 所示轨迹上 5 个点  $P_1(1, 1)$ 、 $P_2(2, 0.5)$ 、 $P_3(3, 1.5)$ 、 $P_4(2, 2)$  和  $P_5(1.5, 1.9)$ 。

**解** 1. 因已知点位数  $n=5$ , 故可列设计方程数为  $(5-1)=4$ , 待求参数为 8, 方程数不够, 因而需预选参数, 可预选参数的个数为  $(9-n)=(9-5)=4$ , 先选定 A (2.1, 0.6)、D (1.5, 4.2)。

2. 将  $(x_{B1}, y_{B1})$ 、 $(x_{C1}, y_{C1})$ 、 $(x_A, y_A)$ 、 $(x_D, y_D)$ 、 $(x_{Pi}, y_{Pi})$  代入式 (4-2-11)、式 (4-2-12) 和式 (4-2-15) 得到四个非线性方程式, 求得四个参数及四根杆的长度:

$$x_{B1} = 0.607, \quad y_{B1} = -1.127; \quad x_{C1} = -0.586, \quad y_{C1} = 0.997;$$

$$l_{AB} = 2.283 \quad l_{CD} = 3.822 \quad l_{BC} = 2.346 \quad l_{AD} = 3.649; \quad l_{BP} = 2.163 \quad l_{CP} = 1.586$$

3. 连杆第一位置  $\overline{B_1C_1}$  的方向角  $\theta_1$  及第  $i$  个位置  $\overline{B_iC_i}$  的方向角  $\theta_i$  可按下式求得:

$$\theta_i = \arctan \frac{y_{C_i} - y_{B_i}}{x_{C_i} - x_{B_i}}$$

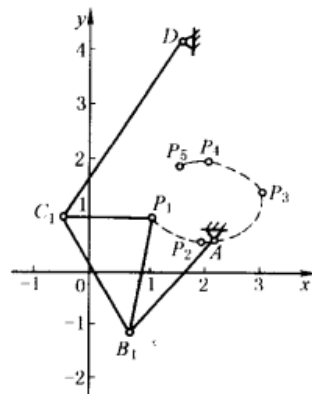


图 4-2-26

$$\theta_1 = \arctan \frac{y_{C1} - y_{B1}}{x_{C1} - x_{B1}} = \arctan(-1.78035583) = 119.322^\circ$$

则

$$\theta_{11} = \theta_i - \theta_1$$

或按式(4-2-14)求出  $\theta_{11}$  的值。

应该指出：由于预选的  $A$ 、 $D$  坐标值不同，所求得的机构参数也不相同。

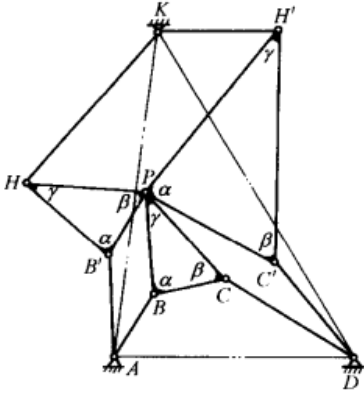


图 4-2-27

### 1.4.6 相当机构及其应用

在机构设计时，有时会发现设计所得的四杆铰链机构虽然能实现预期的连杆上点的轨迹，但是固定铰链及动铰链不能很方便地安装在机器里，或者传动角很不恰当。遇到这些问题时可以应用重演同样连杆曲线有三个相当机构的原理（罗培兹定理），尝试采用另外两个相当机构来解决上述问题。相当机构的作图法如下（图 4-2-27）：

① 已知四杆铰链机构  $ABCD$  及连杆上一点  $P$ ，以  $AD$  为底边作三角形  $ADK$  与三角形  $BCP$  相似；

② 作平行四边形  $AB'PB$ ，作三角形  $B'PH$  与三角形  $BCP$  相似， $AB'HK$  即为机构  $ABCD$  的一个相当机构， $P$  点为连杆  $B'H$  上的一点；

③ 作平行四边形  $DCPC'$ ，作三角形  $PC'H'$  与  $BCP$  相似， $KH'C'D$  为机构  $ABCD$  的另一个相当机构。 $P$  点为连杆  $C'H'$  上的一点。

### 1.4.7 直线运动机构

在机构设计中常应用连杆上点的直线运动或近似直线运动的轨迹。表 4-2-5 列出若干种四杆及多杆机构连杆上点作直线或近似直线运动的机构。

表 4-2-5

四杆直线运动机构		
<p><math>AB = BC = BM</math> 如 <math>C</math> 处用滑块，轨迹点 <math>M</math> 作直线运动。 如用 <math>CD</math> 杆代替滑块，<math>M</math> 点作近似直线运动。如 <math>CD</math> 长度等于输出行程，则 <math>M</math> 点的直线轨迹误差为 0.03%，<math>2\alpha</math> 最大值为 <math>40^\circ</math></p>	<p><math>AB = 2CD</math> <math>AC = BD = 1.2CD</math> 轨迹点 <math>M</math> 作近似直线运动</p>	<p><math>AB = 2CD</math> <math>AD = BC = 2.5DC</math> <math>M</math> 为 <math>CD</math> 中点 轨迹点 <math>M</math> 作近似直线运动</p>
六杆直线运动机构		八杆直线运动机构
<p><math>CE = GF</math> <math>EG = CF</math> 过 <math>A, D, M</math> 诸点的线平行于 <math>EF</math>，如 <math>D</math> 点的轨迹经过 <math>A</math>，轨迹点 <math>M</math> 作直线运动，其轨迹 <math>MT</math> 垂直于 <math>AB</math> 如 <math>D</math> 点的轨迹不经过 <math>A</math>，且 <math>BA &lt; BD</math>，则 <math>M</math> 点轨迹为大圆弧，圆弧半径 <math>R = BD \times \frac{CF^2 - CE^2}{BD^2 - AB^2} \times \frac{AC \times AE}{CE^2}</math></p>	<p><math>AC = AE</math> <math>AB = BD</math> <math>CD = DE = CM = ME</math> 如 <math>D</math> 点的轨迹经过 <math>A</math>，轨迹点 <math>M</math> 作直线运动，其轨迹 <math>MT</math> 垂直于 <math>AB</math> 如 <math>D</math> 点的轨迹不经过 <math>A</math>，且 <math>BA &lt; BD</math>，<math>M</math> 点轨迹为大圆弧，圆弧半径 <math>R = BD \times \frac{AC^2 - CD^2}{BD^2 - AB^2}</math></p>	

## 2 瞬心线机构及互包络线机构

### 2.1 瞬心线机构的工作特点及设计计算的一般原理

#### (1) 特点及用途

瞬心线机构是以相对运动瞬心线作为廓形线，利用摩擦力来传动的高副机构。它主要用来：①实现主、从动件之间的变速传动；②改善组合机构的运动特性或动力特性，例如图 4-2-28 的椭圆齿轮（相当于节线为两条椭圆瞬心线）与曲柄滑块机构组合，使滑块的工作行程作近似的等速运动，并在回程具有急回特性；③协调平行工作机构的周期。

#### (2) 作纯滚动的条件

两绕定轴  $O_1$ 、 $O_2$  转动的瞬心线（如图 4-2-29 中的  $C_1$ 、 $C_2$ ）作纯滚动的两个运动条件如下

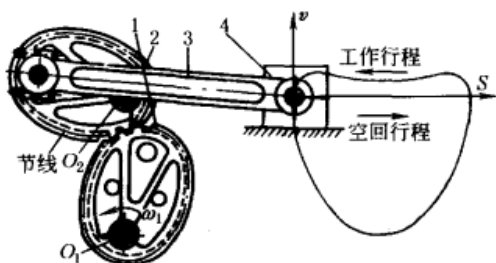


图 4-2-28

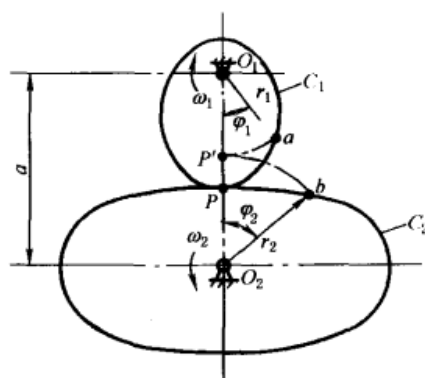


图 4-2-29

1) 根据三心定理，相对运动瞬心  $P$  与绝对运动瞬心  $O_1$ 、 $O_2$  必位于同一直线上，故  $O_1P \pm O_2P = O_1O_2$ ，或任何瞬时相互接触的两向径 ( $r_1$ 、 $r_2$ ) 之和等于中心距  $a$ 。

$$r_1 \pm r_2 = a \quad (4-2-18)$$

外接时用“+”号，内接时用“-”号。

2) 设  $t$  秒后，向径  $r_1$  与  $r_2$  恰好转至  $P'$  点相互接触，则瞬心线所滚过的两段弧长应相等。

$$\widehat{Pa} = \widehat{Pb}$$

或

$$r_1 d\varphi_1 = r_2 d\varphi_2$$

即传动比

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (4-2-19)$$

这样，每一瞬时，相对瞬心  $P$  将中心距  $a$  分成与角速度  $\omega$  成反比的两个线段。

#### (3) 瞬心线机构的设计计算

1) 瞬心线方程式 已知中心距  $a$ ，构件 1 的瞬心线  $C_1$  的方程  $r_1 = r_1(\varphi_1)$ ，求构件 2 的瞬心线  $C_2$  的方程：

$$\left. \begin{aligned} C_2: r_2 &= a - r_1(\varphi_1) \\ \varphi_2 &= \int_0^{\varphi_1} \frac{r_1 d\varphi_1}{r_2} = \int_0^{\varphi_1} \frac{r_1(\varphi_1) d\varphi_1}{a - r_1(\varphi_1)} = -\varphi_1 + a \int_0^{\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{a - r_1(\varphi_1)} \end{aligned} \right\} \quad (4-2-20)$$

已知中心距  $a$ ，传动比函数  $i_{21} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \varphi_2'(\varphi_1)$ ，求瞬心线  $C_1$  和瞬心线  $C_2$  的方程：

$$C_1: r_1 = \frac{a\varphi_2'(\varphi_1)}{1 + \varphi_2'(\varphi_1)} \quad (4-2-21)$$

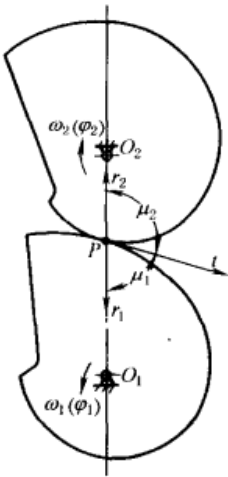


图 4-2-30

$$C_2 : r_2 = \frac{a}{1 + \varphi_2'(\varphi_1)}, \quad \varphi_2 = \int_0^{\varphi_1} \varphi_2'(\varphi_1) d\varphi_1 \quad (4-2-22)$$

2) 瞬心线在接触点的  $\mu$  角  $\mu$  角是瞬心线接触点的向径  $r$  和公切线正方向  $t$  之间的夹角 (图 4-2-30), 在瞬心线上任取一点为起点, 设瞬心线弧长增加的方向与转角  $\varphi$  的方向相反, 则瞬心线切线的正方向与弧长增加方向一致。

$\mu$  角的计算公式为:

$$\tan\mu = \frac{r}{\frac{dr}{d\varphi}} \quad (4-2-23)$$

对于主动轮:

$$\tan\mu_1 = \frac{r_1}{\frac{dr_1}{d\varphi_1}} = -\frac{i_{12} \pm 1}{i_{12}'} \quad (4-2-24)$$

对于从动轮:

$$\tan\mu_2 = \frac{r_2}{\frac{dr_2}{d\varphi_2}} = \frac{1 \pm i_{12}}{i_{12}'} \quad (4-2-25)$$

式中

$$i_{12}' = \frac{di_{12}}{d\varphi_1}$$

所以

$$\tan\mu_1 \pm \tan\mu_2 = 0$$

式中 “+” 号用于外接时, “-” 号用于内接时。即外接时  $\mu_1 + \mu_2 = 180^\circ$ , 内接时  $\mu_1 = \mu_2$ 。

3) 传动比函数  $i_{12} = f(\varphi_1)$

① 要使瞬心线具有平滑的外形,  $\mu$  角连续变化, 则要求传动比函数在  $\varphi_1$  变化区域内具有连续导数。

② 为避免瞬心线出现过陡的段落, 以利于力的传递, 则要求传动比函数为有限的值, 一般应使  $45^\circ \leq \mu \leq 135^\circ$  (即保证压力角  $\alpha = |\mu - 90^\circ| \leq 45^\circ$ )。

③ 当要求主动轮按某一方向旋转, 而从动轮旋转方向不变时, 则要求传动比函数为正值。

因此, 瞬心线机构的传动比函数应为有限正值的光滑曲线, 可为周期函数曲线或非周期函数曲线, 如图 4-2-31 所示。

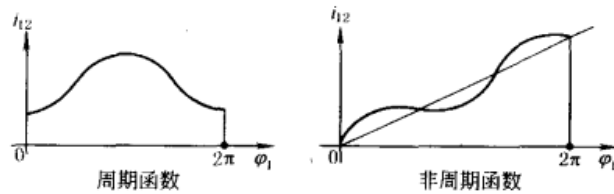


图 4-2-31

4) 封闭瞬心线 要求瞬心线机构能作连续转动时, 其瞬心线必须是封闭的。

① 封闭条件。要使主动轮为封闭曲线, 由瞬心线方程式

$$\begin{cases} r_1 = \frac{a}{1 + i_{12}} = r_1(\varphi_1) \\ i_{12} = f(\varphi_1) \end{cases}$$

可知必须使传动比函数是一个周期函数, 其周期  $T$  与主动轮旋转周期  $T_1$  之间满足关系式  $T = \frac{T_1}{n_1}$ , 周期数  $n_1$  为整

数。当  $\varphi_1 = \frac{360^\circ}{n_1}$  的整数倍时, 向径  $r_1$  的值重复出现, 即  $\varphi_1$  为  $0, \frac{360^\circ}{n_1}, \frac{2 \times 360^\circ}{n_1}, \dots, 360^\circ$  处, 向径  $r_1$  均相等, 廓线封闭。

要使与具有封闭瞬心线的主动轮相搭配的从动轮的瞬心线也是封闭曲线, 由方程式

$$r_2 = \frac{ai_{12}}{1 + i_{12}} = r_2(\varphi_1) \quad (4-2-26)$$

$$\varphi_2 = \int_0^{\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{i_{12}} \quad (4-2-27)$$

可知从动轮旋转周期  $T_2$  与  $T_1$  之间应满足关系式  $T = \frac{T_2}{n_2} = \frac{T_1}{n_1}$ , 周期数  $n_2$  也为整数。当  $\varphi_1 = \frac{360^\circ}{n_1}$  的整数倍, 而且  $\varphi_2 = \frac{360^\circ}{n_2}$  的整数倍时, 向径  $r_2$  的值重复出现, 廓线封闭。

② 封闭瞬心线机构的中心距  $a$ 。主动轮转过  $\varphi_1 = 360^\circ/n_1$  时, 从动轮转过的角度为

$$\varphi_2 = \frac{360^\circ}{n_2} = \int_0^{\frac{360^\circ}{n_1}} \frac{d\varphi_1}{i_{12}} = \int_0^{\frac{360^\circ}{n_1}} \frac{r_1(\varphi_1)}{a - r_1(\varphi_1)} d\varphi_1 \quad (4-2-28)$$

当主动轮瞬心线为一封闭曲线, 只有选取式 (4-2-28) 中解出的中心距  $a$  时, 才能保证从动轮瞬心线封闭。

5) 瞬心线周长  $S_1$ 、 $S_2$

$$S_i = n_i \int_0^{\frac{360^\circ}{n_i}} \sqrt{r_i(\varphi_i)^2 + r_i'(\varphi_i)^2} d\varphi_i \quad (4-2-29)$$

式中  $i=1$  或  $2$ 。

对于非圆齿轮, 其节线周长还应等于周节与齿数的乘积。

$$S_i = \pi m z_i \quad (4-2-30)$$

式中  $m$ ——模数;

$z_i$ ——齿数。

为满足式 (4-2-30) 往往需要改变某些参数, 如  $r_i(\varphi_i)$  等。

6) 瞬心线的曲率半径  $\rho$  当  $\rho > 0$  时, 曲线外凸;  $\rho < 0$  时, 曲线内凹;  $\rho = \infty$  时, 曲线成直线。瞬心线同时存在凹形与凸形时, 则必然存在一个拐点, 此处的  $\rho = \infty$ 。

曲率半径在极坐标系中的表达式为:

$$\rho = \frac{\left[ r^2 + \left( \frac{dr}{d\varphi} \right)^2 \right]^{3/2}}{r^2 + 2 \left( \frac{dr}{d\varphi} \right)^2 - r \frac{d^2 r}{d\varphi^2}}$$

对于主动轮, 瞬心线不出现凹形的条件为:

$$r_1^2 + 2 \left( \frac{dr_1}{d\varphi_1} \right)^2 - r_1 \frac{d^2 r_1}{d\varphi_1^2} \geq 0$$

经变换得

$$1 + i_{12} + i_{12}'' \geq 0 \quad (4-2-31)$$

同理得从动轮瞬心线不出现凹形的条件为:

$$r_2^2 + 2 \left( \frac{dr_2}{d\varphi_2} \right)^2 - r_2 \frac{d^2 r_2}{d\varphi_2^2} \geq 0$$

经变换得

$$1 + i_{12} + (i_{12}')^2 - i_{12} i_{12}'' \geq 0 \quad (4-2-32)$$

上述两式中:

$$i_{12}' = \frac{di_{12}}{d\varphi_1}, \quad i_{12}'' = d(i_{12}') / d\varphi_1$$

当非圆齿轮的节线有内凹部分时, 则不能采用滚齿加工, 而只能采用插齿或铣齿。

当节线为凸形时, 必须验算最小曲率半径  $\rho_{\min}$  处不产生根切的模数  $m$ 。

$$m \leq \frac{2\rho_{\min}}{z_{\min}} \quad (4-2-33)$$

取  $z_{\min} = 17$ 。

## 2.2 非圆齿轮节线设计

### 2.2.1 再现一个给定自变量的函数的非圆齿轮节线设计

表 4-2-6

名称	符号	公式	说明
给定自变量的函数	$y$	$y=f(x)$	函数在再现区间 $x_2 \geq x \geq x_1$ 内连续可导





名称	符号	公式	说明
比例系数	$k$	$k_1 = \frac{\varphi_1}{x - x_1}$	主动轮转角 $\varphi_1$ 和自变量 $x$ 成比例
		$k_2 = \frac{\varphi_2}{f(x) - f(x_1)}$	从动轮转角 $\varphi_2$ 和再现函数 $f(x)$ 成比例
比例系数的最大值	$k_{\max}$	$k_{1\max} = \frac{\varphi_{1\max}}{x_2 - x_1}$ $k_{2\max} = \frac{\varphi_{2\max}}{f(x_2) - f(x_1)}$	$k_{1\max}$ 、 $k_{2\max}$ 应取较大的值, 以保证给定函数有较高的再现精度。对不封闭的节线, 允许 $\varphi_{\max}$ 在 $300^\circ \sim 330^\circ$ 区间内再现。对封闭的节线, $\varphi_{\max} = 2\pi$
传动比函数	$i_{12}$	$i_{12} = \frac{k_1}{k_2 f'(x)}$	
主动轮节线方程式	$\varphi_1$ $r_1$	$\varphi_1 = k_1(x - x_1)$ $r_1 = \frac{a}{1 + i_{12}} = \frac{ak_2 f'(x)}{k_1 + k_2 f'(x)}$	$\varphi_1$ 的计量起点是 $x = x_1$
从动轮节线方程式	$\varphi_2$ $r_2$	$\varphi_2 = k_2[f(x) - f(x_1)]$ $r_2 = a - r_1 = \frac{ak_1}{k_1 + k_2 f'(x)}$	$\varphi_2$ 的计量起点是 $y = f(x_1)$

例 绘出再现函数  $y = Cx^2$  的非圆齿轮节线。已知: 中心距  $a = 50\text{mm}$ ,  $x_{\min} = 200$ ,  $x_{\max} = 1000$ ,  $C = 2.5 \times 10^{-6} = \text{常数}$ 。

解

1. 取比例系数

$$k_{1\max} = \frac{\varphi_{1\max}}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{300^\circ}{1000 - 200} = 0.375 \text{ 取 } k_1 = 0.35$$

$$k_{2\max} = \frac{\varphi_{2\max}}{C(x_{\max}^2 - x_{\min}^2)} = \frac{300^\circ}{2.5 \times 10^{-6} \times (1000^2 - 200^2)} = 125$$

取  $k_2 = 125$ 。

2. 传动比函数

$$i_{12} = \frac{k_1}{k_2 y'} = \frac{k_1}{2k_2 Cx} = \frac{0.35}{2 \times 125 \times 2.5 \times 10^{-6} x} = \frac{560}{x}$$

3. 节线方程式

主动轮:

$$\varphi_1 = k_1(x - x_{\min}) = 0.35(x - 200)$$

$$r_1 = \frac{a}{1 + i_{12}} = \frac{50}{1 + \frac{560}{x}}$$

从动轮:

$$\varphi_2 = k_2 C(x^2 - x_{\min}^2) = 125 \times 2.5 \times 10^{-6} (x^2 - 200^2)$$

$$r_2 = a - r_1 = 50 - r_1$$

4. 计算数据如下表, 按比例尺 1:1 绘出非圆齿轮节线(如图 4-2-32)。

序号	1	2	3	4	5
$x$	200	400	600	800	1000
$\varphi_1$	$0^\circ$	$70^\circ$	$140^\circ$	$210^\circ$	$280^\circ$
$r_1/\text{mm}$	13.16	20.83	25.86	29.41	32.05
$\varphi_2$	$0^\circ$	$37.5^\circ$	$100^\circ$	$187.5^\circ$	$300^\circ$
$r_2/\text{mm}$	36.84	29.17	24.14	20.59	17.95

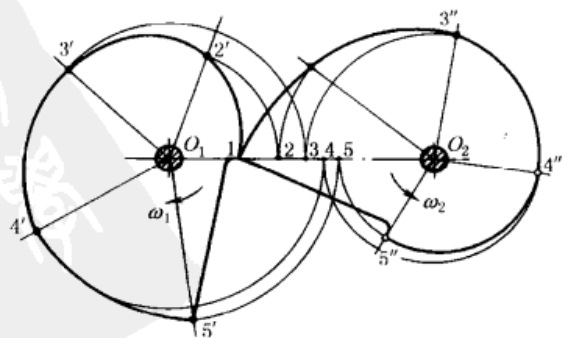


图 4-2-32

表 4-2-7 是 8 种典型的非圆齿轮节曲线和 5 种典型的非圆齿轮齿条传动的节曲线计算公式。

表 4-2-7

序号	运动要求及传动比	节曲线计算公式	
		齿轮-齿轮	齿轮-齿条
1	$\varphi_2 = (A + B\varphi_1^m)^n$ $i_{21} = Bmn\varphi_1^{m-1}(A + B\varphi_1^m)^{n-1}$	主动轮: $r_1 = \frac{aBmn\varphi_1^{m-1}(A + B\varphi_1^m)^{n-1}}{Bmn\varphi_1^{m-1}(A + B\varphi_1^m)^{n-1} + 1}$ 从动轮: $r_2 = a/[B^{\frac{m-1}{m}}mn\varphi_2^{\frac{n-1}{n}}(\frac{1}{\varphi_2^{\frac{1}{m}} - A})^{\frac{1}{m}} + 1]$	齿轮: $r_1 = Bmn\varphi_1^{m-1}(A + B\varphi_1^m)^{n-1}$ 齿条: $x = s = (A + B\varphi_1^m)^n$ $y = r_1$
2	$\varphi_2 = m \ln(A + B\varphi_1^n)$ $i_{21} = Bmn\varphi_1^{n-1}/(A + B\varphi_1^n)$	主动轮: $r_1 = \frac{aBmn\varphi_1^{n-1}}{A + B\varphi_1^n + Bmn\varphi_1^{n-1}}$ 从动轮: $r_2 = ae^{\frac{\varphi_2}{m}}/[e^{\frac{\varphi_2}{m}} + B^{\frac{1}{n}}mn(e^{\frac{\varphi_2}{m}} - A)^{\frac{n-1}{n}}]$	齿轮: $r_1 = Bmn\varphi_1^{n-1}/(A + B\varphi_1^n)$ 齿条: $x = s = m \ln(A + B\varphi_1^n)$ $y = r_1$
3	$\varphi_2 = A^{\varphi_1}$ $A$ 为大于 0 的常数 $i_{21} = A^{\varphi_1} \ln A$	主动轮: $r_1 = aA^{\varphi_1} \ln A / (1 + A^{\varphi_1} \ln A)$ 从动轮: $r_2 = a / (1 + A^{\ln \varphi_2 / \ln A} \ln A)$	齿轮: $r_1 = A^{\varphi_1} \ln A$ 齿条: $x = s = A^{\varphi_1}$ $y = r_1$
4	给定主动轮节曲线为对数螺旋线 $i_{21} = r_{10} e^{\varphi_1/m} / (a - r_{10} e^{\varphi_1/m})$ $ds/d\varphi_1 = r_{10} e^{\varphi_1/m}$	主动轮: $r_1 = r_{10} e^{\varphi_1/m}$ , $m, r_{10}$ 为常数 从动轮: $r_2 = (a - r_{10}) e^{-\varphi_2/m}$	齿轮: $r_1 = r_{10} e^{\varphi_1/m}$ 齿条: $x = s = \int_0^{\varphi_1} r_1 d\varphi_1$ $= mr_{10}(e^{\varphi_1/m} - 1)$ $y = r_1$
5	$S = A\varphi_1 + B\sin\varphi_1$ $i_{21} = ds/d\varphi_1 = A + B\cos\varphi_1$		齿轮: $r_1 = A + B\cos\varphi_1$ 齿条: $x = s = A\varphi_1 + B\sin\varphi_1$ $y = r_1$
序号	运动要求及传动比	节曲线方程(齿轮-齿轮)	
5'	$\varphi_1 = 0, i_{12} = i_0; \varphi_1 = \varphi_{1\max}, i = i_m$ $i_{12}$ 在此区间均匀变化, $i_m < i_0$ $i_{12} = i_0 - k\varphi_1$ $k = (i_0 - i_m) / \varphi_{1\max}$	主动轮: $r_1 = a / (1 + i_0 - k\varphi_1)$ 从动轮: $r_2 = a \frac{i_0 - k\varphi_1}{1 + i_0 - k\varphi_1}$ $\varphi_2 = -\frac{1}{k} \ln\left(1 - \frac{k\varphi_1}{i_0}\right)$	
6	$y = kx^2 \quad x_2 \geq x \geq x_1$ 令 $\varphi_1 = k_1(x - x_1)$ $\varphi_2 = k_2 k(x^2 - x_1^2)$ $i_{12} = k_1 / 2k_2 kx$ $k_1, k_2$ 为比例常数	主动轮: $r_1 = a / \left(1 + \frac{k_1}{2k_2 kx}\right)$ $\varphi_1 = k_1(x - x_1)$ 从动轮: $r_2 = a / \left(1 + \frac{2k_2 kx}{k_1}\right)$ $\varphi_2 = k_2 k(x^2 - x_1^2)$	
7	$y = \ln x, x_2 \geq x \geq x_1$ 令 $\varphi_1 = k_1(x - x_1)$ $\varphi_2 = k_2(\ln x - \ln x_1)$ 则 $i_{12} = k_1 x / k_2$ $k_1, k_2$ 为比例常数	主动轮: $r_1 = ak_2 / (k_1 x + k_2)$ $\varphi_1 = k_1(x - x_1)$ 从动轮: $r_2 = ak_1 x / (k_1 x + k_2)$ $\varphi_2 = k_2(\ln x - \ln x_1)$	
8	$y = A/(B - cx) \quad x_2 \geq x \geq x_1$ $A, B, C$ 为常数 令: $\varphi_1 = k_1(x - x_1) \quad \varphi_2 = k_2\left(\frac{A}{B - Cx} - \frac{A}{B - Cx_1}\right)$ $i_{12} = -k_1(B - Cx)^2 / k_2 AC$ $k_1, k_2$ 为比例常数	主动轮: $r_1 = \frac{aACk_2}{k_1(B - Cx)^2 + k_2 AC}$ $\varphi_1 = k_1(x - x_1)$ 从动轮: $r_2 = \frac{ak_1(B - Cx)^2}{k_1(B - Cx)^2 + k_2 AC}$ $\varphi_2 = k_2\left(\frac{A}{B - Cx} - \frac{A}{B - Cx_1}\right)$	

注: 表中  $A, B, C, m, n, k$  均为常数; 中心距  $a$  为给定值;  $i_{12} = \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} = \frac{1}{i_{21}}, i_{21} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{ds}{d\varphi_1}$ , 齿轮齿条传动, 以  $s$  取代  $\varphi_2$ 。

## 2.2.2 偏心圆齿轮与非圆齿轮共轭

一对齿数、模数、压力角和偏心距  $e$  均相同的偏心圆齿轮, 可以近似的代替一对全等的椭圆齿轮传动, 实现近似正弦规律变化的输出角速度。这种齿轮制造简单、经济。它有两种设计方法: ①取最小几何中心距为标准中心距, 而转动中心距略大于几何中心距; 两个齿轮均采用标准齿轮; 利用渐开线齿轮中心距的可分性来保证连续传动, 故应验算重合度。②取转动中心距等于最大几何中心距, 且为标准中心距, 为了避免传动过程中几何中心距缩小而引



起轮齿干涉,故应采用变位齿轮。两种方案的具体设计方法见文献[15]。

一对偏心圆齿轮的应用受到偏心距的限制,当要求从动轮的变速范围较大时,可采用偏心圆齿轮与非圆齿轮共轭,其设计公式见表 4-2-8。

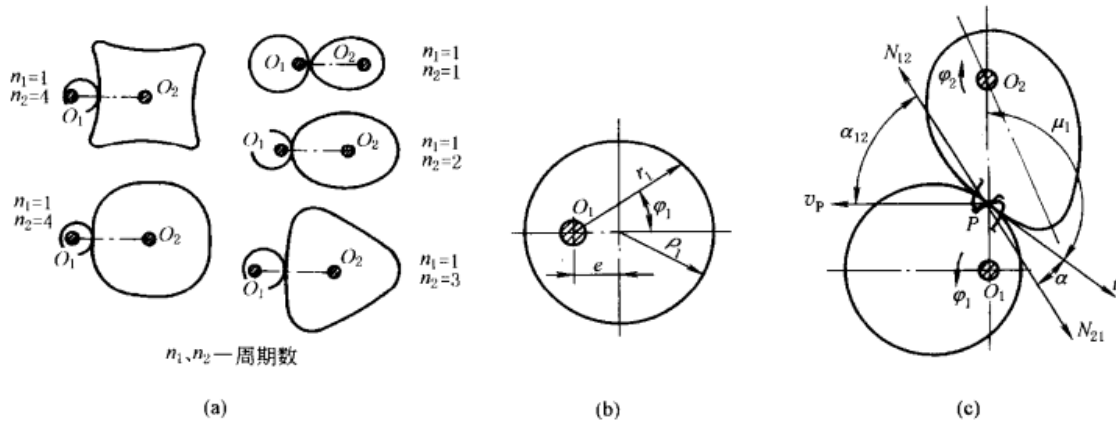


表 4-2-8

名称	符号	公式	说明
模数	$m$	$m$ 按 GB 1357—1987 取标准值,并满足强度要求	
齿数	$z$	$z_1 \geq 17, z_2 = iz_1 = n_2 z_1$	$i$ 为平均传动比, $n_1 = 1$ 时 $i = n_2$
偏心圆齿轮节线曲率半径	$\rho_1$	$\rho_1 = \frac{1}{2} m z_1 = e/\lambda$	$e$ 为偏心距, $\lambda = e/\rho_1$ 为偏心率
从动轮变速比	$K$	$K = \frac{(\rho_1 + e)(a + e - \rho_1)}{(\rho_1 - e)(a - e - \rho_1)} = \frac{\omega_{2max}}{\omega_{2min}}$	因 $n_1 = 1$ , 已知 $K$ , 并选定 $n_2$ 后可由左边两式联立求得 $a, e$ , 最好用计算机完成
非圆齿轮节线封闭时中心距	$a$	$\frac{360^\circ}{n_2} = a \int_0^{360^\circ} \frac{d\varphi_1}{a \mp e \cos \varphi_1 \mp \sqrt{\rho_1^2 - e^2 \sin^2 \varphi_1}} - \frac{360^\circ}{n_1}$	
非圆齿轮节线上凸段与凹段的最小曲率半径 $\rho_{2min}$ 非圆齿轮节线的曲率半径 齿轮节曲线不内凹条件	$\rho_{2min}$ $\rho_2$	$\rho_{2min凸} = \frac{\rho_1(\rho_1 - e)(a - \rho_1 + e)}{(\rho_1 - e)^2 + ae} > 0$ $\rho_{2min凹} = \frac{\rho_1(\rho_1 + e)(a - \rho_1 - e)}{(\rho_1 + e)^2 - ae} < 0$ $\rho_2 = \frac{\rho_1 r_1 (a \mp r_1)}{\pm r_1^2 - ae \cos \varphi_1}$ $\frac{(n_2 + 1)(n_2 - 2)}{4n_2} \lambda^3 + \lambda^2 - (n_2 - 1)\lambda + 1 \geq 0$	因 $n_1 = 1, n_2 = 1 \sim 3$ , 偏心圆齿轮取任意 $e$ 值, 非圆齿轮节线均不会出现凹形; 当 $n_2 = 4, \frac{e}{\rho_1} \leq 0.40$ 和 $n_2 = 5, \frac{e}{\rho_1} \leq 0.271$ 时, 非圆齿轮节线出现凹形
非圆齿轮节线最小曲率半径的校核		$\frac{2\rho_{2min凸}}{m} \geq 17$ $\frac{2\rho_{2min凹}}{m} > z_0$	验算在 $\rho_{2min凸}$ 处是否发生根切 验算在 $\rho_{2min凹}$ 处加工时插齿刀应有的齿数 $z_0$ , 并按内啮合传动验算是否发生过渡曲线干涉和齿廓重叠干涉
偏心圆齿轮节线的极坐标方程	$r_1$	$r_1 = e \cos \varphi_1 + \sqrt{\rho_1^2 - e^2 \sin^2 \varphi_1}$	
共轭的非圆齿轮节线的极坐标方程	$r_2$ $\varphi_2$	$r_2 = a \mp e \cos \varphi_1 \mp \sqrt{\rho_1^2 - e^2 \sin^2 \varphi_1}$ $\varphi_2 = a \int_0^{\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{a \mp e \cos \varphi_1 \mp \sqrt{\rho_1^2 - e^2 \sin^2 \varphi_1}} - \varphi_1$	表中 $\mp$ 号或 $\pm$ 号的上方符号用于外接传动, 下方符号用于内接传动

续表

名称	符号	公式	说明
传动比函数	$i_{12}$	$i_{12} = \frac{a}{e \cos \varphi_1 + \sqrt{\rho_1^2 - e^2 \sin^2 \varphi_1}} \mp 1$	
非圆齿轮副的齿廓压力角	$\alpha_{12}$	$\alpha_{12} = \mu_1 + \alpha - 90^\circ$ $= \arctan \left( \frac{-\sqrt{\rho_1^2 - e^2 \sin^2 \varphi_1}}{e \sin \varphi_1} \right) + \alpha - 90^\circ$ <p>式中 <math>\alpha</math> 为齿轮的齿形角, <math>\alpha = 20^\circ</math> 当 <math>\varphi_1 = 90^\circ, 270^\circ</math> 时, <math>\alpha_{12}</math> 分别有最大和最小值</p>	齿廓在节点 $P$ 啮合时, 其绝对速度 $v_p$ 与齿廓法向压力 $N_{12}$ 之间的夹角称压力角 $\alpha_{12}$ 。压力角的数值随 $\mu_1$ 角的变化而变化, 压力角的正负值仅表示齿形法线的象限位置, 并当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $ \alpha_{12\max} $ 应小于 $65^\circ$

### 2.2.3 椭圆-卵形齿轮及卵形齿轮传动

卵形齿轮是椭圆齿轮的变形。是通过保留椭圆齿轮径向的长度不变, 仅把极角缩小  $n_i$  倍而获得。即  $n_i = 1$  为原始椭圆,  $n_i = 2, 3, 4$  分别为 2 叶、3 叶和 4 叶卵形齿轮, 其转动中心位于形心(图 4-2-33)。其传动特点是从动件变速范围大; 转轴平衡, 可用于高速。

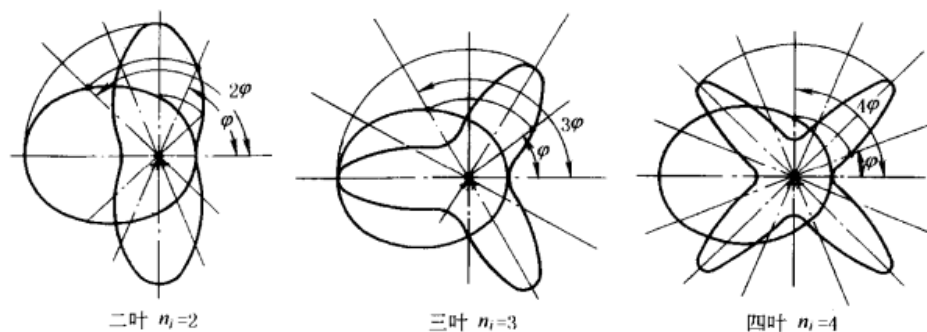


图 4-2-33

椭圆-卵形齿轮及卵形齿轮传动的计算见表 4-2-9。当为一对全等椭圆齿轮时,  $i = 1, n_1 = n_2 = 1$ ; 当为椭圆-卵形齿轮时,  $n_1 = 1, i = n_2$ ; 当为卵形齿轮传动时,  $i = n_2/n_1, n_1, n_2 \neq 1$ 。

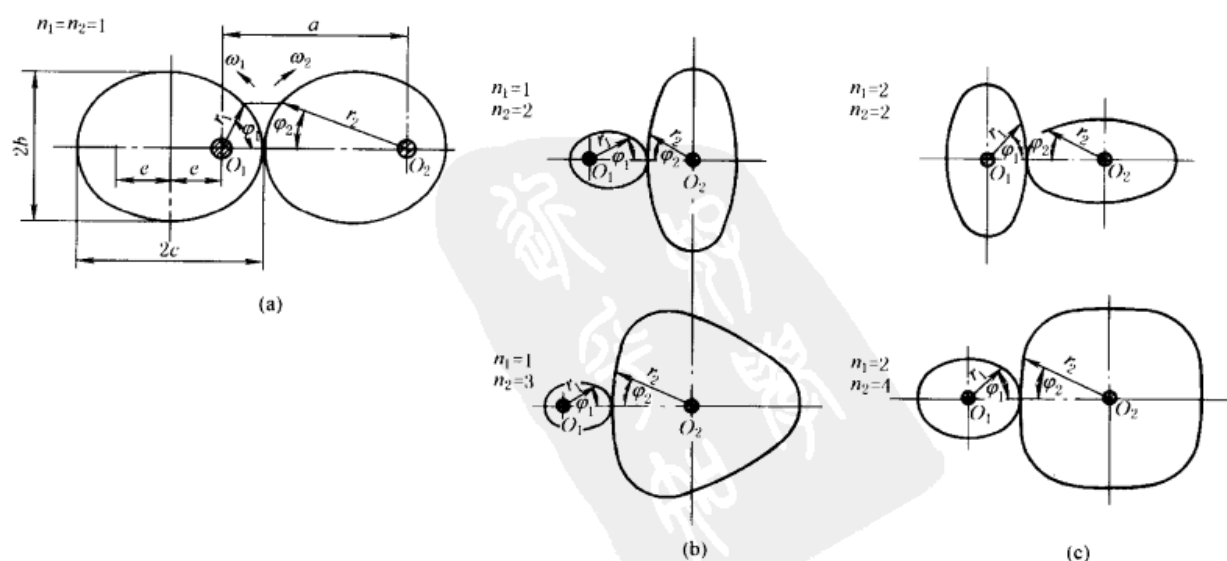


表 4-2-9

名 称	符 号	公 式 及 说 明
平均传动比	$i$	$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_2}{n_1}$ , $n_1, n_2$ 为极角缩小倍数, 即周期数
从动轮变速比	$K$	$K = \frac{i_{21 \max}}{i_{21 \min}} = \frac{(1 + \lambda_1) [\sqrt{1 + (i^2 - 1)(1 - \lambda_1^2)} + \lambda_1]}{(1 - \lambda_1) [\sqrt{1 + (i^2 - 1)(1 - \lambda_1^2)} - \lambda_1]}$ 以节曲线不出现内凹时的主动轮极限偏心率 $\lambda_{1 \lim}$ 代入 $\lambda_1$ 便得 $K_{\max}$
模数	$m$	应满足强度要求, 其值应符合 GB 1357-1987
初定齿数	$z$	$z_2 = iz_1$ , 并保证不发生根切, $n_1 = n_2 = i = 1$ 时 $z$ 应取奇数齿
节线周长	$S$	$S_i = 4C\sqrt{1 + \lambda_1(n_i^2 - 1)} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi = 4C\sqrt{1 + \lambda_1(n_i^2 - 1)} E$ $k = n_i \lambda_1 / \sqrt{1 + \lambda_1^2(n_i^2 - 1)}$ , $E$ 可根据 arc sink 查表 4-2-10
长半径	$C$	$C = S_i / 4E\sqrt{1 + \lambda_1(n_i^2 - 1)} = mz_i / 4E\sqrt{1 + \lambda_1(n_i^2 - 1)}$ 共轭的主、从动轮的 $C$ 为基本椭圆的长半径, 它们必相等, 也可由结构取定
焦距	$e$	$e = \lambda_1 C$ , $\lambda_1 = e/C$ 为主动轮的偏心率, 应保证节曲线不内凹
从动轮偏心率	$\lambda_2$	$\lambda_2 = \lambda_1 / \sqrt{i^2 - \lambda_1^2(i^2 - 1)}$
节曲线的曲率半径	$\rho$	$\rho_i = \frac{C(1 - \lambda_i^2) [(1 \pm \lambda_i \cos n_i \varphi_i)^2 + \lambda_i^2 n_i^2 \sin^2 n_i \varphi_i]^{3/2}}{(1 \pm \lambda_i \cos n_i \varphi_i)^3 [1 - \lambda_i(n_i^2 - 1) \cos n_i \varphi_i]} \quad i = 1, 2$
节曲线不出现凹形时主动轮的极限偏心率	$\lambda_{1 \lim}$	$\lambda_{1 \lim} = 1 / \sqrt{i^2 n_1^4 - 2n_1^2 + 1}$ 由 $\rho_i = 0$ 导出, 当 $i, n_1$ 取不同值时 $\lambda_{1 \lim}$ 的取值不同
节曲线不出现凹形时的最小曲率半径	$\rho_{\min}$	$\rho_{1 \min} = C(1 - \lambda_1^2) / [1 + \lambda_1(n_1^2 - 1)]$ $\rho_{2 \min} = C(1 - \lambda_1^2) i^2 / [\sqrt{i^2 - \lambda_1^2(i^2 - 1)} + \lambda_1(i^2 n_1^2 - 1)] \quad \lambda_1 \leq \lambda_{1 \lim}$
验算是否发生根切		$2\rho_{\min} / m \geq z_{\min} \quad z_{\min} = 2h_a^* / \sin^2 \alpha$ $\alpha$ 为齿轮的齿形角, $h_a^*$ 为齿顶高系数
压力角最大值	$\alpha_{12 \max}$	$\alpha_{12 \max} = \arctan(-\sqrt{1 - \lambda_1^2} / \lambda_1) + \alpha - 90^\circ$ $\alpha$ 为齿轮的齿形角, $ \alpha_{12 \max}  \leq 65^\circ$
从动轮为封闭节曲线时的中心距	$a$	$a = C[\sqrt{i^2 - \lambda_1^2(i^2 - 1)} \pm 1]$ 上方符号用于外啮合, 下方符号用于内啮合
主动轮节曲线方程	$r_1$	$r_1 = C(1 - \lambda_1^2) / (1 \pm \cos n_1 \varphi_1)$ 上方符号用于表头图 a、b、c 中 $i = n_1 = n_2$ 所示图形中 $\varphi_1$ 方向, 下方符号用于表头图中 $n_1 = 1, i = 2, 3$ 所示图形中 $\varphi_1$ 方向
从动轮节曲线方程	$r_2$ $\varphi_2$	$r_2 = C(1 - \lambda_2^2) / (1 \mp \lambda_2 \cos n_2 \varphi_2)$ $\varphi_2 = \frac{2}{n_2} \arctan \left( \frac{\sqrt{(\sqrt{i^2 - \lambda_1^2(i^2 - 1)} \pm 1)(1 \pm \lambda_1) \mp (1 - \lambda_1^2)}}{\sqrt{(\sqrt{i^2 - \lambda_1^2(i^2 - 1)} \pm 1)(1 \mp \lambda_1) \mp (1 - \lambda_1^2)}} \tan \frac{n_1 \varphi_1}{2} \right)$ 上方符号用于外啮合, 下方符号用于内啮合
瞬时传动比	$i_{12}$	$i_{12} = \omega_1 / \omega_2 = \frac{(1 - \lambda_1 \cos n_1 \varphi_1) \sqrt{i^2 - \lambda_1^2(i^2 - 1)} \pm \lambda_1(\lambda_1 - \cos n_1 \varphi_1)}{1 - \lambda_1^2}$ 上方符号用于外啮合, 下方符号用于内啮合

注: 1. 当节曲线出现凹形时, 必须验算在  $\rho_{\min}$  凹处加工时插齿刀应有的齿数  $z_0$ , 并按内啮合传动验算是否会发生过渡曲线干涉和齿廓重叠干涉。

2. 本表公式适用于高阶椭圆及一阶椭圆非圆齿轮的节曲线计算, 但应注意区分内、外啮合的符号, 并正确代入  $i, n_1, n$  的值。

表 4-2-10

椭圆积分数值表  $E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi$ 

arc sink	E	arc sink	E	arc sink	E	arc sink	E	arc sink	E	arc sink	E
0°	1.5708	15°	1.5442	30°	1.4675	45°	1.3506	60°	1.2111	75°	1.0764
1°	1.5707	16°	1.5405	31°	1.4608	46°	1.3418	61°	1.2015	76°	1.0686
2°	1.5703	17°	1.5367	32°	1.4539	47°	1.3329	62°	1.1920	77°	1.0611
3°	1.5697	18°	1.5326	33°	1.4469	48°	1.3238	63°	1.1826	78°	1.0538
4°	1.5689	19°	1.5283	34°	1.4397	49°	1.3147	64°	1.1732	79°	1.0468
5°	1.5678	20°	1.5238	35°	1.4323	50°	1.3055	65°	1.1638	80°	1.0401
6°	1.5665	21°	1.5191	36°	1.4248	51°	1.2963	66°	1.1545	81°	1.0338
7°	1.5649	22°	1.5141	37°	1.4171	52°	1.2870	67°	1.1453	82°	1.0278
8°	1.5632	23°	1.5090	38°	1.4092	53°	1.2776	68°	1.1362	83°	1.0223
9°	1.5611	24°	1.5037	39°	1.4013	54°	1.2681	69°	1.1272	84°	1.0172
10°	1.5589	25°	1.4981	40°	1.3931	55°	1.2587	70°	1.1184	85°	1.0127
11°	1.5564	26°	1.4924	41°	1.3849	56°	1.2492	71°	1.1096	86°	1.0086
12°	1.5537	27°	1.4864	42°	1.3765	57°	1.2397	72°	1.1011	87°	1.0053
13°	1.5507	28°	1.4803	43°	1.3680	58°	1.2301	73°	1.0927	88°	1.0026
14°	1.5476	29°	1.4740	44°	1.3594	59°	1.2206	74°	1.0844	89°	1.0008

## 2.3 互包络线机构的工作特点

互包络线机构是在接触处有滚有滑的高副机构，如齿轮机构，凸轮机构以及其他曲线廓形构件间的啮合传动。

### (1) 被包络线与包络线

如图 4-2-34。设共轭曲线  $K_1$ 、 $K_2$  分别固结于一对瞬心线  $C_1$ 、 $C_2$  上，当瞬心线绕轴心  $O_1$ 、 $O_2$  以  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  转动时，共轭曲线  $K_1$ 、 $K_2$  组成既滚又滑的高副。过  $K_1$ 、 $K_2$  共轭接触点  $M$  的法线必通过此瞬时瞬心线  $C_1$ 、 $C_2$  的接触点  $P$ ，即通过相对运动瞬心。

今对整个机构加上一个绕  $O_2$  的  $-\omega_2$ ，使从动件  $C_2$ 、 $K_2$  静止不动，而主动件  $C_1$  沿  $C_2$  依次纯滚到  $P'$ 、 $P''$ 、 $P'''$  等位置；同时  $K_1$  沿  $K_2$  滚滑到  $M'$ 、 $M''$ 、 $M'''$  等位置，可见  $K_2$  将包络各个位置的  $K_1$  曲线，称  $K_2$  为包络曲线， $K_1$  为被包络曲线。反之， $K_1$  将包络各个位置的  $K_2$  曲线，故  $K_1$ 、 $K_2$  互相包络，称互包络线或共轭曲线。

可用  $K_1$  对  $K_2$  的推压传动来实现瞬心线机构  $C_1$ 、 $C_2$  纯滚动时的瞬时传动比  $i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P}{O_1P}$ 。

### (2) 滑动速度

$K_1$ 、 $K_2$  在  $M$  点的相对滑动速度  $v_{M(K_1/K_2)}$  等于其相对角速度  $(\omega_1 - \omega_2)$  与接触点  $M$  至对应相对瞬心  $P$  间距离  $PM$  的乘积，其方向垂直于  $PM$ ；

$$v_{M(K_1/K_2)} = (\omega_1 - \omega_2)PM = -v_{M(K_2/K_1)}$$

### (3) 压力角

从动件上接触点的受力方向（不计摩擦）和其绝对速度的方向间的夹角，为该点压力角。互包络线机构可在设计时控制其压力角  $\alpha_M$  不超过一定的许用值来保证具有良好的传动特性。

### (4) 互包络线机构的运动条件

设  $K_1$ 、 $K_2$  是在给定共轭运动下的一对互包络曲线。设共轭运动为 1、2 两构件绕  $O_1$ 、 $O_2$  的转动  $\varphi_1$  和  $\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_1)$ ，以及  $O_2$  相对  $O_1$  的移动  $f=f(\varphi_1)$ ， $h=h(\varphi_1)$ 。此时互包络线  $K_1$ 、 $K_2$  应满足下列三个运动条件（图 4-2-35）。



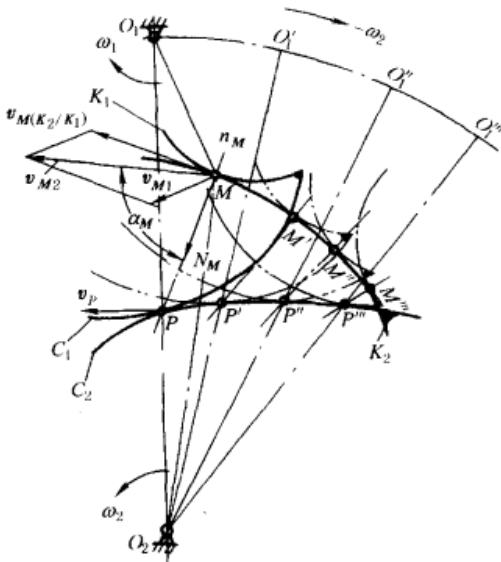


图 4-2-34

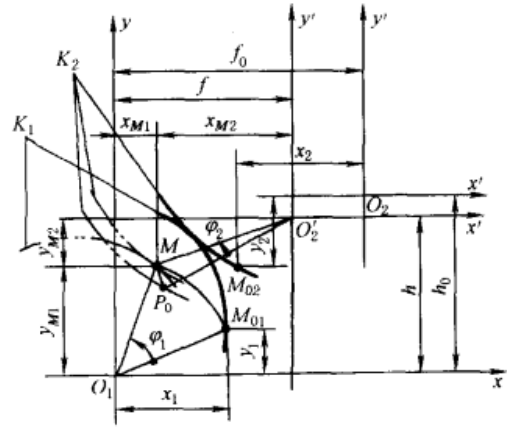


图 4-2-35

1)  $K_1$ 、 $K_2$  上的任一一对对应共轭点, 当处于共轭接触位置时, 必须重合。即  $M_{01}(x_1, y_1)$  转动  $\varphi_1$  时,  $M_{02}(x_2, y_2)$  点移动  $(f_0 - f)$ 、 $(h_0 - h)$ , 并且又转动了  $\varphi_2$ , 两点将在  $M$  点  $(x_{M1}, y_{M1})$ 、 $(x_{M2}, y_{M2})$  接触。则

$$\left. \begin{aligned} x_1 \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1 &= x_{M1} = x_{M2} + f = x_2 \cos \varphi_2 + y_2 \sin \varphi_2 + f \\ x_1 \sin \varphi_1 + y_1 \cos \varphi_1 &= y_{M1} = y_{M2} + h = -x_2 \sin \varphi_2 + y_2 \cos \varphi_2 + h \end{aligned} \right\}$$

2)  $K_1$ 、 $K_2$  两曲线在共轭接触点  $M$  处必须相切, 即具有相同的斜率。

$$\left( \frac{dy_1}{dx_1} \right)_M = \frac{\frac{dy_1}{dx_1} + \tan \varphi_1}{1 - \left( \frac{dy_1}{dx_1} \right) \tan \varphi_1} = \frac{\frac{dy_2}{dx_2} - \tan \varphi_2}{1 + \left( \frac{dy_2}{dx_2} \right) \tan \varphi_2} = \left( \frac{dy_2}{dx_2} \right)_M$$

3) 在共轭接触点  $M$  处,  $K_1$ 、 $K_2$  的相对滑动速度必沿着其公切线方向, 或相对滑动速度必垂直于其公法线。

$$\frac{x_{M1} + \left( \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \right) x_{M2} - \frac{dh}{d\varphi_1}}{-y_{M1} - \left( \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \right) y_{M2} - \frac{df}{d\varphi_1}} = \frac{\frac{dy_1}{dx_1} + \tan \varphi_1}{1 - \left( \frac{dy_1}{dx_1} \right) \tan \varphi_1}$$

化简得<sup>[16]</sup>:

$$\left[ \left( h \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} - \frac{df}{d\varphi_1} \right) \frac{dy_1}{dx_1} + f \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} + \frac{dh}{d\varphi_1} \right] \cos \varphi_1 - \left[ \left( f \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} + \frac{dh}{d\varphi_1} \right) \frac{dy_1}{dx_1} - h \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} + \frac{df}{d\varphi_1} \right] \sin \varphi_1 = \left( 1 + \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \right) \left( x_1 + y_1 \frac{dy_1}{dx_1} \right)$$

## 2.4 互包络线机构的设计

互包络线机构的设计主要可归纳为两类问题。

① 按给定的主、从动件间运动规律, 先求出能实现这种要求的瞬心线机构, 然后通过瞬心线作出一对共轭的互包络线。非圆齿轮机构就是最典型的例子, 先按瞬心线机构原理设计出一对非圆齿轮节线, 然后再按互包络线机构原理设计其齿廓曲线。这对创设新型齿廓的齿轮传动很有用处。

② 按给定主、从动件间运动规律  $\varphi_2(\varphi_1)$  或  $S_2(\varphi_1)$  和被包络曲线  $K_1$ , 求与其共轭的包络曲线  $K_2$ 。凸轮廓线设计是这类的最典型的例子。凸轮机构从动件的接触形状(尖端、平底、滚子)即为给定的被包络曲线  $K_1$ , 凸轮廓线即为待求的包络曲线  $K_2$ 。在油泵的齿廓曲线设计、曲线廓形构件传动的廓线设计以及用互包络法(又

称范成法) 加工特殊形状零件的刀具设计中, 都常用这类互包络线机构的设计原理。

(1) 互包络线机构的设计计算公式 (运动学法)

表 4-2-11

名称	计算公式及说明
$K_1$ 的曲线方程式	给定: 显式 $y = y(x)$ 或隐式 $F(x, y) = 0$ 或参变量式 $\begin{cases} x = x(\theta) \\ y = y(\theta) \end{cases}$
共轭运动	给定: $\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_1), f = f(\varphi_1), h = h(\varphi_1)$
$K_1$ 曲线上任一点 $(x_1, y_1)$ 处的切线斜率 $m_1$	$m_1 = \frac{dy_1}{dx_1} = -\frac{\frac{\partial F}{\partial x_1}}{\frac{\partial F}{\partial y_1}} = -\frac{\frac{dy_1}{d\theta}}{\frac{dx_1}{d\theta}}$
点 $(x_1, y_1)$ 进入到共轭接触位置 $M$ 时, 对应的转角 $\varphi_1$	$\varphi_1 = \arccos\left(\frac{W}{\sqrt{U^2 + V^2}}\right) - \delta$ 式中 $U = m_1\left(h\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} - \frac{df}{d\varphi_1}\right) + f\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} + \frac{dh}{d\varphi_1}$ $V = m_1\left(f\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} + \frac{dh}{d\varphi_1}\right) - h\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} + \frac{df}{d\varphi_1}$ $W = \left(1 + \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}\right)(x_1 + m_1 y_1)$ $\delta = \arctan \frac{V}{U}$ 一般情况下 $U, V, W, \delta$ 是 $\varphi_1$ 的函数, 可利用逐次逼近法求得对应的 $\varphi_1$ 值。 当 $U, V, W, \delta$ 不是 $\varphi_1$ 的函数时, 在主值范围内得两个 $\varphi_1$ 值。若 $ W  > \sqrt{U^2 + V^2}$ , 则无解, 表示点 $(x_1, y_1)$ 不能进入共轭接触
点 $(x_1, y_1)$ 进入到共轭接触位置 $M$ 时的坐标位置 $(x_{M1}, y_{M1})$	$x_{M1} = x_1 \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1$ $y_{M1} = x_1 \sin \varphi_1 + y_1 \cos \varphi_1$
点 $(x_1, y_1)$ 进入到共轭接触位置 $M$ 时, $K_2$ 的对应转角 $\varphi_2$ 及 $f, h$ 值	由共轭运动条件得: $\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_1)$ $f = f(\varphi_1)$ $h = h(\varphi_1)$
与 $K_1$ 曲线上点 $(x_1, y_1)$ 共轭接触的 $K_2$ 曲线上的对应点的坐标位置 $(x_2, y_2)$	$x_2 = x_1 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) - y_1 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - f \cos \varphi_2 + h \sin \varphi_2$ $y_2 = x_1 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) + y_1 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) - f \sin \varphi_2 - h \cos \varphi_2$
$K_2$ 曲线上点 $(x_2, y_2)$ 处的切线斜率 $m_2$	$m_2 = \frac{dy_2}{dx_2} = \frac{(1 - m_1 \tan \varphi_1) \tan \varphi_2 + (m_1 + \tan \varphi_1)}{(1 - m_1 \tan \varphi_1) - (m_1 + \tan \varphi_1) \tan \varphi_2}$

注: 本表按外啮合情况给出公式, 对内啮合时  $\varphi_2$  应以负值代入。

表 4-2-11 给出的公式是基于运动学法导出的。也可用包络法推出相应的计算公式为:

$$\left. \begin{aligned} F_1(x, y, \alpha) &= 0 \\ \partial F_1(x, y, \alpha) / \partial \alpha &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4-2-34)$$

第一式为被包络线族的方程, 其中  $\alpha$  为被包络线族的位置参数。消去二式中的  $\alpha$ , 可得到包络线的方程  $F_2(x, y) = 0$ ; 如无法消去  $\alpha$ , 则得到包络线的方程为  $x = x(\alpha), y = y(\alpha)$ 。



(2) 互包络线机构的设计计算举例

表 4-2-12

机构名称	内齿油泵齿廓线 ( $i_{21} = \frac{6}{5}$ )	旋转发动机廓线 ( $i_{21} = \frac{3}{2}$ )
简图		
$K_1$ 曲线方程	给定参变量方程(系体为圆弧曲线) $x_1 = a - \rho \cos \theta, y_1 = -\rho \sin \theta$	给定参变量方程(转子曲线锐化为一尖点) $x_1 = a, y_1 = 0$
共轭运动	给定 $\varphi_2 = i_{21} \varphi_1$ ( $i_{21}$ 为常数, $i_{21}$ 为正值表示外啮合, 负值表示内啮合) $f = f_0 = \text{常数} \left( 0 < f_0 < \left  \frac{a(1+i_{21})}{i_{21}} \right  \right), h = 0$	
$m_1$	$m_1 = \frac{dy_1}{dx_1} = \frac{-\rho \cos \theta}{\rho \sin \theta} = -\frac{1}{\tan \theta}$	尖点处 $m_1$ 可为任何值, 设 $m_1 = -\frac{1}{\tan \theta}$ , 其中 $\theta$ 为参变量
计算项目	$U = f_0 i_{21}, V = -\frac{f_0 i_{21}}{\tan \theta}, W = a(1 + i_{21})$ $\delta = \arctan \left( -\frac{1}{\tan \theta} \right) = \theta - \frac{\pi}{2}$ $\varphi_1 = \arccos \left[ \frac{a(1+i_{21}) \sin \theta}{f_0 i_{21}} \right] - \theta + \frac{\pi}{2}$ 令 $\sin \mu = \frac{a(1+i_{21}) \sin \theta}{f_0 i_{21}}$ , 且 $-\frac{\pi}{2} \leq \mu \leq \frac{\pi}{2}, \arccos(\sin \mu) = \pm \left( \frac{\pi}{2} - \mu \right)$ 则第一支叶: $\varphi_1 = \pi - \mu - \theta$ , 第二支叶: $\varphi_1 = \mu - \theta$ 备注: 对曲线锐化为一尖点时, 认为具有切线斜率为 $-\frac{1}{\tan \theta}$ 的尖点进入共轭接触位置	
$x_{M1}$ $y_{M1}$	第一支叶: $x_{M1} = -a \cos(\mu + \theta) + \rho \cos \mu$ $y_{M1} = a \sin(\mu + \theta) - \rho \sin \mu$ 第二支叶: $x_{M1} = a \cos(\mu - \theta) - \rho \cos \mu$ $y_{M1} = a \sin(\mu - \theta) - \rho \sin \mu$	第一支叶: $x_{M1} = -a \cos(\mu + \theta)$ $y_{M1} = a \sin(\mu + \theta)$ 第二支叶: $x_{M1} = a \cos(\mu - \theta)$ $y_{M1} = a \sin(\mu - \theta)$
$\phi_2$	第一支叶: $\phi_2 = i_{21}(\pi - \mu - \theta)$ 第二支叶: $\phi_2 = i_{21}(\mu - \theta)$	

续表

机构名称	内齿油泵齿廓线 ( $i_{21} = \frac{6}{5}$ )	旋转发动机廓线 ( $i_{21} = \frac{3}{2}$ )
计算项目	第一支叶(图中 $bc$ 段曲线) $x_2 = a \cos[(1 + i_{21})(\pi - \mu - \theta)] - \rho \cos[-i_{21}\theta + (1 + i_{21})(\pi - \mu)] - f_0 \cos[i_{21}(\pi - \mu - \theta)]$ $y_2 = a \sin[(1 + i_{21})(\pi - \mu - \theta)] - \rho \sin[-i_{21}\theta + (1 + i_{21})(\pi - \mu)] - f_0 \sin[i_{21}(\pi - \mu - \theta)]$	第一支叶(图中 $bc$ 段曲线) $x_2 = a \cos[(1 + i_{21})(\pi - \mu - \theta)] - f_0 \cos[i_{21}(\pi - \mu - \theta)]$ $y_2 = a \sin[(1 + i_{21})(\pi - \mu - \theta)] - f_0 \sin[i_{21}(\pi - \mu - \theta)]$
	第二支叶(图中 $db$ 段曲线) $x_2 = a \cos[(1 + i_{21})(\mu - \theta)] - \rho \cos[-i_{21}\theta + (1 + i_{21})\mu] - f_0 \cos[i_{21}(\mu - \theta)]$ $y_2 = a \sin[(1 + i_{21})(\mu - \theta)] - \rho \sin[-i_{21}\theta + (1 + i_{21})\mu] - f_0 \sin[i_{21}(\mu - \theta)]$	第二支叶(图中 $db$ 段曲线) $x_2 = a \cos[(1 + i_{21})(\mu - \theta)] - f_0 \cos[i_{21}(\mu - \theta)]$ $y_2 = a \sin[(1 + i_{21})(\mu - \theta)] - f_0 \sin[i_{21}(\mu - \theta)]$
$m_2$	第一支叶( $bc$ 段) $m_2 = \frac{[\tan\theta - \tan(\mu + \theta)] \tan[i_{21}(\pi - \mu - \theta)] - [1 + \tan\theta \tan(\mu + \theta)]}{[\tan\theta - \tan(\mu + \theta)] + [1 + \tan\theta \tan(\mu + \theta)] \tan[i_{21}(\pi - \mu - \theta)]}$ 第二支叶( $db$ 段) $m_2 = \frac{[\tan\theta + \tan(\mu - \theta)] \tan[i_{21}(\mu - \theta)] - [1 - \tan\theta \tan(\mu - \theta)]}{[\tan\theta + \tan(\mu - \theta)] + [1 - \tan\theta \tan(\mu - \theta)] \tan[i_{21}(\mu - \theta)]}$	

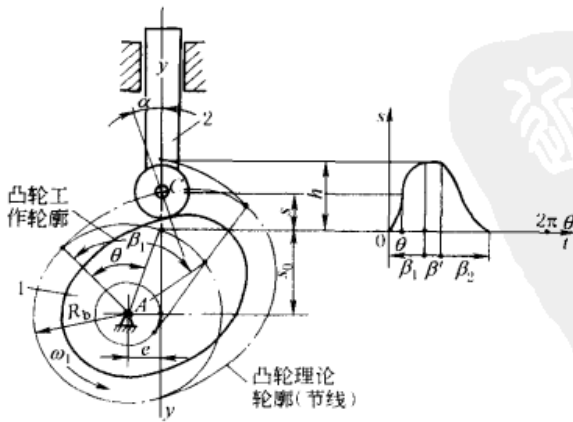
### 3 凸轮机构

凸轮机构是使从动件作预期规律运动的高副机构。其主要优缺点如下。

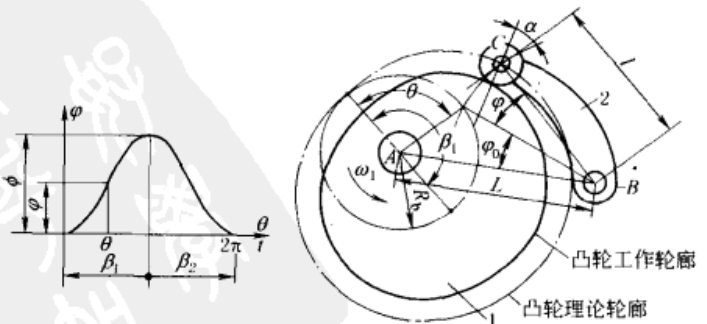
优点：①从动件的运动规律可以任意拟定，凸轮机构可用于对从动件运动规律要求严格的地方，也可以用于要求从动件作间歇运动的地方，其运动时间与停歇时间的比例以及停歇次数都可以任意拟定。可以高速启动，动作准确可靠。②只要设计相应的凸轮轮廓，就可以使从动件按拟定的规律运动。一般中、低速凸轮的运动设计比较简单。③由于数控机床及计算机的广泛应用，特别是近年来可以实现计算机辅助设计与制造，使凸轮轮廓的加工并不十分困难。

缺点：①在高副接触处难以保证良好的润滑，又因其比压较大，故容易磨损，为了保持必要的寿命，传递动力不能过大。②高速凸轮机构中，其高副接触处的动力学特性比较复杂，精确分析与设计都比较困难。

#### 3.1 凸轮机构的术语及一般设计步骤



(a) 直动滚子从动件盘形凸轮机构



(b) 摆动滚子从动件盘形凸轮机构

表 4-2-13

术语及符号

术语及符号	定义	术语及符号	定义
凸轮	具有控制从动件运动规律的曲线轮廓(或沟槽)的构件,它可以是主动件,也可以是从动件 <sup>①</sup>	回程运动角 $\beta_2$	在回程阶段,从动件由距凸轮转动中心最远位置回到最近位置时相应的凸轮转角
从动件	运动规律受凸轮轮廓控制的构件	从动件的位移 $s, \phi$	从起始位置起,经过时间 $t$ 或凸轮旋转 $\theta$ 角后,从动件移动的距离 $s$ 或摆动的角度 $\phi$
凸轮工作轮廓	直接与从动件接触的凸轮轮廓曲线	从动件的行程 $h, \phi$	移动从动件由离凸轮转动中心最近的位置到最远位置的距离为推程;反之,移动从动件从最远位置到最近位置的距离为回程;移动从动件在推程或回程中移动的距离称为行程,用 $h$ 表示。对于摆动从动件的行程则为摆动的角度 $\phi$
凸轮机构的压力角 $\alpha$	在从动件与凸轮的接触点上,从动件所受正压力方向(与凸轮廓线在该点的法线重合)与其速度方向之间所夹的锐角,也简称压力角	起始位置	从动件在距凸轮转动中心最近且刚开始运动时机构所处的位置,也即推程开始时的机构位置
基圆、基圆半径 $R_b$	以凸轮转动中心为圆心,以凸轮理论轮廓的最短向径为半径所画的圆称基圆;其半径称基圆半径	偏距 $e$	直动从动件的移动方位线到凸轮转动中心的距离,其值有正负之分,当凸轮顺时针向旋转而从动件位于 $A$ 点左侧时 $e$ 为正,这对减小 $\alpha$ 有利。反之 $e$ 为负,对 $\alpha$ 不利。当凸轮逆时针旋转时,从动件位于 $A$ 点左侧时, $e$ 为负,反之为正。
凸轮理论轮廓(凸轮节线)	在从动件与凸轮的相对运动中,从动件上的参考点(从动件的尖端,或者滚子中心,或者平底中点,在图中为滚子中心 $C$ ) 在凸轮平面上所画的曲线	摆杆长度 $l$	摆动从动件转动中心到滚子中心或尖端的距离
凸轮转角 $\theta$	由起始位置开始,经过时间 $t$ 后,凸轮转过的角度,通常凸轮作等速转动	中心距 $L$	摆杆转动中心到凸轮转动中心的距离
推程运动角 $\beta_1$	在推程阶段,从动件由离凸轮转动中心最近位置到达最远位置时相应的凸轮转角		
远(近)休止角 $\beta'$	从动件在距凸轮转动中心最远(近)的位置上停歇时相应的凸轮转角		

① 当以凸轮作为输出构件,而以另一形状简单的连架杆作为主动件时,称为反凸轮机构。

表 4-2-14

凸轮的一般设计步骤

步骤	说明
1. 确定从动件的运动规律	<p>主要根据从动件在机器中所要求完成的运动、凸轮转速以及加工凸轮轮廓的技术水平等确定。可参考第 4 篇第 2 章 3.5 节</p> <p>对于一般中等尺寸的凸轮机构,凸轮转速 <math>n</math> 大致划分为:低速(<math>n \leq 100r/min</math>)、中速(<math>100r/min &lt; n &lt; 200r/min</math>)及高速(<math>n \geq 200r/min</math>)三种</p>
2. 确定凸轮机构的类型(包括封闭方式)及结构尺寸	<p>根据凸轮轴与从动件的相对位置及其所占空间的大小,凸轮的转速,从动件的行程、重量及运动方式(移动或摆动)、载荷大小等条件来确定类型,可参考 3.2 节。然后再确定 <math>e</math> 或 <math>L, l</math> 等尺寸的大小</p>
3. 设计凸轮轮廓	<p>滚子从动件凸轮</p> <p>(1)参考表 4-2-17 确定许用压力角的大小</p> <p>(2)参考 3.4 节确定 <math>R_b, R_r</math> 及滚子轴径 <math>r</math></p> <p>(3)按表 4-2-19 或表 4-2-29、表 4-2-31 用作图法或分析法设计凸轮轮廓</p> <p>(4)按表 4-2-31 检查 <math>\alpha_{max}</math> 是否过大, <math>\rho_{min}</math> 是否过小</p>
	<p>平底从动件凸轮</p> <p>参考 3.7 节</p> <p>(1)确定或拟定 <math>R_b, e</math> 等</p> <p>(2)按表 4-2-19 或表 4-2-34、表 4-2-35 用作图法或分析法设计凸轮廓线</p> <p>(3)按表 4-2-35 求出 <math>\rho_{min}</math>, 检查 <math>\rho_{min}</math> 是否过小</p>
4. 设计凸轮结构,选择材料、尺寸公差、表面粗糙度、画工作图等	
5. 其他	<p>根据需要(例如对于高速凸轮机构)进行运动分析、动态静力分析、动力学分析以及试验分析等,然后修正设计。若用弹簧,则为设计弹簧提供数据</p>

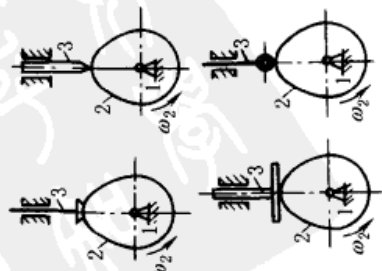
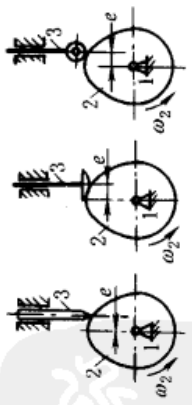
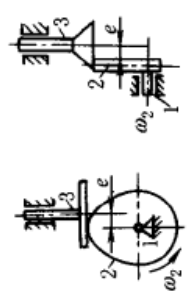
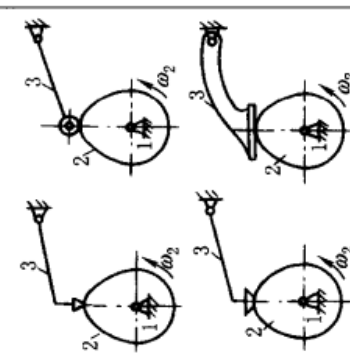
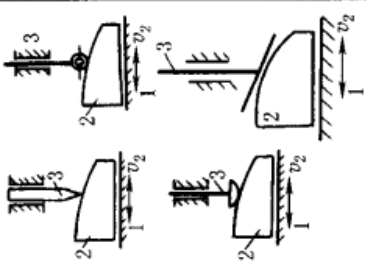
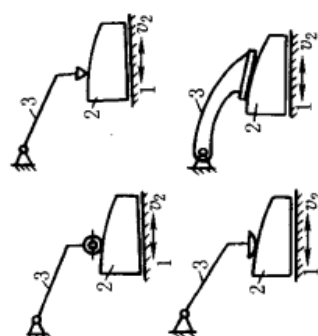
注: 1. 当对从动件仅有行程大小要求时,可采用便于加工的简单几何曲线(如圆弧、直线等)作为凸轮廓线,参考第 4 篇第 2 章 3.8 节。

2.  $\rho_{cmin}$ —凸轮理论轮廓最小曲率半径;  $\rho_{min}$ —凸轮工作轮廓最小曲率半径。

### 3.2 凸轮机构的基本型式及封闭方式

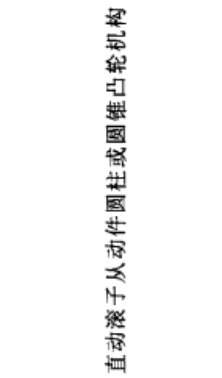
表 4-2-15

凸轮机构的基本型式及特点

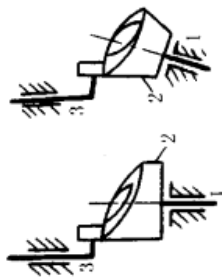
盘形凸轮机构		移动凸轮机构		
<p>对心直动从动件</p> 	<p>偏置直动从动件</p>  <p>偏置可以改善关键位置的受力情况,但其他位置就要差些;设计比较复杂,制造安装的要求较高。<math>\omega</math> 的方向为有利偏置,反之则为不利偏置,大小要适当,可根据凸轮机构结构及受力情况等条件确定,建议其 <math>e \leq R_n/4</math></p>  <p>偏置不影响 3 的运动,但影响导路受力情况,平底直动从动件凸轮机构的压力角为恒值 右图平底磨损分散,但 <math>e</math> 不能过大</p>	<p>摆动从动件</p>  <p>摆动从动件比直动从动件的摩擦阻力小,因而许用压力角较大,机构体积小,结构简单、制造容易,故应用较广;但按参数正确设计的方法比较复杂</p>	<p>直动从动件</p> 	<p>摆动从动件</p> 
<p>平面凸轮机构</p>		<p>从动件、移动凸轮设计、制造简单、精度较高,但因凸轮作往复移动,故不宜用在高速场合 右图,从动件受力情况好,不易自锁;当从动件的速度 <math>v_3</math> 与 <math>v_2</math> 正交时,是摆杆的最高位置</p>		



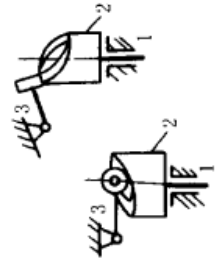
空间凸轮机构



直动滚子从动件圆柱或圆锥凸轮机构



摆动滚子从动件圆柱凸轮机构



空间凸轮机构特点:①从动件的运动平面与凸轮的运动平面互相垂直或成一角度(平面凸轮机构中二者互相平行);②与平面凸轮机构比较,从动件能完成的移动行程较大,而能完成的摆角较小


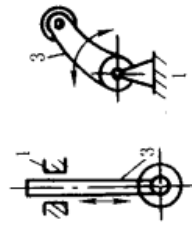
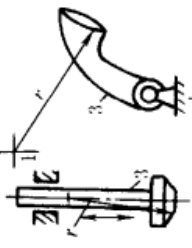
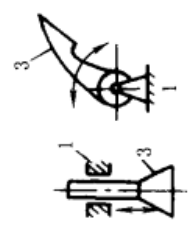
从动件类型	1. 尖端从动件	2. 滚子从动件	3. 曲面从动件	4. 平底从动件
<p>结构简单,不论基圆半径大小如何,尖端总能与凸轮轮廓上的点依次接触。但易磨损,磨损后,使从动件运动失真。用于低速及受力不大的场合</p>  <p>耐磨损,可传递较大的动力,但结构复杂,尺寸重量大,不易润滑,滚子轴常受结构限制,强度较低。广泛应用于低速和中速,其改进结构可用于高速</p>  <p>多数平底与其速度方向垂直,因此受力情况好,传动效率高,与凸轮接触面间易形成楔形油膜,易润滑,结构维护简单、体积小,重量轻,但不能与内凹或直线轮廓工作,且平底不能太长。多用于高速小型凸轮机构</p>  <p><math>r = 250 \sim 7500\text{mm}</math> 在有机构变形或安装偏差情况下不改变其接触状态,可避免用滚子或平底时因偏斜而使载荷集中,应力增高的缺点</p> 				

表 4-2-16

凸轮机构的封闭方式<sup>[17,18]</sup>

封闭方式	图例及说明	封闭方式	图例及说明
力封闭	<p>(a) (b)</p>	双面凸轮与双滚子配合	<p>(a) (b)</p>
沟槽凸轮与滚子配合	<p>(a) (b) (c)</p>	共轭凸轮与双平底配合	<p>(a) (b)</p>
形封闭	<p>图 a、c 是形封闭中最简单的形式,但凸轮尺寸较大;为了使滚子能在槽内灵活转动,槽宽应略大于滚子直径;因有间隙,故不宜用于高速。图 b 是一种改进结构,消除了间隙,但增加了从动件的重量,提高了对凸轮轮廓的精度要求</p>	等径凸轮与双滚子配合	<p>从动件上的两个平底,分别与同轴转动的两个共轭凸轮相接触。通过调整两个平底间的平行距离,可使平底紧压在凸轮工作轮廓上。对凸轮机构的装配精度及凸轮加工精度要求较高</p>
共轭凸轮与双滚子配合	<p>(a) (b)</p>	等宽凸轮与双平底配合	<p>(a) (b)</p>
力封闭	<p>从动件上的两个滚子,分别与固定在同一根轴上的两个并列凸轮(即共轭凸轮)相接触。通过调整两个滚子的中心距使其紧压在各自的凸轮轮廓上,工作准确可靠,适用于高速重载。但其结构比较复杂,并且对装配精度和凸轮轮廓的加工精度要求较高</p>	<p>从动件上的两个滚子与同一凸轮轮廓相接触,从动件的移动方位线通过凸轮转动中心,凸轮轮廓上任意两个对应向径(在通过凸轮转动中心的同一直线上)之和恒等于两滚子的中心距。当<math>180^\circ</math>范围内的凸轮轮廓确定之后,另外的<math>180^\circ</math>范围内的轮廓即可根据等距原则确定,所以运动规律的选择受到限制</p>	

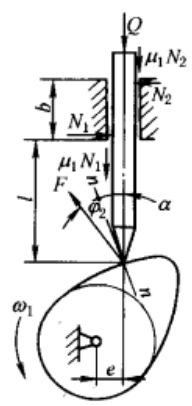
### 3.3 凸轮机构的压力角

压力角关系到凸轮机构传动时受力情况是否良好和凸轮尺寸是否紧凑。

在一定载荷和机构的运动规律决定以后，压力角愈大，一方面可使凸轮的基圆半径小，从而使凸轮尺寸较小；另一方面又会使机构受力情况变坏，不但使凸轮与从动件之间的作用力增大，而且使导路中的摩擦力相对地增大。当压力角大到某一临界值  $\alpha_c$  时，机构将发生自锁。在设计中，如果对机构尺寸没有严格要求时，可将基圆半径选大一些，以便减小压力角，使机构有良好的受力条件；反之若要求尽量减小凸轮尺寸时，所用基圆半径，应保证其最大压力角不超过许用值  $\alpha_p$ ，以及最小曲率半径  $\rho_{min}$  大于一定值，以免工作轮廓曲线过切而引起运动失真。对于直动滚子从动件盘形凸轮机构，有可能出现最大压力角的位置有三处：推程中部、近休止位置（远休止时的压力角永远小于近休止时的压力角）、回程中部。对于摆动从动件，除上述三个位置外，还有远休止位置。凸轮机构的结构、尺寸及运动参数确定后，凸轮机构的压力角值也是随着凸轮转角的变化而变化的（平底直动从动件除外），参见 3.6 节的表 4-2-29。

各种凸轮机构的压力角  $\alpha$  的计算公式见表 4-2-31、表 4-2-32、表 4-2-35。尖端从动件盘形凸轮机构的受力分析、临界压力角  $\alpha_c$  和许用压力角  $\alpha_p$  的公式和数据见表 4-2-17。

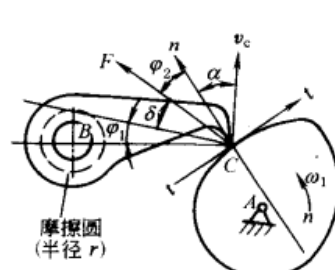
表 4-2-17 尖端从动件盘形凸轮的受力分析及临界压力角  $\alpha_c$ 、许用压力角  $\alpha_p$

受力图	计算公式	
	作用力 $F = \frac{Q}{\cos(\alpha + \varphi_2) - \mu_1 \left(1 + \frac{2l}{b}\right) \sin(\alpha + \varphi_2)}$ 临界压力角 $\alpha_c = \arctan \frac{1}{\mu_1 \left(1 + \frac{2l}{b}\right)} - \varphi_2$ 提高 $\alpha_c$ 的措施： ① 降低摩擦因数(用滚动代替滑动、加强润滑等) ② 加长导路长度 $b$ ，减少从动件悬伸 $l$ ③ 提高构件刚度，减少运动副间隙	$Q$ ——从动件承受的载荷(包括从动件自重、生产阻力及弹簧压力等)； $\mu_1$ ——从动件与导路间的摩擦因数； $\varphi_2$ ——从动件与凸轮间的摩擦角； $\alpha_c$ ——发生自锁时的压力角，称临界压力角

直动尖端从动件盘形凸轮  $\alpha_c$  值举例

$\mu (\mu = \mu_1 = \mu_2 = \tan \varphi_2)$			$l/b$		
			1/2	1	2
钢对钢、钢对铸铁、钢对青铜、铸铁对铸铁、铸铁对青铜	有润滑剂时动、静摩擦因数的概略值	0.1	73°	68°	58°
钢对钢、钢对青铜	无润滑剂时动、静摩擦因数的概略值	0.15	65°	57°	45°
钢对软钢、软钢对铸铁		0.2	57°	48°	34°
钢对铸铁		0.3	42°	31°	17°

尖端摆动从动件盘形凸轮的受力分析及临界压力角  $\alpha_c$

受力图	计算公式
	$\alpha + \varphi_2 + \varphi_1 + \delta = \frac{\pi}{2}$ , $\alpha$ 的计算公式见表 4-2-31 当 $\alpha$ 增大时, $\delta$ 角减小; 当 $\delta = 0$ 时, 则力 $F$ 切于轴 $B$ 的摩擦圆, 机构自锁。此时的 $\alpha$ 即为临界压力角 $\alpha_c$ , $\alpha_c$ 与两处摩擦角有关 $\alpha_c = \frac{\pi}{2} - \varphi_1 - \varphi_2$ $\varphi_1$ 为从动件与轴 $B$ 之间的摩擦角, 设摩擦圆半径为 $r$ , 则 $\varphi_1 = \arcsin(r/BC) \approx \arctan(4\mu/\pi)$

续表

许用压力角 $\alpha_p$ 的概略值			
从动件种类	推程 $\alpha_{p1}$	回程 $\alpha_{p2}$	
		力 封 闭	形 封 闭
直动从动件	$\leq 30^\circ$ , 当要求凸轮尽可能小时, 可用到 $45^\circ$	$\leq 70^\circ \sim 80^\circ$	$\leq 30^\circ$ (可用到 $45^\circ$ )
摆动从动件	$\leq 35^\circ \sim 45^\circ$	$\leq 70^\circ \sim 80^\circ$	$\leq 35^\circ \sim 45^\circ$

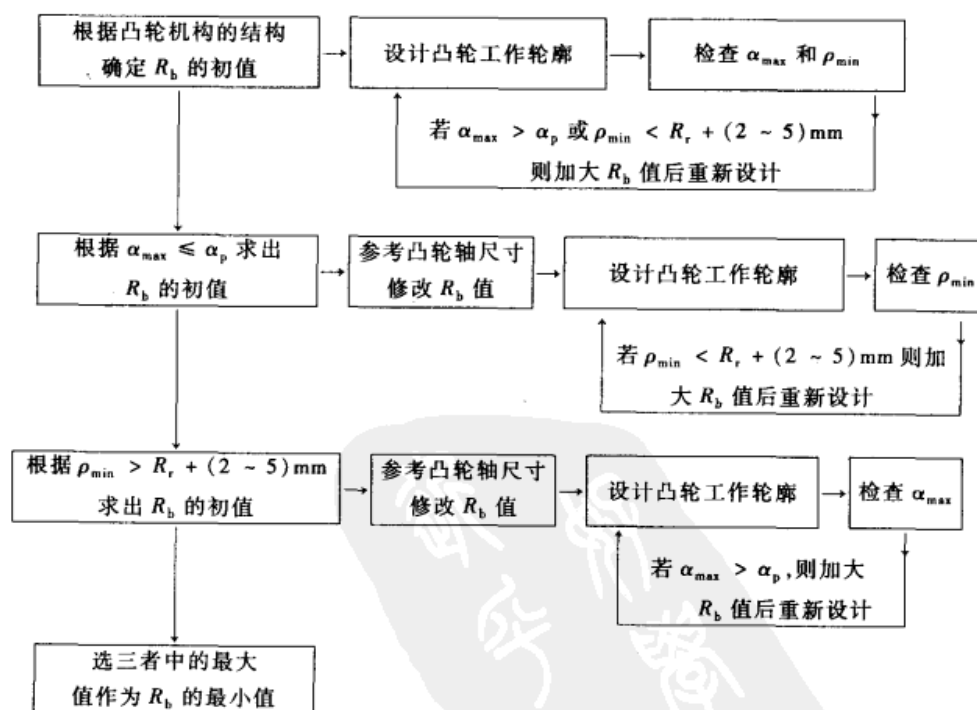
### 3.4 基圆半径 $R_b$ 、圆柱凸轮最小半径 $R_{\min}$ 和滚子半径 $R_r$

#### 3.4.1 基圆半径 $R_b$ 对凸轮机构的影响

表 4-2-18

	优 点	改善凸轮机构受力情况
$R_b$ 过大	缺 点	1. 使凸轮机构尺寸增大 2. 使凸轮廓线长度增加, 在设计时要增加分点, 在加工时要增多精确切削点, 增大加工费用, 使用时增加滚子转速 (易使滚子早期磨损) 3. 使凸轮的圆周速度增加, 加剧了凸轮廓线的偏差对从动件加速度的影响 4. 使凸轮轴上的不平衡重量增加, 容易加剧机器在高速时的振动
$R_b$ 过小	优 点	减小了凸轮尺寸
	缺 点	1. 使压力角增大, 机构受力情况变坏, 甚至会发生自锁 2. 使凸轮廓线的曲率半径变小, 影响到滚子半径也要变小 (接触应力增大), 滚子轴变细 (强度降低), 还容易使从动件运动规律失真 3. 使凸轮轴直径过小而引起轴的强度和刚度不够

#### 3.4.2 确定基圆半径 $R_b$ 、 $R_{\min}$ 的方法



(1) 根据  $\alpha_{\max} \leq \alpha_p$  确定  $R_b$ 、 $R_{\min}$  的初值

由于  $\alpha_p$  的值通常是不精确的, 所以根据  $\alpha_p$  确定的  $R_b$  值也是近似值。以下所述是求  $R_b$  近似值的方法。

1) 用诺谟图求盘形凸轮  $R_b$  [27]



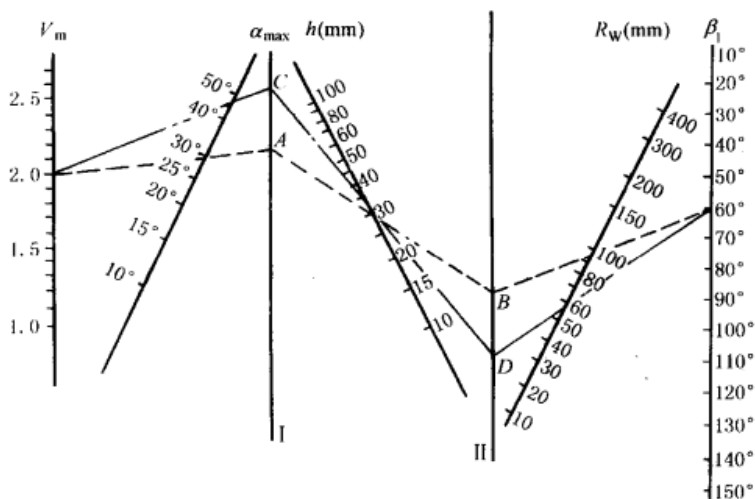
图 4-2-36 求盘形凸轮  $R_b$  的线图

图 4-2-36 的使用说明:

① 由  $V_m$ 、 $\alpha_{\max}$ 、 $h$ 、 $\beta_1$  值从图中查出  $R_w$  后, 按公式  $R_b = R_w - \frac{h}{2}$  求出  $R_b$ 。

图中  $V_m$  为最大速度因数, 其值见表 4-2-21、表 4-2-24、表 4-2-25。

② 此图用于对心直动从动件凸轮, 在  $h \leq R_b$  的情况下是足够准确的。

③ 此图也可近似用于偏置直动从动件凸轮 (即不考虑偏距)。此时所得  $R_b$  值对于有利偏置比较安全。而对于不利偏置则使得推程最大压力角较大。若考虑偏置, 可将由此图查得的  $R_b$  值乘以修正系数  $k$ :

$$k = \left[ \left( 1 \mp \frac{e}{R_b \tan \alpha_p} \right)^2 + \left( \frac{e}{R_b} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4-2-35)$$

式中 上方符号用于有利偏置, 下方符号用于不利偏置。

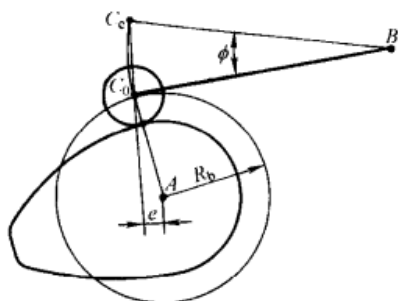


图 4-2-37 将摆动近似当作直动  
A—凸轮轴心; B—从动件轴心

④ 对于摆动从动件, 可近似当作移动从动件处理, 如图 4-2-37 把弦线  $C_0C_0$  当作移动方位线; 对相当于对心者, 根据  $\alpha_p = 45^\circ$  由图 4-2-36 求  $R_b$  值; 对相当于偏置者, 可先按对心处理, 再乘以修正系数  $k$ 。

**例 1** 对心直动从动件在推程时以摆线规律运动,  $\beta_1 = 60^\circ$ ,  $h = 30\text{mm}$ ,  $\alpha_p = 30^\circ$ , 求  $R_b$ 。

**解** 由表 4-2-21 知: 摆线规律的最大速度因数  $V_m$  为 2, 在图 4-2-36 中, 将  $V_m = 2$  与  $\alpha_{\max} = 30^\circ$  的两点连线 (如虚线表示), 与直线 I 相交于 A, 又将 A 点与  $h = 30\text{mm}$  的点相连, 连线与直线 II 相交于 B, 再将 B 点与  $\beta_1 = 60^\circ$  的点相连, 连线交  $R_w$  线于  $R_w = 100\text{mm}$  处。故  $R_b = R_w - \frac{h}{2} = 85\text{mm}$  (采用此值后, 最大压力角值为  $30.037^\circ$ )。

**例 2** 同例 1, 但具有有利偏距  $e = 8.5\text{mm}$ 。

**解** 1. 近似地按无偏置处理, 取上例计算结果  $R_b = 85\text{mm}$ 。

2. 考虑偏置必须进行修正, 当  $e/R_b = \frac{8.5}{85} = 0.1$  时, 由式 (4-2-35) 求得  $k = 0.83$ , 故  $R_b = 85\text{mm} \times 0.83 \approx 71\text{mm}$  (采用此值后, 推程最大压力角值为  $29.98^\circ$ )。

如取同值不利偏置, 求得  $k = 1.177$ 、 $R_b = 100.1\text{mm}$ 。

**例 3** 已知一摆动滚子从动件盘形凸轮机构, 从动件推程按抛物线规律运动,  $\phi = 20^\circ$ ,  $l = 90\text{mm}$ ,  $\alpha_p = 45^\circ$ ,  $\beta_1 = 60^\circ$ , 求  $R_b$ 。

**解** 把滚子中心 C 的轨迹 (圆弧) 所对的弦长  $C_0C_0$  当作直动从动件的行程, 故  $h = 2 \times l \sin \frac{\phi}{2} = 2 \times 90 \times \sin 10^\circ = 31.25\text{mm}$ 。然后用例 1 所述的方法 (这里  $\alpha_{\max}$  取作  $45^\circ$ ) 求得  $R_w = 55\text{mm}$ 。故  $R_b = R_w - \frac{h}{2} = 55 - 15.7 \approx 40\text{mm}$  (此解没有考虑偏置, 采用此值后, 推程最大压力角值为  $46.138^\circ$ )。

2) 作图法求盘形凸轮  $R_b$  的通用方法 (适用于任何运动规律, 求得结果是可行域)

表 4-2-19

名称	直 动 从 动 件	摆 动 从 动 件
图 例		
已 知	$s-\theta$ 线图, $s'(\theta)-\theta$ 线图, 行程 $h$ , 推程许用压力角 $\alpha_{p1}$ , 回程许用压力角 $\alpha_{p2}$ 和凸轮转向	$\varphi-\theta$ 线图, $\varphi'(\theta)-\theta$ 线图, 摆杆长度 $l$ , 摆角行程 $\Phi$ , 推程许用压力角 $\alpha_{p1}$ , 回程许用压力角 $\alpha_{p2}$ 和凸轮转向
作 图 步 骤	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 根据 <math>s-\theta</math> 线图和 <math>s'(\theta)-\theta</math> 线图求出 <math>s'(\theta)-s</math> 的对应关系</li> <li>2. 画移动方位线 <math>yy</math>, 选定从动件起始点 <math>C_0</math>。若凸轮转向为逆时针向, 则将推程时的 <math>s'(\theta)-s</math> 曲线画在移动方位线的左侧, 而回程时的画在右侧。如图中 <math>D_0, D_1, D_2, \dots</math> 所连成的曲线 (当凸轮转向为顺时针方向时, 推程的 <math>s'(\theta)-s</math> 曲线画在移动方位线的右侧)</li> <li>3. 在移动方位线的两侧, 分别作 <math>s'(\theta)-s</math> 曲线的下半部分的切线, 并使之与移动方位线成 <math>\alpha_{p1}</math> 和 <math>\alpha_{p2}</math> 角; 两切线相交于 <math>O</math> 点; 并形成图中有方格的区域, 凸轮转动轴心应选在这个区域内</li> <li>4. 过 <math>C_0</math> 点, 作许用压力角线 (包括正负偏置), 凸轮中心应选在该线以内的方格区域内</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 根据 <math>\varphi-\theta</math> 线图和 <math>\varphi'(\theta)-\theta</math> 线图求出 <math>l\varphi'(\theta)-\varphi</math> 的对应关系</li> <li>2. 确定从动件转动中心 <math>B</math> 点的位置, 并确定 <math>A</math> 点的大致方位; 再以 <math>B</math> 为圆心, 以 <math>l</math> 为半径作圆弧 <math>\widehat{C_0C_c}</math>。将推程时 <math>C</math> 点的速度 <math>v_c</math> 按凸轮的转向 <math>\omega_1</math> 转过 <math>90^\circ</math> 后, 其方向若指向 <math>\widehat{C_0C_c}</math> 的外侧, 则将推程时的 <math>l\varphi'(\theta)-\varphi</math> 曲线画在 <math>\widehat{C_0C_c}</math> 的外侧 (若凸轮转向相反, 则画在内侧)。得 <math>C_1D_1, C_2D_2, \dots</math></li> <li>3. 过 <math>D_1</math> 点作直线 <math>D_1d_1</math>, 使 <math>\angle C_1D_1d_1 = 90^\circ - \alpha_{p1}</math>; 同样, 过 <math>D_2</math> 点作 <math>D_2d_2</math>, 使 <math>\angle C_2D_2d_2 = 90^\circ - \alpha_{p1}</math>... 得一系列直线 <math>D_1d_1, D_2d_2, D_3d_3, \dots</math> 轴心 <math>A</math> 应在这些直线的左下方</li> <li>4. 对回程作相似处理 (例如, 在回程时的 <math>l\varphi'(\theta)-\varphi</math> 曲线上, 过 <math>D_9</math> 作直线 <math>D_9d_9</math> 使 <math>\angle C_9D_9d_9 = 90^\circ - \alpha_{p2}</math>), 得到一系列直线 (如 <math>D_9d_9, D_{10}d_{10}, \dots</math>), 轴心 <math>A</math> 应在这些直线的右下方</li> <li>5. 综合上述, 可找出同时满足上述两种条件的区域 (如图中有方格的区域), 轴心位置应选在这个区域内。如图中选在 <math>A</math> 点</li> <li>6. 检查 <math>C_0</math> 处和 <math>C_c</math> 处的压力角是否超过许用值。若超过, 另选 <math>A</math> 点</li> </ol>

3) 圆柱凸轮的最小半径  $R_{\min}$  的确定<sup>[25]</sup>  $R_{\min}$  是指滚子和沟槽侧面接触时, 凸轮上与滚子接触的最小圆柱体的半径。其值可由式 (4-2-36) 求得

$$R_{\min} = f \frac{h}{\beta_1} \quad (4-2-36)$$

式中凸轮尺寸系数  $f$  的值, 可根据从动件运动规律和最大压力角 (可取许用压力角  $\alpha_p$ ) 由图 4-2-38 查得。图 4-2-38 适用于轴向直动从动件圆柱凸轮, 也可近似应用于摆动从动件圆柱凸轮。

圆柱凸轮的相应外径为

$$R_e = R_{\min} + b \quad (4-2-37)$$

式中  $b$  —— 滚子宽度。

例 轴向直动从动件圆柱凸轮机构的从动件在推程时按简谐规律运动,  $\beta_1 = 90^\circ$ ,  $h = 30\text{mm}$ ,  $\alpha_p = 30^\circ$ , 求  $R_{\min}$ 。

解 在图 4-2-38 中, 在  $\alpha_{\max} = 30^\circ$  处作垂线, 与简谐运动的凸轮尺寸系数曲线相交, 交点的纵坐标  $f = 2.8$ , 故

$$R_{\min} = 2.8 \times 30 / \frac{\pi}{2} \approx 54\text{mm}$$

(2) 根据凸轮结构确定  $R_b$ 、 $R_{min}$  的初值

表 4-2-20 凸轮与轴的连接方式及  $R_b$ 、 $R_{min}$  的计算公式

类别	盘形凸轮		圆柱凸轮	
	凸轮与轴一体	凸轮装在轴上	凸轮与轴一体	凸轮装在轴上
简图				
公式	$R_b \geq R_s + R_r + (2 \sim 5) \text{ mm}$	$R_b \geq R_s + R_r + (2 \sim 5) \text{ mm}$	$R_{min} \geq R_s + (2 \sim 5) \text{ mm}$	$R_{min} \geq R_b + (2 \sim 5) \text{ mm}$
	$R_s$ —— 凸轮轴半径, mm; $R_b$ —— 凸轮轮毂半径, mm			

对于摆动从动件盘形凸轮机构 (图 4-2-39), 其基圆半径除了满足表 4-2-20 中有关条件外, 通常, 还应满足:

$$R_{max} + R_{h2} < L$$

式中  $R_{max}$  —— 凸轮廓线最大向径;  
 $R_{h2}$  —— 从动件的轮毂半径。

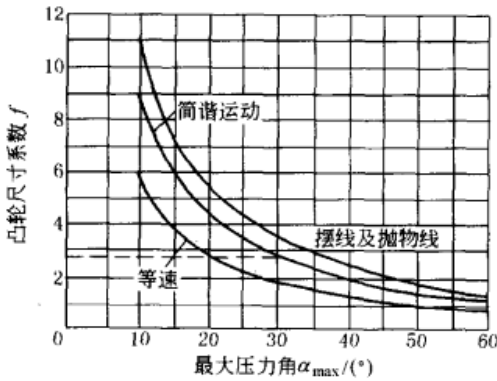


图 4-2-38 圆柱凸轮尺寸系数  $f$

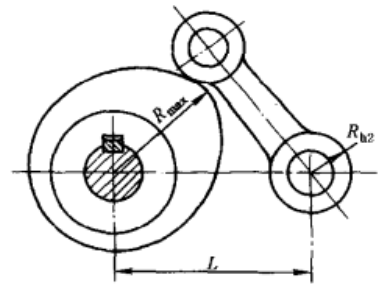


图 4-2-39 摆动从动件盘形凸轮机构的常见结构

当从动件的回转轴和凸轮的回转轴分别在凸轮端面的两侧时, 则不必满足上述关系。

(3) 凸轮理论轮廓的最小曲率半径  $\rho_{Cmin}$  与  $R_b$  的关系

凸轮廓线的曲率半径  $\rho$  的计算公式见表 4-2-31、表 4-2-35,  $\rho$  的表达式是包含机构基本尺寸、运动规律的超越方程或高次代数方程, 需要根据相应公式编制软件后在计算机上进行求解, 常用数值解法。对平底从动件凸轮机构要求  $\rho > 0$  而不内凹; 对滚子从动件凸轮机构, 要求  $\rho_{min} > (2 \sim 3) R_r$ , 以保证凸轮工作廓线不过切及从动件运动不失真, 并限制接触应力不过大。为了避免在凸轮机构设计基本完成时发现  $\rho_{min}$  过小而需要返工, 文献 [19、20、22] 均给出了  $\rho_{min} (R_b, e, L, l, \beta)$  的无量纲诺谟图, 但其运动规律、参数范围均很局限, 且精度也较差, 只能在运动规律相同、参数范围接近的条件下利用其选取初值, 再用计算来求得精确值, 因此本手册第五版中删去诺谟图。

各参数对  $\rho_{min}$  有何种影响, 有以下参考结论: ①凸轮廓线的曲率半径  $\rho$  及  $\rho_{min}$  随着基圆半径  $R_b$  的增大而增大; ②直动从动件凸轮机构偏置  $e$  对  $\rho_{min}$  的影响很小; ③对摆动从动件凸轮机构, 中心距  $L$  对  $\rho_{min}$  的影响随着升程运动角  $\beta$  的增大而逐渐减小, 当  $\beta$  大于一定值后,  $\rho_{min} \approx R_b$  (简谐运动规律除外); ④当  $\beta$  较小时,  $\rho_{min}$  出现在最大减速度处, 而当  $\beta$  增大到某一值后,  $\rho_{min}$  发生在  $S$  (或  $\Psi$ ) 为零附近; ⑤在  $R_b$  一定的情况下, 随着从动件升程  $h$ 、 $\Psi$  的增大,  $\rho_{min}$  的变化较大。

### 3.4.3 滚子半径 $R_r$ 的确定

$R_r$  值必须满足的条件如下:

- ① 保证从动件运动不失真并限制接触应力  $R_r \leq (0.3 \sim 0.5)\rho C_{\min}$
- ② 使凸轮结构比较合理  $R_r \leq 0.4R_b$
- ③ 保证滚子结构合理及滚子轴强度足够  $R_r \geq (2 \sim 3)r$ ,  $r$  为滚子轴半径

### 3.5 从动件运动规律及其方程式

#### 3.5.1 从动件运动规律

$V_m$ 、 $A_m$ 、 $J_m$  分别表示无量纲运动参数中的最大速度、最大加速度和最大跃度，称为运动规律的特性值。表 4-2-21 列出了不同运动规律的特性值供合理选择运动规律参考。一般应避免由于速度突变引起的刚性冲击和加速度突变引起的柔性冲击。目前常用的有多项式运动规律和组合运动规律。要求  $V_m$ 、 $A_m$ 、 $J_m$  和  $(AV)_m$  都是最小值的运动规律是没有的，应根据不同的工作情况进行合理选择，下列原则可供参考。

1) 高速轻载。各特性值大体可按  $A_m$ 、 $V_m$ 、 $J_m$ 、 $(AV)_m$  的顺序考虑。 $A_m$  愈大时，从动件的最大惯性力愈大，凸轮与从动件间的动压力愈大，且  $A$  与凸轮角速度  $\omega$  成平方比，所以高速凸轮应选择较小  $A_m$  的规律。改进梯形规律的  $A_m$  较小，是较理想的运动规律。

2) 低速重载。各特性值大体可按  $V_m$ 、 $A_m$ 、 $(AV)_m$ 、 $J_m$  的顺序考虑。 $V_m$  愈大，动量越大，承载功率和摩擦功率也愈大，对质量大的从动件影响更大。 $V_m$  还影响到凸轮的受力和尺寸的大小。同样尺寸的凸轮， $V_m$  大时，其最大压力角  $\alpha_{\max}$  也大（等速运动除外），反之，同样的  $\alpha_{\max}$ ，则  $V_m$  小的凸轮尺寸也小。改进等速运动规律是比较理想的。

3) 中速中载。要求  $A_m$ 、 $V_m$ 、 $J_m$ 、 $(AV)_m$  等特性值均较小。正弦加速度规律较好，但其  $V_m$  较大，因此用改进正弦加速度或 3-4-5 次多项式规律也较理想。

4) 其他。低速轻载的凸轮机构，对运动规律要求不严。高速重载，由于要兼顾  $V_m$  及  $A_m$  有困难，故不宜采用凸轮机构。为了减小弹簧的尺寸，可采用减速时间和加速时间的比值  $m = \frac{t_d}{t_a} > 1$  的非对称运动规律，效果较好，如非对称改进梯形规律。

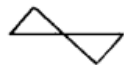
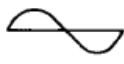
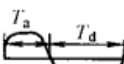
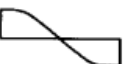
跃度和从动件的振动关系较大，为了减小振动，应使  $J_m$  减小， $J_m$  最小的规律是等跃度规律。从动件的惯性力可以引起凸轮轴上的附加转矩和驱动功率增加。从动件的惯性力与  $(AV)_m$  成正比。所以高速、重载应选用  $(AV)_m$  较小的规律。 $V_m$  与  $A_m$  往往不在同一时间出现，故  $(AV)_m$  与  $A_m$  和  $V_m$  的乘积并不相同。

在选择从动件的运动规律时，对于 I、II、III 种运动类型（见表 4-2-21）应有不同的考虑。对双停歇运动，在行程两端的速度和加速度都应为零。对其他两种运动，在停歇端的速度和加速度应为零。在无停歇端的速度也为零，而加速度最好不等于零。这样，在推程和回程衔接处，加速度过渡平滑，且可使最大速度和最大加速度下降，对受力情况和减少振动都是有利的。

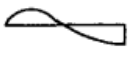
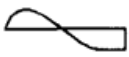
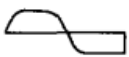

表 4-2-21 凸轮机构各种运动规律比较

运动类型	名称	$m = t_d/t_a$	加速度线图形状	$V_m$	$\frac{A_{ma}}{A_{md}}$	$\frac{J_{ma}}{J_{md}}$	$\frac{(AV)_{ma}}{(AV)_{md}}$	说明
加速度不连续运动	等速			1.00	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$V_m$ 最小。大质量的从动件动量小，但有刚性冲击，即 $A_m \rightarrow \infty$ ，制造容易，可用于低速
	等加速，等减速	$m = 1$		2.00	4.00	$\infty$	8.00	$A_m$ 最小，但即使在无停歇的运动中仍有柔性冲击，行程始末及中点加速度出现突变（即 $J_m \rightarrow \infty$ ），要求机构刚度大及系统间隙小；在耐磨损、压力角、弹簧尺寸等方面不如简谐和摆线规律，目前很少用
	余弦加速度（简谐运动）	$m = 1$		1.57	4.93	15.50	3.88	$V_m$ 及转矩小，启动较平稳，弹簧尺寸较小，行程始末有柔性冲击（ $J_m \rightarrow \infty$ ）。可用于低速、中速中载



运动类型	名称	$m = t_d/t_a$	加速度线图形状	$V_m$	$A_{ma}$ $A_{md}$	$J_{ma}$ $J_{md}$	$(AV)_{ma}$ $(AV)_{md}$	说明
I 双 停 歇 运 动	等跃度	$m = 1$		2.00	8.00	32.0	8.71	$J_m$ 很小,但由于 $A_m$ 大,很少用
	3-4-5 次多项式	$m = 1$		1.88	5.77	60.0 30.0	6.69	性能接近改进正弦加速度,特性值较好,常用
	正弦加速度 (摆线)	$m = 1$		2.00	6.28	39.5	8.16	加速度曲线连续。行程始末加速度等于零,跃度为有限值的突变。启动平稳。弹簧尺寸小,导路侧压力小,冲击、磨损较轻。适用中、高速轻载。缺点是 $V_m$ 、 $A_m$ 较大,始末段位移变化缓慢,加工要求较高
	改进梯形加速度	$T_1 = \frac{1}{8}$		2.00	4.89	61.4	8.09	$A_m$ 小,无冲击,适用于高速轻载。近来在分度凸轮中应用较多
	非对称改进梯形加速度	$m = 1.5$		2.00	6.11 4.07	95.9 42.6	10.11 6.74	$A_{md} < A_{ma}$ ,对弹簧设计有利
	改进正弦加速度	$T_1 = \frac{1}{8}$		1.76	5.53	69.5 23.2	5.46	无冲击,行程始末采用周期较短的正弦加速度。以使此段的位移变化较明显,便于加工。同时行程中部速度和加速度变化比较平缓, $V_m$ 及转矩小,适用于中、高速,中、重载,性能较好
	改进等速	$T_2 = \frac{1}{4}$ $T_1 = 1/16$ $T_2 = 1/4$		1.33 1.28	8.38 8.01	105.28 201.4 67.1	7.25 5.73	$V_m$ 很小,转矩小,适用于低速重载。也可用以代替等速运动,避免冲击
II 无 停 歇 运 动	余弦加速度	$m = 1$		1.57	4.93	15.5	3.88	用于无停歇运动中,这是一种很好的运动规律
	正弦加速度	$m = 1$		1.72	4.20	—	—	与相应的双停歇或单停歇运动相比,各特性值都有所改善
	改进梯形加速度	$m = 1$		1.84	4.05	—	—	
	改进正弦加速度	$m = 1$		1.63	4.48	—	—	
	改进等速	$m = 1$		1.22	7.68	48.2	4.69	

续表

运动类型	名称	$m = t_d/t_a$	加速度线图形状	$V_m$	$A_{ma}$	$J_{ma}$	$(AV)_{ma}$	说明
					$A_{md}$	$J_{md}$	$(AV)_{md}$	
Ⅲ 单停歇运动	3-4-5 次多项式	$m = 1$		1.73	4.58 6.67	40.4 22.5	4.96 5.61	特性值较好,但 $A_{md}$ 值较大
	正弦加速度	$m = 1$		1.85	5.81 4.52	—	—	与对应的双停歇运动相比,各特性值都有所改善,因此将双停歇运动规律用于单停歇运动是不恰当的(这里几种规律的加速度和减速时间相同)
	改进梯形加速度	$m = 1$		1.92	4.68 4.21	—	—	
	改进正弦加速度	$m = 1$		1.69	5.31 4.65	—	—	

注: 1. 特性值中的下标 a 代表加速部分, d 代表减速部分。  $A_{md}$ 、 $J_{md}$ 、 $(AV)_{md}$  为减速部分相应的最大值, 实际都是负值, 表中取绝对值。

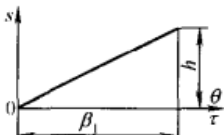
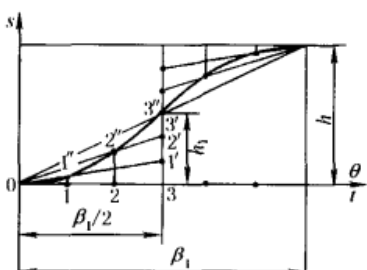
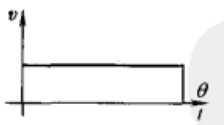
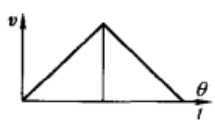
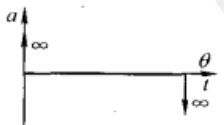



2.  $m = t_d/t_a$  表示减速段时间与加速段时间之比。

3. 最大速度  $v_{max} = V_m \frac{h}{\beta_1} \omega_1$ , 最大加速度  $a_{max} = A_m \frac{h}{\beta_1^2} \omega_1^2$ , 最大跃度  $j_{max} = J_m \frac{h}{\beta_1^3} \omega_1^3$ 。

### 3.5.2 基本运动规律的参数曲线

表 4-2-22

基本运动规律的参数曲线

项目	等速(直线)	等加速、等减速 $v=1$ (抛物线)	
		加速段	减速段
位移曲线			
速度曲线 $v = \frac{ds}{dt}$			
加速度曲线 $a = \frac{dv}{dt}$			
跃度曲线 $j = \frac{da}{dt}$			

项 目	余弦加速度(简谐)	正弦加速度(摆线)
位移曲线 $v = \frac{ds}{dt}$		
速度曲线 $v = \frac{ds}{dt}$		
加速度曲线 $a = \frac{dv}{dt}$		
跃度曲线 $j = \frac{da}{dt}$		

注: 1.  $\nu=1$  是指正负加速度值相等。  
2. 对于摆动从动件: 用  $\Psi$  代  $s$ 、 $\omega_2$  代  $v$ 、 $\varepsilon_2$  代  $a$ 、 $\Phi$  代  $h$ 。

表 4-2-23 基本运动规律的方程式

项目	等速(直线)	等加速、等减速 $\nu=1$ (抛物线)		余弦加速度(简谐)	正弦加速度(摆线)	
		加速段	减速段			
停、推、停运动	$\theta$	$0 \sim \beta_1$	$0 \sim \frac{1}{2}\beta_1$	$\frac{1}{2}\beta_1 \sim \beta_1$	$0 \sim \beta_1$	$0 \sim \beta_1$
	$s$	$0 \sim h$	$0 \sim \frac{1}{2}h$	$\frac{1}{2}h \sim h$	$0 \sim h$	$0 \sim h$
	$s$	$h(\theta/\beta_1)$	$2h(\theta/\beta_1)^2$	$h[1-2(1-\frac{\theta}{\beta_1})^2]$	$\frac{h}{2}(1-\cos\frac{\pi}{\beta_1}\theta)$	$h(\frac{\theta}{\beta_1}-\frac{1}{2\pi}\sin\frac{2\pi}{\beta_1}\theta)$
	$v$	$(h/\beta_1)\omega_1$	$\frac{4h\theta}{\beta_1^2}\omega_1$	$\frac{4h}{\beta_1}(1-\theta/\beta_1)\omega_1$	$\frac{\pi h}{2\beta_1}\omega_1 \sin\frac{\pi}{\beta_1}\theta$	$\frac{h}{\beta_1}\omega_1(1-\cos\frac{2\pi}{\beta_1}\theta)$
	$a$	0	$\frac{4h}{\beta_1^2}\omega_1^2$	$-\frac{4h}{\beta_1^2}\omega_1^2$	$\frac{\pi^2 h}{2\beta_1^2}\omega_1^2 \cos\frac{\pi}{\beta_1}\theta$	$\frac{2\pi h}{\beta_1^2}\omega_1^2 \sin\frac{2\pi}{\beta_1}\theta$
$j$		0	0	$-\frac{\pi^3 h}{2\beta_1^3}\omega_1^3 \sin\frac{\pi}{\beta_1}\theta$	$\frac{4\pi^2 h}{\beta_1^3}\omega_1^3 \cos\frac{2\pi}{\beta_1}\theta$	
停、回、停运动	$\theta$	$0 \sim \beta_2$	$0 \sim \frac{1}{2}\beta_2$	$\frac{1}{2}\beta_2 \sim \beta_2$	$0 \sim \beta_2$	$0 \sim \beta_2$
	$s$	$h \sim 0$	$h \sim \frac{1}{2}h$	$h/2 \sim 0$	$h \sim 0$	$h \sim 0$

续表

项目	等速(直线)	等加速、等减速 $\nu=1$ (抛物线)		余弦加速度(简谐)	正弦加速度(摆线)	
		加速段	减速段			
停、回、停运动	$s$	$h(1-\theta_1/\beta_2)$	$h\left[1-2\left(\frac{\theta_1}{\beta_2}\right)^2\right]$	$2h(1-\theta_1/\beta_2)^2$	$\frac{h}{2}\left(1+\cos\frac{\pi}{\beta_2}\theta_1\right)$	$h\left(1-\frac{\theta_1}{\beta_2}+\frac{1}{2\pi}\sin\frac{2\pi}{\beta_2}\theta_1\right)$
	$v$	$-(h/\beta_2)\omega_1$	$-4h(\theta_1/\beta_2^2)\omega_1$	$-4\frac{h}{\beta_2}\left(1-\frac{\theta_1}{\beta_2}\right)\omega_1$	$-\frac{\pi h\omega_1}{2\beta_2}\sin\frac{\pi}{\beta_2}\theta_1$	$-\frac{h\omega_1}{\beta_2}\left(1-\cos\frac{2\pi}{\beta_2}\theta_1\right)$
	$a$	0	$-4h\omega_1^2/\beta_2^2$	$\frac{4h}{\beta_2^2}\omega_1^2$	$-\frac{\pi^2 h\omega_1^2}{2\beta_2^2}\cos\frac{\pi}{\beta_2}\theta_1$	$-\frac{2\pi h\omega_1^2}{\beta_2^2}\sin\frac{2\pi}{\beta_2}\theta_1$
	$j$		0	0	$\frac{\pi^3 h\omega_1^3}{2\beta_2^3}\sin\frac{\pi}{\beta_2}\theta_1$	$-\frac{4\pi^2 h}{\beta_2^3}\omega_1^3\cos\frac{2\pi}{\beta_2}\theta_1$

注: 1. 式中  $\theta_1 = \theta - \beta_1 - \beta'$ 。2. 类速度  $\frac{ds}{d\theta} = \frac{v}{\omega_1}$ , 类加速度  $\frac{d^2s}{d\theta^2} = \frac{a}{\omega_1^2}$ 。

3. 已知推程的运动方程式, 求同名运动规律的回程方程式。一般为:

 $s_{\text{回}} = h - s_{\text{推}}$ ,  $v_{\text{回}} = -v_{\text{推}}$ ,  $a_{\text{回}} = -a_{\text{推}}$ ,  $J_{\text{回}} = -J_{\text{推}}$ , 并用  $\beta_2$  和  $\theta_1$  置换  $\beta_1$  和  $\theta$ 。4. 用  $T$ 、 $S$ 、 $V$ 、 $A$  和  $J$  分别表示从动件运动时的无量纲时间、无量纲位移、无量纲速度、无量纲加速度和无量纲跃度, 且  $T = \frac{\theta}{\beta_1}$ 、 $S = \frac{s}{h}$ 、 $V = \frac{ds}{dT}$ 、 $A = \frac{d^2s}{dT^2}$  和  $J = \frac{d^3s}{dT^3}$ , 则本表各运动规律的无量纲方程如下。正弦加速度:  $S = T - \frac{1}{2\pi}\sin 2\pi T$ 、 $V = 1 - \cos 2\pi T$ 、 $A = 2\pi\sin 2\pi T$ 、 $J = 4\pi^2\cos 2\pi T$ 余弦加速度:  $S = \frac{1}{2}(1 - \cos \pi T)$ 、 $V = \frac{\pi}{2}\sin \pi T$ 、 $A = \frac{\pi^2}{2}\cos \pi T$ 、 $J = -\frac{\pi^3}{2}\sin \pi T$ 等加速、等减速: 加速段  $S = 2T^2$ 、 $V = 4T$ 、 $A = 4$ 、 $J = 0$ 减速段  $S = 1 - 2(1 - T)^2$ 、 $V = 4(1 - T)$ 、 $A = -4$ 、 $J = 0$ 等速:  $S = T$ 、 $V = 1$ 、 $A = 0$ 对于回程则以  $(1 - S)$  代替推程中  $S$ , 其他  $V$ 、 $A$ 、 $J$  各式右边分别加上一个负号即可, 后面各表类同。

### 3.5.3 常用组合运动规律方程式应用

为使凸轮机构有较好的性能, 常将基本运动规律加以改进, 或将它们组合起来使用。组合时, 所选运动规律应在有关区间内连续, 在拼接点两个运动规律的位移和速度对应相等(即位移曲线在拼接点相切); 高速时, 还要求加速度在拼接点对应相等(即两段位移曲线在拼接点的曲率半径相等)。

表 4-2-24

常用组合运动规律的方程式及其比较与应用

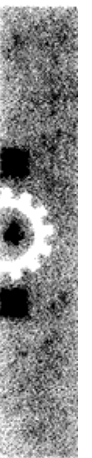
名称	线图	区间及区间行程	“停、推、停”时的方程式	最大			应用
				速度因数 $V_m$	加速度因数 $A_m$	跃度因数 $J_m$	
抛物线-直线-抛物线规律	<p>图中(以下各图同): 实线——位移曲线 虚线——速度曲线 点划线——加速度曲线 <math>n</math> 是 <math>\beta_1</math> 的等分数, 根据从动件的动 作要求确定。通常 <math>n = 4 \sim 8</math></p>	$0 \sim \frac{\beta_1}{n}$ $h_1 = \frac{h}{2(n-1)}$	$s = \frac{n^2 h}{2(n-1)} \left(\frac{\theta}{\beta_1}\right)^2$ $s'(\theta) = \frac{n^2 h \theta}{(n-1)\beta_1^2}$ $s''(\theta) = \frac{n^2 h}{(n-1)\beta_1^2}$	1.33	5.33	8	低速中载荷
		$\frac{\beta_1}{n} \sim \frac{n-1}{n}\beta_1$ $h_2 = h - 2h_1$	$s = \frac{h}{n-1} \left(\frac{n\theta}{\beta_1} - \frac{1}{2}\right)$ $s'(\theta) = \frac{hn}{(n-1)\beta_1}$ $s''(\theta) = 0$				
		$\frac{n-1}{n}\beta_1 \sim \beta_1$ $h_3 = h_1$	$s = h - \frac{n^2 h}{2(n-1)} \left(1 - \frac{\theta}{\beta_1}\right)^2$ $s'(\theta) = \frac{n^2 h}{(n-1)\beta_1} \left(1 - \frac{\theta}{\beta_1}\right)$ $s''(\theta) = \frac{-n^2 h}{(n-1)\beta_1^2}$				



名称	线图	区间及区间行程	“停、推、停”时的方程式	最大			应用			
				速度因数 $V_m$	加速度因数 $A_m$	跃度因数 $J_m$				
简谐·直线·简谐规律		$0 \sim \frac{\beta_1}{n}$ $h_1 = \frac{2h}{4 + (n-2)\pi}$	$s = \frac{2h}{4 + (n-2)\pi} \left( 1 - \cos \frac{n\pi}{2\beta_1} \theta \right)$ $s'(\theta) = \frac{n\pi h}{[4 + (n-2)\pi]\beta_1} \sin \frac{n\pi}{2\beta_1} \theta$ $s''(\theta) = \frac{n^2 \pi^2 h}{2[4 + (n-2)\pi]\beta_1^2} \cos \frac{n\pi}{2\beta_1} \theta$	1.22	7.68	48.2	低速重载荷			
		$\frac{\beta_1}{n} \sim \frac{n-1}{n} \beta_1$ $h_2 = h - 2h_1$	$s = \frac{h}{4 + (n-2)\pi} \left( \frac{n\pi\theta}{\beta_1} - \pi + 2 \right)$ $s'(\theta) = \frac{n\pi h}{[4 + (n-2)\pi]\beta_1}$ $s''(\theta) = 0$							
		$\frac{n-1}{n} \beta_1 \sim \beta_1$ $h_3 = h_1$	$s = h - \frac{2h}{4 + (n-2)\pi} \times \left[ 1 + \cos \left( \frac{n\pi}{2\beta_1} \theta - \frac{(n-2)\pi}{2} \right) \right]$ $s'(\theta) = \frac{n\pi h}{[4 + (n-2)\pi]\beta_1} \times \sin \left( \frac{n\pi}{2\beta_1} \theta - \frac{(n-2)\pi}{2} \right)$ $s''(\theta) = \frac{n^2 \pi^2 h}{2 \times [4 + (n-2)\pi]\beta_1^2} \times \cos \left( \frac{n\pi}{2\beta_1} \theta - \frac{(n-2)\pi}{2} \right)$							
		$0 \sim \frac{\beta_1}{n}$ $h_1 = \frac{h}{2(n-1)}$	$s = \frac{h}{2(n-1)} \left( \frac{n\theta}{\beta_1} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{n\pi}{\beta_1} \theta \right)$ $s'(\theta) = \frac{nh}{2(n-1)\beta_1} \left( 1 - \cos \frac{n\pi}{\beta_1} \theta \right)$ $s''(\theta) = \frac{n^2 \pi h}{2(n-1)\beta_1^2} \sin \frac{n\pi}{\beta_1} \theta$					1.33	8.38	105.3
		$\frac{\beta_1}{n} \sim \frac{n-1}{n} \beta_1$ $h_2 = h - 2h_1$	$s = \frac{h}{(n-1)} \left( \frac{n\theta}{\beta_1} - \frac{1}{2} \right)$ $s'(\theta) = \frac{nh}{(n-1)\beta_1}$ $s''(\theta) = 0$							
		$\frac{n-1}{n} \beta_1 \sim \beta_1$ $h_3 = h_1$	$s = \frac{h}{2(n-1)} \left[ n - 2 + \frac{n}{\beta_1} \theta - \frac{1}{\pi} \sin \left( \frac{n\pi}{\beta_1} \theta - (n-2)\pi \right) \right]$ $s'(\theta) = \frac{nh}{2(n-1)\beta_1} \times \left[ 1 - \cos \left( \frac{n\pi}{\beta_1} \theta - (n-2)\pi \right) \right]$ $s''(\theta) = \frac{n^2 h \pi}{2(n-1)\beta_1^2} \times \sin \left( \frac{n\pi}{\beta_1} \theta - (n-2)\pi \right)$							

续表

名称	线图	区间及区间行程	“停、推、停”时的方程式	最大			应用
				速度因数 $V_m$	加速度因数 $A_m$	跃度因数 $J_m$	
摆线、抛物线、摆线规律(改进梯形加速度)		$0 \sim \frac{1}{8}\beta_1$ $h_1 = \frac{(\pi - 2)h}{4\pi(\pi + 2)}$	$s = \frac{h}{2 + \pi} \left( \frac{2\theta}{\beta_1} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{4\pi\theta}{\beta_1} \right)$ $s'(\theta) = \frac{2h}{(2 + \pi)\beta_1} \left( 1 - \cos \frac{4\pi\theta}{\beta_1} \right)$ $s''(\theta) = \frac{8\pi h}{(2 + \pi)\beta_1^2} \sin \frac{4\pi\theta}{\beta_1}$	2.00	4.89	61.4	高速轻载荷
		$\frac{\beta_1}{8} \sim \frac{3\beta_1}{8}$ $h_2 = \frac{h}{4}$	$s = \frac{h}{2 + \pi} \times \left( \frac{4\pi}{\beta_1^2} \theta^2 - \frac{\pi - 2}{\beta_1} \theta + \frac{\pi}{16} - \frac{1}{2\pi} \right)$ $s'(\theta) = \frac{h}{2 + \pi} \left( \frac{8\pi}{\beta_1^2} \theta - \frac{\pi - 2}{\beta_1} \right)$ $s''(\theta) = \frac{8\pi h}{(2 + \pi)\beta_1^2}$				
		$\frac{3}{8}\beta_1 \sim \frac{5}{8}\beta_1$ $h_3 = 0.4647h$	$s = \frac{h}{2 + \pi} \left[ \frac{2(\pi + 1)}{\beta_1} \theta - \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( 4\pi \frac{\theta}{\beta_1} - \pi \right) \right]$ $s'(\theta) = \frac{2h}{(2 + \pi)\beta_1} \times \left[ \pi + 1 - \cos \left( \frac{4\pi\theta}{\beta_1} - \pi \right) \right]$ $s''(\theta) = \frac{8\pi h}{(2 + \pi)\beta_1^2} \sin \left( \frac{4\pi\theta}{\beta_1} - \pi \right)$				
		$\frac{5}{8}\beta_1 \sim \frac{7}{8}\beta_1$ $h_4 = h_2$	$s = \frac{h}{2 + \pi} \times \left( \frac{7\pi + 2}{\beta_1} \theta - 4\pi \frac{\theta^2}{\beta_1^2} - \frac{33\pi}{16} + \frac{1}{2\pi} \right)$ $s'(\theta) = \frac{h}{2 + \pi} \left( \frac{7\pi + 2}{\beta_1} - \frac{8\pi}{\beta_1^2} \theta \right)$ $s''(\theta) = \frac{-8\pi h}{(2 + \pi)\beta_1^2}$				
		$\frac{7}{8}\beta_1 \sim \beta_1$ $h_5 = h_1$	$s = \frac{h}{2 + \pi} \times \left[ \frac{2\theta}{\beta_1} + \pi - \frac{1}{2\pi} \sin \left( 4\pi \frac{\theta}{\beta_1} - 2\pi \right) \right]$ $s'(\theta) = \frac{2h}{(2 + \pi)\beta_1} \times \left[ 1 - \cos \left( 4\pi \frac{\theta}{\beta_1} - 2\pi \right) \right]$ $s''(\theta) = \frac{8\pi h}{(2 + \pi)\beta_1^2} \sin \left( 4\pi \frac{\theta}{\beta_1} - 2\pi \right)$				



名称	线图	区间及区间行程	“停、推、停”时的方程式	最大			应用
				速度因数 $V_m$	加速度因数 $A_m$	跃度因数 $J_m$	
改进正弦加速度规律		$0 \sim \frac{1}{8}\beta_1$ $h_1 = \frac{(\pi-2)h}{8(4+\pi)}$	$s = \frac{h}{4+\pi} \left[ \frac{\pi\theta}{\beta_1} - \frac{1}{4} \sin\left(\frac{4\pi\theta}{\beta_1}\right) \right]$ $s'(\theta) = \frac{\pi h}{(4+\pi)\beta_1} \times \left[ 1 - \cos\left(\frac{4\pi\theta}{\beta_1}\right) \right]$ $s''(\theta) = \frac{4\pi^2 h}{(4+\pi)\beta_1^2} \sin\left(\frac{4\pi\theta}{\beta_1}\right)$	1.76	5.53	69.5	中、高速重载荷
		$\frac{1}{8}\beta_1 \sim \frac{7}{8}\beta_1$ $h_2 = h - 2h_1$	$s = \frac{h}{4+\pi} \times \left[ 2 + \frac{\pi\theta}{\beta_1} - \frac{9}{4} \sin\left(\frac{\pi}{3} + \frac{4\pi\theta}{3\beta_1}\right) \right]$ $s'(\theta) = \frac{\pi h}{(4+\pi)\beta_1} \times \left[ 1 - 3\cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{4\pi\theta}{3\beta_1}\right) \right]$ $s''(\theta) = \frac{4\pi^2 h}{(4+\pi)\beta_1^2} \sin\left(\frac{\pi}{3} + \frac{4\pi\theta}{3\beta_1}\right)$				
		$\frac{7}{8}\beta_1 \sim \beta_1$ $h_3 = h_1$	$s = \frac{h}{4+\pi} \left( 4 + \frac{\pi\theta}{\beta_1} - \frac{1}{4} \sin\frac{4\pi\theta}{\beta_1} \right)$ $s'(\theta) = \frac{\pi h}{(4+\pi)\beta_1} \left[ 1 - \cos\left(\frac{4\pi\theta}{\beta_1}\right) \right]$ $s''(\theta) = \frac{4\pi^2 h}{(4+\pi)\beta_1^2} \sin\frac{4\pi\theta}{\beta_1}$				

注: 1.  $v_{max} = V_m \times \frac{h}{\beta_1} \omega_1$ ;  $a_{max} = A_m \times \frac{h}{\beta_1^2} \omega_1^2$ ;  $j_{max} = J_m \times \frac{h}{\beta_1^3} \omega_1^3$ 。

2. 表中前三种运动取  $n=4$  时的数据; 后两种运动取  $n=8$  时的数据。

例 如图 4-2-40 从动件按等加速-等速-等减速作“停、推、停”运动。区间分别为  $0^\circ \sim 40^\circ$ ,  $40^\circ \sim 70^\circ$ ,  $70^\circ \sim 130^\circ$ ;  $h = 100\text{mm}$ ,  $\beta_1 = 130^\circ$ , 求其位移方程式。

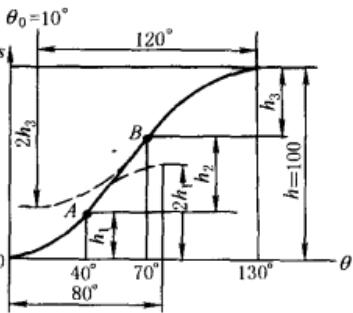


图 4-2-40 等加速-等速-等减速的组合曲线

解 分别按区间讨论如下。

1. 在  $0^\circ \leq \theta \leq 40^\circ$ : 从动件作等加速运动, 设想有相等的减速段, 则相应行程为  $2h_1$ , 相应的推程运动角为  $2 \times 40^\circ = 80^\circ$ , 参考等加速等减速运动规律的公式, 则:

$$s_1 = 4h_1 \left(\frac{\theta}{80^\circ}\right)^2$$

$$s'_1(\theta) = 8h_1 \left(\frac{\theta}{80^\circ}\right) \times \frac{180^\circ}{80^\circ \times \pi} = \frac{18h_1}{\pi} \left(\frac{\theta}{80^\circ}\right)$$

当  $\theta = 40^\circ$  时,  $(s'_1(\theta))_{A_1} = 9h_1/\pi$

2. 在  $40^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ : 属等速规律; 在 A 点 ( $\theta = 40^\circ$  处) 两个运动规律的速度相等, 即:

$$s'_2(\theta) = (s'_1(\theta))_{A_1} = 9h_1/\pi$$

设从 A 点计算的位移为  $s_2$ , 则

$$s_2 = \frac{9}{\pi} h_1 (\theta - 40^\circ) \times \frac{\pi}{180^\circ} = \frac{h_1}{20} (\theta - 40^\circ)$$

当  $\theta = 70^\circ$  时:  $s_2 = h_2 = 3h_1/2$

3. 在  $70^\circ \leq \theta \leq 130^\circ$ : 从动件作等减速运动, 设想有相等的加速段, 则加速段从  $\theta = 10^\circ$  处开始, 相应的推程运动角为  $120^\circ$ , 相应行程为  $2h_3$ , 设从 B 点开始计算的位移用  $s_3$  表示, 参考减速段的方程式, 则:

$$s_3 = 2h_3 \left[ 1 - 2 \left( 1 - \frac{\theta - 10^\circ}{120^\circ} \right)^2 \right] \quad (h_3 \text{ 只用减速段})$$

故

$$s'_3(\theta) = \frac{12}{\pi} h_3 \left( \frac{130^\circ - \theta}{120^\circ} \right)$$

当  $\theta = 70^\circ$  时,

$$(s'(\theta))_{B_3} = 6h_3/\pi$$

根据边界条件（两运动规律在B点的速度相等）有：

$$s_2'(\theta) = (s_1'(\theta))_{\theta_3} \text{ 即 } 9h_1/\pi = 6h_3/\pi$$

故

$$h_3 = 3h_1/2$$

4. 各区间行程之和等于总行程，即  $h_1 + \frac{3}{2}h_1 + \frac{3}{2}h_1 = 100\text{mm}$  故  $h_1 = 25\text{mm}$ ,  $h_2 = \frac{3}{2}h_1 = 37.5\text{mm}$ ,  $h_3 = 37.5\text{mm}$

5. 各区间的位移方程式：

$$\theta = 0^\circ \sim 40^\circ \quad s = 100(\theta/80^\circ)^2$$

$$\theta = 40^\circ \sim 70^\circ \quad s = 25(\theta - 20^\circ)/20^\circ$$

$$\theta = 70^\circ \sim 130^\circ \quad s = 100 - 150\left(\frac{130^\circ - \theta}{120^\circ}\right)^2$$

表 4-2-25

常用多项式运动规律方程式

运动规律名称	区间	边界条件		运动规律方程式(停、推、停)	最大			应用
		始点	终点		速度因数 $V_m$	加速度因数 $A_m$	跃度因数 $J_m$	
3-4-5 次多项式	$0 \sim \beta_1$	$s=0$ $s'=0$ $s''=0$	$s=h$ $s'=0$ $s''=0$	$s = h \left[ 10 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^3 - 15 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^4 + 6 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^5 \right]$ $s'(\theta) = \frac{h}{\beta_1} \left[ 30 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^2 - 60 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^3 + 30 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^4 \right]$ $s''(\theta) = \frac{h}{\beta_1^2} \left[ 60 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right) - 180 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^2 + 120 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^3 \right]$	1.88	5.77	60	中速
4-5-6-7 次多项式	$0 \sim \beta_1$	$s=0$ $s'=0$ $s''=0$ $s'''=0$	$s=h$ $s'=0$ $s''=0$ $s'''=0$	$s = h \left[ 35 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^4 - 84 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^5 + 70 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^6 - 20 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^7 \right]$ $s'(\theta) = \frac{h}{\beta_1} \left[ 140 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^3 - 420 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^4 + 420 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^5 - 140 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^6 \right]$ $s''(\theta) = \frac{h}{\beta_1^2} \left[ 420 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^2 - 1680 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^3 + 2100 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^4 - 840 \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^5 \right]$	2.19	7.52	52.5	中速 或高速

注：要求位移曲线不对称或实现指定边界条件的运动时，采用多项式运动规律比较方便。

表 4-2-26

加速度不对称的多项式运动规律方程式<sup>[18]</sup>

一般公式	$s = C_p \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^p + C_q \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^q + C_r \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^r + C_s \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^s + \dots$						
求系数公式	$C_p = \frac{qrs\dots}{(q-p)(r-p)(s-p)\dots}$						
	$C_q = \frac{prs\dots}{(p-q)(r-q)(s-q)\dots}$						
	$C_r = \frac{pqs\dots}{(p-r)(q-r)(s-r)\dots}$						
	$C_s = \frac{pqr\dots}{(p-s)(q-s)(r-s)\dots}$						
常用多项式	$p$	3	3	4	4	4	
	$q$	5	6	6	7	8	
	$r$	7	9	8	10	12	
	$s$	0	0	10	13	16	

表 4-2-27

根据指定特殊边界条件建立多项式运动规律方程式举例

	边界条件		公 式
	始点	终点	
	$\theta = 0$	$\theta = \beta_R$	$s = p_3\theta^3 + p_4\theta^4 + p_5\theta^5$ 式中 $p_3 = \left( \frac{s_R''}{2\beta_R} - \frac{4s_R'}{\beta_R^2} + \frac{10s_R}{\beta_R^3} \right)$ $p_4 = - \left( \frac{s_R''}{\beta_R^2} - \frac{7s_R'}{\beta_R^3} + \frac{15s_R}{\beta_R^4} \right)$ $p_5 = \left( \frac{s_R''}{2\beta_R^3} - \frac{3s_R'}{\beta_R^4} + \frac{6s_R}{\beta_R^5} \right)$
	$s = 0$	$s = s_R$	
	$s' = 0$	$s' = s_R'$	
	$s'' = 0$	$s'' = s_R''$	

表 4-2-28

停、推、回、停运动规律方程式举例

名称	线图及推程(或回程)方程式
摆线、简谐、简谐摆线运动	<p> <math>q = \frac{\beta_2}{\beta_1}, h_1 = 0.4399h, h_2 = h - h_1</math>  <math>p = -1.8299q + \frac{1}{2}(13.393q^2 + 8.3196)\frac{1}{2}</math>  <math>h_3 = \frac{22.112}{\pi^2}p^2h, h_4 = h - h_3</math>                      当 <math>0 \leq \theta \leq \frac{1}{2}\beta_1</math> 时, <math>s_1 = h_1 \left( \frac{2\theta}{\beta_1} - \frac{1}{\pi} \sin 2\pi \frac{\theta}{\beta_1} \right)</math>                      当 <math>\frac{1}{2}\beta_1 \leq \theta \leq \beta_1</math> 时, <math>s_2 = h_1 + h_2 \sin \pi \left( \frac{\theta}{\beta_1} - \frac{1}{2} \right)</math>                      当 <math>\beta_1 \leq \theta \leq (1+p)\beta_1</math> 时, <math>s_3 = h_3 \cos \frac{\pi}{2p} \left( \frac{\theta}{\beta_1} - 1 \right) + h_4</math>                      当 <math>(1+p)\beta_1 \leq \theta \leq \beta_1 + \beta_2, \beta_2 = q\beta_1</math> 时,  <math>s_4 = h_4 \left[ 1 + \frac{1+p}{q-p} - \frac{\theta}{(q-p)\beta_1} - \frac{1}{\pi} \sin \left( \frac{\theta}{(q-p)\beta_1} - \frac{1+p}{q-p} \right) \right]</math> </p>
摆线、等速、简谐、多项式运动	<p> <math>h_1 + h_2 + h_3 = h, \frac{2h_1}{h_2} = \frac{\delta_1}{\delta_2}, \frac{2h_2}{\pi h_3} = \frac{\delta_2}{\delta_3}, \frac{21.08h}{\pi^2 h_3} = \left( \frac{\beta_2}{\delta_3} \right)^2</math>                      当 <math>0 \leq \theta \leq \delta_1</math> 时, <math>s_1 = h_1 \left( \frac{\theta}{\delta_1} - \frac{1}{\pi} \sin \pi \frac{\theta}{\delta_1} \right)</math>                      当 <math>\delta_1 \leq \theta \leq (\delta_1 + \delta_2)</math> 时, <math>s_2 = h_1 + \frac{h_2}{\delta_2}(\theta - \delta_1)</math>                      当 <math>(\delta_1 + \delta_2) \leq \theta \leq \beta_1</math> 时, <math>s_3 = h - h_3 \sin \frac{\pi(\beta_1 - \theta)}{2\delta_3}</math>                      当 <math>\beta_1 \leq \theta \leq (\beta_1 + \beta_2), \tau = (\theta - \beta_1)/\beta_2</math> 时,  <math>s_4 = h(1.00 - 2.63415\tau^2 + 2.78055\tau^5 + 3.17060\tau^6 - 6.87795\tau^7 + 2.56095\tau^8)</math> </p>

注:  $\beta_1 \neq \beta_2$ , 要求加速度曲线在  $\beta_1 + \beta_2$  中光滑连续。 $v$  和  $a$  的方程式, 请读者自己推导。

### 3.6 滚子从动件凸轮工作轮廓的设计

#### 3.6.1 作图法

适用于精度要求不高的凸轮，作图比例常用 1:1。

表 4-2-29 直动或摆动滚子从动件盘形凸轮工作轮廓设计

直动滚子从动件		摆动滚子从动件
已知	$h, \beta_1, \beta', \beta_2, e, R_b$ , 从动件运动规律及凸轮转向(图中为逆时针向)	$\Phi, \beta_1, \beta', \beta_2, L, l, R_b$ , 从动件运动规律及凸轮转向(图中为顺时针向)
作图步骤	1. 画 $s-\theta$ 或 $\varphi-\theta$ 曲线	参考表 4-2-22 在图中每隔 $5^\circ$ 左右取一 $\theta$ 值, 求出相应的位移; 图示当 $\theta = \theta_n$ 时的 $s = s_n$ 。
	2. 确定凸轮轴 A 的位置或确定起始位置	任选凸轮转动轴心 A, 按结构布局取定从动件转轴 B 的位置 ( $AB = L$ ), 分别以 A 和 B 为圆心, 以 $R_b$ 和 $l$ 为半径作弧相交于 $C_0$ 点(有二点, 按需要取一点), 则 $BC_0$ 为从动件起始位置, 并标出凸轮转向
	3. 画凸轮的理論轮廓(节线)	以 $AC_0$ 为起点, 逆凸轮转向量取 $\theta_n$ , 得 $C_{0n}$ 点; 过 $C_{0n}$ 作偏距圆的相应切线; 又在 $y-y$ 上取 $C_0C_n = s_n$ , 得 $C_n$ 点, 再以 A 为圆心、 $AC_n$ 为半径画弧, 与对应的偏置圆切线交于 $C'_n$ 。取不同 $\theta$ 值, 重复上述画法, 得一系列点 $C_0, C'_1, C'_2, C'_3, \dots$ 。光滑连接即得
	4. 检查 $\rho_{C_{min}}$ 和 $\alpha_{max}$ 并确定 $R_r$	求出推程的最大压力角 $ \alpha_1 _{max}$ 和回程的 $ \alpha_2 _{max}$ 。对外接凸轮, 求出外凸部分 ( $\rho_C > 0$ ) 的 $\rho_{C_{min}}$ , 对槽凸轮还要求出内凹部分 ( $\rho_C < 0$ ) 的 $ \rho_C _{min}$ 值。并确定 $R_r$ 。 若 $ \alpha_1 _{max} > \alpha_{p1}$ , 或 $ \alpha_2 _{max} > \alpha_{p2}$ , 或 $\rho_{C_{min}}$ (或 $ \rho_C _{min}$ ) $< R_r + (2 \sim 5) \text{ mm}$ , 则加大 $R_b$ 后重新设计
	5. 画凸轮工作轮廓	以凸轮理論轮廓上的点为圆心、以 $R_r$ 为半径画一系列滚子圆, 作其包络线即得(图中只画出了一部分)



表 4-2-30

轴向直动和摆动从动件圆柱凸轮工作轮廓设计

轴向直动从动件	摆动从动件
<p>已知参数</p>	<p><math>h, \beta_1, \beta_2, \beta', b</math>, 滚子宽度 <math>b</math>, 凸轮最小半径 <math>R_{min}</math>, 外圆半径 <math>R_c = R_{min} + b + (1 \sim 3) \text{ mm}</math>, 从动件运动规律及凸轮转向</p>
<p>画 <math>s-\theta</math> 或 <math>\varphi-\theta</math> 曲线</p>	<p><math>\Phi, \beta_1, \beta_2, \beta', l</math>, 滚子宽度 <math>b</math>, 凸轮最小半径 <math>R_{min}</math> [相应外径 <math>R_c = R_{min} + b + (1 \sim 3) \text{ mm}</math>], 从动件运动规律及凸轮转向</p>
<p>确定起始位置</p>	<p>通常即最低(最近)位置</p>
<p>画凸轮理论轮廓的展开图</p>	<p>根据从动件与凸轮的相对位置及凸轮转向, 选定展开图上从动件轴心 <math>B_0</math> 相对于圆柱展开面的位置, 图示从动件在圆柱展开图的左侧。过 <math>B_0</math> 作水平线(垂直于凸轮轴), 如图取 <math>B_0C_0 = l</math>, 且在水平线下成 <math>\frac{\Phi}{2}</math>, <math>B_0C_0</math> 即为从动件的起始位置</p>
<p>检查 <math>\rho_{Cmin}</math> 及 <math>\alpha_{max}</math> 并确定 <math>R_c</math></p>	<p>若以 <math>2\pi R_c</math> 代表凸轮转角 <math>360^\circ</math>, 则所画位移线图即是凸轮外表面上的理论轮廓的展开图</p> <p>取 <math>\angle C_0B_0C_n = \varphi_n</math>, (即画弧 <math>\widehat{C_0C_n}</math>) 得 <math>C_n</math> 点, 过 <math>C_n</math> 作水平线。在过 <math>B_0</math> 的水平线上, 逆圆柱表面速度的方向取 <math>B_0B_n = \frac{\theta_n}{2\pi} R_c</math> 代表 <math>\theta_n</math>, 得点 <math>B_n</math>; 以 <math>B_n</math> 为圆心, <math>l</math> 为半径画弧, 交过 <math>C_n</math> 的水平线于 <math>C'_n</math>。取不同 <math>\theta</math> 值, 重复上述画法, 得一系列点 <math>C_0, C'_1, C'_2, \dots, C'_6</math>, 光滑连接即得</p> <p>求出推程的最大压力角 <math> \alpha_1 _{max}</math> 和回程的 <math> \alpha_2 _{max}</math>。对外接凸轮, 求出外凸部分 (<math>\rho_c &gt; 0</math>) 的 <math>\rho_{Cmin}</math>。对槽凸轮还要求出内凹部分 (<math>\rho_c &lt; 0</math>) 的 <math> \rho_c _{min}</math> 值。并确定 <math>R_c</math></p> <p>若 <math> \alpha_1 _{max} &gt; \alpha_{p1}</math> 或 <math> \alpha_2 _{max} &gt; \alpha_{p2}</math> 或 <math>\rho_{Cmin}</math> (或 <math> \rho_c _{min}</math>) <math>&lt; R_c + (2 \sim 5) \text{ mm}</math>, 则加大 <math>R_{min}</math> 值或局部修改运动规律后重新设计</p>
<p>画凸轮工作轮廓</p>	<p>以凸轮理论轮廓(展开面)上的点为圆心, 以 <math>R_c</math> 为半径画一系列滚子圆, 作其包络线即得凸轮工作轮廓的展开图。将此图包到凸轮圆柱体上即得凸轮工作轮廓</p>

注: 如为圆锥凸轮则展开面为一圆心角为  $2\pi \sin \delta$  的扇形, 再参考盘形凸轮廓线的画法绘图。  $\delta$  为锥顶半角。

### 3.6.2 解析法

适用于中、高速凸轮及某些精度要求较高的凸轮（如靠模凸轮）。

表 4-2-31 直动和摆动滚子从动件盘形凸轮工作轮廓线设计

		移动滚子从动件	摆动滚子从动件
<p><math>C(x_c, y_c)</math> 为凸轮理论轮廓上的任一点, <math>N(x_N, y_N)</math>、<math>N'(x_{N'}, y_{N'})</math> 分别为外缘和内缘凸轮工作轮廓上与 <math>C</math> 点对应的点, <math>D(x_D, y_D)</math>、<math>D'(x_{D'}, y_{D'})</math> 分别为加工 <math>N</math> 点和 <math>N'</math> 点时刀具中心的位置, <math>R_D</math> 为刀具半径</p>			
已知		$h, \beta_1, \beta', \beta_2, R_b, e, R_r, R_D$ , 从动件运动规律, 凸轮转向	$\Phi, \beta_1, \beta', \beta_2, R_b, L, l, R_r, R_D$ , 从动件运动规律及凸轮转向(图示为异向型), 即从动件在推程时的转向与凸轮的转向相反
常量计算		$s_0 = \sqrt{R_b^2 - e^2}, \varphi_0 = \arccos \frac{e}{R_b} = \angle C_0 O x$	$\Psi_0 = \arccos \frac{L^2 + l^2 - R_b^2}{2Ll}, \varphi_0 = \arccos \frac{L^2 + R_b^2 - l^2}{2LR_b} = \angle C_0 O y$
计算	从动件运动参数	从表 4-2-23 ~ 表 4-2-25 中选出计算 $s, s'(\theta), s''(\theta)$ 的公式	从表 4-2-23 ~ 表 4-2-25 中选出 $\Psi, \Psi'(\theta), \Psi''(\theta)$ 的计算公式
	直角坐标	$x_c = (s_0 + s) \sin \theta + e \cos \theta$ $y_c = (s_0 + s) \cos \theta - e \sin \theta$	$x_c = L \sin \theta - l \sin(\Psi + \Psi_0 + \theta)$ $y_c = L \cos \theta - l \cos(\Psi + \Psi_0 + \theta)$ 同向型 $\theta$ 以负值代入
	凸轮理论轮廓极坐标	$r_c = [(s_0 + s)^2 + e^2]^{1/2}$ $\varphi_c = \theta - \arccos \left( \frac{r_c^2 + R_b^2 - s^2}{2r_c R_b} \right)$	$r_c = \sqrt{L^2 + l^2 - 2Ll \cos(\Psi + \Psi_0)}$ $\varphi_c = \theta + \varphi_0 - \arccos \left( \frac{L^2 + r_c^2 - l^2}{2Lr_c} \right)$
	凸轮理论轮廓曲率半径	$\rho_c = \frac{[(s'(\theta) - e)^2 + (s_0 + s)^2]^{3/2}}{[2s'(\theta) - e] - (s_0 + s)[s''(\theta) - s_0 - s]}$ 不利偏置时 $e$ 用负值代入	$\rho_c = \frac{[L^2 + l^2(\Psi'(\theta) + 1)^2 - 2Ll(\Psi'(\theta) + 1) \cos(\Psi + \Psi_0)]^{3/2}}{[L^2 + l^2(\Psi'(\theta) + 1)^3 - Ll\Psi'(\theta) \sin(\Psi + \Psi_0) - Ll(\Psi'(\theta) + 2)(\Psi'(\theta) + 1) \cos(\Psi + \Psi_0)]}$ 同向型 $\Psi'(\theta)$ 以负值代入, 回程 $\Psi$ 等也以负值代入
压力角	$\alpha = \arctan \frac{s'(\theta) - e}{s_0 + s}$ 不利偏置时 $e$ 用负值代入	$\alpha = \arctan \left[ \frac{l(1 + \Psi'(\theta))}{L \sin(\Psi_0 + \Psi)} - \cot(\Psi + \Psi_0) \right]$	
目 检查	<p>求出推程的最大压力角 <math> \alpha_1 _{\max}</math> 及回程 <math> \alpha_2 _{\max}</math>。求出外凸部分 (<math>\rho_c &gt; 0</math>) 的 <math>\rho_{c \min}</math>, 对于槽凸轮还要求内凹部分 (<math>\rho_c &lt; 0</math>) 的 <math> \rho_c _{\min}</math>。 若 <math> \alpha_1 _{\max} &gt; \alpha_{p1}</math> 或 <math> \alpha_2 _{\max} &gt; \alpha_{p2}</math> 或 <math>\rho_{c \min}</math> (或 <math> \rho_c _{\min}</math>) <math>&lt; R_r + (2 \sim 5) \text{ mm}</math>, 则加大 <math>R_b</math> 值后重新计算</p>		



		移动滚子从动件	摆动滚子从动件
计 算 项 目	直角坐标	$x_{N(N')} = x_C \pm R_r [(s'(\theta) - e) \cos\theta - (s + s_0) \sin\theta] / \Delta$ $y_{N(N')} = y_C \mp R_r [(s'(\theta) - e) \sin\theta + (s + s_0) \cos\theta] / \Delta$ $\Delta = \sqrt{(s'(\theta) - e)^2 + (s + s_0)^2}$ 求 $N'$ 的坐标时用下方符号	$x_{N(N')} = x_C \pm R_r [(-L \sin\theta + l(\Psi'(\theta) + 1) \sin(\Psi + \Psi_0 + \theta)) / \Delta]$ $y_{N(N')} = y_C \mp R_r [(L \cos\theta - l(\Psi'(\theta) + 1) \cos(\Psi + \Psi_0 - \theta)) / \Delta]$ $\Delta = \sqrt{L^2 + l^2(\Psi'(\theta) + 1)^2 - 2Ll(\Psi'(\theta) + 1) \cos(\Psi + \Psi_0)}$ 求 $N'$ 的坐标时用下方符号
	极坐标	$r_N =  (s + s_0)^2 + e^2 + R_r^2 \pm 2R_r[(e(s'(\theta) - e) - (s + s_0)^2) / \Delta] ^{1/2}$ $\varphi_N = \varphi_C \pm \arccos\left(\frac{r_C^2 + r_N^2 - R_r^2}{2r_C r_N}\right)$	$r_N = \left[ L^2 + l^2 + R_r^2 - 2Ll \cos(\Psi + \Psi_0) \pm 2R_r \times \frac{-l^2(\Psi'(\theta) + 1) - L^2 + Ll(\Psi'(\theta) + 2) \cos(\Psi + \Psi_0)}{L^2 + l^2(\Psi'(\theta) + 1)^2 - 2Ll(\Psi'(\theta) + 1) \cos(\Psi + \Psi_0)} \right]^{1/2}$ $\varphi_N = \varphi_C + \arccos\left(\frac{r_C^2 + r_N^2 - R_r^2}{2r_C r_N}\right)$
	曲率半径	$\rho = \rho_C \pm R_r (\text{外包络时用正号, 内包络时用负号})$	
刀具中心轨迹坐标		只需将工作轮廓直角坐标方程中的 $R_r$ 以 $-(R_D - R_r)$ 取代即得, 切制内凹凸轮廓线时取下方符号	

表 4-2-32

共轭凸轮理论轮廓方程式

简图	方程式及说明
	主凸轮: $x_{C1} = (s + s_{01}) \sin\theta + e_1 \cos\theta$ $y_{C1} = (s + s_{01}) \cos\theta - e_1 \sin\theta$ 回凸轮: $x_{C2} = (s + s_{02}) \sin\theta + e_2 \cos\theta$ $y_{C2} = (s + s_{02}) \cos\theta - e_2 \sin\theta$ 压力角: $\tan\alpha_i = \left( \frac{ds}{d\varphi} - e_i \right) / (s_{0i} + s_i)$ $s_{0i} = \sqrt{R_{bi}^2 - e_i^2}, i = 1, 2$ $\tan\zeta_i = e_i / \sqrt{R_{bi}^2 - e_i^2}$ 凸轮相位角: $\delta_1 = \pi + \zeta_2 - \zeta_1$ 滚子中心距: $L = \sqrt{R_{b1}^2 - e_1^2} + \sqrt{R_{b2}^2 - e_2^2}$ 滚子偏心距: $E = e_1 + e_2$ $R_{b2} = \sqrt{(\sqrt{R_{b1}^2 - e_1^2} + h)^2 + e_1^2}$

简 图	方 程 式 及 说 明
	<p>主凸轮:</p> $x_{C1} = [(R_{b1} + s) \cos(\gamma_1 - \theta) + s'(\theta) \sin(\gamma_1 - \theta)] \sin \gamma_1$ $y_{C1} = [(R_{b1} + s) \sin(\gamma_1 - \theta) - s'(\theta) \cos(\gamma_1 - \theta)] \sin \gamma_1$ <p>回凸轮:</p> $x_{C2} = [(R_{b2} + s) \cos(\gamma_2 - \theta) + s'(\theta) \sin(\gamma_2 - \theta)] \sin \gamma_2$ $y_{C2} = [(R_{b2} + s) \sin(\gamma_2 - \theta) - s'(\theta) \cos(\gamma_2 - \theta)] \sin \gamma_2$ <p>压力角: <math>\alpha_i = 90^\circ - \gamma_i</math> <math>R_{b2} = R_{b1} + h \sin \gamma_1</math></p> <p>凸轮相位角:</p> $\delta_1 = \pi + (\gamma_1 - \gamma_2)$ <p>平底间距:</p> $L = \frac{R_{b1}}{\sin \gamma_1} + \frac{R_{b2}}{\sin \gamma_2}$ <p>平底夹角:</p> $\Omega = \gamma_2 - \gamma_1$
	<p>主凸轮:</p> $x_{C1} = L \sin \theta - l_1 \sin(\Psi + \Psi_{01} + \theta) \quad L = OA$ $y_{C1} = L \cos \theta - l_1 \cos(\Psi + \Psi_{01} + \theta) \quad l_1 = AB_1$ <p>回凸轮:</p> $x_{C2} = L \sin \theta - l_2 (\Psi + \Psi_{02} + \theta)$ $y_{C2} = L \cos \theta - l_2 (\Psi + \Psi_{02} + \theta)$ <p>压力角:</p> $\tan \alpha_i = \frac{L \cos(\Psi + \Psi_{0i}) - l_i (1 + \Psi')}{L \sin(\Psi + \Psi_{0i})}$ <p>凸轮相位角:</p> $\delta_1 = 2\pi - (\zeta_1 + \zeta_2)$ $\cos \zeta_i = \frac{R_{bi}^2 + L^2 - l_i^2}{2LR_{bi}}, i = 1, 2$ <p>摆杆相位角:</p> $\delta_2 = \Psi_{01} + \Psi_{02}$ $\cos \Psi_{0i} = \frac{L^2 + l_i^2 - R_{bi}^2}{2Ll_i}, i = 1, 2$ $R_{b2} = \sqrt{L^2 + l_2^2 - 2Ll_2 \cos \Psi_{02}}$
	<p>主凸轮:</p> $x_{C1} = \frac{L\Psi'}{1 + \Psi'} \sin \theta - [e_1 + L \sin(\Psi + \Psi_{01}) / (1 + \Psi')] \times \cos(\theta + \Psi + \Psi_{01})$ $y_{C1} = \frac{L\Psi'}{1 + \Psi'} \cos \theta + [e_1 + L \sin(\Psi + \Psi_{01}) / (1 + \Psi')] \times \sin(\theta + \Psi + \Psi_{01})$ <p>回凸轮:</p> $x_{C2} = \frac{L\Psi'}{1 + \Psi'} \sin \theta - [e_2 + L \sin(\Psi + \Psi_{02}) / (1 + \Psi')] \times \cos(\theta + \Psi + \Psi_{02})$ $y_{C2} = \frac{L\Psi'}{1 + \Psi'} \cos \theta + [e_2 + L \sin(\Psi + \Psi_{02}) / (1 + \Psi')] \times \sin(\theta + \Psi + \Psi_{02})$ <p>凸轮相位角: <math>\delta_1 = \pi + (\Psi_{01} + \Psi_{02}) \quad L = OA</math></p> <p>摆杆相位角: <math>\delta_2 = \Psi_{01} + \Psi_{02}, \sin \Psi_{0i} = \frac{R_{bi} - e_i}{L}</math></p> <p>压力角: <math>\tan \alpha_i = -e(1 + \Psi') / L \cos(\Psi + \Psi_{0i})</math></p> $R_{b2} = L \sin(\Psi_{01} + \Psi_m) + e_1 \quad \Psi_m \text{——总摆角}$

**例1** 设计一个直动滚子从动件盘形凸轮，从动件在推程按简谐运动规律运动，回程按抛物线规律运动， $h = 40\text{mm}$ ， $\beta_1 = 110^\circ$ ， $\beta' = 15^\circ$ ， $\beta_2 = 175^\circ$ ， $R_b = 85\text{mm}$ ， $e = 21\text{mm}$ ， $R_r = 25\text{mm}$ 。

**解** 1. 作图法设计 见图 4-2-41，作图过程说明从略。

2. 解析法设计 以  $\theta = 60^\circ$  为例，按表 4-2-31 逐项计算如下：

$$s_0 = (R_b^2 - e^2)^{1/2} = (85^2 - 21^2)^{1/2} = 82.365\text{mm}, \quad \varphi_0 = \arccos \frac{e}{R_b} = 75.696^\circ$$

1) 由表 4-2-23 知： $s = \frac{h}{2} \left( 1 - \cos \frac{\pi}{\beta_1} \theta \right) = 20 \times \left( 1 + 0.1423148 \right) = 22.846\text{mm}$

$$s'(\theta) = \frac{h\pi}{2\beta_1} \sin \left( \frac{\pi}{\beta_1} \theta \right) = 20 \times \frac{18}{11} \times 0.9898214 = 32.394$$

$$s''(\theta) = \frac{\pi^2 h}{2\beta_1^2} \cos \left( \frac{\pi}{\beta_1} \theta \right) = 20 \times \left( \frac{18}{11} \right)^2 \times (-0.1423148) = -7.621$$

2)  $x_C = (s_0 + s) \sin \theta + e \cos \theta = (82.365 + 22.846) \times 0.866 + 21 \times 0.5 = 101.615\text{mm}$

$$y_C = (s_0 + s) \cos \theta - e \sin \theta = 105.211 \times 0.5 - 21 \times 0.866 = 34.419\text{mm}$$

$$r_C = (x_C^2 + y_C^2)^{1/2} = 107.286\text{mm}$$

$$\varphi_C = \varphi_0 - \arctan \frac{y_C}{x_C} = 75.696^\circ - 18.712^\circ = 56.984^\circ$$

3)  $\rho_C = \frac{[(32.394 - 21)^2 + 105.211^2]^{3/2}}{(32.394 - 21)(2 \times 22.394 - 21) - 105.211 \times (-1.063 - 105.211)} = 101.5\text{mm}$

4)  $\alpha = \arctan \frac{s'(\theta) - e}{s_0 + s} = \arctan \frac{11.394}{105.211} = 6.181^\circ$

5) 检查通过

6)  $x_N = x_C - R_r \sin(\theta - \alpha) = 101.615 - 25 \times 0.81 = 81.436\text{mm}$

$$y_N = y_C - R_r \cos(\theta - \alpha) = 34.419 - 25 \times 0.59 = 19.669\text{mm}$$

$$r_N = (x_N^2 + y_N^2)^{1/2} = 83.778\text{mm}$$

$$\varphi_N = \varphi_0 - \arctan \frac{y_N}{x_N} = 75.696^\circ - 13.578^\circ = 62.118^\circ$$

以上只计算  $\theta = 60^\circ$  时这一点的数值；在凸轮的实际设计中，要根据凸轮精度要求，每隔一定的凸轮转角（即凸轮转角增量）计算出一组数据才能连接成光滑的凸轮廓线，所以计算工作量很大。若采用计算机，只要将已编好的程序输入，然后向计算机输入少量指令，即进行计算，如程序中包含了绘图程序及刀具中心轨迹程序，则可以表格或图形输出，而将程序与数控机床的接口相连，便形成了凸轮的 CAD/CAM 系统，有关程序可参阅文献 [3、19、22]。

本例题的计算结果从略。其压力角变化曲线和曲率半径变化曲线见图 4-2-41。

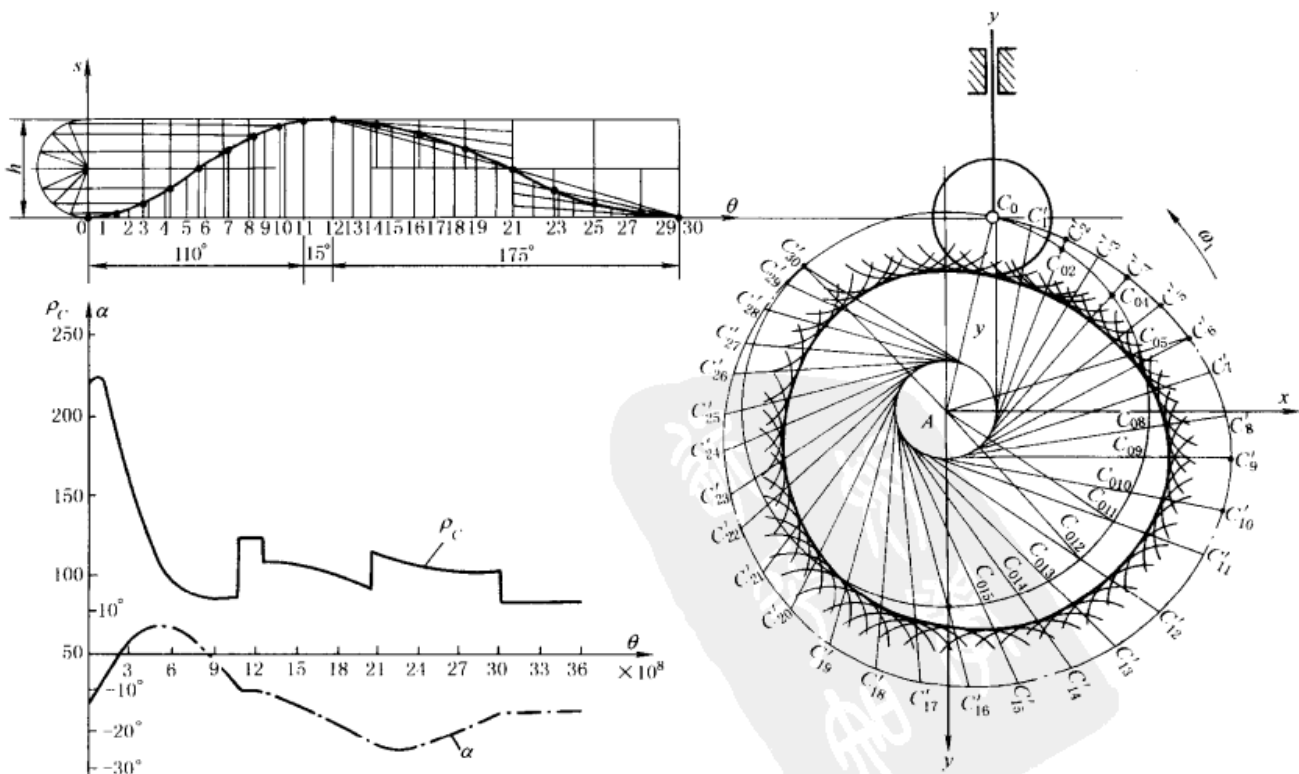


图 4-2-41 直动滚子从动件盘形凸轮轮廓设计及  $\alpha$ 、 $\rho$  变化曲线

例2 设计一个摆动滚子从动件盘形凸轮机构，从动件在推程时的转向与凸轮转向相同（同向型）。从动件在推程和回程均按简谐运动规律运动， $\Phi = 20^\circ$ ， $\beta_1 = 65^\circ$ ， $\beta' = 20^\circ$ ， $\beta_2 = 65^\circ$ ， $L = 56\text{mm}$ ， $l = 56\text{mm}$ ， $R_r = 10\text{mm}$ ， $R_b = 30\text{mm}$ 。

解 1. 作图法设计见图4-2-42。作图过程说明从略。

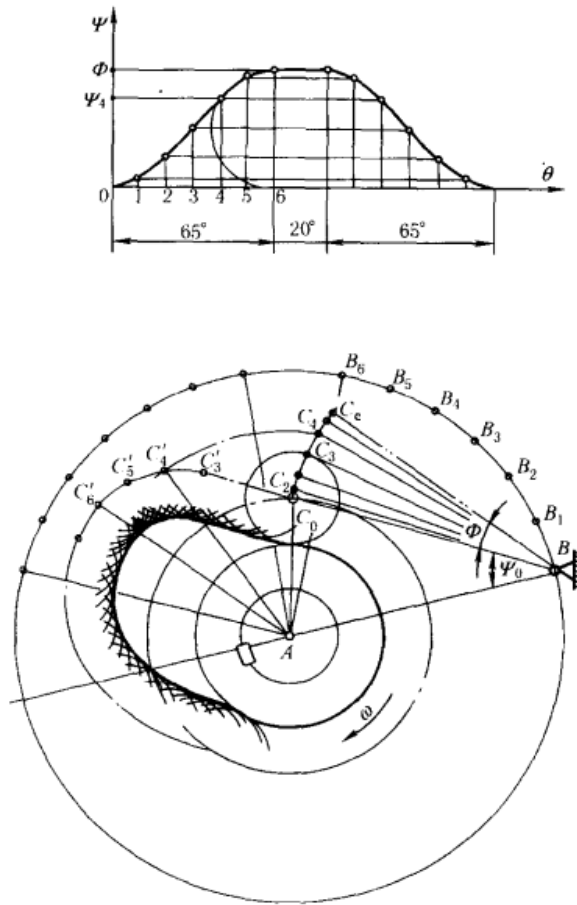


图 4-2-42 摆动滚子从动件盘形凸轮轮廓设计

2. 解析法设计（手算法），这个机构属同向型，以  $\theta = 45^\circ$  为例按表 4-2-31 中同向型逐项计算如下：

$$\Psi_0 = \arccos \frac{L^2 + l^2 - R_b^2}{2lL} = \arccos \frac{5372}{6272} = \arccos 0.8565 = 31.074^\circ$$

$$\varphi_0 = \arccos \frac{L^2 + R_b^2 - l^2}{2LR_b} = \arccos \frac{900}{3360} = \arccos 0.26786 = 74.463^\circ$$

1) 由表 4-2-23 知： $\Psi = \frac{\Phi}{2} \left( 1 - \cos \frac{\Phi}{\beta_1} \pi \right) = \frac{20^\circ}{2} \left( 1 - \cos \pi \frac{45^\circ}{65^\circ} \right) = 15.681^\circ$

$$\Psi'(\theta) = \frac{\pi \Phi}{2\beta_1} \sin \left( \pi \frac{\theta}{\beta_1} \right) = \frac{\pi \times 20^\circ}{2 \times 65^\circ} \sin \left( \pi \frac{45^\circ}{65^\circ} \right) = 0.398$$

$$\Psi''(\theta) = \frac{\pi^2 \Phi}{2\beta_1^2} \cos \left( \pi \frac{\theta}{\beta_1} \right) = \frac{1800\pi}{65^2} \times (-0.568) = -0.760$$

2)  $\theta = 45^\circ$  时凸轮理论轮廓上的参数（同向型  $\theta$  及  $\Psi'(\theta)$  均以负值代入公式）：

$$x_c = L\sin\theta - l\sin(\Psi + \Psi_0 + \theta) = 56 \times (-\sin 45^\circ - \sin 1.755^\circ) = -41.313 \text{ mm}$$

$$y_c = L\cos\theta - l\cos(\Psi + \Psi_0 + \theta) = 56 \times (\cos 45^\circ - \cos 1.755^\circ) = -16.376 \text{ mm}$$

$$r_c = \sqrt{L^2 + l^2 - 2Ll\cos(\Psi + \Psi_0)} = \sqrt{56^2 + 56^2 - 2 \times 56 \times 56 \cos 46.755^\circ} = 44.440 \text{ mm}$$

$$\varphi_c = \theta + \varphi_0 - \arccos\left(\frac{L^2 + r_c^2 - l^2}{2Lr_c}\right) = -45^\circ + 74.463^\circ - \arccos\left(\frac{56^2 + 44.44^2 - 56^2}{2 \times 56 \times 44.44}\right) = -37.159^\circ$$

3) 曲率半径  $\rho_c$  及压力角  $\alpha$

$$\rho_c = [L^2 + l^2(\Psi'(\theta) + 1)^2 - 2Ll(\Psi'(\theta) + 1)\cos(\Psi + \Psi_0)]^{3/2} / [L^2 + l^2(\Psi'(\theta) + 1)^3 - Ll\Psi''(\theta)\sin(\Psi + \Psi_0) - Ll(\Psi'(\theta) + 2)(\Psi'(\theta) + 1)\cos(\Psi + \Psi_0)]$$

$$= [56^2 + 56^2 \times (1 - 0.398)^2 - 2 \times 56 \times 56 \times (1 - 0.398) \cos 46.755^\circ]^{3/2} / \{56^2 \times [1 + (1 - 0.398)^3 + 0.76 \sin 46.755^\circ - (2 - 0.398) \times (1 - 0.398) \cos 46.755^\circ]\}$$

$$= 19.863 \text{ mm}$$

$$\alpha = \arctan\left[\frac{l(1 + \Psi'(\theta))}{L\sin(\Psi + \Psi_0)} - \cot(\Psi + \Psi_0)\right] = \arctan\left[\frac{56 \times (1 - 0.398)}{56 \times \sin 46.755^\circ} - \cot 46.755^\circ\right] = -6.51^\circ$$

工作行程的最大压力角  $\alpha_{\max}$  出现在  $\theta = 32.5^\circ$  处, 这时  $\Psi = 10^\circ$ 、 $\Psi'(\theta) = 0.4833$ 、 $\Psi''(\theta) = 0$ , 代入公式求得的  $\alpha_{\max} = 19.85^\circ < 30^\circ = \alpha_p$  通过检查。

4)  $\theta = 45^\circ$  时凸轮工作轮廓上的参数:

$$x_N = x_c + R_r \left\{ \frac{-L\sin\theta + l(\Psi'(\theta) + 1)\sin(\Psi + \Psi_0 + \theta)}{[L^2 + l^2(\Psi'(\theta) + 1)^2 - 2Ll(\Psi'(\theta) + 1)\cos(\Psi + \Psi_0)]^{1/2}} \right\}$$

$$= -41.313 + 10 \times \left\{ \frac{-56\sin(-45^\circ) + 56 \times 0.602\sin 1.755^\circ}{[56^2 + 56^2 \times 0.602^2 - 2 \times 56 \times 56 \times 0.602 \cos 46.755^\circ]^{1/2}} \right\} = -31.417 \text{ mm}$$

$$y_N = y_c - R_r \left\{ \frac{L\cos\theta - l(\Psi'(\theta) + 1)\cos(\Psi + \Psi_0 + \theta)}{[L^2 + l^2(\Psi'(\theta) + 1)^2 - 2Ll(\Psi'(\theta) + 1)\cos(\Psi + \Psi_0)]^{1/2}} \right\}$$

$$= -16.376 - 10 \times \left\{ \frac{56\cos(-45^\circ) - 56 \times 0.602 \times \cos 46.755^\circ}{[56^2 + 56^2 \times 0.602^2 - 2 \times 56 \times 56 \times 0.602 \times \cos 46.755^\circ]^{1/2}} \right\}$$

$$= -17.813 \text{ mm}$$

$$r_N = \left\{ L^2 + l^2 + R_r^2 - 2Ll\cos(\Psi + \Psi_0) \pm 2R_r \left[ \frac{-l^2(\Psi'(\theta) + 1) - L^2 + Ll(\Psi'(\theta) + 2)\cos(\Psi + \Psi_0)}{[L^2 + l^2(\Psi'(\theta) + 1)^2 - 2Ll(\Psi'(\theta) + 1)\cos(\Psi + \Psi_0)]^{1/2}} \right] \right\}^{1/2}$$

$$= \left\{ 56^2 + 56^2 + 10^2 - 2 \times 56 \times 56 \cos 46.755^\circ - 20 \times \left[ \frac{56^2 \times 0.602 - 56^2 + 56 \times 56 \times 1.602 \cos 1.755^\circ}{[56^2 + 56^2(0.602)^2 - 2 \times 56 \times 56 \times 0.602 \cos 46.755^\circ]^{1/2}} \right] \right\}^{1/2}$$

$$= 36.115 \text{ mm}$$

$$\varphi_N = \varphi_c \pm \arccos\left[\frac{r_N^2 + r_c^2 - R_r^2}{2r_N r_c}\right] = -37.159^\circ - \arccos\left[\frac{36.115^2 + 44.44^2 - 10^2}{2 \times 36.115 \times 44.44}\right] = -45.0906^\circ$$

$$\rho_N = \rho_c - R_r = 9.863 \text{ mm}$$

实际计算时, 只需采取直角坐标或极坐标形式中的一种。

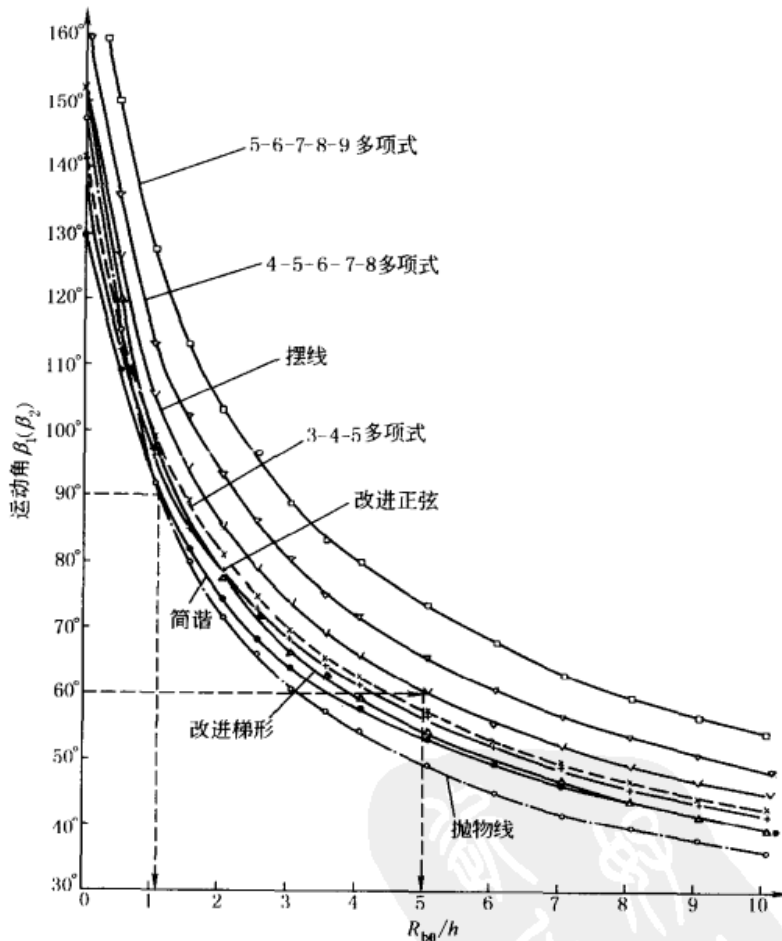
## 3.7 平底从动件盘形凸轮工作轮廓的设计

表 4-2-33

直动直角平底从动件盘形凸轮基本尺寸的确定

名称	公式	说明
移动副长度 $b$ , 从动件悬伸 $l$	$l \leq \frac{b}{4\mu^2}$	供参考, $\mu$ 为从动件与导路之间以及凸轮之间摩擦因数的平均值
平底半径 $r$	$r =  s'(\theta) _{\max} + (2 \sim 5) \text{mm}$	$ s'(\theta) _{\max}$ 的计算公式见表 4-2-23 ~ 表 4-2-25, 取推程与回程两者中较大者
基圆半径 $R_b$	$R_b \geq R_{b0} + \rho_{\min}$	$R_{b0}$ 从图 4-2-43 查得, $\rho_{\min}$ 自定

注: 对等速规律,  $R_b$  值可任选。

图 4-2-43 直动直角平底从动件凸轮  $R_{b0}-\beta_1 (\beta_2)$  曲线

$$R_{b0} - \rho_{\min} = 0 \text{ 时的基圆半径 } R_b = R_{b0} + \rho_{\min}$$

例 有一直动直角平底从动件盘形凸轮机构, 在推程按摆线规律运动, 回程按抛物线规律运动,  $h = 20 \text{mm}$ ,  $\beta_1 = 60^\circ$ ,  $\beta_2 = 90^\circ$ , 要求  $\rho_{\min} \geq 10 \text{mm}$ , 求基圆半径。

解 在图 4-2-43 中, 由纵坐标上  $60^\circ$  处作横线与摆线规律曲线相交, 过交点找其横坐标为 5, 即  $R_{b0} = 5 \times 20 = 100 \text{mm}$ 。故  $R_b = R_{b0} + \rho_{\min} = 100 + 10 = 110 \text{mm}$ , 由于  $\beta_2 = 90^\circ$ , 所需  $R_b$  值显然小于此值, 故此凸轮的  $R_b$  值为  $110 \text{mm}$ 。

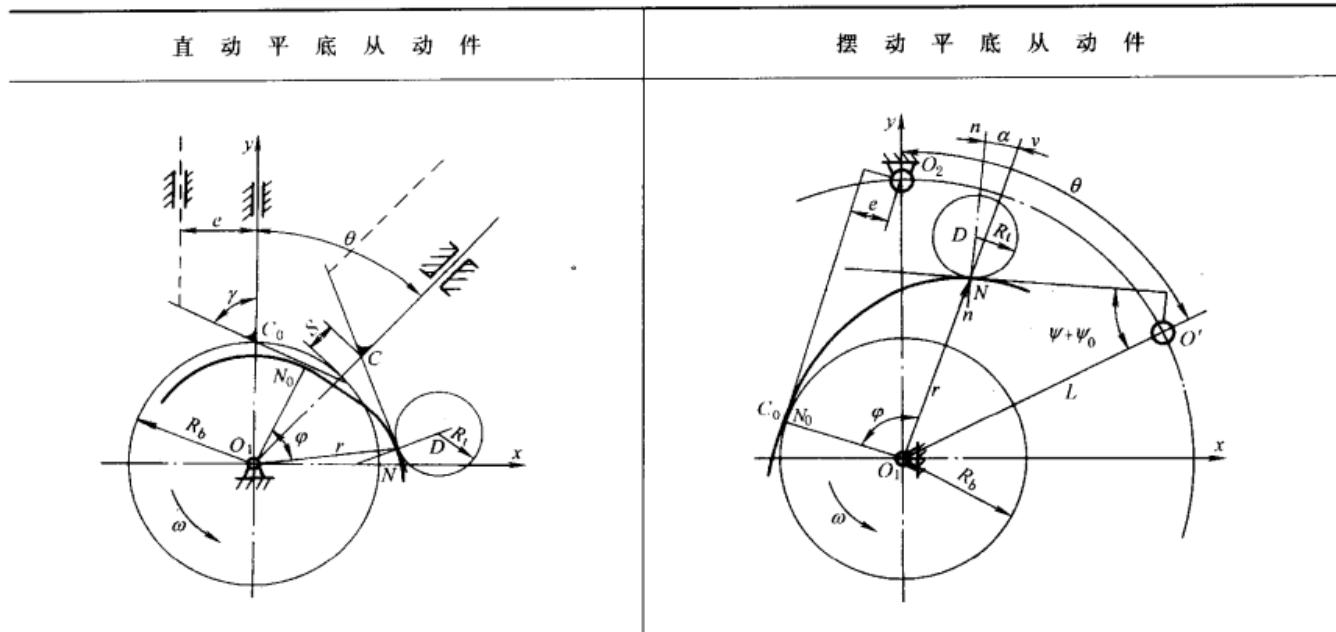
表 4-2-34

平底从动件盘形凸轮工作轮廓设计 (作图法)

直动直角平底从动件		摆动平底从动件
已知参数	$h, \beta_1, \beta', \beta_2, R_b$ , 从动件运动规律	$\Phi, \beta_1, \beta', \beta_2, R_b, L, f$ (平底偏距), 从动件运动规律及凸轮转向
画 $s-\theta$ 曲线或 $\varphi-\theta$ 曲线	参考表 4-2-22 在图中每隔 $5^\circ$ 左右取一个 $\theta$ 值, 求出相应的位移曲线, 图示为 $\theta = \theta_n$ 时, $s = s_n$	参考表 4-2-22 在图中每隔 $5^\circ$ 左右取一个 $\theta$ 值, 求出相应的位移曲线。图示当 $\theta = \theta_n$ 时 $\varphi = \varphi_n$ 。
确定轴心 A 的位置及起始位置	作移动副方位线 $yy$ , 与 $\theta$ 轴相交于 $C_0$ , 取 $C_0A = R_b$ , 得 A 点位置, 凸轮廓线从 $C_0$ 画起	根据凸轮机构的结构, 确定凸轮转动轴心 A 及从动件转动轴心 B ( $AB = L$ ), 以 A 为圆心, 画基圆, 过 B 作基圆的一条切线 (方位与所定结构一致), 得切点 $C_0$ , 作与 $BC_0$ 相距为 $f$ 的平行线 $\delta_0\delta_0$ (即平底线, 方位与所定结构一致) 交 $C_0A$ 于 $C'_0$ 点, 用 $BC'_0$ 表示从动件起始位置。标出凸轮转向
画凸轮工作轮廓	在 $yy$ 上取 $C_0C_n = s_n$ ; 又以 $AC_n$ 为起始线, 逆凸轮转向量取 $\theta_n$ , 得 $C'_n$ , 过 $C'_n$ 作 $AC'_n$ 的垂线 $nn$ (即平底在反转后的位置); 取不同的 $\theta$ 值, 重复上述画法, 得一系列直线, 作其包络线即是	以 B 为圆心, $BC'_0$ 为半径画圆弧 $\widehat{C'_0C_n}$ , 以 $BC'_0$ 为起始线, 量取 $\varphi_n$ , 得 $C_n$ 点; 再以 $AB$ 为起始线, 逆凸轮转向量取 $\theta_n$ 角 (即画 $\widehat{BB_n}$ ), 得 $B_n$ 点; 以 $B_n$ 为圆心, $f$ 为半径作偏距圆; 又以 A 为圆心, $AC_n$ 为半径画圆弧, 与以 $B_n$ 为圆心, $BC_0$ 为半径所画的圆弧相交于 $C'_n$ , 过 $C'_n$ 作此偏距圆的相应切线 $\delta_n\delta_n$ (即平底在反转后的位置)。取不同 $\theta$ 值, 重复上述画法, 得一系列平底线, 作其包络线即为凸轮工作轮廓
检查	求出最小曲率半径 $\rho_{min}$ 。若 $\rho_{min} < (2 \sim 5)\text{mm}$ , 则加大基圆半径后重新设计	
确定平底半径 $r$ 或确定从动件长度 $l$ 及平底长度 $l'$	图示包络线与直线 $nn$ 相切于 $K_n$ , 对于不同的 $\theta$ 值, $C'_nK_n$ 长度不同, 取其中最大值再加 $(2 \sim 5)\text{mm}$ 即为 $r$	当 $\theta = \theta_n$ 时, 凸轮廓线与平底线 $\delta_n\delta_n$ 相切于 $N_n$ 点, 过 $N_n$ 点作法线, 设 $B_n$ 点到此法线的距离为 $q$ ; 取不同 $\theta$ 值, 得不同的 $q$ 值, 求得 $q_{min}$ 和 $q_{max}$ ; 则 $l = q_{max} + (2 \sim 5)\text{mm}$ $l' = q_{max} - q_{min} + (2 \sim 5)\text{mm}$

表 4-2-35

直动平底和摆动平底从动件盘形凸轮工作轮廓设计(解析法)



$e$ ——偏距有正值和负值之分,如图中实线所示即为正值

$C(x_c, y_c)$ 为凸轮理论轮廓上的任一点, $N(x_n, y_n)$ 为凸轮工作轮廓上与 $C$ 点相对应的点, $D(x_d, y_d)$ 为加工 $N$ 点时圆柱形刀具中心的位置,设刀具半径为 $R_d$

已知参数	$e, h, \beta_1, \beta', \beta_2, R_b$ , 从动件运动规律, 平底与移动导轨夹角 $\gamma, R_1$	$\varphi, \beta_1, \beta', \beta_2, R_b, L, e$ 从动件运动规律及凸轮转向(上图所示为异向型), 刀具半径 $R_1$	
常量计算		$\Psi_0 = \arcsin \frac{R_b - e}{L}$ $\varphi_0 = \frac{\pi}{2} - \Psi_0$	
从动件运动参数	从表 4-2-23 ~ 表 4-2-25 中选出计算	$S'(\theta), S''(\theta)$ (对摆动从动件为 $\Psi'(\theta), \Psi''(\theta)$ ) 的公式	
计算项目	凸轮工作轮廓	直角坐标: $x = [(R_b + S) \cos(\gamma - \theta) + S' \sin(\gamma - \theta)] \sin \gamma$ $y = [(R_b + S) \sin(\gamma - \theta) - S' \cos(\gamma - \theta)] \sin \gamma$ 极坐标: $r = \sin \gamma \sqrt{(R_b + S)^2 + (S'(\theta))^2}$ $\varphi = \theta + \arctan \left( \frac{S'(\theta)}{R_b + S(\theta)} \right)$	直角坐标: $x = A \sin \theta - B \cos(\theta + \Psi + \Psi_0)$ $y = A \cos \theta + B \sin(\theta + \Psi + \Psi_0)$ 式中 $A = L \Psi'(\theta) / (1 + \Psi(\theta))$ $B = e + [L \sin(\Psi + \Psi_0) / (1 + \Psi(\theta))]$ 意义下同 极坐标: $r = [A^2 + B^2 + 2AB \sin(\Psi + \Psi_0)]^{1/2}$ $\varphi = \theta + \Psi + \arcsin \frac{A \cos(\Psi + \Psi_0)}{r}$
	曲率半径	$\rho = [R_b + S(\theta) + S''(\theta)] \sin \gamma$	$\rho = \frac{L}{(1 + \Psi'(\theta))^3} [1 + \Psi'(\theta)(1 + 2\Psi'(\theta) \sin(\Psi + \Psi_0) + \Psi''(\theta) \cos(\Psi + \Psi_0))] + e$
	压力角	$\alpha = 90^\circ - \gamma$	$\tan \alpha = -e[1 + \Psi'(\theta)] / L \cos(\Psi + \Psi_0)$
刀具中心轨迹	直角坐标	$x_d = x + R_1 \cos(\gamma - \theta)$ $y_d = y + R_1 \sin(\gamma - \theta)$	$x_d = x - R_1 \cos(\theta + \Psi + \Psi_0)$ $y_d = y + R_1 \sin(\theta + \Psi + \Psi_0)$
	极坐标	$r_1 = \{ [R_1 + (R_b + S) \sin \gamma]^2 + (S' \sin \gamma)^2 \}^{1/2} = O_1 D$ $\varphi_1 = \theta + \arctan \left[ \frac{S' \sin \gamma}{R_1 + (R_b + S) \sin \gamma} \right]$	$r_1 = [A^2 + B^2 + R_1^2 - 2A(B + R_1) \sin(\Psi + \Psi_0) - 2BR_1]^{1/2} = O_1 D$ $\varphi_1 = \varphi - \arccos \frac{r^2 + r_1^2 - R_1^2}{2rr_1}$



### 3.8 圆弧凸轮工作轮廓的设计

#### 3.8.1 单圆弧凸轮（偏心轮）

适用于要求从动件作连续“推、回”运动的场合。凸轮轮廓为一圆周（半径为  $R_k$ ），偏心距  $e = \frac{h}{2} = OA$ 。

表 4-2-36 单圆弧凸轮及其从动件运动参数的计算

凸轮名称	直动滚子从动件凸轮	直动平底从动件凸轮	
简图			
运动特点	导路与凸轮转动中心间有偏距,其运动与偏置曲柄滑块机构中滑块的运动相同;对心直动滚子从动件凸轮机构只需将公式中 $e$ 和 $\alpha_0$ 以 0 代入即可。	属简谐运动规律,有较好的加速度规律。 $R_k$ 值不影响从动件运动参数。 $R_k$ 值可由接触强度决定,从动件的运动与正弦机构中的滑块运动相同	
计算项目	压力角	$\alpha = \arcsin \left[ \frac{e \mp r_e \sin(\theta - \alpha_0)}{R + R_r} \right], \alpha_0 = \arcsin \left( \frac{e}{R + R_r - r_e} \right)$	$\alpha = 90^\circ - \gamma$
	位移	$s = (R_k + R_r) \cos \alpha - r_e \cos(\theta - \alpha_0) - \sqrt{R_b^2 - e^2}$	$s = h(1 - \cos \theta) / (2 \sin \gamma)$
	速度	$v = r_e \omega_1 \sin(\theta - \alpha_0 - \alpha) / \cos \alpha$	$v = h \omega_1 \sin \theta / (2 \sin \gamma)$
	加速度	$a = \frac{r_e \omega_1}{\cos \alpha} \left[ \cos(\theta - \alpha_0 - \alpha) - \frac{r_e \cos^2(\theta - \alpha_0)}{(R + R_r) \cos \alpha} \right]$	$a = h \omega_1^2 \cos \theta / (2 \sin \gamma)$
	凸轮尺寸	$R_r \geq (2 \sim 3)r, r$ 为滚子轴半径 $R_b \geq R_r + R_{s(h)} + (2 \sim 5) \text{ mm}, R_{s(h)}$ 为凸轮轴或凸轮轮毂的半径 $R = R_b - R_r + \frac{h}{2}, R_k > R$	$R_b \geq R_{s(h)} + (2 \sim 5) \text{ mm}$ $R = R_b + \frac{h}{2}$

#### 3.8.2 多圆弧凸轮

表 4-2-37 定义及圆弧连接条件

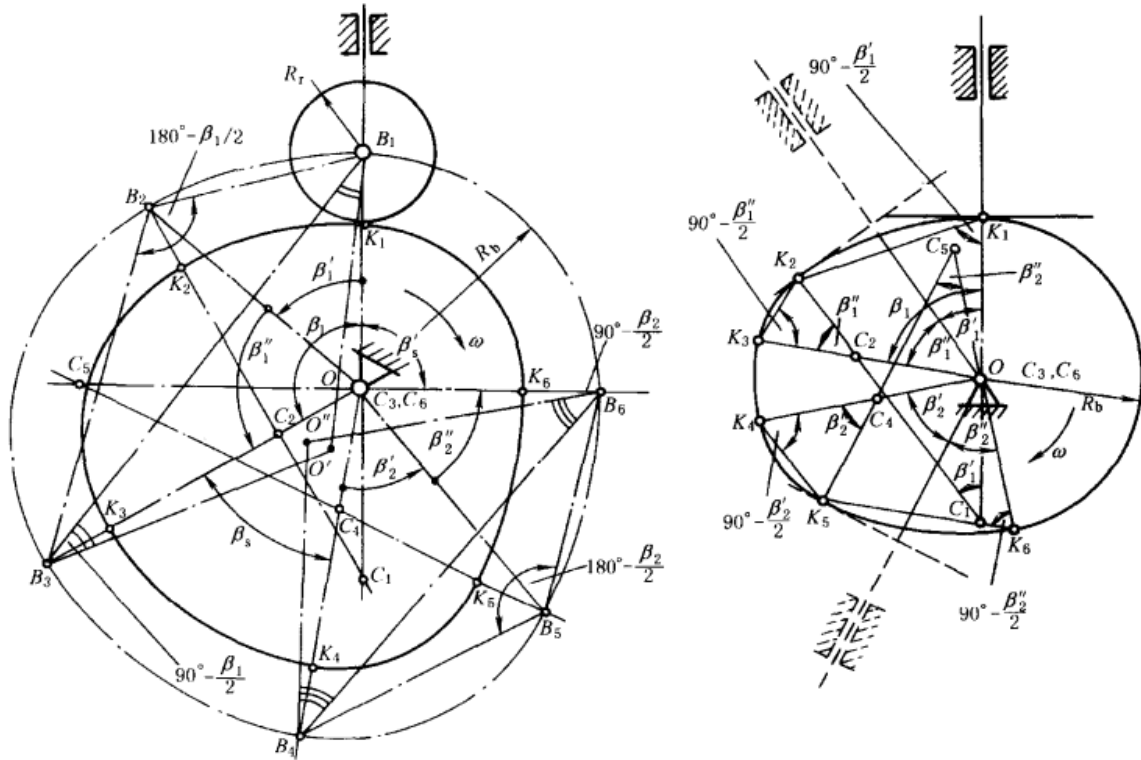
定义	凸轮工作轮廓由几段圆弧连接组成
圆弧连接应满足的条件	1. 保持原始数据 $h$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 大小不变 2. 所得从动件的实际运动规律与预定的运动规律很接近
光滑连接条件	相邻两段圆弧的连接点及两个圆心在一条直线上
特点	比较容易制造
应用举例	1. 六圆弧（对无停歇段者为四圆弧）凸轮——当 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 较小时, 近似实现等加速等减速规律 2. 插齿机进给凸轮可近似实现等速规律

表 4-2-38

对心直动滚子和直动直角平底从动件四圆弧凸轮轮廓设计

对心直动滚子从动件

直动直角平底从动件



$$\beta_1' = \beta_1 / (1 + \nu), \beta_1'' = \nu \beta_1 / (1 + \nu)$$

式中  $\beta_1'$ ——加速段凸轮转角；

$\beta_1''$ ——减速段凸轮转角；平均加速度比例系数

$$\nu = \beta_1'' / \beta_1' = 1 \sim 1.5$$

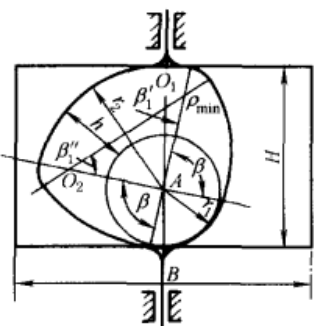
已知参数	$h, \beta_1, \beta_2, \nu, R_b, \alpha_p$ (许用压力角)	$h, \beta_1, \beta_2, \beta_2, \rho_{min}, \nu$	
画基圆及 $\beta_1', \beta_1''$ 等	任选凸轮轴心 $O$ , 作 $\angle B_1OB_2 = \beta_1'$ 及 $\angle B_2OB_3 = \beta_1''$ , 取 $OB_1 = R_b, OB_3 = R_b + h$	画三角形 $OC_1C_2$	任选凸轮轴心 $O$ , 作 $\triangle OC_1C_2, OC_1 = e_1, OC_2 = e_2, \angle C_1OC_2 = 180^\circ - \beta_1, e$ 值计算见本表后
确定加速段与减速段	连 $B_1B_3$ , 作 $\angle B_3B_1O' = 90^\circ - \frac{\beta_1}{2}$ , $B_1O'$ 与 $B_1B_3$ 的中垂线相交于 $O'$ ; 以 $O'$ 为圆心、 $O'B_1$ 为半径作圆弧, 交 $OB_2$ 于 $B_2$ 点, $B_1B_2$ 之间为加速段, $B_2B_3$ 间为减速段	画减速段凸轮工作轮廓	延长 $C_1C_2$ 至 $K_2$ 使 $C_2K_2 \geq \rho_{min}$ , 以 $C_2$ 为圆心, $C_2K_2$ 为半径画圆弧 $K_2K_3$ 即是
画加速段凸轮理论轮廓	$B_1B_2$ 的中垂线与 $B_1O$ 的延长线交于 $C_1$ , 以 $C_1$ 为圆心, $B_1C_1$ 为半径画圆弧 $\widehat{B_1B_2}$ 即是	画加速段凸轮工作轮廓	以 $C_1$ 为圆心, $C_1K_2$ 为半径画圆弧, 交 $C_1O$ 的延长线于 $K_1$ , 得 $K_1K_2$ 即是
画减速段凸轮理论轮廓	$B_2B_3$ 的中垂线与 $B_3O$ 交于 $C_2$ ( $C_2, C_1$ 和 $B_2$ 应在一直线上), 以 $C_2$ 为圆心, $C_2B_3$ 为半径画圆弧 $\widehat{B_2B_3}$ 即是	检查 $R_b$ 值	$R_b = OK_1$ ; 若 $R_b < R_{a(h)} + (2 \sim 5) \text{ mm}$ , 则加大 $C_2K_2$ 后重新设计
画回程部分凸轮理论轮廓	与上述方法类似	画回程部分凸轮轮廓	与上述画法类似
画凸轮工作轮廓	以 $C_1$ 为圆心, 以 $(C_1B_2 - R_r)$ 为半径画圆弧, 又以 $C_2$ 为圆心, 以 $(C_2B_3 - R_r)$ 为半径画圆弧即是		



	对心直动滚子从动件	直动直角平底从动件
解 析 计 算	$l_2 = OB_2 = \left[ \sqrt{h^2 \sin^2 \left( \frac{\beta_1}{2} - \beta_1' \right) + 4R_b (R_b + h) \sin^2 \frac{\beta_1}{2}} - h \sin \left( \frac{\beta_1}{2} - \beta_1' \right) \right] / \left( 2 \sin \frac{\beta_1}{2} \right)$	$\widehat{K_1 K_2} : e_1 = h \sin \frac{\beta_1'}{2} / \left( 2 \sin \frac{\beta_1}{2} \sin \frac{\beta_1'}{2} \right)$
	$l_5 = OB_5 = \left[ \sqrt{h^2 \sin^2 \left( \frac{\beta_2}{2} - \beta_2'' \right) + 4R_b (R_b + h) \sin^2 \frac{\beta_2}{2}} - h \sin \left( \frac{\beta_2}{2} - \beta_2'' \right) \right] / \left( 2 \sin \frac{\beta_2}{2} \right)$	$\widehat{K_2 K_3} : e_2 = h \sin \frac{\beta_1''}{2} / \left( 2 \sin \frac{\beta_1}{2} \sin \frac{\beta_1''}{2} \right)$
	$R_{B_1} = \frac{1}{2} \left( \frac{l_2^2 \sin^2 \beta_1'}{R_b - l_2 \cos \beta_1'} + R_b - l_2 \cos \beta_1' \right)$	$R_{K_3} = R_b + h - e_2$
	$e_1 = OC_1 = R_{B_1} - R_b$	$\widehat{K_3 K_4} : e_3 = 0, R_{K_4} = R_b + h$
	$R_{B_2} = \frac{1}{2} \left( \frac{l_2^2 \sin^2 \beta_1''}{R_b + h - l_2 \cos \beta_1''} + R_b + h - l_2 \cos \beta_1'' \right)$	$\widehat{K_4 K_5} : e_4 = h \sin \frac{\beta_2'}{2} / \left( 2 \sin \frac{\beta_2}{2} \sin \frac{\beta_2'}{2} \right)$
	$e_2 = OC_2 = R_b + h - R_{B_2}$	$R_{K_5} = R_b + h - e_4$
	$R_{B_4} = \frac{1}{2} \left( \frac{l_5^2 \sin^2 \beta_2'}{R_b + h - l_5 \cos \beta_2'} + R_b + h - l_5 \cos \beta_2' \right)$	$\widehat{K_5 K_6} : e_5 = h \sin \frac{\beta_2''}{2} / \left( 2 \sin \frac{\beta_2}{2} \sin \frac{\beta_2''}{2} \right)$
	$e_4 = R_b + h - R_{B_4}$	$R_{K_6} = R_b + e_5$
	$R_{B_5} = \frac{1}{2} \left( \frac{l_5^2 \sin^2 \beta_2''}{R_b - l_5 \cos \beta_2''} + R_b - l_5 \cos \beta_2'' \right)$	$\widehat{K_6 K_1} : e_6 = 0, R_{K_6} = R_b$
	$e_5 = R_{B_5} - R_b$	压力角: $\alpha = 90^\circ - \gamma$
	$e_3 = e_6 = 0 \quad R_3 = R_b + h \quad R_6 = R_b$	
	$\text{最大压力角 } \cos \alpha_{\max} = \frac{R_{B_1}^2 + l_2^2 - e_1^2}{2R_{B_1} l_2}$	
	回程时以 $R_{B_5}$ 、 $l_5$ 、 $e_5$ 取代 $R_{B_1}$ 、 $l_2$ 、 $e_1$	

表 4-2-39

三角凸轮的工作轮廓设计

	已知	直动直角平底从动件圆弧凸轮的特例, 即 $\nu = 1 \left( \text{即 } \beta_1' = \beta_1'' = \frac{\beta_1}{2}, R_1 = R_2 = \frac{h}{4 \sin \frac{\beta_1}{4}} \right)$ 且 $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ , 远休止角等于近休止角, $\rho_{\min}, h$	
	凸轮尺寸计算	一般情况	$\beta_1 = \beta_2 = 120^\circ$
		$r_2 = R_1 + \rho_{\min}$ $r_1 = r_2 - h$ $H = r_1 + r_2$ $B > 2r_2$	$r_2 = h + \rho_{\min}$ $r_1 = \rho_{\min}$ $H = h + 2\rho_{\min}$ $B > 2h + 2\rho_{\min}$

### 3.9 凸轮及滚子结构、材料、强度、精度、表面粗糙度及工作图

#### 3.9.1 凸轮及滚子结构 [1, 20, 21]

1) 凸轮结构举例。多数凸轮的结构与齿轮相似, 特殊结构如下。

- ① 周向可调的结构: 如图 4-2-44 ~ 图 4-2-48。
- ② 从动件停歇时间可调的结构: 如图 4-2-49 和图 4-2-50。

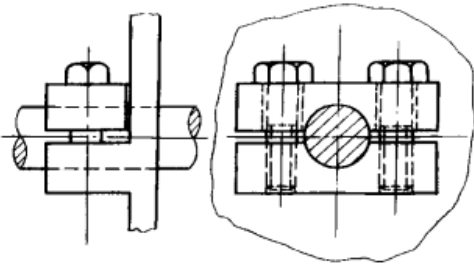


图 4-2-44 用压板连接凸轮和轴

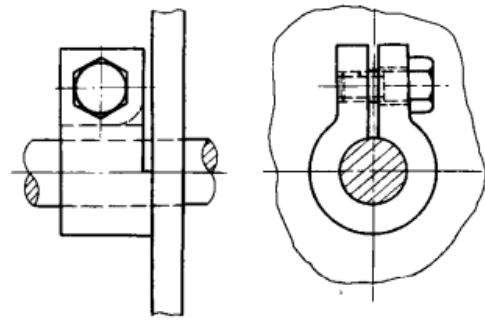


图 4-2-45 用弹性开口环连接

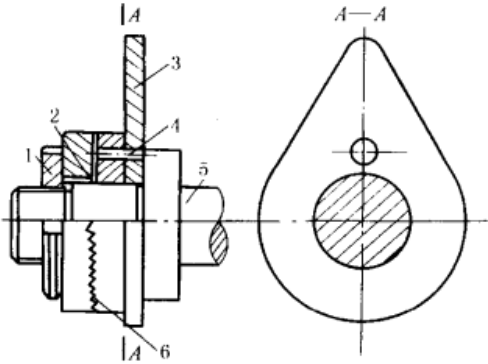


图 4-2-46 用细牙离合器连接

1—圆螺母；2—键；3—凸轮；  
4—销子；5—分配轴；6—细齿离合器

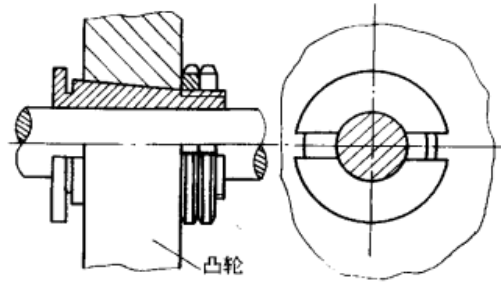


图 4-2-47 用开口锥套连接

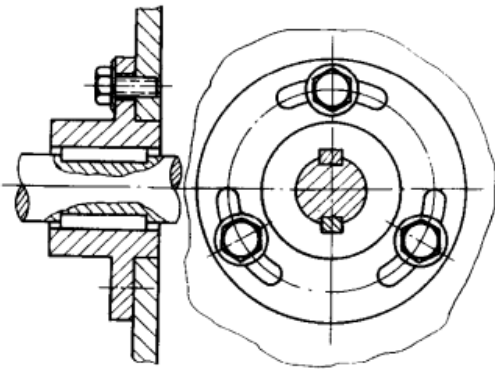


图 4-2-48 用法兰连接

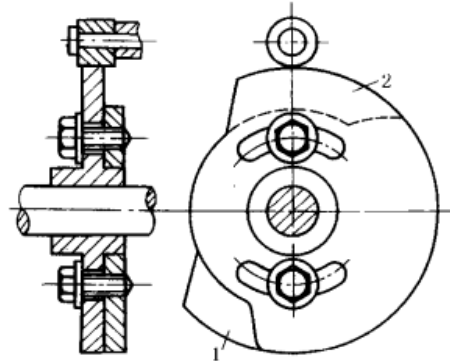


图 4-2-49 凸轮 1 和 2 的相对位置可调

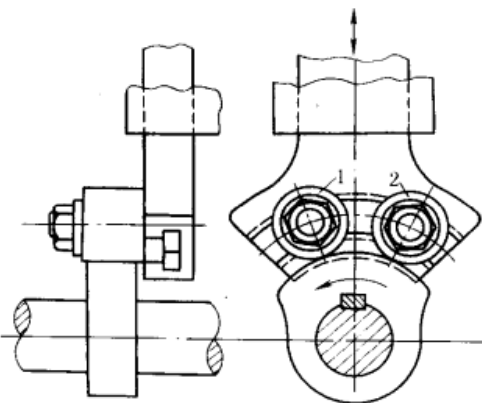


图 4-2-50 滚子 1 和 2 的相对位置可调

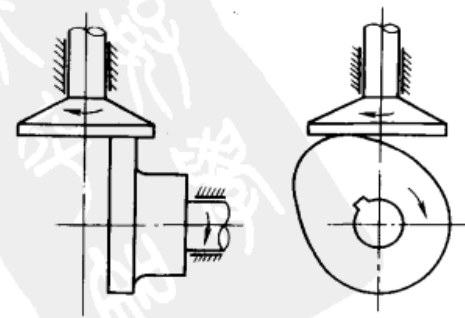


图 4-2-51 沿凸轮轴的偏置



- 2) 凸轮、从动件装配结构举例, 见图 4-2-51。
- 3) 滚子结构举例, 见图 4-2-52。

表 4-2-40

滚子各部分尺寸参考数据<sup>[27]</sup>

	主要尺寸/mm										承载能力/N	
	$D$	$d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$b$	$b_1$	$L$	$l$	$l_1$	额定动载荷	额定静载荷
16	M6 × 0.75	3				11	12	28	9		2650	2060
19	M8 × 0.75	4				12	13	32	11		3330	2840
22	M10 × 1.0	4				12	13	36	13		3820	3430
30	M12 × 1.5	6	3	3		14	15	40	14	6	5590	5000
35	M16 × 1.5	6	3	3		18	19.5	52	18	8	8530	8630
40	M18 × 1.5	6	3	3		20	21.5	58	20	10	12360	14020
52	M20 × 1.5	8	4	4		24	25.5	66	22	12	17060	19510
62	M24 × 1.5	8	4	4		29	30.5	80	25	12	20980	25690
80	M30 × 1.5	8	4	4		35	37	100	32	15	32950	38150

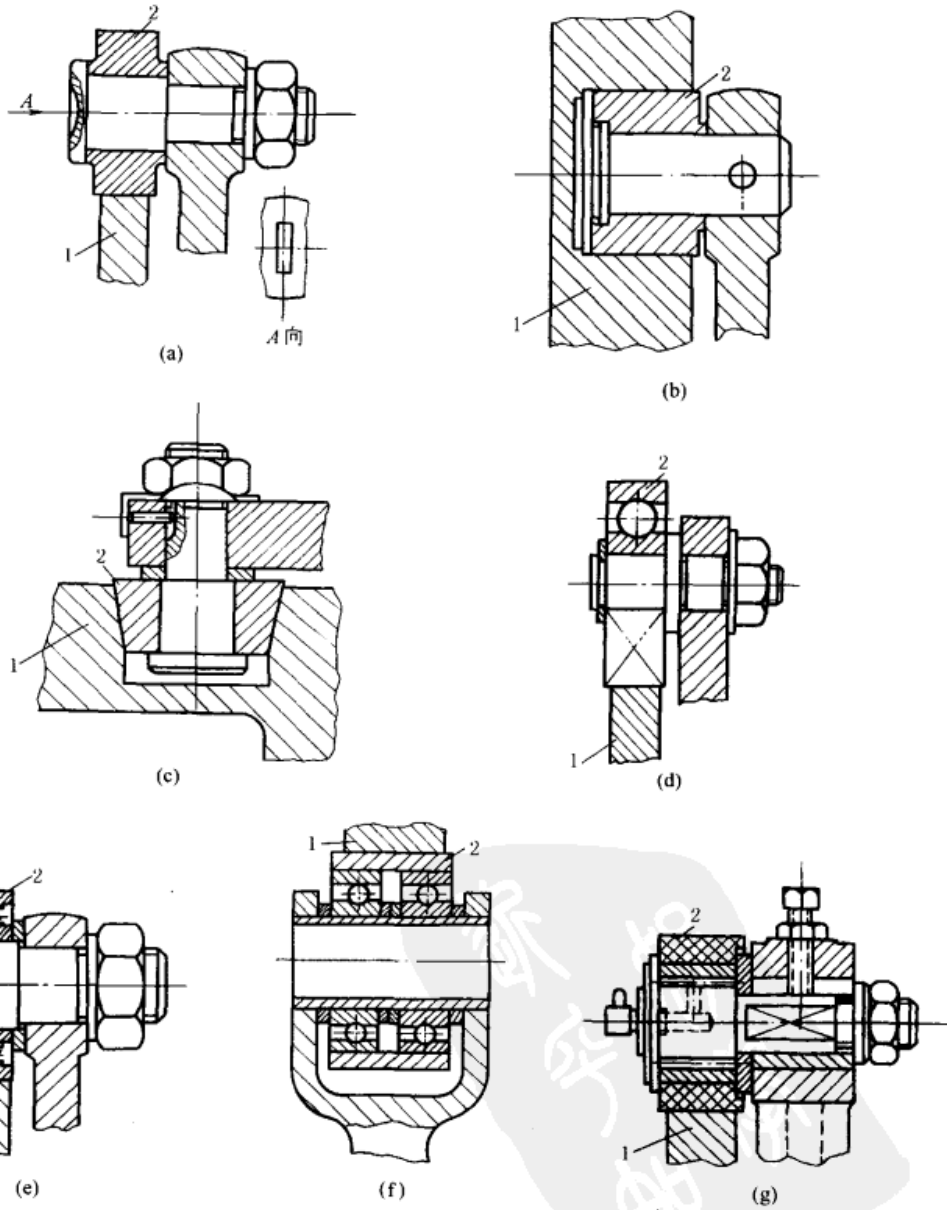
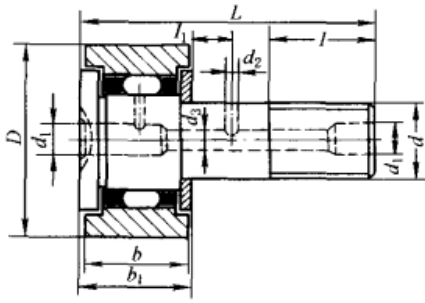


图 4-2-52 滚子的结构  
1—凸轮；2—滚子

## 3.9.2 常用材料

表 4-2-41 凸轮和从动件接触端常用材料、热处理及极限应力  $\sigma_{H0}$  MPa

工作条件	凸 轮		从 动 件 接 触 端	
	材 料	热处理、极限应力 $\sigma_{H0}$	材 料	热 处 理
低速轻载	40、45、50	调质 220 ~ 260HBS, $\sigma_{H0} = 2HBS + 70$	45	表面淬火 40 ~ 45HRC
	HT200、HT250、 HT300 合金铸铁	退火 180 ~ 250HBS, $\sigma_{H0} = 2HBS$	青铜	时效 80 ~ 120HBS
	QT500-7 QT600-3	正火 200 ~ 300HBS, $\sigma_{H0} = 2.4HBS$	软、硬黄铜	退火 55 ~ 90HBS 140 ~ 160HBS
中速中载	45	表面淬火 40 ~ 45HRC, $\sigma_{H0} = 17HRC + 200$	尼龙	积层热压树脂吸振及降噪效果好
	45、40Cr	高频淬火 52 ~ 58HRC, $\sigma_{H0} = 17HRC + 200$	20Cr	渗碳淬火, 渗碳层深 0.8 ~ 1mm, 55 ~ 60HRC
	15、20、20Cr 20CrMnTi	渗碳淬火, 渗碳层深 0.8 ~ 1.5mm, 56 ~ 62HRC, $\sigma_{H0} = 23HRC$		
高速重载或靠 模凸轮	40Cr	高频淬火, 表面 56 ~ 60HRC, 芯部 45 ~ 50HRC, $\sigma_{H0} = 17HRC + 200$	GCr15 T8 T10 T12	淬火 58 ~ 62HRC
	38CrMoAl、35CrAl	氮化、表面硬度 700 ~ 900HV (约 60 ~ 67HRC), $\sigma_{H0} = 1050$		

注：合金钢尚可采用氮化、碳氮共渗；耐磨钢可渗钒，64 ~ 66HRC，不锈钢可渗铬或多元共渗。

试验证明：相同金属材料比不同金属材料的粘着倾向大；单相材料、塑性材料比多相材料、脆性材料的粘着倾向大。为了减轻粘着磨损的程度，推荐采用下列材料匹配：铸铁-青铜、淬硬或非淬硬钢；非淬硬钢-软黄铜、巴氏合金；淬硬钢-软青铜、黄铜、非淬硬钢、尼龙及积层热压树脂。禁忌的材料匹配是：非淬硬钢-青铜、非淬硬钢、尼龙及积层热压树脂；淬硬钢-硬青铜；淬硬钢-硬黄铜；淬硬钢-硬黄铜；淬硬钢-硬黄铜。

## 3.9.3 强度校核及许用应力

当受力较大时，需要对滚子和凸轮轮廓面间的接触强度进行校核。

表 4-2-42 强度校核公式（初始线接触）

滚子从动件盘形凸轮	平底从动件盘形凸轮
$\sigma_H = z_E \sqrt{\frac{F}{b\rho}} \leq \sigma_{HP} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	$\sigma_H = z_E \sqrt{\frac{F}{2b\rho_1}} \leq \sigma_{HP} \text{ (N/mm}^2\text{)}$

式中  $F$ ——凸轮与从动件在接触处的法向力, N

$b$ ——凸轮与从动件的接触宽度, mm

$\rho$ ——综合曲率半径,

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_2 \pm \rho_1}$$

两个外凸面接触用“+”，外凸与内凹接触时用“-”

$\rho_1$ ——凸轮轮廓在接触处的曲率半径, mm

$\rho_2$ ——从动件在接触处的曲率半径, mm

$z_E$ ——综合弹性系数,  $\sqrt{N/\text{mm}^2}$ ,

$$z_E = 0.418 \sqrt{\frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}}$$

$E_1$ 、 $E_2$ ——分别为凸轮和从动件接触端材料的弹性模量, N/

mm<sup>2</sup>, 钢对钢的  $z_E = 189.8$ 、钢对铸铁的  $z_E =$

165.4、钢对球墨铸铁的  $z_E = 181.3$

$\sigma_{HP}$ ——接触许用应力

$$\sigma_{HP} = \sigma_{H0} z_R \sqrt[6]{N_0 / N / S_H}$$

$\sigma_{H0}$ 见表 4-2-41

$z_R = 0.95 \sim 1$ , 粗糙度值低时取大值

$N$ —— $60nT$

$n$ ——凸轮转速, r/min

$T$ ——凸轮预期寿命, h

$N_0$ ——对 HT 氮化处理的表面  $N_0 = 2 \times 10^6$ , 其他材料  $N_0 = 10^5$

$S_H$ ——安全系数,  $S_H = 1.1 \sim 1.2$



### 3.9.4 凸轮精度及表面粗糙度

凸轮的最大向径在 300 ~ 500mm 以下者，可参考表 4-2-43 选取。

表 4-2-43 凸轮的公差和表面粗糙度

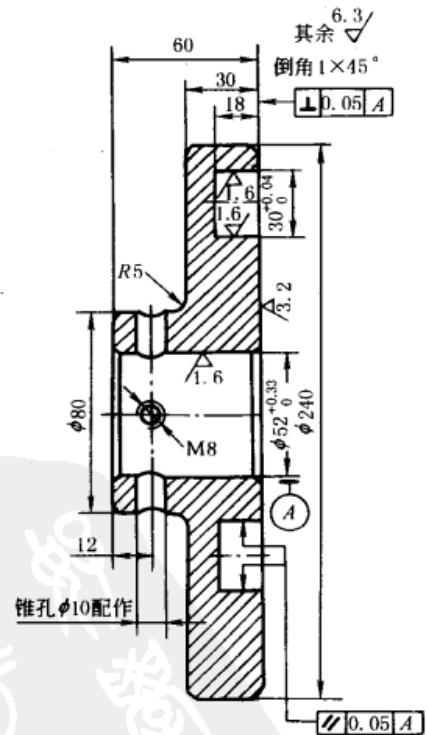
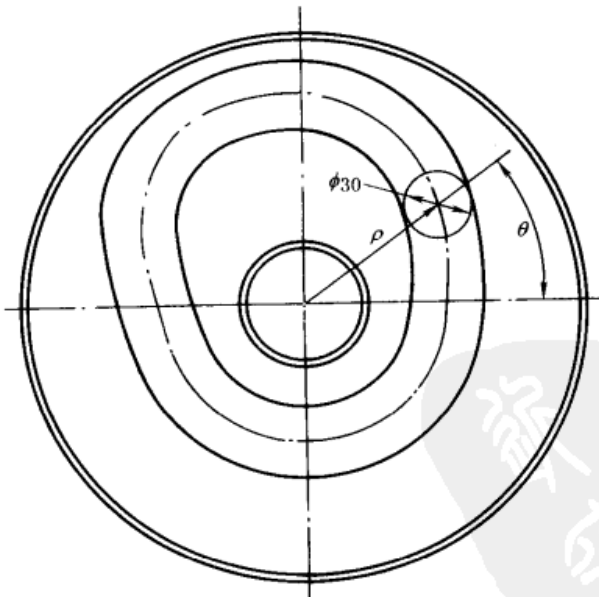
凸轮精度	极限偏差				表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$		位置公差
	向径/mm	极角	基准孔	凸轮槽宽	凸轮工作轮廓	凸轮槽壁	级别
高精度	$\pm(0.01 \sim 0.05)$	$\pm(10' \sim 20')$	H7(H6)	H7	0.2 ~ 0.4	0.4 ~ 0.8	5 ~ 6
一般精度	$\pm(0.1 \sim 0.2)$	$\pm(30' \sim 40')$	H7(H8)	H8	0.8 ~ 1.6	1.6	7 ~ 8
低精度	$\pm(0.2 \sim 0.5)$	$\pm 1^\circ$	H8	H8、H9	1.6 ~ 3.2	1.6 ~ 3.2	8 ~ 10

### 3.9.5 凸轮工作图

如图 4-2-53 ~ 图 4-2-55。与一般零件工作图比较，有下列特点。

- 1) 标有凸轮理论轮廓或工作轮廓尺寸，盘形凸轮是以极坐标形式标出或列表给出，圆柱凸轮是在其外圆柱的展开图上以直角坐标形式标出，也可列表给出。
- 2) 用图解法设计的滚子从动件凸轮，凸轮的理论轮廓比较准确，多数都标出节线的向径和极角；平底从动件凸轮是标注在凸轮工作轮廓上。
- 3) 当同一轴上有若干个凸轮时，根据工作循环图确定各凸轮的键槽位置。
- 4) 为了保证从动件与凸轮轮廓的良好接触，可提出凸轮轮廓与其轴线间的平行度、端面与轴线的垂直度等要求。

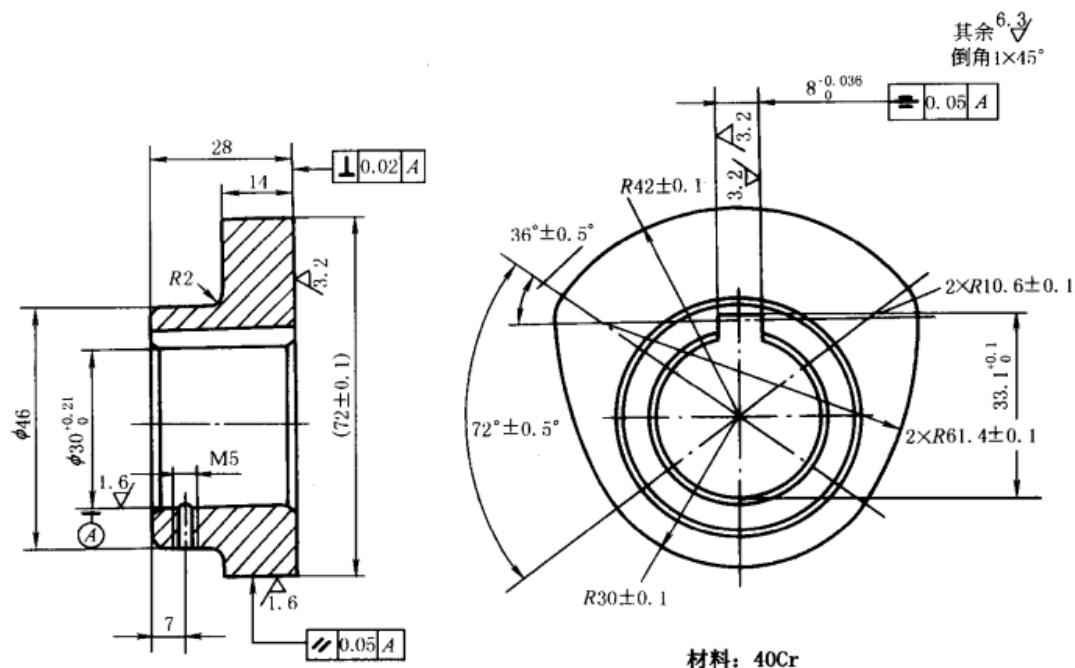
$\theta$	$\rho$
0.000	60.000
1.000	60.008
2.000	60.033
⋮	⋮
27.000	66.000
28.000	66.044
⋮	⋮
81.000	90.000
82.000	90.420
⋮	⋮
90.000	92.000
⋮	⋮
100.000	92.000
110.000	92.000
⋮	⋮
111.000	91.992
112.000	91.968
⋮	⋮
155.000	76.000
156.000	75.297
⋮	⋮
200.000	60.000
⋮	⋮
300.000	60.000



- 技术要求:
1. 铸件经人工时效处理。
  2. 凸轮曲线槽的中心线向径公差  $\pm 0.05\text{mm}$ 。

材料: HT-200

图 4-2-53 沟槽式平面凸轮零件工作图



技术要求:

1. 调质 240 ~ 280HBS。
2. 凸轮轮廓棱边倒角  $0.2 \text{mm} \times 45^\circ$ 。

图 4-2-54 六圆弧等宽凸轮零件工作图

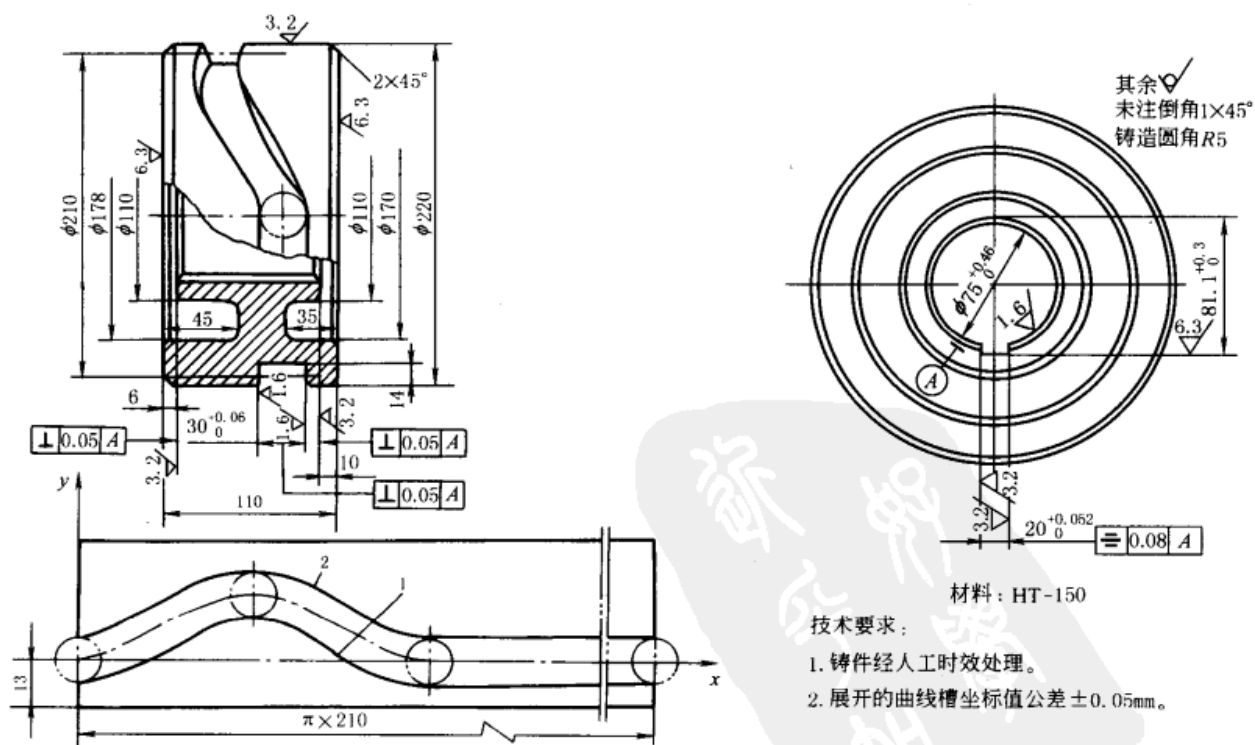


图 4-2-55 圆柱凸轮零件工作图



## 4 分度凸轮机构

### 4.1 分度凸轮机构的性能及其运动参数

分度凸轮机构中, 主动件是凸轮, 一般作等速连续旋转, 从动件是装有多个滚子的转盘, 可按设计要求作间歇步进分度转位运动。这种机构不需其他附属装置即可完成较精确的分度定位。表 4-2-44 是几种常用的间歇分度机构的性能比较。

分度凸轮机构一般是在中、高速的情况下工作的, 故在选择运动规律时主要应考虑使其具有较好的动力学特性。一般总希望从动转盘在分度期开始和终止时的角速度  $\omega_2$  和角加速度  $\varepsilon_2$  等于零, 在分度期间角速度和角加速度连续变化而无突变, 跃度  $j_2$  值尽量小, 并最好选用角速度和角加速度最大值  $\omega_{2\max}$  和  $\varepsilon_{2\max}$  较小的运动规律。表 4-2-44 为分度凸轮机构中较常用的几种运动规律, 其公式和所用符号的意义见表 4-2-45。

表 4-2-44 几种常用的间歇分度机构的性能比较

机构类型	槽轮机构	共轭分度凸轮机构	弧面分度凸轮机构	圆柱分度凸轮机构
主动件运动型式	转动	转动	转动	转动
主、从动轴线相对位置	两轴线平行	两轴线平行	两轴线垂直交错	两轴线垂直交错
从动件分度期运动规律	槽数一定时, 运动规律及动停比已确定	可按转速和载荷等要求进行设计和选用		
从动件分度数(从动件转一周中的停歇次数)	3~18	1~16	3~24	6~24
从动件最高分度精度	15"~30"	15"~30"	10"~20"	15"~30"
主动件最高转速/ $r \cdot \min^{-1}$	100	1000	3000	300
适用场合	低速, 中、轻载	中、高速, 轻载	高速, 中、重载	中、低速, 中、轻载
制造成本	低	中	高	高
加工设备要求	普通机床	普通数控机床	至少有两个回转坐标的数控机床	至少有一个回转坐标的数控机床

表 4-2-45 分度凸轮机构中主要运动参数的符号及意义

名称	符号	公 式
无量纲时间	$T$	$T = \frac{t}{t_f} = \frac{\theta}{\theta_f}$ $t$ ——转盘转动时间, s; $t_f$ ——转盘分度期时间, s; $\theta$ ——凸轮角位移, rad 或 ( $^\circ$ ); $\theta_f$ ——凸轮分度期转角, rad 或 ( $^\circ$ )
无量纲位移	$S$	$S = \frac{\phi_i}{\phi_f}$ 分度凸轮中 $S$ 恒为正; $\phi_i$ ——转盘角位移, rad 或 ( $^\circ$ ); $\phi_f$ ——转盘分度期转角, rad 或 ( $^\circ$ )
无量纲速度	$V$	$V = \frac{dS}{dT} = \frac{t_f \omega_2}{\phi_f} = \frac{\theta_f \omega_2}{\phi_f \omega_1}$ 分度凸轮中 $V$ 恒为正; $\omega_1$ ——凸轮角速度, $s^{-1}$ ; $\omega_2$ ——转盘角速度, $s^{-1}$
无量纲加速度	$A$	$A = \frac{dV}{dT} = \frac{t_f^2 \varepsilon_2}{\phi_f} = \frac{\theta_f^2 \varepsilon_2}{\phi_f \omega_1^2}$ $A$ 和 $V$ 同向为正, 异向为负; $\varepsilon_2$ ——转盘角加速度, $s^{-2}$
无量纲跃度	$J$	$J = \frac{dA}{dT} = \frac{t_f^3 j_2}{\phi_f} = \frac{\theta_f^3 j_2}{\phi_f \omega_1^3}$ $J$ 和 $V$ 同向为正, 异向为负; $j_2$ ——转盘角跃度, $s^{-3}$

### 4.2 弧面(滚子齿式)分度凸轮机构

#### 4.2.1 基本结构和工作原理

弧面分度凸轮机构(图 4-2-56)用于两垂直交错轴间的间歇分度步进传动。主动凸轮 1 为圆弧回转体, 凸轮轮廓制成突脊状, 类似于一个具有变螺旋角的弧面蜗杆。从动转盘 2 外圆上装有  $Z$  个轴线沿转盘径向均匀分布

的滚子。转盘相当于蜗轮，滚子相当于蜗轮的齿。所以弧面凸轮也有单头、多头和左旋、右旋之分，凸轮和转盘转动方向间的关系，可用类似蜗杆蜗轮传动的方法来判断。当凸轮旋转时，其分度段轮廓推动滚子，使转盘分度转位；当凸轮转到其停歇段轮廓时，转盘上的两个滚子跨夹在凸轮的圆环面突脊上，使转盘停止转动。所以这种机构不必附加其他装置就能获得很好的定位作用；又可以通过调整中心距来消除滚子与凸轮突脊间的间隙和补偿磨损；转盘在分度期的运动规律，可按转速、载荷等工作要求进行设计；特别适用于高速、重载、高精度分度等场合。凸轮一般作等速连续旋转，有时由于需要转盘有较长的停歇时间，也可使凸轮作间断性旋转。

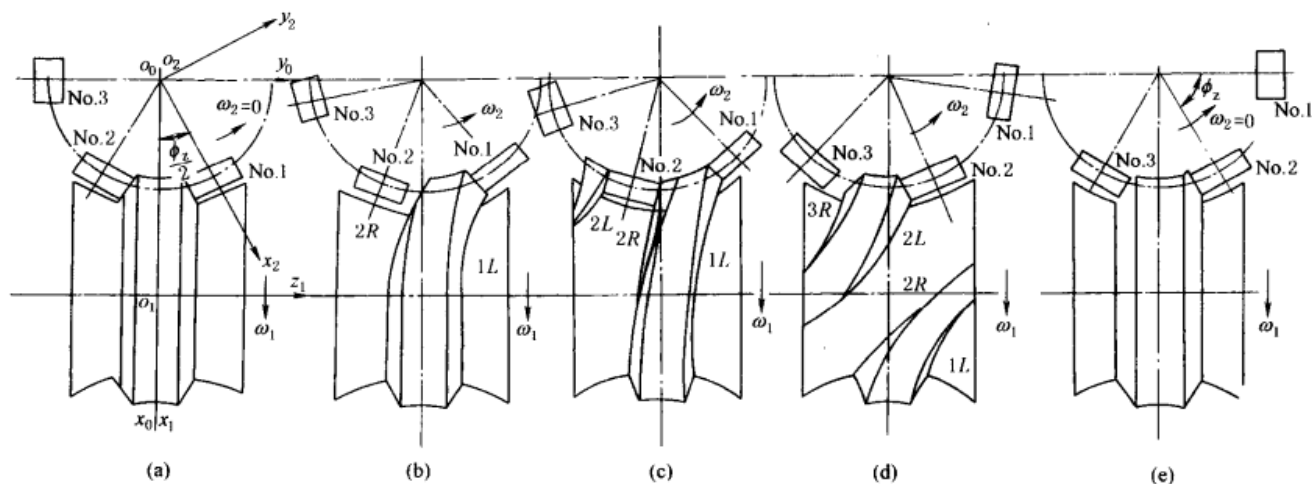


图 4-2-56 单头左旋凸轮啮合过程

现以图 4-2-56 所示单头左旋凸轮为例， $H=1$ ， $p=+1$ ， $z=6$ ，说明滚子与凸轮工作曲面的啮合过程：

转盘的分度期开始时（图 a），凸轮转角  $\theta=0$ ，No.2 滚子与 No.1 滚子和凸轮定位环面左、右两侧分别接触，No.1 滚子在其起始位置  $\phi_{10} = \phi_z/2 = \pi/6$ ，No.2 滚子在其起始位置  $\phi_{20} = -\pi/6$ ，No.3 滚子的起始位置  $\phi_{30} = -\pi/2$ 。凸轮以  $\omega_1$  方向旋转时，其廓面 1L（槽的左侧脊的右侧）推动 No.1 滚子使转盘以  $\omega_2$  逆时针方向转动（图 b）。在廓面 1L 继续推动 No.1 滚子的同时，在适当时刻凸轮廓面 2L 进入啮合，同时推动 No.2 滚子（图 c）。No.1 滚子退出啮合，仅由廓面 2L 推动 No.2 滚子（图 d）。凸轮转过  $\theta_f$  后，No.2 滚子与 No.3 滚子分别与凸轮定位环面接触（图 e），这时转盘已转位  $\phi_f$ ，分度期结束，进入停歇期。No.1 滚子此时的位置角为  $\pi/2$ 。当凸轮转完  $2\pi$  后，转盘上的 No.2 滚子与 No.3 滚子取代原来的 No.1 和 No.2 滚子开始重复上述过程进行下一个工作循环。

再以图 4-2-57 所示双头右旋凸轮为例，滚子数  $z=8$ ，头数  $H=2$ ，旋向系数  $p=-1$ ，转盘分度数  $I=4$ ，转盘

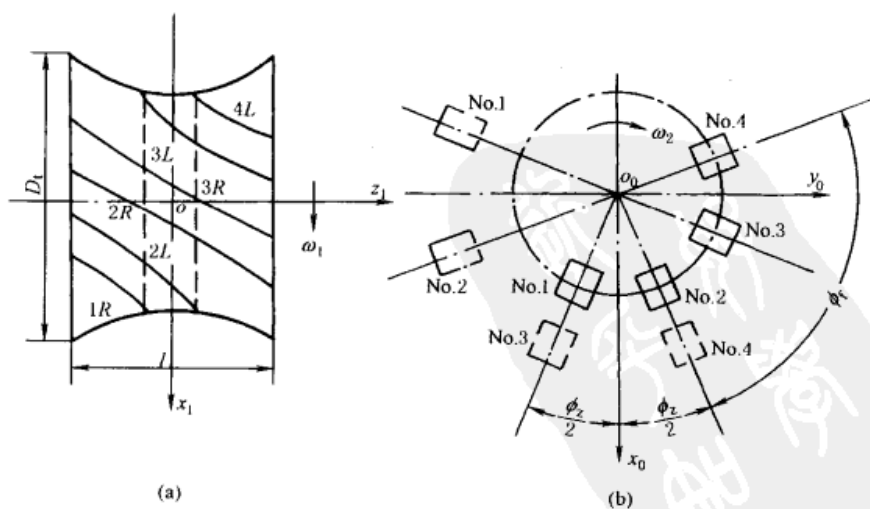


图 4-2-57

分度期转位角  $\phi_f = \pi/2$ ,  $\phi_z = \pi/4$ 。滚子与凸轮工作面啮合过程如下:

转盘分度期开始时, 凸轮转角  $\theta = 0$ , No. 1 与 No. 2 滚子和凸轮定位环面左右两侧分别接触 (图 a 中为背面, 以虚线表示), No. 1 滚子在其起始位置  $\phi_{10} = -\pi/8$ , No. 2 滚子在其起始位置  $\phi_{20} = \pi/8$  (图 b)。凸轮以  $\omega_1$  方向旋转时, 其廓面 1R 推动 No. 1 滚子使转盘以  $\omega_2$  顺时针方向转动。廓面 1R 继续推动 No. 1 滚子, 在适当时刻凸轮廓面 2R 进入啮合同时推动 No. 2 滚子。No. 1 滚子退出啮合, 仅由廓面 2R 推动 No. 2 滚子。廓面 2R 继续推动 No. 2 滚子, 在适当时刻凸轮廓面 3R 进入啮合同时推动 No. 3 滚子。No. 2 滚子退出啮合, 仅由廓面 3R 推动 No. 3 滚子。凸轮转过  $\theta_f$  后, No. 3 与 No. 4 滚子 (虚线所示虚线滚子与实线滚子编号相同, 且均在同一圆周, 为清晰起见, 将其外移) 与凸轮定位环面两侧分别接触, 这时转盘已转位  $\phi_f$ , 分度期结束, 进入停歇期。当凸轮转完一周后, 转盘上的 No. 3 与 No. 4 滚子开始重复上述过程, 进行下一个工作循环。图中虚线所示为转盘从实线位置开始经过一个分度期后滚子的相应位置, 此时 No. 3 滚子的位置角  $\phi = p\phi_z/2$ , No. 4 滚子的位置角  $\phi = -p\phi_z/2$ 。

#### 4.2.2 弧面分度凸轮机构的主要运动参数和几何尺寸

表 4-2-46 和表 4-2-47 通过实例来说明弧面分度凸轮机构的主要运动参数 (图 4-2-58) 和几何尺寸 (图 4-2-59) 计算步骤。

已知设计条件: 凸轮转速  $n = 300\text{r/min}$ , 连续旋转, 从动转盘有 8 工位, 中心距  $C = 180\text{mm}$ 。

表 4-2-46 弧面分度凸轮机构的主要运动参数及实例计算

项 目	计算公式与说明	实 例 计 算
凸轮角速度 $\omega_1/s^{-1}$	$\omega_1 = \pi n/30$	$\omega_1 = \pi \times 300/30 = 10\pi s^{-1}$
凸轮分度期转角 $\theta_f/(\circ)$	常用的为 $120^\circ \sim 240^\circ$ , 在满足动停比 $k$ 的要求下, 宜取较大 $\theta_f$	选定 $\theta_f = 120^\circ$
凸轮停歇期转角 $\theta_d/(\circ)$	$\theta_d = 360^\circ - \theta_f$	$\theta_d = 360^\circ - 120^\circ = 240^\circ$
凸轮角位移 $\theta/(\circ)$	以凸轮分度期开始处作为 $\theta = 0$ , 计算步长为 $1^\circ \sim 2^\circ$	
凸轮和转盘的分度期时间 $t_f/s$	$t_f = \theta_f/\omega_1$	$t_f = (2\pi/3)/10\pi = 1/15\text{s}$
凸轮和转盘的停歇期时间 $t_d/s$	$t_d = (2\pi/\omega_1) - t_f$ 此式仅适用于凸轮连续旋转时	$t_d = (2\pi/10\pi) - 1/15 = 2/15\text{s}$
凸轮分度廓线旋向及旋向系数 $p$	L——左旋, $p = +1$ ; R——右旋, $p = -1$	选用左旋 L, $p = +1$
凸轮分度廓线头数 $H$	单头 $H = 1$ ; 双头 $H = 2$ ; $H \geq 3$ 较少用	选用 $H = 1$
转盘分度数 $I$	$I$ 为转盘转一周中的停歇次数, 常用的有: 3、4、5、6、8、10、12、16	按设计要求的工位, 选定 $I = 8$
转盘滚子数 $z$	$z = HI$ , 一般常用的 $z$ 为: 6、8、10、12、16	$z = 1 \times 8 = 8$
转盘分度期运动规律	常用的有: 正弦加速度、改进正弦加速度、改进梯形加速度、改进等速等	选用改进正弦加速度
转盘分度期转位角 $\phi_f/(\circ)$	$\phi_f = 360^\circ/I$	$\phi_f = 360^\circ/8 = 45^\circ$
转盘分度期角位移 $\phi_i/(\circ)$	$\phi_i = S\phi_f$ $S$ 为所选运动规律的无因次位移	$T = \theta/\theta_f = \theta/120^\circ$ $0 \leq T \leq 1/8 (0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ)$ $\phi_i = \frac{45^\circ}{\pi+4} \left( \pi T - \frac{1}{4} \sin 4\pi T \right)$ $1/8 \leq T \leq 7/8 (15^\circ \leq \theta \leq 105^\circ)$ $\phi_i = \frac{45^\circ}{\pi+4} \times \left[ 2 + \pi T - \frac{9}{4} \sin \left( \frac{\pi+4\pi T}{3} \right) \right]$ $7/8 \leq T \leq 1 (105^\circ \leq \theta \leq 120^\circ)$ $\phi_i = \frac{45^\circ}{\pi+4} \left( 4 + \pi T - \frac{1}{4} \sin 4\pi T \right)$

项 目	计算公式与说明	实 例 计 算
转盘分度期角速度 $\omega_2/s^{-1}$	$\omega_2 = \phi_f V/t_f$ V 为所选运动规律的无因次速度	$\omega_2 = \frac{\pi/4}{1/15} V = \frac{15\pi}{4} V$ $T = \theta/120^\circ, 0 \leq T \leq 1/8$ $\omega_2 = \frac{15\pi^2}{4(\pi+4)} (1 - \cos 4\pi T)$ $1/8 \leq T \leq 7/8$ $\omega_2 = \frac{15\pi^2}{4(\pi+4)} \left[ 1 - 3\cos\left(\frac{\pi+4\pi T}{3}\right) \right]$ $7/8 \leq T \leq 1$ $\omega_2 = \frac{15\pi^2}{4(\pi+4)} (1 - \cos 4\pi T)$
转盘与凸轮在分度期的角速比 $\omega_2/\omega_1$ 最大角速比 $(\omega_2/\omega_1)_{\max}$ 转盘分度期的角位移 $\phi_i$ 、角速度 $\omega_2$ 、角加速度 $\varepsilon_2$ 和角跃度 $j_2$ 与凸轮转角 $\theta$ 的曲线图	$\omega_2/\omega_1 = \phi_f V/\theta_f$ $(\omega_2/\omega_1)_{\max} = \phi_f V_{\max}/\theta_f$ V <sub>max</sub> 为所选运动规律的无因次速度最大值 $\varepsilon_{2\max} = \phi_f A_{\max} \omega_1^2/\theta_f^2$ $j_{2\max} = \phi_f J_{\max} \omega_1^3/\theta_f^3$ 对改进正弦加速度规律 $V_{\max} = 1.76, A_{\max} = \pm 5.53$ $J_{\max} = 69.47, -23.16$ 曲线图见图 4-2-58	$\omega_2/\omega_1 = \frac{45^\circ}{120^\circ} V = 3V/8$ $T = \theta/120^\circ, 0 \leq T \leq 1/8$ $\omega_2/\omega_1 = \frac{3\pi}{8(\pi+4)} (1 - \cos 4\pi T)$ $1/8 \leq T \leq 7/8$ $\omega_2/\omega_1 = \frac{3\pi}{8(\pi+4)} \times \left[ 1 - 3\cos\left(\frac{\pi+4\pi T}{3}\right) \right]$ $7/8 \leq T \leq 1$ $\omega_2/\omega_1 = \frac{3\pi}{8(\pi+4)} (1 - \cos 4\pi T)$
动停比 k, 运动系数 $\tau$	$k = t_f/t_d, \tau = t_f/(t_f + t_d)$	$k = \frac{1/15}{2/15} = 0.5, \tau = 1/3$
重叠系数 $\varepsilon$	$\varepsilon = 1 + (\theta_c/\theta_f)$	$\varepsilon = 1 + (28/120) = 1.233$ 表 4-2-50 中凸轮转角 $\theta = 30^\circ \sim 58^\circ$ 区间 1L 和 2L 共同推动滚子, 故 $\theta_c = 58^\circ - 30^\circ = 28^\circ$

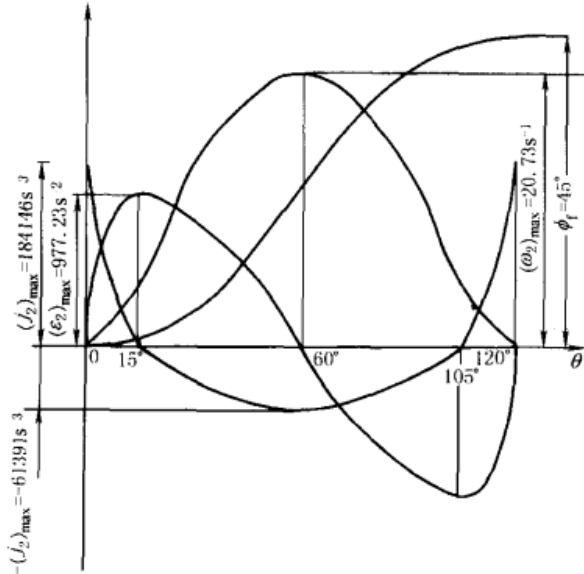


图 4-2-58

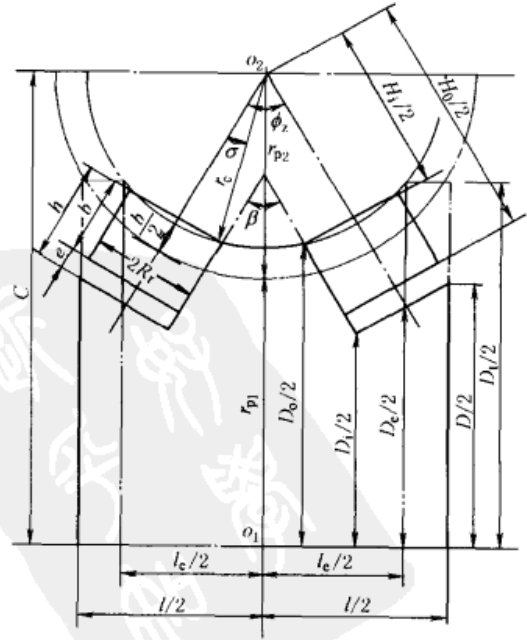


图 4-2-59

表 4-2-47

弧面分度凸轮机构的主要几何尺寸及实例计算

mm

项 目	计算公式与说明	实 例 计 算
中心距 $C$	$C = R_{p1} + R_{p2}$	给定 $C = 180$
许用压力角 $\alpha_p / (^\circ)$	一般 $\alpha_p = 30^\circ \sim 40^\circ$	取 $\alpha_p = 30^\circ$
转盘节圆半径 $R_{p2}$ (或 $r_{p2}$ )	$R_{p2} \leq \frac{C \tan \alpha_p}{(\omega_2 / \omega_1)_{\max} + \tan \alpha_p \cos(\phi_0 + 0.5p\phi_1)}$	$R_{p2} \leq \frac{180 \tan 30^\circ}{0.66 + \tan 30^\circ} \leq 84$ , 取 $R_{p2} = 84$
凸轮节圆半径 $R_{p1}$ (或 $r_{p1}$ )	$R_{p1} = C - R_{p2}$	$R_{p1} = 180 - 84 = 96$
滚子中心角 $\phi_z / (^\circ)$	$\phi_z = 360^\circ / Z$	$\phi_z = 360^\circ / 8 = 45^\circ$
滚子半径 $R_r$	$R_r = (0.5 \sim 0.7) R_{p2} \sin(\pi / Z)$	$R_r = (0.5 \sim 0.7) 84 \sin(\pi / 8) = 16 \sim 22.5$ , 取 $R_r = 22$
滚子宽度 $b$	$b = (1 \sim 1.4) R_r$	$b = (1 \sim 1.4) \times 22 = 22 \sim 30.8$ , 取 $b = 24$
间隙 $e$	$e = (0.2 \sim 0.3) b$ , 一般至少 $e \geq 5 \sim 10$	$e = (0.2 \sim 0.3) \times 24 = 4.8 \sim 7.2$ , 取 $e = 6$
$H_0$	$H_0 = 2R_{p2} + b$	$H_0 = 2 \times 84 + 24 = 192$
$H_i$	$H_i = 2R_{p2} - b$	$H_i = 2 \times 84 - 24 = 144$
凸轮定位环面两侧夹角 $\beta / (^\circ)$	$\beta = 360^\circ / Z$	$\beta = 360^\circ / 8 = 45^\circ$
凸轮定位环面侧面长度 $h$	$h = b + e$	$h = 24 + 6 = 30$
凸轮的顶弧面半径 $r_c$	$r_c = \sqrt{[R_{p2} - (b/2)]^2 + R_r^2}$	$r_c = \sqrt{(84 - 12)^2 + (22)^2} = 75.29$
凸轮定位环面外圆直径 $D_o$	$D_o = 2 \left[ C - r_c \cos \left( \frac{\phi_z}{2} - \sigma \right) \right]$ $\sigma = \arcsin(R_r / r_c)$	$\sigma = \arcsin(22 / 75.29) = 16.99^\circ$ $D_o = 2 [ 180 - 75.29 \cos(22.5^\circ - 16.99^\circ) ] = 210.12$
凸轮定位环面内圆直径 $D_i$	$D_i = D_o - 2h \cos(\beta/2)$	$D_i = 210.12 - 2 \times 30 \cos 22.5^\circ = 154.69$
凸轮理论宽度 $l_c$	$l_c = 2(R_{p2} + b/2 + e) \sin(\phi_z/2)$	$l_c = 2 \times (84 + 12 + 6) \sin 22.5^\circ = 78.07$
凸轮宽度 $l$	$l_c < l < l_c + 2R_r \cos(\phi_z/2)$	$l_c + 2R_r \cos(\phi_z/2) = 78.07 + 2 \times 22 \cos 22.5^\circ = 118.72$ $78.07 < l < 118.72$ , 取 $l = 90$
凸轮理论端面直径 $D_e$	$D_e = 2 [ C - (R_{p2} + b/2 + e) \cos(\phi_z/2) ]$	$D_e = 2 \times [ 180 - (84 + 12 + 6) \cos 22.5^\circ ] = 171.53$
凸轮理论端面外径 $D_1$	$D_1 = 2 [ C - \sqrt{r_c^2 - (l_c/2)^2} ]$	$D_1 = 2 \times [ 180 - \sqrt{(75.29)^2 - (39.035)^2} ] = 231.24$
凸轮实际端面直径 $D$	$D = D_e + (l - l_c) \tan(\phi_z/2)$	$D = 171.53 + (90 - 78.07) \tan 22.5^\circ = 176.47$

### 4.2.3 弧面分度凸轮的工作曲面设计及其实例计算

弧面分度凸轮工作轮廓是空间不可展曲面, 很难用常规的机械制图方法绘制, 可按空间包络曲面的共轭原理进行设计计算。凸轮工作曲面与从动转盘滚子的共轭接触点必须满足下列三个基本条件:

- ① 在共轭接触位置, 两曲面上的一对对应的共轭接触点必须重合。
- ② 两曲面在共轭接触点处必须相切, 不产生干涉, 且在共轭接触点的邻域也无曲率干涉。
- ③ 在共轭接触点处, 两曲面间的相对运动速度必须与其公法线相垂直。

弧面分度凸轮工作曲面的设计计算步骤见表 4-2-48。压力角计算实例见表 4-2-49。三维坐标计算实例见表 4-2-50。

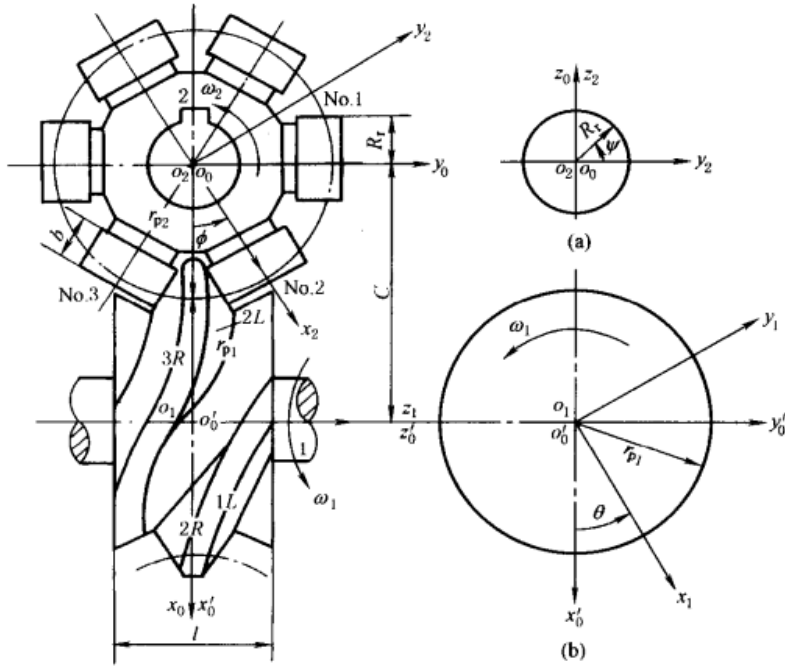


图 4-2-60 弧面分度凸轮机构的坐标系

(a) 面对  $x_2$  箭头看, 滚子在  $r$  处垂直于  $x_2$  轴的截面;

(b) 面对  $z_1$  箭头看, 通过凸轮中心  $o_1$  并垂直于  $z_1$ 、半径为  $r_{p1}$  的凸轮截面

表 4-2-48

弧面分度凸轮工作轮廓的设计计算

步骤	公式和方法	步骤	公式和方法								
1. 选取坐标系	<p>均用右手直角坐标系, 见图 4-2-60</p> <p>(1) 与机架相连的定坐标系 <math>o_0x_0y_0z_0</math></p> <p>(2) 与机架相连的辅助定坐标系 <math>o'_0x'_0y'_0z'_0</math>, 选择 <math>z'_0</math> 的方向时, 应使面对 <math>z'_0</math> 的箭头看, <math>\omega_1</math> 为逆时针方向</p> <p>(3) 与凸轮 1 相连的动坐标系 <math>o_1x_1y_1z_1</math></p> <p>(4) 与转盘 2 相连的动坐标系 <math>o_2x_2y_2z_2</math></p>	5. 求解凸轮工作轮廓的三维坐标值	<p>凸轮工作轮廓的三维坐标是上述三组非线性方程的联立求解, 用 CAD 求其数值解时的具体步骤如下:</p> <p>(1) 按选定的运动规律由每一凸轮转角 <math>\theta</math> 求得转盘相应的角位移 <math>\phi_i</math> 和角速比 <math>(\omega_2/\omega_1)</math>, 并按下式求得滚子的位置角 <math>\phi</math></p> $\phi = \phi_0 + p\phi_i$ $\phi_i = S\phi_i, 0 \leq \phi_i \leq \phi_i$ <p>式中 <math>\phi_i</math> —— 转盘分度期转角  <math>S</math> —— 无因次位移  <math>\phi_i</math> —— 恒取绝对值</p> <p>图 4-2-56 所示情况, 各个滚子的起始位置角 <math>\phi_0</math> 按下表求得:</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>滚子代号</th> <th>No. 1</th> <th>No. 2</th> <th>No. 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\phi_0</math></td> <td><math>p\phi_s/2</math></td> <td><math>-p\phi_s/2</math></td> <td><math>-3p\phi_s/2</math></td> </tr> </tbody> </table>	滚子代号	No. 1	No. 2	No. 3	$\phi_0$	$p\phi_s/2$	$-p\phi_s/2$	$-3p\phi_s/2$
滚子代号	No. 1	No. 2	No. 3								
$\phi_0$	$p\phi_s/2$	$-p\phi_s/2$	$-3p\phi_s/2$								
2. 转盘滚子圆柱面在动坐标系 $o_2x_2y_2z_2$ 中的方程式	$x_2 = r, y_2 = R_r \cos \Psi, z_2 = R_r \sin \Psi$ <p>式中 <math>r, \Psi</math> —— 滚子圆柱形工作面的方程参数</p>										
3. 凸轮与滚子的共轭接触方程式	$\tan \Psi = \frac{pr}{C - r \cos \phi} \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$ <p>式中 <math>\phi</math> —— 滚子的位置角, 即 <math>o_2x_2</math> 与 <math>o_0x_0</math> 间夹角, 由 <math>o_0x_0</math> 量起, 逆时针方向为正</p> <p><math>p</math> —— 凸轮的旋向系数, 当凸轮的分度期轮廓线为左旋时, <math>p = +1</math>; 右旋时, <math>p = -1</math></p>		<p>(2) 选定中心距 <math>C</math> 后, 把求得的 <math>\phi</math> 和 <math>\omega_2/\omega_1</math> 代入共轭接触方程式, 得到每个 <math>\theta</math> 时滚子圆柱面上共轭接触点的曲面参数 <math>r</math> 与 <math>\Psi</math> 间的制约关系</p> <p>(3) 每个 <math>\theta</math> 时设定一系列 <math>r</math> 值, 由上述制约关系式求得相应的 <math>\Psi</math>, 同一 <math>r</math> 有两个 <math>\Psi, \Psi \leq 90^\circ</math> 用于凸轮轮廓 <math>R, \Psi \geq 180^\circ</math> 用于凸轮轮廓 <math>L</math></p> <p>(4) 把同一 <math>\theta</math> 时 <math>r</math> 和 <math>\Psi</math> 的每组对应值代入滚子的坐标方程式中, 即可求得滚子圆柱面上共轭接触点的坐标 <math>x_2, y_2, z_2</math></p> <p>(5) 把上述每一 <math>\theta</math> 时求得的 <math>\phi</math> 和 <math>x_2, y_2, z_2</math> 代入凸轮的坐标方程式中, 即得到相应的凸轮工作轮廓的三维坐标值 <math>x_1, y_1, z_1</math>, 并列成表格 (表 4-2-49)</p> <p>(6) 当凸轮转角 <math>\theta = \theta_i \rightarrow 360^\circ</math> 时, 转盘停歇, 故 <math>\theta = 0</math> 和 <math>\theta = \theta_i</math> 时的 <math>x_1, y_1, z_1</math> 即为凸轮定位平面的三维坐标值</p>								
4. 凸轮工作轮廓在动坐标系 $o_1x_1y_1z_1$ 中的方程式	$x_1 = x_2 \cos \phi \cos \theta - py_2 \sin \phi \cos \theta - z_2 \sin \theta - C \cos \theta$ $y_1 = -x_2 \cos \phi \sin \theta + py_2 \sin \phi \sin \theta - z_2 \cos \theta + C \sin \theta$ $z_1 = px_2 \sin \phi + y_2 \cos \phi$										

应用新型的计算机辅助设计方法。例如,采用 CAD/CAM 集成软件 EDS-UG II,可较方便地绘制出凸轮的工程三视图(图 4-2-61)和不同凸轮转角位置时的轴测图(图 4-2-62),并且利用旋转显示,还可清楚地看到滚子与凸轮间啮合的交替与重叠状态,以模拟加工情况,变换机构尺度参数,避免发生干涉和过切等现象。

表 4-2-49 凸轮和转盘的对应转角位置、机构的角速比及压力角的实例计算

给定条件:						滚子代号	$\phi_0/(^\circ)$
$\theta_f = 120^\circ$ $\phi_f = 45^\circ$ $\phi_z = 45^\circ$ $z = 8$ $C = 180\text{mm}$ $R_f = 22\text{mm}$						No. 1	22.5
$b = 24\text{mm}$ $e = 6\text{mm}$ $r_{p2} = 84\text{mm}$ $r_{p1} = 96\text{mm}$ $l = 90\text{mm}$						No. 2	-22.5
$D_1 = 231.24\text{mm}$ $D = 176.47\text{mm}$ $p = 1$ $H = 1$						No. 3	-67.5
转盘分度期运动规律:改进正弦加速度							
转盘节圆半径 $r_{p2}$ 处的压力角计算公式: $\tan\alpha =  r_{p2}(\omega_2/\omega_1)/(C - r_{p2}\cos\phi) $							
凸轮转角 $\theta/(^\circ)$	转盘角位移 $\phi/(^\circ)$	转盘上各个滚子的角位置 $\phi/(^\circ)$			角速比 $\frac{\omega_2}{\omega_1}$	转盘节圆半径 $r_{p2}$ 处的 压力角 $\alpha/(^\circ)$	
		No. 1	No. 2	No. 3		No. 1	No. 2
0	0	22.50	-22.50	-67.50	0	0	
2	$2.4 \times 10^{-3}$	22.50	-22.50	-67.50	$3.6 \times 10^{-3}$	0	
4	0.02	22.52	-22.48	-67.48	0.01	0.5	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
10	0.28	22.78	-22.22	-67.22	0.08	4	
20	1.94	24.44	-20.56	-65.56	0.25	11.3	
30	5.27	27.77	-17.23	-62.23	0.41	18.3	19.4
40	10.09	32.59	-12.41	-57.41	0.54	22.8	25.1
50	16.00	38.50	-6.50	-51.50	0.63	25.1	28.6
58	21.18	43.68	-1.32	-46.32	0.66	25.1	29.7
60	22.50	45.00	0	-45.00	0.66		30.3
70	29.00	51.50	6.50	-38.50	0.63		28.6
80	34.91	57.41	12.41	-32.59	0.54		25.1
90	39.73	62.23	17.23	-27.77	0.41		19.4
100	33.06	65.56	20.56	-24.44	0.25		12
110	44.72	67.22	22.20	-22.78	0.08		4
120	45	67.50	22.50	-22.50	0		0

注:计算步长  $\Delta\theta = 2^\circ$ 。

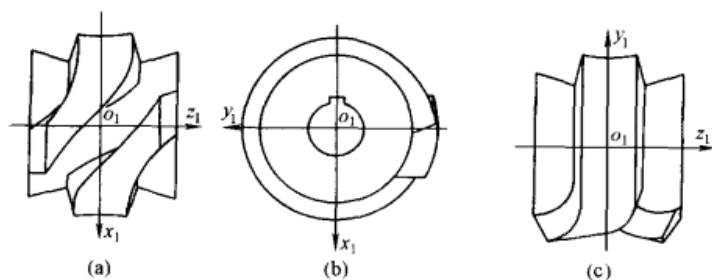


图 4-2-61 弧面分度凸轮轮廓曲面的三视图

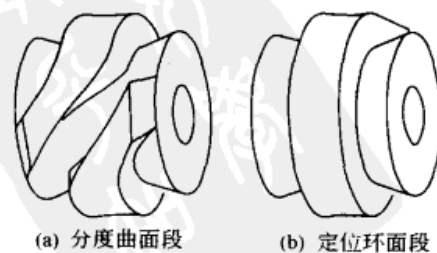


图 4-2-62 弧面分度凸轮轮廓曲面的轴测图

表 4-2-50 凸轮工作曲面的三维坐标  $x_1, y_1, z_1$  的实例计算 (给定参数同表 4-2-49)

凸轮转角 $\theta$ / $^\circ$	滚子曲面 参数 $r$ /mm	曲面 1L			曲面 2L			曲面 2R			曲面 3R		
		$(x_1)_{1L}$ /mm	$(y_1)_{1L}$ /mm	$(z_1)_{1L}$ /mm	$(x_1)_{2L}$ /mm	$(y_1)_{2L}$ /mm	$(z_1)_{2L}$ /mm	$(x_1)_{2R}$ /mm	$(y_1)_{2R}$ /mm	$(z_1)_{2R}$ /mm	$(x_1)_{3R}$ /mm	$(y_1)_{3R}$ /mm	$(z_1)_{3R}$ /mm
0	72	-105.06	—	7.23	—	—	—	-105.06	—	-7.23	—	—	—
	∴	∴	—	∴	—	—	—	∴	—	∴	—	—	—
	102	-77.35	—	18.71	—	—	—	-77.35	—	-18.71	—	—	—
∴													
30	82	-81.28	54.55	19.64	-89.94	59.94	-44.72	-86.17	41.73	-4.34	—	—	—
	84	-79.66	53.90	20.65	-88.12	59.21	-44.73	-84.68	40.56	-5.03	—	—	—
	86	-78.03	53.26	21.65	-86.30	58.48	-45.22	-83.19	39.37	-5.71	—	—	—
∴													
58	82	-49.00	95.35	42.11	-43.18	89.13	-21.15	-60.72	77.12	17.38	-65.14	-87.58	-45.38
	84	-48.04	94.35	43.58	-41.81	87.62	-20.99	-59.97	75.23	17.12	—	—	—
	86	-47.09	93.34	45.06	-40.43	86.12	-20.82	-59.23	73.35	16.86	—	—	—
∴													
62	82	-43.28	-100.20	45.38	-36.43	91.14	-17.38	-55.60	81.96	21.15	-58.08	90.11	-42.11
	84	—	—	—	-35.17	89.55	-17.12	-54.98	80.02	20.99	-57.68	88.78	-43.58
	86	—	—	—	-33.91	87.97	-16.86	-54.36	78.07	20.82	-57.29	87.45	-45.06
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
90	82	—	—	—	6.94	95.50	4.34	-6.94	107.86	44.22	-6.61	97.67	-19.64
	84	—	—	—	7.22	93.61	5.03	-7.22	105.92	44.73	-6.85	95.94	-20.65
	86	—	—	—	7.50	91.73	5.71	-7.50	103.98	45.22	-7.11	94.21	-21.65
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
∴													
120	72	—	—	—	52.53	90.99	7.23	—	—	—	52.53	90.99	-7.23
	∴	—	—	—	∴	∴	∴	—	—	—	∴	∴	∴
	102	—	—	—	38.67	66.98	18.71	—	—	—	38.67	66.98	-18.71

注: 1. 计算步长  $\Delta\theta = 2^\circ$ ,  $\Delta r = 2\text{mm}$ ,  $72 \leq r \leq 102$ 。

2. 由于受凸轮宽度  $l$  和理论外径  $D_1$  的限制,  $z_1$  只在  $\pm 45\text{mm}$ ,  $x_1$  和  $y_1$  只在  $\pm 115.62\text{mm}$  范围内有效。表中列出的某些超出此界限的值, 仅供分析时参考用, 有方框者为界限值。

3. 实例见图 4-2-65。

#### 4.2.4 弧面分度凸轮机构的动力学计算

表 4-2-51

弧面分度凸轮机构的主要动力学参数

名称	单位	计算公式及说明
凸轮(包括凸轮轴)的转动惯量 $J_1$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	$J_1 \approx 0.5 m_1 r_{p1}^2 \times 10^{-6} = 0.5 \pi \rho l r_{p1}^4 \times 10^{-6}$ 式中 $\rho$ ——材料密度, $\text{kg}/\text{mm}^3$ $m_1$ ——凸轮质量(包括轴), $\text{kg}$
转盘(包括滚子)的转动惯量 $J_2$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	$J_2 \approx 0.5 m_2 r_{p2}^2 \times 10^{-6} = 0.5 \pi \rho (B_2 r_{p2}^2 + Z b R_r^2) r_{p2}^2 \times 10^{-6}$ 式中 $m_2$ ——转盘质量, $\text{kg}$
工作台的转动惯量 $J_3$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	$J_3 \approx 0.5 m_3 r_3^2 \times 10^{-6} = 0.5 \pi \rho B_3 r_3^4 \times 10^{-6}$ 式中 $B_3, r_3$ ——工作台的厚度及外径, $\text{mm}$ $m_3$ ——工作台的质量, $\text{kg}$



名 称	单 位	计算公式及说明
转盘与工作台上在分度期间的惯性力矩 $M_{i2}$ 、最大惯性力矩 $(M_{i2})_{\max}$	N · m	$M_{i2} = (J_2 + J_3) A \phi_f \omega_1^2 / \theta_f^2$ $(M_{i2})_{\max} = (J_2 + J_3) A_{\max} \phi_f \omega_1^2 / \theta_f^2$
转盘与工作台上在分度期间的最大载荷力矩 $(M_{i2})_{\max}$	N · m	设计时作为已知条件, 根据实际工作情况测定
转盘与工作台上在分度期间的最大摩擦力矩 $(M_{f2})_{\max}$	N · m	$(M_{f2})_{\max} = \mu' r' Q_{\max} \times 10^{-3}$ 式中 $\mu'$ ——当量摩擦因数 $r'$ ——当量摩擦半径, mm $Q_{\max}$ ——转盘与工作台上最大载荷, N
转盘与工作台上在分度期间的最大阻力矩 $(M_{r2})_{\max}$	N · m	$(M_{r2})_{\max} = (M_{i2})_{\max} + (M_{f2})_{\max} + (M_{a2})_{\max}$ 如 $(M_{i2})_{\max}$ 和 $(M_{f2})_{\max}$ 较难计算, 在设计时可近似按 10% ~ 20% 的 $(M_{i2})_{\max}$ 估算此二项之和
凸轮上需要的最大驱动力矩 $(M_{d1})_{\max}$	N · m	$(M_{d1})_{\max} = (M_{r2} + M_{f2})_{\max} V_{\max} \frac{\phi_f}{\theta_f} + (J_2 + J_3) \frac{\phi_f^2 \omega_1^2}{\theta_f^3} (AV)_{\max}$ (1)
凸轮产生最大驱动力矩所需要的电动机功率 $P_{\max}$	kW	$P_{\max} = \frac{(M_{d1})_{\max} n_1}{9550 \eta}$ (2) 式中 $\eta$ ——电动机到凸轮间传动系统的效率 $n_1$ ——凸轮的转速
验算电动机、传动系统、凸轮等的转动惯量是否足够, 即 $J \geq J_e$ 。 如 $J < J_e$ , 则应增加从电动机到凸轮间传动系统的转动惯量来满足; 如无法增加 $J$ , 则电动机功率应按能产生凸轮上最大驱动力矩 $(M_{d1})_{\max}$ 来计算, 公式见本表式(2)	kg · m <sup>2</sup>	$J = J_1 + J_d \left( \frac{\omega_d}{\omega_1} \right)^2 + \sum_{i=1}^n J_i \left( \frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2$ (3) 式中 $J$ ——电动机、传动系统、凸轮等换算到凸轮轴上的等效转动惯量 $J_1, J_d, J_i$ ——凸轮、电动机、第 $i$ 个传动件的转动惯量 $\omega_1, \omega_d, \omega_i$ ——凸轮、电动机、第 $i$ 个传动件的角速度 $J_e = \frac{(J_2 + J_3) \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2}{2 \delta_p}$ (4) 式中 $J_e$ ——维持机械系统正常工作所需要的换算到凸轮轴上的等效转动惯量 $\delta_p$ ——电动机许用的转差率
如电动机传动系统及凸轮有足够大的转动惯量时 (即 $J \geq J_e$ ), 机构实际所需要的电动机功率 $P$	kW	$P = \frac{k(M_{r2} + M_{f2})_{\max} V_{\max} (\phi_f / \theta_f) n_1}{9550 \eta}$ (5) 式中 $k$ ——工作情况系数, 根据电动机的过载特性、凸轮转速 $n_1$ 及机构运动规律特性值等选定, 一般 $k = 1.5 \sim 2.0$ 电动机传动系统和凸轮等的转动惯量可起类似于飞轮储能的作用, 以帮助电动机克服转盘在分度期的惯性力矩峰值, 因此可用本表式(2)计算电动机功率。但此时应验算传动系统等的转动惯量是否足够
凸轮工作曲面上在节圆半径处的最大圆周力 $F_{t1\max}$ , 转盘上的最大轴向力 $F_{a2\max}$	N	$F_{t1\max} = \frac{(M_{d1})_{\max}}{r_{p1}} \times 10^3 = -F_{a2\max}$ $F_{t1}$ 方向与凸轮工作曲面上在节圆半径 $r_{p1}$ 处的圆周速度方向相反
凸轮工作曲面上的最大轴向力 $F_{a1\max}$ , 转盘上在节圆处的最大圆周力 $F_{t2\max}$	N	$F_{a1\max} = (F_{t1})_{\max} \frac{r_{p1} \theta_f}{r_{p2} \phi_f} = -F_{t2\max}$ $F_{a1}$ 方向与转盘在 $r_{p2}$ 处的圆周速度方向相同
凸轮工作曲面上的最大径向力 $F_{r1\max}$ , 转盘上的最大径向力 $F_{r2\max}$	N	$F_{r1\max} = F_{r2\max} = (F_{a1})_{\max} \tan \left( \frac{\phi_x}{2} \right)$ 方向由节点分别指向凸轮、转盘旋转中心

#### 4.2.5 弧面分度凸轮机构主要零件的材料、热处理与技术要求

弧面分度凸轮与转盘滚子的常用材料和热处理参见表 4-2-41。

表 4-2-52 弧面分度凸轮、转盘及滚子的主要技术要求

项 目	技 术 要 求
凸轮工作面(包括分度曲面和定位环面)的粗糙度	$R_a \leq 0.4 \sim 1.6 \mu\text{m}$
凸轮端面粗糙度	$R_a \leq 0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$
凸轮端面对内孔(基准)的垂直度	0.005 ~ 0.01mm
凸轮定位环面两侧夹角 $\beta$ 的公差	-1'
转盘上的滚子轴线间的相邻分度偏差 累积分度偏差	$\pm 10'' \sim \pm 20''$ $\pm 30''$ } 按机构的分度精度要求选定
滚子的表面粗糙度	$R_a \leq 0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$
凸轮及转盘均应进行静平衡	

#### 4.2.6 弧面分度凸轮机构的结构设计要点

- ① 应保证转盘轴线与凸轮轴线垂直交错。
- ② 转盘上滚子的中心平面应与转盘轴线垂直。
- ③ 转盘上滚子的中心平面应与凸轮轴线共面，在设计时应考虑有可调整转盘轴向位置的结构，例如在转盘的轴承衬套端面与箱体间具有可调整厚度的垫片。
- ④ 转盘轴线应位于凸轮定位环面的对称平面上，以保证凸轮定位环面与左、右两侧滚子接触良好。设计上应考虑在安装时具有可调整凸轮轴向位置的结构，例如采用在凸轮两端面用螺母调整其轴向位置。
- ⑤ 在设计时应考虑中心距可调整，以消除滚子与凸轮工作面间的间隙及适当预紧，例如可采用垫片或用可调整偏心的轴套。

#### 4.2.7 弧面分度凸轮机构的主要零部件图实例

经过运动参数计算、几何尺寸计算（见 4.2.2 节）、工作面三维坐标的计算（见 4.2.3 节）及动力学参数的计算（见 4.2.4 节）以后，就可将计算结果绘制成零部件图，如图 4-2-63 ~ 图 4-2-65。

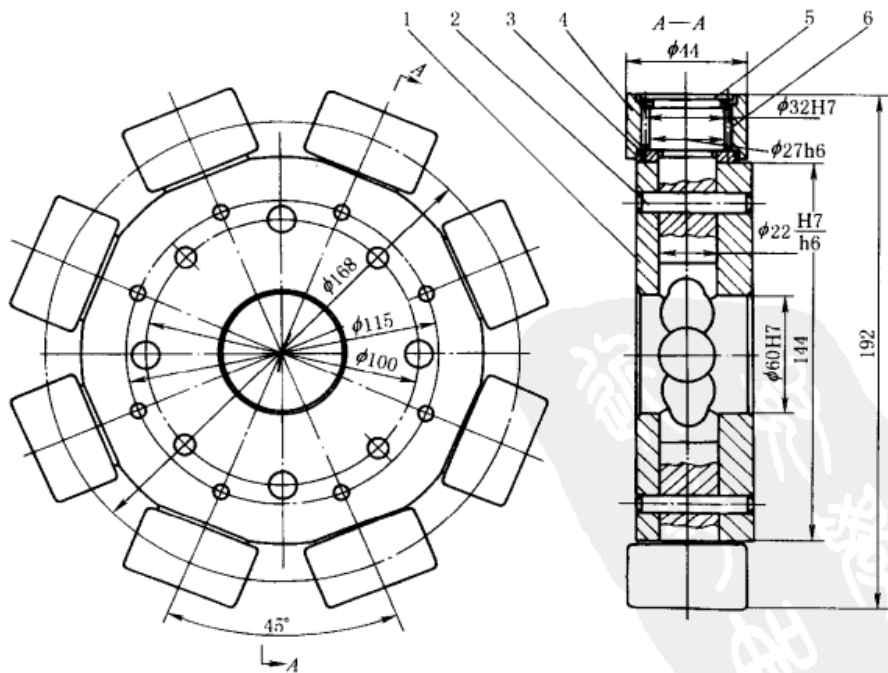
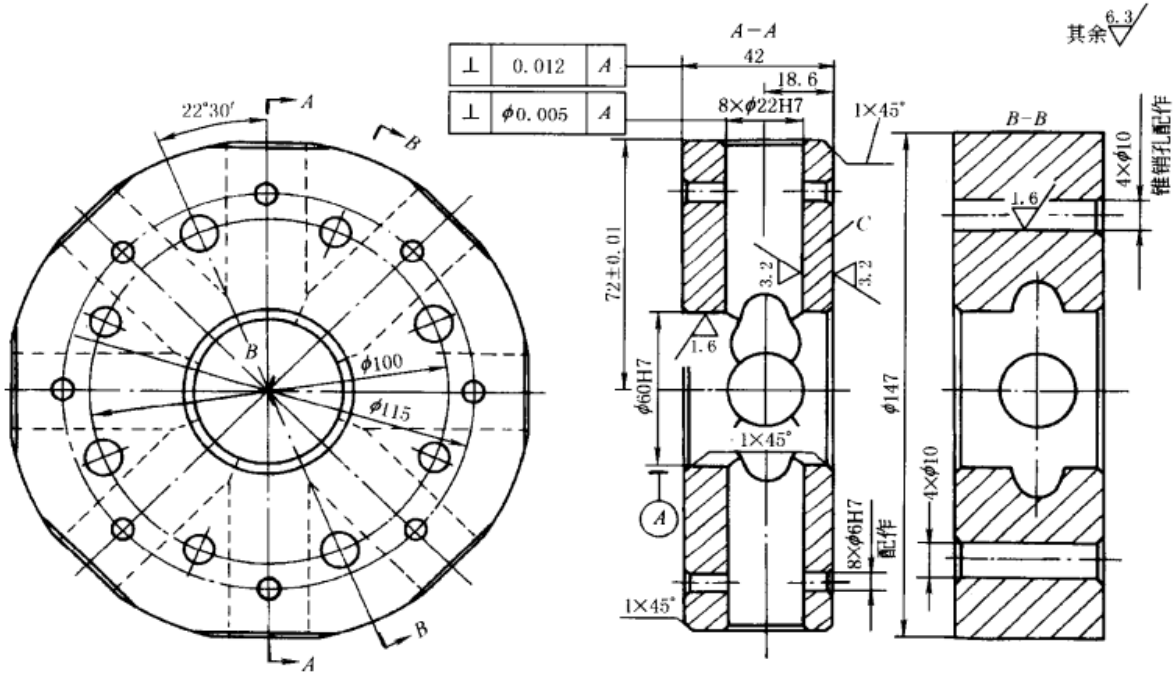


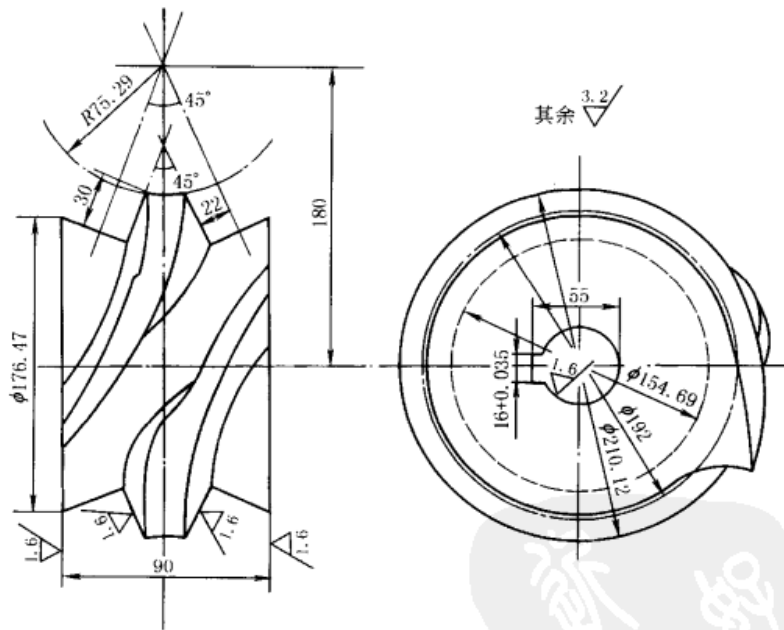
图 4-2-63

1—转盘体；2—圆柱销；3—隔垫；4—圆柱滚子；5—滚子轴；6—滚针



技术要求：8×φ22H7 孔的等分角 45°，相邻分度偏差不大于 ±10"，累积分度偏差 不大于 ±20"。材料 45，热处理调质 230~250HBS。

图 4-2-64 转盘体零件图



技术要求：

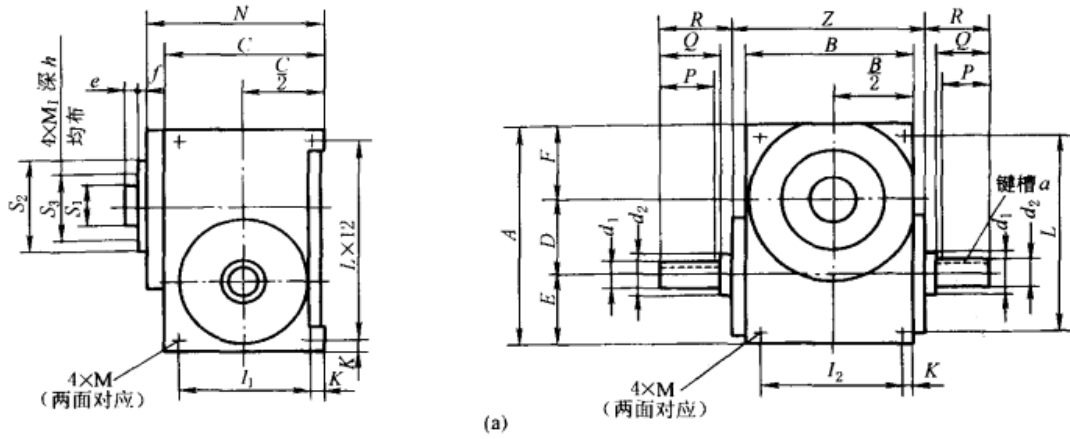
1. 凸轮分度曲面单头左旋，凸轮分度期转角 120°，停歇期转角 240°，转盘分度期运动规律为改进正弦加速度，滚子数为 8。
2. 凸轮定位环面左右两侧 45° 夹角的偏差为 -1'。
3. 热处理：调质 240~280HBS 后，渗氮，深度 ≥0.5mm，表面硬度 900HV。
4. 凸轮工作曲面最后加工时，工艺心轴与凸轮内孔的配合为  $\phi 50 \frac{H7}{n6}$ ，以心轴顶针孔定位。
5. 凸轮端面对内孔（基准）的垂直度 0.01mm。
6. 凸轮应进行静平衡试验。
7. 材料：20CrMnTi。

图 4-2-65 弧面分度凸轮零件图

## 4.2.8 弧面凸轮分度箱

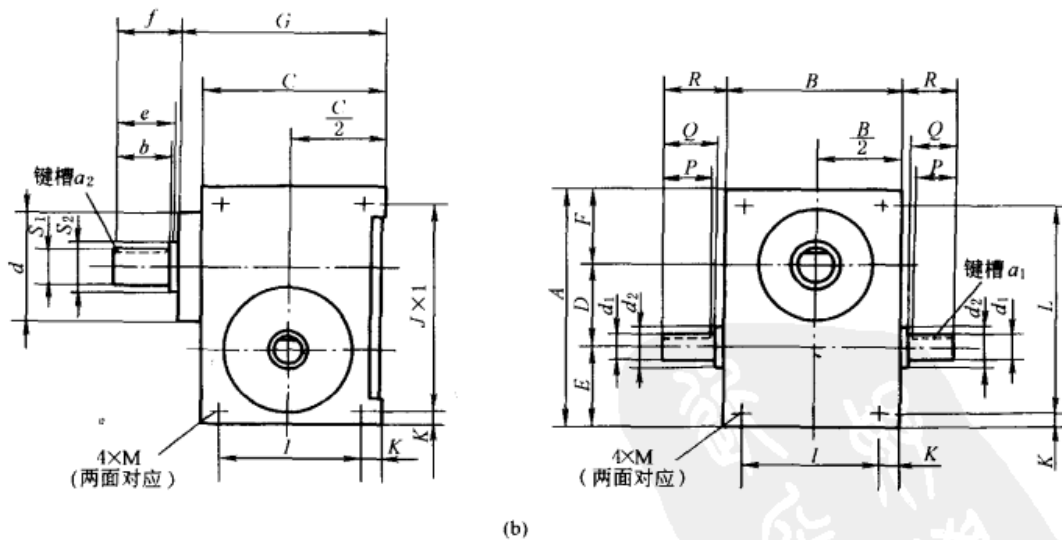
表 4-2-53 和表 4-2-54 列出国内一些公司生产的系列弧面凸轮分度箱的若干数据, 供设计参考。选用时应按所需分度数、动程角和生产公司联系。

表 4-2-53 GJC 系列弧面凸轮分度机构安装结构尺寸



尺寸 规格	mm																									
	A	B	C	D	E	F	N	Z	P	Q	R	e	f	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	K	L	M	M <sub>1</sub>	a	h
GJC50	140	90	100	50	45	45	112	114	35	40	43	5	3	16	20	20	50	35	76	66	12	125	M8	M6	4	15
GJC63	180	120	130	63	59	58	142	144	40	45	48	5	3	20	25	25	60	44	110	100	10	160	M8	M6	6	15

轴输出结构



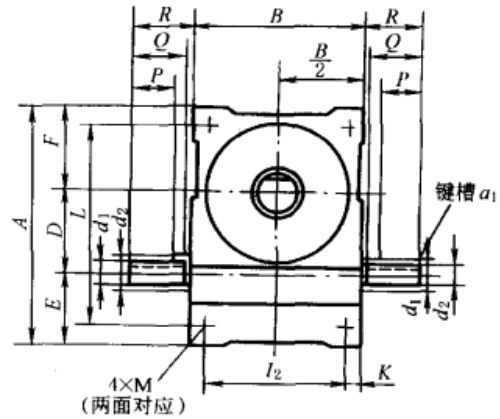
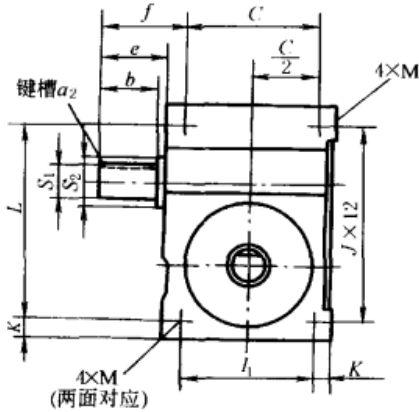
GJC 系列机构常用主参数:

分度精度等级: 高精级  $\leq \pm 15''$ , 精密级  $\leq \pm 30''$ , 普通级  $\leq \pm 50''$

转盘分度期运动规律: 变形正弦加速、变形等速运动、变形梯形运动

凸轮分度廓线旋向: 左旋、右旋; 分度数: 2 ~ 6、8、10、12、16、20、24; 凸轮动程角:  $90^\circ \sim 330^\circ$  (间隔  $30^\circ$ ); 最高输入轴转速: 1000r/min

尺寸 规格	mm																								
	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	P	Q	R	b	e	f	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	d	M	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
GJC45	130	90	90	45	40	45	108	70	110	10	110	26	34	35	32	40	42	≈14	≈17	≈16	≈20	≈65	M8	5	5
GJC70	195	130	130	70	60	65	148	100	165	15	165	40	48	50	40	50	52	≈20	≈25	≈25	≈35	≈90	M10	6	8
GJC83	222	140	160	83	73.5	65.5	166	110	192	15	192	36	40	42	50	60	62	≈20	≈25	≈25	≈35	≈80	M12	6	8



(c)

GJC 系列说明:

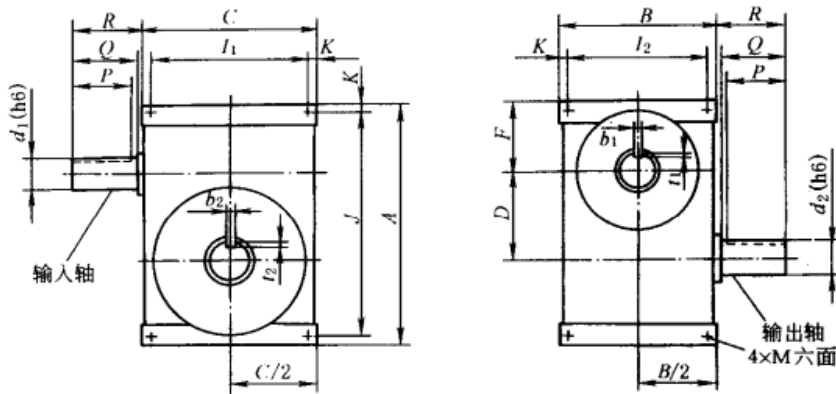
1. 该机构六个面都可以做安装面,上下顶面安装尺寸  $I_1$ 、 $I_2$  关于中心对称
2.  $d_1$ 、 $S_1$  分别代表输入,输出轴, $d_1$  可以单端输入, $S_1$  的输出形式可以为止口法兰式,法兰式
3. 规格的大小以中心距  $D$  定义
4. 特殊要求可单独订做

尺寸 规格	mm																							
	A	B	C	D	E	F	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	L	J	K	P	Q	R	b	e	f	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	M
GJC80	240	170	170	80	80	80	120	120	190	220	25	45	48	50	70	78	80	22	30	30	35	6	8	M10
GJC100	290	200	200	100	95	95	140	140	230	260	30	55	58	60	70	78	90	25	30	35	40	8	10	M12
GJC110	310	200	220	110	100	100	170	150	260	280	25	60	70	75	80	85	90	30	35	35	40	8	10	M12
GJC125	335	230	230	125	100	110	170	170	275	305	30	65	78	80	80	105	110	30	35	42	50	8	12	M12
GJC140	400	260	260	140	130	130	200	200	340	340	30	75	80	85	80	85	90	40	45	45	50	10	12	M16
GJC150	430	280	280	150	140	140	220	220	370	370	30	85	100	105	85	100	105	40	45	50	55	12	16	M16
GJC180	500	320	350	180	160	160	270	240	420	420	40	90	110	115	100	105	110	50	55	60	70	14	18	M16
GJC200	580	380	380	200	190	190	290	290	490	490	45	110	120	125	135	140	145	50	70	75	85	18	20	M20

注:生产厂家为浙江省瑞安市力中传动机械有限责任公司, <http://www.lzjk.com.cn>;  
 山东诸城恒瑞精密机械有限责任公司, <http://www.hengruimachinery.com>。

表 4-2-54

GT 型弧面凸轮分度机构



mm

尺寸 规格	A	B	C	D	F	$I_1$	$I_2$	J	K	P	Q	R	$d_1$	$d_2$	$b_1$	$t_1$	$b_2$	$t_2$	M	静转矩 $T_j$ /N·m	动转矩 $T_d$ /N·m
	GT50	140	100	100	50	45	76	76	116	12	37	40	43	20	20	6	3.5	6	3.5	M8	12 ~ 60
GT63	203	140	140	63	70	106	106	169	17	40	45	50	20	25	6	3.5	8	4	M8	23 ~ 116	9 ~ 107
GT70	213	172	126	70	73	100	146	187	13	37	40	43	20	25	6	3.5	8	4	M8	49 ~ 210	13 ~ 160
GT80	223	172	126	80	73	100	146	197	13	47	50	53	25	25	8	4	8	4	M10	85 ~ 345	18 ~ 235
GT100	273	204	160	100	88	118	162	231	21	57	60	63	30	30	8	4	8	4	M12	148 ~ 792	34 ~ 518
GT120	328	204	237	120	108	195	162	286	21	67	70	73	35	35	10	5	10	5	M12	307 ~ 1528	45 ~ 917
GT150	400	279	260	150	132	210	229	350	25	77	80	83	40	45	12	5	14	5.5	M16	473 ~ 2192	63 ~ 1354
GT200	488	288	275	200	146	225	238	438	25	90	100	103	65	75	18	7	20	7.5	M20	1214 ~ 4817	184 ~ 2665
GT250	597	315	344	250	177	284	285	547	30	160	170	173	80	90	22	9	25	9	M24	2190 ~ 5320	368 ~ 3648

注：生产厂为西安第一钟表机械厂。

## 4.3 圆柱分度凸轮机构

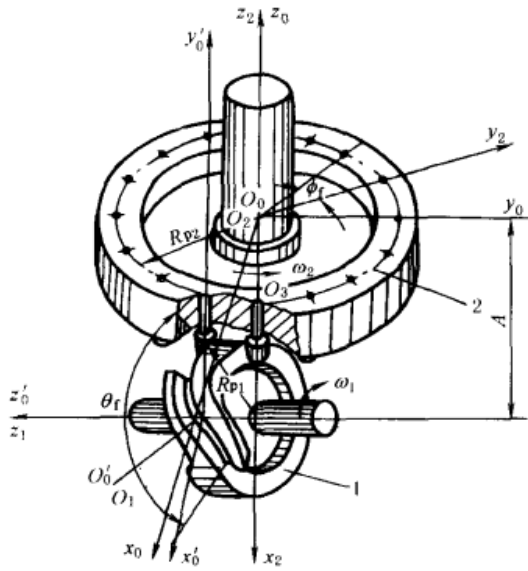
### 4.3.1 工作原理和主要类型

图 4-2-66a 所示圆柱分度凸轮机构，主动凸轮 1 为圆柱体，从动转盘 2 上装有几个沿转盘圆周方向均布的滚子，其轴线与转盘轴线平行，凸轮和转盘两轴线垂直交错。当凸轮旋转时，其分度段轮廓推动滚子使转盘分度转动；当凸轮转到其停歇段轮廓时，转盘上的两个滚子跨夹在凸轮的圆环面突脊上使转盘停止转动。圆柱滚子与凸轮轮廓间的间隙较难补偿，容易产生跨越冲击，滚子轴的刚度及与凸轮的啮合性能均不及弧面分度凸轮机构，故一般多用于中、低速及中、轻载场合。但圆柱凸轮比弧面凸轮容易制造，而且从结构上比弧面分度凸轮沿同样尺寸转盘圆周能分布更多的滚子数，故适用于需要分度数较多的场合。圆柱凸轮的分度段轮廓也有左旋、右旋与单头、多头之分。

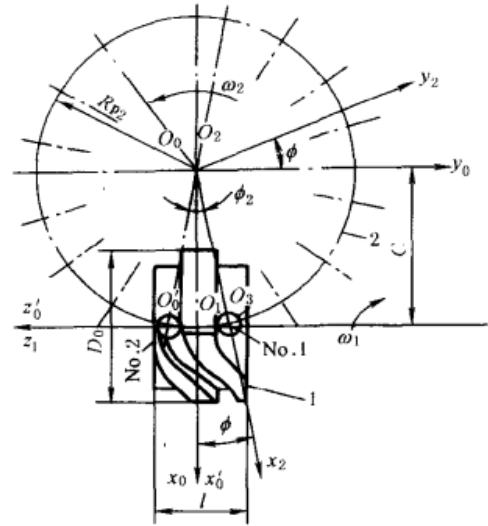
### 4.3.2 圆柱分度凸轮机构的主要运动参数和几何尺寸

表 4-2-55 和表 4-2-56 列出了圆柱分度凸轮机构的主要运动参数和几何尺寸的设计计算方法，并附有实例计算。

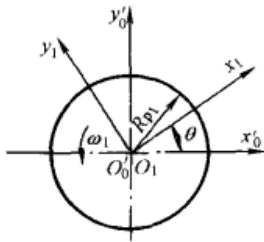
例 灯管装配转位机装置中的圆柱分度凸轮机构，已知设计条件：凸轮转速  $n = 100\text{r}/\text{min}$ ，连续旋转，转盘需 16 工位，中心距  $C = 200\text{mm}$ 。



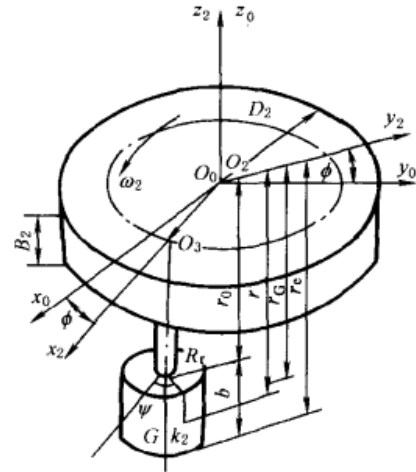
(a) 圆柱分度凸轮机构的坐标系及尺寸



(b) 垂直于转盘轴线的凸轮和转盘俯视图



(c) 垂直于凸轮轴线的凸轮节圆柱剖视图



(d) 转盘及圆柱滚子的坐标系及尺寸

图 4-2-66 圆柱分度凸轮机构

表 4-2-55 中所有项目的计算公式均与表 4-2-46 相同，故本表中仅列出实例计算。

表 4-2-55 圆柱分度凸轮机构的主要运动参数及实例计算

项 目	实 例 计 算
凸轮角速度 $\omega_1/s^{-1}$	$\omega_1 = \pi \times 100/30 = 10\pi/3 (s^{-1})$
凸轮分度期转角 $\theta_f/(\circ)$	选定 $\theta_f = 120^\circ$
凸轮停歇期转角 $\theta_d/(\circ)$	$\theta_d = 360^\circ - 120^\circ = 240^\circ$
凸轮和转盘的分度期时间 $t_f/s$	$t_f = (2\pi/3)/(10\pi/3) = 0.2 (s)$
凸轮和转盘的停歇期时间 $t_d/s$	$t_d = 2\pi/(10\pi/3) - 0.2 = 0.4 (s)$
凸轮分度廓线旋向及旋向系数 $p$	选用右旋 $R, p = -1$

续表

项 目	实 例 计 算
凸轮分度廓线头数 $H(H=1\sim 4)$	选用 $H=1$
转盘分度数 $l$	按设计要求的工位数选定 $l=16$
转盘滚子数 $z$	$z=Hl=16$
转盘分度期运动规律	选用正弦加速度运动规律,由表 4-2-21, $V_m=2$ , $A_m=6.28$ , $J_m=39.5$
转盘分度期转位角 $\phi_f/(\circ)$	$\phi_f=360^\circ/16=22.5^\circ$
转盘分度期角位移 $\phi_f/(\circ)$ 、角速度 $\omega_2/s^{-1}$ 、角速比 $\omega_2/\omega_1$ 、角加速度 $\varepsilon_2$ 和跃度 $j_2$	计算公式见表 4-2-23
转盘与凸轮在分度期的最大角速比 $(\omega_2/\omega_1)_{\max}$ 、最大角加速度 $\varepsilon_{2\max}$ 、最大跃度 $j_{2\max}$	$(\omega_2/\omega_1)_{\max}=\frac{22.5^\circ}{120^\circ}\times 2=0.375$ , $\varepsilon_{2\max}=61.654\text{ s}^{-2}$ $j_{2\max}=1938.95\text{ s}^{-3}$
动停比 $k$ , 运动系数 $\tau$	$k=\frac{0.2}{0.4}=0.5$ , $\tau=\frac{0.2}{0.4+0.2}=\frac{1}{3}$

表 4-2-56

圆柱分度凸轮机构的主要几何尺寸及实例计算

mm

项 目	计算公式与说明	实 例 计 算
中心距 $C$		给定 $C=200$
基距 $A$	$A$ 为凸轮轴线 $z_1$ 到转盘基准端面 $O_2x_2y_2$ 间的垂直距离	选定 $A=180$
许用压力角 $\alpha_p/(\circ)$	一般 $\alpha_p=30^\circ\sim 40^\circ$	取 $\alpha_p=32^\circ$
转盘节圆半径 $R_{p2}$	$R_{p2}\cong\frac{2C}{1+\cos(\phi_f/2)}$	$R_{p2}\cong(2\times 200)/(1+\cos 11.25^\circ)$ $=201.94$ 取 $R_{p2}=202$
凸轮节圆半径 $R_{p1}$	$R_{p1}\cong\frac{\phi_f v_{\max} R_{p2}}{\theta_f \tan \alpha_p}$	$R_{p1}\cong\frac{22.5^\circ \times 2 \times 202}{120^\circ \tan 32^\circ}\cong 121.22$ 取 $R_{p1}=130$
滚子中心角 $\phi_z/(\circ)$	$\phi_z=360^\circ/z$	$\phi_z=360^\circ/16=22.5^\circ$
滚子半径 $R_r$	$R_r=(0.4\sim 0.6)R_{p2}\sin(180^\circ/z)$	$R_r=(0.4\sim 0.6)\times 202\sin 11.25^\circ$ $=15.76\sim 23.64$ 取 $R_r=15$
滚子宽度 $b$	$b=(1.0\sim 1.4)R_r$	$b=(1.0\sim 1.4)\times 15=15\sim 21$ 取 $b=20$
滚子与凸轮槽底间的间隙 $e$	$e=(0.2\sim 0.4)b$ , 但至少 $e$ 为 5~10	取 $e=10$
凸轮定位环面径向深度 $h$	$h=b+e$	$h=20+10=30$
凸轮定位环面的外圆直径 $D_o$	$D_o=2R_{p1}+b$	$D_o=2\times 130+20=280$
凸轮定位环面的内圆直径 $D_i$	$D_i=D_o-2h$	$D_i=280-2\times 30=220$
凸轮宽度 $l$	$2R_{p2}\sin(\phi_f/2)<l<2R_{p2}\sin(\phi_f/2)+2R_r$	$404\sin 11.25^\circ<l<404\sin 11.15^\circ+2\times 15$ 即 $78.82<l<108.82$ 取 $l=100$
转盘外圆直径 $D_2$	$D_2\geq 2(R_{p2}+R_r)$	$D_2\geq 2\times(202+15)=434$ 取 $D_2=440$



项 目	计算公式与说明	实 例 计 算
转盘基准端面到滚子宽度中点的轴向距离 $r_G$	$r_G = A - R_{p1}$	$r_G = 180 - 130 = 50$
转盘基准端面到滚子上端面的轴向距离 $r_0$	$r_0 = r_G - (b/2)$	$r_0 = 50 - (20/2) = 40$
转盘基准端面到滚子下端面的轴向距离 $r_e$	$r_e = r_G + (b/2)$	$r_e = 50 + (20/2) = 60$

### 4.3.3 圆柱分度凸轮的工作轮廓设计

圆柱分度凸轮的工作轮廓设计方法和步骤与弧面分度凸轮类似,但计算公式不同。表 4-2-57 列出了其步骤和方法。

表 4-2-57

圆柱分度凸轮工作轮廓的设计计算

步 骤	公式和方法								
选取坐标系	与表 4-2-48 类似,选取四套右手直角坐标系,见图 4-2-66								
转盘滚子圆柱面在动坐标系 $O_2x_2y_2z_2$ 中的方程式	$x_2 = R_{p2} + R_r \cos \Psi, y_2 = R_r \sin \Psi, z_2 = -r$ 式中 $r, \Psi$ ——滚子圆柱形工作面的方程参数								
凸轮与滚子的共轭接触方程式	$\tan \Psi = p \left[ \frac{R_{p2}}{(A-r) \cos \phi} \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) - \tan \phi \right]$ 式中 $\phi$ ——滚子的位置角								
凸轮工作轮廓在动坐标系 $O_1x_1y_1z_1$ 中的方程式	$x_1 = (x_2 \cos \phi + py_2 \sin \phi - C) \cos \theta + (z_2 + A) \sin \theta$ $y_1 = (-x_2 \cos \phi - py_2 \sin \phi + C) \sin \theta + (z_2 + A) \cos \theta$ $z_1 = px_2 \sin \phi - y_2 \cos \phi$								
求解凸轮工作轮廓的三维坐标值	凸轮工作轮廓的三维坐标是上述三组非线性方程的联立求解,用 CAD 求其数值解时的具体步骤同表 4-2-48。但滚子位置角 $\phi$ 为 $\phi = \phi_0 - p\phi_1$ 图 4-2-66 所示情况,各个滚子的起始位置角 $\phi_0$ 按下表求得:								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>滚子代号</th> <th>No. 1</th> <th>No. 2</th> <th>No. 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\phi_0</math></td> <td><math>-p\phi_1/2</math></td> <td><math>p\phi_1/2</math></td> <td><math>3p\phi_1/2</math></td> </tr> </tbody> </table>	滚子代号	No. 1	No. 2	No. 3	$\phi_0$	$-p\phi_1/2$	$p\phi_1/2$	$3p\phi_1/2$
滚子代号	No. 1	No. 2	No. 3						
$\phi_0$	$-p\phi_1/2$	$p\phi_1/2$	$3p\phi_1/2$						
凸轮工作轮廓的计算机绘图	同表 4-2-48								

### 4.3.4 圆柱分度凸轮机构主要零件的材料、技术要求及结构设计要点

圆柱分度凸轮机构主要零件的材料、技术要求与弧面分度凸轮机构类同,可参见 4.2.5 节,其结构设计要点如下。

- ① 应保证转盘轴线与凸轮轴线垂直交错。
- ② 转盘轴线应位于凸轮定位环面的对称平面上,以保证凸轮定位环面与左右两侧滚子接触良好。在结构上应考虑在装配时能调整凸轮的轴向位置。
- ③ 滚子与凸轮定位环面的啮合间隙一般采用 IT6 或 IT7,例如 H7/h6。
- ④ 转盘在结构上应设计成在安装时能进行轴向调整,如各滚子在转盘上的轴向位置一致性要求较高时,应设计成可使每个滚子都能分别作轴向位置调整。

### 4.3.5 圆柱分度凸轮轮廓面展开为平面矩形时的设计计算

当凸轮转速较低、精度要求不高时，可以把圆柱分度凸轮按其节圆半径  $R_{p1}$  或外圆直径  $D_o$  展开成平面矩形，并按滚子摆动从动件移动凸轮的方法进行分析和设计。图 4-2-67 为图 4-2-66 所示单头右旋圆柱分度凸轮按  $R_{p1}$  或  $D_o$  展开后的相当移动凸轮，凸轮轮廓的计算见表 4-2-58。

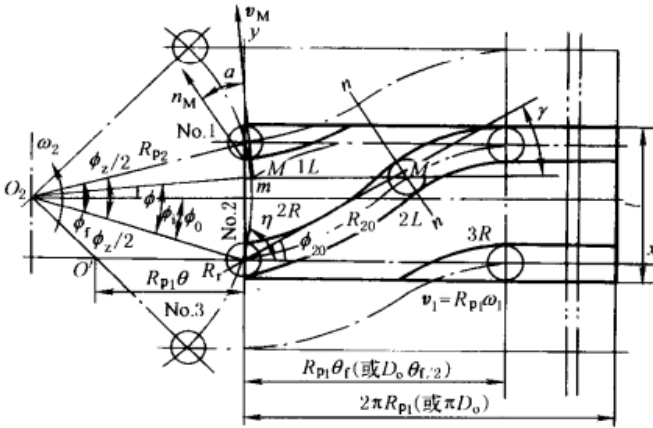


图 4-2-67 圆柱分度凸轮轮廓面展开为平面

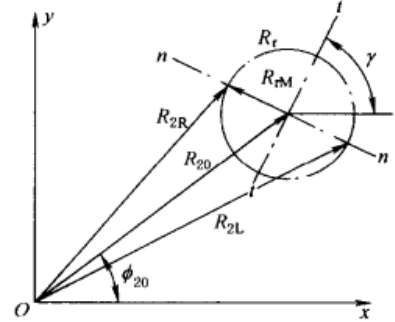


图 4-2-68 凸轮理论廓线与工作廓线间的关系

表 4-2-58 圆柱分度凸轮轮廓面展开为平面矩形时的设计计算

项 目	计 算 公 式 与 说 明			
凸轮分度期的矩形	长度 = $R_{p1}\theta_f$ , 宽度 = $l$ 式中 $R_{p1}$ ——凸轮节圆半径; $\theta_f$ ——凸轮分度期转角; $l$ ——凸轮宽度			
转盘角位置 $\phi$	$\phi = \phi_0 - p\phi_1$ 式中 $p$ ——旋向系数, 右旋 $p = -1$ ; $\phi_1$ ——转盘分度期角位移; $\phi_0$ ——滚子起始位置角			
	滚子代号	No. 1	No. 2	No. 3
	$\phi_0$	$-p\phi_1/2$	$p\phi_1/2$	$p\phi_1/2$
与 No. 2 滚子啮合的凸轮理论廓线方程式	由矢量多边形 $OO_2M'M$ 得极坐标方程式 $R_{20} = (m^2 + R_{p1}^2\theta^2 + 2mR_{p1}\theta \cos\eta)^{1/2}, \Phi_{20} = \arctan\left(\frac{m\sin\eta}{m\cos\eta + R_{p1}\theta}\right)$ 直角坐标方程式 $x_{20} = R_{20}\cos\Phi_{20}, y_{20} = R_{20}\sin\Phi_{20}$ $m = \sqrt{2R_{p2}^2[1 - \cos(\phi + \phi_f/2)]}, \eta = \arctan\left[\frac{\sin\phi + \sin(\phi_f/2)}{\cos\phi - \cos(\phi_f/2)}\right]$ 式中 $\theta$ ——凸轮角位移; $\phi_f$ ——转盘分度期转角; $R_{p2}$ ——转盘节圆半径			
凸轮理论廓线的切线倾角 $\gamma$	$\gamma = \arctan\left[\frac{\omega_2 \cos\phi / \omega_1}{(R_{p1}/R_{p2}) - (\omega_2 \sin\phi / \omega_1)}\right]$			
压力角 $\alpha$	$\alpha = \gamma - \phi$			
转盘分度期中点的最大压力角 $\alpha_{max}$	$\alpha_{max} = \arctan[(R_{p2}/R_{p1})(\omega_2/\omega_1)_{max}]$			

项 目	计 算 公 式 与 说 明
凸轮工作廓线 2L、2R 的方程式(图 4-2-68)	$R_{2L} = [R_{20}^2 + R_r^2 + 2R_{20}R_r \sin(\gamma - \Phi_{20})]^{1/2} \quad R_{2R} = [R_{20}^2 + R_r^2 - 2R_{20}R_r \sin(\gamma - \Phi_{20})]^{1/2}$ $\Phi_{2L} = \arctan\left(\frac{R_{20} \sin \Phi_{20} - R_r \cos \gamma}{R_{20} \cos \Phi_{20} + R_r \sin \gamma}\right) \quad \Phi_{2R} = \arctan\left(\frac{R_{20} \sin \Phi_{20} + R_r \cos \gamma}{R_{20} \cos \Phi_{20} - R_r \sin \gamma}\right)$ $x_{2L} = R_{2L} \cos \Phi_{2L} \quad y_{2L} = R_{2L} \sin \Phi_{2L} \quad x_{2R} = R_{2R} \cos \Phi_{2R} \quad y_{2R} = R_{2R} \sin \Phi_{2R}$ 式中 $R_r$ —— 滚子半径
与 No. 1 和 No. 3 滚子啮合的凸轮理论廓线和工作廓线 1L 和 3R 的方程式	将上述公式中 No. 2 滚子的起始位置角 $\phi_0$ 分别用 No. 1 和 No. 3 的相应值代入即可求得。受凸轮宽度 $l$ 的限制, 只需计算在 $l$ 范围内的 $y$ 值
凸轮按外圆直径 $D_0$ 展开时的各值	将上述公式中的 $R_{p1}$ 均以 $D_0/2$ 代替即可求得

## 4.4 共轭(平行)分度凸轮机构

### 4.4.1 基本结构和工作原理

共轭分度凸轮机构用于两平行轴间的间歇分度步进传动。主动凸轮 1 由前后(或上、下)两片盘形凸轮组成。这两片凸轮在制造时廓线形状完全相同, 安装时, 使前后两片成镜像对称错开一定相位角安装, 故称为共轭分度凸轮机构, 见图 4-2-69 实线与虚线所示。从动转盘 2 的前后两端面上也各装有几个径向均匀分布的滚子(图 4-2-69 中装在后侧端面上的滚子用虚线表示)。当凸轮旋转时, 其前后两侧的廓线分别与相应的滚子接触, 相继推动转盘分度转位或抵住滚子起限位作用。当凸轮转到其圆弧形廓线与滚子接触时, 转盘停止不动。由于机构工作时是由两片凸轮按设计要求同时控制从动转盘的运动, 因此凸轮与滚子之间能保持良好的形封闭, 不必附加弹簧等其他装置就能获得较好的几何锁合。当然, 对凸轮的加工精度和安装要求也较高。

共轭分度凸轮机构主要有两种类型。

#### (1) 单头型

转盘每次转位, 转过一个滚子圆心角, 例如图 4-2-69a 所示, 头数  $H=1$ , 滚子数  $z=8$ , 则转盘每次分度期转位角  $\phi_f = \frac{2\pi H}{z} = \frac{\pi}{4}$ 。这种型式的机构, 凸轮每转半圈, 转盘分度一次。

#### (2) 多头型

转盘每次转位, 转过多个滚子圆心角, 图 4-2-69b 所示,  $H=2$ ,  $z=8$ ,  $\phi_f = \pi/2$ ; 图 4-2-69c 所示,  $H=4$ ,  $z=4$ ,  $\phi_f = 2\pi$ 。多头式的机构, 凸轮每转一圈, 转盘分度一次。

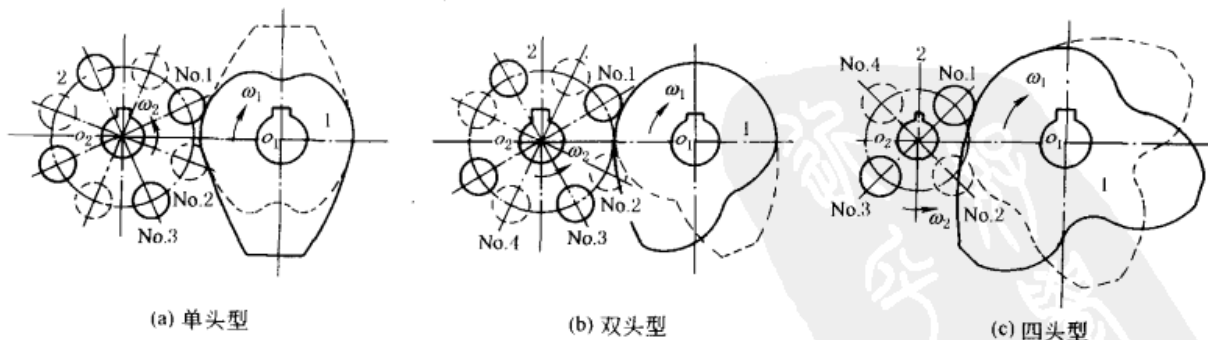


图 4-2-69 共轭分度凸轮机构的主要类型

### 4.4.2 共轭分度凸轮机构的主要运动参数和几何尺寸

表 4-2-59 和表 4-2-60 列出了共轭盘形分度凸轮机构的主要运动参数和几何尺寸的设计计算方法, 并附有实

例计算。

例 印刷机送纸装置中的共轭盘形分度凸轮机构, 已知设计条件: 凸轮转速  $n = 100\text{r}/\text{min}$ , 连续旋转, 从动转盘需四工位, 中心距  $C = 100\text{mm}$ 。

表 4-2-59 共轭盘形分度凸轮机构的主要运动参数及实例计算

项 目	计算公式与说明	实 例 计 算
凸轮角速度 $\omega_1/\text{s}^{-1}$	$\omega_1 = \pi n/30$	$\omega_1 = 10\pi/3 (\text{s}^{-1})$
转盘分度数 $I$	$I$ 为转盘每转一周中的停歇次数, 常用值见表 4-2-60	按设计要求的工位选数选定 $I = 4$
头数 $H$	常用值见表 4-2-60	选用 $H = 2$
转盘滚子数 $z$	$z = HI$ , 常用值见表 4-2-60	$z = HI = 2 \times 4 = 8$
凸轮分度期转角 $\theta_f/(\circ)$	常用值见表 4-2-60	选用 $\theta_f = 180^\circ$
凸轮停歇期转角 $\theta_d/(\circ)$	单头 $H = 1$ 时, $\theta_d = 180^\circ - \theta_f$ 多头 $H \geq 2$ 时, $\theta_d = 360^\circ - \theta_f$	$\theta_d = 360^\circ - 180^\circ = 180^\circ$
凸轮角位移 $\theta/(\circ)$	以凸轮分度期开始处作为 $\theta = 0$	
分度期时间 $t_f/\text{s}$	$t_f = \theta_f/\omega_1$	$t_f = \frac{\pi}{(10\pi/3)} = 0.3(\text{s})$
停歇期时间 $t_d/\text{s}$	$t_d = \theta_d/\omega_1$ , 此式仅适用凸轮连续旋转时	$t_d = \frac{\pi}{(10\pi/3)} = 0.3(\text{s})$
转盘分度期转位角 $\phi_f/(\circ)$	$\phi_f = 360^\circ/I$	$\phi_f = 360^\circ/4 = 90^\circ$
转盘分度期运动规律	常用的有正弦加速度, 改进正弦加速度, 改进梯形加速度, 改进等速等运动规律	选用改进正弦加速度运动规律
转盘分度期角位移 $\phi_i/(\circ)$	$\phi_i = S\phi_f$ , $S$ 为所选运动规律的无因次位移	$T = \theta/\theta_f = \theta/180^\circ$ $0 \leq T \leq 1/8 (0^\circ \leq \theta \leq 22.5^\circ)$ $\phi_i = \frac{90^\circ}{(\pi+4)} (\pi T - \frac{1}{4} \sin 4\pi T)$ $1/8 \leq T \leq 7/8 (22.5^\circ \leq \theta \leq 157.5^\circ)$ $\phi_i = \frac{90^\circ}{(\pi+4)} [2 + \pi T - \frac{9}{4} \sin(\frac{\pi+4\pi T}{3})]$ $7/8 \leq T \leq 1 (157.5^\circ \leq \theta \leq 180^\circ)$ $\phi_i = \frac{90^\circ}{(\pi+4)} (4 + \pi T - \frac{1}{4} \sin 4\pi T)$
转盘分度期角速度 $\omega_2/\text{s}^{-1}$	$\omega_2 = \phi_f V/t_f$ , $V$ 为所选运动规律的无因次速度	$\omega_2 = \frac{\pi}{0.6} V, T = \theta/180^\circ$ $0 \leq T \leq 1/8$ $\omega_2 = \frac{\pi^2}{0.6(\pi+4)} (1 - \cos 4\pi T)$ $1/8 \leq T \leq 7/8$ $\omega_2 = \frac{\pi^2}{0.6(\pi+4)} [1 - 3\cos(\frac{\pi+4\pi T}{3})]$ $7/8 \leq T \leq 1$ $\omega_2 = \frac{\pi^2}{0.6(\pi+4)} (1 - \cos 4\pi T)$

项 目	计算公式与说明	实 例 计 算
转盘与凸轮在分度期的最大角 速比 $(\omega_2/\omega_1)_{\max}$	$(\omega_2/\omega_1)_{\max} = \phi_f V_{\max}/\theta_f, V_{\max}$ 为所选运动规律的无因次速度最 大值	$(\frac{\omega_2}{\omega_1})_{\max} = \frac{90}{180} \times 1.76 = 0.88$
动停比 $k$ , 运动系数 $\tau$	$k = t_f/t_d, \tau = t_f/(t_d + t_f)$	$k = 0.3/0.3 = 1, \tau = 0.5$

表 4-2-60

凸轮头数 $H$	1	2	3	4
转盘分度数 $I$	6, 8, 10, 12, 16	3, 4, 5, 6, 8	2, 4	1, 2, 3
滚子数 $z$	6, 8, 10, 12, 16	6, 8, 10, 12, 16	6, 12	4, 8, 12
凸轮分度期转角 $\theta_f/(\circ)$	60, 75, 90, 120, 150	90, 120, 150, 180, 210, 240, 270	180, 180, 210, 240, 270	180, 210, 240, 270

表 4-2-61 共轭盘形分度凸轮机构的主要几何尺寸及实例计算 (图 4-2-73)

项 目	计算公式与说明	实 例 计 算
转盘节圆半径 $R_p/\text{mm}$	1. 由图 4-2-70 按最大压力角 $\alpha_{\max}$ 选用 $R_p/C$ , 一般 $\alpha_{\max} = 45^\circ \sim 60^\circ$	1. 按 $\alpha_{\max} = 50^\circ$ 及 $z = 8$ 由图 4-2-70 得 $R_p/C = 0.46$
	2. 按凸轮理论廓线的形成条件, 由图 4-2-71 验算 $R_p/C$ 的最大允许值	2. 由 $z = 8$ 及 $\theta_f/H = 180^\circ/2 = 90^\circ$ , 按图 4-2-71 得 $R_p/C$ 最大允许值为 0.77, 故知现选用的 $R_p/C = 0.46$ 合格
	3. 由图 4-2-72 检验凸轮理论廓线不发生曲线本身自交现象的 $R_p/C$ 最大允许值	3. 由 $I = 4$ 及 $\theta_f = 180^\circ$ , 按图 4-2-72 得 $R_p/C$ 最大允许值为 0.57, 故知现选用的 $R_p/C = 0.46$ 合格
凸轮的基圆半径 $R_b/\text{mm}$	$R_b$ 是凸轮轴心到其理论廓线间的最短 向径, $R_b = C - R_p$	$R_b = 100 - 46 = 54(\text{mm})$
转盘的基准起始位置角 $\phi_{10}/(\circ)$	$\phi_{10} = 180^\circ/z$	$\phi_{10} = 180^\circ/8 = 22.5^\circ$
凸轮的基准起始向径 $R_{10}/\text{mm}$	$R_{10} = (C^2 + R_p^2 - 2CR_p \cos\phi_{10})^{1/2}$	$R_{10} = (100^2 + 46^2 - 2 \times 100 \times 46$ $\times \cos 22.5^\circ)$ $= 60.14(\text{mm})$
凸轮的基准起始位置角 $\theta_{10}/(\circ)$	$\theta_{10} = \arcsin(R_p \sin\phi_{10}/R_{10})$	$\theta_{10} = \arcsin(46 \times \sin 22.5^\circ/60.14)$ $= 17.021^\circ$
滚子中心角 $\phi_x/(\circ)$	$\phi_x = 360^\circ/z$	$\phi_x = 360^\circ/8 = 45^\circ$
滚子半径 $R_r/\text{mm}$	$R_r \leq (0.4 \sim 0.6) R_p \sin(\phi_x/2)$	$R_r \leq (0.4 \sim 0.6) 46 \times \sin 22.5^\circ \leq 7 \sim 11$ 取 $R_r = 10\text{mm}$
滚子宽度 $b/\text{mm}$	$b = (1.0 \sim 1.4) R_r$	$b = (1.0 \sim 1.4) \times 10 = 10 \sim 14$ 取 $b = 12\text{mm}$

续表

项 目	计算公式与说明	实例 计 算
安装相位角 $\theta_p / (^\circ)$	$\theta_p$ 是前后两片凸轮两条基准起始向径间的夹角 单头 $H=1: \theta_p = 180^\circ - \theta_f - 2\theta_{10}$ 多头 $H \geq 2: \theta_p = 360^\circ - \theta_f - 2\theta_{10}$	$\theta_p = 360^\circ - 180^\circ - 2 \times 17.021^\circ$ $= 145.958^\circ$
No. $n$ 滚子中心 $F_{n0}$ 的起始位置角 $\phi_{n0} / (^\circ)$	$\phi_{n0} = 360^\circ (1.5 - n) / z$ 式中, $n$ 为滚子代号, $n$ 为奇数指装在转盘前侧的滚子, $n$ 为偶数指装在后侧的滚子	$\phi_{30} = 360^\circ \times (1.5 - 3) / 8 = -67.5^\circ$
No. $n$ 滚子中心与 $O_1$ 间的距离 $R_{n0} / \text{mm}$	$R_{n0} = (R_p^2 + C^2 - 2R_p C \cos \phi_{n0})^{1/2}$	$R_{30} = [46^2 + 100^2 - 2 \times 46 \times 100 \cos(-67.5^\circ)]^{1/2} = 92.71 (\text{mm})$
$F_{n0}O_1$ 与 $O_2O_1$ 间夹角 $\theta_{n0}$	$\theta_{n0} = \arcsin\left(\frac{R_p \sin \phi_{n0}}{R_{n0}}\right)$	$\theta_{30} = \arcsin\left[\frac{46 \sin(-67.5^\circ)}{92.71}\right]$ $= -27.284^\circ$

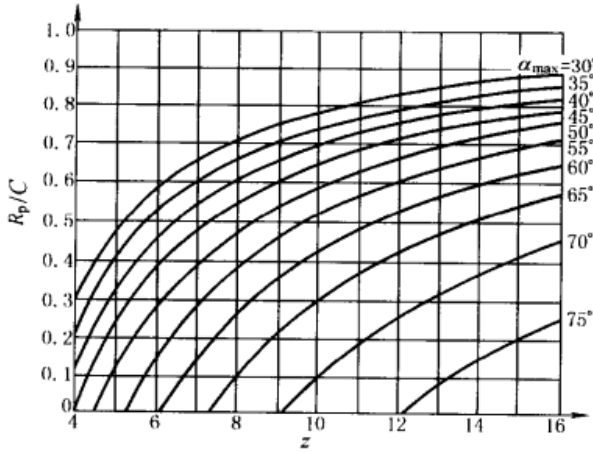


图 4-2-70 检验最大压力角  $\alpha_{max}$  用的曲线

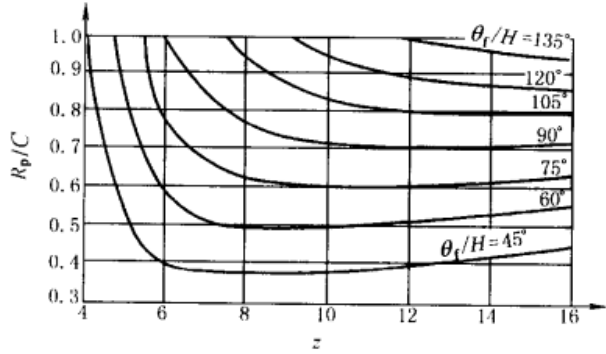


图 4-2-71 能形成凸轮理论廓线的最大  $R_p/C$  和最小  $\theta_f$

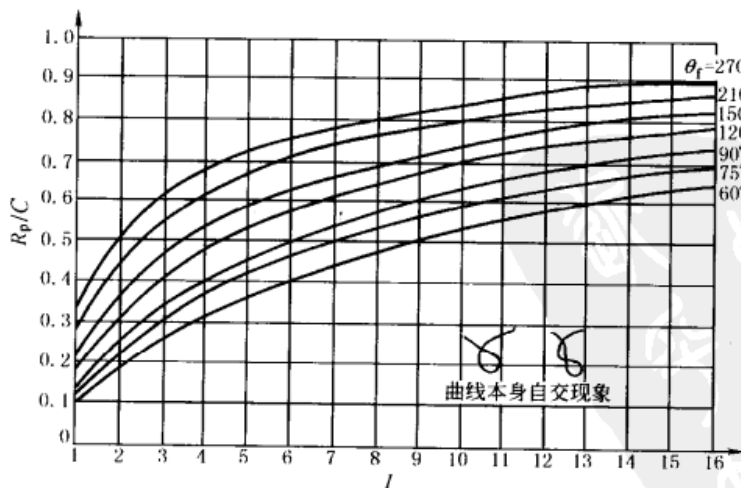


图 4-2-72 凸轮理论廓线不产生自交现象的最大  $R_p/C$  和最小  $\theta_f$   
 (适用于改进正弦加速度、改进梯形加速度和 3-4-5 多项式)



### 4.4.3 用作图法绘制凸轮的理论廓线和工作廓线

为了建立直观的凸轮廓线几何图形, 看出各段廓线交汇处所在的区间, 以使用计算机精确设计凸轮廓线时优化计算, 设计时应先用作图法绘制凸轮轮廓, 作图时的分点以保证画出几个关键位置为宜。表 4-2-62 和图 4-2-73 是根据 4.4.2 节中例及表 4-2-61 和表 4-2-60 所得实例计算结果进行作图的方法和步骤。

表 4-2-62 共轭盘形分度凸轮廓线设计的作图法

步 骤	计算公式、数据和作图方法																								
1. 作出机构的中心距、转盘节圆和凸轮基圆	中心距 $C = 100\text{mm}$ , 转盘节圆半径 $R_p = 46\text{mm}$ , 凸轮基圆半径 $R_b = 54\text{mm}$ , 此二圆相切																								
2. 定出前、后侧凸轮理论廓线的起始点 $A_0, B$	由 $\angle O_1 O_2 A_0 = \phi_{10} = 22.5^\circ$ 和 $O_2 A_0 = R_p = 46\text{mm}$ , 定出 $F_{10}, A_0$ 与 $F_{10}$ 重合。由 $\angle A_0 O_2 B_0 = \phi_s = 45^\circ$ 和 $R_p$ 定出 $F_{20}, B_0$ 与 $F_{20}$ 重合																								
3. 定出 No. 1 ~ No. 8 各滚子的中心 $F_{10}, F_{20}, \dots, F_{80}$	由 $O_2 F_{10}$ 起逆 $\omega_2$ 方向依次取 $\phi_s$ , 在转盘节圆上得 $F_{20}, F_{30}, F_{40}$ , No. 5 ~ No. 8 滚子中心未在图上画出																								
4. 作反转圆, 定出转盘轴心 $O_2$ 的相应反转位置 $O_{21}, O_{22}, \dots, O_{26}$	以 $O_1$ 为中心, $C$ 为半径作反转圆。图中将 $\theta_f = 180^\circ$ 分成六等分, 每个分角 $\theta_i = 30^\circ$ , 逆 $\omega_1$ 方向在反转圆上定出 $O_{21}, O_{22}, \dots, O_{26}$																								
5. 将 No. 1 滚子中心按选定的运动规律将分度期转角 $\phi_f$ 分成相应的角位置 $\phi_{10}, \phi_{11}, \dots, \phi_{16}$ 和分点 $F_{10}, F_{11}, \dots, F_{16}$	按选定的改进正弦加速度运动规律, 得七个分点及其角位置如下表:																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>滚子中心位置</th> <th><math>F_{10}</math></th> <th><math>F_{11}</math></th> <th><math>F_{12}</math></th> <th><math>F_{13}</math></th> <th><math>F_{14}</math></th> <th><math>F_{15}</math></th> <th><math>F_{16}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>位置角/<math>^\circ</math></td> <td><math>\phi_{10}</math></td> <td><math>\phi_{11}</math></td> <td><math>\phi_{12}</math></td> <td><math>\phi_{13}</math></td> <td><math>\phi_{14}</math></td> <td><math>\phi_{15}</math></td> <td><math>\phi_{16}</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td>22.5</td> <td>26.379</td> <td>42.675</td> <td>67.5</td> <td>92.325</td> <td>108.622</td> <td>112.5</td> </tr> </tbody> </table>	滚子中心位置	$F_{10}$	$F_{11}$	$F_{12}$	$F_{13}$	$F_{14}$	$F_{15}$	$F_{16}$	位置角/ $^\circ$	$\phi_{10}$	$\phi_{11}$	$\phi_{12}$	$\phi_{13}$	$\phi_{14}$	$\phi_{15}$	$\phi_{16}$		22.5	26.379	42.675	67.5	92.325	108.622	112.5
滚子中心位置	$F_{10}$	$F_{11}$	$F_{12}$	$F_{13}$	$F_{14}$	$F_{15}$	$F_{16}$																		
位置角/ $^\circ$	$\phi_{10}$	$\phi_{11}$	$\phi_{12}$	$\phi_{13}$	$\phi_{14}$	$\phi_{15}$	$\phi_{16}$																		
	22.5	26.379	42.675	67.5	92.325	108.622	112.5																		
6. 作出前端面凸轮理论廓线	从 $O_{21}, O_1$ 起由 $\phi_{11}$ 和 $R_p$ 定出 $A_1$ 点, 由 $O_{21}, A_1$ 起逆 $\omega_2$ 由 $\phi_s$ 和 $R_p$ 依次定出 $B_1, D_1$ 和 $E_1$ 。同理从 $O_{22}, O_1$ 起由 $\phi_{12}$ 和 $R_p$ 定出 $A_2$ , 由 $O_{22}, A_2$ 起逆 $\omega_2$ 由 $\phi_s$ 和 $R_p$ 依次定出 $B_2, D_2$ 和 $E_2$ 。依此类推, 定出 $A_3, B_3, D_3, E_3, \dots, A_6, B_6, D_6, E_6$ 。把 $A_0, A_1, \dots, A_5, A_6$ 和 $D_0, D_1, \dots, D_5, D_6$ 分别连成曲线, 两曲线交于 $G$ 点, 则前端面凸轮理论廓线即为 $A_0 A_1 A_2 G D_2 D_3 D_4 D_5 D_6 A_0$ , 其中 $\widehat{D_6 A_0}$ 为以 $O_1$ 为中心, $R_{10}$ 为半径的圆弧																								
7. 作出后端面凸轮理论廓线	把上述定出的 $B_0, B_1, \dots, B_5, B_6$ 和 $E_0, E_1, \dots, E_5, E_6$ 分别连成曲线, 两曲线交于 $H$ 点, 则后端面凸轮理论廓线即为 $B_0 B_1 B_2 B_3 B_4 H E_4 E_5 E_6 B_0$ , 其中 $\widehat{E_6 B_0}$ 为以 $O_1$ 为中心, $R_{20} (= R_{10})$ 为半径的圆弧																								
8. 作凸轮的工作廓线	在理论廓线上分别以滚子半径 $R_r = 10\text{mm}$ 作圆, 其包络线即凸轮工作廓线, 图中前端面用实线表示, 后端面用虚线表示																								

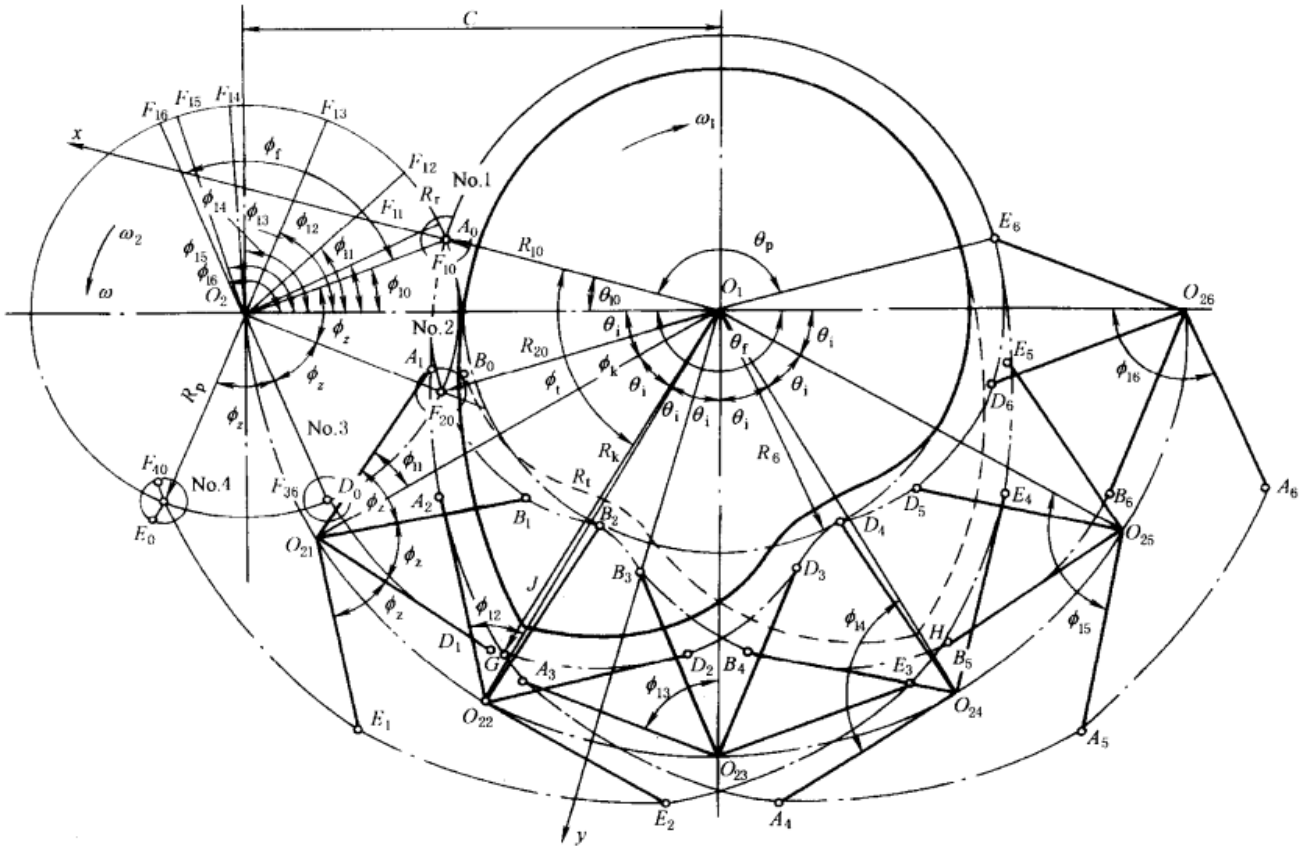


图 4-2-73 用作图法绘制共轭盘形分度凸轮的轮廓

4.4.4 共轭盘形分度凸轮机构凸轮廓线的解析法计算

表 4-2-63 和图 4-2-74、图 4-2-75 列出了解析法计算的步骤和公式，表 4-2-64 是根据 4.4.2 节例求出的凸轮廓线坐标值，图 4-2-76 给出了凸轮和转盘滚子在一个循环中的工作情况。

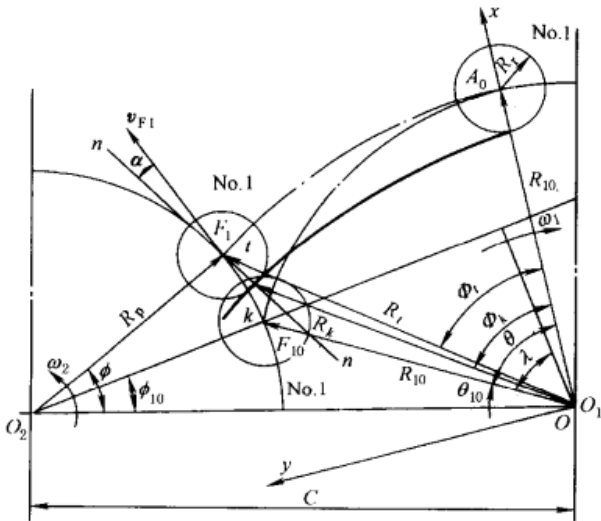


图 4-2-74 共轭盘形分度凸轮的理论廓线和工作廓线

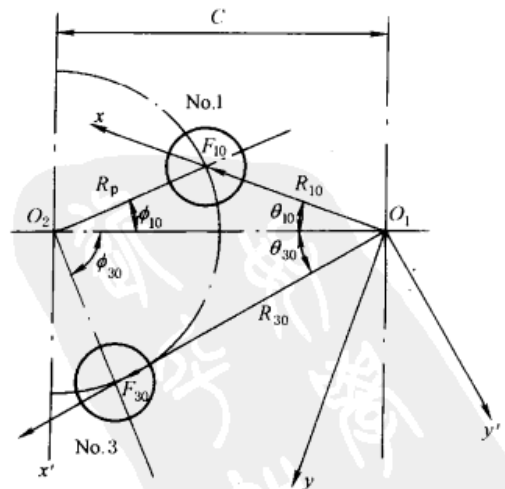


图 4-2-75 No. 1 滚子和 No. 3 滚子的坐标变换





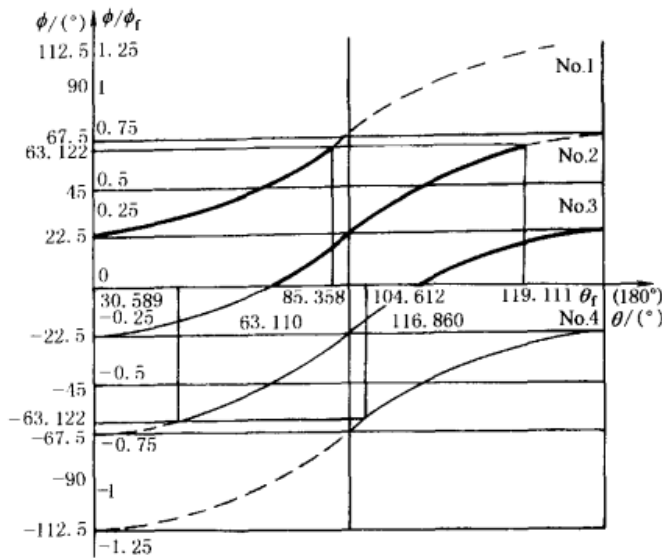


图 4-2-76 凸轮和转盘滚子的工作情况

粗实线—滚子受凸轮推动阶段；细实线—凸轮抵住滚子的限位阶段；虚线—滚子未与凸轮接触

表 4-2-63

共轭盘形分度凸轮廓线设计的解析法

步骤	计算公式与说明
1. 在凸轮上建立动坐标系	右手直角坐标系 $Oxy$ 的原点 $O$ 与凸轮轴心 $O_1$ 重合, $O_1x$ 与凸轮的基准起始向径 $O_1A_0$ 重合。如 $\omega_1$ 为逆时针方向转, 则 $Oxy$ 应取左手直角坐标系, 则下列公式均适用, 而算出的极坐标值均逆 $\omega_1$ 转向度量
2. 求与 No. 1 滚子中心相啮合的凸轮理论廓线方程式	<p>图 4-2-74 表示凸轮已从其基准起始位置角 <math>\theta_{10}</math> 处顺 <math>\omega_1</math> 转过 <math>\theta</math>, 转盘上 No. 1 滚子已从其基准起始位置角 <math>\phi_{10}</math> 处顺 <math>\omega_2</math> 转过 <math>\phi - \phi_{10}</math>, 滚子中心由 <math>F_{10}</math> 转到 <math>F_1</math>, 凸轮理论廓线上 <math>t</math> 点的方程式为:</p> <p>直角坐标</p> $x_t = R_p \sin(\theta + \phi - \phi_{10} - \lambda) - C \sin(\theta - \phi_{10} - \lambda)$ $y_t = -R_p \cos(\theta + \phi - \phi_{10} - \lambda) + C \cos(\theta - \phi_{10} - \lambda)$ <p>极坐标</p> $R_t = (x_t^2 + y_t^2)^{1/2}$ $\Phi_t = \arctan(y_t/x_t) \text{ (当 } x_t > 0, y_t > 0 \text{ 时)}$ <p>或</p> $\Phi_t = 180^\circ + \arctan(y_t/x_t) \text{ (当 } x_t < 0 \text{ 时)}$ <p>或</p> $\Phi_t = 360^\circ + \arctan(y_t/x_t) \text{ (当 } x_t > 0, y_t < 0 \text{ 时)}$ <p>式中 <math>\theta</math> —— 凸轮转角, 由 <math>O_1x</math> 起逆时针向度量  <math>\phi</math> —— 凸轮理论廓线的向径角, 由 <math>O_1x</math> 起逆时针向度量  <math>\phi</math> —— 转盘上 No. 1 滚子的位置角, <math>\phi = \phi_{10} + \phi_1</math>, 由 <math>O_2O_1</math> 起逆时针向度量  <math>\lambda</math> —— 计算用辅助角</p> $\lambda = \arctan\left(\frac{C \cos \phi_{10} - R_p}{C \sin \phi_{10}}\right)$
3. 求与 No. 1 滚子相啮合的凸轮工作廓线方程式	<p>凸轮工作廓线上 <math>k</math> 点的方程式为:</p> <p>直角坐标</p> $x_k = x_t - R_t \cos(\theta + \phi - \phi_{10} - \lambda + \alpha)$ $y_k = y_t - R_t \sin(\theta + \phi - \phi_{10} - \lambda + \alpha)$ <p>极坐标</p> $R_k = (x_k^2 + y_k^2)^{1/2}$ $\Phi_k = \arctan(y_k/x_k) \text{ (当 } x_k > 0, y_k > 0 \text{ 时)}$ <p>或</p> $\Phi_k = 180^\circ + \arctan(y_k/x_k) \text{ (当 } x_k < 0 \text{ 时)}$ <p>或</p> $\Phi_k = 360^\circ + \arctan(y_k/x_k) \text{ (当 } x_k > 0, y_k < 0 \text{ 时)}$ <p>式中 <math>\Phi_k</math> —— 凸轮工作廓线的向径角, 由 <math>O_1x</math> 起逆时针向度量  <math>\alpha</math> —— 压力角的计算值, 按下式计算, 可大于或小于 <math>90^\circ</math></p> $\alpha = \arctan\left\{\frac{C \cos \phi - R_p [1 + (\omega_2/\omega_1)]}{C \sin \phi}\right\}$
4. 求与 No. 3 滚子相啮合的凸轮理论廓线和工作廓线方程式	<p>(1) 在凸轮上建立辅助动坐标系 <math>O_1x'y'</math> (图 4-2-75), <math>O_1x'</math> 与 No. 3 滚子中心的起始位置 <math>F_{30}</math> 和 <math>O_1</math> 的连线重合                  (2) 将上述公式中所有 <math>\phi_{10}</math> 均用 <math>\phi_{30}</math> 代替后, 求出 <math>x'_t, y'_t</math> 和 <math>x'_k, y'_k</math>                  (3) 将 <math>x'</math> 和 <math>y'</math> 用下列坐标变换公式演化为在 <math>O_1xy</math> 坐标系中的 <math>x_t, y_t</math> 和 <math>x_k, y_k</math></p> $x = x' \cos(\theta_{10} - \theta_{30}) - y' \sin(\theta_{10} - \theta_{30})$ $y = x' \sin(\theta_{10} - \theta_{30}) + y' \cos(\theta_{10} - \theta_{30})$

表 4-2-64

与 No. 1、No. 3 滚子相啮合的凸轮理论廓线和工作廓线

凸轮转角 $\theta/(\circ)$	滚子的起始位置角 $\phi_{10}, \phi_{30}/(\circ)$	滚子的角位移 $\phi_1/(\circ)$	滚子的角位置 $\phi/(\circ)$ $\phi = \phi_{10} + \phi_1$ $\phi = \phi_{30} + \phi_1$	凸轮的理论廓线				凸轮的工作廓线			
				直角坐标		极坐标		直角坐标		极坐标	
				$x_l/\text{mm}$	$y_l/\text{mm}$	$R_l/\text{mm}$	$\Phi_l/(\circ)$	$x_k/\text{mm}$	$y_k/\text{mm}$	$R_k/\text{mm}$	$\Phi_k/(\circ)$
0	$\phi_{10}$ :	0	22.5	60.14	0	60.14	0	50.14	0	50.14	0
30	22.5	3.878	26.378	55.03	29.08	62.24	27.852	45.41	26.36	52.50	30.130
60		20.175	42.675	45.25	52.49	73.16	51.794	36.17	53.30	64.41	55.838
83.243 <sup>①</sup>		39.074	61.574	25.89	84.06	87.96	72.883	19.22	76.61	78.98	75.913
85.358 <sup>②</sup>		40.922	63.422	23.16	86.39	89.44	74.995	16.85	78.63	80.42	77.907
30.589 <sup>②</sup>	$\phi_{30}$ :	4.078	-63.422	23.16	86.39	89.44	74.995	22.28	76.43	79.61	73.746
32.900 <sup>①</sup>	-67.5	4.912	-62.588	19.50	86.60	88.77	77.308	19.22	76.61	78.98	75.913
60		20.175	-47.325	-17.50	74.66	76.68	103.192	-11.25	66.85	67.79	99.560
180		90	22.5	-60.14	0	60.14	180	-50.14	0	50.14	180

①为工作廓线的交点。②为理论廓线的交点。

注： $\theta$ 的计算步长 $1^\circ$ ，求两条曲线交点时计算步长为 $0.001^\circ$ 。

#### 4.4.5 共轭（平行）凸轮分度箱

表 4-2-65 为国内公司生产的系列平行分度凸轮箱的若干数据，供设计、选用时参考。选用时需按分度数 and 动程角与生产厂具体联系确定尺寸。

表 4-2-65

长度/mm；转矩/N·m

规格 尺寸	PTF 系列							
	50	65	80	100	125	160	200	250
A	155	190	230	285	350	450	555	690
B	90	110	120	140	170	200	240	280
C	110	130	160	200	240	310	390	480
D	50	65	80	100	125	160	200	250
E	55	65	80	100	120	155	190	240
F	50	60	70	85	105	135	165	200
P	35	35	45	52	52	70	90	110
Q	38	42	50	60	60	80	110	130
R	40	45	55	65	65	85	115	135
$d_1$	16	20	25	30	30	45	50	55
$d_2$	20	25	30	35	35	50	55	60
$S_1$	16	20	25	30	35	45	60	70
$S_2$	20	25	30	35	40	50	65	75
$a_1$	6	6	8	8	8	14	14	16
$a_2$	6	6	8	8	10	14	18	20
$l_1$	125	150	180	225	280	350	445	540
$K_1$	15	20	25	30	35	45	55	75
$l_2$	94	110	140	170	200	270	340	420
$K_2$	8	10	10	15	20	20	25	30
$J_1$	70	70	70	80	100	130	150	180
$N_1$	10	20	25	30	35	35	45	50
$L_1$	135	170	206	255	310	390	485	590
$Z_1$	10	10	12	15	20	30	35	50
$L_2$	70	90	96	110	130	160	190	230
$Z_2$	10	10	12	15	20	20	25	25
M	M6	M8	M10	M10	M12	M12	M16	M20
d	7	9	11	11	14	14	18	22

表中规格数值为尺寸 D 值，即机构轴间距，机构规格大小以轴间距定义

精度等级：高精级  $\leq \pm 15''$ ，精密级  $\leq \pm 30''$ ，普通级  $\leq \pm 50''$

动程角： $90^\circ \sim 330^\circ$ ；分度数：1~4, 6, 8

备注：生产厂家为浙江瑞安市力中传动机械有限公司，<http://www.lzjx.com.cn>；山东诸城恒瑞精密机械有限责任公司，<http://www.hengrui-machinery.com>

PT 系列

规格	A	B	C	D	E	F	$I_1$	$I_2$	K	L	Z	R	$d_1/d_2$ (h6)	M	Q	b	t	静转矩 $T_j$	动转矩 $T_d$
PT50	155	95	120	50	67	50	125	90	15	40	14	20	16/17	M6	17	6	3.5	14 ~ 56	2 ~ 20
PT63	180	120	140	63	80	47	150	110	15	52	20	35	18	M8	32	6	3.5	23 ~ 63	4 ~ 51
PT80	222	128	160	80	84	58	186	124	18	54	22	50	25	M8	47	8	4	44 ~ 156	9 ~ 96
PT100	265	140	200	100	112	65	225	160	20	74	14	60	30	M10	55	8	4	78 ~ 355	18 ~ 158
PT125	330	170	250	125	128	75	280	200	25	80	21	80	40	M12	70	12	5	202 ~ 766	28 ~ 312
PT160	430	212	320	160	160	105	370	260	30	100	26	100	50	M18	90	14	5.5	444 ~ 1416	67 ~ 660
PT200	540	240	400	200	170	135	460	320	40	110	35	120	60	M20	110	18	7	756 ~ 2488	155 ~ 1170
PT250	656	270	500	250	194	166	556	400	50	116	38	150	75	M24	135	20	7.5	1408 ~ 5540	305 ~ 1740

备注：生产厂家为西安第一钟表机械厂

## 5 棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构和针轮机构

### 5.1 棘轮机构

棘轮机构用于将摇杆的周期性摆动转换为棘轮的单向间歇转动，也常作为防逆转装置。

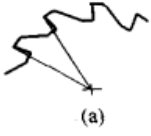
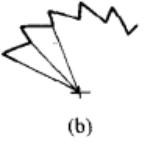

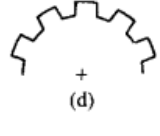
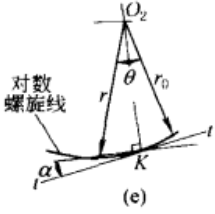
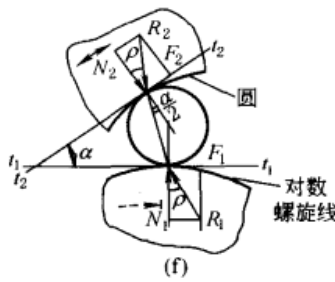
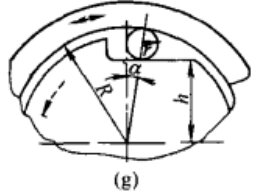
#### 5.1.1 常用型式

表 4-2-66 棘轮机构的常用型式

类别	齿 啮 式		摩 擦 式	
	外 接	内 接	外 接	内 接
简图	<p>(a) 单动式 (b) 双动式</p>	<p>(c)</p>	<p>(d)</p>	<p>(e)</p>
特点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 靠啮合传动, 运动可靠</li> <li>2. 棘轮转角只能有级调节</li> <li>3. 噪声较大</li> <li>4. 承载能力受棘齿的弯曲与挤压强度的限制</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 靠摩擦力传动, 运动不准确</li> <li>2. 棘轮转角可无级调节</li> <li>3. 噪声较小</li> <li>4. 承载能力受工作面接触强度限制</li> <li>5. 为增大摩擦力, 可将棘轮截面做成梯形槽</li> </ol>	

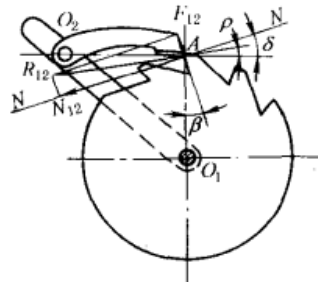
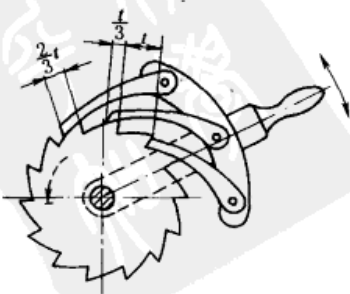
表 4-2-67

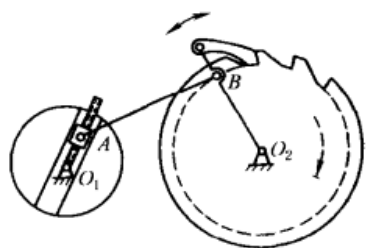
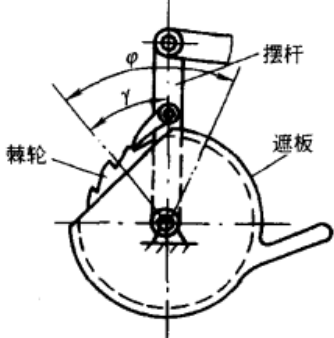
棘齿摩擦面的型式

类型	简图及特点			
齿 啮 式	 <p>(a) 不对称梯形齿， 非径向锐角 最常用，已标准化</p>	 <p>(b) 直线形三角形 齿，径向锐角 用于小载荷</p>	 <p>(c) 圆弧形三角形齿</p>	 <p>(d) 对称形矩形齿， 用于双向驱动 的棘轮</p>
摩擦式	 <p>(e) 对数螺旋线</p>	<p>棘轮为圆形，模块为对数螺旋线形，极坐标方程为</p> $r = r_0 e^{\theta \tan \alpha}$ <p>当 <math>\theta</math> 较小时，对数螺旋线可用圆弧代替 自锁条件：<math>\alpha &lt; \rho</math> (<math>\rho</math> 为摩擦角)。钢-钢：<math>\alpha \leq 6^\circ</math></p>	 <p>(f) 圆弧-对数螺旋线 取 <math>\alpha = 2.5^\circ \sim 8.5^\circ</math></p>	 <p>(g) 圆弧-直线 <math>h = (R - r) \cos \alpha - r</math> 自锁条件：<math>\alpha &lt; 2\rho</math> (<math>\rho</math> 为摩擦角)，一般 <math>\alpha &lt; 7^\circ</math></p>

5.1.2 设计要点

表 4-2-68

类型	设计要点	
齿 啮 式	<p>轴心位置及齿形工作面位置的确定(不计工作面间摩擦和计工作面间摩擦)</p> 	<p>为使棘爪克服同样的阻力矩时棘爪工作面受力最小，应使 <math>O_2A \perp O_1A</math> (<math>A</math> 为棘轮齿顶点) 及工作面沿径向线 <math>O_1A</math> (<math>\beta = 0</math>)。</p> <p>为使棘爪在工作载荷下，能自动啮入而不被推出，应使齿廓工作面在齿尖 <math>A</math> 点处的法线 <math>NN</math> 与 <math>O_2A</math> 间的夹角 <math>\delta</math> 大于棘爪和棘轮工作面间的摩擦角 <math>\rho</math>，常取 <math>\rho = 15^\circ \sim 20^\circ</math>。即当外接时，法线 <math>NN</math> 应通过 <math>O_1O_2</math> 之间。若取 <math>O_2A \perp O_1A</math>，则 <math>\beta = \delta</math>；若取 <math>\beta = 0</math>，则 <math>O_2</math> 的位置应离开棘轮切线向外取，保证 <math>\delta &gt; \rho</math>。当内接时，法线 <math>NN</math> 应在 <math>O_1O_2</math> 之外</p>
棘轮齿数 $z$ 的选取	<p>由运动要求选定，在单向传动的制动装置中，由于载荷较大，一般取 <math>z = 6 \sim 30</math>；在轻载的进给机构中可取 <math>z \leq 250</math></p>	
棘爪数 $j$ 的选取	<p>一般棘轮机构 <math>j = 1</math>；双动式棘轮机构 <math>j = 2</math>； 当载荷较大，且棘轮尺寸受限，齿数 <math>z</math> 较少，摆杆摆角小于齿距角时，采用多爪棘轮机构，一般 <math>j \leq 3</math>；当 <math>j = 3</math> 时，(如右图)三个爪在齿面上相互错开 <math>\frac{4}{3}z</math>，摆杆摆动三次棘轮转过一个齿角</p> 	

类型	设计要点	
齿啮式	<p>棘轮转角的调节</p> <p>改变摆杆的摆角。图示为改变曲柄摇杆机构中曲柄 <math>O_1A</math> 的长度来实现</p> 	<p>摆杆摆角 <math>\varphi</math> 不变时,利用可调位遮板来改变遮齿的多少,以调节棘轮转角 <math>\gamma</math></p> 
材料	<p>棘轮:45,40Cr,45~50HRC;轻载时用 HT150 棘爪:45,40Cr,工作表面淬硬至 52~56HRC</p>	
摩擦式	<p>外接式 如表 4-2-66 图 d,为保持正常工作,接触点 <math>K</math> 处的合力 <math>R</math> 作用线应通过 <math>O_1、O_2</math> 之间,即 <math>\alpha &lt; \rho</math> (<math>\alpha</math> 为扇形楔块在接触处的升角, <math>\rho</math> 为摩擦角),为增大摩擦力,可将棘轮截面做成梯形槽</p> <p>内接式 如表 4-2-67 图 f,必须满足 <math>\alpha \leq 2\rho</math>, <math>\alpha</math> 过大易打滑,过小不易脱开,且外环及支承弹簧应有足够的刚度,否则易打滑</p>	

注:1. 齿啮式棘轮机构的参数选择,尺寸计算、作图方法和强度计算见本手册第2卷第8篇第1章。

2. 内接棘轮机构又称超越离合器,见本手册第2卷第6篇第3章。

## 5.2 槽轮机构

### 5.2.1 工作原理及型式

槽轮机构(又称马尔他机构)能把主动轴的单向匀速连续转动转换为从动轴的单向周期性间歇运动。常用于各种转位机构中。

槽轮机构的基本型式分为外接(图 4-2-77)、内接(表 4-2-69 图 b)和球面槽轮机构(表 4-2-72)三类。外接槽轮机构的主、从动件转向相反,槽轮的停歇时间较转位时间长。内接槽轮机构则相反。球面槽轮机构的转位时间恒等于停歇时间。

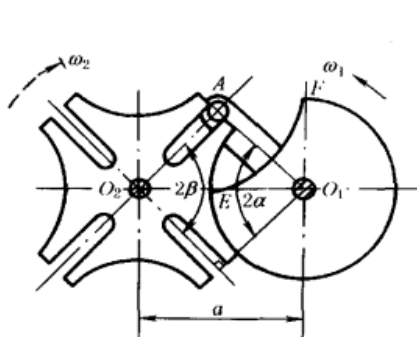


图 4-2-77

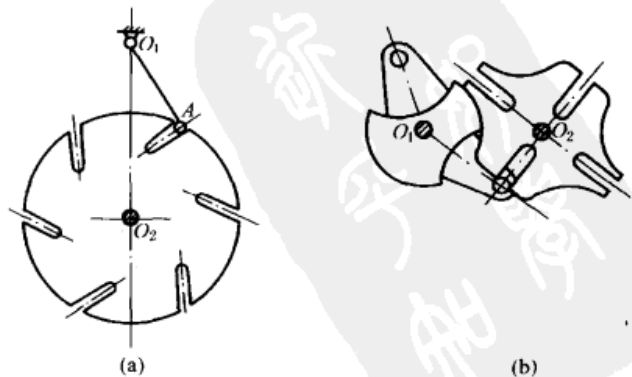


图 4-2-78

按槽的方位不同,槽轮机构可分为以下两种。①径向槽的(图4-2-77,表4-2-69图b):冲击小,制造简便,最为常用,槽轮的动停时间比取决于槽数 $z$ 。②非径向槽的(图4-2-78a):在槽数不变的条件下,可以用不同的中心距 $O_1O_2$ 与曲柄半径 $r$ 的组合来获得不同的动停时间比,但冲击较大。

按曲柄上圆销数的不同,槽轮机构可分为以下两种。①单圆销的(图4-2-77):曲柄转一圈,槽轮完成一次间歇运动。②多圆销的(图4-2-78b):曲柄转一圈,槽轮完成多次间歇运动,当各圆销不在同一圆周上或不均匀分布在同一圆周上时,则每次间歇运动的动停时间比是不同的。

槽轮机构的定位方式有三种。①凹凸锁止弧定位(图4-2-77,表4-2-69图b):结构简单、定位精度低。为提高定位精度应使锁止面间的配合间隙尽量小些,并可附加其他精确定位装置。②定位槽定位(图4-2-79a)。③利用槽轮的径向槽和曲柄滑块机构 $O_1BC$ 的滑块销 $C$ 定位(图4-2-79b):这时圆销 $A$ 装在连杆 $ABC$ 的右端。

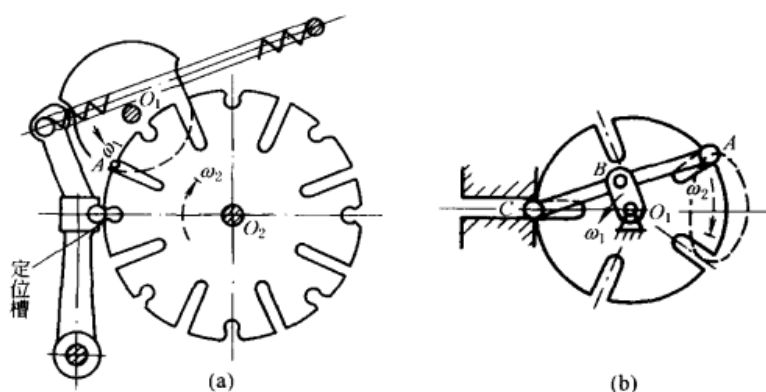


图 4-2-79

为了避免槽轮在启动和停歇瞬间发生冲击,如图4-2-77所示销 $A$ 应在 $O_1A \perp O_2A$ 时进入槽和退出槽,这时曲柄上锁止凸弧的终点 $E$ 和起点 $F$ 应分别处于中心连线 $O_1O_2$ 上。当销 $A$ 刚脱离径向槽,槽轮的凹弧就被曲柄上的凸弧锁住,当销 $A$ 刚进入径向槽,锁止弧就脱开。

为了改善槽轮机构的动力性能,提高转位速度,可采用行星槽轮机构(图4-2-80、图4-2-81),它是行星轮系与槽轮机构的组合。圆销 $A$ 偏心地装在行星轮上,主动转臂1带着行星轮3绕太阳轮 $O$ 作行星运动,圆销 $A$ 拨动槽轮2作间歇运动。行星轮3的绝对角速度方向与转臂角速度方向一致者称为正传动比行星槽轮机构(图4-2-80),槽轮的槽数取 $z < 5$ ,圆销 $A$ 的运动轨迹为短幅外摆线。反之为负传动比行星槽轮机构(图4-2-81),槽轮的槽数取 $z \geq 5$ ,圆销 $A$ 的运动轨迹为短幅内摆线,其动力性能优于正传动比行星槽轮机构。

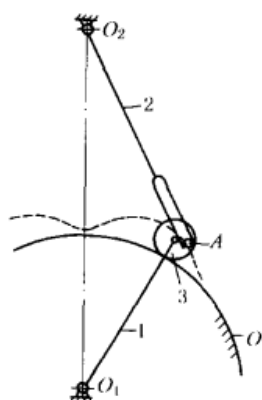


图 4-2-80



图 4-2-81

行星槽轮机构的特点是:①槽轮在运动始末时的角加速度为零,避免了软冲,能提高转位速度,且最大角加速度也小于普通槽轮机构;②在不改变槽数的情况下,采用修正的办法可只改变行星机构的传动比就能改变动停时间比 $k$ ,从而使槽数 $z$ 和动停时间比 $k$ 这两个重要参数可以独立选择;③槽深较小。

5.2.2 槽轮机构的几何尺寸和主要运动参数的计算（均布径向槽）

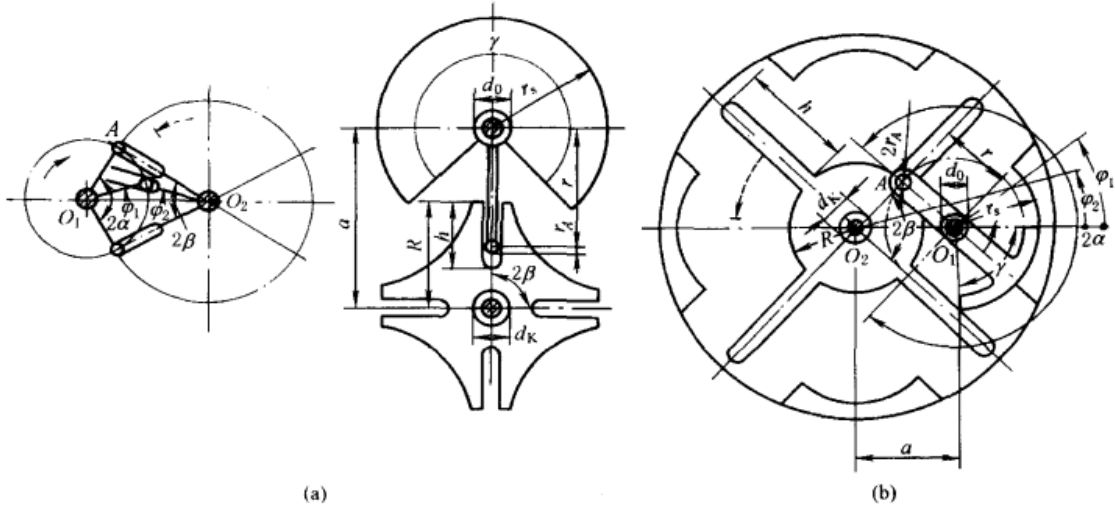


表 4-2-69

项 目	外接槽轮机构	内接槽轮机构
槽数 $z$	$3 \leq z \leq 18$ , $z$ 多时机构尺寸大, $z$ 少时动力性能不好, 按工作要求全面考虑	
槽间角 $2\beta$	$2\beta = 360^\circ/z, \beta = 180^\circ/z$	
槽轮每次转位时曲柄的转角 $2\alpha$	$2\alpha = 180^\circ - 2\beta = 180^\circ \left(1 - \frac{2}{z}\right)$	$2\alpha = 180^\circ + 2\beta = 180^\circ \left(1 + \frac{2}{z}\right)$
中心距 $a$	由结构条件选定	
曲柄相对长度 $\lambda$	$\lambda = \frac{r}{a} = \sin\beta; r = \lambda a$ 式中 $r$ ——曲柄长度	
槽轮相对半径 $\zeta$	$\zeta = \frac{R}{a} = \cos\beta = \sqrt{1 - \lambda^2}, R = \zeta a$ 式中 $R$ ——槽轮名义半径	
锁止凸弧张角 $\gamma$	$\gamma = 360^\circ - 2\alpha$	
圆销半径 $r_A$	按结构条件选定, 使 $r_A \geq 0.175 p_{\max} E_d / b \sigma_{\text{HP}}^2$ , 通常取 $r_A \approx r/6$ 式中 $p_{\max}$ 、 $b$ 和 $E_d$ ——分别为销与槽面间的正压力、接触宽度和综合弹性模量 $\sigma_{\text{HP}}$ ——销或槽面材料的许用接触应力	
相对槽深 $\frac{h - r_A}{a}$	$\frac{h - r_A}{a} > \lambda + \zeta - 1$	$\frac{h - r_A}{a} > 1 + \lambda - \zeta$
槽轮轮毂相对直径 $\frac{d_k + 2r_A}{a}$	$\frac{d_k + 2r_A}{a} < 2(1 - \lambda)$	按结构条件选定, 不受几何条件限制
曲柄轴轮毂相对直径 $\frac{d_0}{a}$	$\frac{d_0}{a} < 2(1 - \zeta)$	
锁止凸弧半径 $r_s$	$r_s < r - r_A$	$r_s > r + r_A$
圆销个数 $j$	$j$ 个圆销沿同一圆周均布时: $j \leq 2z/(z-2)$	$j = 1$
槽轮每次转位时间 $t_d$ 与停歇时间 $t_j$ 之比 $k$	$j$ 个圆销沿同一圆周均布时: $k = \frac{t_d}{t_j} = \frac{z-2}{j}$	$k = \frac{t_d}{t_j} = \frac{z+2}{z-2} > 1$

续表

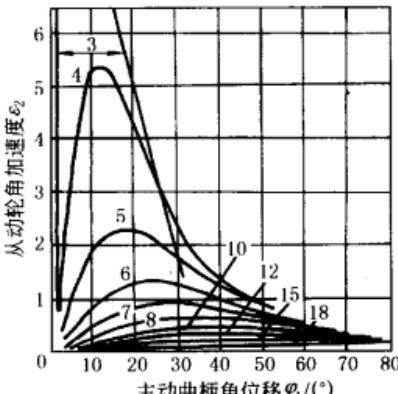
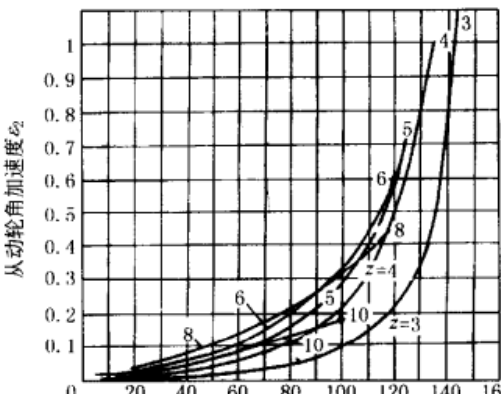
项 目	外接槽轮机构	内接槽轮机构
运动系数 $\tau$	$j$ 个圆销沿同一圆周均布时: $\tau = \frac{t_d}{t_d + t_j} = j \times \frac{z-2}{2z} < 1$	$\tau = \frac{z+2}{2z} < 1$
曲柄角位移与角速度 $\varphi_1, \omega_1$	$\varphi_1$ 由中心线 $O_1O_2$ 度量, $\varphi_1 = \omega_1 t, \omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \text{常数}$ , 曲柄转速 $n_1 = \frac{(z \pm 2)}{z_j} \times 30 \text{r/min}$ , 式中 $t_j$ —— 由工作条件所决定的槽轮停歇时间, s; “-”号用于内接槽轮机构	
槽轮角位移 $\varphi_2$	$\varphi_2 = \arctan \frac{r \sin \varphi_1}{a - r \cos \varphi_1} = \arctan \frac{\lambda \sin \varphi_1}{1 - \lambda \cos \varphi_1}$ $0 < \varphi_1 < \alpha$	$\varphi_2 = \arctan \frac{\lambda \sin \varphi_1}{1 + \lambda \cos \varphi_1}$ $0 < \varphi_1 < \alpha$
槽轮角速度 $\omega_2$	$\omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} = \frac{\lambda (\cos \varphi_1 - \lambda)}{1 - 2\lambda \cos \varphi_1 + \lambda^2} \omega_1$	$\omega_2 = \frac{\lambda (\cos \varphi_1 + \lambda)}{1 + 2\lambda \cos \varphi_1 + \lambda^2} \omega_1$
槽轮角加速度 $\varepsilon_2$	$\varepsilon_2 = \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} = \frac{\lambda (1 - \lambda^2) \sin \varphi_1}{(1 - 2\lambda \cos \varphi_1 + \lambda^2)^2} \omega_1^2$  <p>注: 图中曲线上的数字表示槽数 <math>z</math></p>	$\varepsilon_2 = \frac{\lambda (1 - \lambda^2) \sin \varphi_1}{(1 + 2\lambda \cos \varphi_1 + \lambda^2)^2} \omega_1^2$ 
槽轮角加速度为最大值 $\varepsilon_{2\max}$ 时, 曲柄的位置角 $\varphi_{1\varepsilon_{2\max}}$	$\varphi_{1\varepsilon_{2\max}} = \arccos \left[ -\frac{1 + \lambda^2}{4\lambda} + \sqrt{\left(\frac{1 + \lambda^2}{4\lambda}\right)^2 + 2} \right]$	$\varphi_{1\varepsilon_{2\max}} = \pm \alpha$
$\omega_{2\max}$ 出现时, 曲柄的位置角 $\varphi_{1\omega_{2\max}}$	$\varphi_{1\omega_{2\max}} = 0^\circ, \omega_{2\max} = \frac{\lambda}{1 - \lambda} \omega_1$	$\varphi_{1\omega_{2\max}} = 0^\circ, \omega_{2\max} = \frac{\lambda}{1 + \lambda} \omega_1$



表 4-2-70 槽轮机构主要参数表 (均布径向槽)

槽数 z	槽轮的槽间角 2β		锁止凸弧张角 γ		曲柄相对槽轮的相长度 λ $\lambda = \frac{\gamma}{a} = \sin\beta$	槽轮的相对半径 ζ $\zeta = \frac{R}{a} = \cos\beta$	外槽轮机构			内槽轮的相对槽深 $\frac{h-r_A}{a} \geq$	曲柄轴数 相对直径 $\frac{d_0}{a} <$	内槽轮的相对槽深 $\frac{h-r_A}{a} >$	外槽轮的相对槽深 $\frac{\omega_2 \max}{\omega_1}$	内槽轮的相对槽深 $\frac{\omega_2 \max}{\omega_1}$	外槽轮的相对槽深 $\left(\frac{e_2}{\omega_1}\right) \varphi_1 = \alpha$	外槽轮机构		圆销最多个数 j <sub>max</sub>
	外接槽轮	内接槽轮	槽轮数	相对直径 $\frac{d_k + 2r_A}{a} <$			槽轮数	相对直径 $\frac{d_0}{a} <$	最大类角加速度 $\frac{e_{2\max}}{\omega_1^2}$							最大类角速度 $\varphi_{1,2\max}$	外	
3	120°	300°	60°	0.86603	0.50000	0.36603	0.26795	1.00000	1.36603	0.46410	0.46410	1.73205	31.39250	4°45'29"	5			
4	90°	270°	90°	0.70711	0.70711	0.41421	0.58579	0.58579	1.00000	2.41421	0.41421	1.00000	5.40697	11°27'49"	3			
5	72°	252°	108°	0.58779	0.80902	0.39680	0.82443	0.38197	0.77877	1.42592	0.37020	0.72654	2.29883	17°34'17"				
6	60°	240°	120°	0.50000	0.86603	0.36603	1.00000	0.26795	0.63398	1.00000	0.33333	0.57735	1.34964	22°54'11"				
7	51°25'42"	231°25'42"	128°34'18"	0.43388	0.90097	0.33485	1.13224	0.19806	0.53292	0.76642	0.30259	0.48158	0.92840	27°33'17"				1
8	45°	225°	135°	0.38268	0.92388	0.30656	1.23463	0.15241	0.45880	0.61991	0.27677	0.41421	0.69976	31°38'32"			2	
9	40°	220°	140°	0.34202	0.93969	0.28171	1.31596	0.12062	0.40233	0.51980	0.25486	0.36397	0.55908	35°15'44"				
10	36°	216°	144°	0.30902	0.95106	0.26007	1.38197	0.09789	0.35796	0.44721	0.23607	0.32492	0.46484	38°29'28"				
12	30°	210°	150°	0.25882	0.96593	0.22475	1.48236	0.06815	0.29289	0.34920	0.20561	0.26795	0.34766	40°0'16"				
15	24°	204°	156°	0.20791	0.97815	0.18606	1.58418	0.04371	0.22976	0.26249	0.17215	0.21256	0.25312	50°30'28"				
18	20°	200°	160°	0.17365	0.98481	0.15846	1.65270	0.03039	0.18884	0.21014	0.14796	0.17633	0.19981	55°30'54"				

注: γ 值系指 j=1 者。

表 4-2-71

槽轮机构的 k、τ 值

z	3		4		5		6		7		8		9		10		12		15		18	
	j	k	j	k	j	k	j	k	j	k	j	k	j	k	j	k	j	k	j	k	j	k
外接	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1/5	1/2	1/2	1/3	1/3	1/4	1/4	1/5	1/5	1/6	1/6	1/7	1/7	1/8	1/8	1/9	1/9	1/10	1/10	1/12	1/12	1/15
	1/6	1/3	1/3	1/4	1/4	1/5	1/5	1/6	1/6	1/7	1/7	1/8	1/8	1/9	1/9	1/10	1/10	1/12	1/12	1/15	1/15	1/18
内接 j=1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5/6	5/3	5/3	5/4	5/4	5/5	5/5	5/6	5/6	5/7	5/7	5/8	5/8	5/9	5/9	5/10	5/10	5/12	5/12	5/15	5/15	5/18
	5/6	5/3	5/3	5/4	5/4	5/5	5/5	5/6	5/6	5/7	5/7	5/8	5/8	5/9	5/9	5/10	5/10	5/12	5/12	5/15	5/15	5/18

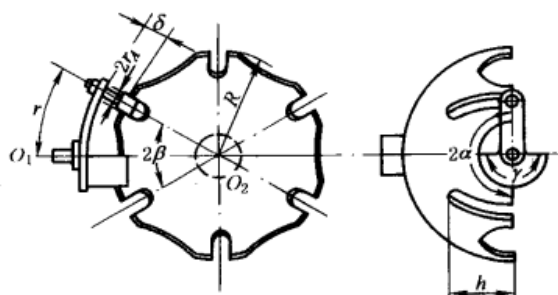


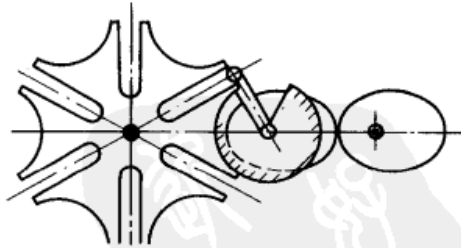
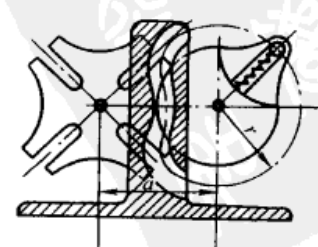
表 4-2-72

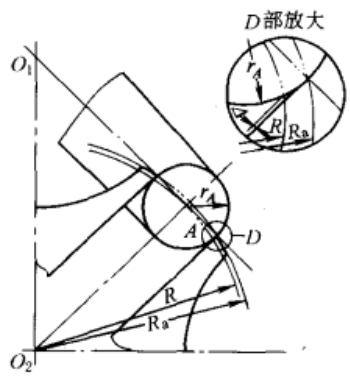
球面槽轮机构的几何尺寸及运动特性

参 数	数 值				
槽数 $z$	3	4	5	6	8
槽间角 $2\beta$	$120^\circ$	$90^\circ$	$72^\circ$	$60^\circ$	$45^\circ$
槽轮每次转位时曲柄转角 $2\alpha$	$180^\circ$				
球面槽轮半径 $R$	由结构需要确定				
二轴线位置	垂直相交, 曲柄轴线通过球面槽轮的球心				
曲柄半径(沿圆弧方向弧长) $r$	$r = (R + \delta)\beta$ 式中 $\delta$ ——间隙, 由结构需要确定				
槽深(沿轴线方向) $h$	$h > R\sin\beta + r_A$				
圆销半径 $r_A$	按接触强度确定, 圆销中心线通过球面槽轮的球心				
锁止弧张角 $\gamma$	$180^\circ$				
圆销数 $j$	$j \leq 2$ , 通常取 $j=1$ ; 当 $j=2$ 时, 槽轮连续转动				
槽轮每次转位时间与停歇时间之比 $k$	1				
槽轮最大类角速度 $\frac{\omega_{2\max}}{\omega_1}$	1.732	1.000	0.727	0.577	0.414
槽轮最大类角加速度 $\frac{\varepsilon_{2\max}}{\omega_1^2}$	2.172	0.880	0.579	0.456	0.354

### 5.2.3 槽轮机构的动力性能

表 4-2-73

槽数 $z$ 对动力性能的影响		槽轮机构的动力性能可用其角加速度 $\varepsilon$ 来衡量。由表 4-2-70 的数据可知, 槽数 $z$ 越少, 角加速度 $\varepsilon$ 越大, 动力性能越差。 $z$ 相同时, 外接槽轮的 $\varepsilon_{2\max}$ 大于内接槽轮的 $\varepsilon_{2\max}$
减小 $\varepsilon$ 的措施	采用变化的 $\omega_1$	<p>采用椭圆齿轮与槽轮机构组合, 使曲柄在槽轮出现较大 <math>\varepsilon_2</math> 区间具有最低的 <math>\omega_1</math> 值, 从而减小 <math>\varepsilon_{2\max}</math> 值</p> 
减小 $\varepsilon$ 的措施	采用变化的 $\lambda$	<p>采用组合机构使槽轮机构的 <math>\lambda \left( \lambda = \frac{r}{a} \right)</math> 为变化值, 图 4-2-80、图 4-2-81 所示的行星槽轮机构和右图所示的凸轮-槽轮组合机构中的 <math>r</math> 是变化的; 图 4-2-79 所示的连杆-槽轮组合机构, 利用连杆曲线的特殊形状, 相当于采用变化的 <math>\lambda</math> 值</p> 

槽数 $z$ 对动力性能的影响	槽轮机构的动力性能可用其角加速度 $\varepsilon$ 来衡量。由表 4-2-70 的数据可知,槽数 $z$ 越少,角加速度 $\varepsilon$ 越大,动力性能越差。 $z$ 相同时,外接槽轮的 $\varepsilon_{2\max}$ 大于内接槽轮的 $\varepsilon_{2\max}$																																				
减小冲击的措施	<p>由于槽轮的角加速度变化较大,且在转位过程的前半阶段与后半阶段的角加速度方向不同,因此当槽与圆销间存在间隙时,会产生冲击,为了减小冲击应采用以下措施:①减小或消除销与槽之间的间隙;②消除销开始进入槽时的间隙,应使槽轮的实际外圆半径 <math>R_a</math> 略大于槽轮名义外圆半径 <math>R</math>,取 <math>R_a = \sqrt{R^2 + r_A^2}</math>,见图,以消除圆销开始进入轮槽时销与槽两侧顶端的间隙 <math>\Delta</math>;③使槽轮具有适当的转动惯量 <math>J_2</math>,使 <math> J_2\varepsilon_2  &lt; M_x</math>, <math>M_x</math> 为槽轮的负载力矩</p> 																																				
动力计算	<p>① 槽轮驱动力矩 <math>M_2</math> 的计算</p> $M_2 = M_x + M_i = M_x + J_{dn}\varepsilon_2$ <p>式中 <math>M_x</math> ——克服摩擦阻力和生产阻力所需的承载力矩  <math>M_i</math> ——机构的惯性力矩  <math>J_{dn}</math> ——折算到槽轮轴上的等能转动惯量</p> <p>② 圆销所受最大作用力 <math>F_{\max}</math> 的计算(不能直接应用于球面槽轮机构):</p> $F_{\max} = \frac{M_x}{a}(c + dA)$ $A = \frac{J_{dn}\omega_1^2}{M_x}$ <p>式中 <math>a</math> ——中心距  <math>c, d</math> 值按槽数 <math>z</math> 由下表选取:</p> <table border="1" data-bbox="430 1142 1452 1254"> <thead> <tr> <th><math>z</math></th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>c</math></td> <td>7.464</td> <td>3.414</td> <td>2.426</td> <td>2.000</td> <td>1.766</td> <td>1.620</td> <td>1.520</td> <td>1.447</td> <td>1.349</td> <td>1.262</td> <td>1.210</td> </tr> <tr> <td><math>d</math></td> <td>20.655</td> <td>16.290</td> <td>4.929</td> <td>2.337</td> <td>1.456</td> <td>1.009</td> <td>0.7584</td> <td>0.6020</td> <td>0.4219</td> <td>0.2895</td> <td>0.2206</td> </tr> </tbody> </table>	$z$	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	18	$c$	7.464	3.414	2.426	2.000	1.766	1.620	1.520	1.447	1.349	1.262	1.210	$d$	20.655	16.290	4.929	2.337	1.456	1.009	0.7584	0.6020	0.4219	0.2895	0.2206
$z$	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	18																										
$c$	7.464	3.414	2.426	2.000	1.766	1.620	1.520	1.447	1.349	1.262	1.210																										
$d$	20.655	16.290	4.929	2.337	1.456	1.009	0.7584	0.6020	0.4219	0.2895	0.2206																										

### 5.3 不完全齿轮机构

不完全渐开线齿轮机构能将主动轮的等速连续转动转换为从动轮的间歇转动。其动停时间比不受机构结构的限制,制造方便,但是从动轮在每次间歇运动的始、末有剧烈冲击,故一般只用于低速、轻载及机构冲击不影响正常工作的场合。若设置缓冲结构可改善机构的动力性能。

#### 5.3.1 基本型式与啮合特性

不完全齿轮机构分外啮合与内啮合两类(图 4-2-82、图 4-2-83)。机构由三部分组成:主动轮 1 与从动轮 2; 一对锁止弧 3, 主动轮上的凸弧和从动轮上的凹弧可以直接切出或装配而成,也可单独制成一对锁止轮;缓冲结构,用以缓和或消除间歇运动始、末时的剧烈冲击,改善机构的动力性能。本节只讨论没有缓冲结构的运动分析与尺寸设计。

不完全齿轮的啮合特性:每一次间歇运动,可以只由一对齿啮合来完成,也可以由若干对齿来完成。不完全齿轮机构首、末二对齿的啮合过程与完全齿轮机构不同,而中间各对齿的啮合过程与完全齿轮相同。

首对齿:从动轮所处的静止位置,应使主动轮旋转时其首齿  $S$  能顺利地通过二轮顶圆右侧交点  $G$ , 与从动轮具有锁止弧的齿  $K$  啮合(图 4-2-84a、b)。始啮点  $E$  由从动轮的静止位置  $F$  决定,它可能位于从动轮齿顶圆弧  $\widehat{GB}_1$  上(图 b)或啮合线段  $B_1P$  上(图 a)。首齿开始推动从动轮、锁止弧恰好脱开。轮齿在  $\widehat{GB}_1$  段啮合时,从动

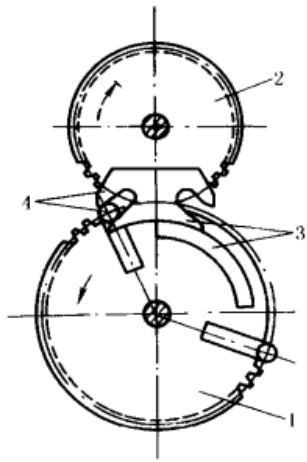


图 4-2-82 外啮合式不完全齿轮机构

1—主动轮；2—从动轮；3—锁止弧；4—缓冲结构

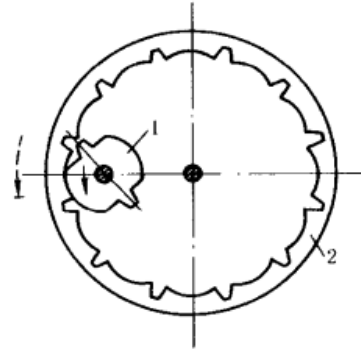


图 4-2-83 内啮合式不完全齿轮机构

1—主动轮；2—从动轮

轮变速转动； $E$  点离  $B_1$  点越远，则开始啮合时冲击越大；轮齿在  $B_1B_2$  段啮合时，从动轮匀速转动。如所选参数满足连续传动条件，则第一对齿到  $B_2$  点终止啮合时，第二对齿已进入啮合。

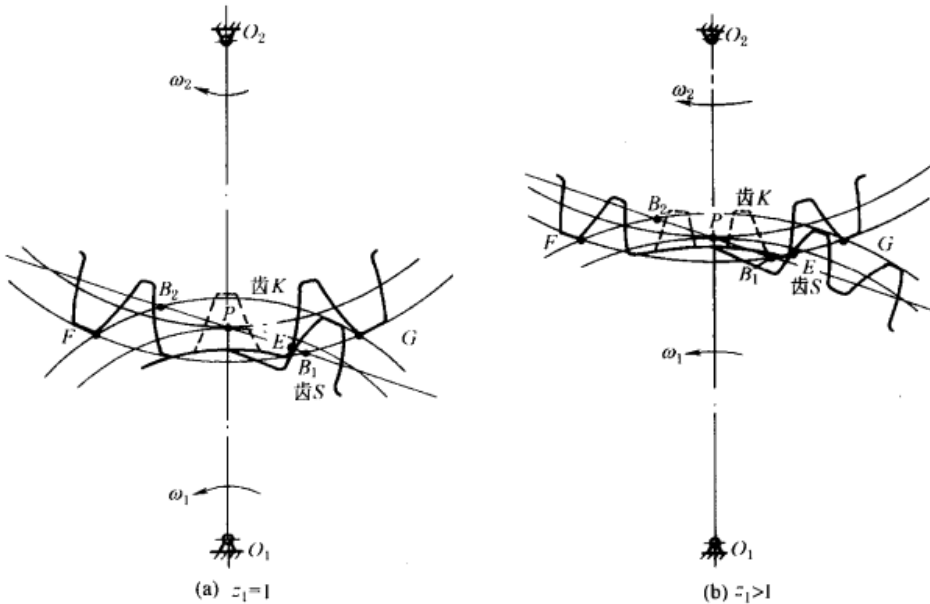


图 4-2-84

末对齿：末对齿啮合至  $B_2$  点时，因无后续齿所以并不立即脱啮，而以主动齿顶尖角与从动末齿根部向齿顶滑动啮合，经圆弧段  $\widehat{B_2F}$ ，最终于二顶圆左侧交点  $F$  处分离。在  $\widehat{B_2F}$  段啮合过程中，从动轮角速度逐渐降低。在  $F$  点终止啮合时，锁止弧恰好锁住，从动轮突然停止。

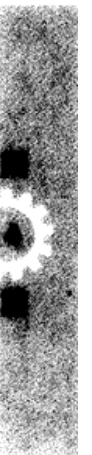
中间各对齿开始啮合于  $B_1$  点，终止啮合于  $B_2$  点。

仅由一对齿啮合来完成一次间歇运动时，啮合轨迹的前半段  $EB_1P$ （或  $EP$ ）与首对齿的前半段相同；后半段  $PB_2F$  与末对齿的后半段相同。

同时看到，由于啮合轨迹较长，每次间歇运动中，从动轮所转过的角度较大，其中包含的周节数为  $z_2$ 。

$$z_2 = z_1 - 1 + K \tag{4-2-38}$$

式中  $z_1$  ——一次间歇运动中，主动轮转过的齿数；



$K$ ——锁止弧覆盖部分所包含的周节数，一般  $K$  取整数。当  $z_1 = 1$  时，从动轮每次转过  $K$  个周节。

### 5.3.2 设计参数的计算

(1)  $K$  值与首、末齿齿顶高系数  $h_{as}^*$ 、 $h_{am}^*$  的确定

从动轮的静止位置由二齿顶圆的交点  $F$  确定，当模数  $m$ 、压力角  $\alpha$  和布满齿后的假想齿数  $z'_1$ 、 $z'_2$  确定后，可通过改变齿顶高来改变  $F$  点的位置。为了简化设计步骤，通常取  $K$  为整数，从动轮在静止位置时锁止弧对称于连心线  $O_1O_2$ ，从动轮齿顶高系数为标准值  $h_{a2}^* = 1$ ，而仅改变主动轮首、末二齿的齿顶高系数  $h_{as}^*$ 、 $h_{am}^*$ 。

为保证从动轮每次转位前都具有相同的静止位置，应使从动轮转过  $2(\beta_2 - \delta_2)$  的角度内，恰好包含  $K$  个周节（图 4-2-85）。图中  $G'$ 、 $F'$  为  $h_{as}^* = h_{am}^* = h_{a2}^* = 1$  时的两齿顶圆交点。

即 
$$K = 2(\beta_2 - \delta_2)z'_2/2\pi \text{ 取整数} \tag{4-2-39}$$

式中， $\beta_2$  为从动轮具有标准齿顶高，主动轮为修正齿顶高  $h_{as} = h_{am}$  时，二顶圆交点  $G$ 、 $F$  所对从动轮中心角之半

$$\beta_2 = \arccos \frac{z'_2(z'_2 + z'_1) + 2h_{a2}^*(z'_2 + h_{a2}^*) - 2h_{am}^*(z'_1 + h_{am}^*)}{(z'_1 + z'_2)(z'_2 + 2h_{a2}^*)} \tag{4-2-40}$$

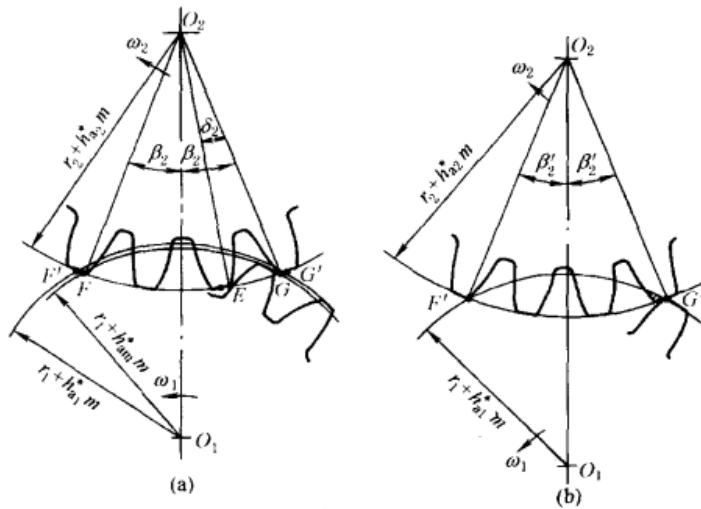


图 4-2-85

$\delta_2$  为  $h_{a2}^* = 1$  时从动轮齿顶圆齿槽所对中心角

$$\delta_2 = (\pi/z'_2) + 2(\text{inv}\alpha_{a2} - \text{inv}\alpha) \tag{4-2-41}$$

$\alpha_{a2}$  为从动轮的齿顶压力角，其中  $(\text{inv}\alpha_{a2} - \text{inv}\alpha)$  值应化成度数后代入

$$\alpha_{a2} = \arccos [z'_2 \cos\alpha / (z'_2 + 2h_{a2}^*)] \tag{4-2-42}$$

将式 (4-2-40) ~ 式 (4-2-42) 代入式 (4-2-39) 后，仍有两个未知数  $K$ 、 $h_{am}^*$ ，不能直接解得。可先假定  $h_{am}^* = h'_{am} = 1$  求出近似值  $\beta'_2$  和  $K'$ （图 4-2-85b）。这时  $K'$  可能不是整数。

令  $K = K' \pm \text{小数} = \text{整数}$ ，并解出  $h_{am}^*$ 。当  $K' + \text{小数} = \text{整数}$  时， $h_{am}^* > 1$ ；当  $K' - \text{小数} = \text{整数}$  时， $h_{am}^* < 1$ 。式中“ $\pm$ ”应根据传动要求和考虑到加工的方便来确定。

$K$  值与假想齿数  $z'_1$ 、 $z'_2$ ，分度圆压力角  $\alpha$ ，齿顶高系数  $h_{am}^*$ 、 $h_{a2}^*$  有关，而与模数无关。表 4-2-74 列出  $\alpha = 20^\circ$ ， $h_{a2}^* = 1$  时，不产生齿顶干涉的主动轮末齿的齿顶高系数  $h_{am}^*$  与  $z'_1$ 、 $z'_2$ 、 $K$  的数值。

$z'_1$ 、 $z'_2$  处于中间值时，不能从表中用插值法求  $h_{am}^*$ ，应按式 (4-2-39) ~ 式 (4-2-41) 计算，才能保证从动轮有确定的静止位置。

在理论上，可使  $h_{as}^* = h_{am}^*$ ，但实际上考虑加工精度的影响，为了保证进入啮合时不发生齿顶干涉，取

$$h_{as}^* \leq h_{am}^* \tag{4-2-43}$$

(2) 连续传动性能

由于首齿齿顶高被修正，为避免产生二次冲击，必须校核首齿与第二对齿之间的重合度  $\varepsilon_a$ 。

$$\varepsilon_a = [z'_1(\tan\alpha_{as1} - \tan\alpha) + z'_2(\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha)]/2\pi > 1 \tag{4-2-44}$$

式中  $\alpha_{as1}$ ——主动轮首齿的齿顶压力角

$$\alpha_{as1} = \arccos [z'_1 \cos \alpha / (z'_1 + 2h_{as}^*)] \quad (4-2-45)$$

表 4-2-74 从动轮锁止弧所跨越的整周节数  $K$  和不产生齿顶干涉时主动轮的末齿齿顶高系数  $h_{am}^*$

$z'_2$	$K=1$			$K=2$											$z'_1$	
15	0.27	0.011	0.011	—	—	0.97	0.92	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.73	0.71	$K=2$	
20	0.08	—	0.89	0.75	0.66	0.58	0.53	0.47	0.44	0.40	0.38	0.35	0.34	0.31		
25	—	0.85	0.66	0.52	0.42	0.35	0.30	0.25	0.21	0.17	0.15	0.12	0.11	0.97		
30	—	0.70	0.51	0.37	0.27	0.20	0.14	0.98	0.91	0.86	0.81	0.77	0.74	0.70	$K=3$	
35	0.90	0.59	0.40	0.26	0.16	0.97	0.87	0.79	0.73	0.67	0.63	0.58	0.55	0.52		
40	0.83	0.52	0.32	0.18	0.95	0.83	0.74	0.65	0.59	0.53	0.49	0.44	0.41	0.38		
45	0.77	0.46	0.26	0.12	0.85	0.73	0.63	0.55	0.48	0.43	0.38	0.34	0.30	0.27	$K=4$	
50	0.72	0.40	0.21	0.93	0.76	0.64	0.54	0.46	0.40	0.34	0.29	0.98	0.93	0.87		
55	0.68	0.37	0.16	0.86	0.70	0.57	0.47	0.39	0.33	0.27	0.93	0.87	0.82	0.77		
60	0.65	0.33	0.13	0.80	0.64	0.51	0.41	0.33	0.27	0.91	0.84	0.78	0.73	0.68	$K=4$	
65	0.62	0.30	0.98	0.76	0.59	0.46	0.36	0.28	0.93	0.84	0.77	0.71	0.65	0.61		
70	0.60	0.28	0.94	0.72	0.55	0.42	0.32	0.96	0.86	0.78	0.70	0.64	0.59	0.54		
75	0.57	0.26	0.91	0.68	0.51	0.39	0.29	0.91	0.80	0.72	0.65	0.58	0.53	0.48	$K=4$	
80	0.55	0.24	0.87	0.64	0.48	0.35	0.98	0.85	0.75	0.67	0.60	0.53	0.48	0.43		
$z'_2$	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	$z'_1$	

注：本表仅适用于  $\alpha=20^\circ$ ,  $h_{as}^*=1$  的情况。

### (3) 锁止弧设计

1) 从动轮锁止凹弧的设计 (图 4-2-86) 锁止弧占有  $K$  个齿, 为了保证始啮点  $E$  不致因磨损而变动, 建议锁止凹弧两侧留有  $0.5\text{mm}$  模数的齿顶厚, 其所对的中心角  $\lambda_2$  为

$$\lambda_2 = (z'_2 + 2h_{as}^*)^{-1} \quad (4-2-46)$$

当凹弧圆心在  $O_1$  时, 凹弧半径  $R_a$  为

$$R_a = \frac{m}{2} \sqrt{(z'_2 + 2h_{as}^*)^2 + (z'_1 + z'_2)^2 - 2(z'_2 + 2h_{as}^*)(z'_1 + z'_2) \cos(\beta_2 - \delta_2 - \lambda_2)} \quad (\text{mm}) \quad (4-2-47)$$

2) 主动轮锁止凸弧设计 主动轮首齿位于始啮点  $E$  时, 主动轮上锁止凸弧的终点  $S$  应恰好落在连心线  $O_1O_2$  上 (图 4-2-87); 当主动轮末齿到达  $F$  点啮合时, 主动轮上锁止凸弧的起点  $T$  也应恰好落在连心线  $O_1O_2$  上 (图 4-2-86)。凸弧的半径  $R_d = R_a$ , 凸弧的圆心在  $O_1$ 。  $O_2T = a - R_a$ 。

① 锁止凸弧终点  $S$  的确定: 即确定通过  $S$  点的向径  $O_1S$  与首齿中线  $O_1M_s$  之间的夹角  $Q_s$ 。

第一种情况: 始啮点  $E$  落在从动轮齿顶圆弧  $B_1G$  段上 (不包括  $B_1$  点, 图 4-2-87), 即  $(\beta_2 - \delta_2) > (\alpha_{a2} - \alpha')$  时

$$Q_s = \beta_1 + \Psi_1 \quad (4-2-48)$$

式中  $\beta_1$  ——主动轮过  $E$  点的向径  $O_1E$  与  $O_1S$  之间的夹角

$$\beta_1 = \arcsin \frac{O_2E \sin(\beta_2 - \delta_2)}{O_1E}$$

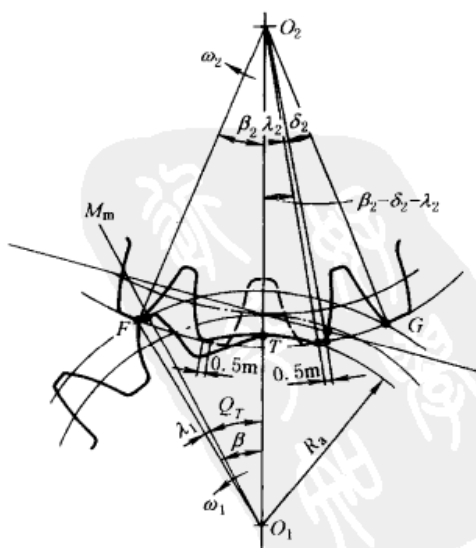


图 4-2-86

$$= \arcsin \frac{(z'_2 + 2h_{a2}^*) \sin(\beta_2 - \delta_2)}{\sqrt{(z'_2 + 2h_{a2}^*)^2 + (z'_1 + z'_2)^2 - 2(z'_2 + 2h_{a2}^*)(z'_1 + z'_2) \cos(\beta_2 - \delta_2)}} \quad (4-2-49)$$

$\Psi_1$  —— 向径  $O_1E$  与首齿中线  $M_S$  之间的夹角

$$\Psi_1 = \frac{\pi}{z'_1} - \text{inv}\alpha_{E1} + \text{inv}\alpha \quad (4-2-50)$$

$\alpha_{E1}$  —— 主动轮过  $E$  点的压力角

$$\alpha_{E1} = \arccos \frac{z'_1 \cos\alpha}{\sqrt{(z'_2 + 2h_{a2}^*)^2 + (z'_1 + z'_2)^2 - 2(z'_2 + 2h_{a2}^*)(z'_1 + z'_2) \cos(\beta_2 - \delta_2)}} \quad (4-2-51)$$

第二种情况：始啮点  $E$  与  $B_1$  点重合，或落在  $B_1P$  段上（图 4-2-88）；即  $(\beta_2 - \delta_2) \leq (\alpha_{a2} - \alpha')$  时

$$Q_S = \beta_0 + \frac{\pi}{z'_1}$$

当啮合点由  $E$  移到节点  $P$ ，主、从动轮渐开线齿廓在分度圆上对应的二点  $M$ 、 $N$  都移到节点  $P$ 。因此从动轮转过

角  $\gamma_2 = (K - 0.5) \frac{\pi}{z'_2}$ ，主动轮转过角  $\beta_0 = \frac{z'_2}{z'_1} \gamma_2$

$$\therefore Q_S = K\pi/z'_1 \quad (4-2-52)$$

② 锁止凸弧起点  $T$  的确定：即确定通过  $T$  点的向径  $O_1T$  与末齿中线  $O_1M_m$  之间的夹角  $Q_T$ ，图 4-2-86。

$$Q_T = \beta - \lambda_1 \quad (4-2-53)$$

式中  $\beta$  —— 在终啮点  $F$  啮合时，主动轮上向径  $O_1T$  与  $O_1F$  间的夹角

$$\beta = \arcsin \frac{O_2F \sin\beta_2}{O_1F} = \arcsin \frac{(z'_2 + 2h_{a2}^*) \sin\beta_2}{z'_1 + 2h_{am}^*} \quad (4-2-54)$$

$\lambda_1$  —— 主动轮上顶圆齿厚所对中心角之半

$$\lambda_1 = (\pi/2z'_1) - \text{inv}\alpha_{am1} + \text{inv}\alpha' \quad (4-2-55)$$

$\alpha_{am1}$  —— 主动轮末齿顶圆压力角

$$\alpha_{am1} = \arccos [z'_1 \cos\alpha / (z'_1 + 2h_{am}^*)] \quad (4-2-56)$$

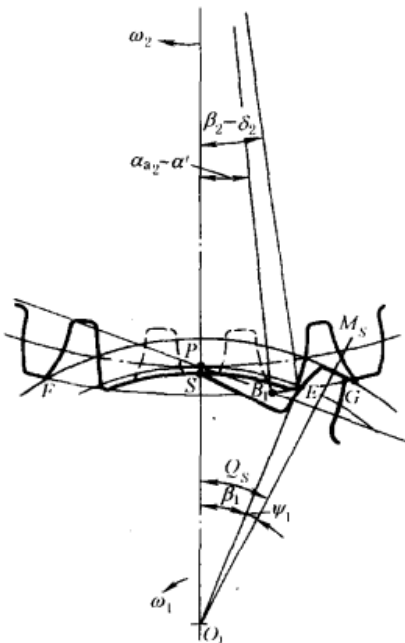


图 4-2-87

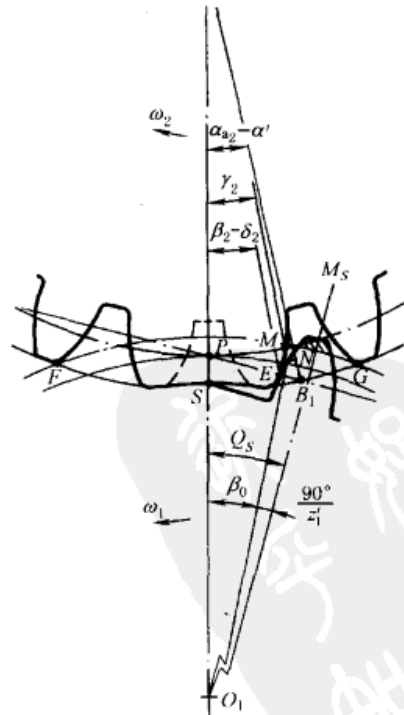


图 4-2-88

(4) 运动时间  $t_d$  和静止时间  $t_j$

间歇运动机构从动轮的运动时间  $t_d$  和静止时间  $t_j$  是设计的重要参数之一。当主动轮等速旋转时, 从动轮在一次间歇运动中的运动时间  $t_d$  可以看成  $z_1 = 1$  时传动所需的时间与  $(z_1 - 1)$  对中间齿传动所需时间之和。

$$t_d = \left( Q_S + Q_T \times 2\pi \frac{z_1 - 1}{z'_1} \right) / \omega_1 \quad (\text{s}) \quad (4-2-57)$$

式中  $\omega_1$  ——主动轮角速度,  $\text{s}^{-1}$ 。

$$t_j = \left[ 2\pi \left( 1 - \frac{z_1 - 1}{z'_1} \right) - Q_S - Q_T \right] / \omega_1 \quad (\text{s}) \quad (4-2-58)$$

### 5.3.3 不完全齿轮机构的设计计算公式及工作图

(1) 不完全齿轮机构的计算公式及算例

表 4-2-75

符号	计算公式及说明	算例结果
$z'_1, z'_2$ $m$ $a$	主、从动轮上布满齿时的假想齿数, 按工作条件决定, 常取 $z'_1 = 50 \sim 55$ $z'_1 = 44, 48, 52, 56$ 模数, 按强度条件决定, 并按 GB 1357—1987 取值 中心距 $a = m(z'_1 + z'_2) / 2$ (mm) 按结构空间确定	$z'_1 = z'_2 = 52$ $m = 1.5 \text{ mm}$ $a = 78 \text{ mm}$
$\alpha$ $h_{a1}^*, h_{a2}^*$ $c^*$	压力角, $\alpha = 20^\circ$ 主、从动轮的标准齿顶高系数 $h_{a1}^* = h_{a2}^* = 1$ 顶隙系数 $c^* = 0.25$	
$N$	主动轮每转一周, 从动轮完成间歇运动的次数, 按工作要求决定	$N = 4$
$z_2$	在一次间歇运动中, 从动轮转过角度内所包含的齿数, 按设计要求决定, $z_2 = z'_2 / N$	$z_2 = 13$
$\beta'_2$	$h_{a1}^* = h_{a2}^* = 1$ 时, 两轮齿顶圆交点 $G', F'$ 所对的从动轮中心角之半 (图 4-2-85) $\beta'_2 = \arccos \{ [z'_2(z'_1 + z'_2) + 2(z'_2 + z'_1)] / (z'_1 + z'_2)(z'_2 + 2) \}$	$\beta'_2 = 0.2730 \text{ rad}$ $15.643^\circ$
$\alpha_{a2}$	$h_{a2}^* = 1$ 时, 从动轮的齿顶压力角 $\alpha_{a2} = \arccos [z'_2 \cos \alpha / (z'_2 + 2h_{a2}^*)]$	$25.192^\circ$
$\delta_2$	$h_{a2}^* = 1$ 时, 从动轮顶圆齿槽所对的中心角 $\delta = \frac{\pi}{z'_2} + 2(\text{inv} \alpha_{a2} - \text{inv} \alpha)$	$\delta_2 = 0.076223 \text{ rad}$ $\approx 4.367^\circ$
$K$	在一次间歇运动中, $z_1 = 1$ 时, 从动轮转过角度内所包含的周节数 $K = z'_2(\beta'_2 - \delta_2) / \pi$ 取整数, $K = z_2 - z_1 + 1$ 或由表 4-2-74 按 $z'_1, z'_2$ 查得	$K = 3$
$z_1$	主动轮在相邻二锁止弧之间的齿数 $z_1 = z_2 + 1 - K$	$z_1 = 11$
$\beta_2$	$h_{a2}^* = 1, h_{am}^* = h_{as}^*$ 为修正齿顶高系数时, 二轮顶圆交点 ( $F, G$ ) 所对从动轮中心角之半 $\beta_2 = (K\pi / z'_2) + 0.5\delta_2$	$\beta_2 = 0.2194 \text{ rad}$ $\approx 12.568^\circ$
$h_{am}^*$	主动轮末齿修正齿顶高系数 查表 4-2-74, 或由下式解出 $h_{am}^* = (-z'_1 + \sqrt{z'_1^2 - 2G}) / 2$ $G = (z'_1 + z'_2)(z'_2 + 2h_{a2}^*) \cos \beta_2 - z'_2(z'_2 + z'_1) - 2h_{a2}^*(z'_2 + h_{a2}^*)$	用插入法查 表 $h_{am}^* \approx 0.412$ 解方程 $h_{am}^* = 0.33$
$h_{as}^*$	主动轮首齿修正齿顶高系数 $h_{as}^* \leq h_{am}^*$	取 $h_{as}^* = 0.30$
$\alpha_{as1}$	主动轮首齿的齿顶压力角 $\alpha_{as1} = \arccos [z'_1 \cos \alpha / (z'_1 + 2h_{as1}^*)]$	$21.725^\circ$
$\epsilon_\alpha$	首齿与第二对齿之间的重合度 $\epsilon_\alpha = [z'_1(\tan \alpha_{as1} - \tan \alpha) + z'_2(\tan \alpha_{a2} - \tan \alpha)] / 2\pi > 1$	$\epsilon_\alpha = 1.166$



符号	计算公式及说明	算例结果
$\lambda_2$	从动轮上具有 0.5mm 模数的顶圆齿厚所对的中心角 $\lambda_2 = (z_2' + 2h_{a2}^*)^{-1}$	$\lambda_2 = 0.0185\text{rad}$ $= 1.061^\circ$
$R_a (R_d)$	一对锁止凹弧与凸弧的半径, 中心在主动轮轴心 $O_1$ $R_a = \frac{m}{2} \times \sqrt{(z_2' + 2h_{a2}^*)^2 + (z_1' + z_2')^2 - 2(z_2' + 2h_{a2}^*)(z_1' + z_2') \cos(\beta_2 - \delta_2 - \lambda_2)}$ (mm)	38.18mm
$\beta_1$	主动轮上过始啮点 $E$ 的向径 $O_1E$ 与 $O_1S$ 间的夹角 $\beta_1 = \arcsin[(z_2' - 2h_{a2}^*) \sin(\beta_2 - \delta_2) / \Delta]$ $\Delta = \sqrt{(z_2' + 2h_{a2}^*)^2 + (z_1' + z_2')^2 - 2(z_2' + h_{a2}^*)(z_1' + z_2') \cos(\beta_2 - \delta_2)}$	$\beta_1 = 9.08^\circ$ $= 0.1585\text{rad}$
$\alpha_{E1}$	主动轮齿廓在始啮点 $E$ 处的压力角 $\alpha_{E1} = \arccos[z_1' \cos\alpha / \Delta]$	$\alpha_{E1} = 17.563^\circ$ $= 0.30653\text{rad}$
$\psi_1$	主动轮上过始啮点的向径 $O_1E$ 与首齿中线间的夹角 $\Psi_1 (\pi/2z_1') - \text{inv}\alpha_{E1} + \text{inv}\alpha$	$\Psi_1 = 0.0351\text{rad}$ $= 2.0133^\circ$
$Q_s$	过主动轮锁止凸弧终点 $S$ 的向径 $O_1S$ 与首齿中线之间的夹角 第一种情况: $(\beta_2 - \delta_2) > (\alpha_{a2} - \alpha)$ 时, $Q_s = \beta_1 + \Psi_1$ 第二种情况: $(\beta_2 - \delta_2) \leq (\alpha_{a2} - \alpha)$ 时, $Q_s = K\pi/z_1'$	$Q_s = 0.1936\text{rad}$ $= 11.0924^\circ$
$\beta$	在终啮点 $F$ 啮合时, 主动轮上向径 $O_1F$ 与 $O_1T$ 之间的夹角 $\beta = \arcsin[(z_2' + 2h_{a2}^*) \sin\beta_2 / (z_1' + 2h_{a1}^*)]$	$\beta = 12.484^\circ$ $= 0.2179\text{rad}$
$\alpha_{am1}$	主动轮末齿的齿顶压力角厚所对中心角之半 $\alpha_{am1} = \arccos[z_1' \cos\alpha / (z_1' + 2h_{a1}^*)]$	$\alpha_{am1} = 21.725^\circ$ $= 0.3792\text{rad}$
$\lambda_1$	主动轮上顶圆齿 $\lambda_1 = (\pi/2z_1') - \text{inv}\alpha_{am1} + \text{inv}\alpha$	$\lambda_1 = 0.02583\text{rad}$ $= 1.48^\circ$
$Q_T$	过主动轮锁止凸弧起点 $T$ 的向径 $O_1T$ 与末齿中线之间的夹角 $Q_T = \beta - \lambda_1$	$Q_T = 0.19207\text{rad}$ $\approx 11.048^\circ$
$t_d$ $t_j$	主动轮等速旋转时, 从动轮在一次间歇运动中的运动时间 $t_d$ , 静止时间 $t_j$ $t_d = (Q_s + Q_T + \frac{z_1 - 1}{z_1'} 2\pi) / \omega_1 (s)$ ; $t_j = [2\pi(1 - \frac{z_1 - 1}{z_1'}) - Q_s + Q_T] / \omega_1 (s)$ 动停比 $k = t_d/t_j = (Q_s + Q_T + \frac{z_1 - 1}{z_1'} 2\pi) / [2\pi(1 - \frac{z_1 - 1}{z_1'}) - Q_s - Q_T]$ 式中 $\omega_1$ —— 主动转角速度 $s^{-1}$	$k \approx 0.3401$

## (2) 工作图例

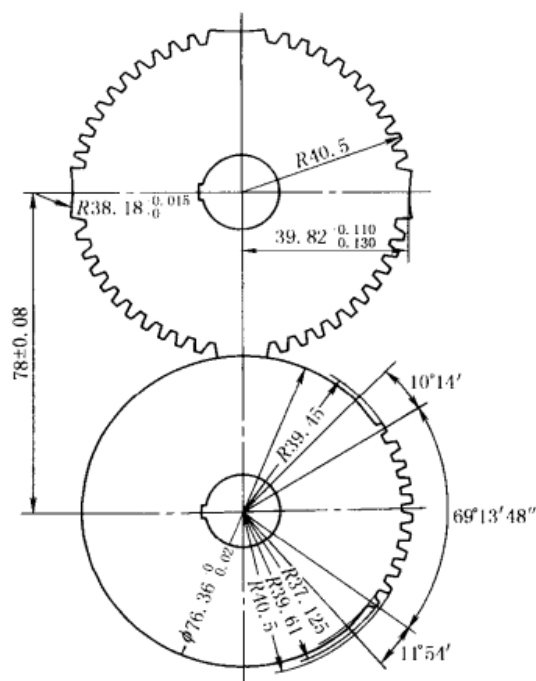


图 4-2-89

$$\begin{aligned}
 h_{a2}^* &= 1 \\
 h_{am}^* &= 0.412 \\
 h_{as}^* &= 0.3 \\
 N &= 4 \\
 z_2 &= 13 \\
 z_1 &= 11 \\
 K &= 3 \\
 \alpha &= 20^\circ \\
 m &= 1.5 \text{ mm} \\
 z_2' &= 52 \\
 z_1' &= 52
 \end{aligned}$$

## 5.4 针轮机构

## 5.4.1 针轮机构的主要类型和特点

表 4-2-76

针轮机构的主要类型和特点

类 型	外啮合针轮-星轮机构	内啮合针轮-星轮机构	针轮-星齿条机构
机 构 简 图			
主 要 结 构 特 点 (以 图 示 为 例)	主动针轮 1 上有 5 个针齿和一段锁止凸圆弧(黑色) 从动星轮 2 上有 4 段锁止凹圆弧,每两段锁止弧之间有 4 个摆线齿廓的轮齿和始末 2 段过渡曲线	主动针轮 1 上有 3 个针齿和一段锁止凹圆弧(黑色) 从动星轮 2 上有 2 段锁止凸圆弧,锁止弧间有 2 个摆线轮齿和始末 2 段过渡曲线	主动针轮 1 上有 2 个针齿和一段锁止凸圆弧(黑色) 从动齿条上相邻二锁止凹圆弧间有 1 个摆线轮齿及其等距曲线齿槽
主 从 动 件 的 主 要 运 动 特 点	主动轮动程角 $\theta_d = 180^\circ$ , 停程角 $\theta_j = 180^\circ$ 从动轮转动时 $\omega_2$ 与 $\omega_1$ 异向, 每次转过 $\phi_d = 90^\circ$ 后停歇一次	主动轮 $\theta_d = 60^\circ, \theta_j = 300^\circ$ 从动轮转动时 $\omega_2$ 与 $\omega_1$ 同向, 每次转过 $\phi_d = 180^\circ$ 后停歇一次	主动轮 $\theta_d = 180^\circ, \theta_j = 180^\circ$ 从动齿条移位时间与停歇时间相同
从动件的运动规律为开始啮合时逐渐加速,中间为等速,啮合终了时为逐渐减速			

5.4.2 针轮机构的设计计算

见表 4-2-77 和图 4-2-90。

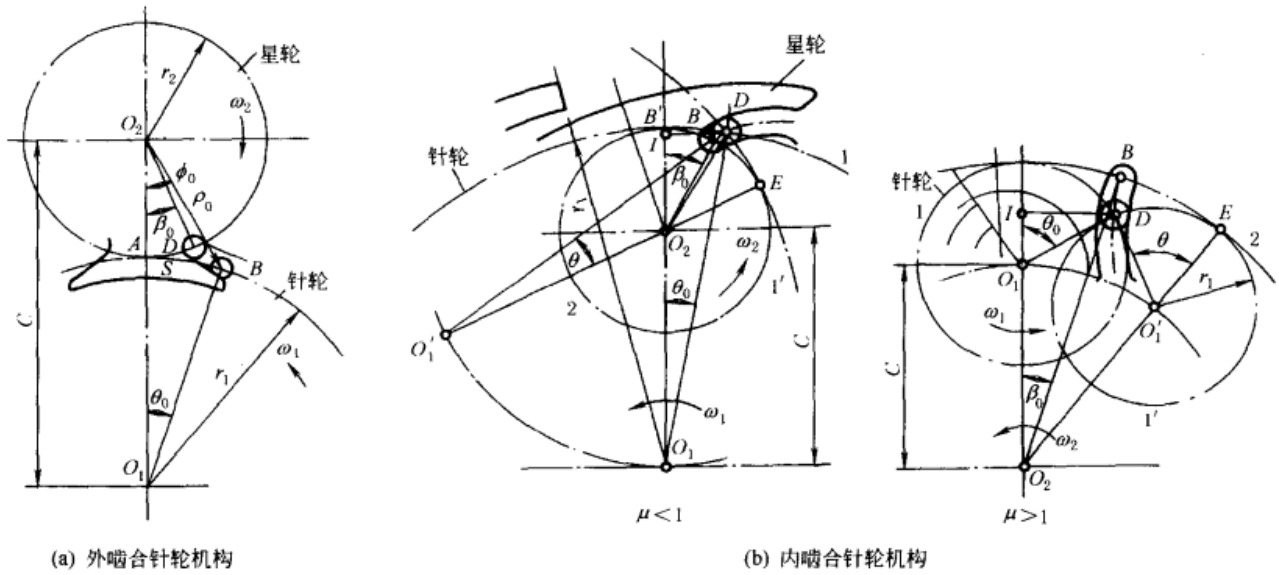


图 4-2-90 针轮机构的几何尺寸

表 4-2-77

针轮机构的几何尺寸和运动参数

项 目	外啮合针轮机构	内啮合针轮机构	
		$\mu < 1$	$\mu > 1$
针轮节圆半径 $r_1$ /mm	$r_1 = C/(1 + \mu)$	$r_1 = C/(1 - \mu)$	$r_1 = C/(\mu - 1)$
星轮节圆半径 $r_2$ /mm	$r_2 = C\mu/(1 + \mu)$	$r_2 = C\mu/(1 - \mu)$	$r_2 = C\mu/(\mu - 1)$
节圆半径比 $\mu$	$\mu = r_2/r_1$		
中心距 $C$ /mm	$C = r_1 + r_2$	$C = r_1 - r_2$	$C = r_2 - r_1$
主动针轮的动程角 $\theta_d/(\circ)$	每个工作循环中,与从动星轮转位期相对应的主动针轮转角		
主动针轮的停程角 $\theta_j/(\circ)$	每个工作循环中,与从动星轮停歇期相对应的主动针轮转角, $\theta_j = 360^\circ - \theta_d$		
从动星轮的转位角 $\phi_d/(\circ)$	每个工作循环中,从动星轮转过的角度		
从动星轮每转一周中的停歇次数 $N$	$N$ 为从动轮上的锁止弧数, $N = 360^\circ/\phi_d$		
转角比 $\sigma$	$\sigma = \frac{\theta_d}{\phi_d} = \mu \left( 1 - \frac{N}{2} \right) + N \left( \frac{4-3\mu}{\pi} \right) \arcsin \frac{\mu}{2(1+\mu)}$	$\sigma = \mu \left( 1 - \frac{N}{2} \right) + N \left( \frac{4-3\mu}{\pi} \right) \arcsin \frac{\mu}{2(1-\mu)}$	$\sigma = \mu \left( 1 + \frac{N}{2} \right) + N \left( \frac{4-3\mu}{\pi} \right) \arcsin \frac{\mu}{2(\mu-1)}$
动停比 $k$	从动星轮每次转位时间 $t_t$ 与停歇时间 $t_d$ 之比, $k = \theta_d/\theta_j$		
运动系数 $\tau$	从动星轮每个工作循环中,转位时间所占的比率, $\tau = \theta_d/(\theta_d + \theta_j)$		
针轮的起始啮合位置角 $\theta_0/(\circ)$	主动针轮的第一个针齿进入从动星轮轮槽时,针齿中心 $B$ 与轴心连线 $O_1O_2$ 间的夹角 $\angle BO_1O_2 = \theta_0$		
	$\theta_0 = 2\arcsin \frac{\mu}{2(1+\mu)}$	$\theta_0 = 2\arcsin \frac{\mu}{2(1-\mu)}$	$\theta_0 = 2\arcsin \frac{\mu}{2(\mu-1)}$
针轮的起始啮合位置弦长 $S$ /mm	主动针轮的第一个针齿进入从动星轮轮槽时,针齿中心 $B$ 与节点 $A$ 间的弦线距离 $BA = S$		
	$S = C\mu(1 + \mu)^2$	$S = C\mu/(1 - \mu)^2$	

续表

项 目	外啮合针轮机构	内啮合针轮机构	
		$\mu < 1$	$\mu > 1$
星轮的起始啮合位置角 $\phi_0/(\circ)$ $\phi_0 = \angle BO_2O_1$	$\phi_0 = 45^\circ - \frac{3}{2} \arcsin \frac{\mu}{2(1+\mu)}$	$\phi_0 = 45^\circ + \frac{3}{2} \arcsin \frac{\mu}{2(1-\mu)}$	$\phi_0 = \frac{3}{2} \arcsin \frac{\mu}{2(\mu-1)} - 45^\circ$
星轮的起始啮合半径 $\rho_0/\text{mm}$ $\rho_0 = BO_2$	$\rho_0 = \frac{2C\mu}{1+\mu} \cos\left(45^\circ + \frac{\theta_0}{4}\right)$	$\rho_0 = \frac{2C\mu}{1-\mu} \cos\left(45^\circ - \frac{\theta_0}{4}\right)$	$\rho_0 = \frac{2C\mu}{\mu-1} \cos\left(45^\circ + \frac{\theta_0}{4}\right)$
星轮的槽底啮合位置角 $\beta_0/(\circ)$	主动针轮的第一个针齿进入从动星轮轮槽时, 轮槽底端圆弧中心 $D$ 和 $O_2$ 连线与 $O_1O_2$ 间的夹角 $\angle DO_2O_1 = \beta_0$		
	$\beta_0 = 90^\circ - \left(\frac{2+3\mu}{\mu}\right) \arcsin \frac{\mu}{2(1+\mu)}$	$\beta_0 = 90^\circ - \left(\frac{2-3\mu}{\mu}\right) \arcsin \frac{\mu}{2(1-\mu)}$	$\beta_0 = \left(\frac{3\mu-2}{\mu}\right) \arcsin \frac{\mu}{2(\mu-1)} - 90^\circ$
星轮的类角速度 $\omega_2/\omega_1$	$\omega_2/\omega_1 = \frac{2(\mu \pm 1) \cos\theta \mp 2}{(\mu \pm 1)^2 + 1 \mp 2(\mu \pm 1) \cos\theta} - \frac{1}{\mu}$ 下方符号用于内啮合针轮 $\theta = 0^\circ$ 时, $\omega_2/\omega_1$ 有最大值		
星轮的类角加速度 $\varepsilon_2/\omega_1^2$	$\varepsilon_2/\omega_1^2 = \frac{-2\mu(\mu \pm 1)(\mu \pm 2) \sin\theta}{[(\mu \pm 1)^2 + 1 \mp 2(\mu \pm 1) \cos\theta]^2}$ 下方符号用于内啮合, $\theta = \theta_0$ 时为星轮起始啮合时的类加速度, $\theta = \theta_m$ 时有最大值 $(\varepsilon_2/\omega_1^2)_m$		
星轮的最大类角加速度 $(\varepsilon_2/\omega_1^2)_m$ 发生处针轮的位置角 $\theta_m/(\circ)$	$\cos\theta_m = -\frac{\mu^2 + 2(1 \pm \mu)}{4(1 \pm \mu)} + \sqrt{\left[\frac{\mu^2 + 2(1 \pm \mu)}{4(1 \pm \mu)}\right]^2 + 2}$		
针轮上锁止弧所对圆心角 $\gamma$	$\gamma = 2 \left[ \left(1 - \frac{\mu}{n}\right) \pi - \theta_0 + \mu\beta_0 \right]$		
针销入啮与出啮时星轮上齿槽中线坐标 $x, y$ 及内外包络线坐标 $x_k, y_k$	$x = C \cos\theta \mp r_1 \cos\left(1 \pm \frac{r_2}{r_1}\right)\theta$ $y = C \sin\theta \mp r_1 \sin\left(1 \pm \frac{r_2}{r_1}\right)\theta$ $x_k = x \pm r_T \left[ (dy/d\theta) / \sqrt{(dx/d\theta)^2 + (dy/d\theta)^2} \right]$ $y_k = y \mp r_T \left[ (dx/d\theta) / \sqrt{(dx/d\theta)^2 + (dy/d\theta)^2} \right]$		

## 6 斜面机构与螺旋机构

### 6.1 斜面机构的特性指标与计算公式

斜面机构是只含有平面移动副的平面机构。它将一个移动转变成另一个移动。其特点是: 速比大、省力、能自锁、效率低。一般有斜面微动机构(实现微小移动)和斜面夹紧机构(产生较大的夹紧力)。

斜面机构的特性指标与计算公式见表 4-2-78。三构件斜面机构特性线见图 4-2-91。



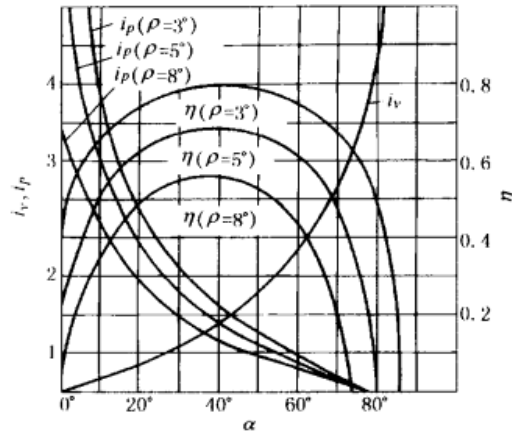
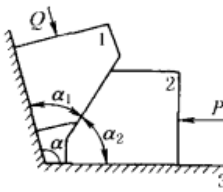
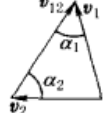
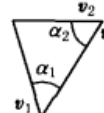
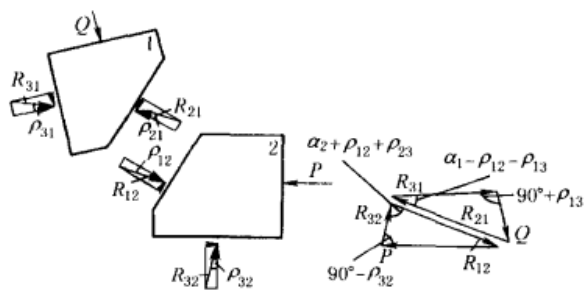
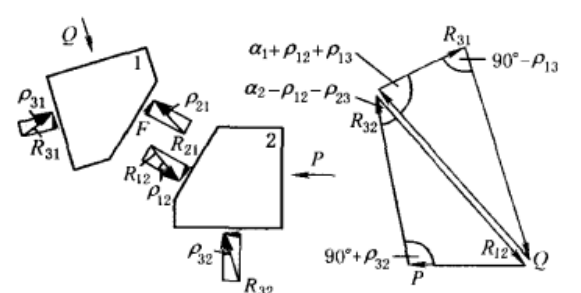


图 4-2-91

表 4-2-78 斜面机构的特性指标与计算公式

序号	机构特性指标	两构件斜面机构	
1	简图		
2	运动方向	正行程 输入力 P, 输出力 Q, 构件 2 上升	反行程 输入力 Q, 输出力 P, 构件 2 下滑
3	速度比 $i_v = \frac{\text{从动件速度}}{\text{主动件速度}}$		
4	增力比 $i_p = \frac{\text{输出力}}{\text{输入力}}$	$i_p = \frac{Q}{P} = \frac{1}{\tan(\alpha + \rho)}$	$i_p = \frac{P}{Q} = \tan(\alpha - \rho)$
5	效率 $\eta = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}}$ $\eta \leq 0$ 时, 机构自锁	$\eta_z = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \rho)}$	$\eta_l = \frac{\tan(\alpha - \rho)}{\tan \alpha}$
6	正行程最大效率 $\eta_{\max}$	$\eta_{\max} = \frac{\tan\left(45^\circ - \frac{\rho}{2}\right)}{\tan\left(45^\circ + \frac{\rho}{2}\right)}$	
7	正行程最大效率时的升角	$\alpha_{\eta_{\max}} = 45^\circ - \frac{\rho}{2}$	
8	正行程不自锁条件 $\eta_z > 0$	$\alpha < 90^\circ - \rho$	
9	反行程自锁条件 $\eta_l \leq 0$		$\alpha \leq \rho$
10	反行程自锁时, 正行程最大效率	< 50%	

续表

序号	三构件斜面机构	
1	 <p style="text-align: center;"><math>\alpha = \alpha_1 + \alpha_2</math></p>	<p>符 号</p> <p>升角 <math>\alpha_1, \alpha_2</math></p> <p>位移 <math>S_1, S_2</math></p> <p>速度 <math>v_1, v_2</math></p> <p>加速度 <math>a_1, a_2</math></p> <p>外力 <math>P, Q</math></p> <p>正压力 <math>N</math></p> <p>摩擦力 <math>F = \mu N</math></p> <p>全反力 <math>\vec{R} = \vec{F} + \vec{N}</math></p> <p>摩擦角 <math>\rho = \arctan \mu</math></p> <p>正行程效率 <math>\eta_z</math></p> <p>反行程效率 <math>\eta_f</math></p>
2	正 行 程	反 行 程
3	<p>输入力 <math>P</math>, 输出力 <math>Q</math>, 构件 1 上升</p>  $\vec{v}_1 = \vec{v}_2 + \vec{v}_{12}$ $i_v = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{a_1}{a_2}$	<p>输入力 <math>Q</math>, 输出力 <math>P</math>, 构件 1 下滑</p>  $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}_{21}$ $i_v = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{a_2}{a_1}$
4	 $i_p = \frac{Q}{P} = \frac{\sin(\alpha_1 - \rho_{12} - \rho_{13}) \cos \rho_{32}}{\sin(\alpha_2 + \rho_{12} + \rho_{23}) \cos \rho_{13}}$ <p>当 <math>\rho</math> 相等时, <math>i_p = \frac{Q}{P} = \frac{\sin(\alpha_1 - 2\rho)}{\sin(\alpha_2 + 2\rho)}</math></p>	 $i_p = \frac{P}{Q} = \frac{\sin(\alpha_2 - \rho_{12} - \rho_{23}) \cos \rho_{13}}{\sin(\alpha_1 + \rho_{12} + \rho_{13}) \cos \rho_{32}}$ <p>当 <math>\rho</math> 相等时, <math>i_p = \frac{P}{Q} = \frac{\sin(\alpha_2 - 2\rho)}{\sin(\alpha_1 + 2\rho)}</math></p>
5	$\eta_z = \frac{\sin(\alpha_1 - \rho_{12} - \rho_{13}) \cos \rho_{23} \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_2 + \rho_{12} + \rho_{23}) \cos \rho_{13} \sin \alpha_1}$ <p>当 <math>\rho</math> 相等时, <math>\eta_z = \frac{1 - \cot \alpha_1 \tan 2\rho}{1 + \cot \alpha_2 \tan 2\rho}</math></p> <p>当 <math>\alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ</math>, <math>\eta_z = \frac{\tan \alpha_2}{\tan(\alpha_2 + 2\rho)}</math></p>	$\eta_f = \frac{\sin(\alpha_2 - \rho_{12} - \rho_{23}) \cos \rho_{13} \sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \rho_{12} + \rho_{13}) \cos \rho_{23} \sin \alpha_2}$ <p>当 <math>\rho</math> 相等时, <math>\eta_f = \frac{1 - \cot \alpha_2 \tan 2\rho}{1 + \cot \alpha_1 \tan 2\rho}</math></p> <p>当 <math>\alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ</math>, <math>\eta_f = \frac{\tan(\alpha_2 - 2\rho)}{\tan \alpha_2}</math></p>
6	$\eta_{\max} = \frac{\tan(45^\circ - \rho)}{\tan(45^\circ + \rho)} (\rho \text{ 相等})$	
7	$\alpha_2 \eta_{\max} = 45^\circ - \rho (\rho \text{ 相等})$	
8	$\alpha_2 < 90^\circ - \rho_{12} - \rho_{23}$	
9		$\alpha_2 \leq \rho_{12} + \rho_{23}$
10	< 50%	

## 6.2 螺旋机构

螺旋机构是斜面机构的变形, 具有与斜面机构相同的特点, 可将转动变成移动。按用途分为三类: 传动螺旋、传力螺旋和调整螺旋。



6.2.1 螺旋机构的特性指标

表 4-2-79

螺旋机构的特性指标

名称	公式	说明
速度比	$i_v = \text{移动速度 } v / \text{旋转角速度 } \omega = \text{直线位移 } s / \text{角位移 } \varphi$ $\varphi = \text{导程 } h / 2\pi$ $i_v = r \tan \alpha$	$r$ ——螺纹中径 $\alpha$ ——螺旋升角 $\rho'$ ——当量摩擦角
增力比	正行程 $i_p = \text{轴向载荷 } Q / \text{驱动力矩 } M$ $i_p = \frac{1}{r \tan(\alpha + \rho')}$	$\rho' = \arctan \mu' = \arctan \frac{\mu}{\cos \beta}$ $\mu$ ——摩擦因数 $\beta$ ——螺纹牙型半角 $\mu'$ ——当量摩擦因数 矩形螺纹 $\mu' = \mu$
	反行程 $i_p = \text{阻力矩 } M / \text{驱动力 } Q$ $i_p = r \tan(\alpha - \rho')$	三角形螺纹 $\mu' = \frac{\mu}{\cos 30^\circ} = 1.155\mu$ 梯形螺纹 $\mu' = \frac{\mu}{\cos 15^\circ} = 1.035\mu$ 锯齿形螺纹 $\mu' = \frac{\mu}{\cos 3^\circ} = 1.001\mu$
效率	正行程 克服轴向载荷 $Q$ , 沿螺旋面上升 $\eta_s = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \rho')}$	
	反行程 在轴向载荷作用下, 沿螺旋面下降 $\eta_t = \frac{\tan(\alpha - \rho')}{\tan \alpha}$	

6.2.2 螺旋机构传动型式

表 4-2-80

螺旋机构传动型式

序号	型式	简图	特点	序号	型式	简图	特点
1	螺杆旋转, 并沿轴线移动, 螺母固定		与二构件斜面机构类似。可获得较高的精度, 但结构尺寸大	5(差动螺旋)	1. 二螺旋左右安排, 是第1、2二种型式的组合		$s_2 = (h_1 - h_2)n$ $= (h_1 - h_2)\varphi/2\pi$ 式中 $s_2$ ——构件2相对构件1的轴向位移, 正值表示向左移, 负值表示向右移 $h_1, h_2$ ——构件1、2的导程, 右旋以正值代入, 左旋以负值代入
2	螺杆旋转, 螺母沿轴线移动		与三构件斜面机构类似。有限制螺杆轴向窜动和螺母转动的结构 结构尺寸较小, 但精度较低, 结构较复杂		2. 二螺旋内外安排, 是第1、3二种型式的组合		$n$ ——构件3的转数, 顺时针方向以正值代入, 逆时针方向以负值代入 $\varphi$ ——转角 为获得微量移动, 可采用两个导程相差很小, 且旋向相同的螺旋组成
3	螺母旋转, 螺杆移动		与三构件斜面机构类似。有限制螺母轴向窜动和螺杆转动的结构 精度较低, 结构尺寸大, 结构复杂		3. 螺杆、螺母二者同时输入运动的差动螺旋		$s_2 = (n_2 - n_3)h_2$ $= (\varphi_2 - \varphi_3)h_2/2\pi$ 式中, $s_2, n_2, n_3, h_2$ 的正负号同上, 由于螺杆与螺母的转数与转向的不同, 螺母可获得各种不同的(大小和方向)移动速度
4	螺杆固定, 螺母旋转并沿螺杆轴向移动		与二构件斜面机构类似。精度最低				

### 6.3 参数选择

斜面机构与螺旋机构的设计主要是选取升角  $\alpha$  与摩擦角  $\rho$ 。特性指标  $i_v$ 、 $i_p$ 、 $\eta$  均与参数  $\alpha$ 、 $\rho$  有关，且对  $\alpha$ 、 $\rho$  的要求各异，所以应根据机构的要求，视具体情况处理。升角  $\alpha$  可参考表 4-2-81 选取。

表 4-2-81 升角  $\alpha$  参考值

使用场合	要求	$\alpha$ 值
手动夹压机构	如手动千斤顶,用人力操作,要求省力,即 $i_p$ 高;操作中要停歇,所以反行程要自锁,而正行程效率无特殊要求,则可按反行程自锁条件,升角取较小值	$4^\circ \sim 6^\circ$
液动、气动夹压机构	气动夹压机构:对省力和反行程自锁无特殊要求,可按最大效率升角取较大值	$15^\circ \sim 45^\circ$
	螺旋压力机:由于 $\alpha$ 较大,加工困难	$18^\circ \sim 25^\circ$
微动进给机构	微动(即 $i_v$ 低)且灵敏;反行程自锁	取很小的 $\alpha$ 和 $\rho'$
螺纹连接	主要是自锁	$1.5^\circ \sim 5^\circ$

## 7 往复油(汽)缸机构的运动设计<sup>[4]</sup>

往复油(汽)缸有缸体轴线固定式和缸体绕定点摆动式两种。缸体轴线固定式机构(曲柄滑块机构)的运动设计见本章 1.4 节。本节只介绍摆动式油(汽)缸机构(曲柄摇块机构)的运动设计。摆动式油(汽)缸机构根据铰链位置可分为对中式和偏置式两类。偏置式能提高机构的传力效果,但因油缸对活塞杆有横向作用力,使活塞和活塞杆的密封条件恶化,影响使用寿命。

### 7.1 参数计算

表 4-2-82 摆动油缸的计算公式

类型	对中式	偏置式
机构简图		
	$r$ ——摇杆长度; $d$ ——机架长度; $e$ ——油缸偏置距; $L_1$ ——初始位置时铰链点 $B_1$ 到油缸铰链点 $C$ 的距离; $L_2$ ——终止位置时铰链点 $B_2$ 到油缸铰链点 $C$ 的距离; $L_i$ ——任意位置时铰链点 $B_i$ 到油缸铰链点 $C$ 的距离; $\varphi_i$ ——从动摇杆任意位置角; $i$ ——符号角码,表示任意位置	



类 型		对 中 式	偏 置 式
从动摇杆	初始和终止位置角 $\varphi_1$ 和 $\varphi_2$	$\cos\varphi_1 = \frac{1 + \sigma^2 - \rho_1^2}{2\sigma}$ $\cos\varphi_2 = \frac{1 + \sigma^2 - \lambda^2 \rho_1^2}{2\sigma}$	$\lambda = L_2/L_1$ $\rho_1 = L_1/d$ $\rho_i = L_i/d$ $\sigma = r/d$ $\rho_2 = L_2/d = \lambda\rho_1$
	工作摆角 $\varphi_{12}$	$\varphi_{12} = \varphi_2 - \varphi_1$	
位置参数(见图 a、c)	油缸行程 $S_{12}$	$S_{12} = L_2 - L_1$	$S_{12} = \sqrt{L_2^2 - e^2} - \sqrt{L_1^2 - e^2}$
	传动角 $\gamma$	给定 $\rho_i$ 和 $\sigma$	$\cos\gamma_i = \frac{\rho_i^2 + \sigma^2 - 1}{2\rho_i\sigma}$ $\sin\gamma_i = \frac{\sqrt{4\rho_i^2\sigma^2 - (\rho_i^2 + \sigma^2 - 1)^2}}{2\rho_i\sigma}$
		给定 $\varphi_i$ 和 $\sigma$	$\cos\gamma_i = \frac{\sigma - \cos\varphi_i}{\sqrt{1 + \sigma^2 - 2\sigma\cos\varphi_i}}$ $\sin\gamma_i = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma - \cos\varphi_i}{\sin\varphi_i}\right)^2 + 1}}$
	偏置角 $\beta$	0	$\sin\beta_i = e/L_i$
	活塞杆伸出系数 $\lambda'$	$\lambda' = \lambda$	$\lambda' = \sqrt{\frac{\lambda^2 - (e/L_1)^2}{1 - (e/L_2)^2}}$
运动参数和动力参数(见图 b、d)	摇杆角速度 $\omega_1$	$\omega_1 = v_2^{①}/r\sin\gamma_i$	$\omega_1 = v_2\cos\beta_i/r\sin\gamma_i$
	油缸角速度 $\omega_2$	$\omega_2 = v_2/L_1\tan\gamma_i$	$\omega_2 = v_2(\cot\gamma_i\cos\beta_i - \sin\beta_i)/L_i$
	所需油缸推力 $P_2$	$P_2 = M_1/r\sin\gamma_i$	$P_2 = M_1\cos\beta_i/r\sin\gamma_i$
	油缸对活塞杆的横向力 $P_{32}$	0	$P_{32} = M_1\sin\beta_i/r\sin\gamma_i$
	所传递的阻力矩 $M_1$	$M_1 = P_2r\sin\gamma_i$	$M_1 = P_2r\sin\gamma_i/\cos\beta_i$
	所传递的阻力矩 $M_1$ 相对值	$M_1/P_2r = \sin\gamma_i$	$M_1/P_2r = \sin\gamma_i/\cos\beta_i$

① 表示  $v_2$  为活塞的平均相对运动速度的大小。

## 7.2 参数选择

活塞杆伸出系数  $\lambda'$ ，应根据活塞杆伸出时稳定性的要求确定（见本手册第5卷液压传动篇），对表4-2-82所列的连接形式，一般可取  $\lambda' \approx 1.5 \sim 1.7$ 。

基本参数  $\sigma$  和  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$  及  $\sigma$  和  $\rho_1$ 、 $\rho_2$ ，可根据对摆动油缸机构的工作位置和传力要求，按图4-2-92选择。摆动油缸机构的传力效果与  $\sin\gamma$  成正比； $\gamma$  愈大机构愈省力；反之，即使负载不大，也需很大的油缸推力。若传动角  $\gamma$  过小（小于最小极限值），机构将自锁。传动角  $\gamma$  是机构位置的函数（图4-2-92）。

例1 已知  $\rho = 2.40$ ， $\sigma = 2.00$ ，由图4-2-92求得  $\sin\gamma \approx 0.41$ ， $\gamma \approx 24^\circ 8' 49''$ ， $\varphi \approx 100^\circ 57' 10''$ 。

例2 已知  $\varphi_1 = 80^\circ$ ， $\sigma = 1.50$ ，由图4-2-92求得  $\sin\gamma_1 \approx 0.60$ ， $\gamma_1 \approx 36^\circ 35' 37''$ ， $\rho_1 \approx 1.652$ 。

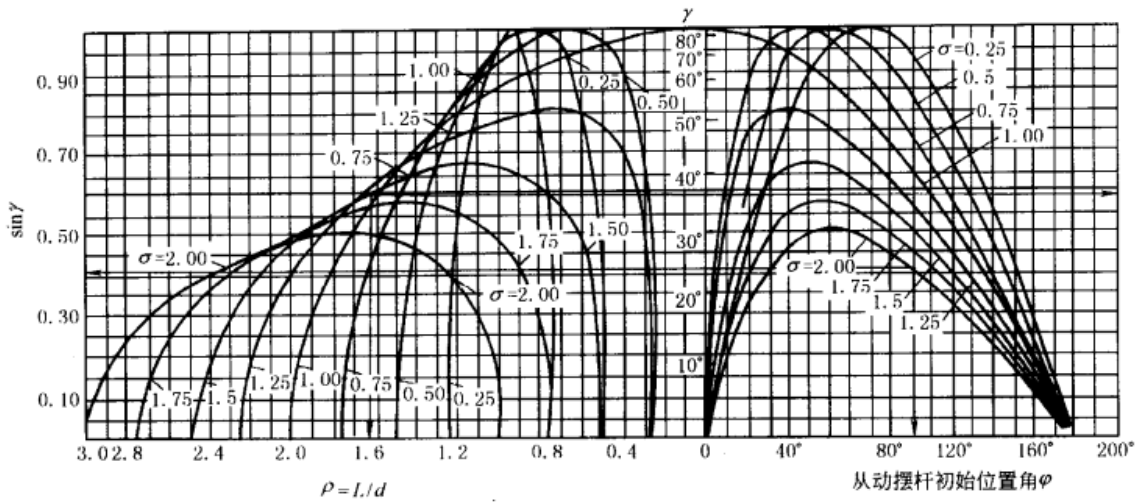


图 4-2-92 摆动油缸机构基本参数选择

### 7.3 运动设计

表 4-2-83

几何法

序号	已知条件	简图	作图步骤
例 1	摇杆摆角 $\varphi_{12}$ 、许用传动角 $\gamma_p$ 和 $\lambda$ 值	<p>(a) 实现从动摇杆两位置时的参数关系</p> <p>(b) 实现从动摇杆两位置的图解</p>	<p>1. 如图 a 所示,当机构在上、下两个极端位置时,若 <math>\gamma_2 &lt; \gamma_1</math>,则必须使 <math>\gamma_2 \geq \gamma_p</math>,<math>\rho_1</math> 必须符合如下关系</p> $\rho_1 \leq \frac{\sin(\varphi_1 + \varphi_{12})}{\lambda \sin \gamma_p}$ <p>2. 如图 b 作图。选取机架 <math>AC = d</math>,在 <math>A, C</math> 点作射线 <math>AF, AF', CF</math> 和 <math>CF'</math>,使它们与机架 <math>AC</math> 的夹角小于 <math>90^\circ - \gamma_p</math>,得交点 <math>F, F'</math>,分别以 <math>F, F'</math> 为圆心, <math>CF</math> 和 <math>CF'</math> 为半径作圆 <math>K</math> 和 <math>K'</math>,由于 <math>\angle AFC = \angle AF'C = 2\gamma_p</math>,故在 <math>K</math> 圆的圆弧 <math>\widehat{ABC}</math> 上任取一点 <math>B</math>(或 <math>K'</math> 圆的圆弧 <math>\widehat{AC}</math> 上任一点 <math>B'</math>),其所对角 <math>\angle ABC = \gamma_p</math>。为使最小传动角不小于 <math>\gamma_p</math>,铰链点 <math>B</math> 应该在 <math>K, K'</math> 圆上或 <math>K, K'</math> 圆所围的范围以内。许用传动角 <math>\gamma_p</math> 取得愈小, <math>B</math> 点几何位置的可能范围就愈大</p> <p>3. 若选定 <math>\rho_1, \varphi_{12}</math>,则以 <math>C</math> 为圆心, <math>l_1 = \rho_1 d</math> 和 <math>l_2 = \lambda l_1</math> 为半径作圆,并从 <math>A</math> 点作摇杆摆角 <math>\varphi_{12}</math>,与两圆弧相交于 <math>B_1, B_2</math> 点,同时,使 <math>AB_1 = AB_2</math>,则 <math>AB_2</math> 就是所求的摇杆长度 <math>r</math>,并得到起始角 <math>\varphi_1</math>,若选定 <math>\rho_1</math> 和 <math>\sigma</math>,则从 <math>A</math> 点以 <math>r' = \sigma d</math> 为半径作圆交得 <math>B'_1</math> 点和 <math>B'_2</math> 点,可得到 <math>\varphi'_{12}</math> 和 <math>\varphi'_1</math></p>

序号	已知条件	简图	作图步骤
例 2	摇杆三个转角 $\varphi_{12}$ 、 $\varphi_{13}$ 、 $\varphi_{14}$ ，相应的活塞行程 $S_{12}$ 、 $S_{13}$ 、 $S_{14}$	<p style="text-align: center;">实现从动摇杆三转角时的图解</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 任取摇杆轴心 <math>A</math>，摇杆长度 <math>AB</math> 选取的依据是当其夹角为 <math>\varphi_{23} (= \varphi_{13} - \varphi_{12})</math> 时，所对的弦长 <math>B_2B_3</math> 恰等于 <math>S_{23} (= S_{13} - S_{12})</math> 之长</li> <li>2. 由 <math>B_1</math> 点任作直线 <math>B_1K</math>，与 <math>B_2B_3</math> 的延长线相交于 <math>E</math> 点，取 <math>EB_2 = EF</math> 得 <math>F</math> 点。由于 <math>B_1K</math> 是任取的直线，所以用上法由 <math>B_1</math> 点作不同的直线可得到许多个 <math>F</math> 点，把这些点连接起来即为曲线 <math>m</math></li> <li>3. 以 <math>B_1</math> 为圆心，以 <math>S_{12}</math> 长为半径画圆与曲线 <math>m</math> 相交于 <math>D_2</math> 点。连接 <math>B_1D_2</math>，即得摇杆处于 <math>AB_1</math> 位置时油缸轴线的位</li> <li>4. 在 <math>B_1D_2</math> 延长线上截取活塞行程 <math>S_{13}</math> 和 <math>S_{14}</math>，得 <math>D_3</math>、<math>D_4</math> 两点。作 <math>B_3D_3</math> 与 <math>B_4D_4</math> 的中垂线，两者相交于 <math>C</math> 点，则机构 <math>ABC</math> 即为所求的机构</li> </ol>

表 4-2-84

分析法

已知条件	摇杆的摆角 $\varphi_{12}$ 及初始角 $\varphi_1$	摇杆摆角 $\varphi_{12}$ ，油缸初始长度 $L_1$ ，活塞行程 $S_{12} = L_2 - L_1$
确定参数	摇杆和油缸相对长度 $\sigma$ 和 $\rho$	摇杆长度 $r$ 及初始位置角 $\varphi_1$
计算	<p>根据表 4-2-82 中机构的初始、终止位置关系式可得</p> $\sigma = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (a)$ <p>式中 <math>A = C = \lambda^2 - 1</math>  <math>B = -2(\lambda^2 \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)</math> } (b)</p> <p>而 <math>\rho = \sqrt{1 + \sigma^2 - 2\sigma \cos \varphi_1}</math> (c)</p>	<p>令 <math>d = 1</math>，由表 4-2-82 中图 a 可得</p> $\left. \begin{aligned} (L_1 + S_{12})^2 &= 1 + r^2 - 2r \cos(\varphi_1 + \varphi_{12}) \\ \cos \varphi_1 &= \frac{1 + r^2 - L_1^2}{2r} \end{aligned} \right\} (d)$ <p>将上式消去 <math>\varphi_1</math>，化简后得</p> $ar^4 - br^2 + c = 0 \quad (e)$ <p>式中 <math>a = 2(1 - \cos \varphi_{12})</math>  <math>b = 2[(2L_1^2 + 2L_1S_{12} + S_{12}^2)(\cos \varphi_{12} - 1) + 2\cos \varphi_{12}(\cos \varphi_{12} - 1)]</math>  <math>c = (L_1 + S_{12})^4 - 2(L_1 + S_{12})^2 + [(L_1 + S_{12})^2 - 1](2 - 2L_1^2) \cos \varphi_{12} + L_1^4 - 2L_1^2 + 2</math></p> <p>由式 (e) 和式 (d) 可分别解出 <math>r</math> 和 <math>\varphi_1</math></p>
举例	<p>某汽车吊要求举升油缸将起重臂从 <math>\varphi_1 = 0</math> 举升到 <math>\varphi_2 = 60^\circ</math>，试确定 <math>\sigma</math> 和 <math>\rho</math> 值</p> <p>解 取活塞杆伸出系数 <math>\lambda = 1.6</math>，代入式 (b) 得 <math>A = C = 1.56</math>、<math>B = -4.12</math>，再代入式 (a) 和式 (c) 可得两组数值</p> $\left\{ \begin{aligned} \sigma_1 &= 2.183 \\ \rho_1 &= 1.183 \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} \sigma_2 &= 0.458 \\ \rho_2 &= 0.549 \end{aligned} \right.$ <p>根据汽车底盘结构取机架长度 <math>d = 1400\text{mm}</math>，则可得</p> $\left\{ \begin{aligned} r_1 &= 3056\text{mm} \\ L_1 &= 1656\text{mm} \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} r_2 &= 641\text{mm} \\ L_2 &= 768\text{mm} \end{aligned} \right.$	<p>某摆动导板送料辊的摆动油缸机构，要求导板的摆角 <math>\varphi_{12} = 60^\circ</math>，<math>S_{12} = 0.5\text{m}</math>，<math>L_1 = d = 1\text{m}</math>，试决定 <math>r</math> 和 <math>\varphi_1</math> 值</p> <p>解 将已知数据代入式 (d) 及式 (e) 可求得两组解</p> $\left\{ \begin{aligned} r &= 0.6376\text{m} \\ \varphi_1 &= 71^\circ 24' \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} r &= 1.96\text{m} \\ \varphi_1 &= 11^\circ 24' \end{aligned} \right.$ <p>载荷不大时，两组数据都可采用</p>

# 第 3 章 组合机构的分析与设计

许多机械设备中，特别是自动机械，由于需要执行多种多样的运动，而且各种动作之间又有一定的配合要求，如采用单一的基本机构往往无法完成工作要求。所以多数是使用多种类型机构的组合。

## 1 基本机构的主要组合型式

### (1) 基本机构的串联式组合

图 4-3-1 为由凸轮机构 125 和四杆铰链机构 2'345 串联组成的凸轮-连杆组合机构。主动构件为凸轮 1，凸轮机构的滚子摆动从动件 2 与四杆机构的输入件 2' 固连，输入运动  $\omega_1$ ，经过二套基本机构的串联组合，由杆 4 输出运动  $\omega_4$ 。

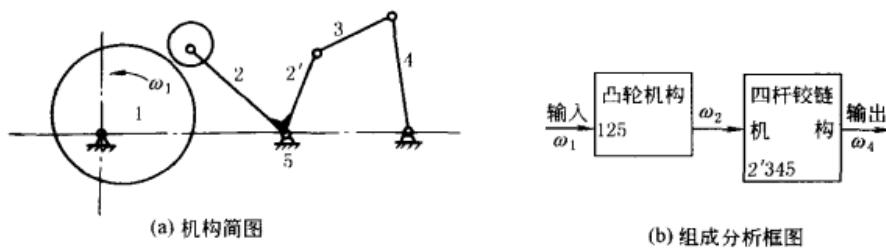


图 4-3-1 串联式机构组合

### (2) 基本机构的并联式组合

图 4-3-2 为一并联式凸轮-连杆组合机构。凸轮 1 和 1' 装在同一轴  $O$  上，输入运动  $\omega_1$  后，经过二套并联的凸轮机构 126 和 1'36，分别输出  $x$  方向的运动  $s_2$  和  $y$  方向的运动  $s_3$ ， $s_2$  和  $s_3$  使二自由度五杆机构 23456 的构件 4 和 5 的铰接点  $M$  走出工作所需要的轨迹  $mm$ 。

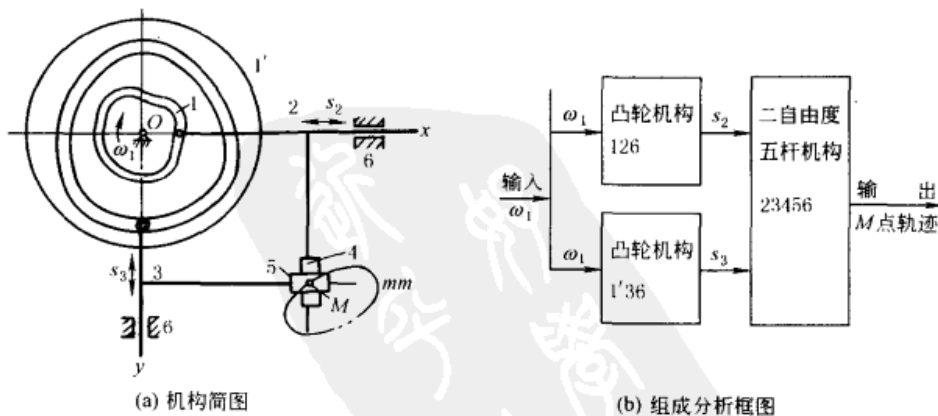


图 4-3-2 并联式机构组合

### (3) 基本机构的复联式组合

图 4-3-3 所示为一反馈型的复联式齿轮-连杆组合机构，它是由一个二自由度的五杆铰链机构 12345 和一单自



由度行星轮系  $z_3z_54$  所组成。行星轮  $z_3$  与连杆 3 固连，其中心与杆 4 在  $D$  点铰接。中心轮  $z_5$  与机架 5 固连不动，其中心与杆 4 在  $E$  点铰接。输入运动为  $\omega_1$ ，经过这两套基本机构的反馈型复联组合，使杆 2 和 3 的铰接点  $C$  输出工作所需要的运动轨迹  $mm$ 。

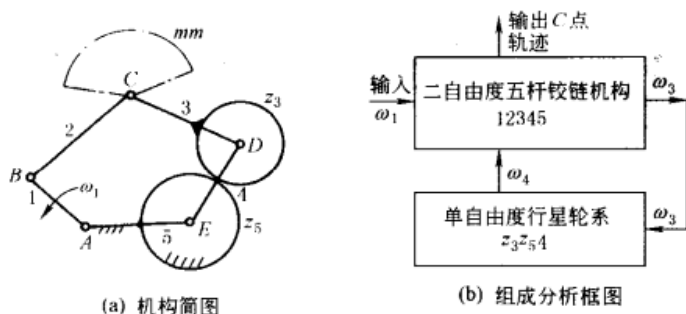


图 4-3-3 反馈型复联式齿轮-连杆组合机构

图 4-3-4 所示为一装载型的复联式齿轮-连杆组合机构，即电风扇上的自动摇头机构。它是由一蜗杆蜗轮机构  $z_5z_2$  装载在一双摇杆机构 1234 上所组成，电动机装在杆 1 上，驱动蜗杆  $z_5$  和风扇，蜗轮  $z_2$  与连杆 2 固连，其中心与杆 1 在  $B$  点铰接。当电动机  $M$  带动风扇以角速度  $\omega_{51}$  转动时，通过蜗杆蜗轮机构使摇杆 1 以角速度  $\omega_1$  来回摆动，即使风扇头摇摆。

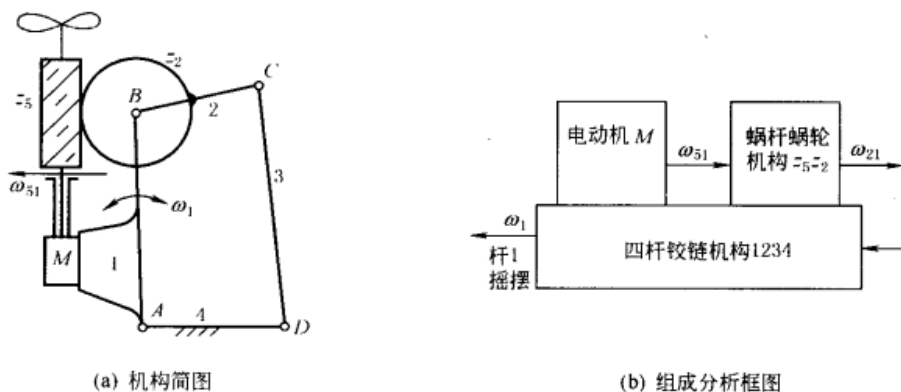


图 4-3-4 装载型复联式齿轮-连杆组合机构

## 2 凸轮-连杆组合机构

凸轮-连杆组合机构是由连杆机构和凸轮机构按一定工作要求组合而成，它综合了这两种机构各自的优点。这种组合机构中，多数是以连杆机构为基础，而凸轮起调节和补偿作用，以执行单纯连杆机构无法实现或难以设计的运动要求。但有时也以凸轮机构为主体，通过连杆机构的运动变换使输出的从动件能满足各种工作要求。

### 2.1 固定凸轮-连杆组合机构

#### (1) 实现给定轨迹的固定凸轮-连杆组合机构

图 4-3-5 为由连杆机构 12345 和固定凸轮 5 所组成的组合机构。主动件 1 以  $\omega_1$  转动时，连杆 2 上  $D$  点执行给定轨迹  $mm$ 。这种组合机构的运动相当于杆长  $BC$  可变的四杆铰链机构  $OABC$ ，因而克服了一般四杆铰链机构的连杆曲线无法精确实现给定轨迹的要求。其设计步骤和方法如下。

- ① 建立坐标系  $Oxy$ 。一般取原点  $O$  为输入轴轴心， $x$  轴为连心线  $OC$  方向。
- ② 将给定的轨迹  $mm$  分成若干分点，定出一系列的向径  $r_D$  和  $\phi_D$ 。

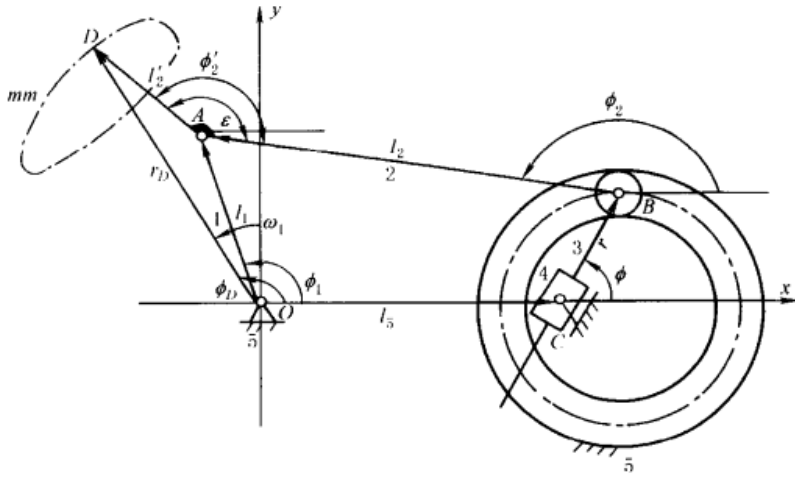


图 4-3-5 固定凸轮-连杆组合机构

- ③ 选定杆长  $l_1$ 、 $l_2$  和  $l_5$ ，以及执行点  $D$  在连杆 2 上的位置  $l'_2$  和  $\varepsilon$  角。
- ④ 确定  $A$  点的一系列分度位置，以  $O$  为中心、 $l_1$  为半径作曲柄圆，以一系列  $D$  为中心、 $l'_2$  为半径作圆弧，它与曲柄圆的交点即得一系列的  $A$  点。
- ⑤ 确定  $B$  点的一系列位置。连  $AD$ ，在此基础上按角  $\varepsilon$  和杆长  $l_2$  定出一系列的  $B$  点相应位置。
- ⑥ 画出凸轮 5 的廓线，把一系列的  $B$  点连成曲线即凸轮的理论廓线。在理论廓线上作一系列的滚子圆，其内、外包络线即固定凸轮 5 的曲线槽。
- ⑦ 凸轮理论廓线的极坐标方程式（以  $C$  为极坐标中心， $\phi$  角由  $x$  轴起逆时针量度）。凸轮的理论廓线方程式为：

$$\left. \begin{aligned} r &= [(r_D \cos \phi_D - l_2 \cos \phi_2 - l'_2 \cos \phi'_2 - l_5)^2 + (r_D \sin \phi_D - l_2 \sin \phi_2 - l'_2 \sin \phi'_2)^2]^{1/2} \\ \phi &= \arctan \left( \frac{r_D \sin \phi_D - l_2 \sin \phi_2 - l'_2 \sin \phi'_2}{r_D \cos \phi_D - l_2 \cos \phi_2 - l'_2 \cos \phi'_2 - l_5} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4-3-1)$$

其中

$$\phi'_2 = \phi_D \pm \arccos \left( \frac{r_D^2 + l_2'^2 - l_1^2}{2r_D l_2'} \right) \quad (4-3-2)$$

$$\phi_2 = \pi + \phi'_2 - \varepsilon \quad (4-3-3)$$

$$\phi_1 = \phi_D - \left[ \pm \arccos \left( \frac{r_D^2 + l_1^2 - l_2^2}{2r_D l_1} \right) \right] \quad (4-3-4)$$

式中， $\pm$ 号按机构的位置连续性取定。

#### (2) 实现给定运动规律的固定凸轮-连杆组合机构

图 4-3-6 为一由连杆机构和固定凸轮组成的组合机构。主动件 1 以等角速度  $\omega_1$  连续旋转，通过连杆 2 和 3 带动滑块 4 往复移动。这种组合机构相当于从动曲柄  $CE$  长度可变的六杆机构  $ABCDE$  ( $E$  为凸轮理论轮廓曲线的曲率中心)。具有较长停歇期，可用尺寸较小的凸轮来实现较大输出行程的优点。其设计步骤和方法如下。

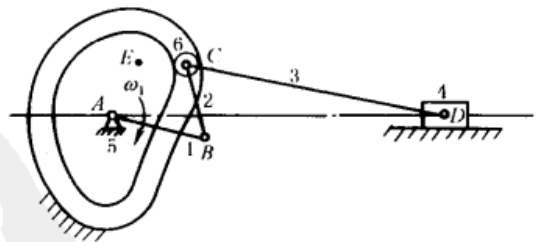


图 4-3-6 固定凸轮-连杆组合机构

- ① 给定设计条件。主动曲柄长度  $l_1 = 20\text{mm}$ ，角速度  $\omega_1 = 10\text{s}^{-1}$ ，输出滑块的起始位置  $H_0 = 88\text{mm}$ ，行程  $H = 36\text{mm}$ ，运动规律如下：

曲柄转角 $\phi_1$	$0^\circ \sim 150^\circ$	$150^\circ \sim 270^\circ$	$270^\circ \sim 360^\circ$
滑块位移 $s_D$	等速向左 36mm	停歇	等速向右 36mm

- ② 画出输出滑块的位移曲线见图 4-3-7a。

③ 以  $A$  为中心， $l_1$  为半径作曲柄圆，顺  $\omega_1$  取 12 等分，得  $B_0$ 、 $B_1$ 、 $\dots$ 、 $B_{12}$ 。同时将行程  $H$  按图 4-3-7a 所示运动规律求得滑块相应的分点  $D_0$ 、 $D_1$ 、 $\dots$ 、 $D_{12}$ ，见图 4-3-7b。

④ 选定连杆  $BC$  和  $CD$  的长度  $l_2$  和  $l_3$ ，由相应的  $B$  和  $D$  分点中求得变长  $BD$  的最大和最小距离：

$$(l_{BD})_{\max} = 72\text{mm}, \quad (l_{BD})_{\min} = 56\text{mm}$$

一般可按下列条件求  $l_2$  和  $l_3$ ：

$$l_2 + l_3 \geq (l_{BD})_{\max} \quad l_3 - l_2 \leq (l_{BD})_{\min}$$

图 4-3-7b 中取： $l_3 = 68\text{mm}$ ， $l_2 = 16\text{mm}$ 。

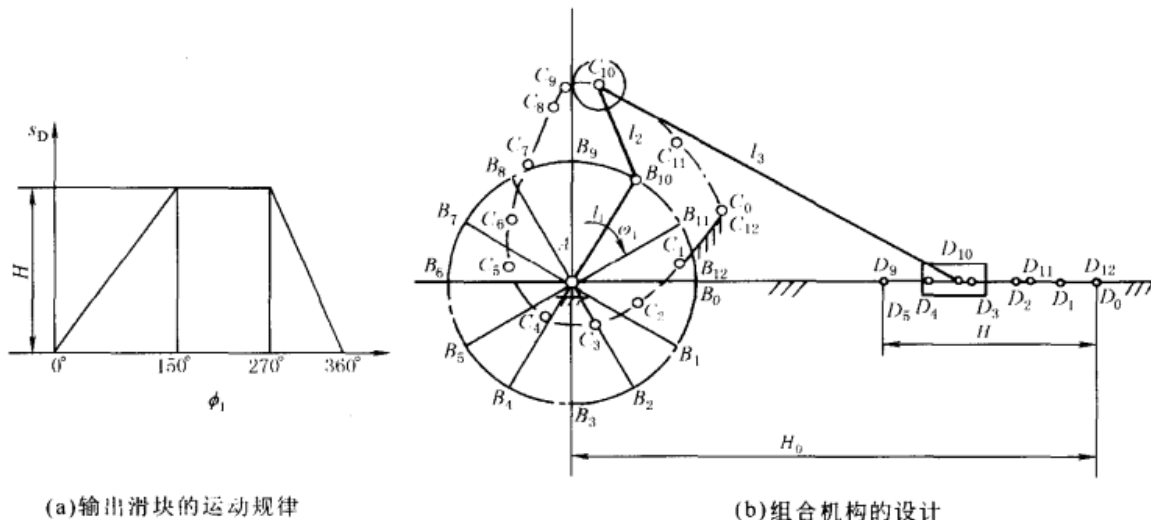


图 4-3-7 糖果包装机中应用的固定凸轮-连杆组合机构

⑤ 凸轮廓线设计，以  $B_0$  为中心、 $l_2$  为半径作圆弧，再以  $D_0$  为中心、 $l_3$  为半径作圆弧，两圆弧的交点为  $C_0$ ，它就是主动曲柄转角  $\phi_1 = 0$  时凸轮理论廓线上的点。同理，分别作出 12 个  $C$  点，各个  $C$  点连接起来即固定凸轮的理论廓线。在理论廓线上作一系列滚子圆，其内外包络线即凸轮的工作廓线（图中未画出）。

## 2.2 转动凸轮-连杆组合机构

这种组合机构是以一个二自由度的五杆机构为基础，利用和主动件一起转动的凸轮来控制五杆机构两个输入运动间的关系，从而使输出的运动实现给定的工作要求。这种组合机构主要有下列两种型式。

(1) 用凸轮来控制从动曲柄（或摇杆）的运动

图 4-3-8a 为一由五杆机构 12345 和凸轮机构 145 所组成的相当于机架铰链点  $D$  的位置可变动的四杆铰链机构  $AB-CD$ ，其设计步骤和方法如下。这种组合机构的另外一种常见型式是将凸轮机构中的移动从动件 4 改为摆动从动件。

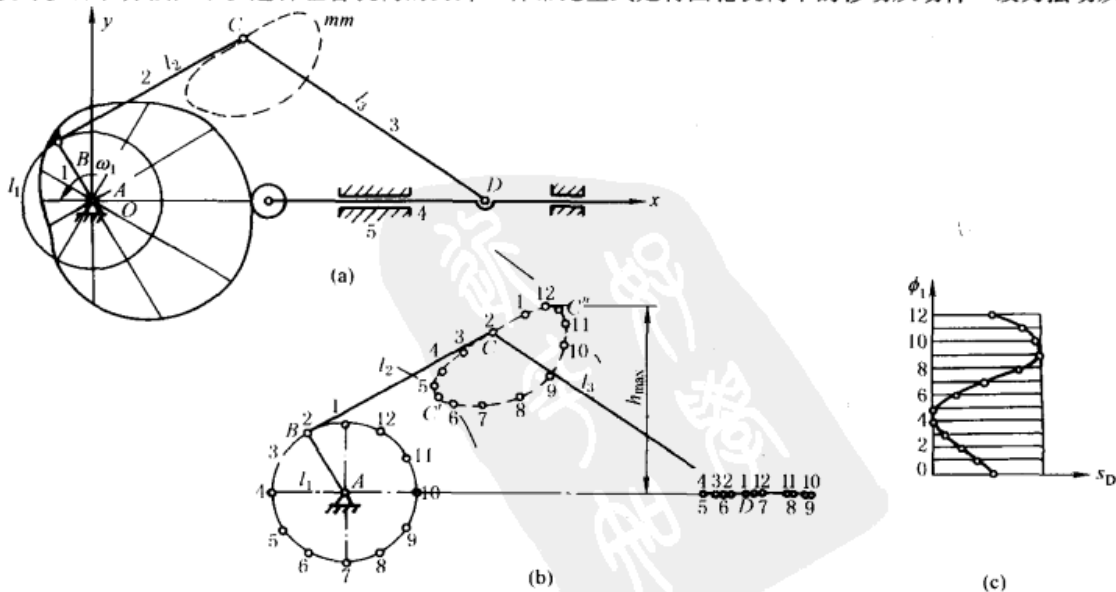


图 4-3-8 转动凸轮-五杆组合机构

- ① 建立坐标系  $Oxy$ 。一般原点  $O$  与输入轴  $A$  重合,  $x$  与从动件 4 的移动导路方向平行或重合。
- ② 选定曲柄  $AB$  和连杆  $BC$ 、 $CD$  的长度  $l_1$ 、 $l_2$  和  $l_3$ ;

$$l_1 = \frac{1}{2}(l_{AC'} - l_{AC''}), l_2 = \frac{1}{2}(l_{AC'} + l_{AC''}), l_3 > h_{\max}$$

$l_{AC'}$  和  $l_{AC''}$  是  $A$  到  $mm$  曲线的最近和最远距离。 $h_{\max}$  是  $mm$  曲线与构件 4 导路线之间的最远距离。

③ 作曲柄圆 (图 4-3-8b), 并顺  $\omega_1$  方向 12 等分, 得  $B$  点。以各个  $B$  点为中心、 $l_2$  为半径, 与  $mm$  曲线的交点即得 12 个相应的  $C$  点, 再以各个  $C$  点为中心、 $l_3$  为半径, 与杆 4 导路线的交点即得 12 个相应的分点  $D$ 。

④ 作出从动件 4 的位移曲线  $s_D - \phi_1$ , 根据构件 1 各个等分角  $\phi_1$  时的  $D$  点位置, 画出其位移曲线 (图 4-3-8c), 注意  $\phi_1 = 0^\circ$  时, 不一定就是从动件 4 的左极限或右极限位置。

⑤ 画出凸轮廓线。根据此位移曲线, 用移动从动件盘形凸轮廓线的绘制方法作出凸轮的理论廓线和工作廓线。

⑥  $mm$  曲线的参数方程式

$$\left. \begin{aligned} x_C &= l_1 \cos \phi_1 + l_2 \cos \phi_2 \\ y_C &= l_1 \sin \phi_1 + l_2 \sin \phi_2 \end{aligned} \right\} \quad (4-3-5)$$

设计时选定  $mm$  曲线上各个  $C$  点的坐标  $(x_C, y_C)$ , 选定  $l_1$  和  $l_2$ , 按上式求出相应的  $\phi_1$  和  $\phi_2$ 。

⑦ 求  $D$  点的位置 ( $AD = h_4$ ) 以及从动件 4 的位移规律  $s_D = f(\phi_1)$ 。

$$\tan \phi_2 = (M \pm \sqrt{M^2 + N^2 - P^2}) / (N + P) \quad (4-3-6)$$

其中:

$$M = 2l_1 l_2 \sin \phi_1 \quad (4-3-7)$$

$$N = 2l_1 l_2 \cos \phi_1 - 2l_2 h_4 \quad (4-3-8)$$

$$P = l_3^2 - l_1^2 - l_2^2 - h_4^2 + 2l_1 h_4 \cos \phi_1 \quad (4-3-9)$$

将选定的  $l_1$ 、 $l_2$  和  $l_3$  以及由式 (4-3-5) 求得的  $\phi_1$  和  $\phi_2$  代入上列四式, 便可求得和  $\phi_1$  相对应的一系列  $h_4$ , 从而得出从动件 4 的位移规律  $s_D = f(\phi_1)$ 。

⑧ 按  $s_D = f(\phi_1)$  用解析法求解移动从动件盘形凸轮的理论廓线和工作廓线方程式 (参见表 4-2-31)。

(2) 用凸轮来控制连杆的运动

图 4-3-9a 所示为一五杆机构 12345 和凸轮 1 组成的组合机构。这种组合机构相当于连杆  $AC$  长度可变的四杆铰链机构  $OACD$ , 只要改变凸轮的轮廓曲线形状就可控制  $AC$  长度的变化规律, 设计时, 可将其转化为运动相当的连杆机构, 用封闭矢量法求解, 如图 4-3-9b 所示。这种组合机构的设计步骤和方法如下。

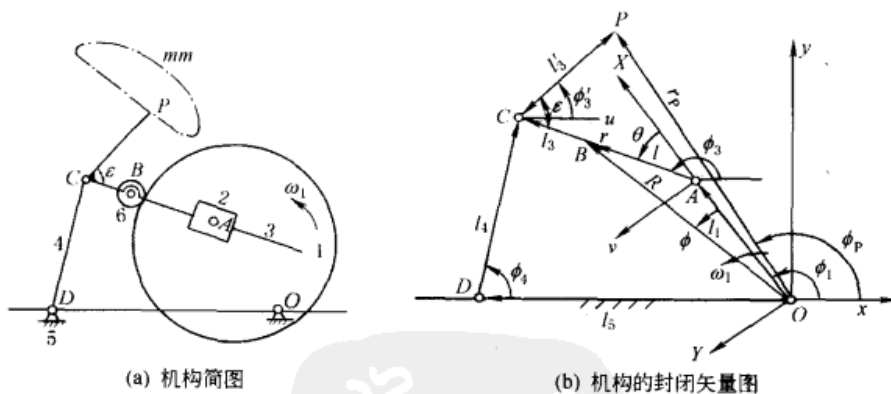


图 4-3-9 凸轮-五杆组合机构

- ① 建立定坐标系  $Oxy$ 。一般取原点与输入轴重合,  $Ox$  为连心线  $OD$  方向。
  - ② 选定连杆机构中各杆的尺度。 $l_1 = OA$ ,  $l_3 = BC$ ,  $l_3' = CP$ ,  $l_4 = DC$ ,  $l_5 = OD$ ,  $\angle PCB = \varepsilon$ , 这些都是不变的尺度。变量  $r = AB$ 。
  - ③ 将给定的  $mm$  曲线用矢量表示为: 向径  $r_P = OP$ , 位置角  $\phi_P$ 。
  - ④ 求出杆  $ABC$ 、杆  $CP$  和杆  $DC$  的位置角  $\phi_3$ 、 $\phi_3'$  和  $\phi_4$ 。
- 由机构位置的封闭矢量方程式可解出

$$\phi_4 = \phi_P - \left[ \pm \arccos \left( \frac{r^2 + l_4^2 - l_3'^2}{2Fl_4} \right) \right] \quad (4-3-10)$$



$$\phi'_3 = \phi_F \pm \arccos\left(\frac{F^2 + l_3'^2 - l_4^2}{2Fl_3'}\right) \quad (4-3-11)$$

式中

$$\phi_3 = \pi + \phi'_3 - \varepsilon$$

$$F = (r_p^2 + l_5^2 - 2r_p l_5 \cos\phi_p)^{1/2} \quad (4-3-12)$$

$$\phi_F = \arctan\left(\frac{r_p \sin\phi_p}{l_5 + r_p \cos\phi_p}\right)$$

⑤ 求出可变长度  $r$

$$r = G \cos(\phi_G - \phi_3) - l_1 \cos(\phi_1 - \phi_3) - l_3 \quad (4-3-13)$$

式中  $G = (l_4^2 + l_5^2 - 2l_4 l_5 \cos\phi_4)^{1/2}$

$$\phi_G = \arctan\left(\frac{l_4 \sin\phi_4}{l_4 \cos\phi_4 - l_5}\right)$$

⑥ 求出主动件 1 的相应转角  $\phi_1$

$$\phi_1 = \phi_3 + \arcsin\left[\frac{G \sin(\phi_G - \phi_3)}{l_1}\right] \quad (4-3-14)$$

⑦ 求凸轮理论廓线在动坐标  $uAv$  上的方程式。动坐标  $uAv$  和构件 1 固连，原点在  $A$ 。凸轮理论廓线在坐标系  $uAv$  上的极坐标方程式：

$$\left. \begin{aligned} r &= G \cos(\phi_G - \phi_3) - l_1 \cos(\phi_1 - \phi_3) - l_2 \\ \theta &= \phi_3 - \phi_1 \end{aligned} \right\} \quad (4-3-15)$$

直角坐标方程式：

$$\left. \begin{aligned} u &= r \cos\theta \\ v &= r \sin\theta \end{aligned} \right\} \quad (4-3-16)$$

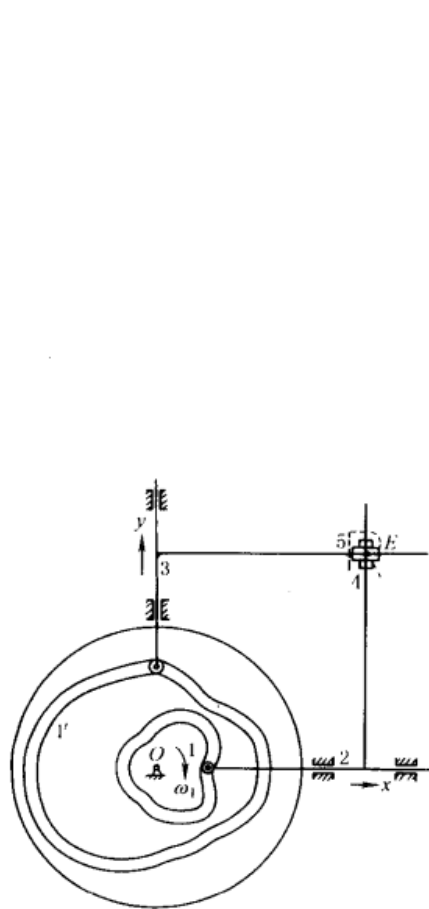


图 4-3-10 联动凸轮-连杆组合机构

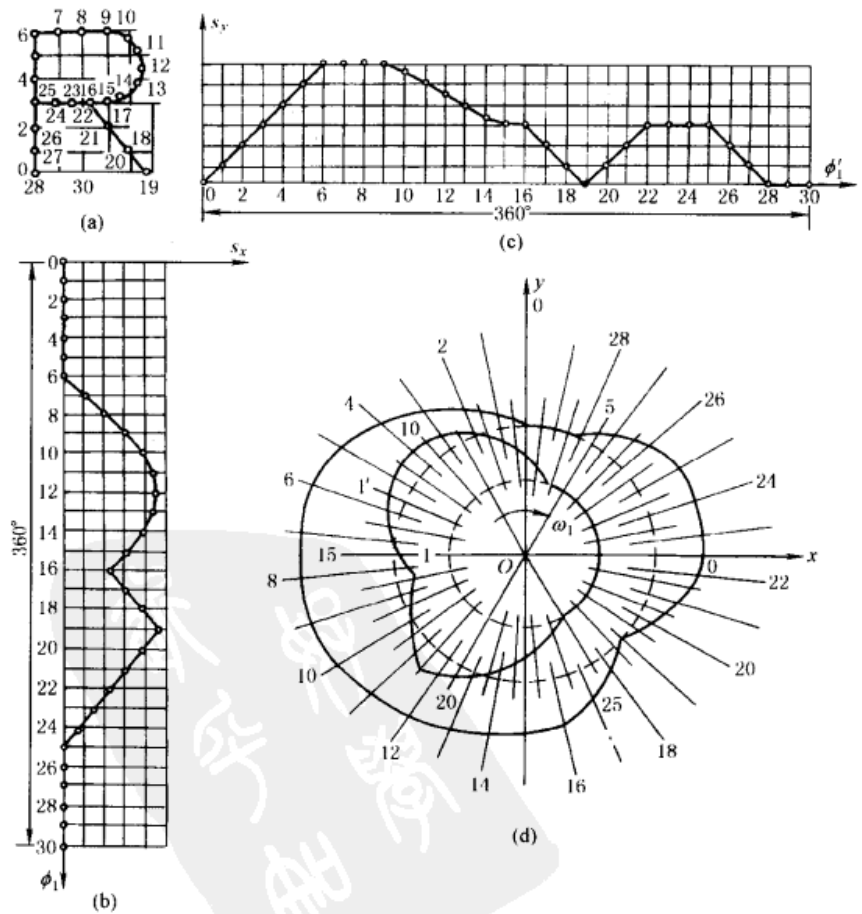


图 4-3-11 描绘曲线  $R$  的联动凸轮-连杆组合机构的设计

## 2.3 联动凸轮-连杆组合机构

这种组合机构是以联动凸轮机构为主体，连杆机构作为实现复杂工作要求的执行部分。

图 4-3-10 所示联动凸轮-连杆组合机构中，主动件是两个固连在一起的盘形槽凸轮 1 和 1'，当凸轮 1 和 1' 转动时，根据这两个凸轮的不同轮廓形状和相互间的位置配合关系，可使 E 点准确地实现工作所需要的预定轨迹。这种组合机构的设计步骤和方法如下。

① 按工作要求拟定出 E 点描绘给定轨迹 R 的路线，并确定分点。在选择路线时注意必须轨迹连续，首末衔接，为了轨迹连续，允许 E 点走的路线有重复。图 4-3-11a 中将轨迹 R 分成 30 点。

② 将凸轮 1 和 1' 的转角  $\phi_1$  和  $\phi_1'$  按一圈 30 等分，分别作出 E 点在 x 和 y 方向的位移  $s_x$  和  $s_y$ ，并连成位移曲线  $s_x-\phi_1$  和  $s_y-\phi_1'$  (图 b 和图 c)。

③ 选定凸轮 1 和 1' 的起始位置并作出其一圈中的各等分角。图 4-3-11d 中，取凸轮 1 的起始位置  $\phi_{10}$  为  $Ox$  方向，取凸轮 1' 的起始位置  $\phi_{10}'$  为  $Oy$  方向。逆凸轮  $\omega_1$  方向各取一圈 30 个等分角线。

④ 作出凸轮的理论廓线和工作廓线。按凸轮轮廓设计的反转法原理，根据位移曲线  $s_x-\phi_1$  和  $s_y-\phi_1'$  分别作出移动从动件盘形凸轮 1 和 1' 的理论廓线 (图 4-3-11d)。然后在理论廓线上作一系列滚子圆，其内外包络线即凸轮的工作廓线 (图中未画出)。

## 3 齿轮-连杆组合机构

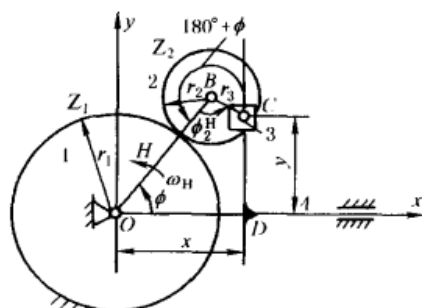
凸轮-连杆组合机构虽能完成多种运动要求，但其承载能力和加工要求均有限制，因此在某些情况下，使用齿轮-连杆组合机构也可以达到所要的运动要求，只是设计较为困难。这种组合机构中的齿轮机构，多数采用周转轮系。

### 3.1 行星轮系与 II 级杆组的组合机构

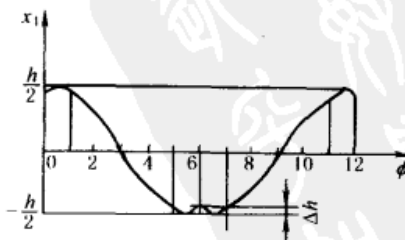
这种组合机构是由一个最简单的单排内啮合或外啮合行星轮系与一个 II 级杆组串联组成，一般以行星轮系的转臂为主动件，利用行星轮与杆组铰接点所走的轨迹，使输出构件实现带停歇期的往复移动或摆动。

(1) 单排外啮合行星轮系与双滑块杆组的组合机构

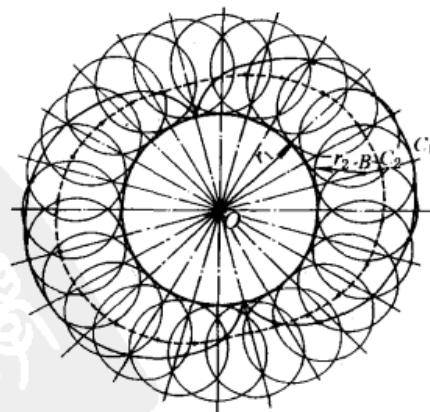
这种组合机构如图 4-3-12 所示，C 点的轨迹为外摆线或变幅外摆线，它根据两齿轮的节圆半径  $r_1$ 、 $r_2$  以及 BC 长度  $r_3$  的不同，而有不同的轨迹。图 4-3-13 为  $K=r_1/r_2=2$  时 C 点所画出的轨迹，当  $\lambda=r_3/r_2=1$  时，则  $C_1$  点的轨迹为图中实线所示的外摆线；当  $\lambda=1/3$  时，则  $C_2$  点的轨迹为虚线所示的短幅外摆线。由图中可见，此短幅外摆线上有两段为近似的直线，如滑块 3 上 C 点行经此两段近似直线时，则输出杆 4 将产生近似的停歇。这种组合机构的设计步骤和方法如下。



(a) 机构简图



(b) 输出杆的位移曲线



$K=2$  实线:  $\lambda=1$  虚线:  $\lambda=1/3$

图 4-3-12 单排外啮合行星轮系-连杆组合机构

图 4-3-13 外摆线和变幅外摆线

① 行星轮系 12H 中各构件间的角速比和转角关系。

$$i_{2H} = \omega_2 / \omega_H = 1 + K \quad (4-3-17)$$

轮 2 的转角:

$$\phi_2 = (1 + K)\phi \quad (4-3-18)$$

轮 2 相对 H 的转角:

$$\phi_2^H = \phi_2 - \phi = K\phi \quad (4-3-19)$$

式中  $\phi$ ——主动转臂 H 的转角;

$K$ ——齿数比,  $K = z_1 / z_2$ 。

② 行星齿轮 2 上 C 点的轨迹方程式。

$$\left. \begin{aligned} x_C &= (r_1 + r_2) \cos\phi - r_3 \cos(1 + K)\phi \\ y_C &= (r_1 + r_2) \sin\phi - r_3 \sin(1 + K)\phi \end{aligned} \right\} \quad (4-3-20)$$

式中  $r_1$ 、 $r_2$ ——齿轮 1 与 2 的节圆半径;

$r_3$ ——BC 的长度。

③ 输出杆 4 的位置和行程  $h$ 。

$$\left. \begin{aligned} x_4 &= H \cos\phi - r_3 \cos(1 + K)\phi \\ y_4 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4-3-21)$$

式中  $H$ ——转臂的长度, 当  $\phi = 0$  时,  $x_4 = H - r_3$ ;  $\phi = \pi$  时,  $x_4 = -(H - r_3)$ 。

行程

$$h = (H - r_3) + (H - r_3) = 2(H - r_3) \quad (4-3-22)$$

图 4-3-12b 为转臂 H 转一周中输出杆 4 的位移曲线  $x_4 = f(\phi)$ , 此机构取  $K = 2$ 。

④ 输出杆 4 的速度  $v_4$  和加速度  $a_4$ 。

$$v_4 = \dot{x}_4 = -\omega_H [H \sin\phi - (1 + K)r_3 \sin(1 + K)\phi] \quad (4-3-23)$$

$$a_4 = \ddot{x}_4 = -\varepsilon_H [H \sin\phi - (1 + K)r_3 \sin(1 + K)\phi] - (\omega_H)^2 [H \cos\phi - (1 + K)r_3 \cos(1 + K)\phi] \quad (4-3-24)$$

式中  $\omega_H$ ——转臂 H 的角速度;

$\varepsilon_H$ ——转臂 H 的角加速度, 当  $\omega_H$  为常数时,  $\varepsilon_H = 0$ 。

⑤ 如工作要求输出杆 4 在其行程两端具有近似停歇区, 并给定转臂 H 的相应转角, 计算转臂长度  $H$  与  $r_3$  的比值  $\sigma$  和  $r_3$  与  $r_2$  的比值  $\lambda$ 。本例中取  $K = 2$ , 并给定输出杆 4 在行程两端近似停歇时转臂 H 的相应转角各为  $60^\circ$ 。设计时, 假定输出杆在行程两端停歇时的位置为对称分布, 即按  $\phi = 0^\circ$  和  $\phi = 30^\circ$  时的  $x_4$  值相等的条件求解 (同理, 按  $\phi = 150^\circ$  和  $\phi = 180^\circ$  时  $x_4$  值相等的条件), 可得:

$$H - r_3 = H \cos 30^\circ$$

$$\sigma = \frac{H}{r_3} = 7.4627$$

$$\lambda = \frac{r_3}{r_2} = \frac{1 + K}{\sigma} = \frac{1 + 2}{7.4627} = 0.402$$

⑥ 行程  $h$  及其微动值  $\Delta h$ 。输出杆 4 在极限位置时转臂 H 相应的位置角  $\phi$  可按下列法求得: 令式 (4-3-23) 中  $x_4 = 0$ , 并将  $\sigma$  值代入可得  $\phi = 0^\circ$  及  $\phi = 20.96^\circ$ , 然后以  $\phi = 20.96^\circ$  及  $x_4 = 0.5h$  代入式 (4-3-21) 求得  $h = 1.74549H$ ,  $\Delta h = 0.5h - (H - r_3) = -0.00673H = -0.00386h$ , 这表示微动值  $\Delta h$  仅占行程  $h$  的 0.4% 左右, 所以实际上由于运动副中间隙等因素存在, 在输出杆 4 的行程两端, 相应于主动件 H 的转角  $60^\circ$  范围内, 将出现有一段时间的停歇期。

(2) 单排内啮合行星轮系与 II 级杆组的组合 (实现近似停歇运动)

表 4-3-1 中图 a 为这种组合机构  $K = r_1 / r_2 = 3$ ,  $\lambda = r_3 / r_2 = 1$  时 C 点的轨迹  $mm$ ; 当  $\lambda = 1/2$  时, 则 C 点的轨迹为具有近似直线段的带圆角三角形如图 b; 当  $\lambda = 1.5$  时, 则 C 点的轨迹为长幅内摆线 (图未示出)。若选取适当的连杆长度  $l_3$ , 使以 D 为中心、 $l_3$  为半径的圆弧通过内摆线  $mm$  上的 C、C' 和 C'' 点, 则输出滑块 4 将出现近似停歇段, 且有相应于主动转臂转角为  $\pm\phi$  的停歇时间。如果将图 a 的滑块 4 改为摇杆 5 (如虚线所示), 则输出摇杆 5 在摆动到其右极限位置时将具有停歇期。改变  $K$  和  $\lambda$  可以得到不同形状的变幅内摆线, 图 c 所示为  $K = 4$ ,  $\lambda = 1/3$  时, C 点的轨迹为具有近似直线段的带圆角正方形; 如取  $K = 2.5$ ,  $\lambda = 2/3$ , 此时 C 点的轨迹为具有近似直线段的带圆角五角星形 (如图 d)。图 b、c 为 C 点处再铰接一个双滑块杆组 34, 则当 C 点途经近似直线段时, 输出杆 4 将出现停歇期。这种组合机构的设计步骤和方法见表 4-3-1。

表 4-3-1 单排内啮合式行星轮系-连杆组合机构的计算

机构简图

<p>(a) <math>K = \frac{r_1}{r_2} = 3, \lambda = \frac{r_3}{r_2} = 1</math></p>	<p>(b) <math>K = \frac{r_1}{r_2} = 3, \lambda = \frac{r_3}{r_2} = \frac{1}{2}</math></p>	<p>(c) <math>K = \frac{r_1}{r_2} = 4, \lambda = \frac{r_3}{r_2} = \frac{1}{3}</math></p>	<p>(d) <math>K = \frac{r_1}{r_2} = 2.5, \lambda = \frac{r_3}{r_2} = \frac{2}{3}</math></p>
<p>已知条件</p>	<p><math>K = r_1/r_2 = z_1/z_2, \omega_H</math>  <math>l_1 = l_{OB} = (K-1)r_2, l_2 = l_{BC} = r_3 = \lambda r_2, l_3</math> 由结构取定</p>		
<p>构件的角速比与转角关系</p>	<p><math>i_{2H} = \omega_2/\omega_H = 1 - K, \phi_2 = (1 - K)\phi</math>              相对转角: <math>\phi_2^H = \phi_2 - \phi = -K\phi</math>              式中 <math>\phi</math> —— 主动臂 H 的转角</p>		
<p>C 点坐标</p>	<p><math>x = l_1 \cos\phi - l_2 \cos\phi (K-1)\phi</math>  <math>= r_2 [(K-1) \cos\phi - \lambda \cos(K-1)\phi]</math>  <math>y = l_1 \sin\phi + l_2 \sin(K-1)\phi</math>  <math>= r_2 [(K-1) \sin\phi + \lambda \sin(K-1)\phi]</math></p>		
<p>当 <math>\phi = 0</math> 时, <math>x = x_0</math></p>	<p><math>x_0 = l_1 - l_2 = r_2 (K-1 - \lambda)</math></p>		
<p>当 <math>\phi = 180^\circ</math> 时 <math>x = x_{\min}</math></p>	<p><math>x_{\min} = -(l_1 + l_2) = -r_2 (K-1 + \lambda)</math></p>		
<p>构件 4 的行程</p>	<p><math>h = x_0 - x_{\min}</math></p>		
<p>构件 4 的位移</p>	<p><math>S = x - x_{\min} + l_3 (\cos\gamma - 1), \sin\gamma = \gamma/l_3</math> 图 b, d; <math>\gamma = 0, l_3 = \infty</math></p>		
<p>x, y 对 <math>\phi</math> 的导数</p>	<p><math>dx/d\phi = (K-1)r_2 [-\sin\phi + \lambda \sin(K-1)\phi]</math>  <math>dy/d\phi = (K-1)r_2 [\cos\phi + \lambda \cos(K-1)\phi]</math></p>		
<p>构件 4 的速度</p>	<p><math>V_4 = ds/dt = \omega_H \left( \frac{dx}{d\phi} - \frac{y}{l_3} \cos\gamma \times \frac{d\gamma}{d\phi} \right)</math></p>		
<p>和构件 4 停歇期相对应的转臂 H 的转角 <math>\phi</math></p>	<p><math>\phi = \pm \frac{\pi}{K}</math></p>		

注: 1. 当在  $\phi = 0$  的起始位置, 铰链 C 在 OB 的延长线上时,  $\lambda$  以负值代入。  
 2. 单排行星轮系尚可与其他双杆组合成五杆齿连杆机构, 获得具有连续输出运动、往复摆动及具有停歇、中间停歇和部分逆移的往复移动, 可参阅文献 [1, 2, 23]。

### 3.2 四杆机构与周转轮系的组合机构

(1) 主动曲柄上固连有齿轮

图 4-3-14 为四杆铰链机构与周转轮系复联组成的组合机构，主动件为曲柄 1，其上固连有齿轮  $z_1$ ，其节圆半径为  $r_1$  ( $r_1$  有时也可大于曲柄长度  $l_1$ )。齿轮 5 空套在铰链 B 上，输出轮 6 空套在轴 C 上，当主动曲柄以等角速度  $\omega_1$  连续旋转时，根据四杆机构各杆尺度和齿轮齿数的不同配置，输出齿轮 6 可能得到下列三种不同类型的运动规律：①无停歇点的单向不匀速转动 (图 4-3-15a)；②有瞬时停歇 ( $m$  点) 的单向不匀速转动 (图 4-3-15b)；③有两个瞬时停歇点 ( $m$  和  $n$ ) 的不匀速转动 (图 4-3-15c)。

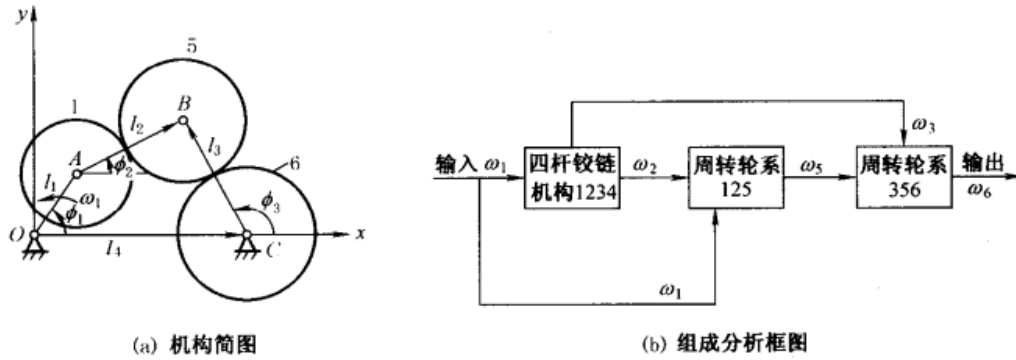


图 4-3-14 四杆铰链机构与周转轮系复联组合机构

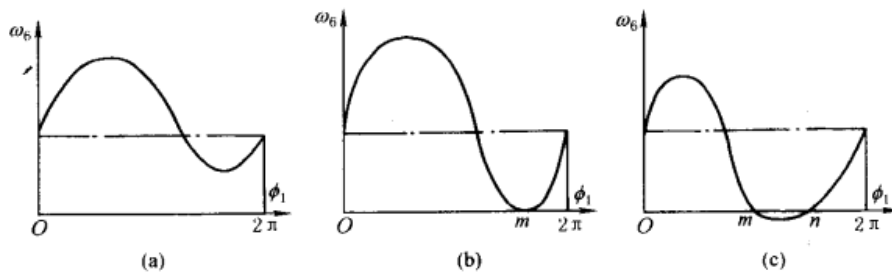


图 4-3-15 四杆铰链-周转轮系组合机构的运动规律

根据结构需要，齿轮 5 也可以做成双联的形式，如图 4-3-16 中 5 和 5'，而图 b 中输出齿轮 6 为内齿轮。四杆铰链机构与周转轮系复联组合机构的设计步骤和方法如下。

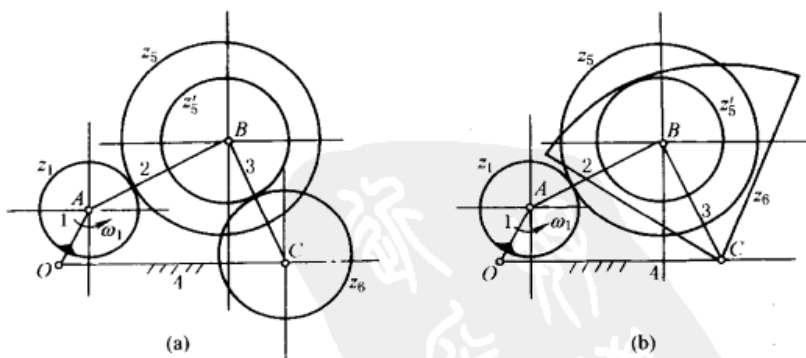


图 4-3-16 四杆铰链-周转轮系组合机构

1) 杆 2 的角位置  $\phi_2$ 、角速度  $\omega_2$  和角加速度  $\varepsilon_2$ 。

$$\phi_2 = 2 \arctan \frac{F \pm \sqrt{E^2 + F^2 - G^2}}{E - G} \tag{4-3-25}$$

$$\omega_2 = -\omega_1 \frac{l_1 \sin(\phi_1 - \phi_3)}{l_2 \sin(\phi_2 - \phi_3)} \tag{4-3-26}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{l_3 \omega_3^2 - l_1 \varepsilon_1 \sin(\phi_1 - \phi_3) - l_1 \omega_1^2 \cos(\phi_1 - \phi_3) - l_2 \omega_2^2 \cos(\phi_2 - \phi_3)}{l_2 \sin(\phi_2 - \phi_3)} \quad (4-3-27)$$

$$E = l_4 - l_1 \cos \phi_1$$

$$F = -l_1 \sin \phi_1$$

$$G = -\left(\frac{E^2 + F^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_2}\right)$$

2) 杆 3 的角位置  $\phi_3$ 、角速度  $\omega_3$  和角加速度  $\varepsilon_3$ 。

$$\phi_3 = 2 \arctan \frac{F \pm \sqrt{E^2 + F^2 - H^2}}{E - H} \quad (4-3-28)$$

$$\omega_3 = \omega_1 \frac{l_1 \sin(\phi_1 - \phi_2)}{l_3 \sin(\phi_3 - \phi_2)} \quad (4-3-29)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{l_2 \omega_2^2 + l_1 \varepsilon_1 \sin(\phi_1 - \phi_2) + l_1 \omega_1^2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - l_3 \omega_3^2 \cos(\phi_3 - \phi_2)}{l_3 \sin(\phi_3 - \phi_2)} \quad (4-3-30)$$

式中

$$H = E^2 + F^2 + l_3^2 - l_2^2 / 2l_3$$

3) 齿轮 6 的角位置  $\phi_6$ 、角速度  $\omega_6$  和角加速度  $\varepsilon_6$  (图 4-3-14 所示型式的组合机构)。

$$\phi_6 = \phi_{30} + \frac{r_1}{r_6}(\phi_1 - \phi_{10}) - \frac{l_2}{r_6}(\phi_2 - \phi_{20}) + \frac{l_3}{r_6}(\phi_3 - \phi_{30}) \quad (4-3-31)$$

$$\omega_6 = \omega_1 \Delta \frac{r_1}{r_6} \quad (4-3-32)$$

$$\varepsilon_6 = \frac{l_3}{r_6} \varepsilon_3 - \frac{l_2}{r_6} \varepsilon_2 \quad (4-3-33)$$

$$\Delta = 1 + \frac{l_1 \sin(\phi_3 - \phi_1)}{r_1 \sin(\phi_3 - \phi_2)} + \frac{l_1 \sin(\phi_2 - \phi_1)}{r_1 \sin(\phi_2 - \phi_3)} \quad (4-3-34)$$

式中  $\phi_{10}$ 、 $\phi_{20}$ 、 $\phi_{30}$ ——杆 1、2、3 的起始位置。

4) 图 4-3-16 所示型式组合机构的输出角速度  $\omega_6$ 。

$$\omega_6 = \omega_1 \Delta' \frac{r_1 r_5'}{r_5 r_6} \quad (4-3-35)$$

$$\Delta' = \pm 1 \pm \frac{l_1 \sin(\phi_3 - \phi_1)}{r_1 \sin(\phi_3 - \phi_2)} + \frac{r_5 l_1 \sin(\phi_2 - \phi_1)}{r_5' r_1 \sin(\phi_2 - \phi_3)} \quad (4-3-36)$$

图 4-3-16a 所示的外啮合用正号, 图 b 所示的内啮合用负号。

5) 齿轮 6 输出的运动规律为无停歇点的单向不匀速转动的条件是: 在主动件 1 的转角  $\phi_1$  从  $0 \rightarrow 2\pi$  中的任一位置时均应满足  $\Delta$  (或  $\Delta'$ )  $> 0$ 。

6) 齿轮 6 输出的运动规律为有一个瞬时停歇点的单向不匀速转动的条件, 是在主动件 1 的某一转角位置  $\phi_1$  时出现  $\Delta$  (或  $\Delta'$ )  $= 0$ 。

7) 齿轮 6 输出的运动规律为在  $m$  和  $n$  时出现两个瞬时停歇点的条件是在主动件 1 的某两个转角位置时 (对应  $m$  和  $n$ ), 出现  $\Delta$  (或  $\Delta'$ )  $= 0$ , 且在  $mn$  区间内满足  $\Delta$  (或  $\Delta'$ )  $< 0$ 。

8) 机构中各尺度参数对运动的影响。根据分析, 在这种组合机构中, 如果连杆机构的各杆长度不变, 只改变齿轮的齿数, 则输出齿轮的运动规律变动不大。但杆 2 和 3 的长度与齿轮的节圆半径间有一定几何关系, 即图 4-3-14 所示型式:  $l_2 = r_1 + r_5$ ,  $l_3 = r_5 + r_6$ ; 图 4-3-16a 所示型式:  $l_2 = r_1 + r_5$ ,  $l_3 = r_5' + r_6$ ; 图 4-3-16b 所示型式:  $l_2 = r_1 + r_5$ ,  $l_3 = r_6 - r_5'$ 。故这种组合机构的主要设计变量为主动曲柄的长度  $l_1$  和机架的长度  $l_4$ 。一般设计时可先定  $l_1$ , 然后再求  $l_4$ 。

$l_4 = l_{4\min}$  时, 轮 6 出现一个瞬时停歇点;  $l_4 > l_{4\min}$  时, 轮 6 有可能出现两个瞬时停歇点;  $l_4 < l_{4\min}$  时, 轮 6 只是变速无停歇。

9) 能出现瞬时停歇点的条件是  $l_4 = l_{4\min}$ 。

$$l_{4\min} = \{ [(r_1 + 2r_5 + r_6) \cos \lambda - (r_1^2 \cos^2 \lambda - r_1^2 + l_1^2)^{1/2}]^2 + r_6^2 \sin^2 \lambda \}^{1/2} \quad (4-3-37)$$

式中的  $\lambda$  需满足下列方程式:



$$K \cos^4 \lambda - L \cos^2 \lambda - M = 0 \quad (4-3-38)$$

$$K = [(r_6^2 - r_1^2)^2 - 2(r_6^2 + r_1^2)(r_1 + 2r_5 + r_6)^2 + (r_1 + 2r_5 + r_6)^4] r_1^2 \quad (4-3-39)$$

$$L = [(r_6^2 - r_1^2)^2 - 2(r_6^2 + r_1^2)(r_1 + 2r_5 + r_6)^2 + (r_1 + 2r_5 + r_6)^4] (r_1^2 - l_1^2) \quad (4-3-40)$$

$$M = (r_1 + 2r_5 + r_6)^2 (r_1^2 - l_1^2)^2 \quad (4-3-41)$$

10) 出现瞬时停歇点时的相应主动件角位置  $\phi_1$

$$\phi_1 = \arcsin\left(\frac{r_1}{l_1} \sin \lambda\right) + \arctan\left(\frac{r_6}{l_4} \sin \lambda\right) + 180^\circ \quad (4-3-42)$$

(2) 连杆上固连有齿轮

图 4-3-17 所示为四杆铰链机构与周转轮系组成的组合机构，主动件为曲柄 1，连杆 2 上固连有齿轮 2，输出件为齿轮 5。这种组合机构有两种型式；①回归式（输出轮 5 与主动件 1 共轴线）；②非回归式（输出轮 5 与杆 3 共轴线）。根据四杆机构各杆的尺度和齿轮齿数的不同配合，当主动曲柄以等角速度  $\omega_1$  连续旋转时，输出轮 5 可获得如图 4-3-15 所示的不同运动规律。这种组合机构的设计步骤和方法如下。

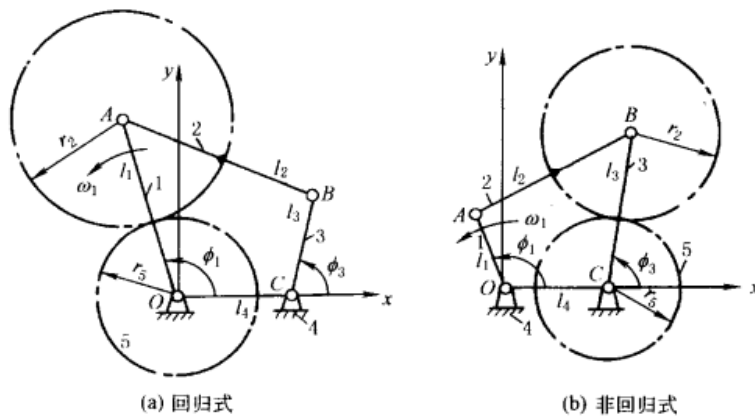


图 4-3-17 四杆铰链-周转轮系组合机构

1) 由周转轮系的角速比公式及其对时间的积分和微分可求得输出齿轮 5 的角位置  $\phi_5$ 、角速度  $\omega_5$  和角加速度  $\varepsilon_5$ 。

回归式 (图 4-3-17a): 
$$\phi_5 = \phi_{50} + (1+i)(\phi_1 - \phi_{10}) - i(\phi_2 - \phi_{20}) \quad (4-3-43)$$

$$\omega_5 = (1+i)\omega_1 - i\omega_2 \quad (4-3-44)$$

$$\varepsilon_5 = (1+i)\varepsilon_1 - i\varepsilon_2 \quad (4-3-45)$$

非回归式 (图 4-3-17b):

$$\phi_5 = \phi_{50} + (1+i)(\phi_3 - \phi_{30}) - i(\phi_2 - \phi_{20}) \quad (4-3-46)$$

$$\omega_5 = (1+i)\omega_3 - i\omega_2 \quad (4-3-47)$$

$$\varepsilon_5 = (1+i)\varepsilon_3 - i\varepsilon_2 \quad (4-3-48)$$

式中  $i$ ——齿数比,  $i = \pm \frac{z_2}{z_5}$ , 外啮合  $i$  为正, 内啮合  $i$  为负;

$\phi_{10}$ 、 $\phi_{20}$ 、 $\phi_{30}$ 、 $\phi_{50}$ ——杆 1、2、3 和轮 5 的起始位置角;

$\phi_2$ 、 $\phi_3$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$ ——杆 2 和 3 的位置角、角速度和角加速度, 由四杆铰链机构  $OABC$  求得, 可按式 (4-3-25) ~ 式 (4-3-30) 计算。

2) 输出齿轮 5 具有瞬时停歇特性时的条件, 根据机构各构件间的运动关系, 以及瞬时停歇时  $\omega_5 = 0$ 、 $\varepsilon_5 = 0$  的条件, 可由下列非线性方程组联立求解。

回归式:

$$\left. \begin{aligned} l_1^2 - l_2^2 + l_3^2 + l_4^2 - 2l_1 l_4 \cos \phi_{10} + 2l_3 l_4 \cos \phi_{30} - 2l_1 l_3 \cos(\phi_{10} - \phi_{30}) &= 0 & (a) \\ \frac{l_1}{l_4} \sin(\phi_{10} - \phi_{30}) + (1+i) \sin \phi_{30} &= 0 & (b) \\ [l_1 l_3 \sin(\phi_{10} - \phi_{30}) + l_1 l_4 \sin \phi_{10}] \sin \phi_{10} - [l_1 l_3 \sin(\phi_{10} - \phi_{30}) + l_3 l_4 \sin \phi_{30}] \sin \phi_{30} &= \cos(\phi_{10} - \phi_{30}) & (c) \end{aligned} \right\} \quad (4-3-49)$$

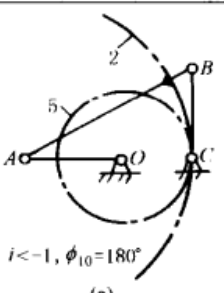
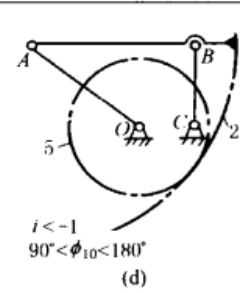
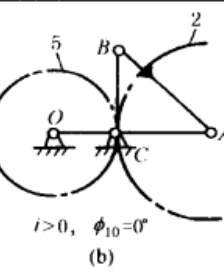
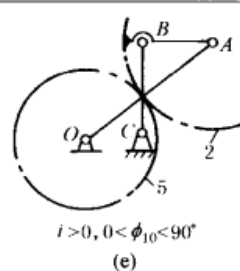
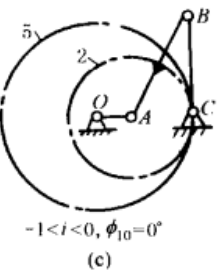
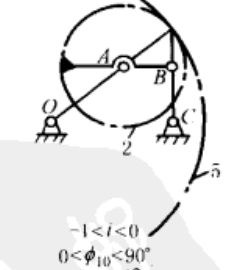
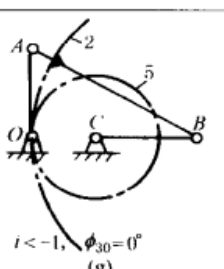
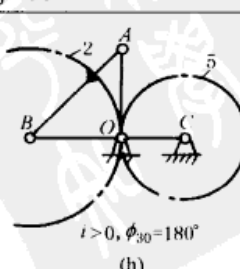
非回归式:

$$\begin{aligned}
 l_1^2 - l_2^2 + l_3^2 + l_4^2 - 2l_1l_4\cos\phi_{10} - 2l_3l_4\cos\phi_{30} - 2l_1l_3\cos(\phi_{10} - \phi_{30}) &= 0 & (a) \\
 \frac{l_3}{l_4}\sin(\phi_{10} - \phi_{30}) + (1+i)\sin\phi_{10} &= 0 & (b) \\
 [l_1l_3\sin(\phi_{10} - \phi_{30}) + l_3l_4\sin\phi_{30}]\sin\phi_{30} - [l_1l_3\sin(\phi_{10} - \phi_{30}) + & & (c) \\
 l_1l_4\sin\phi_{10}]\sin\phi_{10} &= \cos(\phi_{10} - \phi_{30}) &
 \end{aligned}
 \tag{4-3-50}$$

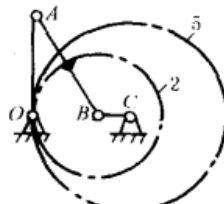
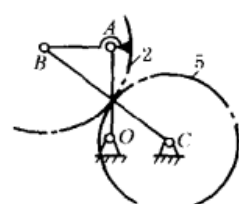
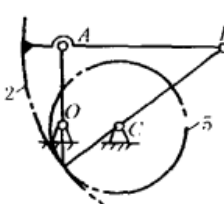
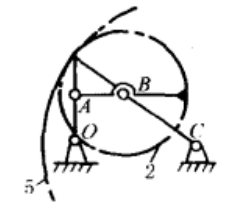
上列方程组中均含有六个未知数,即  $l_1/l_4$ 、 $l_2/l_4$ 、 $l_3/l_4$ 、 $i$ 、 $\phi_{10}$  和  $\phi_{30}$ 。设计时一般可先选定四杆铰链机构的杆长比  $l_1/l_4$ 、 $l_2/l_4$ 、 $l_3/l_4$ , 然后按照上列方程组求出  $i$ 、 $\phi_{10}$  和  $\phi_{30}$ 。

表 4-3-2 列出了几种具有瞬时停歇特性的四杆-周转轮系组合机构的尺度设计计算公式,其主要设计步骤为:①选定表中给出的  $\phi_{10}$  和  $\phi_{30}$ ;②选定齿轮 2 与 5 是内啮合还是外啮合,及其齿数比  $i$  的范围;③计算四杆铰链机构中各杆的长度比,一般可先选定  $l_4 = 1$ , 表中所列公式中,  $l_1/l_4$ 、 $l_2/l_4$ 、 $l_3/l_4$  均取绝对值;④杆长选定后,应按表中最后一栏所列公式校验并确认一下四杆铰链机构的属性。

表 4-3-2 几种具有停歇特性的四杆铰链-周转轮系组合机构

机构类型及简图	机构的尺度计算公式 构成双曲柄、曲柄 摇杆机构的几何条件	机构类型及简图	机构的尺度计算公式 构成双曲柄、曲柄 摇杆机构的几何条件
回归式 $\phi_{30} = 90^\circ$			
 <p><math>i &lt; -1, \phi_{10} = 180^\circ</math> (a)</p>	$\frac{l_1}{l_4} = i - 1$ $\frac{l_2}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_3}{l_4}\right)^2 + i^2}$ 双曲柄: $l_4$ 应为最短杆 曲柄摇杆: $l_1$ 或 $l_3$ 为最短杆 后同	 <p><math>i &lt; -1</math> <math>90^\circ &lt; \phi_{10} &lt; 180^\circ</math> (d)</p>	$\frac{l_1}{l_4} = (i - 1) / \cos\phi_{10}$ $\frac{l_2}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_3}{l_4}\right)^2 - (l_3/l_4)^2 + 1}$
 <p><math>i &gt; 0, \phi_{10} = 0^\circ</math> (b)</p>	$\frac{l_1}{l_4} = 1 + i$ $\frac{l_2}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_3}{l_4}\right)^2 + i^2}$	 <p><math>i &gt; 0, 0 &lt; \phi_{10} &lt; 90^\circ</math> (e)</p>	$\frac{l_1}{l_4} = (1 + i) / \cos\phi_{10}$ $\frac{l_2}{l_4} = i$ $\frac{l_3}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_1}{l_4}\right)^2 - (1 + i)^2}$
 <p><math>-1 &lt; i &lt; 0, \phi_{10} = 0^\circ</math> (c)</p>	$\frac{l_1}{l_4} = 1 - i$ $\frac{l_2}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_3}{l_4}\right)^2 + i^2}$	 <p><math>-1 &lt; i &lt; 0</math> <math>0 &lt; \phi_{10} &lt; 90^\circ</math> (f)</p>	$\frac{l_1}{l_4} = (1 - i) / \cos\phi_{10}$ $\frac{l_2}{l_4} = i$ $\frac{l_3}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_1}{l_4}\right)^2 - (1 - i)^2}$
非回归式 $\phi_{10} = 90^\circ$			
 <p><math>i &lt; -1, \phi_{30} = 0^\circ</math> (g)</p>	$\frac{l_2}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_1}{l_4}\right)^2 + i^2}$ $\frac{l_3}{l_4} = i - 1$	 <p><math>i &gt; 0, \phi_{30} = 180^\circ</math> (h)</p>	$\frac{l_2}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_1}{l_4}\right)^2 + i^2}$ $\frac{l_3}{l_4} = 1 + i$



机构类型及简图	机构的尺寸计算公式 构成双曲柄、曲柄 摇杆机构的几何条件	机构类型及简图	机构的尺寸计算公式 构成双曲柄、曲柄 摇杆机构的几何条件
非回归式 $\phi_{10} = 90^\circ$			
 <p style="text-align: center;">-1 &lt; i &lt; 0, <math>\phi_{30} = 180^\circ</math> (i)</p>	$\frac{l_2}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_1}{l_4}\right)^2 + i^2}$ $\frac{l_3}{l_4} = 1 - i$	 <p style="text-align: center;"><math>i &gt; 0, 90^\circ &lt; \phi_{30} &lt; 180^\circ</math> (k)</p>	$\frac{l_1}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_3}{l_4}\right)^2 - (1+i)^2}$ $\frac{l_2}{l_4} = i$ $\frac{l_3}{l_4} = \frac{1+i}{\cos\phi_{30}}$
 <p style="text-align: center;"><math>i &lt; -1, 0 &lt; \phi_{30} &lt; 90^\circ</math> (j)</p>	$\frac{l_3}{l_4} = \frac{i-1}{\cos\phi_{30}}$ $\frac{l_2}{l_4} = i$ $\frac{l_1}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_3}{l_4}\right)^2 + (1-i)^2}$	 <p style="text-align: center;"><math>90^\circ &lt; \phi_{30} &lt; 180^\circ</math> <math>-1 &lt; i &lt; 0</math> (l)</p>	$\frac{l_1}{l_4} = (1-i) \tan\phi_{30}$ $\frac{l_2}{l_4} = i$ $\frac{l_3}{l_4} = \sqrt{\left(\frac{l_1}{l_4}\right)^2 + (1-i)^2}$

四杆-周转轮系组合机构中，如其四杆铰链机构为特殊杆长比的双曲柄机构，它除了能瞬时停歇外，还具有较佳的传动性能。图 4-3-18 ~ 图 4-3-21 列出了这种型式组合机构的设计线图，其设计计算步骤如下。

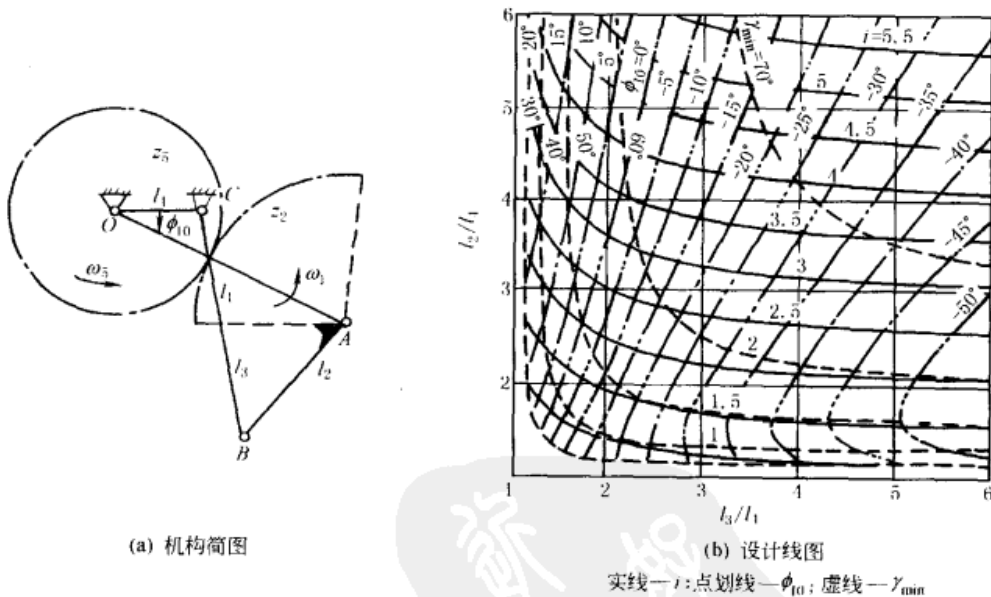


图 4-3-18 具有瞬时停歇特性的回归式双曲柄-外啮合齿轮组合机构的设计线图

- ① 选定此组合机构是回归式还是非回归式，再选定  $z_2$  与  $z_5$  是内啮合还是外啮合。
- ② 选定机架的长度  $l_4$ ，在这种型式组合机构中，因为其四杆铰链机构为双曲柄机构，故  $l_4$  通常是四个杆长中的最短者。
- ③ 根据结构要求，选定杆长  $l_2$  和  $l_3$ 。
- ④ 根据  $l_2/l_4$  和  $l_3/l_4$ ，查阅图 4-3-18 ~ 图 4-3-21 中与机构类型对应的图，由图中的实线定出齿数比  $i$  ( $i = \pm z_2/z_5$ ，外啮合为正，反之为负)，并由图中点划线定出主动曲柄 1 的起始位置角  $\phi_{10}$ 。图中的虚线为四杆铰链机构中杆 2 与 3 间所夹的最小传动角  $\gamma_{\min}$ ，可供设计中评估传动性能时参考。

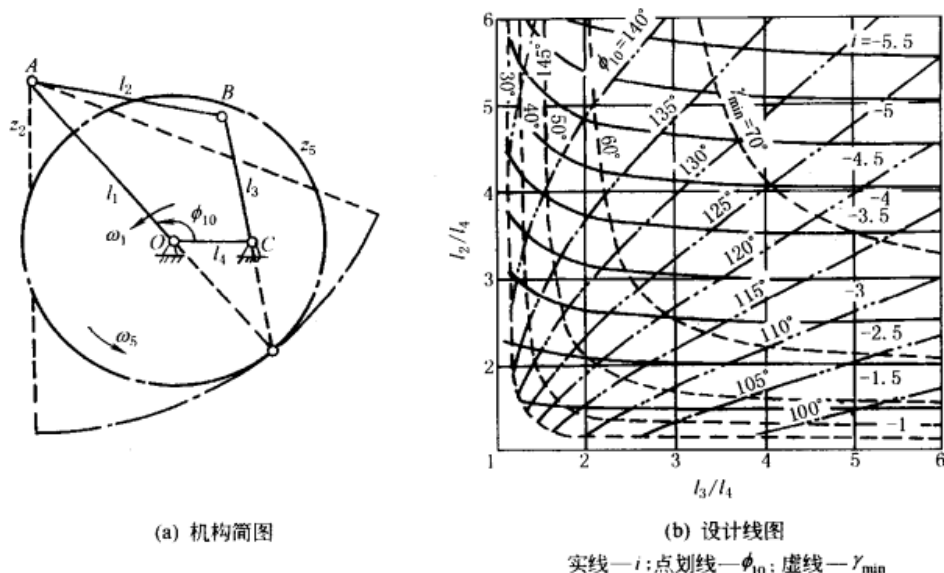


图 4-3-19 具有瞬时停歇特性的回归式双曲柄-内啮合齿轮组合机构的设计线图

⑤ 按下式计算主动杆长  $l_1$  ( $l_1$  取绝对值):

$$l_1 = \left| \sqrt{l_2^2 + l_3^2 - l_4^2} \right| \quad (4-3-51)$$

例如选定机构是回归式外啮合, 选定  $l_4 = 1$ ,  $l_2/l_4 = 3$ ,  $l_3/l_4 = 2$ , 则由图 4-3-18 可查得  $i = 2.5$ ,  $\phi_{10} = -3^\circ$ ,  $\gamma_{\min} = 54^\circ$ , 则

$$l_1 = \sqrt{3^2 + 2^2 - 1^2} = 3.464$$

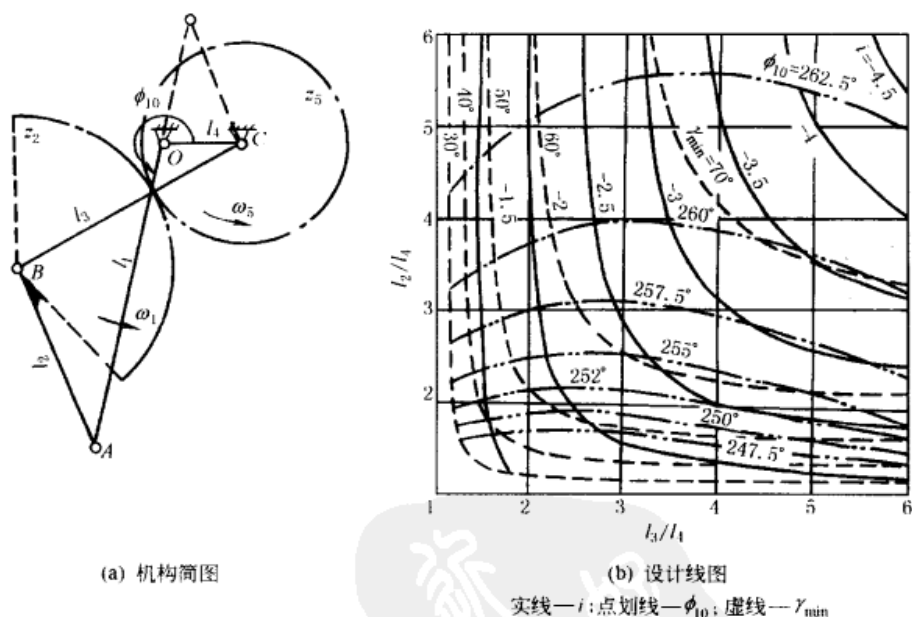


图 4-3-20 具有瞬时停歇特性的非回归式双曲柄-外啮合齿轮组合机构的设计线图

### 3.3 五杆机构与齿轮机构的组合机构

这种组合机构是以一个二自由度的五杆铰链机构为基础, 利用装在不同杆件上的定轴轮系或周转轮系, 使二个输入运动之间发生联系, 以达到只用一个主动件就能使机构实现工作所需要的各种运动要求。这种组合机构多用来执行给定的轨迹。

(1) 五杆铰链机构与定轴轮系的组合

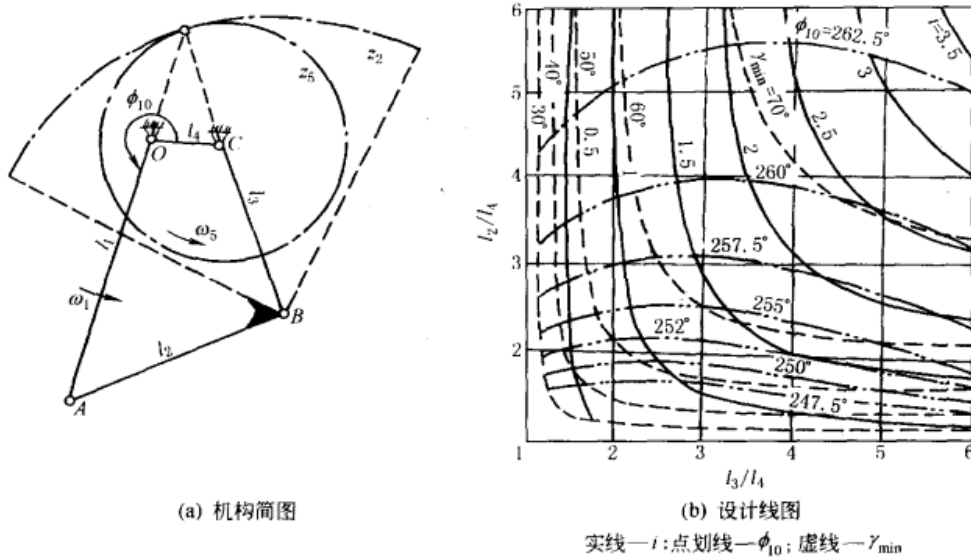


图 4-3-21 具有瞬时停歇特性的非回归式双曲柄-内啮合齿轮组合机构的设计线图

图 4-3-22a 所示为五杆铰链-定轴轮系组合机构，它是在二自由度五杆铰链机构（图 b）的基础上组成。当主动件 1 的运动给定时，机构中其他构件的运动均能确定。一般这种组合机构多用作使连杆 2 或 3 上的某一点执行工作需要的运动轨迹。例如在振摆式轧钢机中就应用这种组合机构（图 4-3-23），当主动齿轮 10 连续旋转时，M 点的运动轨迹为 mm，一对工作轧辊 6 的包络线 m'm' 和 m''m'' 实现轧制钢坯的工艺需要。调节曲柄 1 和 4 的相位角  $\phi_1$  和  $\phi_4$ ，可改变 M 点的轨迹及相应的包络线形状，以满足不同的轧钢工艺要求。五杆铰链-定轴轮系组合机构的设计步骤和方法如下。

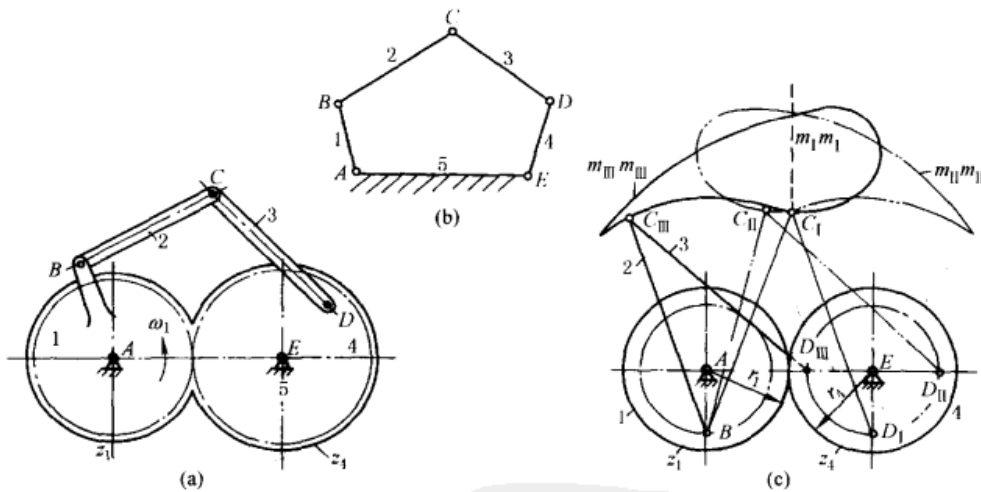


图 4-3-22 五杆铰链-定轴轮系组合机构

1) 五杆铰链机构（图 4-3-24）中各杆尺度间的关系式。

$$K_1 \cos(\phi_4 - \phi_3) - K_2 \cos(\phi_3 - \phi_1) - K_3 \cos\phi_1 + K_4 = \cos(\phi_4 - \phi_1) - K_5 \cos\phi_3 - K_6 \cos\phi_4 \quad (4-3-52)$$

式中,  $K_1 = l_3/l_1, K_2 = l_3/l_4, K_3 = l_5/l_4, K_4 = \frac{l_1^2 - l_2^2 + l_3^2 + l_4^2 + l_5^2}{2l_1 l_4}, K_5 = \frac{l_3 l_5}{l_1 l_4}, K_6 = \frac{l_5}{l_1}$ 。

2) 主、从动曲柄 1 和 4 间的位置关系式

$$\frac{\phi_1 - \phi_{10}}{\phi_4 - \phi_{40}} = -\frac{z_4}{z_1} \quad (4-3-53)$$

式中,  $\phi_{10}$  和  $\phi_{40}$  是杆 1 和 4 的起始位置角。

选定五杆铰链机构的各杆尺寸及有关的起始位置角。在根据工作要求的轨迹或位置导引进行设计时，需确定五个杆长  $l_1, l_2, l_3, l_4$  和  $l_5$ 。如按主、从动曲柄的输出、输入角设计时，则可设定某一杆长为 1，再确定其他四

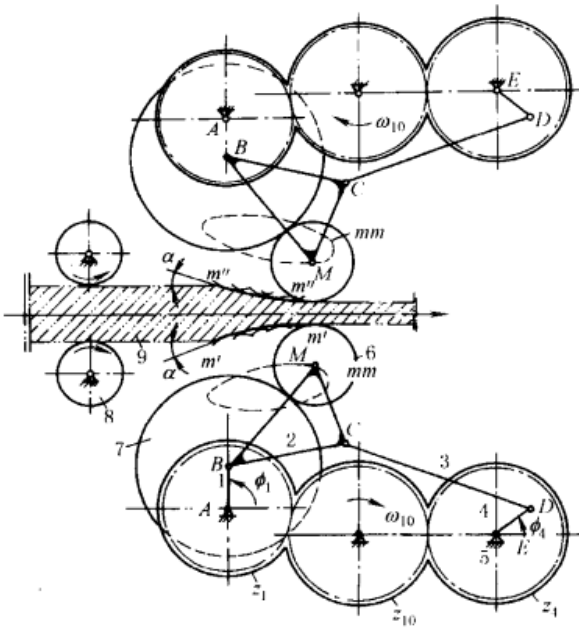


图 4-3-23 轧钢机中的五杆-齿轮组合机构

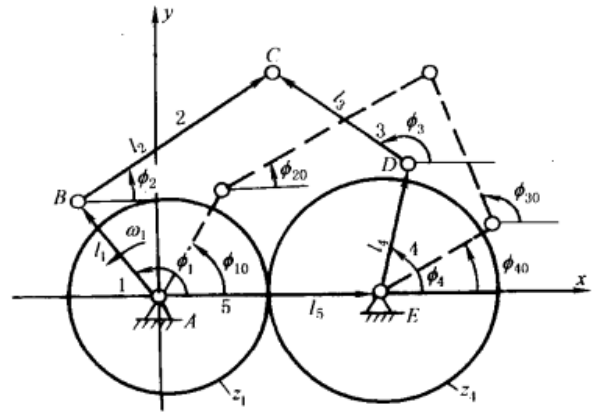


图 4-3-24 五杆铰链-定轴轮系组合机构简图

个杆长比。主、从动曲柄的起始位置角  $\phi_{10}$  和  $\phi_{40}$  可任意选定，调节此起始位置角可获得不同的连杆点轨迹。如图 4-3-22c 所示，主动曲柄 1 在同一位置  $AB$  时，从动曲柄 4 在三个不同的位置，当分别在  $ED_I$ 、 $ED_{II}$  和  $ED_{III}$  位置时，则连杆 2 上  $C$  点将有三种不同的运动轨迹  $m_I m_I$ 、 $m_{II} m_{II}$  和  $m_{III} m_{III}$ 。

3) 选定齿轮 1 和 4 的齿数  $z_1$  和  $z_4$ 。

$$i_{14} = (-1)^n \frac{z_4}{z_1} = (-1)^n \frac{K}{Q} \quad (4-3-54)$$

式中  $n$ ——齿轮外啮合的次数；

$K$ 、 $Q$ ——不可通约的整数。

当  $|i_{14}| = 1$  时，主动曲柄 1 转过一周，连杆 2 上  $C$  点的轨迹完成一个循环。如  $|i_{14}| \neq 1$ ，则主动曲柄 1 需转过  $K$  周（此时从动曲柄相应转过  $Q$  周）， $C$  点的轨迹才完成一个循环，且轨迹形状较复杂，有时会出现多次自交叉。

4) 确定连杆点  $C$  的方程式。

$$\left. \begin{aligned} x_C &= l_5 + l_4 \cos \phi_4 + l_3 \cos \phi_3 \quad (\text{或} = l_5 + l_1 \cos \phi_1 + l_2 \cos \phi_2) \\ y_C &= l_4 \sin \phi_4 + l_3 \sin \phi_3 \quad (\text{或} = l_1 \sin \phi_1 + l_2 \sin \phi_2) \end{aligned} \right\} \quad (4-3-55)$$

5) 验算主、从动曲柄 1 和 4 的存在条件。

$$\left. \begin{aligned} |l_2 - l_3| &\leq l_{BD} \leq l_2 + l_3 \\ (l_{BD}^2)_{\max} &\leq (l_2 + l_3)^2 \\ (l_{BD}^2)_{\min} &\geq (l_2 - l_3)^2 \end{aligned} \right\} \quad (4-3-56)$$

即

而

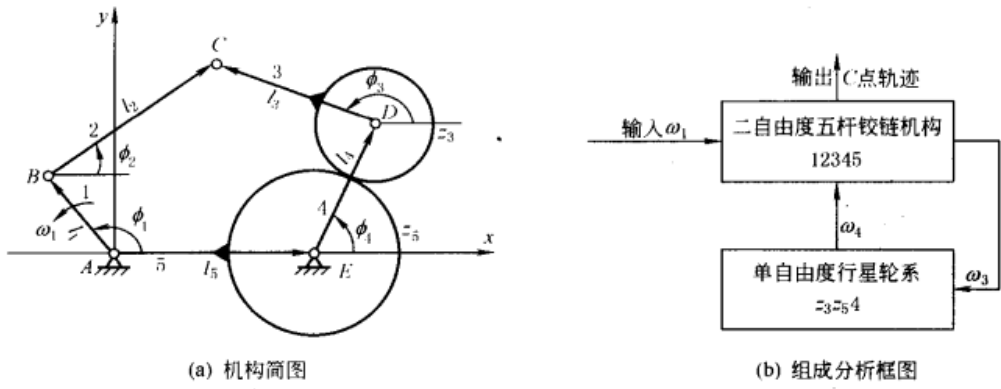
$$\left. \begin{aligned} l_{BD}^2 &= l_1^2 + l_4^2 + l_5^2 - 2l_1 l_5 \cos \phi_1 + 2l_4 l_5 \cos \left[ (-1)^n \frac{z_4}{z_1} \phi_1 + \phi_p \right] - \\ &\quad 2l_1 l_4 \cos \left\{ \left[ (-1)^n \frac{z_4}{z_1} - 1 \right] \phi_1 + \phi_p \right\} \end{aligned} \right\} \quad (4-3-57)$$

式中， $\phi_p$  为  $\phi_1 = 0$  时的  $\phi_4$  值，将式 (4-3-57) 对  $\phi_1$  求导即可求得  $(l_{BD}^2)_{\max}$  和  $(l_{BD}^2)_{\min}$ 。

(2) 五杆铰链机构与周转轮系的复联组合机构

图 4-3-25 所示为一由五杆铰链机构 12345 和行星轮系  $z_3 z_5$  4 复联组成的组合机构。其设计步骤、方法和有关计算公式，除式 (4-3-53) 改用式 (4-3-58) 外，其余完全与上述 (1) 相同。

$$\frac{\phi_3 - \phi_{30}}{\phi_4 - \phi_{40}} = 1 + \frac{z_5}{z_3} \quad (4-3-58)$$

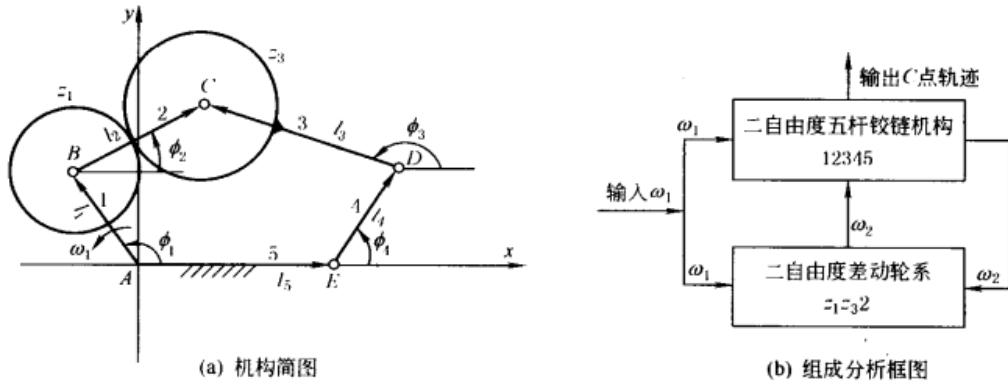


(a) 机构简图 (b) 组成分析框图

图 4-3-25 五杆铰链-行星轮系组合机构

图 4-3-26 所示为一由五杆铰链机构 12345 和差动轮系  $z_1, z_3, 2$  复联组成的组合机构。其设计步骤、方法和有关计算公式，除式 (4-3-53) 改用式 (4-3-59) 外，其余也完全与上述 (1) 相同。

$$\frac{(\phi_3 - \phi_{30}) - (\phi_2 - \phi_{20})}{(\phi_1 - \phi_{10}) - (\phi_2 - \phi_{20})} = -\frac{z_1}{z_3} \quad (4-3-59)$$



(a) 机构简图 (b) 组成分析框图

图 4-3-26 五杆铰链-差动轮系组合机构

## 4 凸轮-齿轮组合机构

凸轮-齿轮组合机构是由各种类型的齿轮机构(包括定轴轮系、周转轮系、蜗杆蜗轮等)和凸轮机构组成。这种组合机构一般均以齿轮机构为主体,凸轮机构起控制、调节与补偿作用,以实现单纯齿轮机构无法实现的特殊运动要求。

### 4.1 输出件实现周期性变速运动的凸轮-齿轮组合机构

图 4-3-27 所示为由蜗杆蜗轮机构和圆柱凸轮机构串联组成的组合机构,它常用作纺丝机的卷绕机构和包装机中的周期性变速机构。主动件为圆柱凸轮 1,当输入轴  $o_1o_1$  以等角速度  $\omega_1$  连续旋转时,凸轮与蜗杆固联在一起(用导向键装在轴  $o_1o_1$  上),以  $\omega_1$  转动的同时沿  $o_1o_1$  轴向作一定规律的往复移动,其移动规律由凸轮的曲线槽来控制,从而驱动蜗轮以一定规律的变角速度  $\omega_2$  转动。这种组合机构的设计步骤和方法如下。

① 设蜗杆 1' 只绕  $o_1o_1$  轴转动而无轴向移动时,蜗轮的角速度为  $\omega_2'$ 。

$$\omega_2' = \omega_1 z_1 / z_2 \quad (4-3-60)$$

式中  $z_1$  —— 蜗杆的螺旋头数;

$z_2$  —— 蜗轮的齿数。

② 设蜗杆 1' 不转动而只有轴向移动时,蜗轮角速度为  $\omega_2''$ 。

$$\omega_2'' = v_1/r_2 = \omega_1 R_0 \tan\alpha/r_2 \quad (4-3-61)$$

式中  $v_1$ ——蜗杆(与凸轮)的轴向移动速度;

$r_2$ ——蜗轮的节圆半径;

$R_0$ ——凸轮的平均半径;

$\alpha$ ——凸轮廓线的瞬时压力角。

③ 蜗轮的实际角速度  $\omega_2$

$$\omega_2 = \omega_2' + \omega_2'' \quad (4-3-62)$$

④ 蜗杆以等角速度  $\omega_1$  连续转动时,蜗轮能产生瞬时停歇或具有一定时间停歇的条件。

由  $\omega_2 = 0$  得  $\omega_2' = -\omega_2''$ , 即:

$$\left| \frac{z_1}{z_2} \omega_1 \right| = \left| \frac{\omega_1 R_0 \tan\alpha}{r_2} \right|$$

可求得:

$$\tan\alpha = \frac{r_1 \tan\lambda}{R_0} \quad (4-3-63)$$

式中  $r_1$ ——蜗杆的节圆半径;

$\lambda$ ——蜗杆的螺旋升角。

⑤ 圆柱凸轮的廓线设计,先选定  $z_1$ 、 $z_2$  和  $r_2$ ,再根据工作要求确定的输出轴角速度  $\omega_2$  变化规律,由公式(4-3-60~4-3-62)求出  $v_1 = f(\phi_1)$ ,然后用积分法作图或计算出凸轮设计时所需要的位移规律,并据此设计圆柱凸轮以其平均半径  $R_0$  展开的轮廓曲线。如需要输出轴有瞬时停歇或一定区间的停歇,则在此瞬时位置或一定区间内使凸轮廓线的压力角  $\alpha$  满足式(4-3-63)。

如果需要输出轴在一个工作循环中按一定规律作有时正向有时反向的转动,则可在图 4-3-27 的基础上进行扩展而成如图 4-3-28 所示的组合机构,这种机构常用于纺丝机中,其设计步骤和方法如下。

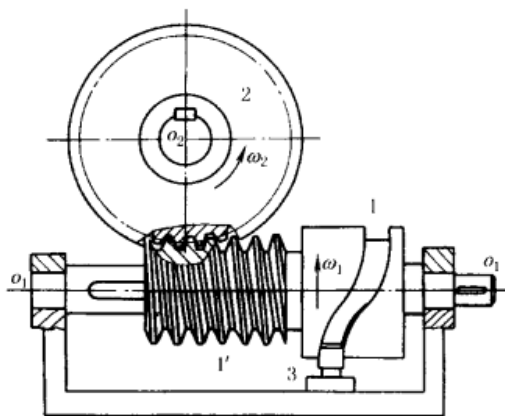


图 4-3-27 圆柱凸轮-蜗杆蜗轮组合机构

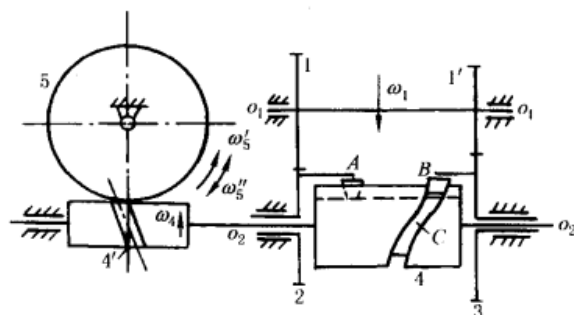


图 4-3-28 纺丝机中应用的圆柱凸轮-齿轮组合机构

① 设蜗杆 4' 只有转动而无轴向移动时,求蜗轮的角速度  $\omega_5'$ 。

$$\omega_5' = \omega_1 z_1 z_4' / z_2 z_5 \quad (4-3-64)$$

式中  $z_1$ 、 $z_2$ 、 $z_5$ ——齿轮 1、2 和蜗轮 5 的齿数;

$z_4'$ ——蜗杆 4' 的螺旋头数。

② 设蜗杆 4' 不转动而有轴向移动速度  $v_4$  时,求蜗轮的角速度  $\omega_5''$ 。

$$\omega_5'' = v_4 / r_5 \quad (4-3-65)$$

当  $v_4$  向右时,  $\omega_5''$  逆时针方向转,  $\omega_5''$  为正,反之则为负,  $r_5$  为蜗轮的节圆半径。

③ 蜗轮 5 的实际角速度  $\omega_5$ 。

$$\omega_5 = \omega_5' + \omega_5'' \quad (4-3-66)$$

④ 蜗轮 5 在一个工作循环中的平均角速度  $\omega_{5m}$ 。

$$\omega_{5m} = \omega_5' \quad (4-3-67)$$

⑤ 输出输入轴的平均角速比  $K_1$ 。

$$K_1 = \frac{\omega_{5m}}{\omega_1} = \frac{n_5}{n_1} = \frac{z_1 z_4'}{z_2 z_5} \quad (4-3-68)$$

⑥ 轮 5 的平均转速与轮 2、3 转速差之比  $K_2$ 。

$$K_2 = \frac{n_5}{n_2 - n_3} = \frac{\omega_{5m}}{\omega_2 - \omega_3} = \frac{z_1 z_3 z_4'}{z_5 (z_1 z_3 - z_1' z_2)} \quad (4-3-69)$$

⑦ 确定各轮齿数。按工作要求给定  $K_1$  和  $K_2$ ，设计时可先选定  $z_4'$  和  $z_5$ ，再由式 (4-3-68) 和式 (4-3-69) 求出  $z_1$ 、 $z_1'$ 、 $z_2$ 、 $z_3$  间的关系式，然后按定轴轮系 1、1'、2、3 间的几何关系确定各轮齿数。

⑧ 设计圆柱凸轮的廓线，凸轮 4 相对齿轮 3 的角位移为  $(\phi_2 - \phi_3)$ 。按工作要求拟定  $\omega_5''$  与  $(\phi_2 - \phi_3)$  间的关系，选定  $r_5$  后再按式 (4-3-65) 求出  $v_4$  与  $(\phi_2 - \phi_3)$  间的关系式，然后用积分法求出位移  $s_4$  与  $(\phi_2 - \phi_3)$  间的关系，并据此设计圆柱凸轮在展开面上的廓线。

## 4.2 实现轨迹要求的凸轮-齿轮组合机构

图 4-3-29 所示为由一对齿数相同的定轴齿轮机构 1、2 和凸轮 3 所组成，槽凸轮 3 与齿轮 1 在 A 点铰接，齿轮 2 上装有柱销 B，它在凸轮 3 的曲线槽中运动。当主动齿轮 1 以等角速度  $\omega_1$  连续转动时，作平面复合运动的凸轮 3 上某一点 P 沿轨迹 pp 运动。这种组合机构设计时，主要是设计凸轮槽的廓线形状，其设计的步骤和方法如下。

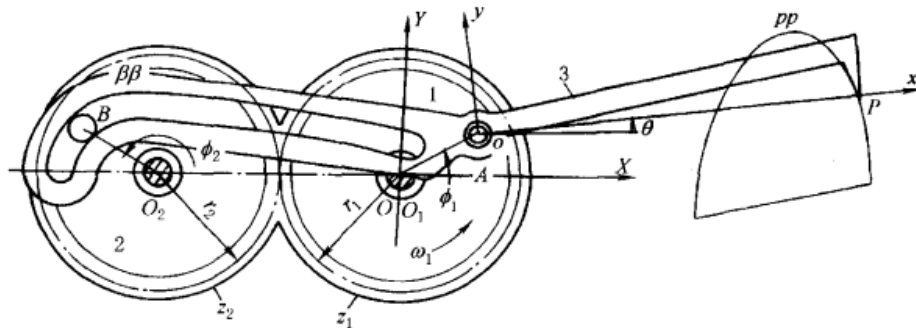


图 4-3-29 实现轨迹要求的凸轮-齿轮组合机构

① 在机架上建立定坐标系  $OXY$ ，按工作要求画出轨迹  $pp$ ，并列  $pp$  在  $OXY$  中的方程式或离散坐标数据  $(X_p, Y_p)$ 。一般取定坐标的原点  $O$  与主动齿轮轴心  $O_1$  重合， $X$  轴沿连心线  $O_2O_1$ 。

② 在凸轮 3 上建立动坐标系  $oxy$ ，取动坐标系  $oxy$  的原点  $o$  与 A 点重合， $x$  轴沿  $AP$ 。

③ 两坐标系中  $x$  轴与  $X$  轴间的夹角  $\theta$

$$\theta = \arctan \left( \frac{Y_p - r_1 \sin \phi_1}{X_p - r_1 \cos \phi_1} \right) \quad (4-3-70)$$

式中  $\phi_1$ ——齿轮 1 的转角，从  $OX$  起逆时针向量度。

④ 圆柱销中心 B 在定坐标系  $OXY$  中的坐标。

取  $\phi_2 = 180^\circ - \phi_1$ ，得：

$$\left. \begin{aligned} X_B &= -C + r_2 \cos \phi_2 = -(C + r_2 \cos \phi_1) \\ Y_B &= r_2 \sin \phi_2 = r_2 \sin \phi_1 \end{aligned} \right\} \quad (4-3-71)$$

⑤ 两坐标系间的坐标变换关系

$$\left. \begin{aligned} x &= X \cos \theta + Y \sin \theta - r_1 \cos(\phi_1 - \theta) \\ y &= -X \sin \theta + Y \cos \theta - r_1 \sin(\phi_1 - \theta) \end{aligned} \right\} \quad (4-3-72)$$

⑥ 凸轮理论廓线(即凸轮槽的中心线) $\beta\beta$  的方程式

$$\left. \begin{aligned} x_R &= -(C + r_2 \cos \phi_1) \cos \theta + r_2 \sin \phi_1 \sin \theta - r_1 \cos(\phi_1 - \theta) \\ y_R &= (C + r_2 \cos \phi_1) \sin \theta + r_2 \sin \phi_1 \cos \theta - r_1 \sin(\phi_1 - \theta) \end{aligned} \right\} \quad (4-3-73)$$

### 4.3 输出件实现周期性停歇的凸轮-齿轮组合机构

图 4-3-30 为一由周转轮系和固定凸轮组成的组合机构。周转轮系中的转臂  $H$  为主动件，输出齿轮为中心轮 1，1 与  $H$  共轴线  $O_1$ ，在行星轮 2 上固连有滚子 4，它在固定凸轮 3 的曲线槽中运动。当主动件  $H$  以等角速度  $\omega_1$  连续旋转时输出齿轮 1 能实现周期性的具有长区间停歇的步进运动。这种组合机构中，由于凸轮可控制行星轮的运动，对输出轴有一定的运动补偿，因此在许多机械中，常采用这种固定凸轮-周转轮系组合机构的原理来设计校正装置。这种组合机构的设计步骤和方法如下。

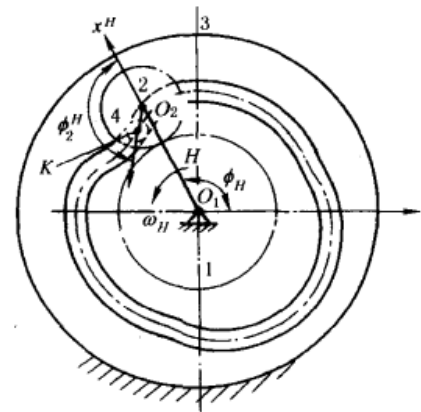


图 4-3-30 固定凸轮-周转轮系组合机构

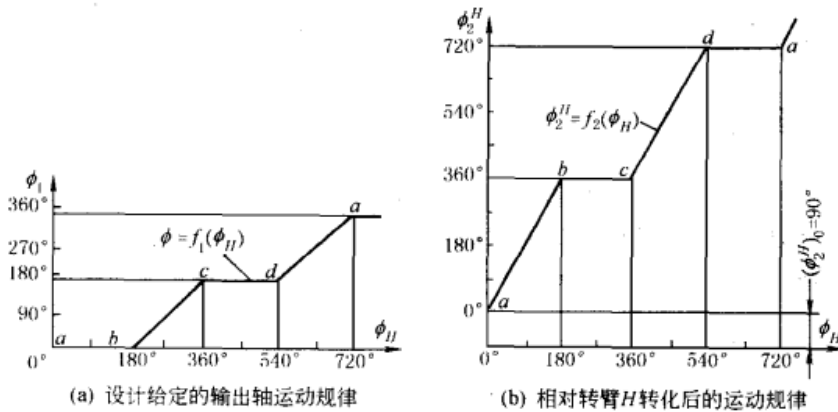
1) 给定工作所需要的输出轮 1 的运动规律  $\phi_1 = f_1(\phi_H)$ 。例如图 4-3-31a 所示，主动转臂  $H$  转二周，输出轮 1 按停-等速转动-停-等速转动的规律转过一周。

2) 画出行星轮 2 相对转臂  $H$  的角位移规律  $\phi_2^H = f_2(\phi_H)$ 。

$$\phi_2^H = \phi_2 - \phi_H = -\frac{z_2}{z_1}(\phi_1 - \phi_H) \quad (4-3-74)$$

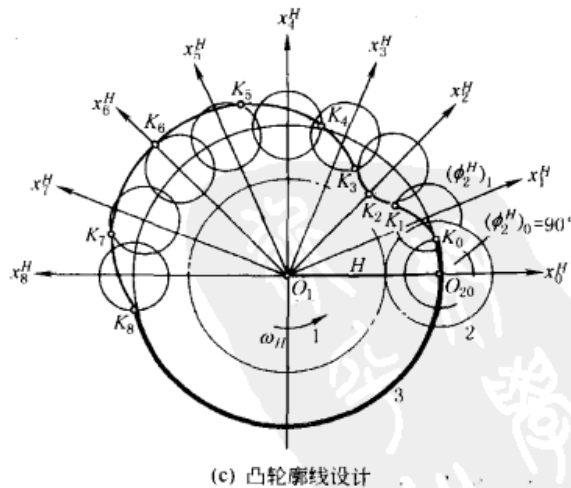
如取  $z_1 = 2z_2$ ，按式 (4-3-74) 画出  $\phi_2^H = f_2(\phi_H)$  曲线如图 4-3-31b 所示。

3) 盘形槽凸轮机构  $234H$  相当于假想转臂  $H$  不动、而凸轮 3 绕  $O_1$  以  $-\omega_H$  转动从而推动带滚子 4 的从动件 (齿轮 2) 按给定规律  $\phi_2^H = f_2(\phi_H)$  运动 (本例中它可作  $360^\circ$  转动) 的凸轮机构。



(a) 设计给定的输出轴运动规律

(b) 相对转臂 H 转化后的运动规律



(c) 凸轮廓线设计

图 4-3-31 固定凸轮-周转轮系组合机构的设计



4) 凸轮的廓线设计。①以  $O_1$  为中心,  $O_1O_2$  为半径作圆, 并将它逆公共运动  $-\omega_H$  的方向 (即顺  $\omega_H$  方向) 等分, 图 4-3-31c 中为每个分度  $22.5^\circ$ , 并分别作分度线  $x_0^H, x_1^H, \dots, x_8^H$ 。②以  $O_2$  为中心, 凸轮从动件  $O_2K$  为半径作小圆, 分别在各小圆上按下表中所列数据截取  $K$  的相应位置。设取  $O_2K$  的起始位置  $O_2K_0$  与  $x_0^H$  间的夹角  $(\phi_2^H)_0 = 90^\circ$ 。③把  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_8$  等连接起来即为凸轮的理论廓线, 其中  $K_1, K_2, \dots, K_8$  部分所对应的  $\phi_H = 0^\circ \sim 180^\circ$ ,  $\phi_2^H = 90^\circ \sim (360^\circ + 90^\circ)$ , 而输出轴  $\phi_1 = 0$ , 即输出轴为停歇期。当  $\phi_H = 180^\circ \sim 360^\circ$  时,  $\phi_2^H$  在  $(360^\circ + 90^\circ)$  不变化, 而输出轴 1 按等速规律由  $0^\circ$  转过  $180^\circ$ 。当主动转臂转过第二圈时, 输出轴 1 以和前半圈相同的停-转规律再转完一圈, 完成一个工作循环。见下表。

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\phi_H$	$0^\circ$	$22.5^\circ$	$45^\circ$	$67.5^\circ$	$90^\circ$	$112.5^\circ$	$135^\circ$	$157.5^\circ$	$180^\circ$
$\phi_2^H$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	$225^\circ$	$270^\circ$	$315^\circ$	$360^\circ$	$45^\circ + 360^\circ$	$90^\circ + 360^\circ$

## 5 具有挠性件的组合机构

具有链条、同步带传动等挠性件的组合机构可以实现主、从动轴之间距离较长的传动, 又能使从动件按工作要求执行复杂的运动规律或轨迹。这种组合机构结构简单、制造方便。

### 5.1 同步带-连杆组合机构

图 4-3-32 所示为一由同步带传动和连杆组成的组合机构。当主动轮 1 以等角速度  $\omega_1$  连续转动时根据机构不同的尺度关系, 杆 5 可能输出下列三种不同的运动规律: ①输出杆作单纯的匀速-非匀速转动; ②输出杆作匀速-具有瞬时停歇的非匀速转动; ③输出杆作匀速-具有逆转或一定区间近似停歇的非匀速转动。

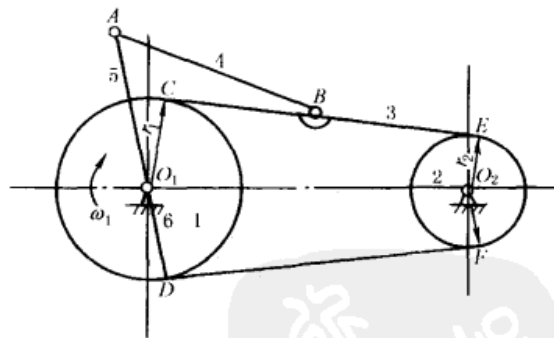


图 4-3-32 同步带-连杆组合机构

当连杆  $AB$  的长度增大时, 从动摇杆 5 出现近似停歇区间缓慢递增。而增大摇杆  $O_1A$  的长度, 则从动摇杆 5 发生近似停歇区间的可能迅速减少。

### 5.2 差动式带、链-连杆组合机构

图 4-3-33a 所示为剑杆织机中应用的差动式同步带-连杆组合机构。表 4-3-3 中列出了这种组合机构中各构件间的运动关系。

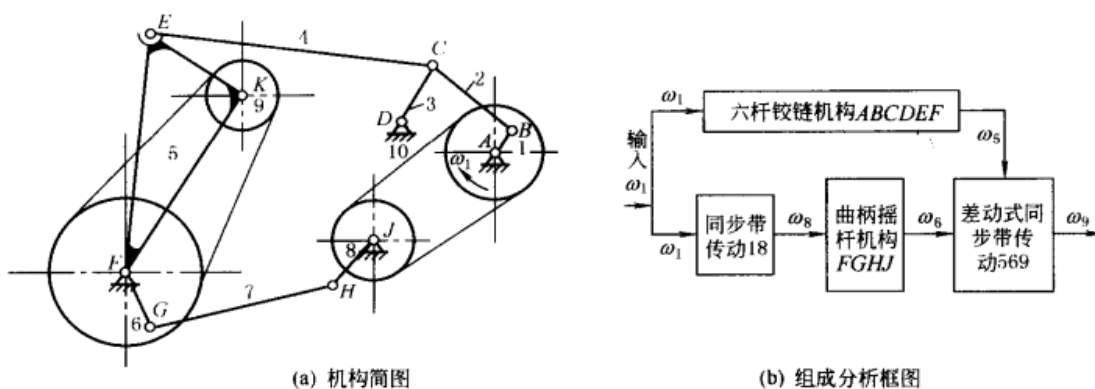


图 4-3-33 差动式同步带-连杆组合机构

表 4-3-3 差动式同步带-连杆组合机构中各构件间的运动关系

构件	主动带轮 1 (曲柄 AB)	摇杆 5	同步带轮 6 (摇杆 FG)	输出带轮 9
位置角 及起始 位置角	位置角 $\phi_1$ 及起 始位置角 $\phi_{10}$	位置角 $\phi_5$ 及起 始位置角 $\phi_{50}$ 按六 杆机构 ABCDEF 求得	位置角 $\phi_6$ 及起始位置角 $\phi_{60}$ 按同步带传动 18 及曲柄 摇杆机构 FGHI 求得	$\phi_9 = \phi_{60} + \frac{z_6}{z_9} (\phi_6 - \phi_{60}) +$ $\left(1 - \frac{z_6}{z_9}\right) (\phi_5 - \phi_{50})$ 式中 $z_6$ 、 $z_9$ ——轮 6 和 9 的齿数
角速度	$\omega_1 = \text{常数}$	$\omega_5 = \dot{\phi}_5$	$\omega_6 = \dot{\phi}_6$	按差动机构 569 求得 $\omega_9 = \omega_6 \frac{z_6}{z_9} + \omega_5 \left(1 - \frac{z_6}{z_9}\right)$
角加速度	$\varepsilon_1 = 0$	$\varepsilon_5 = \ddot{\phi}_5$	$\varepsilon_6 = \ddot{\phi}_6$	$\varepsilon_9 = \varepsilon_6 \frac{z_6}{z_9} + \varepsilon_5 \left(1 - \frac{z_6}{z_9}\right)$

# 第 4 章 机构参考图例

机构种类繁多，很难一一列举。本章除介绍部分常用者外，尽可能选列一些灵巧实用、结构简单、制造容易以及具有某些独特运动规律或作用的机构图例，供非标准设备设计或技术革新者参考。由于机构的运动规律与各构件的相对尺寸密切相关，选用时应注意各构件的相对尺寸。图例中除个别者外，一般未标出尺寸关系。

## 1 匀速转动机构

### 1.1 定传动比匀速转动机构

图 4-4-1 为平行四边形机构  $ABCD$ ，两对面杆具有相同运动规律的特点。主动曲柄 1 逆时针方向转动时，带动从动杆 3 作同向同速转动，而送料杆 2 作平移运动，可将物料 4 一步一步地向前搬动。平行四边形机构使用广泛，如火车轮联动机构、多组平行四边形联轴器、绘图仪器、缩放机构等均有应用。

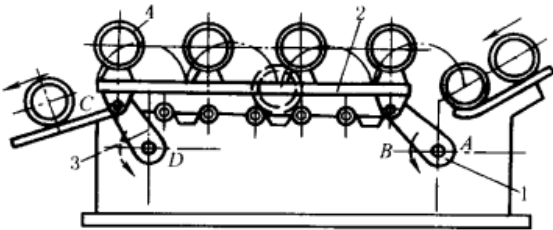


图 4-4-1 平行四边形机构

图 4-4-2a，主动曲柄 1 转动时，带动盘 2 作平移运动，从而同时带动四个等长曲柄 3 各绕自己的固定轴心作同速转动。此机构允许有较小的主、从动轴轴距。多头钻、多头铣等均可应用这种机构。当转速较高时应注意平衡。图 4-4-2b 为多头钻的结构实例。主动偏心轴 2 通过

圆盘 3 带动与 2 有相同偏心距  $e$  的钻杆 4 转动。

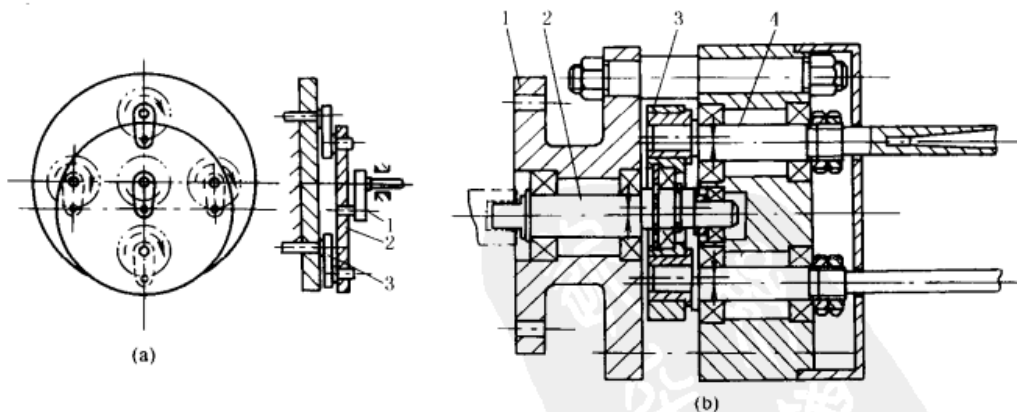


图 4-4-2 多个输出轴的平行四边形机构

图 4-4-3，圆盘 2、4、6 的等径圆周上各有三个等间隔的销轴，分别以三个长度为  $l$  的连杆相互铰接，形成多个平行四边形机构（图 a）。主动轴 1 的转动通过中间圆盘及连杆使从动轴 7 作同速转动。这种机构可在运转中改变主、从动轴间的距离（最大轴距为  $2l$ ，从动轴最大位移为  $4l$ ，图 b、c、d）。运转时盘 4 的中心具有不变的确定位置，仅在主、从动轴线重合时（零位移位置，图 d），盘 4 处于位置不确定状态，故应避免使用这个位置。

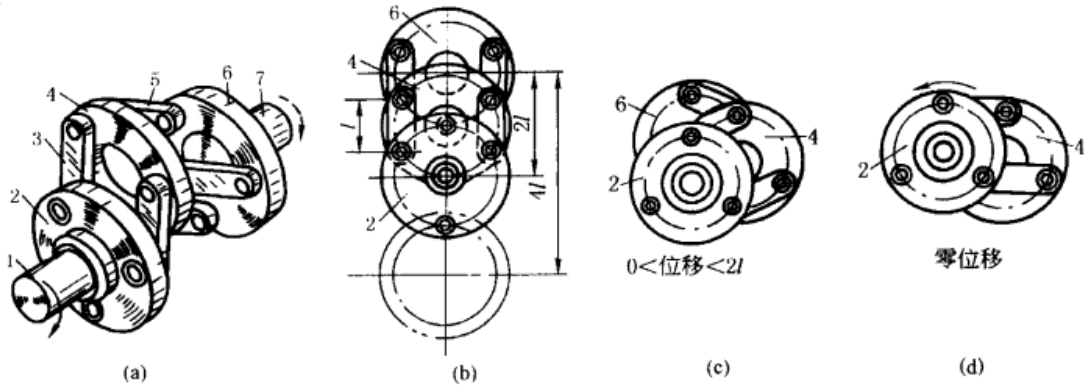


图 4-4-3 两轴距可变的平行四边形机构

图 4-4-4a 为十字滑块联轴器，图 4-4-4b 是其运动简图。主动转块 1 匀速转动时，通过连杆 2 驱动从动转块 3 作同向同速转动。这种联轴器常用于两轴线不易重合的平行轴的连接。

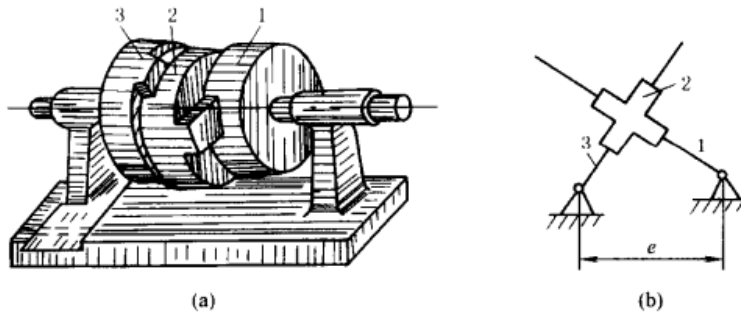


图 4-4-4 双转块机构

图 4-4-5a，电机带动的主动轴  $O$  与两从动轴  $O_1$ 、 $O_2$  均在同一车架上，且  $OO_1 = OO_2$ ；曲柄  $OA = O_1B_1 = O_2B_2$ ，连杆  $AB_1 = AB_2 = OO_1$ 。

图 4-4-5b， $O_1O_2 = A_1A_2$ 、 $O_3O_4 = B_1B_2$ 、 $O_1A_1 = O_2A_2 = O_3B_1 = O_4B_2$ ，电机带动的主动轴  $O_1$ （或  $O_2$ ）与车架 1 为一体，并支承在弹簧 2 上，使车架有减震缓冲作用，随着运行中的振动，引起  $O_1O_2$  与  $O_3O_4$  间的距离发生变化，图中在两个平行四边形机构中增加杆  $A_3B_3$  可补偿主、从动轴间距离的变化。

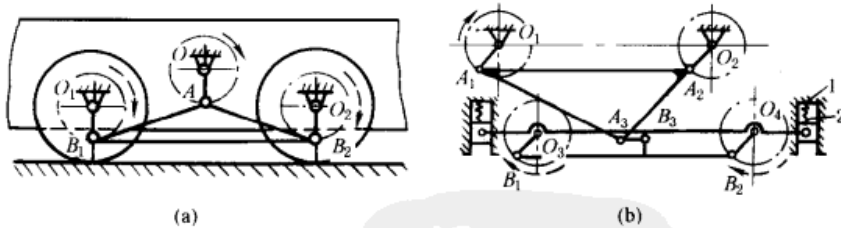


图 4-4-5 用于电力机车的平行四边形机构

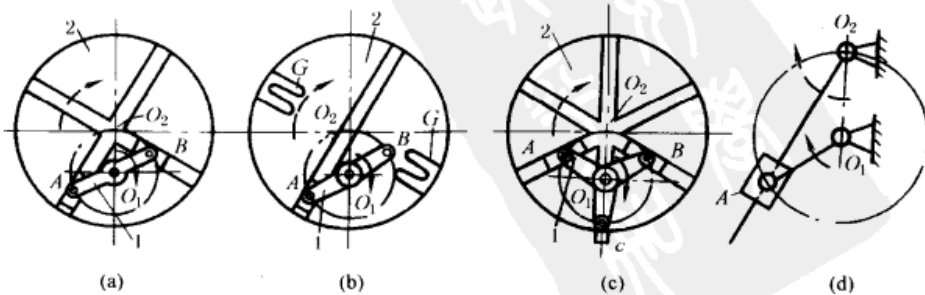


图 4-4-6 转动导杆减速机构

图 4-4-6 中，主动曲柄 1 绕  $O_1$  转一周，从动圆盘 2 绕  $O_2$  转半周。机构各构件的尺寸应有下列关系：曲柄长度等于中心距，即  $O_1A (=O_1B = O_1C) = O_1O_2$ 。图 a，主动双臂曲柄 1 两端铰接的滑块在从动盘的十字槽中滑动。图 b，从动盘 2 上有一个径向槽和两个辅助槽 G，当销 B 进入辅助槽时使机构顺利通过死点。图 c，从动盘 2 上有三个径向槽，用三臂曲柄传动，传递力矩较均匀。图 d，为这种导杆减速机构的结构简图。这种机构结构简单，并可将曲柄做成圆盘形以传递较大的载荷。

图 4-4-7，两端带滚子 3（分别绕 A、B 轴转动）的双臂主动曲柄 1 绕固定轴  $O_1$  转动，通过滚子 3 带动从动盘 2 绕固定轴  $O_2$  同向转动，滚子 3 的中心 A 和 B 相对于圆盘 2 的运动轨迹为摆线  $\gamma$ ，圆盘 2 的内缘曲线为  $\gamma$  的等距曲线  $\beta$ （距离等于滚子半径  $r$ ）。这种机构中心距  $O_1O_2$  不能太大，否则  $\gamma$  曲线将出现交叉， $O_1O_2$  的最大值为  $O_1A/2$ ，这时，曲柄 1 转一周，盘 2 转  $2/3$  周。

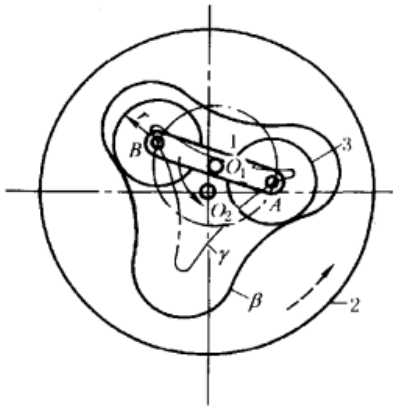


图 4-4-7 滚轮减速机构

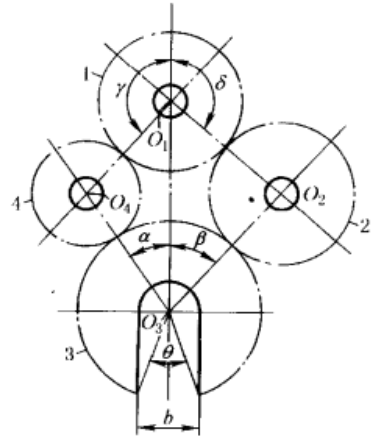


图 4-4-8 开口齿轮传动机构

图 4-4-8，主动齿轮 1 经惰轮 2、4 带动从动轮 3，这种机构由于采用了功率分流传动，可以减小机构体积和重量。此外，在某些机械中，生产上要求从动轮 3 上开有宽度为  $b$  的钳口槽（如石油钻井旋扣器）。采用这种机构能保证从动轮 3 作整周回转。设计时应注意以下几点：

① 保证正确的安装条件：

$$\alpha(z_3 - z_4) + \gamma(z_4 - z_1) + \beta(z_3 - z_2) + \delta(z_2 - z_1) = 2\pi k$$

式中  $k$ ——应为正整数；

$z_1, z_2, z_3, z_4$ ——各齿轮齿数。

②  $O_1O_3 > (d_1 + d_3)/2; O_2O_4 > (d_2 + d_4)/2$

式中  $d_1, d_2, d_3, d_4$ ——各轮的齿顶圆直径。

③ 槽宽  $b$  所对中心角  $\theta < \alpha + \beta$ 。

图 4-4-9，轴 3 和轮 4 固定不动，大轮 2 空套在轴 3 上可自由转动，轮 2 上相隔  $180^\circ$  对称地装有两个在销轴上可自由转动的滚筒 5，5 与轮 4 又通过传送带相连，当主动轮 1 通过传动带带动轮 2 旋转时，则滚筒 5 绕固定轮 4 公转并绕销轴自转，称为行星滚筒。这种机构常用于抛光机上。

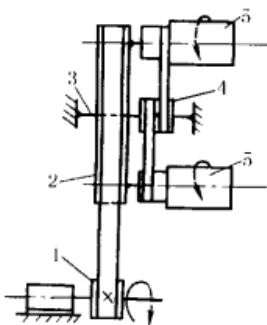


图 4-4-9 皮带行星传动机构

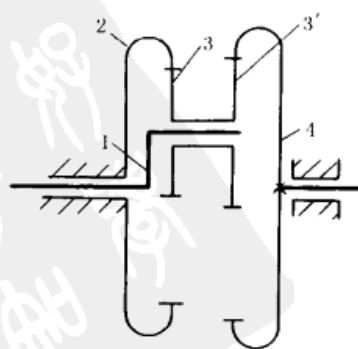


图 4-4-10 大传动比行星机构

行星滚筒 5 的转速按下式计算：

$$n_5 = n_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right) \left( 1 - \frac{r_4}{r_5} \right)$$

式中  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_4$ 、 $r_5$ ——各带轮的半径。

图 4-4-10, 各轮齿数为  $z_2$ 、 $z_3$ 、 $z_3'$  和  $z_4$ , 其传动比

$$i_{41} = \frac{n_4}{n_1} = 1 - \frac{z_2 z_3'}{z_3 z_4}$$

若  $i_{41}$  得正值, 则 4 与 1 转向相同; 得负值, 则转向相反。例如,  $z_3 = z_3'$ ,  $z_2 = z_4 + 1$  (或  $z_2 = z_4 - 1$ ), 则可获得  $i_{41} < 0$  (或  $i_{41} > 0$ ) 的大传动比, 用作机床的示数机构等。

图 4-4-11, 偏心轴 (转臂)  $H$  主动, 内齿轮 2 固定, 行星轮 1 从动, 通过传动比为 1 的输出机构将行星轮的运动输出, 总传动比

$$i_{H3} = \frac{n_H}{n_3} = -\frac{z_1}{z_2 - z_1}$$

( $z_2 - z_1$ ) 点数差一般取得很小 (常用差为 1~4), 可获得大的传动比, 如  $z_1$  和  $z_2$  相差一个齿, 则  $i_{H3} = -z_1$  (负号表示主、从动件转向相反), 因此机构有传动比大, 结构紧凑的优点。

轮 1、2 的齿廓曲线可为摆线和针齿; 也可为渐开线, 前者称为摆线针轮减速器, 后者称为少齿差行星减速器。这类机构的主动轴转速一般可达到 1500~1800r/min。若采用摆线针轮, 则效率较高, 功率范围也较大。

输出机构一般用销盘和孔盘组成 (图 b); 传动功率较小时, 也可采用一对齿数相等的内、外齿轮组成的零齿差输出机构 (图 c), 为避免齿形干涉, 该齿轮除径向变位外, 还要切向负变位。

图 4-4-12 为用于车床电动卡盘上的 3K 型行星机构的例子, 当电机带动主动齿轮 1 旋转时, 通过行星架使齿轮 4 低速转动, 通过轮 4 右端的阿基米德螺旋槽驱使卡爪卡紧或松开工件。这种行星机构结构紧凑, 体积小, 传动比范围大, 但制造安装较复杂。常用于短期工作, 中小功率的传动, 如工厂内车间之间运输的悬链式输送机等。传动比为:

$$i_{14}^3 = \left( 1 + \frac{z_3}{z_1} \right) / \left( 1 - \frac{z_2' z_3}{z_4 z_2} \right)$$

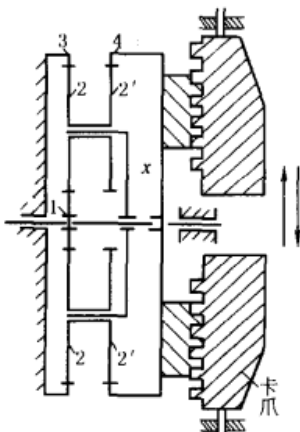


图 4-4-12 3K 型行星机构

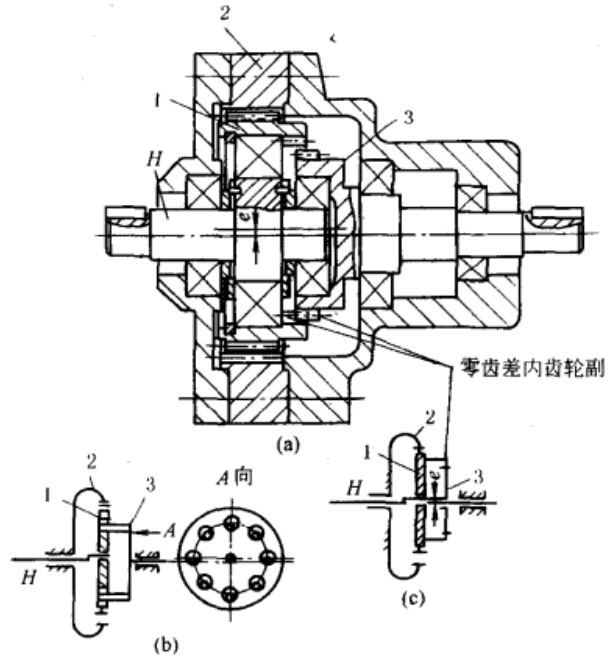


图 4-4-11 少齿差行星减速机构

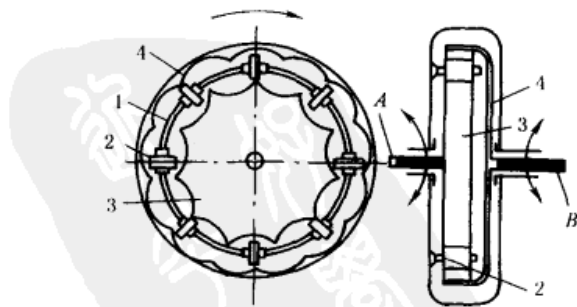


图 4-4-13 活齿减速器

图 4-4-13, 与变速器外壳固结的隔离罩 1 绕固定轴线  $B$  (轴线  $B$  与  $A$  重合) 转动, 在该隔离罩的均布径向槽内安置块状齿 2, 分别与凸轮盘 3 外缘齿和凸轮盘 4 内缘齿啮合, 凸轮盘 3 和 4 分别固定在半轴  $A$  和  $B$  上。当差

速器外壳及隔离罩转动时，将给凸轮盘3、轴A与凸轮盘4、轴B相应的驱动力矩；如两轴上所受的阻力矩相同，则它们以相同的转速回转，否则，两轴以不同的转速回转。

图4-4-14a，谐波传动由谐波发生器1、柔性齿轮2（为一容易变形的环状薄壁零件）和刚性齿轮3组成。三构件中任何一个皆可为主动，其余一为固定，一为从动。这种机构运动的传递是在发生器的作用下迫使柔轮产生弹性变形并与刚轮相互作用达到传动目的。如图a，当刚轮固定，发生器主动并连续转动时，则从动柔轮各处依次发生啮入、啮合、啮出及脱开四种连续工作状态，这种错齿运动使柔轮反向转动。发生器转动一周时，柔轮转过 $(z_3 - z_2)/z_2$ 周。

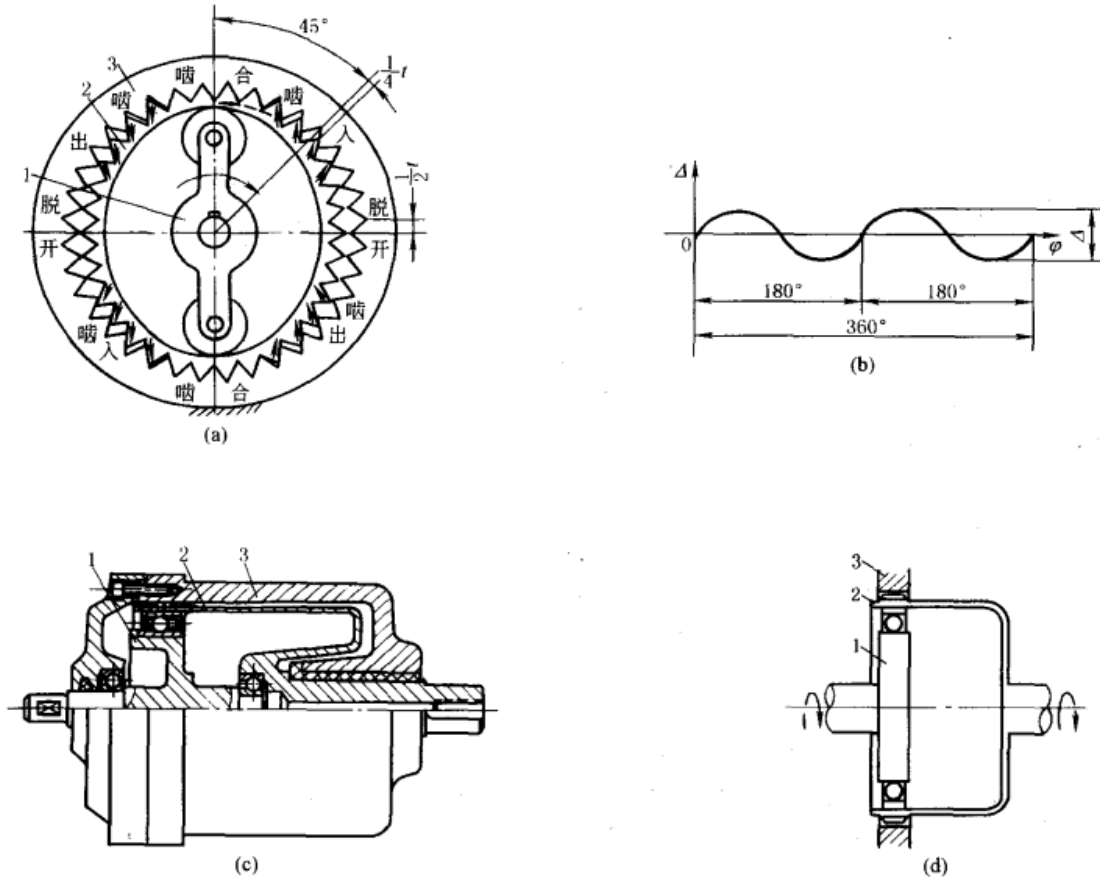


图4-4-14 谐波传动机构

柔轮的变形过程是一个基本对称的谐波（图b）。在传动中发生器转一周，柔轮某一点变形的循环次数叫波数（等于发生器的滚轮数），一般常应用双波和三波。图b是双波变形波。谐波传动机构的刚轮和柔轮的周节 $t$ 相等，但齿数不等，齿数差一般等于波数（或波数的整数倍）。谐波高 $\Delta$ 等于刚轮与柔轮的分度圆直径之差，即

$$\Delta = d_2 - d_3 = \frac{t(z_3 - z_2)}{\pi}$$

图c为应用较普遍的单级双波的谐波减速器结构图，系刚轮固定、发生器主动，柔轮输出的结构，图d为其示意图。其传动比为：

$$i_{12}^3 = -\frac{z_2}{z_3 - z_2}$$

当2固定，1主动，3从动时

$$i_{13}^2 = \frac{z_3}{z_3 - z_2}$$

当1固定，2（或3）主动，3（或2）从动时

$$i_{23}^1 = \frac{z_3}{z_2} \left( \text{或 } i_{32}^1 = \frac{z_2}{z_3} \right)$$

此时传动比接近于 1

谐波传动的传动比范围大，单级传动比为 1~500，体积小，重量轻，承载能力强，运转平稳，传动效率较高，结构简单，输出轴与输入轴位于同一轴心线上。由于这些优点，目前在生产中应用渐广。其缺点是柔轮需用抗疲劳强度很高的材料，散热性差。所以目前只用于较小功率（由不足一瓦到几十千瓦）。谐波传动也可做成摩擦式的，用于无级变速。

## 1.2 有级变速机构

图 4-4-15，三轴平行，轴 1、3 和 2、3 的中心距相等，轴 1、2 上各有两个滑移齿轮  $z_a$  和  $z_b$ ，其参数完全相同，可分别与轴 3 上 a、b 两组固定的公用齿轮相啮合。轴 3 上 a、b 两组固定齿轮模数相同，齿数不同（一般齿差  $\Delta z < 4$ ），利用齿轮变位凑中心距可达到无侧隙啮合，以获得多种有级变速。设  $N$  为公用齿轮数，则变速级数  $K$  为

$$K = N(N - 1) + 1$$

此种机构用于机床上切削公制、英制螺纹时，很容易得到互为倒数的传动比关系。图 a 和图 b 所示的传动比分别为：

$$\frac{z_a z_{b3}}{z_{a2} z_b} \quad \text{和} \quad \frac{z_b z_{a2}}{z_{b3} z_2}$$

这种机构的结构简单紧凑，操作简便，多用于普通车床的进给箱中。

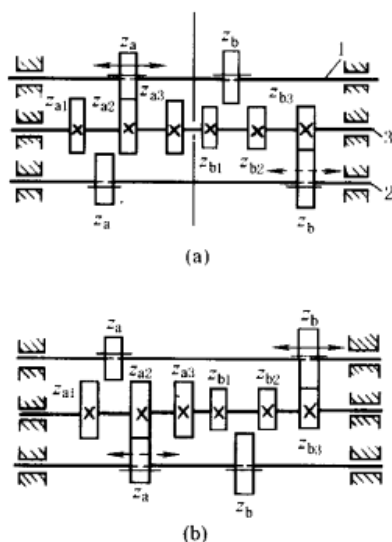


图 4-4-15 三轴滑移公用齿轮机构

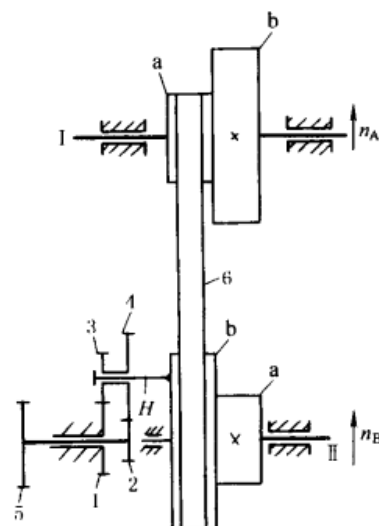


图 4-4-16 带轮行星齿轮两级变速机构

图 4-4-16，主动二联带轮 a、b 绕固定轴 I 转动，从动二联带轮 a、b 绕固定轴 II 转动，系杆  $H$  与二联带轮固联，齿轮 1、2、3、4、 $H$  组成行星轮系，齿轮 5 为输出从动轮。主、从动带轮间用平带 6 传动，从动带轮转速  $n_B$  和输出齿轮 5 转速  $n_5$  之间的关系为：

$$n_5 = n_B \frac{z_2 z_3 - z_4 z_1}{z_2 z_3}$$

式中  $z_1$ 、 $z_2$ 、 $z_3$ 、 $z_4$  分别为齿轮 1、2、3、4 的齿数。从动带轮转速  $n_B$  有两级，由主动带轮转速  $n_A$  求得：

当主动带轮上的 a 轮经带 6 传动从动带轮上的 b 轮时

$$n_B = n_A \frac{r_a}{r_b}$$

当主动带轮上的 b 轮经带 6 传动从动带轮上的 a 轮时

$$n_B = n_A \frac{r_b}{r_a}$$

式中， $r_b$ 、 $r_a$  分别为带轮 b、a 的半径。



图 4-4-17, 花键轴 I 上装有一个可滑动的直齿轮 A, 它可与轴 II 上任一个等高锥齿轮 B 啮合, 这些锥齿轮的齿数按等差级数变化。连接各锥齿轮的销子如图示, 必须使所有齿轮均有一个齿槽保持成一直线。每片齿轮上的一半齿相对另一半齿沿轴向错过一定距离, 使直齿轮 A 能迅速和原来啮合的齿轮脱开, 并滑向另一片锥齿轮。

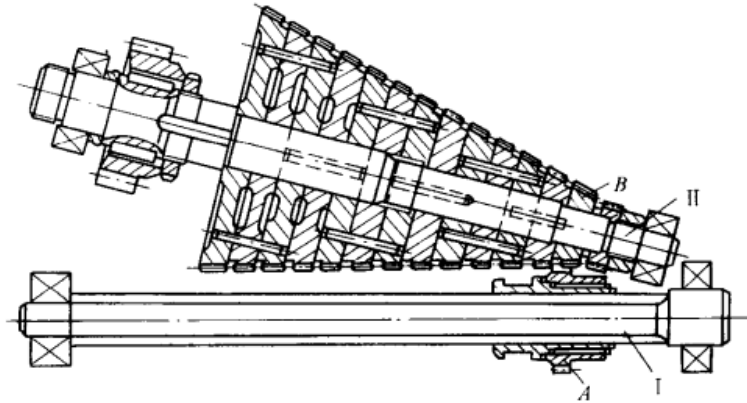


图 4-4-17 单齿轮滑移锥齿轮组多级变速机构

这种机构能在运转中完成变速; 变速级数多而齿轮数目较少, 故结构简单、紧凑, 刚性好。缺点是齿不沿全齿宽啮合, 磨损不均匀。

设锥齿轮片数为  $m$ , 输出轴转速分别为  $n_1, n_2, \dots, n_m$ , 公差数为  $a$ , 则

$$n_m = n_1 + (m - 1)a$$

或

$$a = \frac{n_m - n_1}{m - 1}; m = 1 + \frac{n_m - n_1}{a}$$

如轴 II 主动, 转速为  $n_{II}$ , 则各锥齿轮齿数

$$(z_B)_i = \frac{n_i}{n_{II}} z_A$$

式中,  $i = 1, 2, \dots, m$ 。

如轴 I 主动, 转速为  $n_I$ , 则各锥齿轮齿数

$$(z_B)_i = \frac{n_I}{n_i} z_A$$

图 4-4-18, 机构由电机 I、II 带动, 由与行星架 X 相连的齿轮 5 输出, 其中构件 4 以齿数  $z_4$  与  $z_3$  外啮合, 以  $z_B$  与  $z_C$  内啮合, 通过控制制动轮 D、E, 可使行星架得到四种速度:

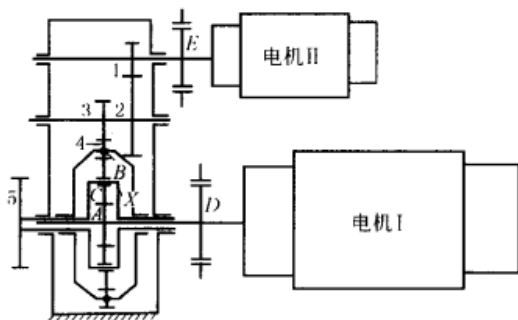


图 4-4-18 双电机行星减速变速机构

① 电机 II 被制动时, 行星架的转速

$$n_X^B = \frac{n_A^B}{i_{AX}^B}$$

式中  $n_A^B$ ——电机 II 制动时 A 轮 (电机 I) 的转速;

$i_{AX}^B$ ——电机 II 制动时的传动比,

$$i_{AX}^B = 1 + z_B/z_A$$

② 电机 I 被制动时, 行星架的转速

$$n_X^A = \frac{n_B^A}{i_{BX}^A}$$

式中  $n_B^A$ ——电机 I 被制动时, B 轮的转速  $n_B^A = \frac{n_{II}}{i}$  ( $n_{II}$  为电机 II 的转速,  $i = i_{12}i_{34} = \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}$ );

$i_{BX}^A$ ——电机 I 制动时, B 轮与行星架 X 间的传动比,  $i_{BX}^A = 1 + z_A/z_B$ 。

③ 电机 I、II 皆运转, A、B 轮以同方向旋转时, 行星架的转速  $n_X = n_X^B + n_X^A$ 。

④ 电机 I、II 皆运转, A、B 轮以反方向旋转时, 行星架的转速  $n_X = n_X^B - n_X^A$ 。

这种机构广泛应用于小型连轧机、铸造吊车和氧气顶吹转炉的倾翻机构等。如果Ⅱ采用较小功率的直流电机，可实现以小功率控制大功率的无级变速。

### 1.3 无级变速机构

图4-4-19，机构是利用摩擦传递动力，通过改变中间钢球的工作半径进行变速。主动轴1通过加压盘2经钢球带动摩擦盘3同速转动，再经过一组钢球5（3~8个）驱动从动摩擦盘7和输出轴9。调速通过蜗杆、带有槽凸轮的蜗轮（图中未画出）使钢球5的轴4转动 $\alpha$ 角来实现。主、从动轴上的加压机构能自动地施加与载荷成正比的压紧力，使摩擦盘与传动钢球5相互压紧，确保在没有滑动的情况下传递动力。传动比为：

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{1 \mp \tan\varphi \tan\alpha}{1 \pm \tan\varphi \tan\alpha}$$

目前一般使用传动比 $i_B = 1/3 \sim 3$ ，使用变速范围 $R_{BS} \leq 9$ ，功率 $N \leq 0.2 \sim 11\text{kW}$ ，效率 $\eta = 0.8 \sim 0.9$ 。其特点为体积小，结构紧凑，可增速或减速，但制造精度要求较高。输出传递动力特性基本上为恒功率。在纺织、电影及机床等行业中均有应用。

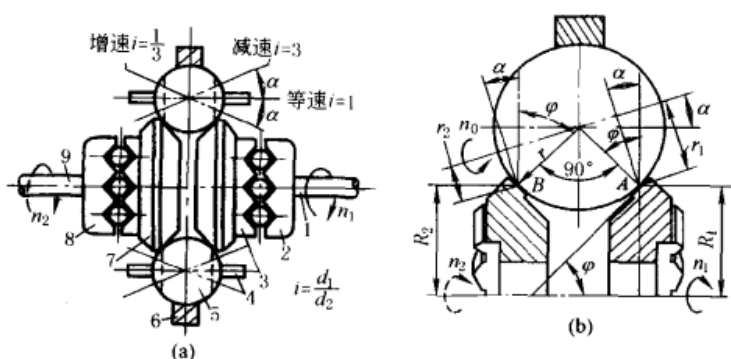


图4-4-19 钢球外锥轮式无级变速机构

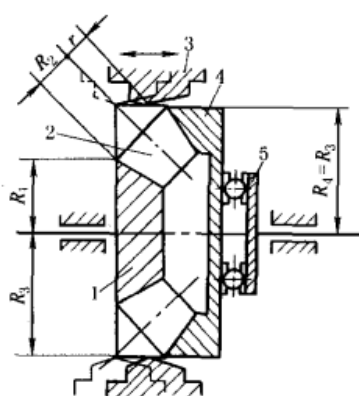


图4-4-20 内锥输出行星式无级变速机构

图4-4-20，主动摩擦盘1带动行星锥2转动，锥2一般为5个，沿圆周均布，并置于保持架中，既自转又公转，锥2的正锥与不动的外环3相接触，其截锥靠摩擦力使输出摩擦盘4旋转，再经加压机构带动输出轴5转动。调速时通过调速机构（图中未示出）使外环3作轴向移动，改变正锥的工作半径 $r$ 达到调速。传动比为：

$$i = \frac{n_1}{n_5} = \frac{r + (R_3/R_1)R_2}{r - (R_3/R_4)R_2}$$

式中  $r$ ——行星锥与外环接触处的半径；

$R_3$ ——外环3的工作半径；

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_4$ ——主动盘1、行星锥2和输出盘4的大头半径。

由式可知，当 $r$ 变小趋于零时，输出转速 $n_5$ 最高，并与输入轴转向相反，当 $r$ 逐渐增大，使 $r = (R_3/R_1)R_2$ 时，输出轴转速 $n_5 = 0$ ，为了保证输出力矩稳定，一般 $i = -80 \sim -110$ ；使用变速范围 $R_{BS} \leq 38.5$ ；传递功率 $N \leq 2.2\text{kW}$ ，效率 $\eta = 0.6 \sim 0.7$ 。此机构具有体积小，传递力矩大，调速范围大的特点，是属于恒转矩输出的减速型变速机构，可在停车情况下进行调速。

图4-4-21，机构是由连杆机构与单向超越离合器组成。通过改变连杆机构中某一构件的长度，使摇杆（即超越离合器的外环）得到不同的摆角来达到无级变速的目的。

图a，曲柄 $AB$ 上的曲柄销 $B$ 可滑动，以改变曲柄长度，曲柄每转一周，带动摇杆 $CD$ 摆动一个角度。改变 $AB$ 的长度，则摇杆 $CD$ 的摆角也相应改变，以实现变速。输出端作单向间歇脉动回转。

图b是一个多杆铰链机构，图中圆弧 $C''$ 和 $C'$ 表示 $CD$ 分别以 $D_1$ 、 $D_2$ 为圆心时的圆弧。当主动曲柄1匀速转动时，通过改变杆3右端滑块7在弧形槽中的位置（在 $D_1$ 、 $D_2$ 之间），即改变机架 $AD$ 的长度，使输出杆5实现

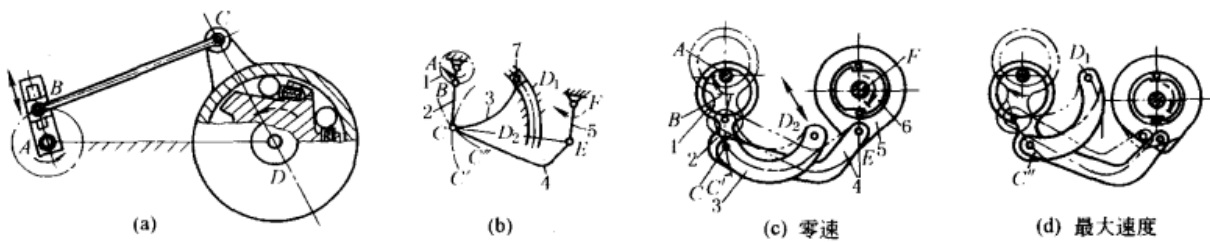


图 4-4-21 连杆式脉动无级变速机构

变速。图 c 是上述机构与单向超越离合器组成的机构的结构简图，可实现单向脉动输出。图示位置表示滑块 7 固定于  $D_2$  点，此时铰接点  $C$  沿圆弧  $C'$  运动，此位置时，由于  $C$ 、 $D_2$ 、 $E$  在一直线上（见图 b），故  $E$  点近似保持不动，杆 5 与输出轴 6 接近零速。图 d 表示滑块固定于  $D_1$  点，此时  $C$  点沿圆弧  $C''$  运动，输出轴 6 以最大的角速度转动。

图中两机构各仅有一曲柄摇杆机构带动一个单向超越离合器，其输出是间隙脉动回转，输出极不平稳，为减小脉动不均匀性，常采用多相（3~5 相）并列，几个曲柄-单向超越离合器交替重叠地带动一根输出轴，使输出的均匀性提高。这种机构简单可靠，变速性能稳定，停止和运行时均可调速。适用于中、小功率（约 10kW 以下），中、低速（40~1000r/min）的减速变速，以及对输出轴旋转均匀性要求不严的场合。如一些轻工包装、食品等机械中均有应用。

无级变速机构的型式很多，如多盘式、齿链式及传送带式等均有较广泛的应用。

## 2 非匀速转动机构

图 4-4-22，两短杆  $a$ 、 $c$  为曲柄，且  $a=c$ ，机架  $d$  和连杆  $b$  相等，当主动曲柄  $a$  作匀速转动时，从动曲柄  $c$  作反向非匀速转动。这种反平行四边形机构的平均传动比等于 1，瞬时传动比为：

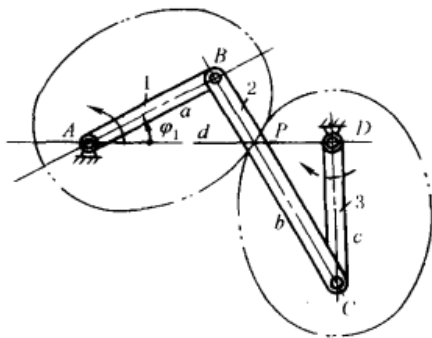


图 4-4-22 反平行四边形机构

$$i_{31} = \frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{AP}{DP} = \frac{b^2 - a^2}{-(b^2 + a^2) + 2ab\cos\varphi_1}$$

$$\text{当 } \varphi_1 = 0^\circ \text{ 时, } i_{31} = (i_{31})_{\max} = -(b+a)/(b-a)$$

$$\text{当 } \varphi_1 = 180^\circ \text{ 时, } i_{31} = (i_{31})_{\min} = -(b-a)/(b+a)$$

当主动曲柄转至与机架重合时，从动曲柄也与机架重合，这时形成机构运动的不确定状态，即曲柄继续向前转动时，从动曲柄有可能与主动曲柄同向转动，故必须用特殊装置（如死点引出器）或杆件惯性来渡过机构的不稳定状态。

反平行四边形机构通过改变  $a$  ( $c$ )、 $b$  ( $d$ ) 的长度，可以得到需要的变传动比的运动规律。当运动精度要求不高时，此机构可用来代替椭圆齿传动（如双点划线所示），椭圆齿轮的回转轴分别在焦点  $A$  和  $D$ ，椭圆长轴为连杆长  $b$ ，焦距为曲柄长  $a$ ，而制造比椭圆齿轮简单得多。反平行四边形机构也常用于机构的联动，使机构中的两个工作构件获得大小相同、方向相反的角度，如车门启闭机构等。

图 4-4-23 中，主动曲柄  $AB$  匀速转动，转换为曲柄  $CD$  的非匀速转动，但平均传动比等于 1。若  $AD + CD < AB + BC$ ，且  $AD < AB < BC < CD$ （或  $AD < BC < AB < CD$ ）则机构没有死点位置。双点划线表示在此双曲柄机构上再相连一偏置曲柄滑块机构  $DCE$ ，这是惯性筛的具体应用。由于双曲柄机构和偏置曲柄滑块机构均有急回特性，二者并用加强了急回效果，使筛子从右往左运动时，有较大的加速度，依靠物料惯性而达到筛分的目的。

图 4-4-24 为旋转导杆机构，机架  $AB <$  曲柄  $BC$ ，主动曲柄  $BC$  匀速转动，转换为旋转导杆  $CD$  的非匀速转动，平均传动比为 1，其急回特性常用于刨床，使切削行程较慢，回程较快（ $BC$  顺时针方向转动  $\varphi_1$  角时，滑块  $E$  以较慢的近乎等速切削，而  $BC$  继续转动  $\varphi_2$  角时， $E$  快速返回）。行程  $S = 2AD$ 。比值  $\frac{BC}{AB}$  较小时，机构的动力性能

变坏，一般推荐  $\frac{BC}{AB} > 2$ 。

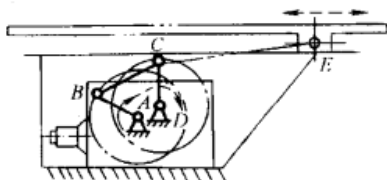


图 4-4-23 双曲柄机构

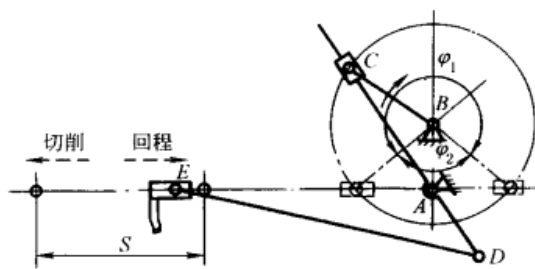


图 4-4-24 用于刨床的旋转导杆机构

图 4-4-25, 是轴心线不重合的联轴器结构, 当盘 1 绕轴 C 转动时, 通过圆盘 1 上的滑槽拨动盘 3 绕轴心 A 同向转动, 同时销 2 将相对于滑槽滑动。图 b 是运动简图。导杆 1 作等速转动带动从动盘 3 作变速转动。当偏距  $e$  很小时, 从动盘 3 的角速度变化平缓。

旋转导杆机构在回转柱塞泵、叶片泵及旋转式发动机等机器中也有应用。

图 4-4-26, 图 a 为万向联轴器, 主动轴 1 以  $\omega_1$  匀速转动, 从动轴 2 以  $\omega_2$  变速转动, 平均传动比为 1, 瞬时传动比为

$$i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos\alpha}{1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1}$$

式中  $\varphi_1$ ——主动轴上叉头从轴面 (两轴所决定的平面) 开始计算的转角。

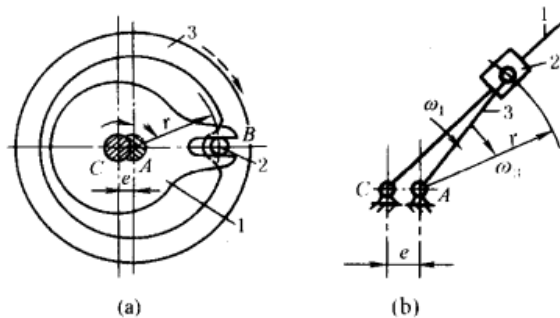
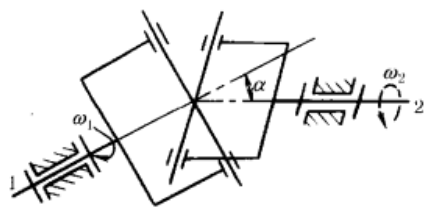
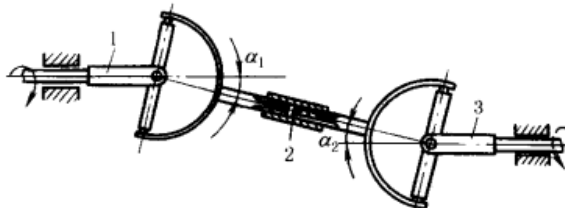


图 4-4-25 用于联轴器的旋转导杆机构



(a)



(b)

图 4-4-26 两相交轴间的传动

由于瞬时传动比的变化, 传动中将产生附加动载荷, 并引起振动。为了消除这一缺点, 一般多采用双万向联轴器。

图 b 为双万向联轴器, 在主、从动轴 1、3 之间用一个中间轴 2 (即用花键套连接的轴) 和两个万向联轴器连接, 它可以传递任意位置的两轴间的回转运动。当中间轴 2 两端的叉面位于同一平面内且  $\alpha_1 = \alpha_2$  时, 可以得到主、从动轴间传动比恒等于 1 的匀速传动。

图 4-4-27, 固联在主动轴  $O_1$  上的齿轮 1 和 1' 分别与活套在轴  $O_2$  上的齿轮 2 和 3 啮合。齿轮 2 上的凸销 A 嵌于圆柱凸轮 4 的纵向直槽中, 带动圆柱凸轮 4 一起回转并允许其沿轴向有相对位移; 齿轮 3 上的滚子 B 装在圆柱凸轮 4 的曲线槽 C 中。由于齿轮 2 和齿轮 3 的转速有差异, 所以滚子 B 在槽 C 内将发生相对运动, 使凸轮 4 沿轴  $O_2$  移动。当主动轴  $O_1$  连续回转时, 圆柱凸轮 4 及与其固结的蜗杆 4' 将作转动兼移动的复合运动。从而传动蜗轮 5。蜗杆 4' 的等角速转动使蜗轮 5 以  $\omega'_5$  等角速转动, 蜗杆 4' 的变速移动使蜗轮 5 以  $\omega_5$  变角速转动, 该蜗轮的运动为两者的合成而作时快时慢的变角速转动, 以满足纺丝卷绕工艺的要求。

图 4-4-28, 在四杆机构 ABCD 上装一对齿轮, 行星齿轮 2 与连杆 BC 固连, 中心轮 4 绕 A 轴转动。当主动曲柄 1 以  $\omega_1$  匀速转动时, 从动齿轮 4 作非匀速转动, 其角速度为:

$$\omega_4 = \omega_1 \left( 1 + \frac{z_2}{z_4} \right) - \omega_2 \frac{z_2}{z_4}$$

式中  $\omega_2$  —— 连杆  $BC$  的角速度；

$z_2$ 、 $z_4$  —— 齿轮 2、4 的齿数。

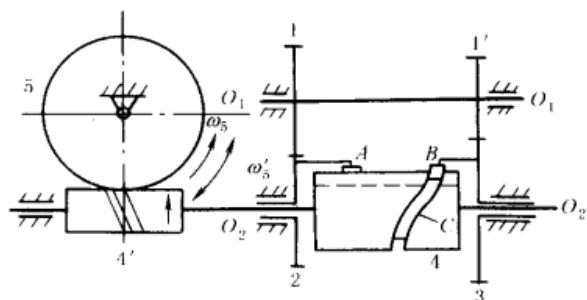


图 4-4-27 用于纺丝机的齿轮凸轮组合卷绕机构

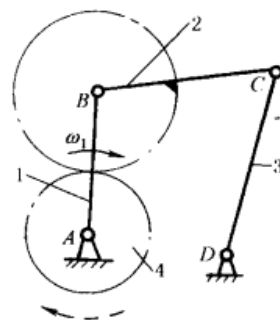


图 4-4-28 两齿轮连杆组合机构

由式可知，轮 4 的角速度是由等速部分（第一项）和周期性变化的变速部分（第二项）合成。通过改变杆长和齿轮节圆半径，可使从动轮作单向非匀速转动或作瞬时停歇带逆转的转动。如  $ABCD$  为曲柄摇杆机构，当主动曲柄 1 转  $n_1$  整周时，从动轮转动  $n_4 = \left( 1 + \frac{z_2}{z_4} \right) n_1$  周；如  $ABCD$  为双曲柄机构时，则  $n_4 = n_1$ 。这种机构的特点是主、从动轴共线， $AD$  间距离便于做成可调的。

### 3 往复运动机构

凸轮机构广泛用于实现往复运动的传动，只要选择适当的凸轮廓线就可得到各种形式的往复运动。

图 4-4-29，图 a 为偏心圆凸轮，从动杆作往复简谐运动，其行程为偏心距  $e$  的两倍。图 b 为等宽三角凸轮，棱边半径为  $r$ ， $r = a + b$ ，从动杆行程为  $a - b$ 。图 c 为等径凸轮，凸轮对径长等于两滚子间距离  $d$ ，并保持不变，凸轮转一圈从动杆往复一次。图 d 为抛物线凸轮，从动杆上升动作平稳，推力较小，下降时有冲击作用。可用于粉碎机中。

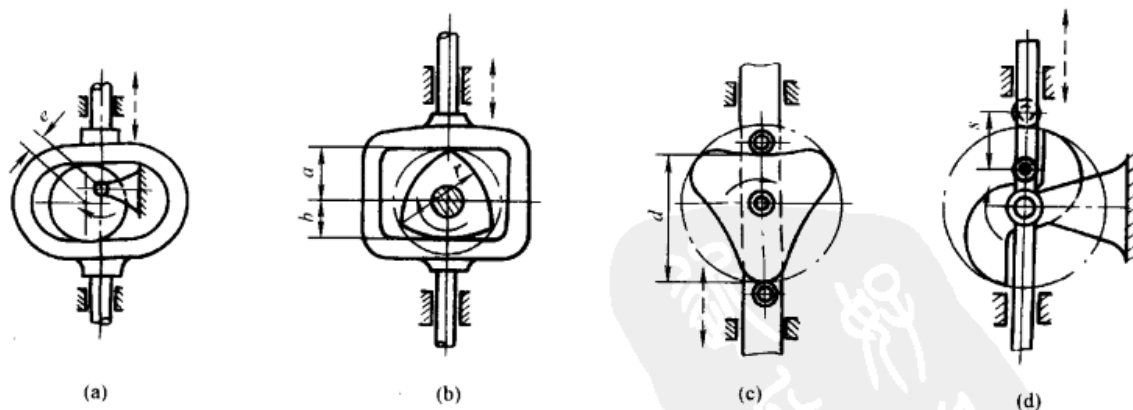


图 4-4-29 往复移动从动件凸轮机构

图 4-4-30，主动凸轮 1 表面刻有螺旋沟槽，在接近槽尾  $E$  的一段长度内，槽的底部逐渐变浅，从动部件上的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点在一直线上时为杠杆 5 的平衡位置。当凸轮转动到销 6 进入槽的尾部时（实线位置）， $A$  点被迫向下越过平衡位置，使销 3 在弹簧 4 的作用下进入凸轮槽的头部，从动杆 2 开始向下运动，凸轮转过一周半后，销 3 到达槽尾并脱出（双点划线位置表示尚未到达槽尾的中间位置）， $A$  点被迫向上越过平衡位置，销 3 脱出，销 6 进入凸轮槽头部，杆 2 开始向上运动。凸轮每 3 转，从动杆 2 完成一个往复循环。

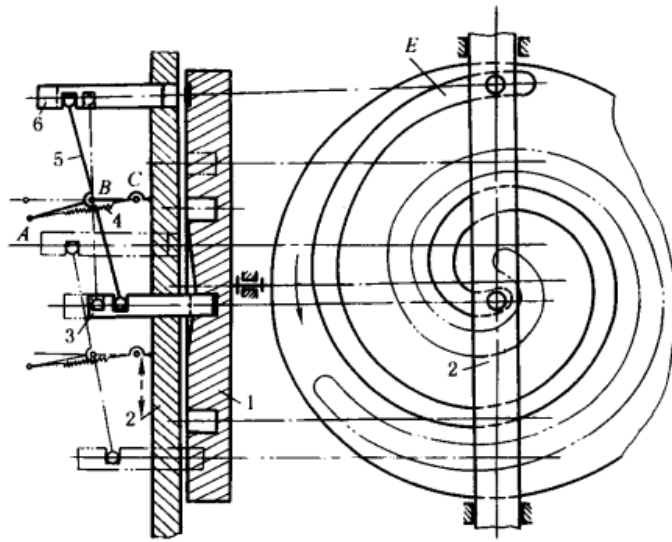


图 4-4-30 增大循环转数的沟槽凸轮机构

图 4-4-31, 小车 3 向前推进时, 铲斗 2 上的滚子 4 沿固定凸轮槽 5 运动, 使铲斗逐渐倾侧, 将包装箱 1 置于输出辊道 6 上。

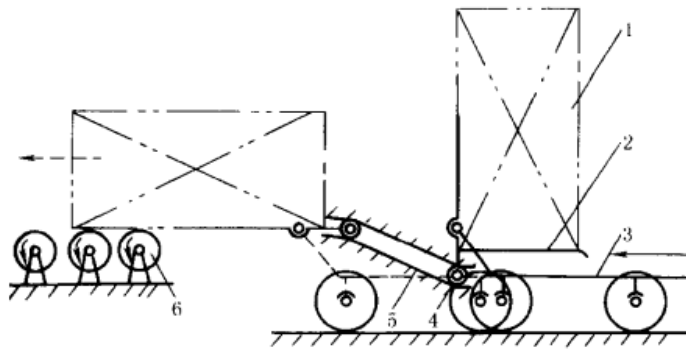


图 4-4-31 可倾翻卸包装箱的运输小车

图 4-4-32, 圆柱凸轮 1 上刻有往复螺旋槽, 两螺旋槽的头尾均用圆滑圆弧相接, 槽中有一与从动杆 2 的下端相连的船形导向块 3, 凸轮旋转时, 从动杆 2 即被带动作往复移动。凸轮转过的转数为两条螺旋槽的总导程数时, 从动杆完成一次往复循环。此机构效率较低, 宜用于慢速运动。在卷筒的导绳机构和纺纱机械中均有应用。

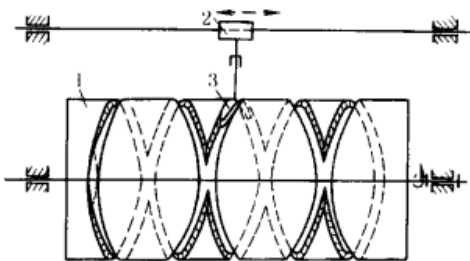


图 4-4-32 往复螺旋槽圆柱凸轮机构

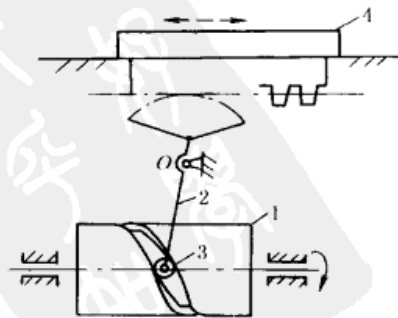


图 4-4-33 自动走刀圆柱凸轮机构

图 4-4-33, 凸轮 1 匀速转动, 其曲线凹槽带动滚子 3 使摆杆 2 绕固定轴 O 往复摆动, 再通过扇形齿轮齿条机构, 使刀架 4 按一定运动规律运动, 实现自动走刀。用于自动车床。

图 4-4-34, 主动偏心凸轮 1 回转, 通过四杆机构 ABCD 带动从动件 2 作有急回特性的往复运动, 实现细颗粒物分层与运输。如用于选矿机械的摇床中。

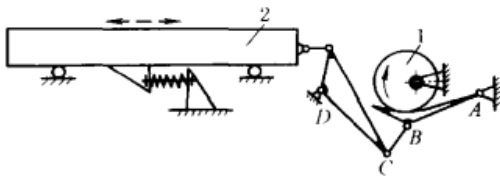


图 4-4-34 凸轮-连杆组合机构

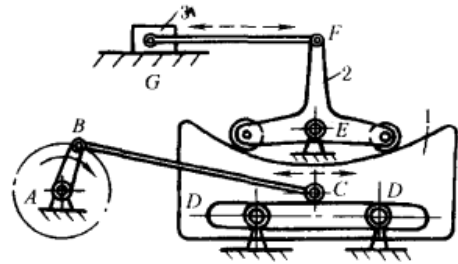


图 4-4-35 移动凸轮-连杆组合机构

图 4-4-35, 凸轮 1 由曲柄滑块机构 ABC 带动作往复移动, 与凸轮曲面接触的从动杆 2 绕 E 摆动, 使滑块 3 往复移动。改变凸轮曲面形状可使滑块 3 得到不同的运动规律。

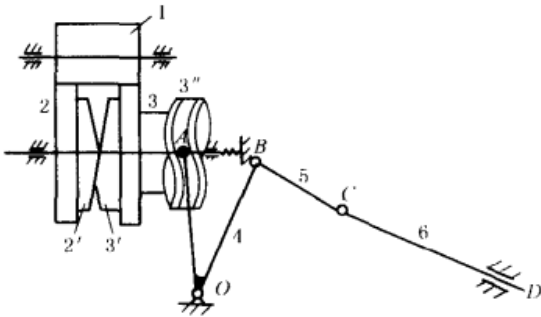


图 4-4-36 缫丝机导丝机构

图 4-4-36, 主动件为齿轮 1, 从动件为导丝器 6, 由 6 带动丝作往复移动, 工艺要求往复行程始末位置周期性变化。齿轮 1 与齿轮 2 ( $z_2 = 60$ ) 及齿轮 3 ( $z_3 = 61$ ) 同时啮合, 齿轮 3、端面凸轮 3' 及圆柱凸轮 3'' 固结为一体, 可沿轴向移动; 端面凸轮 2' 与齿轮 2 固结, 轴向位置固定。齿轮 3 及凸轮 3' 转 1 周, 齿轮 2 转  $1 \frac{1}{60}$  周, 摆杆 4 及导丝器 6 作往复运动一次, 由于齿轮 2、3 有相对转动, 故两端面凸轮 2' 及 3' 的接触点变化, 使圆柱凸轮 3'' 随同端面凸轮 3' 作微小的轴向位移, 改变导丝器 6 往复行程始末位置。当齿轮 3 转 60 周, 则齿轮 2 转 61 周, 两轮的相对位置及导丝器 6 的轨迹恢复到初始位置, 所以, 一个循环中, 导丝器 6 往复 60 次。

图 4-4-37, 图 a 为正弦机构, 主动曲柄作匀速转动时, 从动导杆按正弦规律的速度作往复运动。

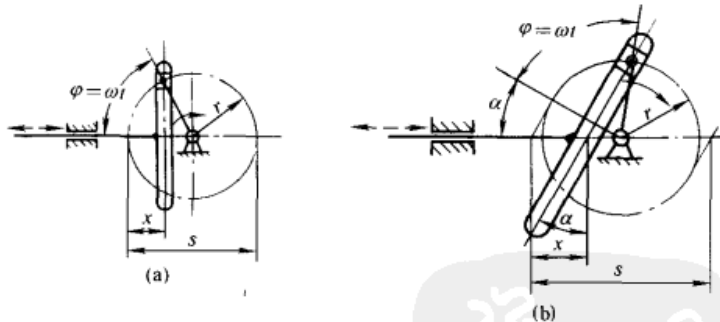


图 4-4-37 曲柄移动导杆机构

导杆行程  $s = 2r$ ;

导杆位移  $x = r(1 - \cos\varphi)$ ;

导杆速度  $v = r\omega \sin\varphi = \omega \sqrt{2rx - x^2}$ ;

导杆加速度  $a = r\omega^2 \cos\varphi = (r - x)\omega^2$ 。

这种机构多用于振动台、数字解算装置、操纵机构、印刷机和缝纫机等。

图 b 为具有倾斜导杆的正弦机构, 此时, 以  $\frac{r}{\cos\alpha}$  代替上述各式中  $r$ , 得到相应的公式, 此机构可获得较大的行程。

图 4-4-38, 斜面凸轮 2 与主动轴 1 固连, 滑块 3 以球面铰与从动杆 4 连接, 并通过弹簧与凸轮 2 接触。当主

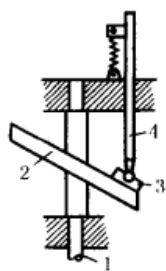
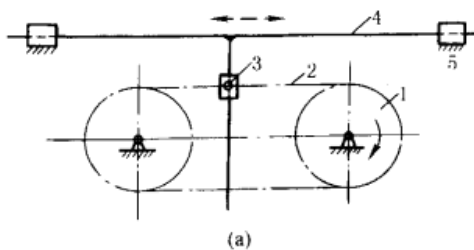
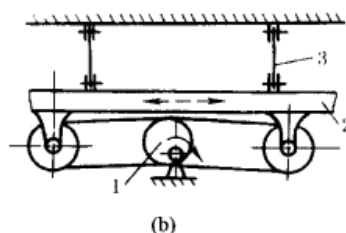


图 4-4-38 斜面凸轮往复机构



(a)



(b)

图 4-4-39 带挠性构件的往复运动机构

动轴旋转时，从动杆作往复简谐运动。

图 4-4-39a，滑块 3 铰接在链条 2 上，T 形导杆 4 可在滑块 3 中滑动，链轮 1 转动时，链条带着滑块 3 运动，从而带动导杆 4 在导轨 5 中作往复移动，当 3 在直线段时，4 为等速运动，当 3 在圆弧段时，4 作简谐运动。这种机构换向较平稳。

图 4-4-39b，主动偏心轮 1 转动，通过左右带轮带动筛体 2 往复摆动。筛体悬挂在平板弹簧 3 上。这种机构以两个挠性体代替曲柄摇杆机构中的连杆，同时悬挂采用板簧，能吸收一部分能量，动力性能较好。

图 4-4-40，内齿轮 3（半径为  $r_3$ ）固定，行星齿轮 2 的半径为  $r_2$ ， $r_3 = 2r_2$ ，杆 4 用铰链 A 连接在行星轮 2 的节圆上，当系杆 1 转动时，杆 4 沿  $O_1x$  作往复移动，其运动规律为：

$$x = 2r_2 \cos\varphi$$

这种机构用于快速印刷机中。

图 4-4-41a，不完全齿轮 1 顺时针方向旋转时，与不完全齿轮 3 啮合，齿轮 3 又与齿条 2 相啮合，并带动其向左移动，当齿轮 1 的轮齿 a 与齿轮 3 脱离时，轮齿 b 进入与齿条 2 啮合，从而带动齿条右移。改变齿数可调节齿条在两端的停歇时间。

图 4-4-41b，不完全齿轮 1 旋转时交替与上下齿条啮合，从而使构件 2 往复移动，并在两端有停歇。

不完全齿轮机构由于开始啮合和脱离啮合时都有严重冲击，只能用于低速、轻载。如印刷机等。其设计见本篇第 2 章。

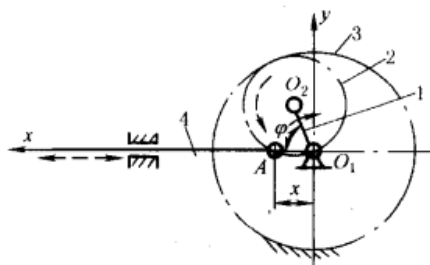
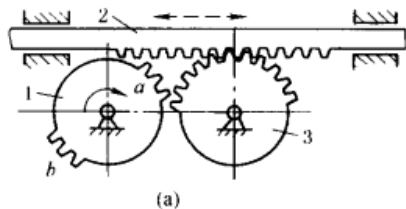
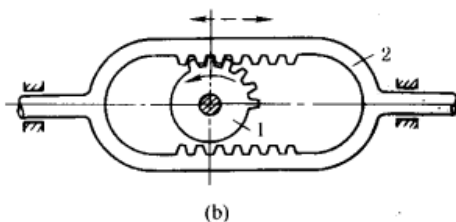


图 4-4-40 行星齿轮简谐运动机构



(a)



(b)

图 4-4-41 不完全齿轮传动的往复移动机构

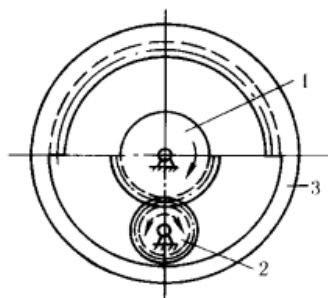


图 4-4-42 不完全齿轮带动的往复摆动机构

图 4-4-42，主动齿轮 1、3 固联，1 上有外齿，3 上有内齿，图示位置轮 2 逆时针方向转动，当轮 2 与轮 1 脱离而与轮 3 啮合时，轮 2 按顺时针方向转动，所以轮 2 作往复摆动。往复摆角不等，取决于轮 1、2 和轮 2、3 的齿数比，因此，轮 2 不是在固定的区间内摆动，而是以顺时针方向进  $n_1$  步，逆时针方向退  $n_2$  步的方式运动 ( $n_1 > n_2$ )。

不完全齿轮机构由于交替啮合时冲击较大，只用于轻载，低速的场合。

图 4-4-43，图 a 为摆动式给矿机构，蜗轮减速机通过曲柄摇杆机构 ABCD 带动闸门（与 CD 固联）往复摆动，实现间歇放矿。图 b 为装岩机扒矿机构，利用曲柄摇杆机构 ABCD 中连杆端部 E 点（扒爪）的环形轨迹扒取矿石。图 c 为用来调整雷达天线俯仰角度的曲柄摇杆机构。



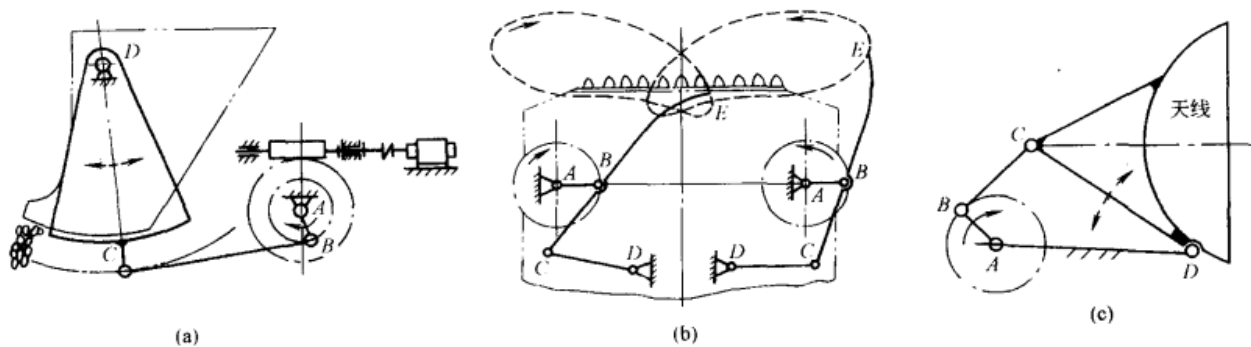


图 4-4-43 曲柄摇杆机构

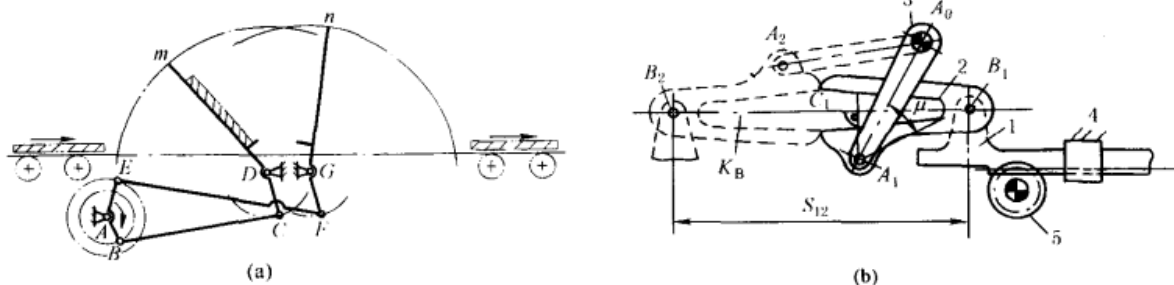


图 4-4-44 翻板机构

图 4-4-44, 图 a 是利用两个曲柄摇杆机构  $ABCD$  和  $AEFG$  组合而成的翻板机构。金属板（双点划线所示）先由左端进入摇杆  $Dm$  再过渡到摇杆  $Gn$ , 使金属板翻转  $180^\circ$  由右端运走。应用于有色金属轧机后端用来翻转金属板。

图 b 是用于将薄片零件翻转  $180^\circ$  的机构, 构件 1、2、3、4 组成摇杆滑块机构, 主动杆滑块（齿条）1, 连杆 2 为夹持薄片零件的弯杆。当主动齿轮 5 逆时针方向转动, 使齿条 1 向左移动距离  $S_{12}$ , 滑块与连杆 2 铰接点由位置  $B_1$  移至位置  $B_2$  时, 连杆 2 与摇杆 3 的铰接点由位置  $A_1$  转至位置  $A_2$ , 此时连杆 2 由位置  $A_1B_1$  移至  $A_2B_2$ , 它在图示平面内转动  $180^\circ$ , 相应地使夹持的薄片也随之翻转  $180^\circ$ 。

图 4-4-45, 活塞杆 2 在摆动汽缸 1 中运动, 带动杆 3 摆动, 通过连杆 5 又使杆 4 摆动, 从而带动塞杆 6 启闭高炉的出渣口。

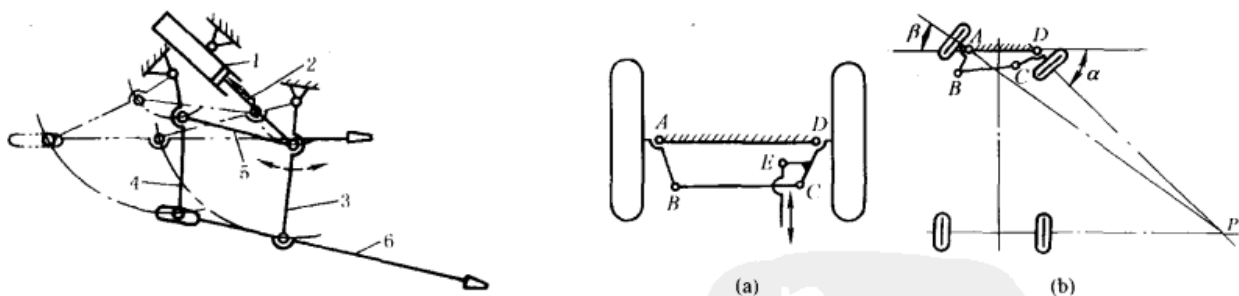


图 4-4-45 渣口堵塞机构

图 4-4-46 汽车前轮转向机构

图 4-4-46a,  $ABCD$  为等腰梯形的双摇杆机构,  $CD$  上带一拐臂, 在  $E$  点与操纵杆相连。操纵杆使双摇杆摆动, 并使两车轮转向, 如图 b, 其特点是双摇杆控制的两车轮转角不等, 即  $\alpha \neq \beta$ , 使汽车在转弯时两前轮的轴线交点  $P$  能落在后轮轴线的延长线附近, 尽可能实现轮胎与地面作纯滚动。

图 4-4-47a, 实线位置是轮子落地时的情况, 飞机起飞后双摇杆机构  $ABCD$  运动到双点划线  $AB'C'D$  位置, 使轮子收藏起来, 减少空气阻力。

图 4-4-47b 为构件 2、3 组成的液压缸在压力油作用下伸缩时, 轮轴支柱 1 绕斜轴摆动, 达到收放飞机起落架的目的。其中, 构件 2、3 各有一个绕圆柱副轴线转动的局部自由度。

图 4-4-48, 图 a 为加热炉炉门的开闭机构。炉门在双摇杆机构的实线位置时 ( $AB_1C_1D$ ) 是启开位置, 在双点划线位置 ( $AB_2C_2D$ ) 表示关闭位置。这种炉门机构有如下特点:

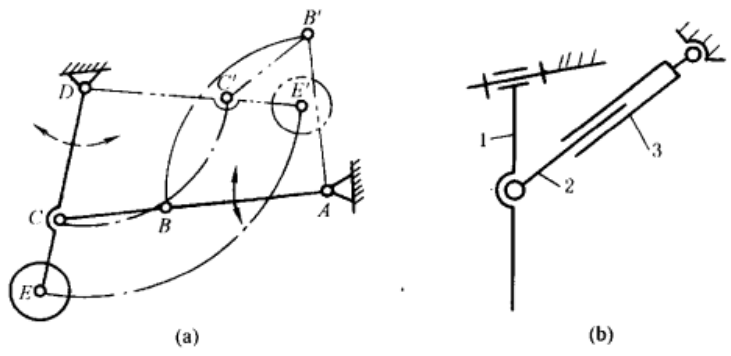


图 4-4-47 飞机起落架机构

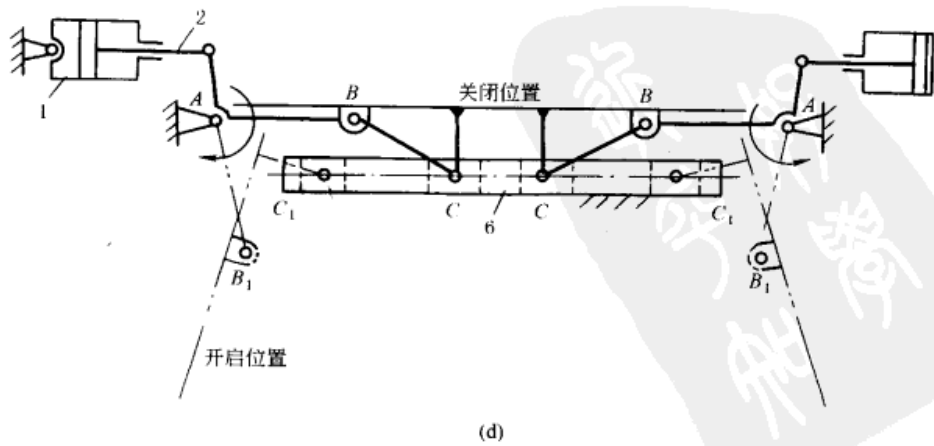
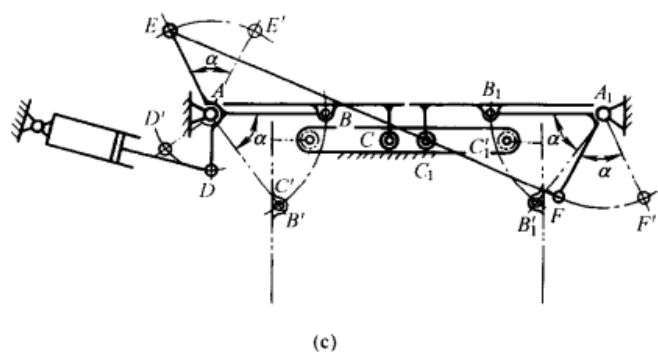
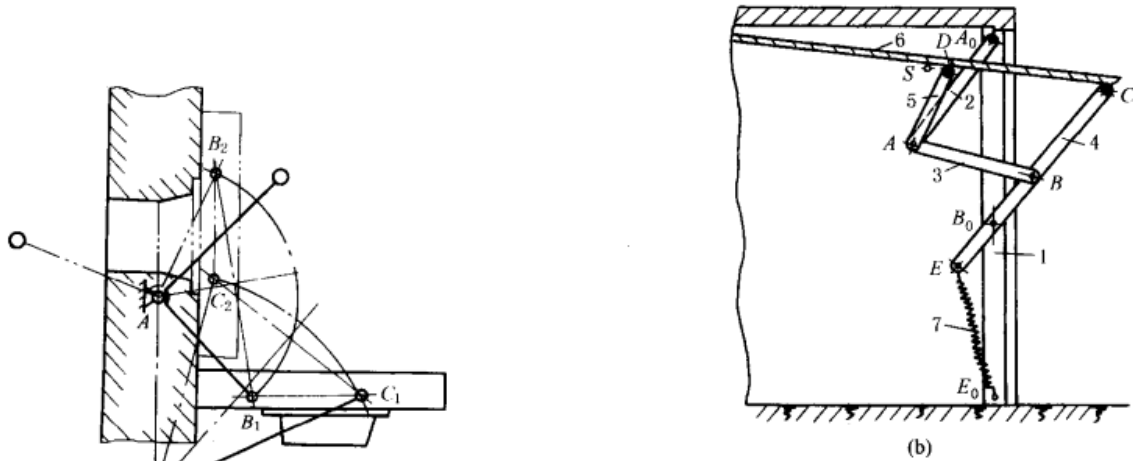


图 4-4-48 门的开闭机构



① 多铰接点位置应经过适当选择, 使炉门在运动过程中不应发生轨迹干涉, 即启闭过程中, 炉门不应与炉壁相碰;

② 开启时炉门呈水平位置, 有利操作;

③ 开启时炉门的热面朝下, 冷面朝上, 操作条件较好。

图 b 为汽车库门的启闭机构, 库门在由关闭到开启或由开启到关闭时都应不与车库顶部或库内汽车相碰。此图为车库门启闭机构的结构简图, 它是由铰链四杆机构  $A_0ABB_0$  和两杆组  $CDA$  组成的。杆 6 本身即为车库大门。当用手推拉杆 4 时, 即能使库门启闭, 弹簧  $E_0E$  用以平衡库门重量, 并能使库门在任一位置时均保持静止状态。此外, 库门在启闭过程中所占的空间较小。

图 c 为车门开闭机构,  $ABC$  为摇杆滑块机构, 当汽缸带动摇杆  $AB$  转动到  $AB'$  位置时, 左车门  $BC$  (机构中的连杆) 被打开到  $B'C'$  位置。通过反平行四边形机构  $AEFA_1$  使右车门实现联动, 反向转动相等的角度。

图 d 为两个驱动缸的车门开闭机构。

图 4-4-49a 为电风扇的摇头机构, 是一双摇杆机构  $ABCD$ , 电机 1 与摇杆  $AB$  固连, 蜗轮 2 与连杆  $BC$  固连,  $AD$  为机架, 当风扇工作时, 通过电机 1 端部的蜗杆带动蜗轮 2 转动, 从而使风扇 ( $AB$ ) 绕  $A$  往复摆动。四杆长度应满足最短杆  $BC$  长度加最长杆  $CD$  长度之和小于其他两杆长度之和的条件, 则杆  $AB$ 、 $CD$  相对机架  $AD$  只能作一定角度的摆动, 连杆  $BC$  相对机架  $AD$  能作整周转动。

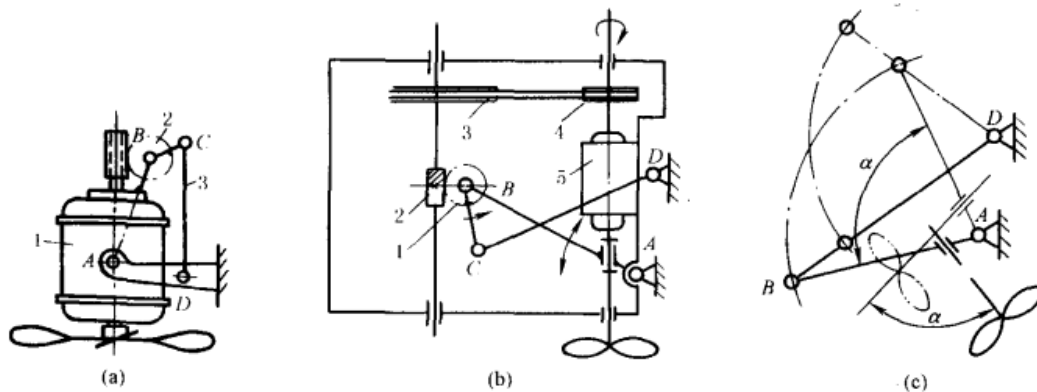


图 4-4-49 电风扇的摇头机构

图 b 是另一种双摇杆摇头机构, 带风扇的电机 5, 带轮 3、4 和蜗杆 2、蜗轮 1 均装于连架杆  $AB$  上, 而 1 又与连杆  $BC$  固联。电机转动时使摇杆  $AB$ 、 $DC$  往复摆动。

图 c 为图 b 的机构简图, 风扇摆动角度为  $\alpha$ 。

图 4-4-50, 图 a 为刮水器结构, 它由电机 1、连杆 2、枢轴 3、传动机构 4、刮臂 5 和刮片 6 组成。为了确保规定的刮刷面积, 通常采用两个刮片同时工作。电机的旋转运动变成摇摆往复运动是通过电机输出轴的蜗轮蜗杆和曲柄摇杆机构实现的。

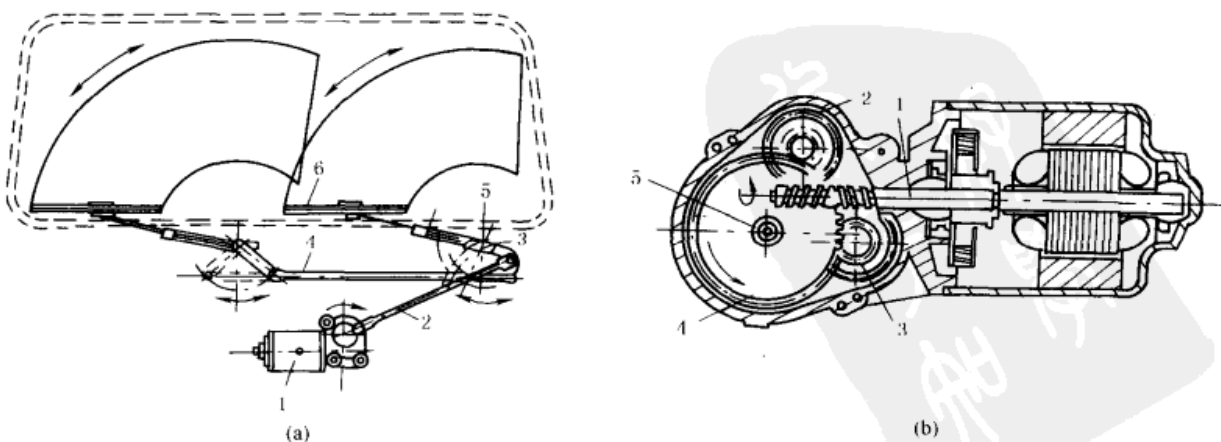


图 4-4-50 汽车风窗刮水器机构

图 b 为驱动电机及其蜗轮蜗杆机构。电机轴上的蜗杆 1 由左、右相反的两段螺旋组成，分别带动位于蜗杆轴两侧的双联齿轮 2、3 中的大齿轮同向转动。双联齿轮中的小齿轮与输出齿轮 4 啮合，输出齿轮 4 与输出轴 5 一起转动。输出轴 5 上连接有曲柄摇杆机构的曲柄。

图 4-4-51，当井下列车通过风门时，通过行程开关，使汽缸 1 动作，将碰杆 2 拉向双点划线位置，杆 2 端部有小轮 3 可在门  $DM$  的导槽中滑动，使  $DM$  绕  $D$  转动到  $DM_1$  位置，再通过平行四边形机构  $DCBA$  推动另一扇门  $AN$  绕  $A$  转动到  $AN_1$  位置。此时，两扇门打开，列车通过。列车通过以后，在电气系统作用下，风门重新关闭。如果电气系统有故障。经减速的列车可直接推动碰杆 2（右行时）或 4（左行时）将门打开。

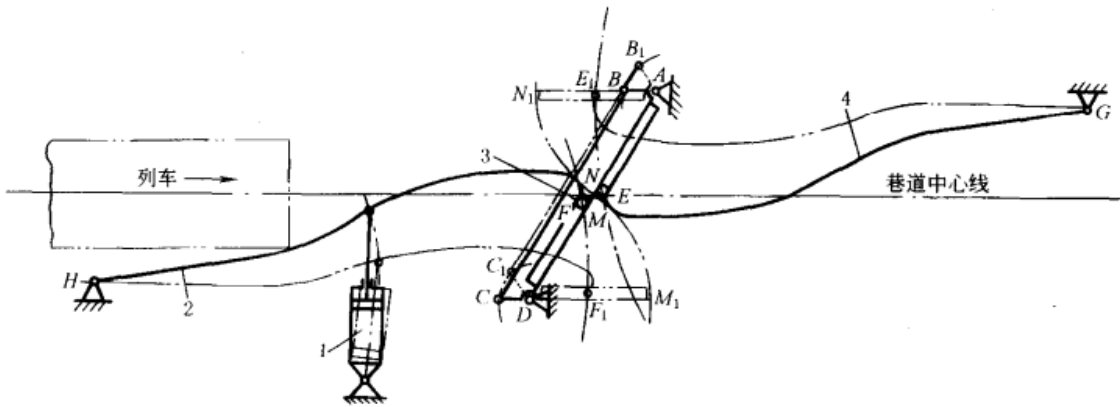


图 4-4-51 矿山井下坑道气动碰杆风门装置

图 4-4-52，当罐笼停于井口时，为了使矿车平稳地进入罐笼，可采用摇台稳罐联动装置。摇台 3、9 可搭在罐笼上，使矿车经其上进入罐笼，稳罐器 4、11 从两侧顶住罐笼，不使其摇晃。当矿车进罐时，车轮压下杆 2，带动摇台 3 绕  $D$  转动，同时摇台 3 的下部弯杆通过开口槽中的滚轮 6 带动杆 5 绕  $F$  点转动，使稳罐器 4 伸出，并稳住罐笼。杆 3、5 分别通过与其上  $E$ 、 $I$  点铰接的杆 8、7 带动罐笼另一侧的摇台 9 与稳罐器 11 动作。当摇台 3 转动到使稳罐器 4、11 全部伸出时（即已从两边顶住罐笼），滚轮 6 正好离开弯杆上的开口槽  $C$ ，到达弯杆的圆弧面  $a'b'$  上（圆弧面  $ab$ 、 $a'b'$  的圆心为  $D$ ），摇台 3 继续绕  $D$  转动到双点划线位置，此时稳罐器 4、11 不再跟随摇台 3 动作，处于不动位置。矿车进入罐笼以后，摇台 3、9 在重锤作用下复位，同时稳罐器的滚轮 6 重新进入槽  $C$  被摇台 3 带动复位。

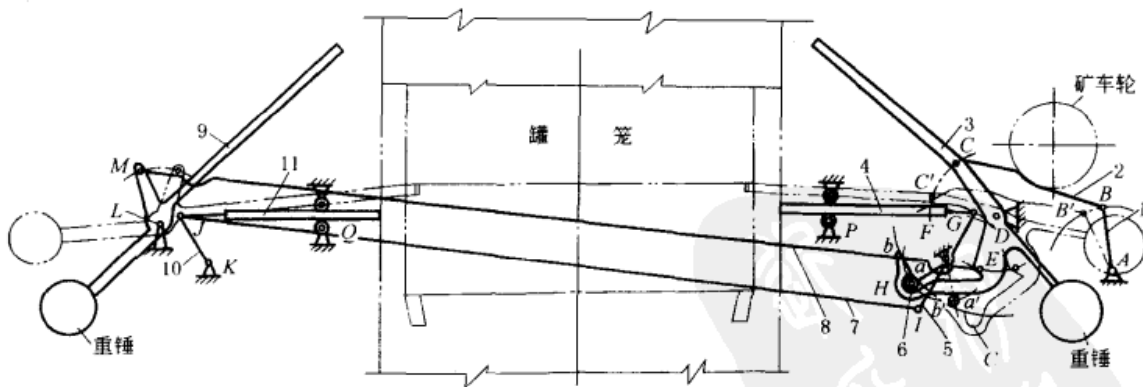


图 4-4-52 矿井罐笼摇台稳罐联动装置

此装置是由多个产生往复摇动的平面连杆机构组成，即由四杆铰链机构  $ABCD$  带动两个反平行四边形机构  $DEML$  和  $FIJK$  实现两侧同时动作。通过杆 3 延长体的弯杆部分  $DH$  与滚轮 6 及摇杆 5 实现摇台 3 与稳罐器 4 联动或脱离。

往复移动和往复摆动的机构，还可通过各种自动换向装置实现，这里不予列举。

### 4 急回机构

图 4-4-53, 曲柄  $AB$  从  $AB_1$  转过角度  $(\pi - \theta)$  到  $AB_2$  时, 滑块  $C$  由  $C_1$  到  $C_2$ ,  $AB$  由  $AB_2$  转过角度  $(\pi + \theta)$  到  $AB_1$ , 滑块  $C$  由  $C_2$  到  $C_1$ 。具有滑块工作行程 (由左向右) 和空行程的速度不等的特性。其行程速比系数为:

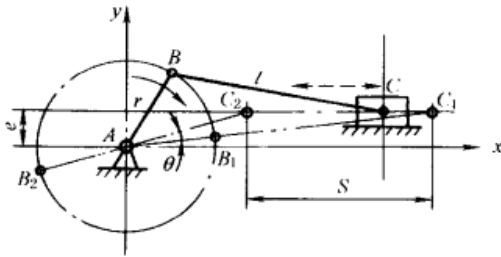


图 4-4-53 偏置的曲柄滑块机构

$$K = \frac{\pi + \theta}{\pi - \theta}$$

当加大  $r$  或  $e$ , 则  $\theta$  增大, 急回特性也增加, 当加大  $l$  时, 则  $\theta$  减小, 急回特性减小。机构的曲柄存在条件为  $r + e \leq l$ 。滑块行程  $S > 2r$ 。

图 4-4-54, 图 a 为由转动变往复移动的摆动导杆机构 ( $AC = L > r$ ), 行程速比系数为:

$$K = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta}$$

$$\theta = 2 \arcsin \frac{r}{L}$$

式中

杆  $EF$  的位置方程为

$$x = R \sin \Psi$$

式中

$$\Psi = \arctan \frac{r \sin \phi}{L + r \cos \phi}$$

杆  $EF$  的行程为

$$S = 2R \sin \frac{\theta}{2}$$

当减小  $L$  或加大  $r$  时, 机构尺寸可减小, 导杆摆角可增大, 但空行程角速度变化剧烈, 故一般推荐  $\frac{L}{r} > 2$ , 此时导杆摆角  $\theta < 60^\circ$ 。

图 b 为由旋转变旋转的摆动导杆机构, 在导杆 3 上装有节圆半径为  $R$  的扇形齿轮, 它与半径为  $r_2$  的齿轮 2 啮合, 则齿轮 2 作大摆角急回往复转动, 其往复旋转角为:

$$\phi = \frac{R\theta}{r_2} = 2 \frac{R}{r_2} \arcsin \frac{r_1}{L}$$

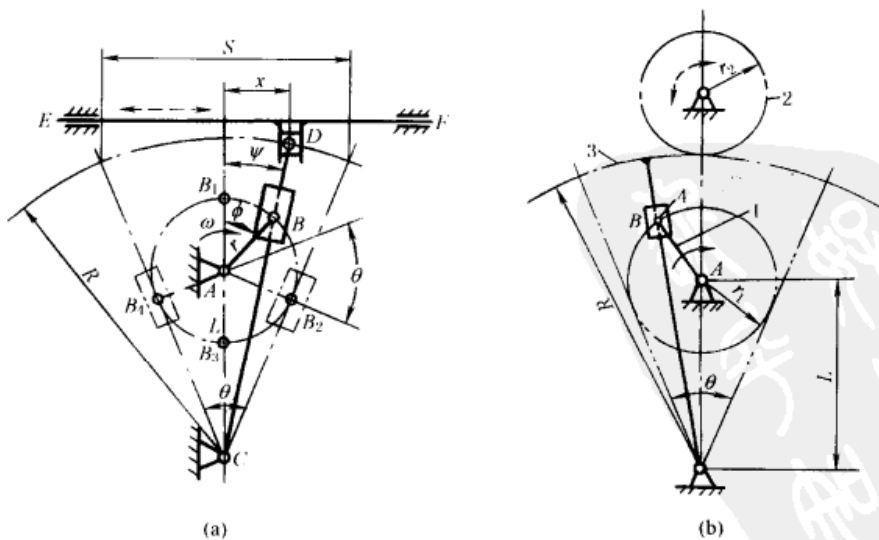


图 4-4-54 曲柄导杆机构

摆动导杆机构在插床、刨床等机床中有广泛的应用。

图 4-4-55，旋转导杆与摆动导杆组合在一起加强了滑块 G 的急回效果，其行程速比系数显著增大为：

$$K' = \frac{\varphi'}{\pi - \varphi'} > K = \frac{\varphi}{\pi - \varphi}$$

因此，要求  $AC > AB$ ，随着比值  $\frac{AC}{AB}$  的减小，机构的动力性能变坏，一般推荐  $\frac{AC}{AB} > 2$ 。

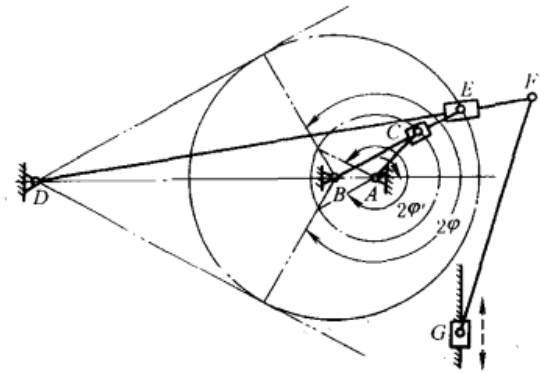


图 4-4-55 双导杆滑块机构

图 4-4-56a，曲柄 AB 旋转时带动导杆 BD 和摇块 C 绕 C 点旋转，并使滑块 E 作往复急回运动。此时，导杆 BD 在摇块 C 中作相对滑动，而 D 点的轨迹为 α（此 α 不是圆形）。如果在 D 点不铰接连杆 DE，而铰接一个可在圆盘 I 的开口槽中滑动的圆滚，通过此圆滚驱动圆盘 I 绕 A 点转动，此时圆盘 I 将得到具有急回特性的非匀速转动。

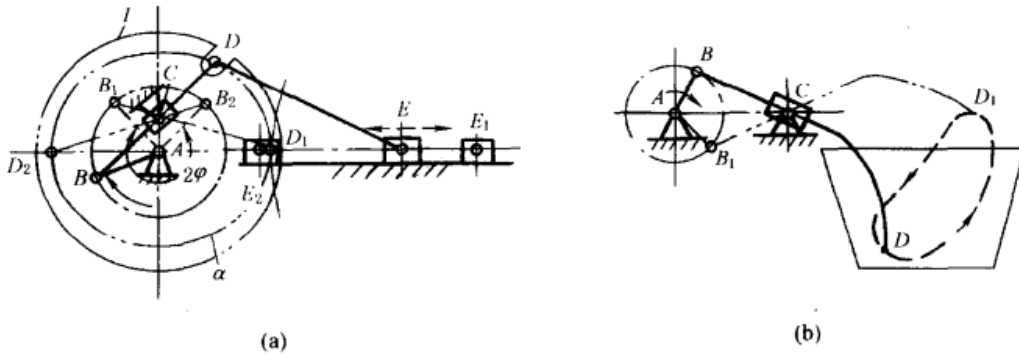


图 4-4-56 摇块机构

图 b 为摇块机构用于搅拌机的实例。此机构中的摇块绕 C 点摆动。

图 4-4-57 是用于重型插床的六杆机构，在曲柄摇杆机构 OABC 中，杆长  $AB = BC = BD$ 。主动曲柄 OA 由  $OA_1$  顺时针方向转到  $OA_2$  是工作行程（滑块作向下切削运动），由  $OA_2$  到  $OA_1$  是空行程（滑块作退刀运动）。当主动曲柄 OA 等速回转时，插刀在工作行程获得近似等速运动，并实现空行程急回要求。

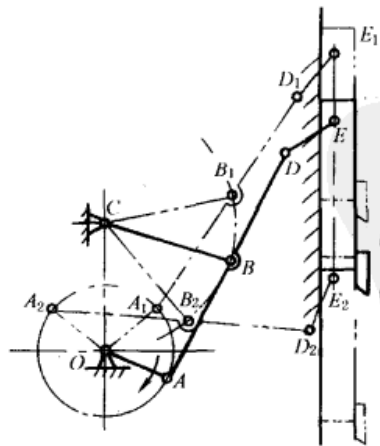


图 4-4-57 六杆急回机构



## 5 行程放大机构

图 4-4-58, 一对与上、下齿条同时啮合的齿轮, 由曲柄  $AB$  带动作往复运动。下齿条固定不动, 齿轮带动上齿条作增大行程的往复移动。曲柄长为  $r$  时, 上齿条的行程  $S = 4r$ 。

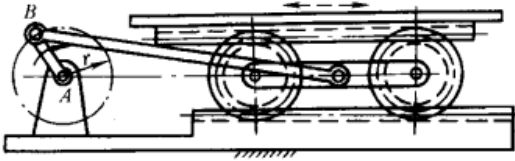


图 4-4-58 齿轮齿条机构

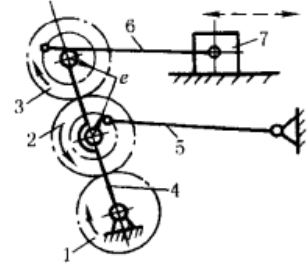


图 4-4-59 齿轮-连杆机构

图 4-4-59, 杆 4 上铰接有三个齿数相同的齿轮 1、2、3, 齿轮 1 和杆 4 下端铰接在机架上。齿轮 2、3 分别以偏心距  $e$  和杆 5、6 铰接, 其偏心方位相对杆 4 对称。杆 5、6 分别与机架及滑块 7 铰接。主动轮 1 转动时, 杆 6 带动滑块 7 作往复移动, 行程  $S = 6e$ 。

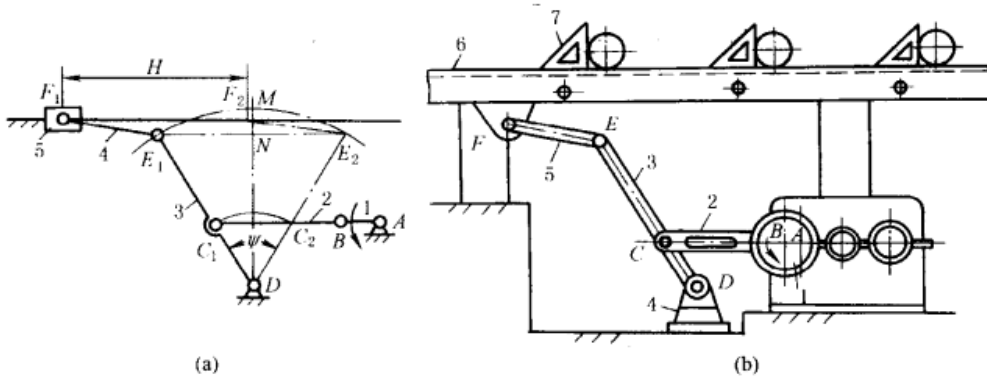


图 4-4-60 扩大行程的六杆机构

图 4-4-60a, 六杆机构是由一个行程速比系数  $K = 1$  的曲柄摇杆机构  $ABCD$  和在其摇杆  $E$  处添加连杆 4 和滑块 5 组成的 II 级杆组构成, 并使滑块导路中心线通过线段  $MN$  的中点。行程  $H$  为

$$H = E_1 E_2 = 2ED \sin \frac{\Psi}{2}$$

因  $K = 1$ , 故  $C_1 C_2 = 2AB$ , 则  $\sin \frac{\Psi}{2} = \frac{AB}{CD}$ , 将其代入上式得

$$H = 2AB \frac{ED}{CD}$$

缩小尺寸  $CD$  或加大尺寸  $ED$  均可使行程  $H$  扩大, 而机构的横向尺寸要比行程  $H$  相同的对心曲柄滑块机构小得多。

图 b 是扩大行程的六杆机构在冷床运输机上的应用。该运输机能使热轧钢料在运输过程中逐渐冷却。动力源通过减速箱驱动偏心轮 1 转动, 通过连杆 2、摇杆 3、连杆 5 使拨杆 (相当于滑块) 6 作往返速度相同的往复移动。前移时, 拨杆 6 上的单向摆动的拨块 7 推动导轨上钢料前移一距离, 而后返回原位置。

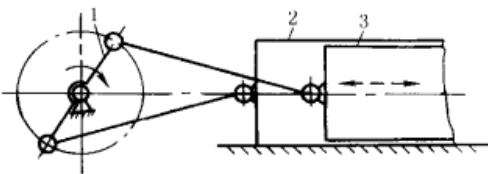


图 4-4-61 压缩机机构

图 4-4-61 中, 主动曲柄 1 转动时, 通过对称铰接的两个连杆带动缸体 2 和活塞 3 作相对运动, 其相对行程为曲柄长度的

4 倍。

图 4-4-62a, 曲柄 1 转动, 通过连杆带动小车往复移动。两车轮轴上各套有可在轴上自由旋转的轮 3。两轮间用带 2 环绕并拉紧, 带的下边在 A 点固定。当小车往复移动时, 连于带上方的 B 亦作往复运动, 行程为曲柄长度的 4 倍。

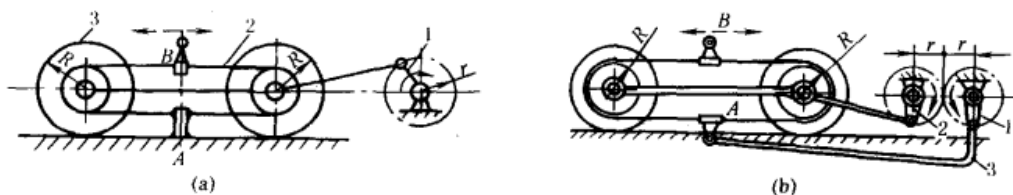


图 4-4-62 带轮增大行程机构

图 b, 小车部分与图 a 相同, 但固定点 A 不与机架相连而与另一连杆 3 相连, 曲柄 1、2 分别装在一对反向旋转的齿轮上, 此时 B 的行程为曲柄长度的 8 倍。

图 4-4-63, 汽缸 1 中的活塞运动时, 通过绳索滑轮组使从动滑块 2 的运动距离为活塞运动距离的 6 倍。可用于弹射装置。

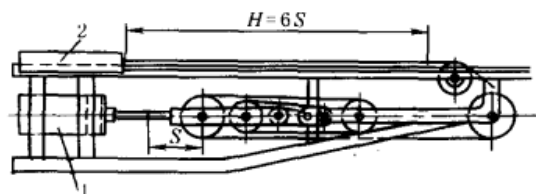


图 4-4-63 复式滑轮组增大行程机构

图 4-4-64, 活塞 3 端部装一链轮, 链条一端绕过链轮与叉车架上 A 点连接, 另一端与叉板 1 在 B 点连接, 导向滚子 4 可在导槽 2 中上下移动。叉板提升高度为活塞行程的 2 倍。

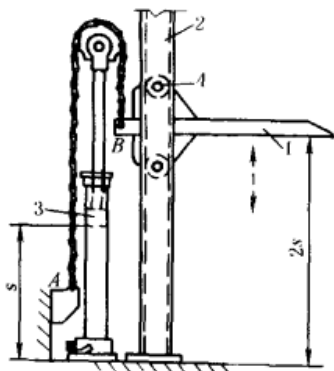


图 4-4-64 叉车门架提升机构

图 4-4-65, 主动凸轮 1 回转时, 其上四条凸起的对称轮廓 A、B、C、D 依次推动从动滑块 2 上四个对应的滚子 a、b、c、d。使滑块作往复移动, 其总行程为  $s = (r - r_1) + h$ 。滑块 2 在各段的运动规律, 取决于凸轮 1 上对应廓线的形状。

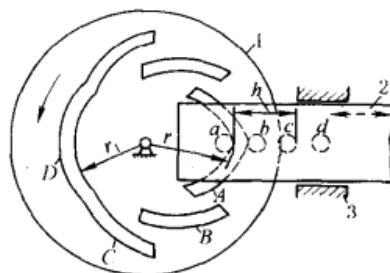


图 4-4-65 凸轮增大行程机构

图 4-4-66, 主动齿轮 1 通过齿轮 2 使双端面凸轮 4 转动, 装在机架上的滚子 7 通过下端面凸轮使凸轮 4 在轴 5 上往复移动, 凸轮 4 的上端面轮廓推动装在移动构件 8 上的滚子 6, 使构件 8 得到增大了行程的往复移动。

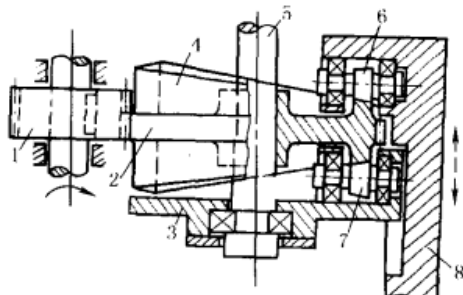


图 4-4-66 双面凸轮增大行程机构

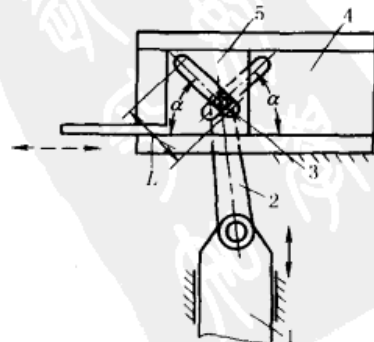


图 4-4-67 滑块增大行程机构



图 4-4-67, 连杆 2 上的滚子 3 同时插入在构件 4、5 上相互交叉的两条斜槽中。滑块 1 上下运动时, 杆 2 上的滚子在两个斜槽中滑动, 迫使从动滑块 5 在机架的导轨 4 中左右移动, 移动行程  $s = 2L \cos \alpha$ 。

图 4-4-68, 主动摆杆 1 端部的滚子插入从动杆 2 的槽中, 杆 1 摆动  $\alpha$  角时, 从动杆 2 摆动一个增大的  $\beta$  角。增大距离  $a$  (但  $a < r$ ) 可以增大杆 2 的摆角。 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $r$  和  $a$  间的关系为:

$$\beta = 2 \arctan \left[ \frac{r}{a} \tan \frac{\alpha}{2} / \left( \frac{r}{a} - \sec \frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

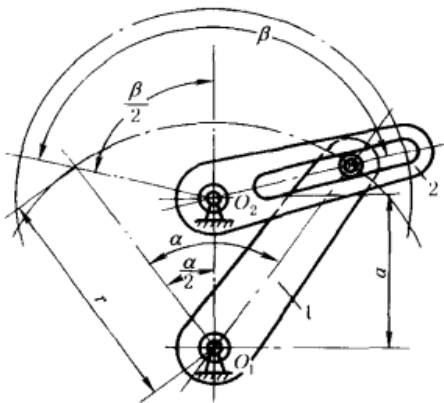


图 4-4-68 摆动角增大机构

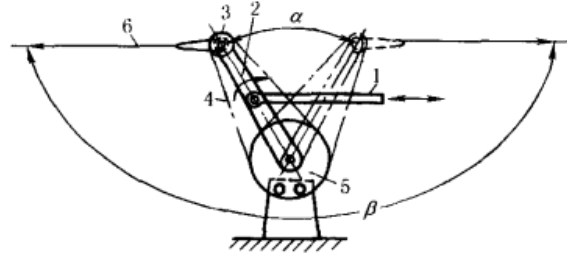


图 4-4-69 宽摆角机构

图 4-4-69, 杆 2 两端各有一链轮 3 和 5 (齿数各为  $z_3$  和  $z_5$ ), 链轮 5 固定不动, 链轮 3 是行星轮, 两者间用链条 4 连接, 杆 1 带动摆杆 2 摆动一较小角度  $\alpha$ , 固定在链轮 3 上的从动杆 6 可得到一个放大的宽摆角  $\beta$ 。摆角的放大比率取决于两链轮的齿数比:

$$\frac{\beta}{\alpha} = 1 - \frac{z_5}{z_3}$$

## 6 可调行程机构

图 4-4-70a, 曲柄及连杆长度均可调节的四杆机构  $ABCD$  的主动圆盘 1 回转时, 带动从动摇杆 3 往复运动。调节螺旋 5 可改变曲柄销  $B$  的位置, 从而改变曲柄 1 的长度  $AB$ 。调节紧固螺钉 6 可改变连杆 2 的长度  $BC$ 。由于构件长度的改变, 输出件 3 的摆角行程相应改变。

图 b, 主动偏心轮 1 绕固定轴  $A$  回转时, 带动导杆 2 运动。调节螺旋 3 改变机架  $AC$  长度, 从而改变输出杆的行程。

图 c 均为多杆机构。主动曲柄 1 回转时, 从动摇杆 3 作往复摆动。调节滑块 2 的位置 (实际为改变机构中某一构件与机架铰接点位置), 可改变从动杆 3 的摆动行程。

图 d, 曲柄 1 绕  $A$  轴回转, 通过连杆 2 使构件 3 绕  $B$  轴摆动; 滚子  $a$  安置于构件 3 内缘与棘轮 4 (星形轮) 轮齿所形成的楔形槽内, 从而带动该棘轮按图示转向间歇转动。导块 5 可在曲柄 1 的导槽  $b$  内移动, 并紧固在某一所需的位置, 即可改变曲柄 1 的长度, 则构件 3 的摆角及棘轮 4 每次的转角都将随之变化。

图 4-4-71a, 圆盘 2 上曲柄  $AB$  绕轴  $A$  回转, 带动滑块  $C$  作往复运动, 曲柄  $AB$  的长度  $R$  是可调节的, 调节时将偏心轮 1 绕  $A$  转动  $\alpha$  角后, 将轮 1 和盘 2 固连。曲柄长度为:

$$R = \sqrt{(a+b)^2 + r^2 + 2(a+b)r \cos \alpha}$$

式中  $a$ ——曲柄销  $B$  到盘 2 圆心  $O_2$  的距离;  
 $b$ ——盘 2 圆心  $O_2$  到偏心轮 1 圆心  $O_1$  的距离;  
 $r$ ——偏心轮 1 的偏心距,  $r = AO_1$ ;  
 $\alpha$ ——偏心轮 1 的回转角度。

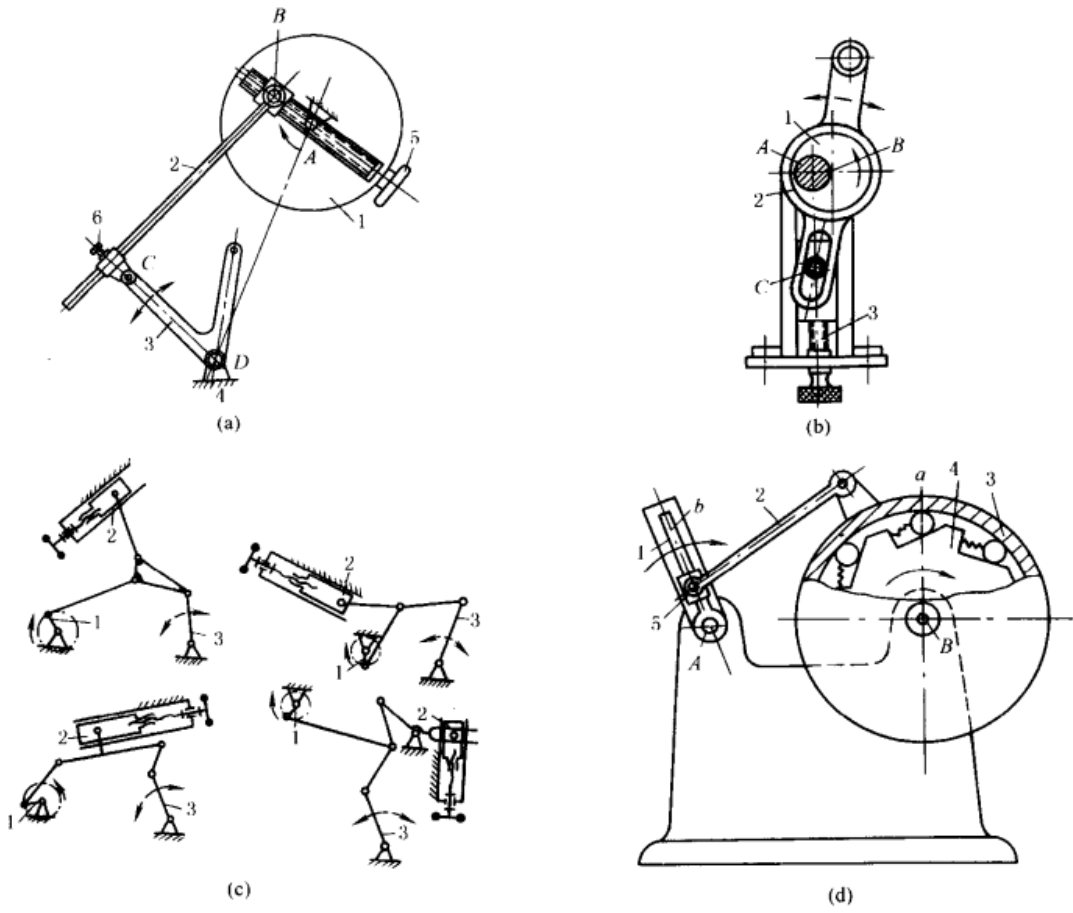


图 4-4-70 螺旋调节机构

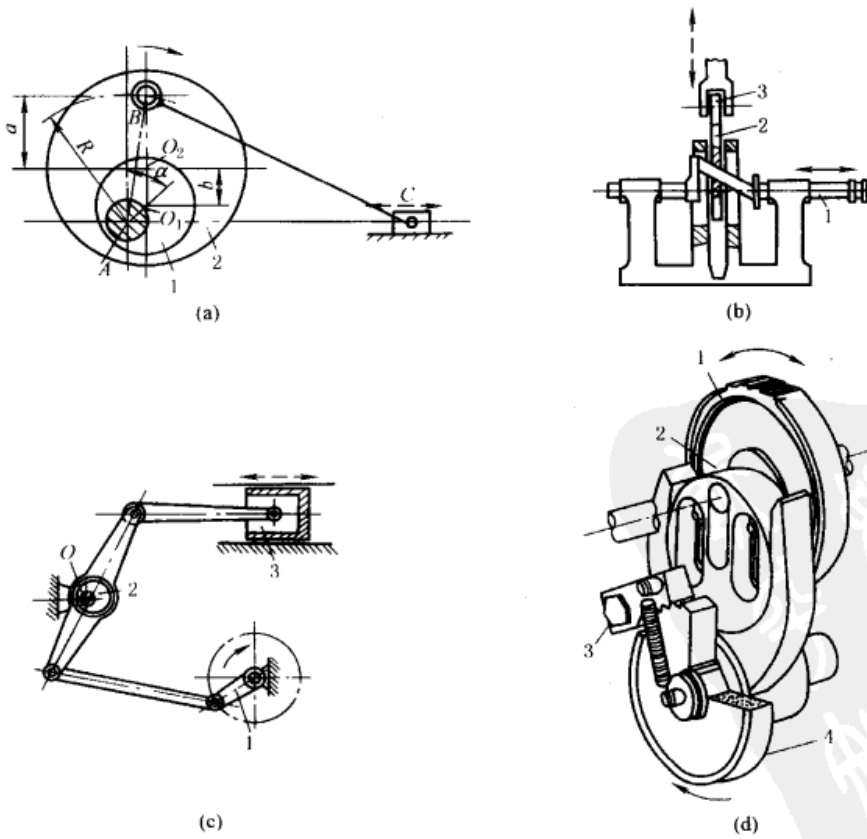


图 4-4-71 偏心调节机构

图 b, 凸轮 2 用滑键连接于轴 1 的倾斜轴颈上, 当轴 1 轴向移动时, 凸轮 2 的偏心发生变化, 从而改变了从动件 3 的行程。

图 c, 曲柄 1 回转时带动活塞 3 作往复运动, 调节时将偏心轮 2 绕  $O$  轴转动, 改变机架的长度达到调节行程的目的。调好后将偏心轮 2 固定于此位置。

图 d, 机构的输入轴上装有齿轮 1 和偏心轮 2, 输出轴上装有棘轮 4, 并空套有 U 形摆杆 5, 棘爪 3 安装在 U 形摆杆上。输入轴由齿轮带动转动时, 偏心轮 2 使 U 形摆杆 5 往复摆动, 由棘爪推动棘轮实现单向间歇运动。该机构偏心轮的偏心量可以调整, 是通过图中的两个腰形孔和两个螺栓来实现的。改变偏心量, 便改变了 U 形摆杆的摆动角度, 从而改变了棘轮的转角大小。

图 4-4-72, 均是运转中能进行调节运动的机构, 要求机构有两个自由度 (个别有三个自由度), 即要求有两个主动件 (其中一个输入主运动, 另一个输入调节运动), 当调节主动件调到需要的位置之后, 将它固定, 则机构就成为一个自由度的机构。

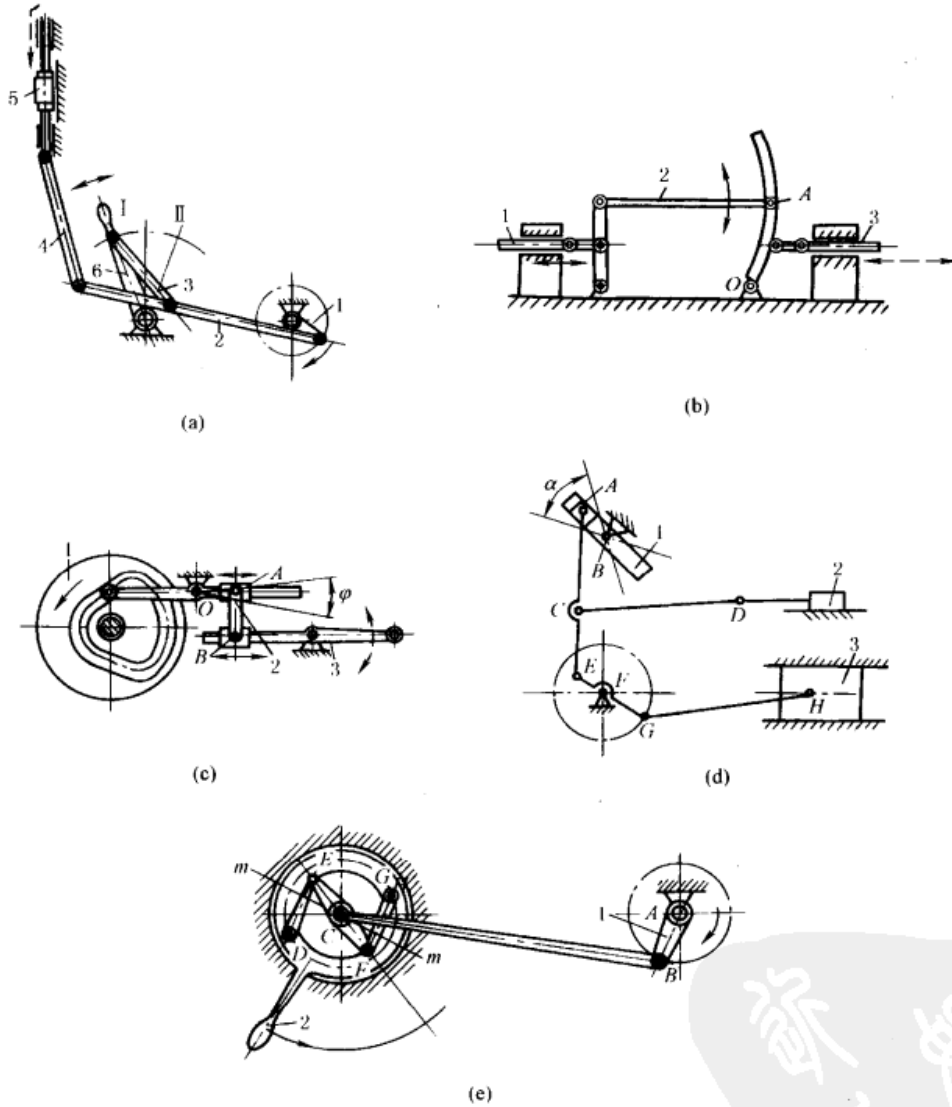


图 4-4-72 连杆调节机构

图 a, 通过改变构件 6 的位置 (如 I、II 之间的位置) 来改变机架的长度, 实现调节从动件 5 的行程。构件 6 调节好以后, 固定于某一位置。常用于换向配气机构。

图 b、c 都是通过改变构件 2 的位置, 从而改变某一构件长度, 实现调节从动件 3 的行程。机构 b 在运转时可调节连杆 2 的转角, 从而改变杆  $OA$  的长度, 实现调节从动件 3 的往复移动行程。机构 c 在运转时调节杆 2 (实为同时调节  $A$ 、 $B$  的相互位置), 以实现调节从动件 3 的摆动行程。

图 d、e 都是通过改变曲柄滑块机构中滑块的导向方位实现调节。机构 d 中, 杆 1 可在角度  $\alpha$  的范围内绕  $B$

转动, 调节到某一所需位置, 从而控制阀门 2 的行程或换向, 使活塞 3 的气体受到控制。杆 1 调好以后固定于所需位置, 活塞 3 通过连杆、曲柄等杆件与阀门 2 联动。机构  $e$  表示用直线机构  $DEFG$  上  $C$  点轨迹的直线段 (图示位置此直线段与直线  $mm$  重合) 代替导杆的机构。将构件 2 转动到某一位置,  $C$  点直线段方位 (即  $mm$  直线) 发生变化,  $C$  点行程也相应发生变化。构件 2 调好后应予以固定, 此时  $D$ 、 $G$  即是在机架上的铰接点。

图 4-4-73, 当主动件 1 匀速转动时, 带动从动件 3 往复摆动, 并使输出件 4 脉动转动。当移动构件 2 用以改变机架长度时, 从动件 3 得到不同的摆角, 从而使输出件 4 得到不同的转角或脉动角速度。构件 2 调整好以后应予以固定。这种机构用于脉动无级变速机构。此外, 可调的棘轮机构也是回转角可调的应用实例。

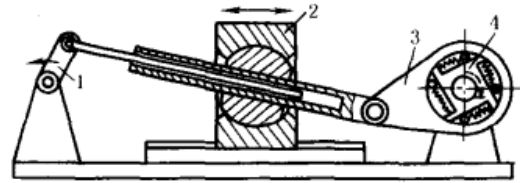


图 4-4-73 回转角可调的机构

图 4-4-74, 主动曲柄 1 通过连杆 2、5 带动齿条 7, 使齿轮 8 往复转动, 摆杆 10 与齿轮 8 固联, 齿轮 8 往复转动时, 通过固联杆 10 带动棘爪 11, 11 推动空套在  $A$  轴上的棘轮 9 作单向间歇转动。这种机构可在运行中调节定位销 4, 从而改变滑块 6 的位置, 使棘轮 9 的转角获得调节, 以此来控制机床的进给运动。

图 4-4-75, 机构的工作台 1 用齿牙盘 (鼠齿盘) 4 定位, 其间歇转动的转角 (分度角) 可以按工作要求进行调整, 等分或不等分均可实现, 其单位调整量为齿盘一个齿的分度角。

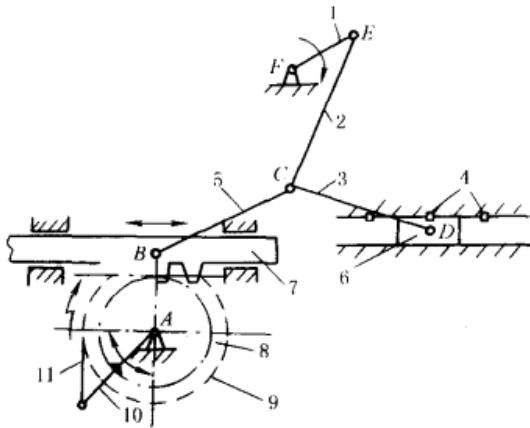


图 4-4-74 机架长度可调的棘轮调节机构

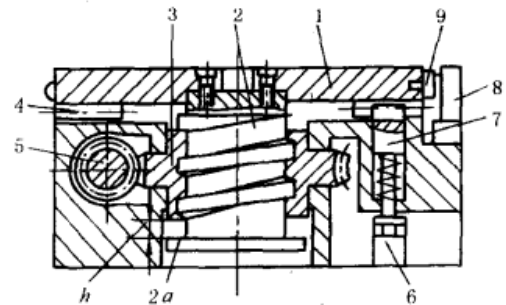


图 4-4-75 转角可调的间歇转动机构

工作台开始转位前需先上升, 使其底面的上齿盘与定位齿盘分离; 工作台转位完毕后下降复位。因此, 在每个转位运动中工作台有“升-转位-降”的运动过程。

工作台 1 与螺杆 2 连接为一体, 蜗轮 3 的内孔为螺母, 从图示位置开始, 蜗杆 5 转动, 经蜗轮、螺母及螺杆使工作台上升一个距离  $h$ 。此时两齿盘分离, 螺杆下端凸缘  $2a$  与蜗轮接触, 使螺母与螺杆停止相对转动。于是, 在蜗杆继续转动时工作台随蜗轮转动, 直到工作台周边上的撞块 9 接触电路开关 8, 电磁铁 6 控制的预定位销 7 上升, 使工作台停止转动并获得初步定位。与此同时, 电机反向转动, 蜗杆换向反转, 经蜗轮、螺母及螺杆使工作台下降, 齿盘重新啮合, 工作台获得精确定位。

工作台转动的角度取决于撞块 9 的位置, 只要适当布置若干撞块, 工作台就可按要求的若干个角度转动。因此本机构改变转位角的操作十分简便, 容易适应内容多变的工作。

## 7 间歇运动机构

图 4-4-76, 主动凸轮 1 绕  $O_1$  匀速转动, 带动从动销轮 2 绕  $O_2$  作间歇运动。凸轮 1 旋转时由侧面  $e$  推动销  $a$ , 继而又以沟槽侧面  $f$ 、 $g$  推动销  $b$ 、 $d$ , 使从动销轮 2 转动, 直到  $b$ 、 $d$  被推出凸轮沟槽, 轮 2 被锁住, 如图  $c$ 。凸轮转 1 圈, 销轮 2 转  $90^\circ$ 。设计凸轮工作面的廓线时, 应使从动轮 2 转动时的加速度连续, 不突变, 这样运转平稳, 冲击小。这种机构能用于高速, 如电影放映机。

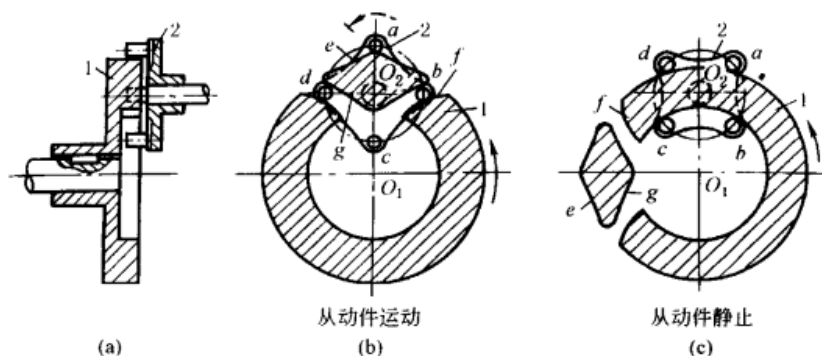


图 4-4-76 平面凸轮间歇机构

图 4-4-77, 销轮 5 与蜗轮 6 固联, 由蜗杆 1 带动, 槽轮 2 与齿轮 3 固联, 齿轮 4 由齿轮 3 带动。图示机构满足分度角为定值 (齿轮 4 每次转  $90^\circ$ ) 有较好的动力特性, 槽轮槽数较多, 动力性能较好, 但会导致机构尺寸增大。

图 4-4-78, 主动拨盘 1 上的柱销 2 可在拨盘上的滑槽中径向移动, 并由弹簧 3 支撑, 构件 4 固定凸轮板, 其上开有曲线槽 (即凸轮廓线)。当主动拨盘 1 匀速转动时, 柱销 2 带动槽轮 5 间歇转动, 同时柱销 2 也在固定凸轮板 4 的曲线槽内运动, 由曲线槽控制柱销 2 的驱动半径, 从而改变从动槽轮的运动规律, 以期得到较好的动力特性。

凸轮板的曲线槽根据工艺要求选择相应的运动规律 (如等速运动规律等) 进行设计。

图 4-4-79, 机构的工作过程和平面槽轮机构相似, 但主、从动轴线垂直相交。槽轮 2 呈半球形, 主动销轮 1 的轴线和拨销 3 的轴线均通过球心。槽轮的槽数不少于 3。机构的动力性能比外槽轮机构好, 槽数愈多, 动力性能愈好。槽数大于 7 时, 槽轮的角速度和角加速度变化很小。主动轴拨销数通常只有一个, 所以, 槽轮的停、动时间是相等的。如用两个拨销, 槽轮就连续转动。这种机构结构简单, 运动平稳, 设计、制造也不困难。近年来在多工位鼓轮式组合机床上应用渐广。

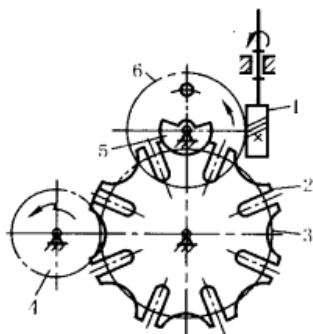


图 4-4-77 齿轮槽轮机构

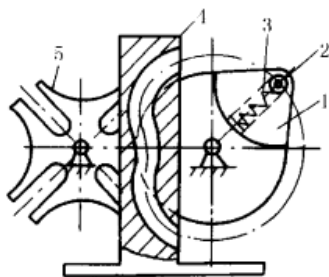


图 4-4-78 凸轮槽轮机构

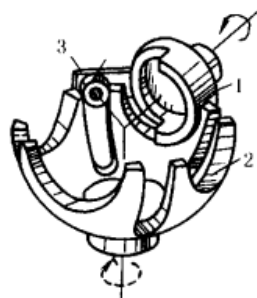


图 4-4-79 球面槽轮机构

图 4-4-80a, 主动轮 1 上有槽, 槽的两端有斜形开口, 当主动轮 1 转动时, 槽的斜面推动从动轮 2 转动。由于相对滑动较大, 适用于低速轻载, 多用于自动进给机构。

图 b, 主动轮 1 为一两端有头的凸起轮廓 (类似螺旋状) 的圆柱凸轮, 从动轮 2 端面上有若干柱销, 轮 1 转动时, B 销开始进入凸轮轮廓的曲线段, 凸轮转动驱使从动轮 2 转位。凸轮转过  $180^\circ$ , 转位终了。B 销接触的凸轮轮廓将由曲线段过渡到直线段, 同时, 与 B 销相邻的 C 销开始和凸轮的直线段轮廓在另一侧接触, 此时, 凸轮继续转动, 从动轮不动。在间歇阶段, B 销和 C 销同时贴在凸轮直线轮廓的两侧实现定位。凸轮轮廓直线段的宽度为 (见凸轮轮廓展开图):

$$b = 2R_1 \sin \alpha - d$$

图 c, 主动凸轮 1 上的凸轮曲面 (突脊的工作面) 是变升角螺旋, 当升角为零的那一段曲面与从动轮 2 上的滚子 3 接触时, 从动轮停歇。从动轮上滚子沿径向呈辐射状配置, 故主动凸轮在轴向截面内突脊的截面应是梯形, 且突脊是包绕在圆弧体表面上。这样可以通过调节中心距来消除滚子与突脊间的间隙。当从动轮停歇时, 主动凸轮的突脊廓线和凸轮轴线成垂直且处于凸轮中部, 当从动轮转位时, 主动凸轮突脊廓线的选择, 通常要保证从动轮转动时, 其加速度按正弦规律变化。这样, 机构具有良好的动力性能。运转平稳, 噪声和振动较小。可用于较大载荷和高速, 停歇频率每分钟最高可达 1200 次, 柱销数一般大于 6。在高速冲床、多色印刷机、包装机和折叠机中均有应用。

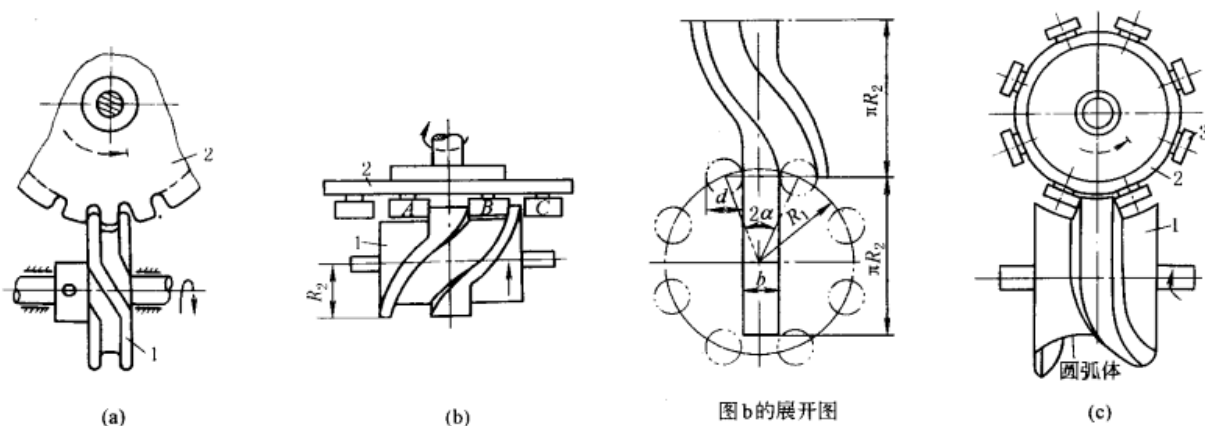


图 4-4-80 蜗旋凸轮间歇机构

图 4-4-81, 滑块 4、5 铰接于杆 3 上, 可分别在杆 7 与固定盘 6 的滑槽中滑动。当主动轴 1 回转时, 通过偏心轮 2 使杆 3 绕滑块 5 上的铰销作往复摆动, 此时, 杆 3 带动滑块 4、5 交替插入输出盘 8 的周边孔中, 当 4 脱出周边孔而 5 插入时, 盘 8 固定不动。反之, 5 脱出而 4 插入周边孔, 则盘 8 被带动, 作单向间歇运动。盘 8 工作平稳, 可用于较高转速。图 b 为其机构简图。

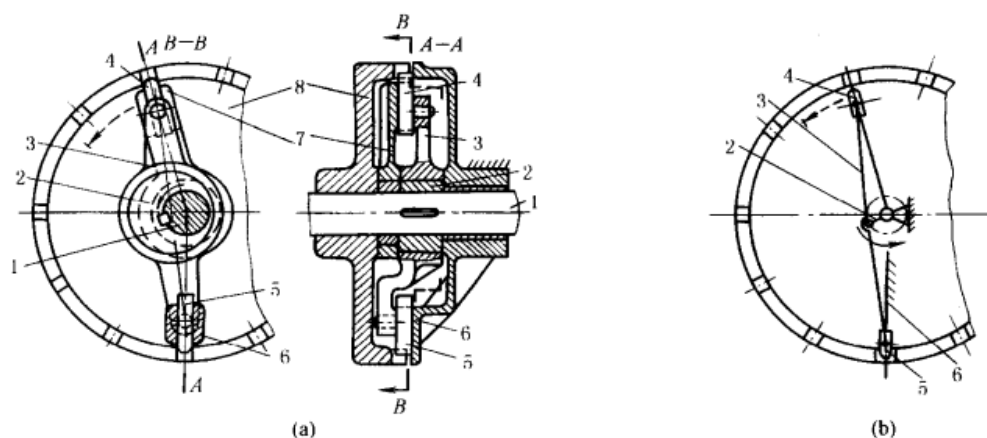


图 4-4-81 偏心轮分度定位机构

图 4-4-82, 摇块 4 和带齿条的连杆 5 组成移动副, 4 与 3 组成转动副, 3 以导槽和齿轮 6 的转轴 (在固定支座  $D$  内) 组成移动副。主动凸轮 1 通过从动摆杆 2 使 3 向下运动时, 3 下部的齿条和 6 脱啮, 而齿条 5 与 6 啮合, 因而 6 被 5 带动。3 向上运动时, 6 与 5 脱离, 而与 3 的下部齿条啮合, 故被锁住。这样, 6 被 1 控制着作周期间歇运动。

图 4-4-83, 主动蜗杆 1 通过离合器带动从动轴 5 转动, 同时蜗杆又带动蜗轮 2 转动, 当蜗轮上的凸块与摆杆 3 上的挡块接触时, 推动摆杆 3 逆时针方向摆, 使离合器脱开, 轴 5 停止转动。当凸块与挡块脱离时, 在弹簧 6 的作用下离合器啮合, 从动轴开始转动, 更换凸块 (改变其弧长) 可调整从动轴的停、动时间。

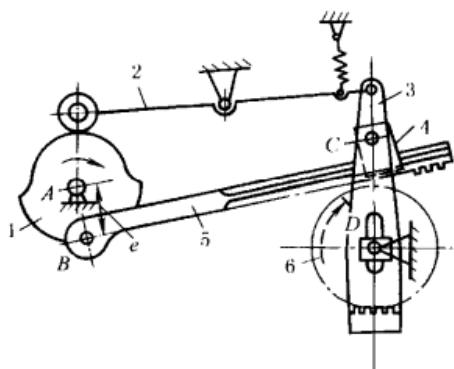


图 4-4-82 凸轮控制的定时脱啮间歇机构

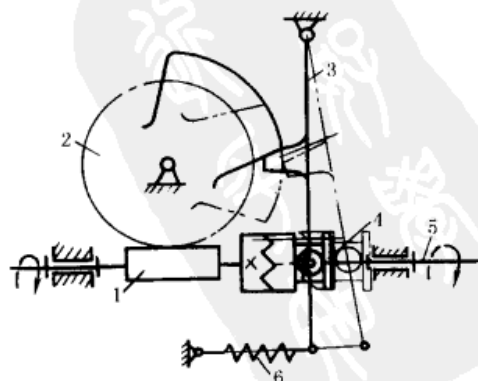


图 4-4-83 凸轮和离合器控制的间歇机构

图 4-4-84, 从动轮 2 上有七个柱销 5, 它们不均匀地分布在同一圆周上。当固结于主动轮 1 上的臂 A 使挂钩 4 抬起时, 轮 1 依靠摩擦力 (通过摩擦环 3) 带动轮 2 转动。当挂钩落下并钩住柱销 5 时, 摩擦面间打滑, 轮 2 不转。轮 2 每次停歇时间的长短取决于柱销间的距离。

图 4-4-85, 与棘轮 2 大小、齿数相同而附有犬齿 K 的浮动棘轮 3 空套在轴上, 一般情况下主动摆杆 1 通过棘爪同时推动棘轮 2、3 作间歇转动, 当犬齿进入啮合时, 棘爪不与棘轮 2 接触, 棘轮 3 转动而 2 静止, 轮 3 每转一周, 轮 2 有一次较长时间的停歇。改变犬齿齿数, 可以调整停歇时间的长短。

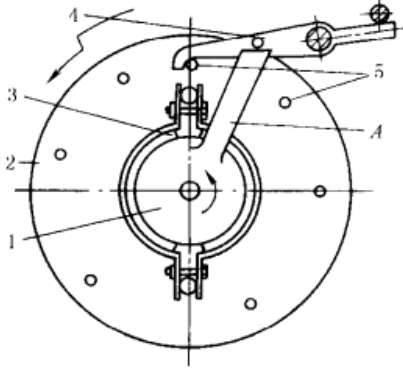


图 4-4-84 停歇时间不等的间歇运动机构

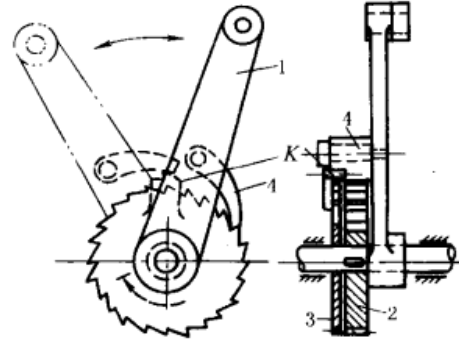


图 4-4-85 不等停歇时间的浮动棘轮机构

图 4-4-86, 杆 2 的导槽由如图所示的 *a*、*b*、*c* 三段圆弧槽组成。当主动曲柄 1 在  $120^\circ$  范围内运动时, 滚子位于 *b* 段圆弧槽内, 导杆停歇, 所以从动杆具有单侧停歇的间歇运动特性。可用于食品加工机械中作为物料的推送机构, 结构紧凑、制造简单、运动性能较好。如果导槽曲线由两段相对的圆弧构成, 则可获得双侧停歇的间歇运动。

图 4-4-87 中, 链轮 6 和棘轮 5 固联于轴 2 上, 而主动套筒 1 空套在轴 2 上, 1 上铰接有推爪 4。1 顺时针方向转动时, 4、5、6 一起转动, 当 4 的端部与固定于机架上的杆 3 接触时, 4 与 5 脱离, 链轮 6 停歇, 1 继续转动到推爪 4 脱离 3 时, 在扭簧 7 作用下再与棘轮啮合并带动链轮 6。此机构用于印染烘干机上。

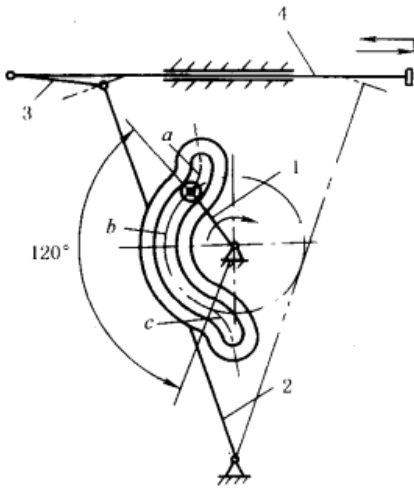


图 4-4-86 单侧停歇的曲线槽导杆机构

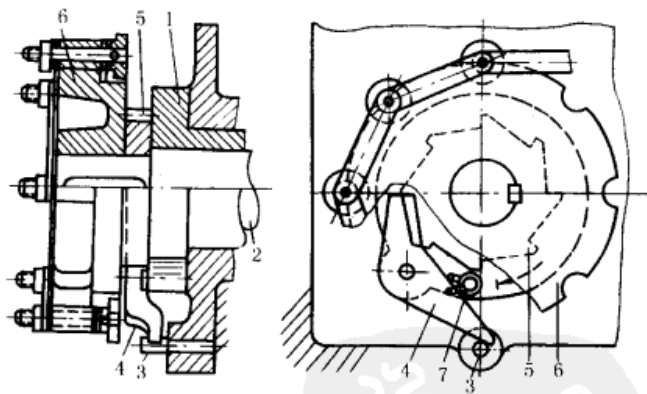


图 4-4-87 短暂停歇机构

图 4-4-88, 主动杆 1 拉摇臂 2 绕 *O* 向下转动时, 作用在摩擦片 4 上的摩擦力使杆 3 向上摆, 摩擦片 5、4 在轮 6 的轮缘内、外两面滑动而轮 6 静止。杆 1 推摇臂 2 向上转动时, 摩擦片 4 上的摩擦力使杆 3 向下摆, 使摩擦片 4 紧贴轮 6 的外缘, 此时杆 2 继续被推向上转动时, 带着摩擦片 5 紧贴轮 6 的内缘, 这样, 摩擦片 5、4 夹紧轮 6 的轮缘使轮 6 转动。其优点是摩擦面大, 可用于大载荷。角  $\alpha$  过大将减弱夹紧力, 角  $\alpha$  过小在回程时摩擦片不易分离, 设计时一般取角  $\alpha \leq 7^\circ$ 。

图 4-4-89, 与机架铰接的主动汽缸 1 的活塞带着棘爪 2 推动分度销 3, 使分度盘 4 转动, 滚子 5 起止动定位作用。

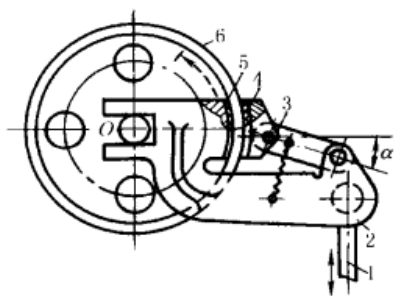


图 4-4-88 摩擦式间歇机构

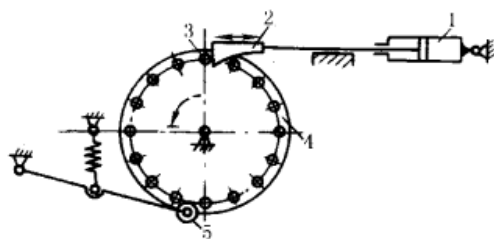


图 4-4-89 棘爪销轮分度机构

图 4-4-90, 当主动曲柄 1 作连续转动时, 摇杆 3 作往复摆动, 摇杆 3 一端的滚子 A 将在  $aa'$  范围内摆动, 当滚子与从动杆 4 的沟槽脱离时, 从动杆停歇不动, 由锁止弧  $\alpha$  保证停歇位置不变。

图 4-4-91, 主动曲柄 1 转动时使扇形板 3 摆动, 3 上有可滑移的齿圈 4, 在图示位置, 3 顺时针方向转动时, 挡块 a 推动齿圈 4 使齿轮 5 逆时针方向转动。当 3 逆时针方向转动时, 挡块 b 经过空程  $l$  后才推动齿圈 4 使齿轮 5 顺时针方向转动, 调节挡块 a、b 的位置以改变空程  $l$ , 便可改变齿轮 5 的停歇时间。这种往复运动机构在停、动开始点有冲击。

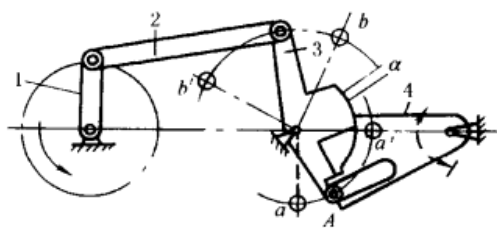


图 4-4-90 单侧停歇摆动机构

图 4-4-92, 不完全齿轮 1 主动, 通过齿轮 6 及与锁止弧 5 铰接的滑块 3 推动移动导杆 4 作两侧停歇的往复运动。轮 6 齿数为 20, 轮 1 保留 9 只齿 (末齿高修低), 可使轮 1 每转两周, 导杆 4 完成一次往复运动, 并在行程的两端各有一停歇时间。2 和 5 是锁止弧, 分别与齿轮 1、6 固联, 1、6 不啮合时, 齿轮 6 被 2、5 锁住。

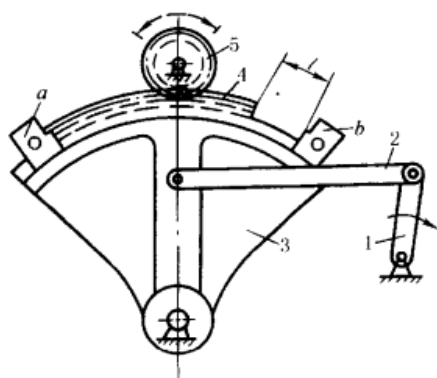


图 4-4-91 双侧停歇摆动机构

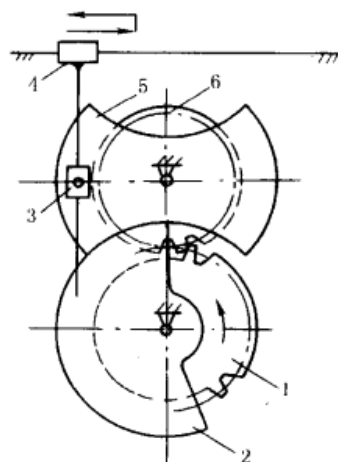


图 4-4-92 不完全齿轮移动导杆机构

图 4-4-93, 曲柄 1 与齿轮 2 固联, 齿轮 2、3、4 及 5 的齿数相同, 所以当曲柄 1 转一圈时, 从动齿轮 5 也转一圈。但从动齿轮 5 的角速度是非匀速的, 其中有一段片刻停歇时间。与齿轮 5 啮合的送纸辊 6 送进的纸张 7 也有片刻的停歇, 以便配合切纸刀的切纸动作。此机构在香烟包装机的送纸机构与软糖包装机的送糖机构中均有采用。

图 4-4-94, 主动转臂 1 转动, 通过凸耳 b 将从动件 2 升起。1 与 b 脱离接触时, 2 的下凸耳 a 被摆动挡块 3 钩住 (构件 3 能靠自重保持图示位置), 滑块停在双点划线位置。1 继续转动时, 先拨动挡块 3 脱钩, 2 下落搁在固定挡块 4 上, 然后转臂 1 又推动凸耳 b 上升, 继续下一运动循环。机构具有两端停歇、快速下落的特性。

图 4-4-95, 主动杆 1 的滑槽中置有一个可移动的插销 3, 其顶部安装一滚子。当插销 3 插入圆盘 5 的  $K_1$  槽中时, 圆盘 5 随同主动杆 1 一起转动, 经连杆 6 推动滑块 7 移动。当主动杆 1 转经固定挡块 4 时, 其斜面 A 顶起滚



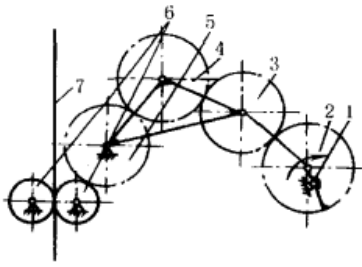


图 4-4-93 齿轮-连杆组合停歇机构

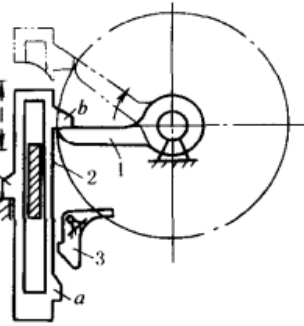


图 4-4-94 有急回作用的间歇移动机构

子使插销 3 脱离  $K_1$  槽，圆盘 5 停歇不动，相应滑块 7 也停歇不动，并在弹簧定位销 8 的作用下可靠地定位在  $a_1$  处。杆 1 转至圆盘上缺口  $K_2$  处时，在弹簧 2 的作用下，插销 3 插入缺口  $K_2$  中，圆盘 5 又随着杆 1 转动，直至杆 1 再转经至 4 处，插销 3 被拔出  $K_2$  槽，出现第二次停歇。这样，主动杆 1 每转两周，圆盘 5 转一周，滑块 7 在  $a_1$ 、 $a_2$  处各停歇一次。弹簧定位销 8 使停歇更为可靠。

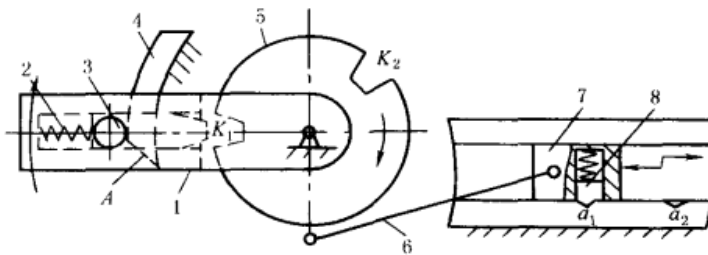


图 4-4-95 斜面拔销间歇移动机构

图 4-4-96，主动凸轮 1 为由半径  $R$  的三段圆弧组成，三角形凸轮的顶点做成半径为  $r$  的圆角。当凸轮绕  $O$  点转动时，使框架 2 在行程的两端停歇，框架的行程为  $R - r$ 。

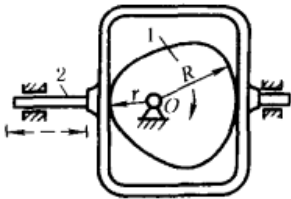


图 4-4-96 等宽凸轮间歇移动机构

图 4-4-97，主动凸轮 1 沿固定导轨向上移动时，凸轮右下方的活动挡块  $b$  被从动杆 2 上的滚子  $c$  推开， $c$  到达垂直槽底部后， $b$  在弹簧作用下复位。凸轮 1 下移时，滚子  $c$  只能在凸轮的斜槽内运动，使从动杆 2 先向左、后向右移动，然后滚子  $c$  推开凸轮上方活动挡块  $a$  进入直槽。凸轮上移时，从动杆 2 停歇。所以凸轮往复移动时，从动杆 2 作一端停歇的往复移动。

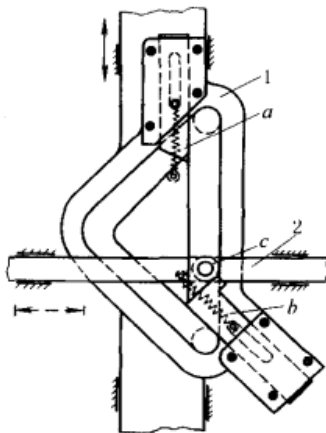


图 4-4-97 有三角形槽的移动凸轮间隙运动机构

图 4-4-98，主动转臂 1 带着行星齿轮 2 沿固定内齿轮 3 作行星运动时，2 上  $m$  点的轨迹为短幅内摆线，若连杆 4 的长度近似等于摆线  $ab$  的曲率半径，则  $m$  点在  $ab$  段上运动时，滑块 5 近似停歇。

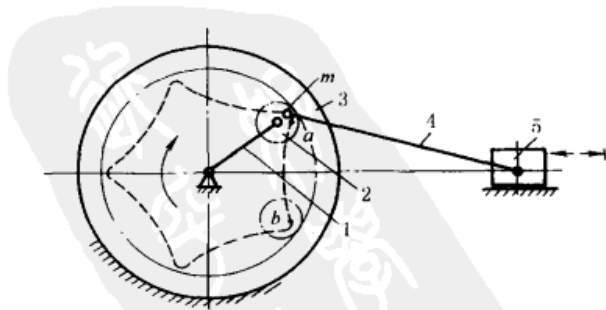


图 4-4-98 利用摆线轨迹的间歇移动机构

图 4-4-99, 主动曲柄  $AB$  回转时, 连杆上  $m$  点的轨迹有一段为直线  $m_1m_2$ , 利用此直线段实现间歇运动, 有如下两种情况。

① 在  $m$  点铰接一移动导杆  $abdm$ , 使  $ab$  垂直  $m_1m_2$ , 当  $m$  点运动到直线段  $m_1m_2$  时, 移动导杆停歇。

② 在  $m$  点铰接一转动导杆  $Om$ , 使其回转中心  $O$  在直线  $m_1m_2$  的延长线上, 当  $m$  点运动到直线段  $m_1m_2$  时, 转动导杆停歇。

图 4-4-100a, 利用摇块机构中导杆 2 上一点  $D$  的轨迹实现工作台上的单向间歇转位运动。当主动曲柄 1 以图示  $\omega$  方向由 I 到 II 转过  $\varphi$  角时, 导杆 2 上抱叉端点  $D$  的轨迹为曲线  $m$ , 于是抱叉便夹持着工作台上的滚子 5 使工作台顺时针方向绕  $C$  点转过  $\theta$  角。当曲柄 1 顺  $\omega$  方向由位置 II 回到位置 I 转过  $360^\circ - \varphi$  角时, 导杆 2 上抱叉端点  $D$  的轨迹为曲线  $n$ , 这时, 抱叉与滚子 5 脱开 (如图中双点划线所示的位置), 于是工作台便停歇不动。此机构用于立车转位机构。

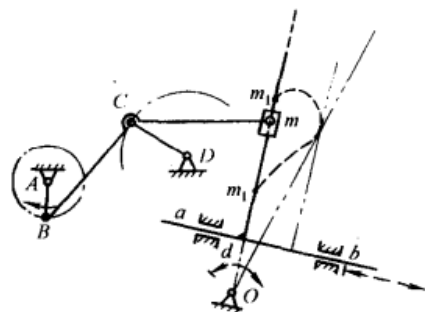


图 4-4-99 利用连杆轨迹的直线段实现间歇运动机构

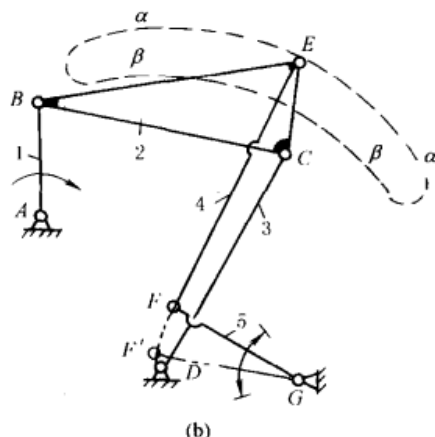
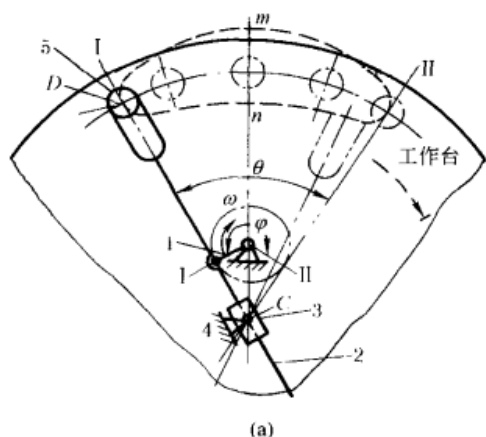


图 4-4-100 利用连杆某点的曲线轨迹实现间歇运动

图 b, 从动杆 5 在极限位置时有一短时的停歇。  $ABCD$  为曲柄摇杆机构, 连杆 2 上  $E$  点的轨迹为一腰形曲线, 曲线的  $\alpha\alpha$  段和  $\beta\beta$  段为两相同的近似圆弧, 它们的圆心分别在  $F$  和  $F'$ 。如在  $E$ 、 $F$ 、 $G$  处铰接构件 4、5, 并使构件 4 的长度  $EF$  和圆弧段的曲率半径相等。当  $E$  点在圆弧  $\alpha\alpha$  上运动, 从动杆 5 在位置  $FG$  近于停歇, 当  $E$  点在圆弧  $\beta\beta$  上运动, 杆 5 在位置  $F'G$  近于停歇。这样, 实现了从动杆作具有停歇的摆动。由于这种连杆机构的冲击和噪声较小, 常代替凸轮机构以适应高速运转的要求。此机构用于织布机等机械中。

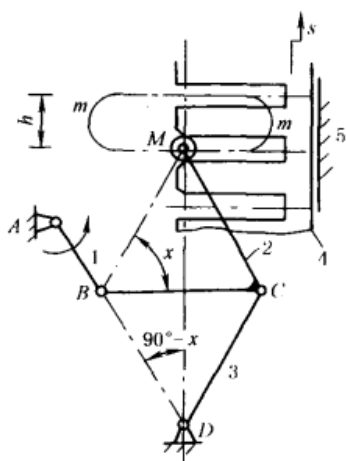


图 4-4-101 连杆型间歇移动机构

当主动件 1 由图示位置按逆时针方向转动时, 柱销顺着直线槽进入从动件 4, 随着主动件 1 转动, 驱使从动件向上移动, 主动件 1 转过  $180^\circ$  时, 从动件向上移动距离  $h$ ; 主动件继续转过  $180^\circ$  时, 柱销由直线槽中脱出, 从动件处于停歇, 主动件连续转动, 从动件 4 作间歇单向步进移动。

## 8 超越止动及单向机构

图 4-4-102, 当主动棘轮 1 顺时针方向转动时, 通过爪 2 带动轴 3 转动, 3 可超越 1 作顺时针方向转动, 在超

越时由于离心力（转速足够时）的作用能使爪2不与轮1接触，实现无声超越。如果1固定，当3反转时被止动。此机构在棘爪2开始与棘轮1啮合时，要利用棘爪2大头的重力，因此机构的回转轴O必须水平放置。如起重机吊起重物悬空停留时，重物不能使轴3反转。

图4-4-103，左旋弹簧2的内径稍小于轴3的外径，使结合面间略有预压紧力，弹簧的右端与轮1上的销接触，左端为自由端，主动轮1顺时针方向转动时，弹簧内径缩小，结合面间的压紧力和摩擦力越来越大带着轴3转动，轮1逆时针方向转动时，弹簧内径增大，结合面间的压紧力消失，轴3可作超越转动。若1（或3）固定时，则3与图示方向反向转动（或1与图示相同方向转动）时被止动。

图4-4-104，轮2装在右螺旋的轴1上，启动电机与轴1相连，被启动的发动机的启动曲轴与盘3相连，启动时电机逆时针方向转动，则轮2左移（开始限制件2转动，而当件3启动后，件2又脱离限制装置，图中未示出），其端面与盘3压紧靠摩擦力带动曲轴，当发动机转速高于轴1时，3与2脱开，发动机曲轴作超越转动。当轴1回转时，限制轮2转动的装置未在图中示出。



图 4-4-102 无声棘轮超越止动机构

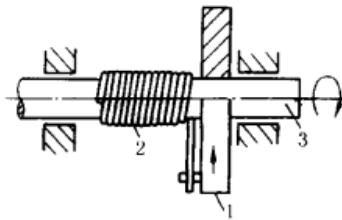


图 4-4-103 弹簧式摩擦超越止动机构

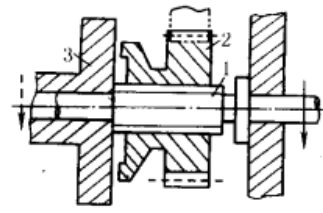


图 4-4-104 螺旋摩擦式超越止动机构

图4-4-105a，杆1左右移动时，均使棘轮4单向旋转。此机构已用于脉冲计数器作计数装置。图b，轮6为端面棘轮，杆2、3（或4、5）等长，当主动杆1往复移动时，固结在杆4、5上的棘爪a、b交替推动端面棘轮6单向转动。

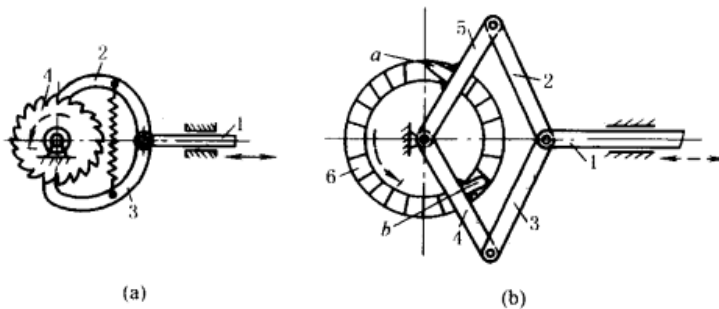


图 4-4-105 双动式单向转动机构

图4-4-106，摇杆1上两个棘爪交替推动棘齿条2作单向移动。

图4-4-107，构件1、2与棘轮5自由装在轴6上，构件2上固定有销a、b，件4与件1、3铰接。当1顺时针方向转动时，1通过销b带着2、3和棘轮5一起转动。当1逆时针方向转动时，通过4将3抬起与棘轮脱离，通过销a带着棘爪3实现无声逆转。

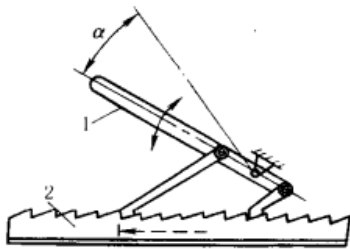


图 4-4-106 双动式棘齿条单向机构

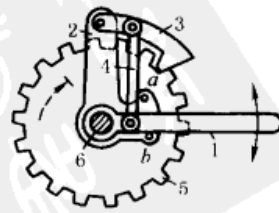


图 4-4-107 无声棘轮单向机构

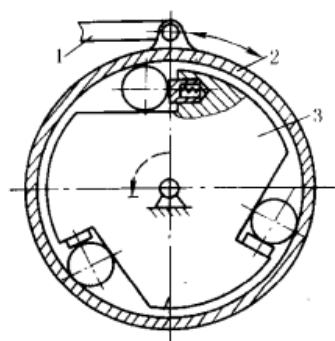


图 4-4-108 钢球式单向机构 (超越离合器)

图 4-4-108, 主动杆 1 带着 2 往复运动时, 从动轴 3 作单向转动。

图 4-4-109, 齿轮 1、2 和轴 I 之间分别装有超越离合器 *a*、*b*, 它们在轴 I 上反向安装。当主动轴 I 正向转动时, 通过离合器 *a*, 齿轮 1 和 3 带动从动轴 II 转动, 离合器 *b* 空转。主动轴换向时, 离合器 *a* 空转, 而由离合器 *b* 和齿轮 2、4、5 带动轴 II, 此时, 从动轴转向不变, 但传动比发生了变化。

图 4-4-110, 夹头外壳 2 的内侧有圆锥面, 两端有大小不同的圆柱面可作导路来导引嵌着钢球 3 的滑块 4, 弹簧将滑块 4 压向左边, 滑块中心有金属线 5 通过。当摆杆 1 逆时针方向摆动时, 钢球 3 将金属线 5 夹紧并带动其向右移动, 摆杆 1 顺时针方向摆动时, 钢球 3 放松金属线, 摆杆仅带动夹头 2 回程, 金属线 5 不动。

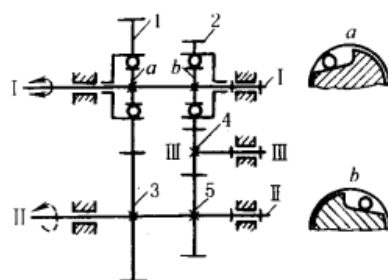


图 4-4-109 超越离合器-齿轮式单向机构

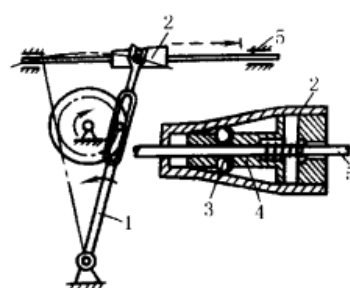


图 4-4-110 单向定长送料机构

## 9 换向机构

图 4-4-111, 主动轮 1 与从动轮 4 间装有惰轮 2 和 3, 2 与 3 装在三角形支承架 *H* 上, *H* 可绕轴  $O_4$  转动。*H* 位于 I 时 (图中实线所示, 1 与 2, 2 与 3, 3 与 4 啮合) 各轮转向如图示; *H* 位于 III 时 (图中双点划线所示, 1 与 3, 3 与 4 啮合) 轮 4 换向; *H* 位于 II 时 (2、3 均不与 1、4 啮合), 轮 4 不转。换向杆 *h* 必须有良好的固定, 因 *H* 上受的力矩有使其转变方向的趋势。

图 4-4-112, 与图 4-4-111 原理相同, 但多一个惰轮, 可减小主、从动轮的中心距, 没有使换向杆 *h* 改变方向的力矩。

图 4-4-113, 在攻螺纹工具的拨销换向机构中, 锥柄 1 和套筒 3 用螺母 2 压紧, 靠接触面的摩擦力带动 3 转动。带有拨销 5 的套筒 4 用紧定螺钉与 3 固结。锥柄 1 向下移动到丝锥接触工件时, 攻螺纹头轴 7 上的销子 6 插入销子 5 之间, 攻螺纹头与锥柄同速转动。攻螺纹完毕时, 6 自动与销子 5 脱离接触, 若将锥柄 1 向上抬起, 则 7 借压缩弹簧的作用力使销 6 进入中心齿轮 9 上的销槽 8 中; 此时, 若使 13 被挡住不动, 则固结在 3 上的内齿轮 11 通过三个小齿轮 10 和齿轮 9 带动轴 7 快速反向转动, 将丝锥退出工件。这种装置的特点是整个工作过程中, 锥柄既不需反转, 又能使攻螺纹头慢速攻螺纹、快速退出, 并且结构简单, 制造、操作方便。

图 4-4-114, 主动轴 1 和从动轴 7 上分别空套有刹车轮 5 和 6, 齿轮 2、3、4 为三联齿轮, 套在和轮 6 固连的系杆 *x* 上。刹住轮 6 时, 系统是定轴轮系, 按 1-3-4-7 传动, 轴 7 与轴 1 同向转动; 刹住轮 5 时, 轴 1 通过有同一转臂 *x* 的两个行星轮系 1-3-2-5 和 5-2-4-7 使轴 7 转动, 这时轴 7 的转速为:

$$n_7 = \frac{\left(1 - \frac{z_5 z_4}{z_1 z_2}\right)}{\left(1 - \frac{z_5 z_3}{z_1 z_2}\right)} n_1$$

当  $z_3 z_5 > z_1 z_2$  或  $z_4 z_5 > z_2 z_7$  时, 轴 7 的转向与轴 1 相反, 这时, 只要变换刹车轮即可换向变速, 而不需停车。

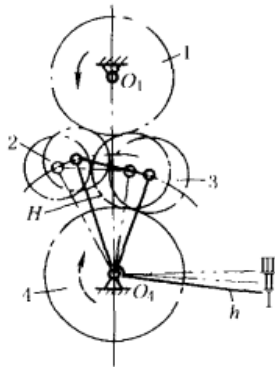


图 4-4-111 三星轮换向机构

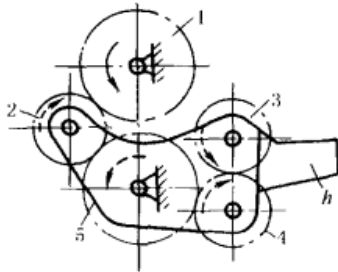


图 4-4-112 三惰轮换向机构

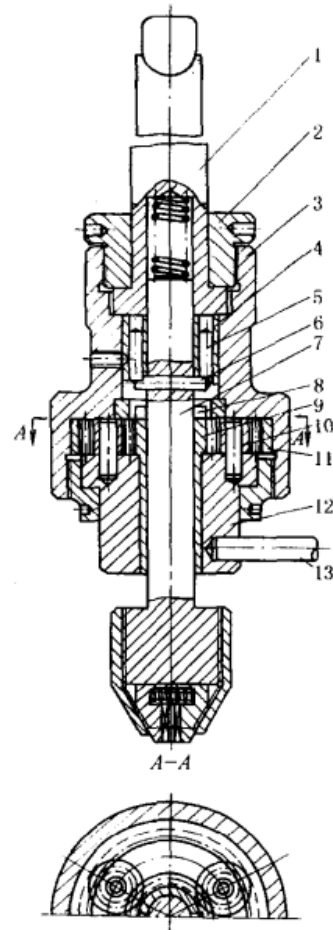


图 4-4-113 拨销换向机构

图 4-4-115 为履带式水稻收割机的转向装置。1 为主动齿轮，5 为从动链轮，6 是制动器，7 为可转动架体，8 为摩擦离合器。当离合器 8 接通 ( $n_1 = n_7$ )，制动器 6 松开时，5 与 1 等速同向转动。

图 4-4-116，固连于主动轮 1 的摩擦盘 2，使摩擦盘 3 和 5 以相反的方向转动，再通过锥齿轮差动轮系使轴 6 转动（轴 6 与差动轮系的系杆  $x$  固连），轴 6 的转速为：

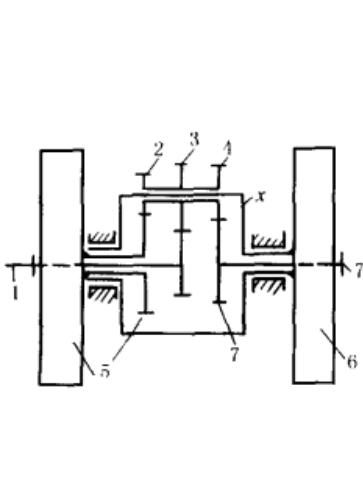


图 4-4-114 行星式换向  
变速机构

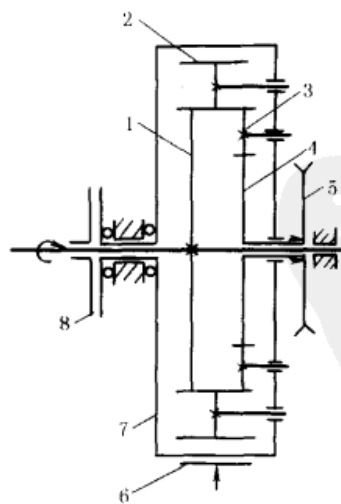


图 4-4-115 行星齿轮换向机构

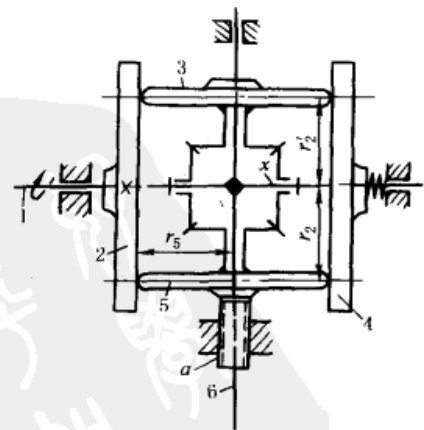


图 4-4-116 差动换向机构

$$n_6 = \frac{1}{2} \left( \frac{r_2 - r_2'}{r_5} \right) n_1$$

调节螺杆  $a$  使整个锥齿轮差动轮系上升或下降, 以改变  $r_2$  和  $r_2'$  的尺寸, 如式中  $r_2 > r_2'$ , 轴 6 与盘 5 转向相同, 否则相反。

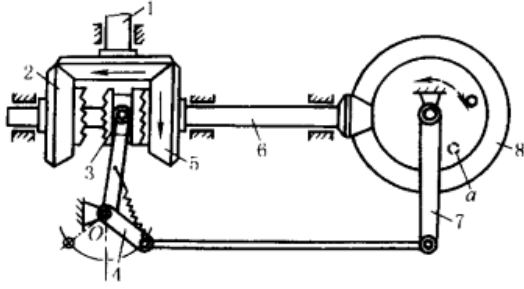


图 4-4-117 往复转动自动换向机构

图 4-4-117, 主动锥齿轮 1 与空套在轴 6 上的锥齿轮 2、5 啮合, 通过离合器 3 (用滑键与轴 6 连接) 将运动传递到从动锥齿轮 8。当离合器 3 在右边时, 按 1-5-3-6-8 传动, 锥齿轮 8 作顺时针方向转动。当 8 上的销子  $a$  到达虚线位置时, 推动杆 7 (空套在轮 8 的轴上) 并使杆 4 顺时针方向转动, 当杆 4 偏移至  $O$  点左侧, 弹簧拉动离合器 3 至左边, 此时, 按 1-2-3-6-8 传动, 轮 8 作逆时针方向转动, 销子  $a$  从左边推动杆 7, 实现周期性自动换向。

图 4-4-118 原理同图 4-4-116, 但换向的同时, 速比也发生变化。

图 4-4-119, 卷筒轴上的锥齿轮通过万向联轴器带动导绳装置的输入锥齿轮 1, 拨叉 4 处于中间位置时锥齿轮 2、3 反向空转。拨叉固定在竖轴 5 上, 竖轴 5 与摆杆 6 固定, 摆杆两端用串联碟形弹簧 7 压紧, 拨叉在中间位置时牙嵌离合器 9 与两边锥齿轮 2 和 3 之间有相等的少量间隙, 此时两弹簧和摆杆 6 处于一直线上。使用前调整好导向滑轮 12 与卷筒上钢丝绳的相互位置, 并使摆杆 6 朝某一方向偏离 (按图示滑轮与钢绳的位置, 4 应向右偏) 从而推动拨环 8 并带动离合器 9, 使其与锥齿轮 2 (或 3) 啮合, 螺杆 11 被带动旋转, 从而带动滑轮 12 作轴向移动。当滑轮到达左端并被挡板 10 挡住, 阻力矩增大, 通过锥齿轮 2 与离合器间的啮合斜面相互作用, 克服弹簧反力矩使摆杆 6 (或 4) 向左摆动, 离合器脱开并自动与对面锥齿轮 3 啮合, 螺杆 11 反向旋转, 导轮 12 反向移动, 如此自动往复完成钢绳多层缠绕。

图 4-4-120, 棘爪 2 在实线位置时, 摆杆 1 带动棘轮 3 作顺时针方向转动, 棘爪在虚线位置时, 棘轮作逆时针方向转动。

图 4-4-121, 杆 4、6 与齿轮 5 固定, 杆 3 与齿轮 2 固定, 两齿轮啮合, 当轮 1 绕固定中心  $O$  顺时针方向转动时, 轮 1 上的销  $a$  推动杆 3 转动, 并带动两齿轮 2、5 绕各自的固定中心  $O_2$ 、 $O_5$  转动, 使 3、4、6 分别转动到双点划线位置。接着销  $a$  推动杆 4, 使从动杆 6 换向。这样循环下去, 轮 1 每转一圈, 从动杆 6 往复摆动  $180^\circ$ 。

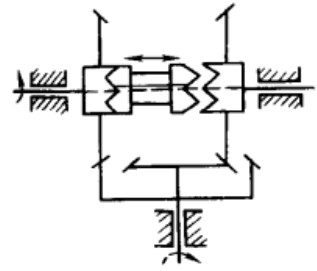


图 4-4-118 换向变速机构

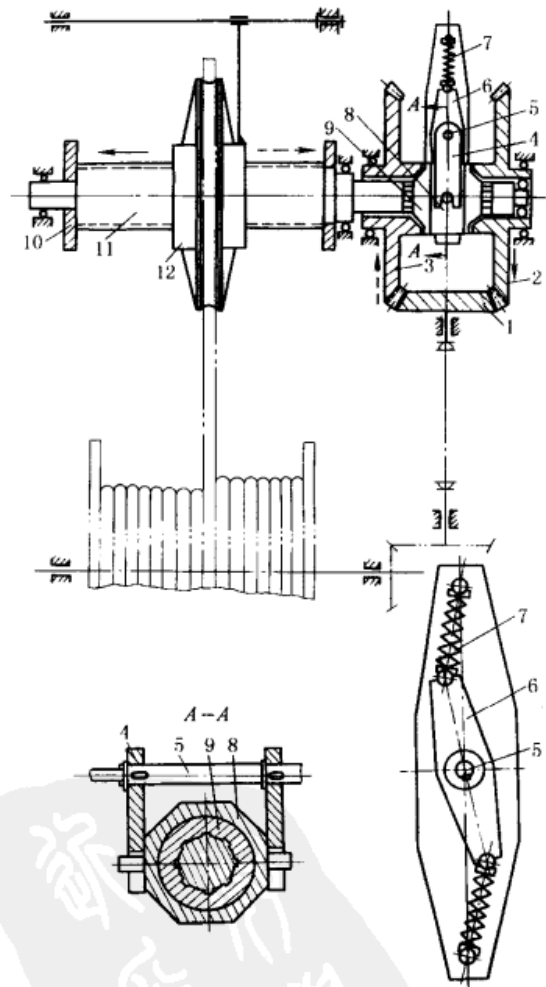


图 4-4-119 卷筒多层缠绕导绳机构

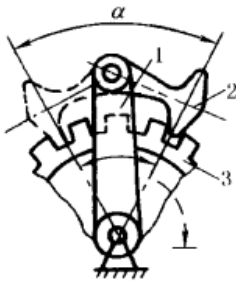


图 4-4-120 棘轮换向机构

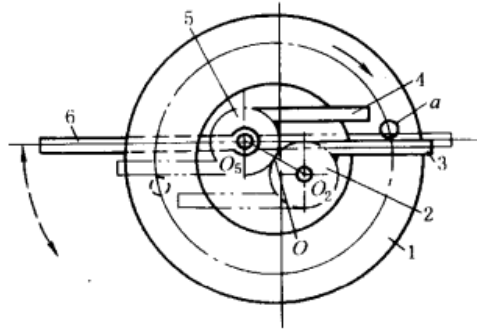


图 4-4-121 摆动自动换向机构

## 10 差动补偿机构

图 4-4-122, 双联定滑轮 1、2 受拉力  $F$  作用时, 通过动滑轮 3 吊起重物  $Q$ , 拉力  $F$  为

$$F = \frac{(R_1 - R_2)Q}{2R_1 \cos\alpha}$$

所以, 两定滑轮半径差愈小, 增力效果愈大; 若使动滑轮 3 离定滑轮中心愈远, 或使  $R_3 = \frac{R_1 + R_2}{2}$ , 也可提高增力效果。

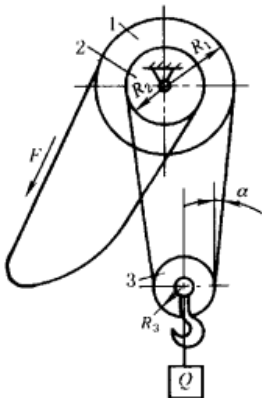


图 4-4-122 增力差速滑轮

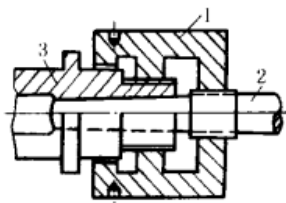


图 4-4-123 铣刀心轴紧固机构

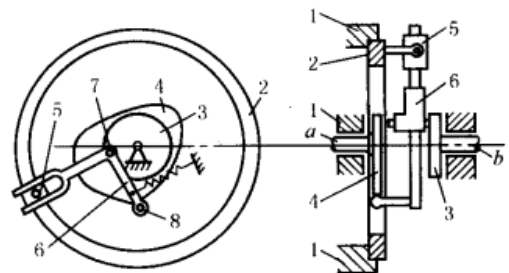


图 4-4-124 凸轮连杆差动机构

图 4-4-123, 3 为铣床主轴, 2 为心轴, 若双螺旋 1 为导程不等的左螺旋, 逆时针方向转动 1, 能紧固心轴 2, 顺时针方向转动 1, 则心轴 2 退出。

图 4-4-124, 主动轴  $a$  与凸轮 4 固连, 另一主动轴  $b$  与圆盘 3 固连, 两主动件通过构件 6、滑块 5 带动从动盘 2 转动 (圆盘 3 用销 7 与 6 连接, 凸轮 4 通过滚轮 8 与 6 接触), 2 的运动为主动件 3、4 的合成运动。1 为机架, 复杂构件 6 是凸轮 4 的从动件, 用作连杆与滑叉。凸轮轮廓的设计对从动盘 2 的运动规律有重要影响。

图 4-4-125, 圆柱凸轮 7 上固定钻头 9, 7 与齿轮 3 的轴用导键连接, 齿轮 4、5、6、3 的齿数分别为 23、21、31、34。当齿轮 4、5 用离合器接通时, 轮 1 带动 3、6 作差速运动, 钻头实现自动慢速进刀。

轮 6 相对于轮 3 差一转所需时间为

$$t = \frac{z_3 z_6}{n_4 (z_5 z_3 - z_4 z_6)} = \frac{1054}{n_4} \text{ (min)}$$

式中  $n_4$ ——齿轮 4 的转速,  $r/\text{min}$ 。

图 4-4-126, 双联内齿轮 1-1' 周向固定, 轴向可移, 1-2-H 组成行星轮系, 蜗杆 3、5 和蜗轮 4、8, 齿轮 7 和齿条 6 均装在转臂 H 上。H 主动时, 齿条 6 作径向进刀运动。进给量

$$S_6 = 2\pi r_7 n_H \frac{z_1 z_3 z_5}{z_2 z_4 z_8}$$

式中  $r_7$ ——齿轮 7 的节圆半径；  
 $n_H$ ——转臂  $H$  的转速，r/min；  
 $z_1 \sim z_8$ ——各轮的齿数。

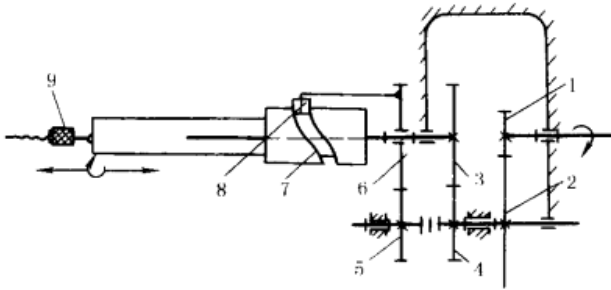


图 4-4-125 差速凸轮机构

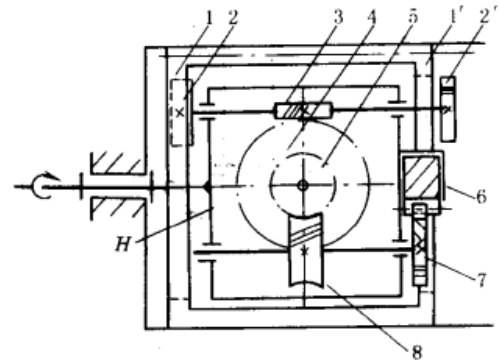


图 4-4-126 镗刀头自动径向进行行星轮机构

适当选择各轮齿数，6 可作微量进给运动。移动齿轮 1 使 1' 和 2' 啮合，则式中  $z_1$ 、 $z_2$  换成  $z_1'$ 、 $z_2'$ ，可改变 6 的进给量。

图 4-4-127，行走轮 1（内棘轮）空套在轮轴 4 上，六槽圆盘 3 用销 5 与轮轴连接，并用棘爪 2 与行走轮 1 连接，当行走轮逆时针方向转动时，带动轮轴转动，当行走轮顺时针方向转动时，轮在棘爪上滑过。轴 4 上有左右两轮，在转弯时，两轮转速不等形成差动。应用于以行走轮为主动的畜力割草机中。

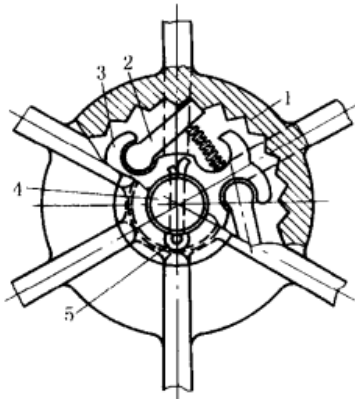


图 4-4-127 棘轮式差动装置

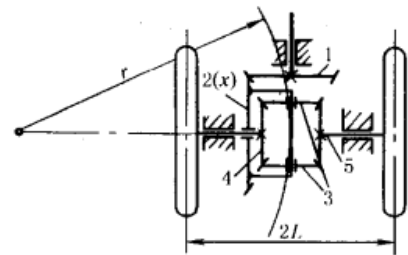


图 4-4-128 汽车差速器

图 4-4-128，是差动轮系将一个转动分解为两个转动的应用实例。汽车转弯时，为了保持左右两后轮在地上作纯滚动，两轮转速应不同， $n_4$ 、 $n_5$  与各自所走弯道的半径成正比，即

$$\frac{n_4}{n_5} = \frac{r-L}{r+L}$$

式中  $r$ ——转弯半径；  
 $L$ ——两后轮轮距之半。

同时，差动轮系  $n_4$ 、 $n_5$  必须满足下式

$$n_x = \frac{n_4 + n_5}{2}, n_x = \frac{z_1}{z_2} n_1$$

当汽车直行时  $n_4 = n_5 = n_x$ ，此时，轮系 3-4-5-x 间无相对运动。当左轮在粗硬的路面上，而后轮陷于泥泞中时，左轮阻力甚大，相当于被刹住  $n_4 = 0$ ，右轮几乎没有阻力，可以自由转动，转速  $n_5 = 2n_x$ 。

图 4-4-129，太阳轮 2、5，行星轮 3、3'、4 和系杆  $H$  组成差动轮系。轮 2 与卷布辊 1 之间通过锥齿轮 2'、1'



直接传动，轮5与卷布辊6之间通过锥齿轮5'、6'直接传动。各轮齿数为  $z_1' = z_6' = 42$ ， $z_2' = z_5' = 13$ ， $z_2 = z_3 = z_3' = z_4 = z_5 = 24$ 。系杆H为主动件，太阳轮2、5为从动件，主、从动件之间转速  $n_H$ 、 $n_2$ 、 $n_5$  的关系为： $n_2 + n_5 = 2n_H$ 。两卷布辊表面线速度相等，附加张力约束条件，则该机构运动确定，织物以近似恒速、恒张力通过染槽，使织物染色深浅尽可能一致。

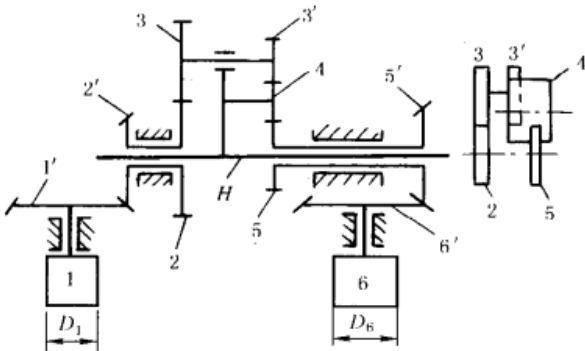


图 4-4-129 卷染机卷布辊用差动机构

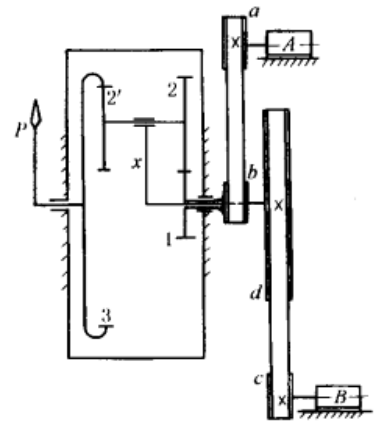


图 4-4-130 同步转速仪

图 4-4-130，是差动轮系将两个转动合成一个转动的应用实例。若带轮直径  $D_a = D_b = D_c = 100\text{mm}$ ， $D_d = 500\text{mm}$ ，齿数  $z_1 = 18$ ， $z_2 = 24$ ， $z_2' = 21$ ， $z_3 = 63$ ，则

$$n_3 = \frac{5n_x - n_1}{4} = \frac{n_B - n_A}{4}$$

当两涡轮机 A、B 转速相等（同步）时， $n_3 = 0$ ，固定在轮 3 上的指针 P 不动；当  $n_B > n_A$  时， $n_3$  为“+”，指针与涡轮机转向相同；当  $n_B < n_A$  时， $n_3$  为“-”，指针与涡轮机转向相反。知道转差后就可调整给汽量，实现涡轮机同步。可见，差动轮系既可进行运动分解，也可实现运动合成。在 Y38 滚齿机等齿轮机床中，广泛地应用着运动合成的差动轮系。

图 4-4-131，为滚齿机工作台的运动误差补偿机构。工作台 2、蜗轮 3、凸轮 4 固联在轴 II 上。加工时，工作台 2 和滚刀（未示出）间应保持严格的运动关系。但由于蜗轮 3 的制造、安装误差，而使工作台与滚刀间有运动误差，图中通过用凸轮 4 的廓线给蜗轮 3 以附加运动来进行误差补偿。凸轮 4 的廓线是根据蜗轮 3 的实测误差设计的。

图中主运动由轴 I 输入，然后分成二路：一路经锥齿轮 10 带动滚刀转动（图中略）；一路经锥齿轮 10、12、13、9、H、8、7 传至蜗轮 3。附加运动则由凸轮 4、齿条 5、齿轮 6 传至锥齿轮 14。再经锥齿轮 13、9、14 及转臂 H 组成的差动轮系，加到轴 II 上。

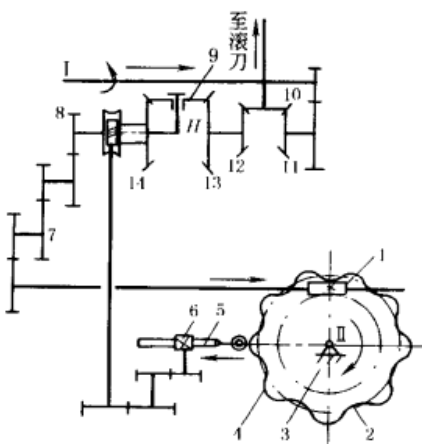


图 4-4-131 凸轮分度误差补偿机构

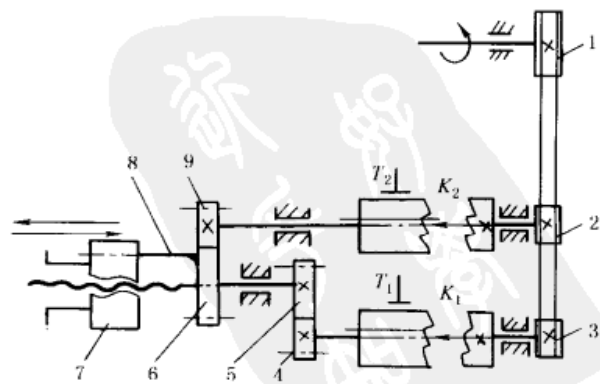


图 4-4-132 快慢速进退的差动螺旋机构

图 4-4-132, 主动带轮 1 和从动带轮 2、3 用一条皮带张紧作同向转动。齿轮 6 和螺母 7 用滑键 8 相连, 两者可同时转动又作相对移动。

制动器  $T_2$  制动, 离合器  $K_2$  断开,  $T_1$  松开,  $K_1$  接通, 即 9 不动, 4 转动, 则丝杆推动 7 快速进给 (7 不转); 若保持  $T_1$  开、 $K_1$  通, 再使  $T_2$  开,  $K_2$  通 (即 9、4 同时转动), 则螺母 7 与丝杆同向转动, 得到慢速进给; 然后保持  $T_2$  开,  $K_2$  通, 而使  $T_1$  制动、 $K_1$  开, 则丝杆不动, 螺母转动并快速退回。若使电机反转,  $T_2$  制动、 $T_1$  开,  $K_2$  开、 $K_1$  通, 则螺母可不转而达到快速退回。

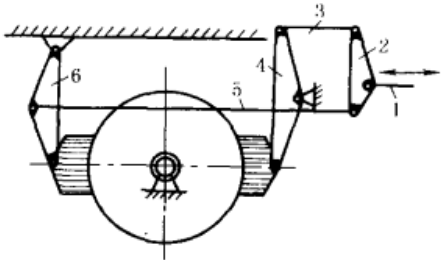


图 4-4-133 单轮刹车装置

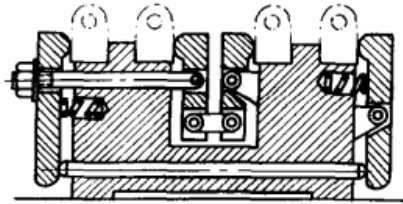


图 4-4-134 多工件夹紧装置

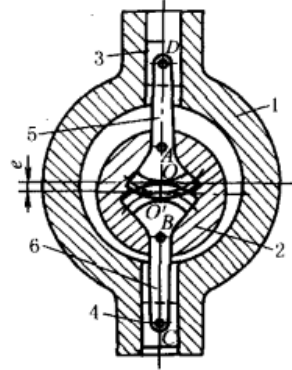


图 4-4-135 位置偏差补偿机构

图 4-4-133, 刹车时, 将操作杆 1 向右拉, 使杆 4、6 上的闸瓦均衡施力于车轮, 轮轴上不受附加的制动力。

如图 4-4-134 所示, 通过拧紧或松开左边螺母, 可实现多工件的夹紧或松开。

图 4-4-135, 主动轴 1 的轴心为  $O$ , 从动轴 2 的轴心为  $O'$ , 连杆 5、6 和从动轴 2 及滑块 3、4 分别铰接于  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ , 组成差动机构, 再用齿轮啮合封闭, 工作中当  $O$  与  $O'$  的相对位置发生变化时 (即偏心距  $e$  发生变化), 可自动补偿, 不影响运动的传递。

## 11 气、液驱动机构

图 4-4-136, 为使凿岩机 8 在巷道断面的各个方位均能打眼, 采用了由两个油缸控制的托架摆动机构。

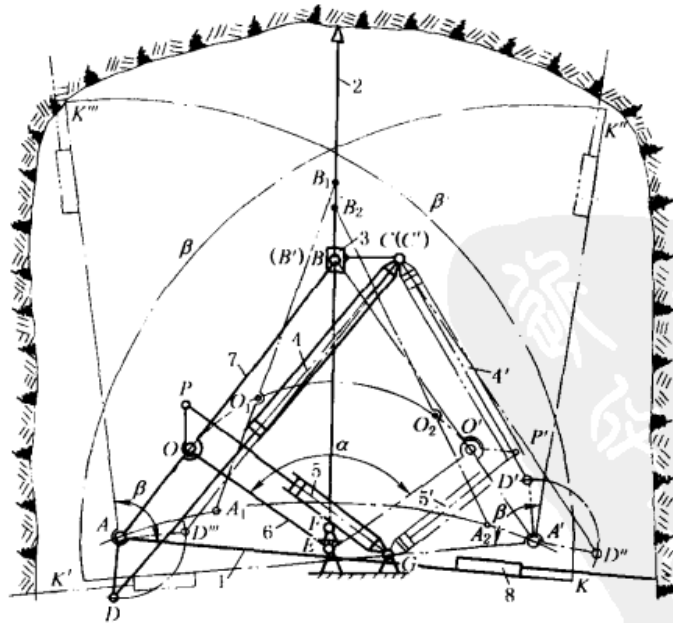


图 4-4-136 凿岩台车液压托架 (叠形架) 摆动机构

凿岩机 8 打眼时, 先将立柱 2 固定 (通过气压千斤顶顶在坑道顶板上), 当油缸 5 的活塞杆伸缩时, 可使摇臂 6 绕 E 转动, 并可停在  $\alpha$  角内的任一位置, 摆臂 7 上 A、B 点分别在轨迹  $AA_1A_2A'$  与立柱 2 上占有相应位置 (如  $A_1O_1B_1, A_2O_2B_2$ ), AB 位置固定后, 油缸 4 的活塞杆可使托架 1 绕 A 点转动, 并可在  $\beta$  角范围内任一位置停住 (如 AK 或  $AK''$ ,  $A'K'$  或  $A'K''$ ), 使凿岩机 8 进行打眼。通过油缸 4、5 配合动作, 可使凿岩机在坑道横断面内的三向任意方位进行打眼。

图 4-4-137, 当供料机构处于实线位置时, 铸锭 6 自加热炉进入盛料器 4, 由水压缸 1 的推动, 机构转至位置  $AB'C'D$ , 盛料器 4 翻转  $180^\circ$ , 铸锭被卸在升降台 7 上。此双摇杆机构也用于振动造型机的翻台机构。

图 4-4-138, 摆动汽缸 1 的活塞杆通过连杆带动杆 2 上下运动, 完成顶箱动作。

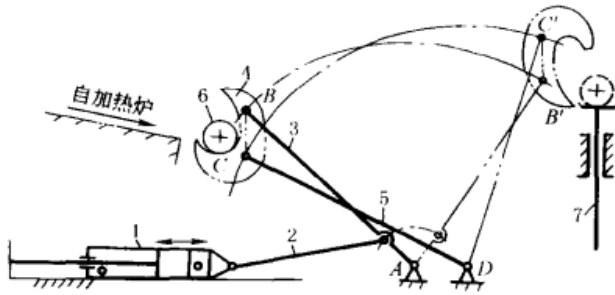


图 4-4-137 铸锭供料机构

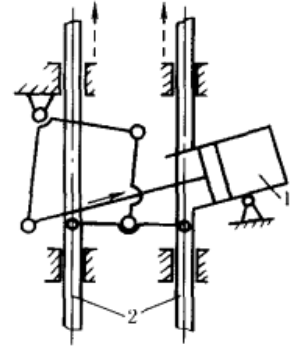


图 4-4-138 造型机的顶箱机构

图 4-4-139, 卷筒 1 是由数个围绕筒体 2 圆周的平行四边形机构 ABCD 的连杆 BC 组成, 这些平行四边形机构的 A、D 与筒体 2 铰接。当活塞杆 4 向右运动时, 通过连杆 BE 使 AB、DC 向右摆动, 此时, 卷筒 1 外径缩小, 装上金属带卷; 当活塞杆 4 向左运动时, AB、DC 向左摆动, 卷筒 1 外径胀大, 将已装上的带卷张紧, 以便松带。松带时, 为使带材保持一定的拉力, 利用制动器 3 造成一定的滑动摩擦阻力 (松带时, 金属带由其他装置拖动, 图中未示出)。此机构在金属轧材厂的退火电炉上有应用。

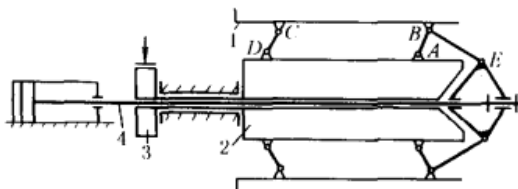


图 4-4-139 卷筒胀缩机构

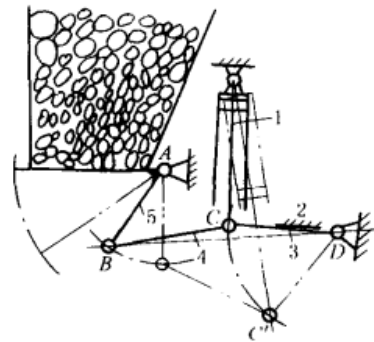


图 4-4-140 平板式气动闸门机构

图 4-4-140, 汽缸的活塞杆 1 通过连杆 4 带动闸门 5 开或关。实线所示位置为闸门关闭状态, 此时, C 点稍越过 BD 连线, 处于上方位置, 使具有自锁作用。即将关闭时, 杆 3、4 趋近直线, 有很大的增力作用, 使闸门关紧。2 为限位挡块。双点划线表示闸门开启状态。

图 4-4-141, 油缸的活塞杆 1 带动齿条 2 和齿轮 3, 使立轴 4 转动。活塞杆 5 使弯臂 6 抬起或下降。活塞杆 7 使互相啮合的齿轮 8、9 反向转动, 以夹紧或松开工件 10。

图 4-4-142, 料槽杆 4 与油缸 1 的 A 点铰接, 当油缸 1 不动, 油缸 2 动作时, 可使料槽绕 A 点摆动; 当油缸 2 不动, 而油缸 1 动作时, 则料槽平行升降。两油缸协调动作, 可使料槽得到所需的复合运动。

图 4-4-143, 推进器支架 5 与摆臂 3 在 H 铰接, 摆臂 3 用油缸 1 驱动使其绕 C 转动。油缸 2、4 直径相等并分别在 E、F、G 与 3、5 铰接, 二者充满油, 用油管 6、7 连通。当油缸 1 使 3 向下转动时, 油缸 2 中的油经油管 6 流入油缸 4 的上方, 使支架 5 绕 H 逆时针方向转动保持 5 的水平位置。3 向上转动时, 油缸 2 中的油经油管 7 流入油缸 4 的下方, 使支架 5 顺时针方向转动仍保持 5 的水平位置。为了使 3 转动时, 5 能保持水平, 铰接点 C、D、E 间和 F、G、H 间的位置关系应计算确定。

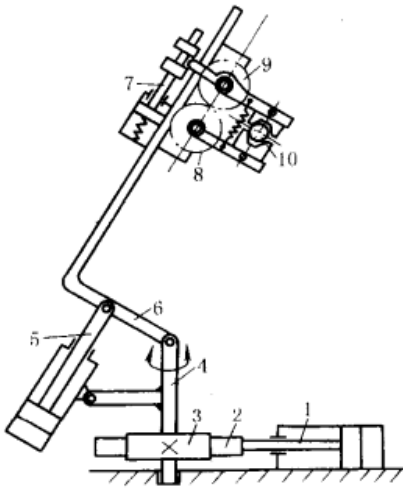


图 4-4-141 多油缸驱动的机械手抓取机构

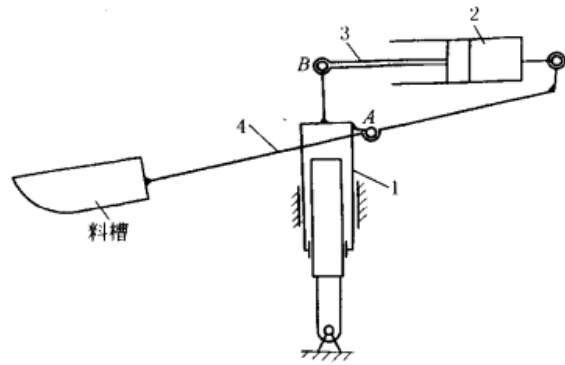


图 4-4-142 装料槽的升降摆动机构

图 4-4-144a 为正铲挖掘机的挖掘机构。图 b 为反铲挖掘机的挖掘机构。上二机构分别由大臂 1、小臂 2 和铲斗 3 组成，由三个油缸驱动，能自由伸缩，便于向不同高度挖掘和卸载。图 c 为图 a 的机构简图。图 d、e、f 为装载机的装载机构，分别用两个油缸驱动。

图 4-4-145，弯杆 3、7 的下端分别和活塞杆 2、支承 9 铰接，而上端和连杆 6 铰接，二弯杆上的  $A_1$ 、 $A_2$  与钳杆装置 8 铰接，弯杆 3 上  $B$  点与油缸 4 铰接，8 上的  $D$  点与活塞杆 5 铰接。支杆 9 通过撑杆 10 保持图示位置（弹簧起缓冲作用）。分析机构运动时， $O_2$  可看成与机架的铰接点。动作从以下两种情况分别说明。

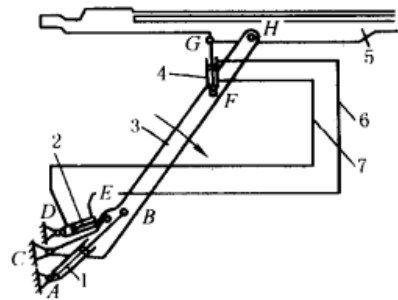


图 4-4-143 凿岩机推进器支架平行升降机构

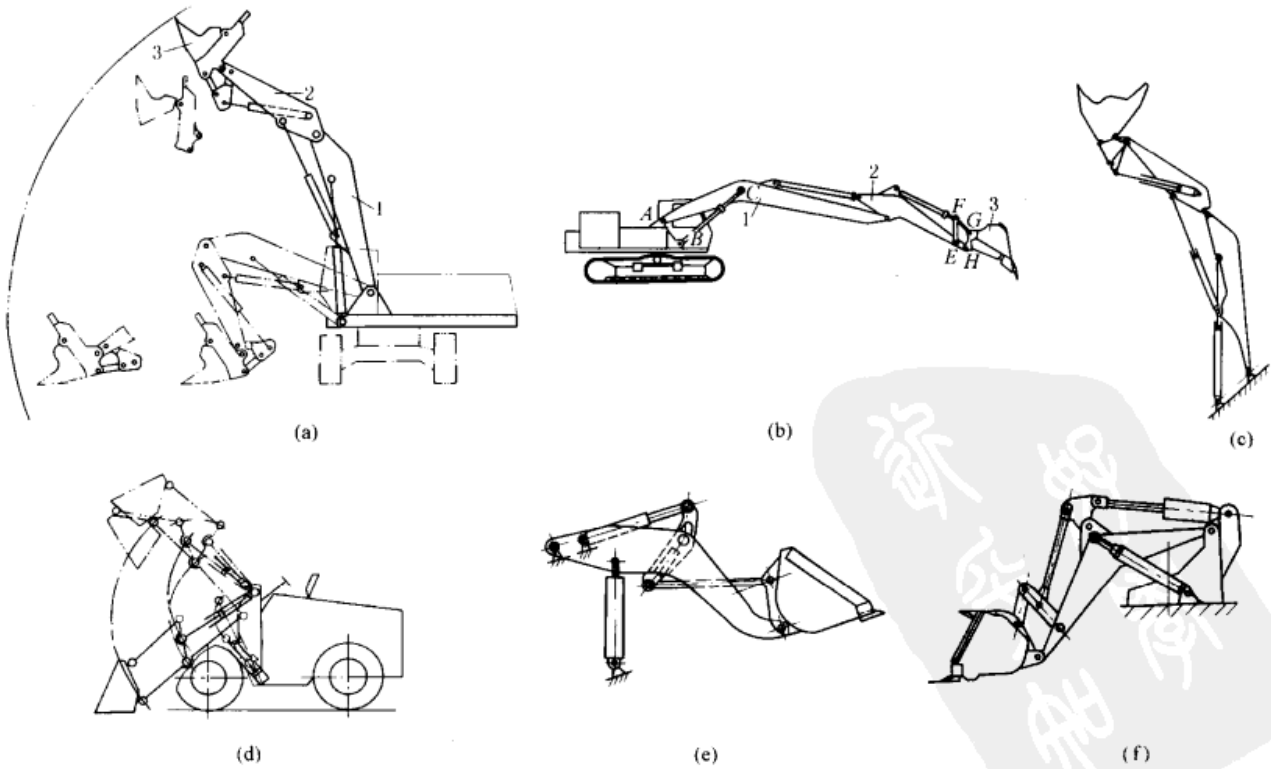


图 4-4-144 动臂屈伸液压、驱动机构

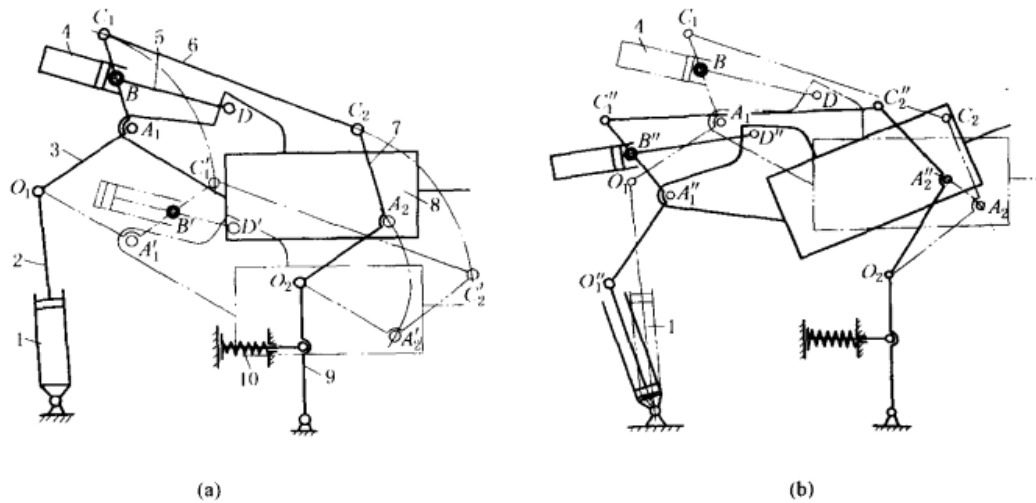


图 4-4-145 锻造操作机的钳杆升降机构

图 a, 当油缸 1 的活塞杆 2 不动 (停止进排油), 即  $O_1$  点固定, 此时若油缸 4 进油, 使活塞杆 5 缩回, 则机构位置相应运动到双点划线位置。即钳杆装置平行地下降到  $A_1'D'A_2'$  位置。

图 b, 当油缸 4 停止进排油, 即  $BD$  长度保持不变, 此时  $A_1C_1C_2A_2$  是固定的平行四边形,  $O_1A_1C_1C_2A_2O_2$  相当于一个构件, 油缸 1 进油其活塞杆缩回时 (设原来活塞杆是伸出状态), 则钳杆装置绕  $O_2$  转动一个角度, 如实线位置  $A_1''D''A_2''$ 。

工作中可通过两个油缸同时进排油来达到具体需要的位置。

图 4-4-146a 为大型挖掘机步行机构。由推进油缸 1、升举油缸 2 和靴座 3 共同铰接于 A 处组成。步行动作如

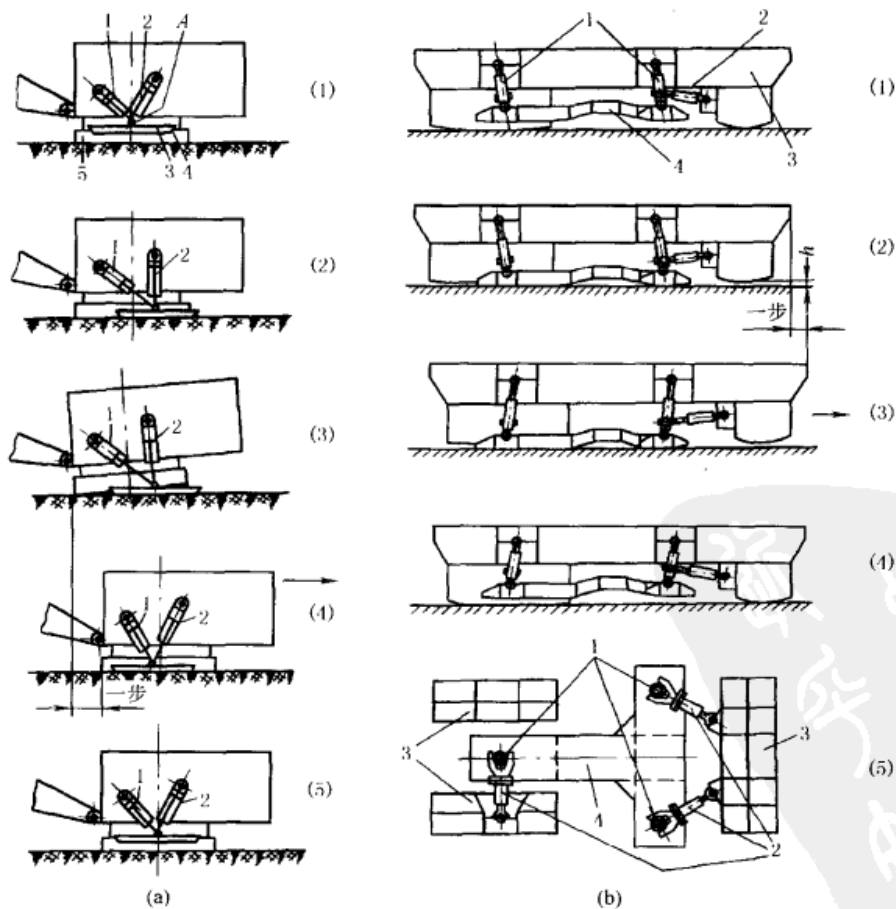


图 4-4-146 液压柱塞铰接式步行机构

下：①两油缸柱塞杆缩回，将靴座3悬起；②推进油缸1柱塞杆伸出，使靴座右移并放下；③升举油缸2柱塞杆伸出使靴座紧压土壤，并迫使挖掘机机体升起斜支在土壤上；④推进油缸1柱塞杆缩回，从而拉动挖掘机向右移动一步。至此，完成一循环，往后，重复上述循环。

图b为巨型移动式设备的步行机构。步行机构由三个竖向油缸1和三个横向油缸2与T形履板4、机座3铰接而成。步行动作如下：①右端两个油缸2的柱塞杆缩回，将悬挂的履板4向右拉；②三个油缸1的柱塞杆伸出，将履板4放下，并将机座3举高离地 $h$ ；③右端两个油缸2柱塞杆伸出，将升举的机座向右推移一步；④三个油缸1的柱塞杆缩回，放下机座并提起履板，至此，完成一个循环。往后，重复上述循环。如需要转向，由三个横向油缸协同动作，使T形履板在平面上转动一个角度即可。这步行机构应用于移动式破碎机组等巨型设备上，移动总重可达250t或更大。

## 12 增力及夹持机构

图4-4-147，采用了双升角斜楔，大升角 $\alpha_1$ 用来使夹紧构件迅速接近工件，小升角 $\alpha$ 用来使夹紧构件夹紧工件保持自锁。

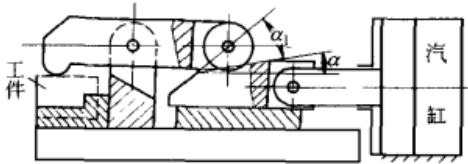


图 4-4-147 斜面-杠杆式增力机构

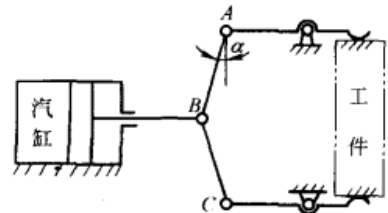


图 4-4-148 铰链杠杆式夹紧机构

图4-4-148，夹紧力随被夹件尺寸的变化而变化，角 $\alpha$ 越小夹紧力越大，一般 $\alpha = 10^\circ \sim 25^\circ$ 。

图4-4-149为六杆曲柄肘杆机构，是利用机构接近死点位置所具有的传力特性实现增力的实例。如果肘杆3的两极限位置 $EC_1$ 和 $EC_2$ 在 $ED$ 线的两侧，当曲柄1回转一周时，滑块5可上下两次（可用于铆钉机）；如果杆3的两极限位置取在 $ED$ 线的一侧，则滑块5上一次（如冲床）。设滑块产生的压力为 $Q$ ，杆2、4受力为 $F$ 、 $P$ ，两肘杆3、4长度相等时，曲柄1施加于连杆2的力为：

$$F = \frac{QL_2}{L_1 \cos \alpha}$$

式中  $\alpha$ ——肘杆3、4与 $ED$ 线的夹角；

$L_1$ 、 $L_2$ ——力 $F$ 和 $P$ 的作用线至轴心 $E$ 的垂直距离。

在加压工作开始时，角 $\alpha$ 和线段 $L_2$ 很小，因此曲柄1施加于杆2上的力 $F$ 很小，达到增压效果。在精压机、冲床等锻压设备中，为了获得短行程和高压，常采用这种机构。

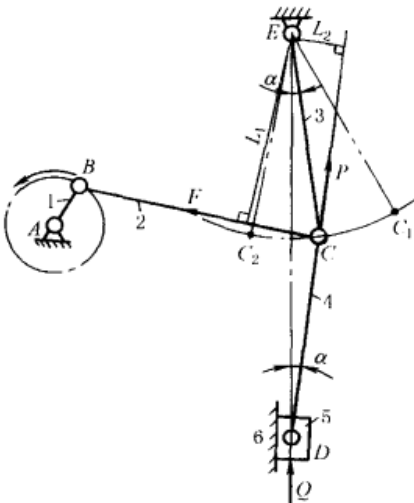


图 4-4-149 冲压增力机构

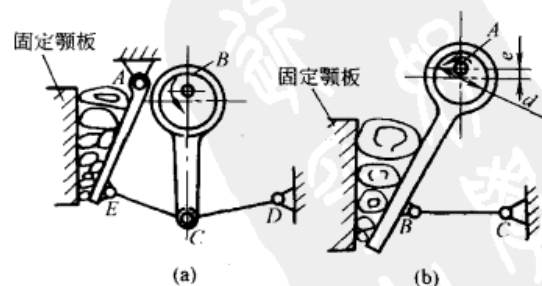


图 4-4-150 破碎机构

图 4-4-150a, 偏心轮绕固定点  $B$  转动时, 带动活动颚板  $AE$  摆动, 产生增力作用。但动颚板仅作绕轴心  $A$  的简单摆动, 两颚板的靠近量下大上小, 因此, 上部不能获得较大的破碎功。

图 b, 这种机构的动颚板装于连杆上, 当偏心轮绕固定点  $A$  转动时, 动颚板作平面复合运动。动颚板和固定颚板的靠近量上大而下小, 这样能在破碎机的上部获得很大的破碎功, 破碎效果好, 而下部因行程小, 能得到较细较均匀的矿块, 偏心距  $e$  越小, 破碎力越大, 但过小的偏心距将降低效率, 偏心距可近似由下式确定:

$$e = \frac{fd}{\frac{1}{\eta} - 1} = \frac{fd\eta}{1 - \eta}$$

式中  $f$ ——轴承的滑动摩擦因数;

$d$ ——偏心轮轴颈直径;

$\eta$ ——效率。

图 4-4-151, 为保证砖坯 10 上下密度一致, 需上下压头同时移动, 进行双向等量加压, 滑块 7 在拉杆架 8 的导轨中滑动, 下压头装在 8 的下部, 8 的上部与杆 5 铰接, 5 的上端有一滚轮 4 可沿固定凸轮 3 滚动, 凸轮 3 的曲线应能满足双向等量加压的要求。此机构可使压砖时的压力 (最大可达 1200t) 不作用于机架上。

图 4-4-152, 电动机 3 通过无级变速机构和离合器带动蜗杆机构 2, 再经过一对齿轮 5 传动两个同步旋转的曲轴 4。两个曲轴的偏心率不同, 从而各产生一个频率相同但振幅不同的运动。实现加工过程慢速回程较快的特性, 能提高生产率。

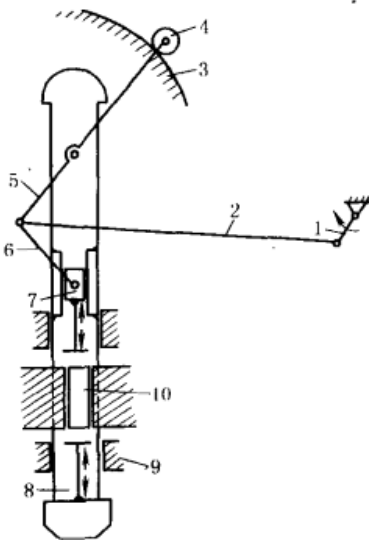


图 4-4-151 卸载式压砖机

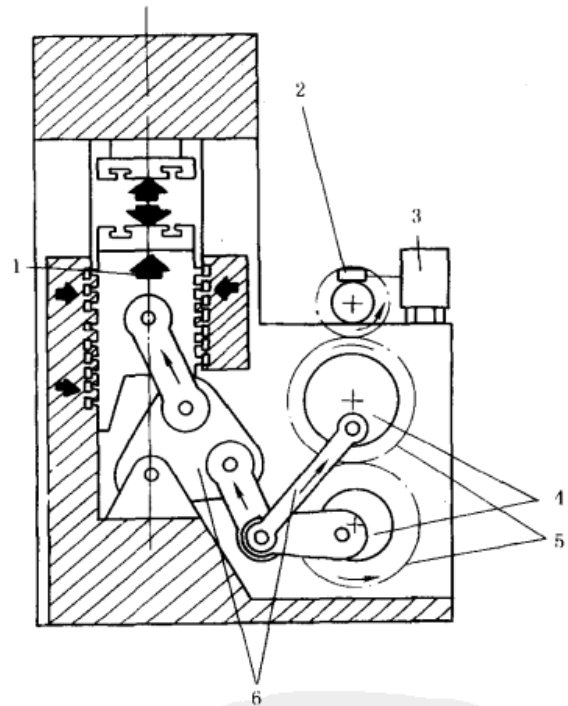


图 4-4-152 双肘杆机构  
1—滑块; 2—蜗杆机构; 3—带有无级变速机构的电动机;  
4—曲轴; 5—齿轮; 6—双肘杆

图 4-4-153, 货车的重力  $W$  作用在通过钢绳芯的  $n-n$  线上, 弯杆 3 可绕  $A$  转动, 杆 3、4 在  $C$  处铰接, 4 与弯杆 2 在  $B$  处铰接, 弯杆 2 可在支座 5 中左右滑动, 矿斗作用于  $n-n$  线的重力  $W$  相当在杆 1 上作用有力  $W$  和力矩  $Wl$ , 这两力使杆 3、4 分别绕  $C$  反向转动, 并对钢绳进行剪刀式夹紧。

图 4-4-154, 为压铸机合模机构, 由两个摆杆滑块机构对称安装组成。当高压油进入油缸 7 推动活塞右移时, 驱动力  $P$  通过连杆 5 加在曲柄 1 上的  $D$  点处, 迫使杆 1 绕轴心  $A$  摆动, 并通过连杆 2 使活动压模 3 向固定压模 4 靠近, 当活塞推至右端位置时, 两压模 3 和 4 正好合拢, 而曲柄 1 的  $AB$  线刚好与连杆 2 的  $BC$  共线, 机构处于死点。这时, 高压油的驱动力  $P$  撤除, 并使金属液进入两模板间。因上下两曲柄滑块机构同时处于自锁状态, 当注入金属液而产生几百吨的压力时, 压模 3 也不会移动。

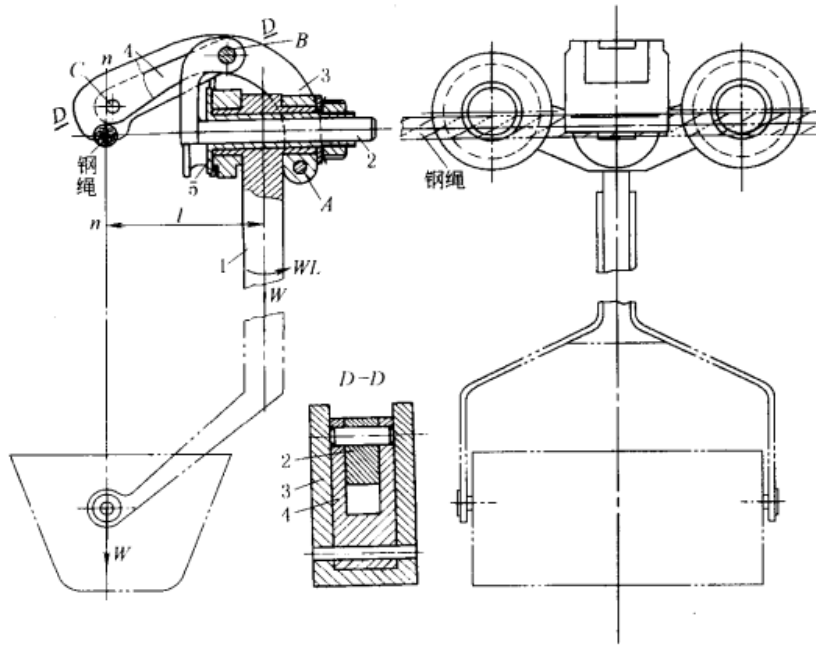


图 4-4-153 单线架空索道抱索器机构

图 4-4-155a 为利用偏心凸轮的夹紧机构，适用于夹紧行程小、振动小的场合，工作时转动偏心轮。图 b 为利用斜面快速固定机构，工作时转动左边手柄。

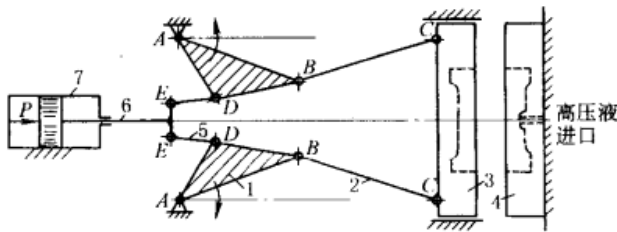


图 4-4-154 压铸机合模机构

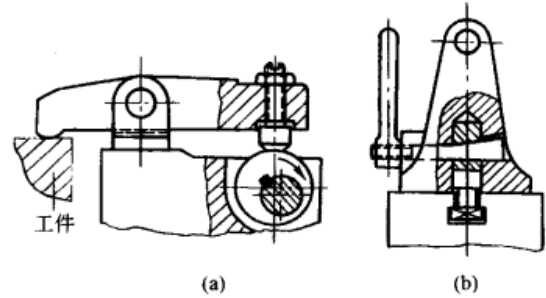


图 4-4-155 能自锁的快速夹紧机构

图 4-4-156a，逆时针方向转动手柄 1，使其与连杆 2 成一直线，这时机构处于死点位置，摇杆 3 对工件进行夹紧。图 b，转动手柄 2，使其与摇杆 3 成一直线，此时机构处于死点位置而自锁，并使工件夹紧。这种利用死点达到自锁的夹具，虽自锁性差，但结构简单，运作迅速。

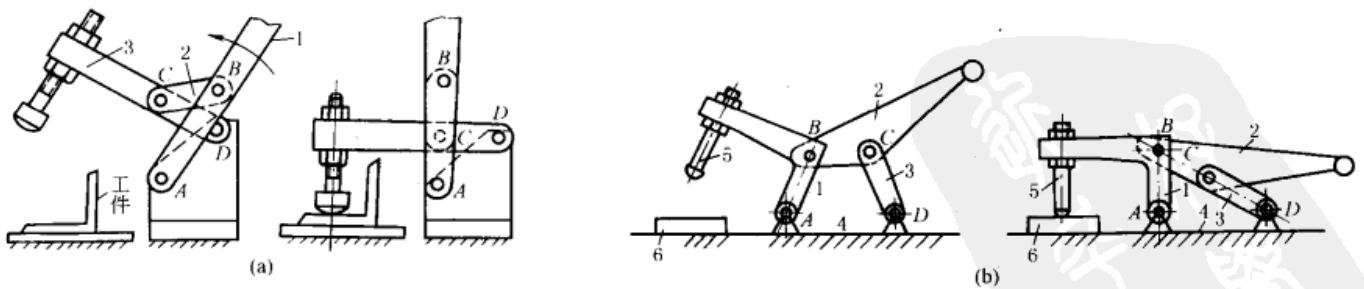


图 4-4-156 利用死点的自锁夹紧机构

图 4-4-157，操作杆 1 左移时，销 a 通过块 2 使夹爪沿图示箭头方向移动，放松工件；操作杆 1 右移时，借斜面及滚轮的作用使夹爪反向移动夹紧工件。

图 4-4-158，汽缸两侧机构的构件尺寸对应相等，汽缸及其活塞杆 1、2 反向伸开（或相向收拢）带动杆 4、7 动作，滑块 5 可上下滑动，使 4、7 同时动作并夹紧（或放松）物料。



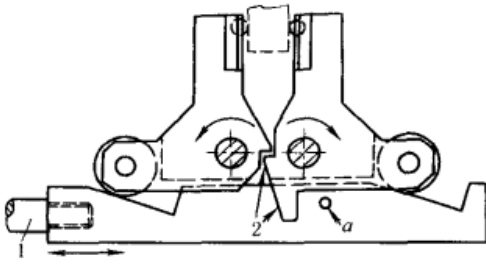


图 4-4-157 摆动夹紧机构

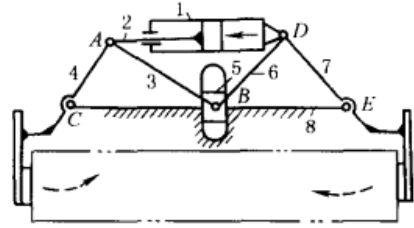


图 4-4-158 气动夹紧机构

图 4-4-159, 操作杆 1 与右爪 3 铰接于 A, 爪 2、3 间以压簧相连, 当 1 绕 A 下摆时, 通过爪 2 上的凸块使夹爪夹紧, 杆 1 上摆时, 在压簧的作用下夹爪松开。

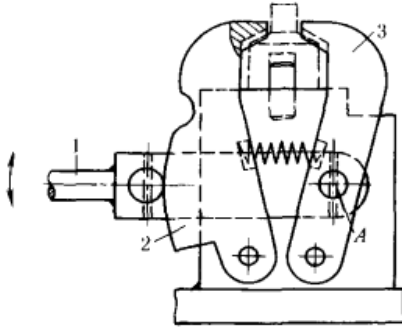


图 4-4-159 浮动拉压夹紧机构

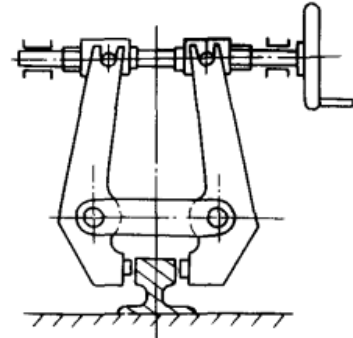


图 4-4-160 轨道夹持机构

图 4-4-160 为用螺旋手动夹持机构将设备固定在轨道上, 常用于轨道起重机上。

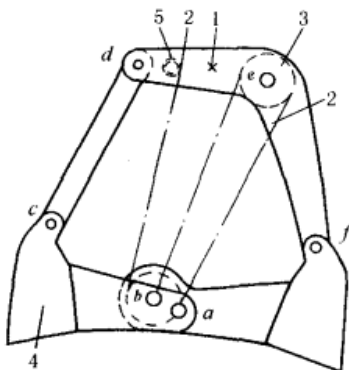


图 4-4-161 斜压式双颚抓斗机构

图 4-4-161, 1 为吊挂抓斗的升降绳, 抓斗开闭时通过控制绳 2 操纵使颚铲 4 开闭。轮 3 为增力滑轮, 轮 5 为导向轮。

图 4-4-162a 为杠杆滑槽式, 结构简单, 动作灵活, 手爪开闭角度大。若尺寸 a、b 和拉力 F 一定时, 增大  $\alpha$  角可使夹紧力  $F_1$  增大, 但  $\alpha$  过大会导致汽缸行程太大, 一般选取  $\alpha = 30^\circ \sim 40^\circ$ 。

图 b 为连杆式, 可产生较大的夹紧力, 均为铰链连接, 磨损较小, 但结构较复杂, 适用于抓取重量较大的工件。若尺寸 b、c 和推力 F 一定时, 减小  $\alpha$  角可增大夹紧力  $F_1$ 。当  $\alpha = 0^\circ$  时, 利用死点能自锁, 此时去掉外力 F, 重物不会把手爪推开而脱落。

图 c 为自锁式, 由于手爪回转中心 O 在重力作用线  $\frac{G}{2}$  的内侧, 手爪挂上工件后, 工件自重对 O 点产生的力矩使手爪自动夹紧工件而不会脱开。用于搬运较大工件。

图 4-4-163, 伸缩机构 1 一端和手爪的基部 3 铰接, 另一端用铰销插在基部的滑动槽中滑动。伸缩机构的中

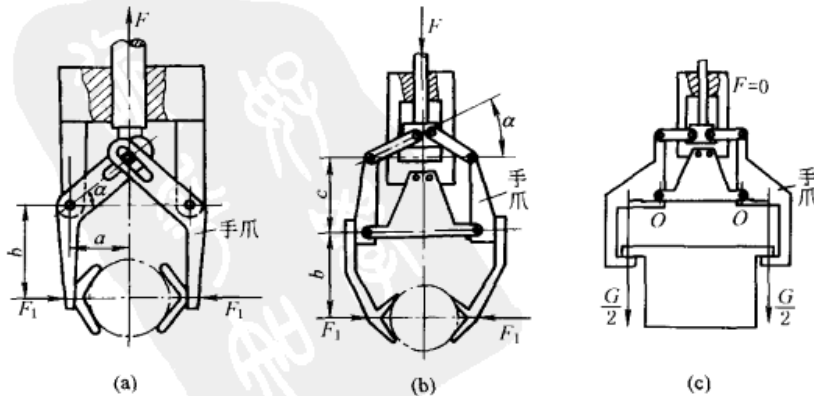


图 4-4-162 几种机械手的夹持器

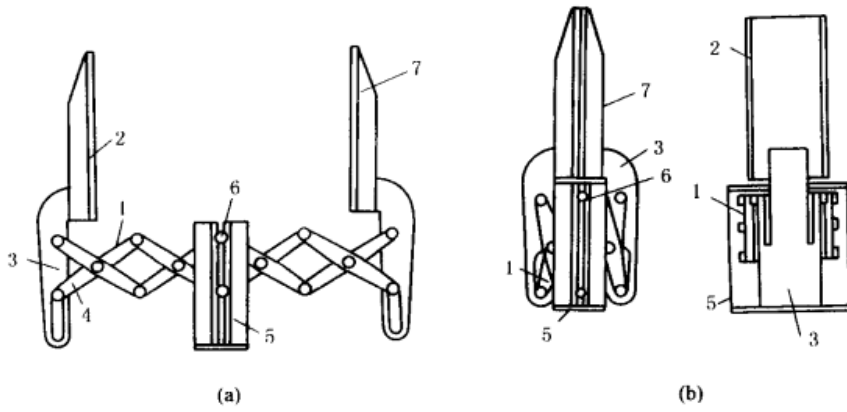


图 4-4-163 开口度大的夹紧机构

间有一铰链 6 固定在固定基体 5 上，而对称的另一铰销则可在固定基体的槽中滑动，此铰销为驱动轴。当驱动轴向上运动时，伸缩机构张开，爪 7 便获得很大的开口度，如图 a 所示。当驱动轴向下运动时，则各连杆收缩，二爪闭合，如图 b 所示。

图 4-4-164a，电磁铁 5 的两极上，均安装可变形的袋 1，袋中装有磁粉体 2，当袋与被吸着物 4 接触时，袋的外形可随被吸物外形改变。线圈 3 通电时，具有磁性的被吸物 4 就会被电磁爪 1 抓住。断电时，物体被释放。图 b 为被吸物较大时的结构。

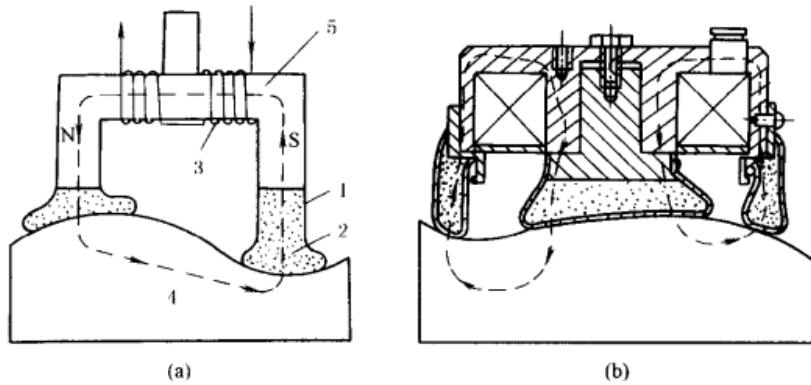


图 4-4-164 电磁抓取机构

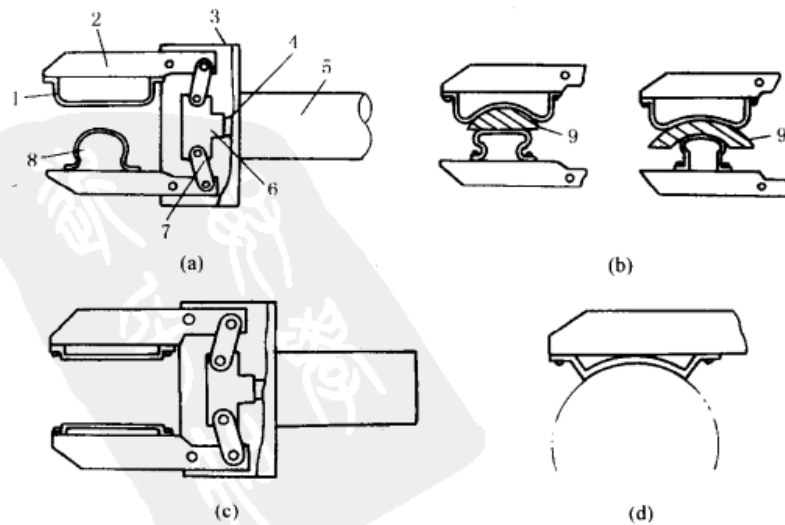


图 4-4-165 弹性手爪的抓取机构

图 4-4-165a, 抓取机构中两手爪上, 一爪装有平面弹性材料 1, 另一爪装凸面弹性材料 8, 其形状必须保证有足够的变形空间。当活塞杆 4 右移时, 接头 6 带动连杆 7 使两手爪 2 相向运动, 弹性材料与工件 9 接触后, 即随工件的外形而变形, 并用其弹性力夹紧工件。

图 b 为抓取两种不同形状的工件时, 弹性材料变形的情况, 它既保证了有足够的抓取夹紧力, 又避免了夹紧力过于集中而损坏由易破碎材料制成的工件。

图 c、d 是另一种结构形式的抓取机构。这类机构可抓取特殊形状的工件, 也可抓取易破损材料制成的工件。

### 13 实现预期轨迹的机构

图 4-4-166a, 机构尺寸满足关系:  $L_1 = L_2$ 、 $L_3 = L_4$ 、 $L_5 = L_6 = L_7 = L_8$ , 当杆 2 转动时,  $Q$  点的轨迹为垂直于  $OA$  的一条直线  $QM$ 。

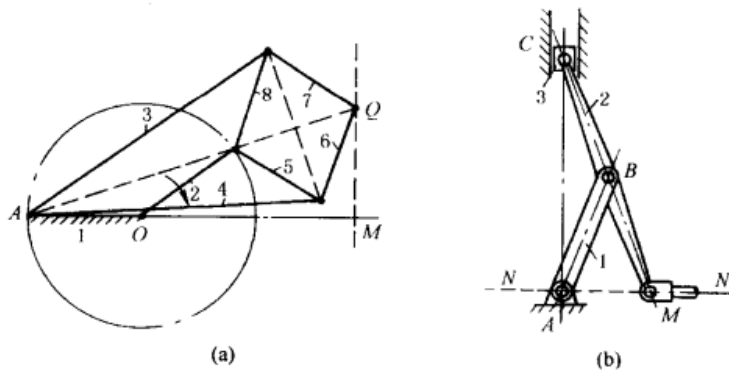


图 4-4-166 精确直线机构

图 b, 机构尺寸满足关系:  $AB = BC = BM$ , 当滑块 3 沿垂直线上下滑动时, 杆 2 端点  $M$  沿水平线  $NN$  作精确直线运动。

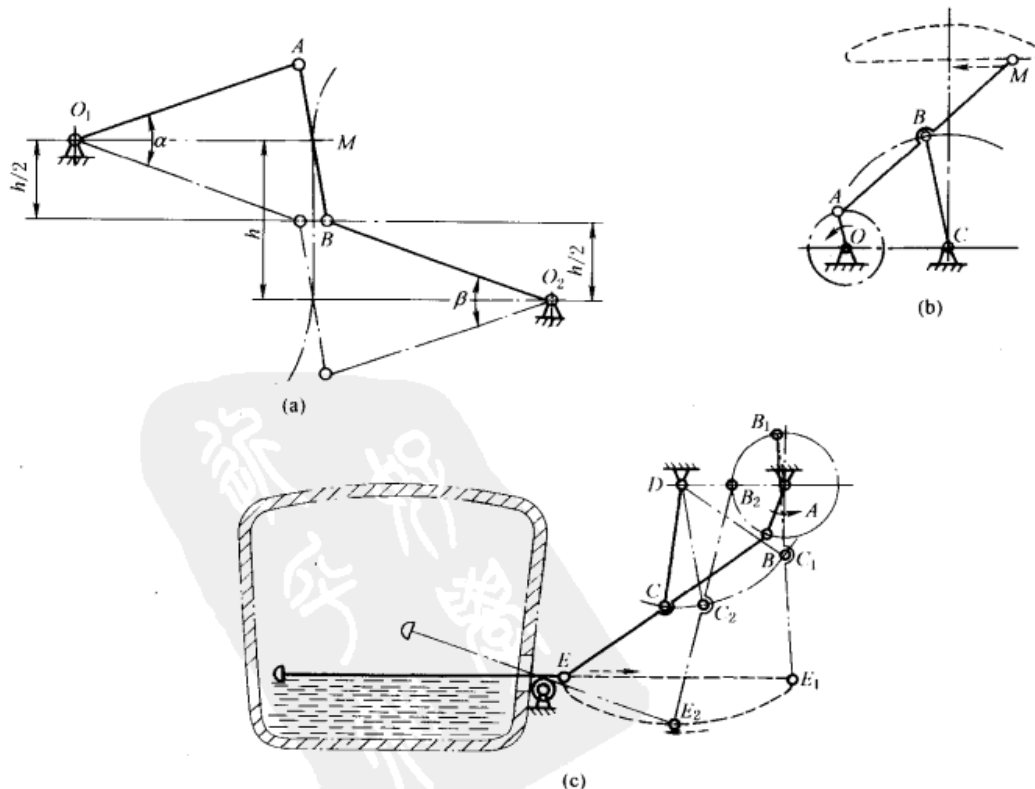


图 4-4-167 近似直线机构

图 4-4-167a, 取  $AB=0.6h$ ,  $O_1A=O_2B=1.5h$ , 则  $AB$  中点  $M$  在行程为  $h$  范围内 (相应摆角  $\alpha=\beta\approx 40^\circ$ ) 的轨迹为近似直线。图 b 所示机构, 当  $AB=BC=BM=2.5OA$ ,  $OC=2OA$ , 则  $OA$  绕  $O$  点转动,  $A$  点在半圆时,  $M$  点的轨迹为近似直线。图 c 是扒渣机, 它是图 b 的具体应用实例。

利用曲柄摇杆机构连杆曲线的直线段来实现近似平移的机构实例很多, 如搅拌机、电影放映机的拉片机构等。

图 4-4-168, 曲柄 1 转动时, 连杆 2 上的  $M$  点沿图中点划线所示轨迹运动, 若在  $M$  点设置抛光轮, 则可利用轨迹的近似直线段进行皮革打光工作。

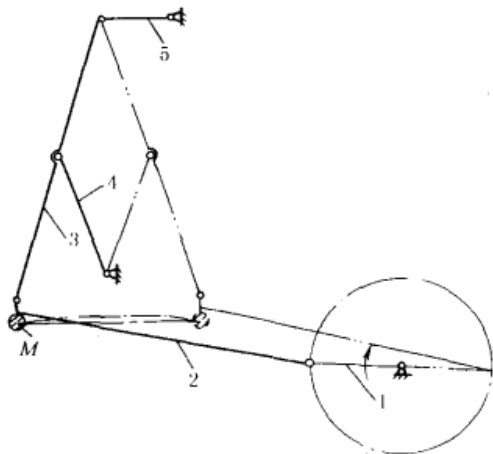


图 4-4-168 皮革打光机的近似直线机构

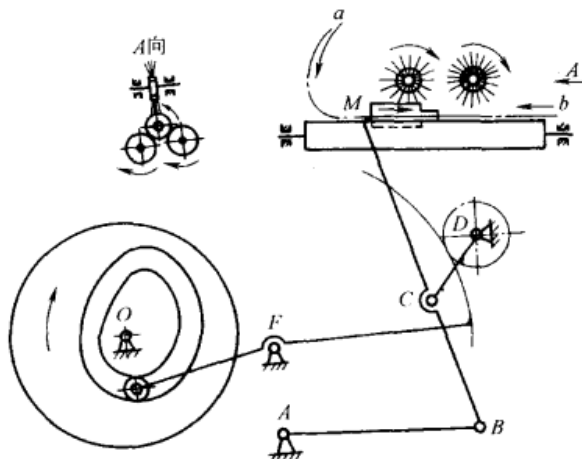


图 4-4-169 以预期速度沿轨迹运动的凸轮连杆机构

图 4-4-169, 洗瓶机中的推瓶机构要求推头  $M$  自  $a$  沿轨迹以较慢的匀速推瓶并自  $b$  快速退回。以铰接四杆机构  $AB-CD$  实现连杆上  $M$  点轨迹, 而以凸轮控制  $CD$  杆的运动, 从而实现  $M$  的预期速度。扇形齿轮是用来减小凸轮升程的。

图 4-4-170, 当机构各杆具有图示位置关系时, 油缸 1 活塞杆的伸缩使起重臂 2 上的  $E$  点沿垂直线升降。图中  $h_1$ 、 $h_2$  表示两个升高位置。

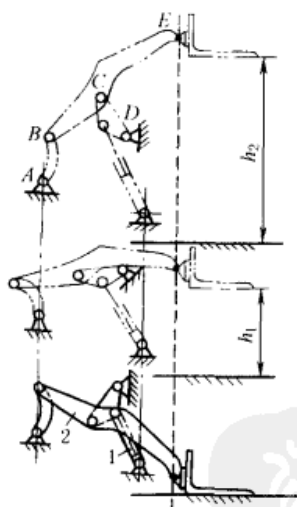


图 4-4-170 起重铲的垂直升降机构

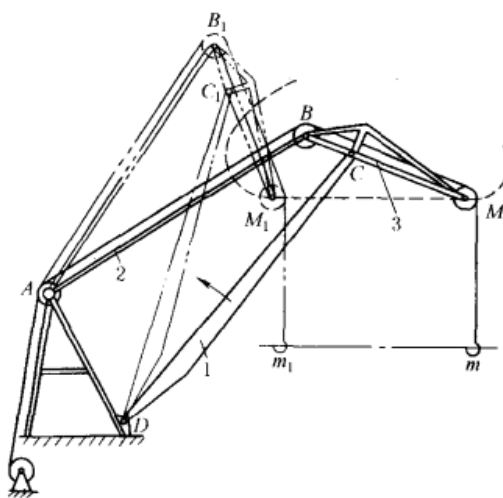


图 4-4-171 起重机变幅机构

图 4-4-171, 为起重机结构, 取  $BC=0.27AB$ ,  $CM=0.83AB$ ,  $CD=1.18AB$ ,  $AD=0.64AB$ , 当主动件  $AB$  绕  $A$  转动到  $AB_1$  位置时, 象鼻梁 3 上的  $M$  点作近似直线移动到  $M_1$  点, 吊钩  $m$  同样移动到  $m_1$ 。

图 4-4-172a, 齿轮 1 的节圆直径等于齿轮 2 的节圆半径, 齿轮 2 作为固定机架, 齿轮 3、4 直径相等均与轴 6 用键连接, 齿轮 1、3、4 与转臂 5 铰接。当转臂 5 绕  $O_1$  转动时, 齿轮 1、3、4 作行星运动。铰接于齿轮 1 节圆上的销 7 沿齿轮 2 的直径作直线运动。采用固定内齿轮传动也能得到直线运动, 见往复运动机构 (图 4-4-40)。

图 b, 齿轮 1 为固定机架, 其中心  $O$  铰接转臂 2, 齿轮 3、4 与转臂 2 铰接, 齿轮 4 的节圆直径等于齿轮 1 节圆半径, 与转臂 2 等长的摆臂 5 与齿轮 4 固联。当转臂 2 绕  $O$  转动时, 摆臂 5 的端点  $m$  在齿轮 1 的直径上作往复直线运动。

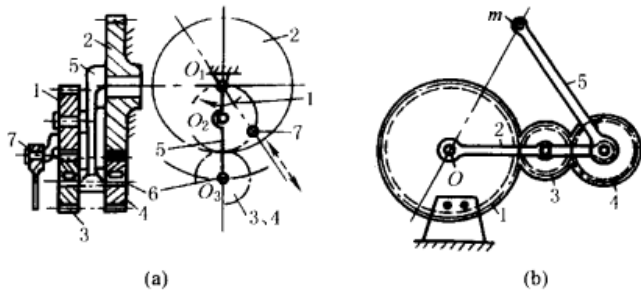


图 4-4-172 齿轮传动的直线机构

形孔。根据所需的边长  $a$ ，可求出其他尺寸：

$$R_1 = \frac{a\sqrt{2}}{2}, R_2 = \frac{a(2+\sqrt{2})}{2}$$

$$R_3 = b = a(1+\sqrt{2})$$

图 b，长  $r_s$  的转臂 1、2 分别绕  $O_1$ 、 $O_2$  转动（其中一个为主动），使节圆半径均为  $r_3$  的行星齿轮 3、4 绕尺寸相同的固定内齿轮 5、6 作行星运动。拨杆 7 铰接于行星齿轮 3、4 上的 A、B 点， $AB = O_1O_2$ ，且  $O_3A = O_4B = r_s$ ，则拨杆上任意点都随行星齿轮作近似方形轨迹运动。实现此轨迹的机构尺寸为  $r_s = 3r_3 = 6r_s$ 。正方形的边长  $a = 7\sqrt{2}r_s$ 。这种机构在送料机构中有应用。

图 4-4-173a，构件 2、3、4、5、6、7 和机架组成两个平行四边形，在边长为  $b$  的正方形导向框架 2 内有一等宽凸轮 1（由四段圆弧组成，即  $R_1$ 、 $R_3$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ），当凸轮绕固定点  $O_2$  顺时针方向转动时，框架 2 上的 M 点，作边长为  $a = \frac{b}{1+\sqrt{2}}$  的正方形轨迹。

设  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$  为钻头的三个刀刃，它们组成一个等边三角形，其边长  $r = a$ ，若钻头与等宽凸轮一起固联在钻杆上并绕固定点  $O_1$  转动，则钻刃将在与框架 2 底板固联的工件（图中未示出）上钻出边长为  $a$  的正方形孔。

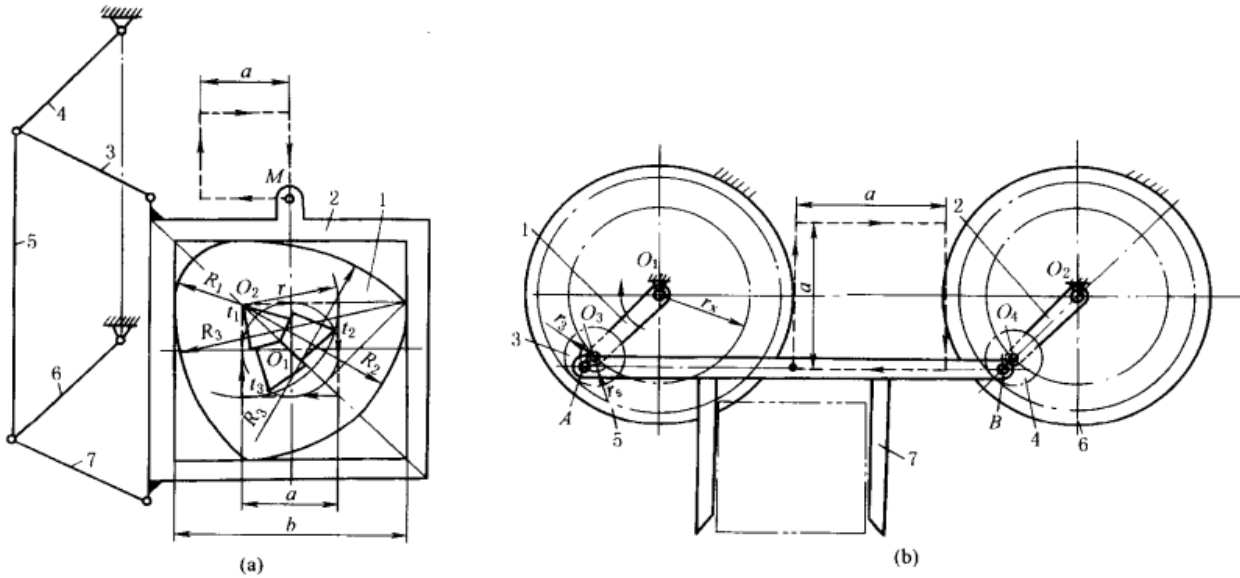


图 4-4-173 方形轨迹机构

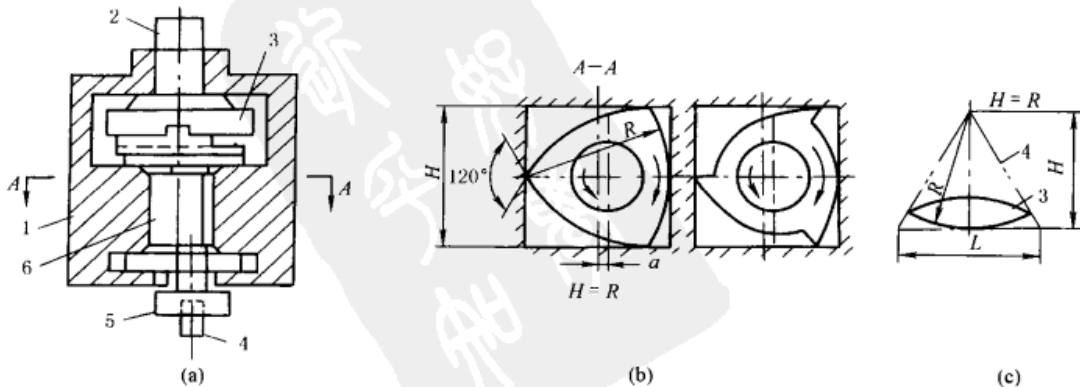


图 4-4-174 加工方孔钻的结构

图 4-4-174a, 主轴 2 通过十字沟槽联轴器 3 驱使三棱柱杆 6 在机座 1 的方孔内绕方孔中心以半径  $a$  作圆周运动, 三棱柱中心公转的方向与三棱柱沿方孔内边滚动方向相反, 三棱柱 6 通过卡盘 5 带动三角钻头 4 重演三棱柱 6 与方孔之间的相对运动关系, 加工出方孔。三棱柱和三角钻头的尖角均为  $120^\circ$ , 如图 b 所示。此法加工出的正方形直角处出现一圆角, 圆角半径约为正方形孔边长的 0.15 倍。

如将机座 1 的方孔改作成正三角形孔, 钻头改成双棱弧形钻, 则可加工出正三角形孔 (如图 c); 如将机座 1 的方孔改作成正六边形孔, 钻头改成五边形钻, 则可加工出正六边形孔。

图 4-4-175a, 刀盘卡紧在车床的车头上, 工件装在工件卡盘上, 而工件卡盘装在可作纵向移动走刀的车床拖板上。如果在刀盘上对称安装两把车刀, 加工时使刀盘转速比工件转速快一倍, 且两者转向相同, 这样刀具就能将工件切削出近似的正方形的外表面。

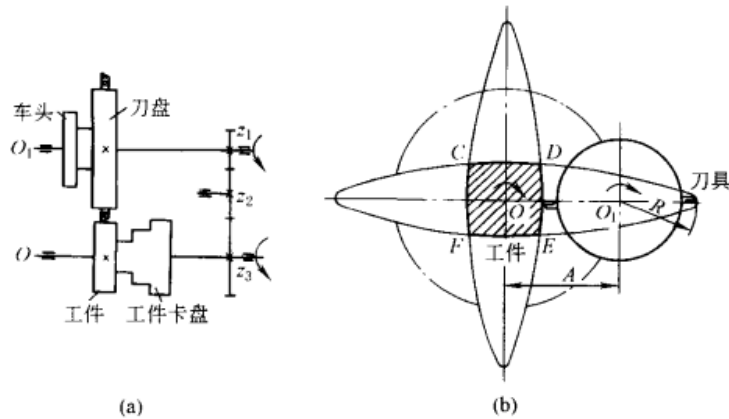


图 4-4-175 车削正多边形工件的机构

为了使刀盘与工件转向相同且转速差一倍, 在两轴间增加一套齿轮, 设  $z_1 = z_2 = 24$ ,  $z_3 = 48$ , 则:

$$i_{13} = \frac{n_{刀}}{n_{工}} = (-1)^2 \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2} = \frac{48}{24} = 2$$

如图 b, 若把工件和刀具间的相对运动看成工件固定不动, 而刀盘中心  $O_1$  以工件的转速绕工件中心  $O$  反方向转动, 同时刀盘还绕自己的中心  $O_1$  以比工件快一倍的转速转动, 那么刀盘上刀具的刀尖就在工件表面上形成椭圆轨迹, 两把车刀的刀尖在工件表面上切出两个轴线互相垂直的椭圆, 其长轴为  $A + R$ , 短轴为  $A - R$ 。切削后的工件轮廓  $CDEF$  就是由四段椭圆弧线所组成的近似正方形。当加大刀盘半径并减小刀尖与工件中心  $O$  的距离, 则椭圆很扁,  $CDEF$  就愈接近正方形。

如果在刀盘上安装三把车刀, 彼此夹角为  $120^\circ$ , 就能切削出正六边形的工件。

图 4-4-176, 双联凸轮 1 和 1' 绕  $O$  轴转动, 送料台 2 沿近似矩形轨迹运动。其动作过程如下:

送料台 2 上升 (下降) 时, 滚子  $H$  处于凸轮 1' 的圆弧部分, 杆  $HIJ$  不动, 而滚子  $A$  在凸轮 1 的上升 (下降) 曲线的作用下, 向右 (左) 摆, 通过平行四边形机构  $BCEF$  及其延伸杆  $CD$  和  $FG$  将 2 举起 (放下), 这时, 杆  $KJ$  绕  $J$  点上摆 (下摆), 因此送料台 2 运动轨迹的上升 (下降) 部分是一圆弧。送料台 2 水平向右 (左) 移动时, 滚子  $A$  处于凸轮 1 的圆弧部分, 机构  $ABCDEF$  静止不动, 而滚子  $H$  处于凸轮 1' 的上升 (下降) 曲线部分, 杆  $HIJ$  绕  $I$  点作顺 (逆) 时针方向摆动, 杆  $JK$  推 (拉) 2 向右 (左) 移动。

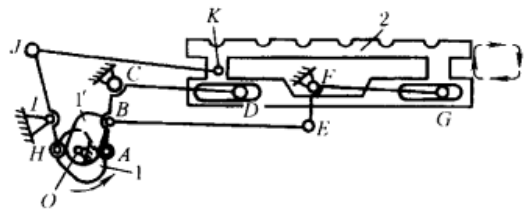


图 4-4-176 近似矩形送料机构

图 4-4-177 为圆珠笔装配线上的自动送进机构中所采用的双凸轮联动机构。主动轴  $I-I$  上的盘状凸轮 2 控制托架 3 上、下运动, 从而将圆珠笔 5 抬起和放下, 端面凸轮 1 及推杆 6 控制托架 3 左、右往复移动, 从而使圆珠笔 5 沿着矩形轨迹  $K$  运动, 将笔杆步进式地向前送进。

图 4-4-178, 滑块 4 与推杆 6 铰接, 滑块 5 上固联导槽 7, 杆 6 端部的滚子可在导槽中运动。当曲柄  $OB_1$ 、 $OB_2$  绕  $O$  回转时, 推杆 6 端部的推板  $T$  的轨迹  $a$  为近似矩形。此机构在饼干包装机的推包机中有应用。

图 4-4-179, 主动偏心轮 1 通过推杆 2、杠杆 3、推杆 4 和推杆 5 来控制砂轮 6 的轴心位置, 使其按椭圆轨迹

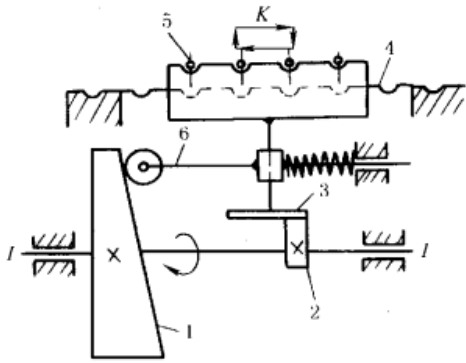


图 4-4-177 双凸轮步进送进机构

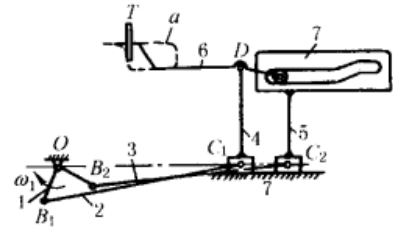


图 4-4-178 凸轮-连杆组合推包机构

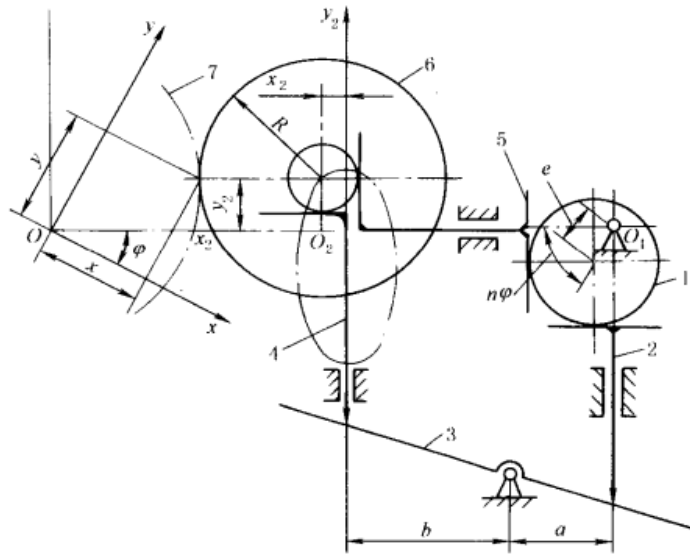


图 4-4-179 磨削非圆零件机构

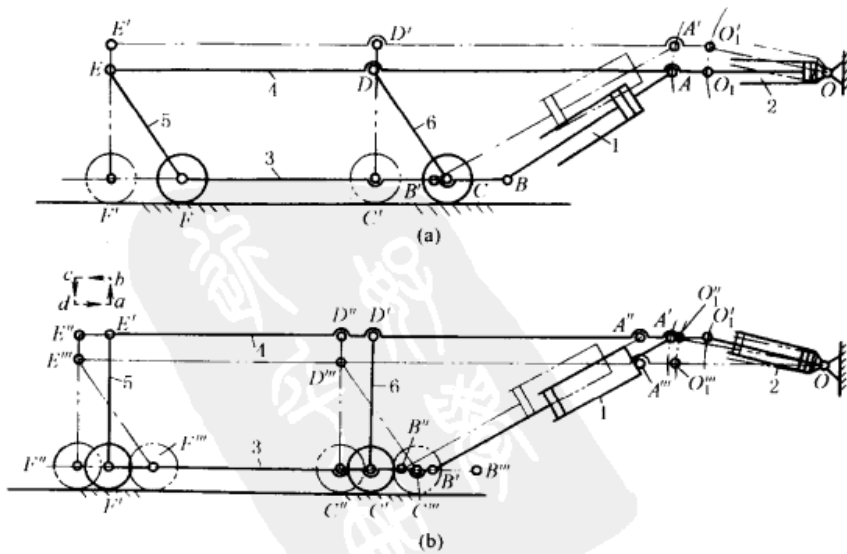


图 4-4-180 油缸驱动步进送料机构

运动，其轴心方程为：

$$x_2 = e \cos n\varphi$$

$$y_2 = \frac{b}{a} e \sin n\varphi$$

图 4-4-180 所示为油缸驱动步进送料机构。其动作如下：①油缸 2 的活塞杆不动，油缸 1 的活塞杆外伸时，使油缸 2 绕  $O$  点上摆，横梁 4 沿弧线  $\widehat{O_1O_1'}$  (轨迹线  $\widehat{ab}$ ) 上升，底盘 3 及车轮向左水平移动，油缸 1 及连杆 5、6 均作包含有顺时针方向转动的平面复合运动，使机构到达  $OO_1A'B'C'D'E'F'$  位置 (图 a)；②油缸 1 的活塞杆不动，油缸 2 的活塞杆外伸，使横梁 4 连同整个小车向左水平移动 (轨迹线  $bc$ )，这时机构位置为  $OO_1A''B''C''D''E''F''$  (图 b)；③油缸 2 的活塞杆不动，油缸 1 的活塞杆缩回，这时，缸 2 绕  $O$  点摆回，横梁 4 沿弧线  $\widehat{O_1'O_1''}$  (轨迹线  $\widehat{cd}$ ) 下降，底盘 3 及车轮向右水平移动，缸 1 及连杆 5、6 均作包含有逆时针方向转动的平面复合运动，这时，机构到达  $OO_1A'''B'''C'''D'''E'''F'''$  位置 (图 b)；④油缸 1 的活塞杆不动，油缸 2 的活塞杆缩回，横梁 4 连同整个小车向右水平返回原位 (轨迹线  $da$ )，即回到  $OO_1ABCDEF$  位置 (图 a)，完成一次运动循环。

这样利用两个油缸交替动作使横梁按  $abcd$  的轨迹运动，以便运送物料。轧钢厂运送钢卷的步进梁采用了这种机构。

图 4-4-181a，机架 1 上有直交的沟槽，其内滑块 2、3 分别组成移动副，滑块分别与杆 4 铰接。当滑块 2、3 在槽内移动时，杆 4 上除  $AB$  中点  $M$  画出以  $O$  为圆心， $OM$  为半径的圆  $\alpha$  外，杆上其余各点均为椭圆轨迹，如  $\beta$ 。设杆 4 上  $AC = a$ ， $AB = b$ ，杆的倾斜角为  $\varphi$ ，则  $C$  点在坐标系中的坐标为：

$$x = b \cos \varphi + a \cos \varphi$$

$$y = a \sin \varphi$$

$C$  点轨迹的椭圆方程为：

$$\frac{x^2}{(a+b)^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1$$

销  $A$ 、 $B$  间的距离可调节，以变更长、短半轴的长度，因而可得到不同大小的椭圆。

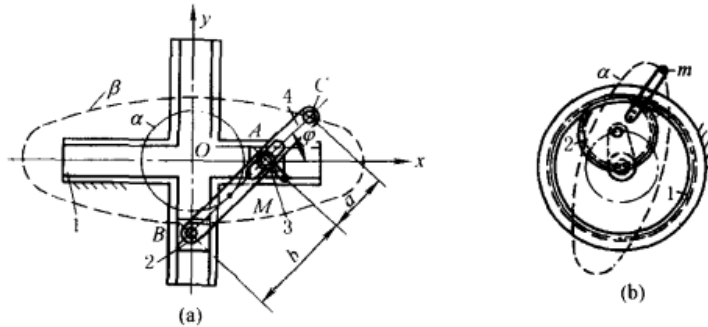


图 4-4-181 椭圆仪机构

图 b，齿轮 2 沿固定内齿轮 1 作行星运动，齿轮 2 节圆直径等于齿轮 1 的节圆半径。当齿轮 2 作行星运动时，其上节圆外的一点  $m$  的运动轨迹为椭圆  $\alpha$ 。

椭圆仪机构除用于解算装置，绘椭圆曲线外，尚用于仪表及夹具的增力装置。

图 4-4-182，曲柄  $AB$  回转时，连杆  $BC$  上的  $E$  点形成图示轨迹，采用两套相同尺寸的曲柄摇杆机构，将它们连杆上的相应点  $E$ 、 $E'$  与输送机的推杆 1 铰接，这样，主动曲柄  $AB$  的回转可带动推杆按  $E$  点轨迹平动，利用轨迹上部近似水平段推送固定导杆 2 上的工件。

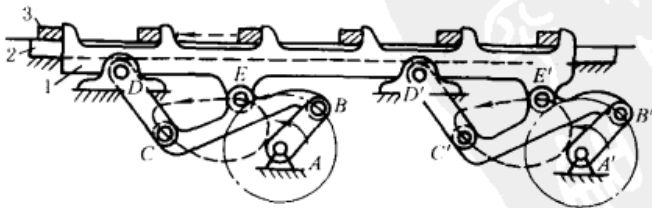


图 4-4-182 连杆送料机构

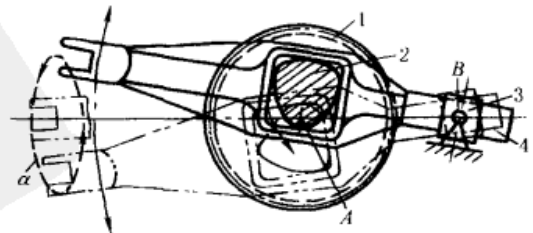


图 4-4-183 偏心凸轮与连杆组合送料机构



图 4-4-183, 与齿轮 1 固联的偏心凸轮 2 绕 A 点转动时, 使摆动导杆 4 在摇块 3 中绕 B 点摆动, 导杆 4 左端的开口叉按图示轨迹  $\alpha$  运送物料。此机构也可用于电影机的抓片机构。

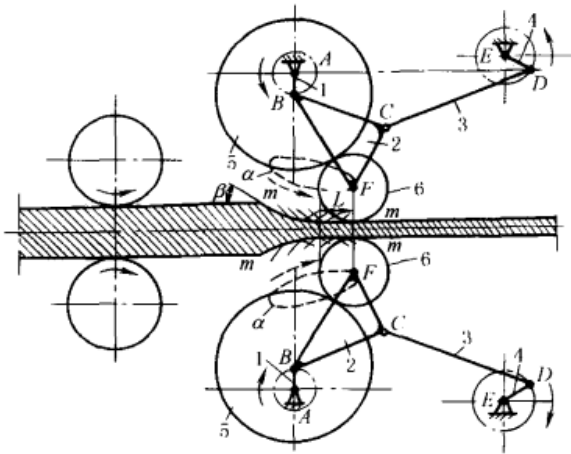


图 4-4-184 振摆式轧钢机构

图 4-4-184, 所示为振摆式轧钢机构, 由上下对称的两个五杆机构组成, 1、4 为主动曲柄, 5 为支承辊, 6 为工作辊。当 1、4 转动时, 工作辊的中心 F 按轨迹  $\alpha$  曲线运动, 并对钢材进行轧制。工作辊在不同位置时的包络线即为钢坯开口处的形状 mm。轧辊与钢坯开始接触点处的咬入角  $\beta$  宜小, 以减轻送料辊的载荷, 直线段 L 宜长, 使钢材表面平整。当机构各构件长度不变, 仅改变两主动曲柄的转速, 即可使杆 2 上点 F 的轨迹  $\alpha$  及工作辊的包络线 mm 发生变化, 使轧制钢坯的开口度相应地增加或减小。这样, 当无专门的压下装置时, 可轧制规格范围变化不大的各种轧件。

图 4-4-185, 齿轮 1、2 分别绕定轴  $O_1$ 、 $O_2$  转动, 两轮相互啮合, 齿轮 1 与连杆 6 组成回转副 A, 齿轮 2 与连杆 7 组成回转副 B, 连杆 6、7 组成回转副 C。在连杆 6、7 上分别固接有和面爪 3、4, 其伸出长度可以调节。各构件间尺寸关系为: 两齿轮的尺寸相同;  $AC = BC$ ;  $O_1A = O_2B$ 。在机构初始位置,  $O_1A$ 、 $O_2B$  和  $O_1O_2$  共线, 且在相反方向转动。和面爪 4 相对于连杆 7 可以固定在不同位置, 构件 5 为盛面缸, 可绕自身轴线转动。当齿轮 1 绕定轴  $O_1$  转动时, 和面爪 3、4 上的 D、E 点分别描绘出轨迹曲线 d 和 e, 可满足和面要求。

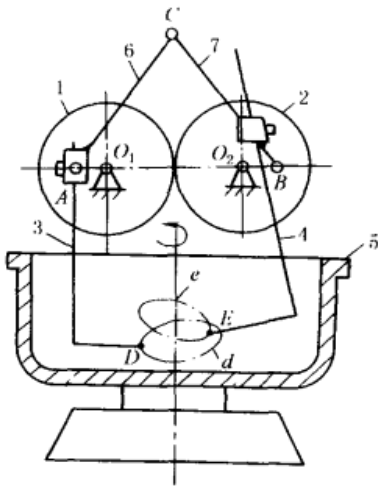


图 4-4-185 和面机用齿轮连杆机构

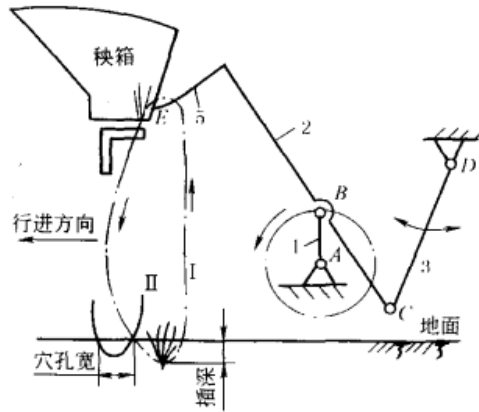


图 4-4-186 水稻插秧机构

图 4-4-186, 连杆 2 上固接着插秧爪 5, 工作时要求插秧爪模拟人手动作, 从秧箱中取出秧后插入土中。插秧爪 5 从秧箱中分秧时走的轨迹要近似圆弧, 以便插秧爪顺利分秧和取秧可靠; 要求插秧爪入土后到插深位置时稍向后运动, 出土时, 渐成垂直走向, 以保证不将插好的秧苗重新带出。

## 14 安全保险、制动装置

图 4-4-187, 轮 1 主动, 盘 6 从动, 过载时销 5 被剪断, 1 和 6 间产生相对转动, 2 离开凹窝被转动, 使其上的销 4 抬起 (处于半径为 R 的圆周上) 碰撞开关 3 而停车。

图 4-4-188, 连杆 AB 由 4、6 两杆铰接于 C 处, 并用螺栓 5 固联, C 点不在 AB 线上, 过载时螺栓 5 断裂, 并及时发出信号停车, 保护其他杆件不受损坏。

图 4-4-189, 带动承载的齿轮 4 和套 3 以爪式离合器相接, 在 3 的左端隔 180°配有 V 形槽与滚子 2 相接, 2 装在主动轴 1 上, 过载时 V 形槽斜面与滚子 2 相互作用将 3 和 4 推向右边, 在转过 180°后, 3 上的 V 形槽对准滚子, 则 3 在弹簧的作用下向左移与 2 接合, 齿轮 4 仍停留在右侧, 4 脱离 3。轮 4 要重新转动时, 必须将其左移使它和 3 接通。

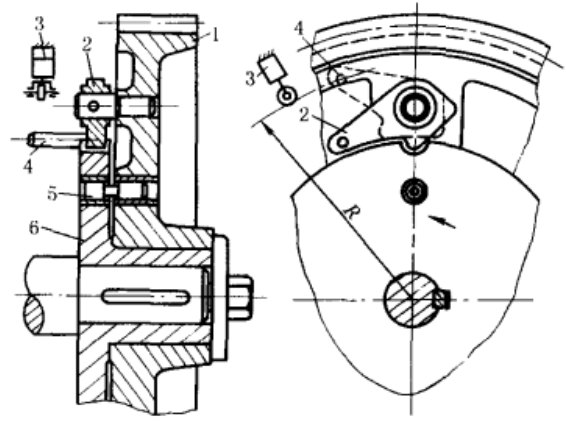


图 4-4-187 剪切销保险装置

图 4-4-190 为锻造操作机钳杆旋转机构的过载保护装置。当锻件被送进砧上、上砧突然压住旋转着的锻件时, 摩擦盘 2、3 打滑, 可以防止原动机 1 过载, 造成钳杆旋转机构损坏。机构通过齿轮 4 输出, 碟形弹簧 5 可调整摩擦力矩的大小。

图 4-4-191, 主动带轮 1 通过套筒 6 活套在轴套 5 上, 带轮通过摩擦片 7 和 8、5 端面间的摩擦力带动轴 2。过载时, 摩擦面间打滑, 起保险作用。摩擦面间的压力是由碟形弹簧 9 产生的。摩擦面也可做成锥面, 以增大接触面间的正压力。用螺母 10 调整压紧力的大小, 可改变极限力矩值。图中 3 是键, 4 是螺钉。

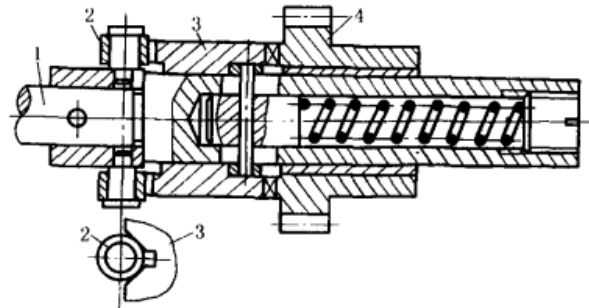


图 4-4-189 爪式保险离合器

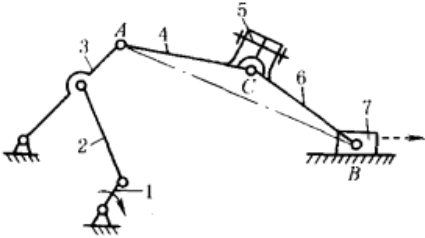


图 4-4-188 加压机的保险装置

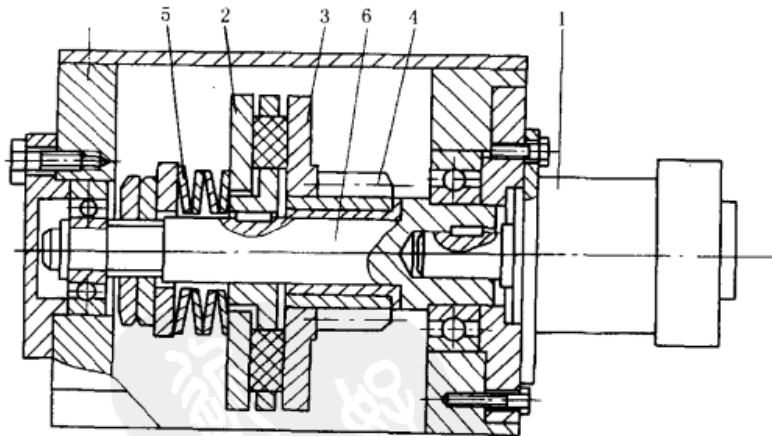


图 4-4-190 摩擦式过载保护装置

图 4-4-192, 超载时, 摩擦盘 4 打滑, 防止烧坏原动机。机构是由原动机带动蜗杆 1, 驱动蜗轮 5, 通过摩擦盘 4 和主轴 3 传动齿轮 6、7 输出。弹簧 2 可调节摩擦力矩的大小。

图 4-4-193, 主动套 1 通过钢球 2 带动方柄丝锥 3, 过载时, 丝锥方柄将钢球 2 推至孔中, 1、3 间打滑, 防止丝锥折断。螺钉用以调节弹簧压力, 以调整极限转矩。

图 4-4-194, 主动盘 1 和从动盘 2 都装有滚珠, 由于弹簧 4 推力的作用, 主动盘和从动盘的滚珠相啮合。套筒 3 用键与轴连接, 同时用滑键与从动盘 2 相连。螺母 5 用来调整弹簧压力, 当传递的转矩超过许用值时, 弹簧被压缩, 使从动盘 2 向右滑移。机构用于经常过载又需要安全的地方, 如机床的进给机构。



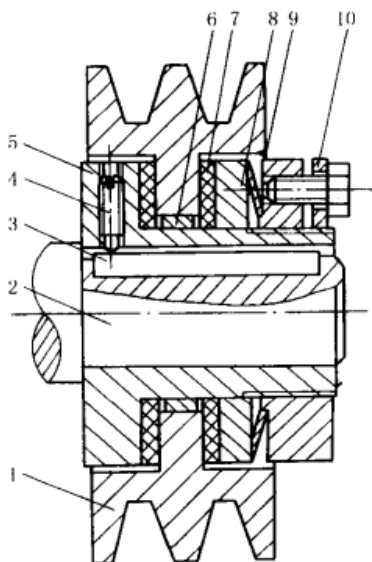


图 4-4-191 平面摩擦保险离合器

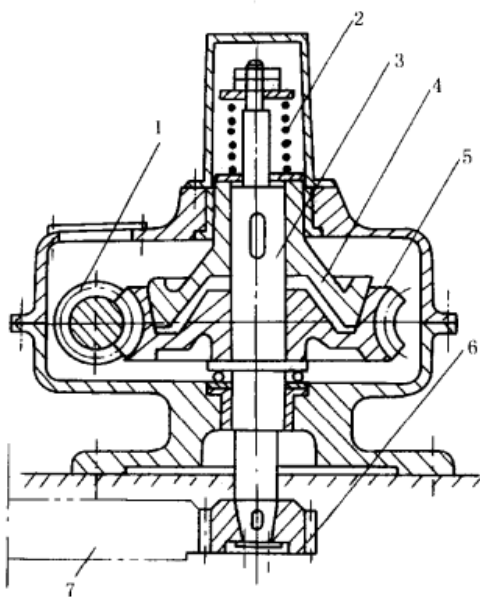


图 4-4-192 极限力矩联轴器超载保护装置

图 4-4-195, 主动曲柄 1 绕 A 转动, 带动摇杆 3 绕 D 点摆动, 此时 D 相当于一固定支座。过载时, 杆 3 的支点 D 压缩弹簧实现保护作用。

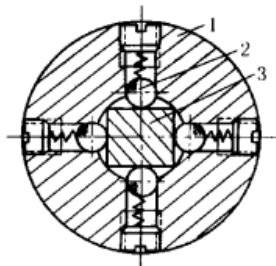


图 4-4-193 钢球保险器

图 4-4-196 为弹簧保险机构。正常工作时, 如图 a, 由主动杆 1 通过滑块 2、弹簧 3 带动杆 4、5 和棘爪 6, 使棘轮 7 作单向间歇转动。过载时杆 1 通过滑块 2 压缩弹簧 3, 并使销 a 由杆 8 的窄槽滑到凹口中, 如图 b, 此时, 棘爪 6 被抬起, 杆 5 的摆动不再带动轮 7。如在图示位置设行程开关 b, 则杆 1 回程时碰撞开关 b, 使电路断开, 机构停止运动。

图 4-4-197, 1 是主动轴, 5 是从动轴, 如制动器 4 松开, 则内齿轮 3 空转, 轴 5 不动 (由于轴 5 上有载荷, 不易被带动)。拉紧制动器 4, 则 3 不动, 1 带动 5 转动。

图 4-4-198, 曲柄 1 主动, 摇块 3 与从动盘 5 铰接, 带有重锤 4 的杆 2 可相对于 3 滑动。曲柄 1 转速不高时, 盘 5 不动 (由于盘 5 上有载荷), 1、2、3 成为曲柄摇块机构。轴 1 转速增高到一定值后, 4 的

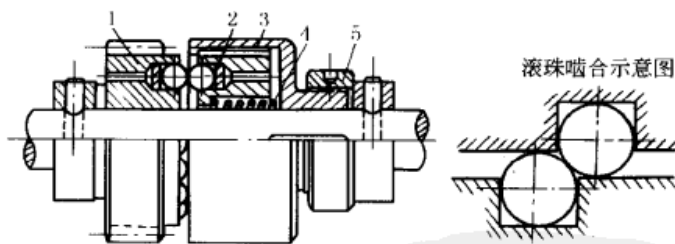


图 4-4-194 滚珠式安全联轴器

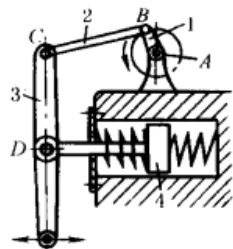


图 4-4-195 弹簧支座过载保险装置

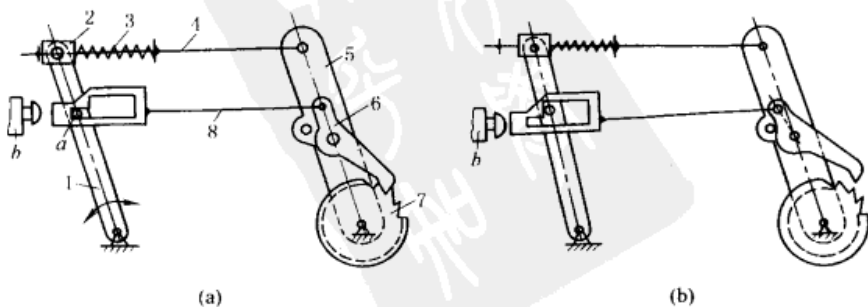


图 4-4-196 弹簧保险机构

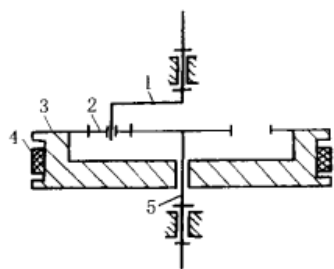


图 4-4-197 差动离合器

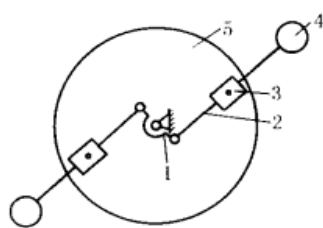


图 4-4-198 离心式保险离合器

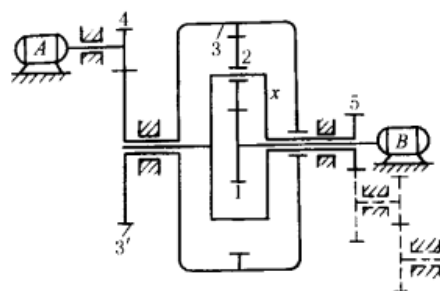


图 4-4-199 双电机驱动的提升机构

离心力有使 1、2 拉成直线的趋势，盘 5 被带动。若固结在从动盘 5 上的从动轴过载，盘 5 不动，又成为曲柄摇块机构。

图 4-4-199 为双电机驱动的提升机构。工作时若一个电机发生故障，可通过电气保护将该电机制动，另一电机继续工作。可用于铸造吊车。通过轮 5 将运动输出，轮 5 的转速为

$$n_5 = \frac{n_B z_1 z_3' - n_A z_4 z_3}{z_3' z_1 + z_3 z_3'}$$

式中  $n_A$ 、 $n_B$  ——分别为电机 A、B 的转速。

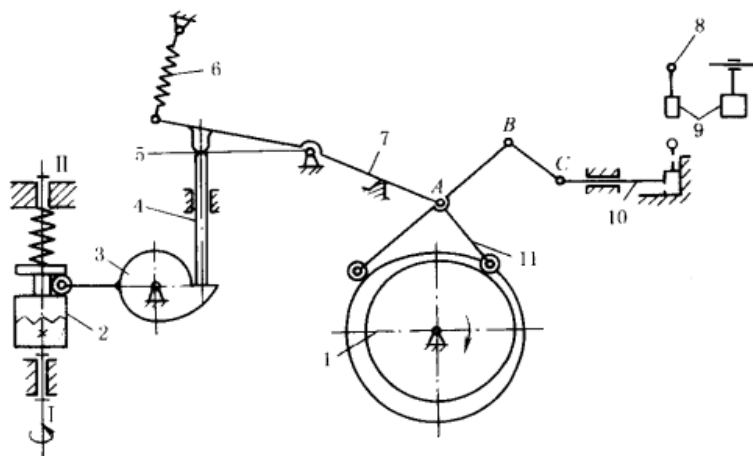


图 4-4-200 断纱自动停车机构

图 4-4-200 为断纱自动停车机构。正常工作时，重量很轻的探测器 9 挂在纱 8 上，杆 7 被弹簧 6 拉紧，使铰链 A 相对固定，凸轮 1 作为发动机构，带动滑杆 10 左右移动。断纱时，探测器 9 下落到虚线位置，杆 10 向右运动受到阻碍，C 点不动，杆 11 迫使杆 7 转动，通过 5、4 推动停车执行机构 3，使离合器 2 脱开。从而使机器工作系统的主动轴 I 和从动轴 II 断开。

图 4-4-201，1 是可调长度的曲柄，2 上有线圈，3 为衔铁，当线圈中通电时，2、3 吸合，组成不变长度的连杆。断电时，2、3 可相对伸缩，曲柄 1 虽继续转动，但连接包装系统的齿条 4 和齿轮 5 仍保持不动。如果纸 7 和被包装物 10 中有一个没有被送到包装位置，则水银开关 12 或光电开关 6 (8 是光源) 中就没有一个没有闭合，线圈中无电，包装系统停止工作。

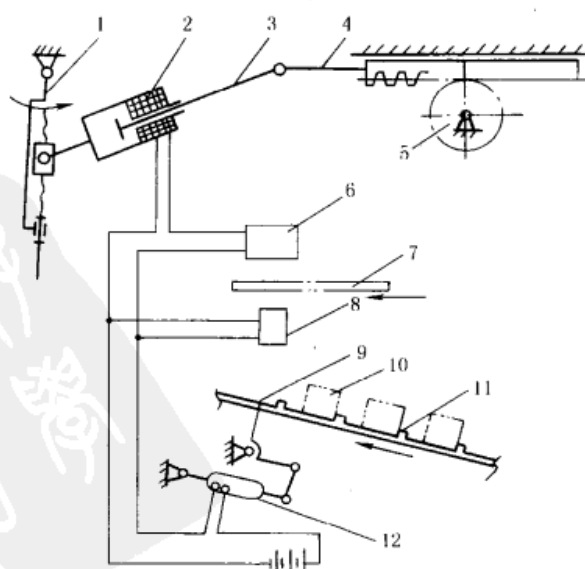


图 4-4-201 包装联动光电控制自动停车装置

图 4-4-202, 具有左、右螺纹的螺杆 5 绕轴线  $x-x$  转动, 带动螺母 1 和 4 相向移动而缩短距离, 使摇杆 2 和 6 分别沿顺时针和逆时针方向转动, 从而带动左、右两闸块  $a$  制动轮 3。

图 4-4-203, 制动块 1 被弹簧 2 驱动制动, 液压缸电机通电时, 推杆伸出使制动块松闸。

图 4-4-204, 制动盘 1 用键固定于轴 3 上, 在该圆盘与箱体 4 之间的孔腔内充满液体, 其液力影响作用于轴 3 上的制动力矩。

图 4-4-205a 为盘式制动器的安装简图。制动缸 2 通过机架 3 成对布置在制动盘 1 的两侧。制动缸端部的摩擦块 4 对制动盘压紧产生制动。

图 b 为制动缸结构图。碟形弹簧 7 推动活塞 9 及顶杆 8, 使制动摩擦块 2 压向制动盘 1。当 A 管通入液压油后, 活塞 9 右移压碟形弹簧 7 而松闸。3 为缸体, 4 为导引部分, 5 为调整垫片, 6 为磨损量指示器。

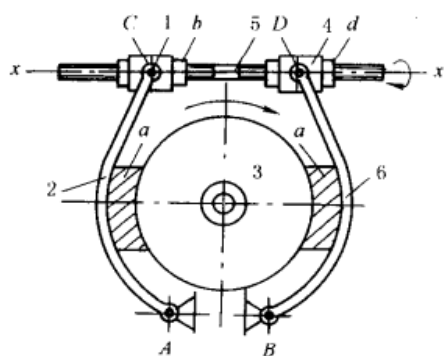


图 4-4-202 外抱块式制动器

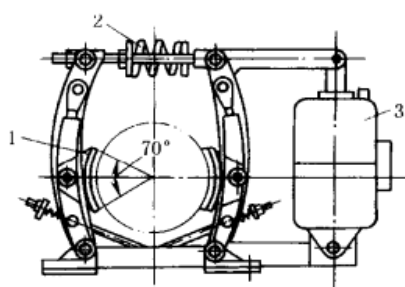


图 4-4-203 液压推杆块式制动器

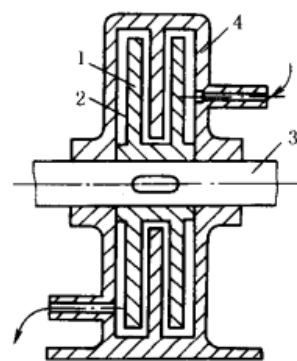
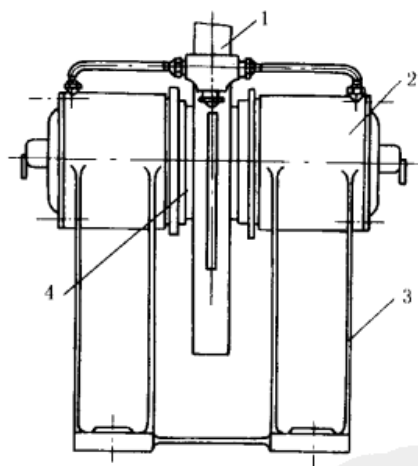
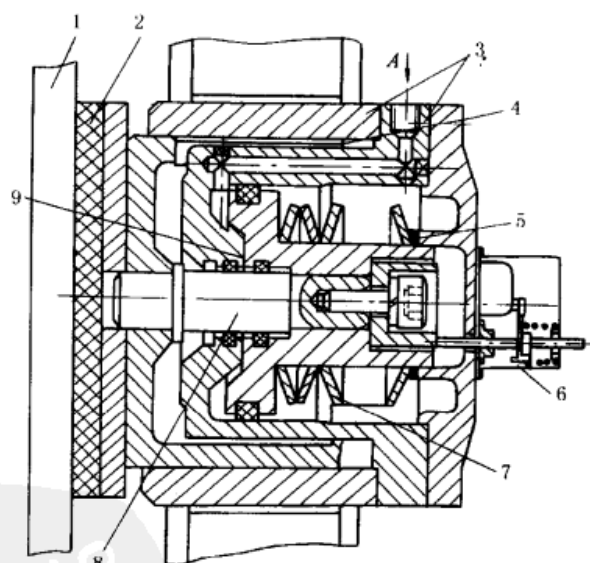


图 4-4-204 液力制动装置



(a)



(b)

图 4-4-205 液压盘式制动器

图 4-4-206, 磁粉制动器是在内定子 1 与转子 7 之间充以磁粉 2, 线圈 3 通电后, 磁粉 2 在磁场的作用下 (4 为磁路) 形成磁粉链, 对转子 7 产生制动力矩。转子与转动轴相连, 定子 1 固定, 6 为隔磁环, 5 为导磁壳体。

图 4-4-207, 内张蹄式制动器多用于汽车。汽车要减速制动时, 踩下制动踏板 1, 驱动主缸活塞 3 使制动轮缸 6 中的液压增高, 使轮缸活塞 7 向外伸张, 则制动蹄 10 上的制动衬片 9 对制动鼓 8 进行制动。

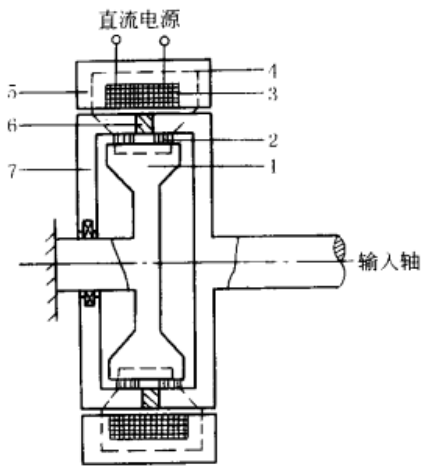


图 4-4-206 磁粉制动器

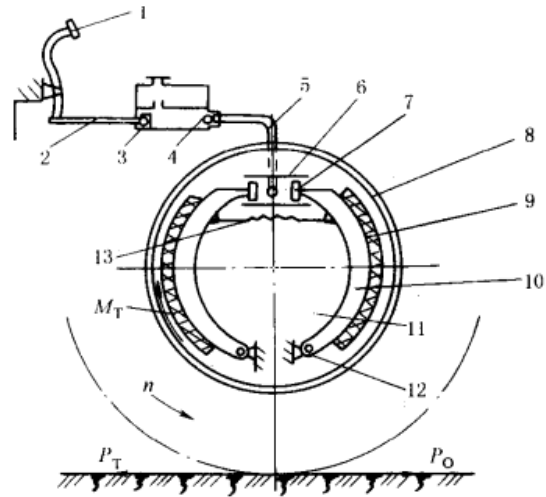


图 4-4-207 内张蹄式制动器

1—制动踏板；2—推杆；3—主缸活塞；4—制动主缸；5—油管；  
6—制动轮缸；7—轮缸活塞；8—制动鼓；9—制动衬片；10—制动蹄；  
11—制动底板；12—支承销；13—制动蹄回位弹簧； $M_T$ —制动力矩；  
 $P_0$ —车轮对地面作用向后的圆周力； $P_T$ —地面对车轮作用向前反作用力

## 15 定位联锁机构

图 4-4-208，定位销 2 由弹簧使其进入转动件 1 的定位槽孔，而利用凸轮 3 使其退出。为防止定位销自动滑出定位槽，其楔角应满足自锁条件，即  $\alpha$  应小于摩擦角，一般  $\alpha = 5^\circ \sim 7^\circ$ 。

图 4-4-209，转盘 3 逆时针方向转位时，由于斜面的作用，将定位销 1 由定位槽 A 中推出，而定位销 2 由凸轮 4 或其他机构控制使之由定位槽 B 中退出。转盘转位后，定位销 1 在弹簧作用下插入定位槽 A'，这时，另一定位销 2 在弹簧作用下插入相应的定位槽 B'。双销定位比单销定位磨损小，精度高。

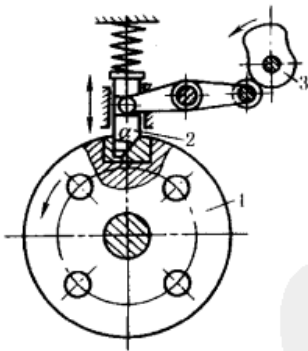


图 4-4-208 单销定位装置

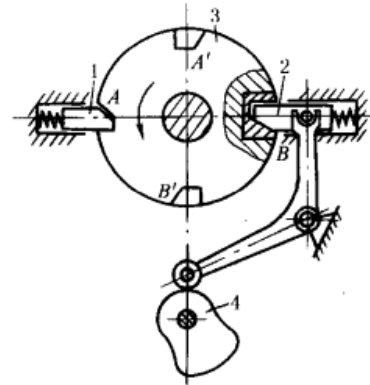


图 4-4-209 双销定位装置

图 4-4-210，在件 2 的不同半径的圆周上，设置有挡块 a、b、c、d，转动杠杆 1，使 1 上的 A 端处于不同半径的圆周上，则相应圆周上的挡块与 A 接触时盘 2 被定在这位置上。

图 4-4-211，钥匙 1 使上排弹子 7 和下排弹子 2 刚好接触在 3、5 的分界面上，此时 1 可转动，并带动 3 转动，3 的凸块拨动销子 4，将它插入门框体 5 的孔中。如将 1 拔出，则弹子 2、7 一起下落，7 将卡入 3、5 的分界面中阻止 3 转动，这样，就将 4 锁住。

图 4-4-212，轴 1、2 互相联锁，移动其中一根轴，则另一根轴被锁住。如先移动轴 2，则 2 将钢球 4 向上推入轴 1 的凹槽中（图 b），这时，轴 1 被锁住不能动，反之，轴 1 先移动时可将轴 2 锁住。

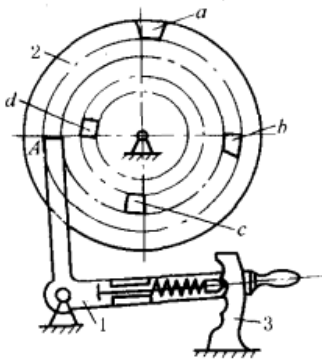


图 4-4-210 可调定位器

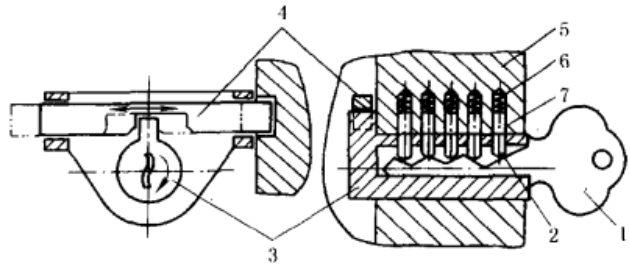


图 4-4-211 弹子锁结构

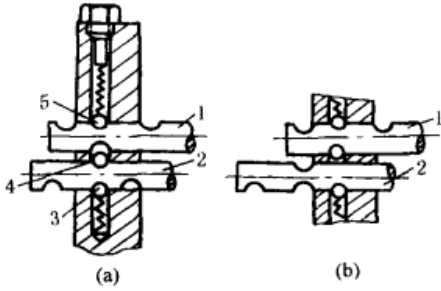


图 4-4-212 两轴移动联锁装置

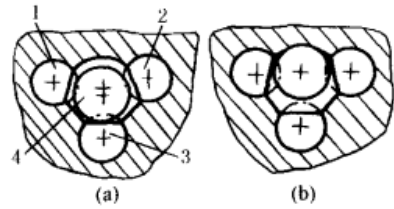


图 4-4-213 三轴移动联锁装置

图 4-4-213, 1、2、3 三根轴只能先移动一根, 如先移动轴 3, 则将钢球 4 推入 1、2 的槽中。图 b 表示 1、2 被锁住位置。

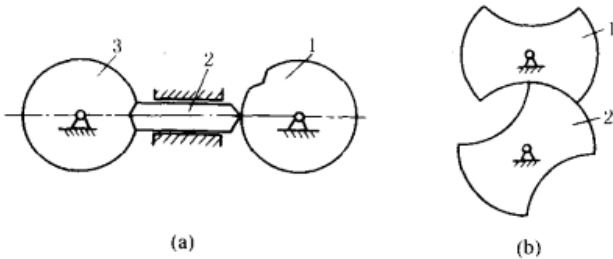


图 4-4-214 两转动轴的联锁

图 4-4-214a, 轮 1 的圆弧面将锁杆 2 推入 3 的凹槽中时, 轮 1 可转动, 轮 3 被锁住, 只有 1 的凹口对着锁杆 2 时, 轮 3 才能转动, 这时锁杆 2 推入轮 1 的凹口中, 将 1 锁住。

图 b, 一轮的凹弧与另一轮的凸弧相对时, 凸弧的轮可以转动, 而凹弧的轮被锁住, 如图示为轮 1 被锁住。

图 4-4-215, 具有凹槽的定位盘 5、7 大小相同。

齿轮 1、2、3、4 的齿数分别为  $z_1 = 50$ ,  $z_2 = 150$ ,  $z_3 = 50$ ,  $z_4 = 50$ 。初始位置时, 两盘槽口对准, 定位齿 6 插入两盘的槽中定位, 拔出定位齿后, 定位盘 7 开始转动, 若 7 转 1 转或 2 转, 则 5 仅转  $1/3$  或  $2/3$  转, 两盘的槽口仍相互错开, 6 不能入槽口定位, 只有当 7 转 3 转时 5 才转 1 转使两盘槽口对准, 定位齿又插入槽中定位, 所以盘 5 还可起计数的作用。

万能分度头要扩大原有分度孔板的分度数目的时, 就可依上述原理使孔板与分度销盘间产生差速转动。

如图 4-4-216, 轮 2 被锁住, 只有当轮 1 的凹口对着轮 2 时, 才可能转动轮 2, 锁住轮 1。

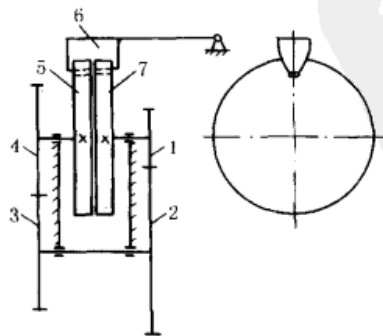


图 4-4-215 差速定位机构

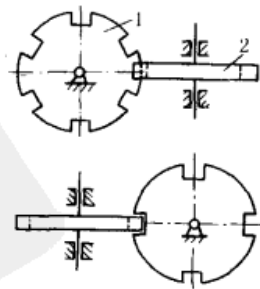


图 4-4-216 两垂直交错轴联锁

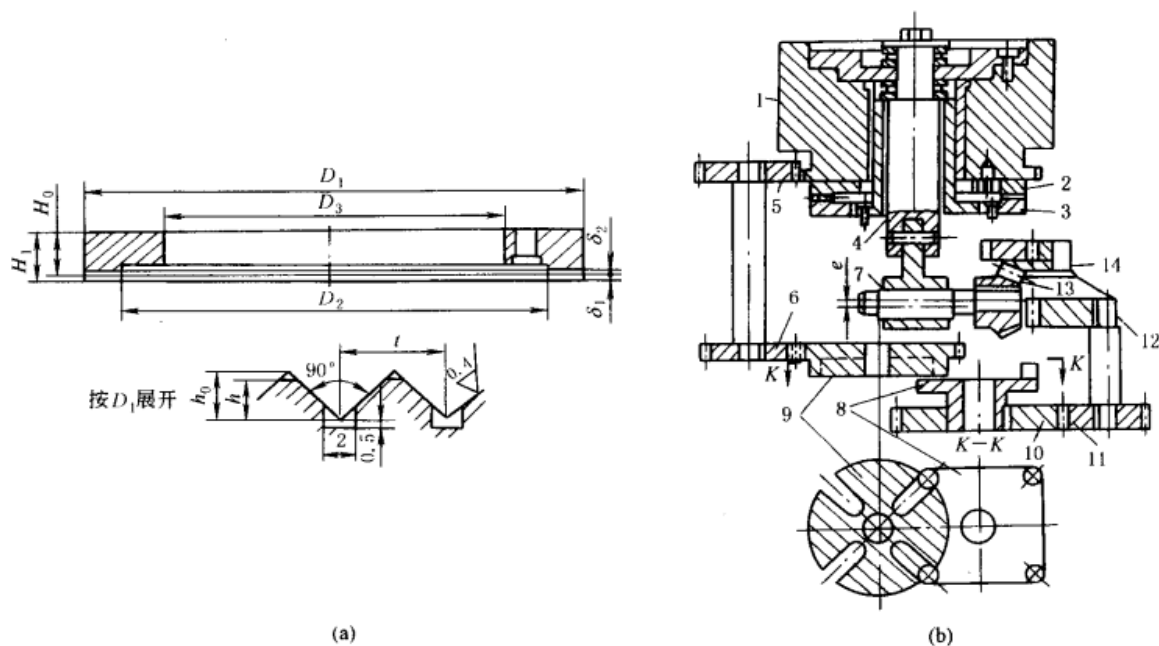


图 4-4-217 鼠齿盘定位机构

图 4-4-217a, 牙齿断面形状是齿顶角为  $90^\circ$  的三角形齿, 齿槽沿圆盘径向布置。两个齿盘的结构相同, 一个固定在机座上, 一个固定在转位盘上, 两齿盘保持同心, 如图 b 所示, 上定位齿盘 2 固定在转位工作台 1 上, 下定位齿盘 3 固定在机座上, 工作台 1 需转位时, 首先通过锥齿轮 13、14, 偏心轴 7, 连杆和滑动轴 4, 使工作台 1 升高, 使上、下定位齿盘脱离, 然后, 由齿轮机构 11、10, 四销四槽槽轮机构 8、9 和齿轮 6、5 驱动工作台 1 转位, 转位停止时, 转动偏心轴 7, 使工作台落下, 上、下齿盘相互嵌合而定位。

齿盘式定位机构的定位刚度和精度均较好。若要有较高的定位精度和刚度, 则齿盘要精加工, 工作齿面要进行研磨, 欲使其适应多种分度角的变化, 可采用多对齿盘组成“差动式”定位装置。

图 4-4-218, 为工业机器人水平转动部件, 可作任意角度转动, 往返定位精度  $\pm 4''$  (手臂长 500mm 时, 顶端定位误差在  $\pm 0.01\text{mm}$ )。该机构使用了由直流伺服电动机驱动的高精度蜗杆蜗轮副 3、2, 同时应用液压缸 1 保证其经常为零齿侧间隙。采用交错控制方式, 装有索尼公司生产的高精度回转刻度盘 MSE-3600。图中, 4 为回转刻度盘, 5 为检测头, 6 为角度表示装置的输出。

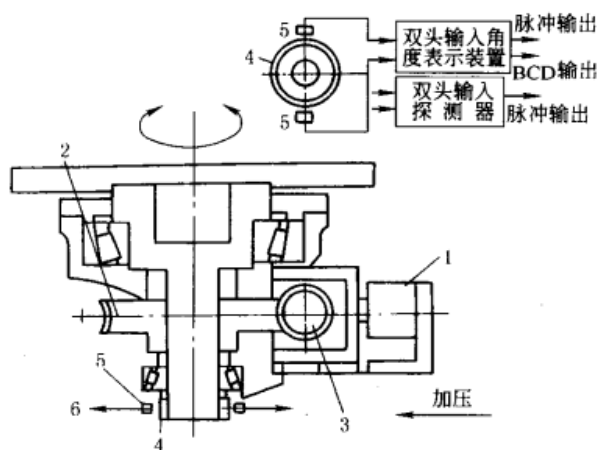


图 4-4-218 蜗轮和刻度盘组合转动定位机构

## 16 伸缩机构

图 4-4-219, 偏心环 2 偏心地 (偏心距为  $e$ ) 与外管 3 固定在一起。偏心套 1 活套在偏心环 2 上, 且上下二端卷边包住环 2 (但不影响 1、2 间相对转动), 套 1 的上端只需稍稍卷边, 其下端卷边后的端面孔与外管 3 同心, 孔径稍大于内管 4 外径。当旋转偏心套 1 时, 内管随偏心套 1 下端面孔偏摆与外管楔紧实现连接。

图 4-4-220, 内伸缩套 1 上固定有弹簧片 2, 销钉 3 固定在弹簧片上, 在外伸缩套 4 上有定距孔 5, 调节销钉 3 使其在不同位置的孔中以实现伸缩。

图 4-4-221a, 长度相等的支撑杆  $AB$  和  $DC$ , 彼此铰接于中点  $E$ , 滚轮 1、2 与支撑杆铰接于  $B$ 、 $D$  点, 可在上



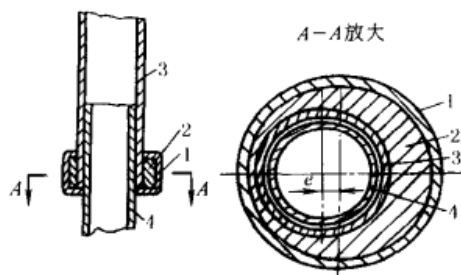


图 4-4-219 偏心套伸缩管

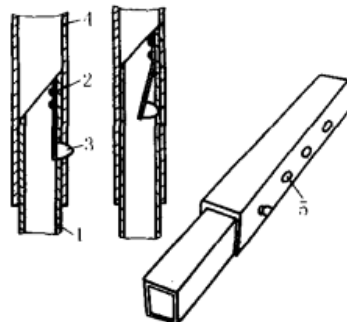


图 4-4-220 销钉伸缩套

下平板的导槽中滚动，汽缸下部与下平板固联，活塞杆上部以球形头与上平面球窝于  $F$  点接触。通过升降汽缸 3 可使上平台垂直升降。这类剪式伸缩机构均为平行四边形机构的变形。

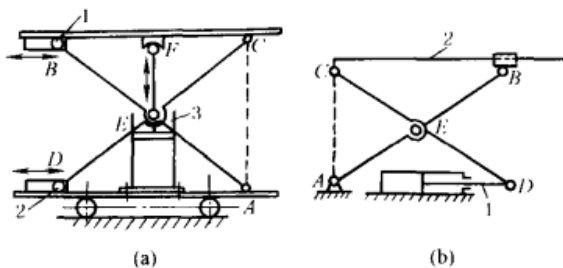


图 4-4-221 剪式升降平台

图 b, 长度相等的支撑杆  $A$ 、 $B$  和  $C$ 、 $D$ , 铰接于中点  $E$ , 杆的  $B$ 、 $D$  端分别与滑块及活塞杆 1 铰接, 卧式油缸的活塞杆 1 使平台 2 垂直升降。

图 4-4-222, 为由多个平行四边形铰接而成的剪式架, 杆 1 上端与  $A$  铰接, 杆 2 下端铰接滚子  $B$  可在垂直的导槽中滚动, 伸缩架的右上端  $C$  与件 3 铰接, 右下端滚子  $D$  紧贴件 3 的垂直面, 并可上下滚动。这样, 件 3 可在水平方向来回移动。这种多个平行四边形伸缩架能获得较大的伸缩行程。

垂直升降的检修平台和仓库用升降台均应用了这种伸缩机构。

图 4-4-223, 平行四边形机构  $ABCD$  用油缸驱动, 活塞杆 1 的伸缩使平台 2 平移升降。

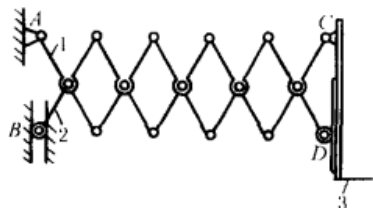


图 4-4-222 大行程剪式伸缩架

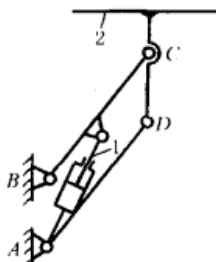


图 4-4-223 平移升降台

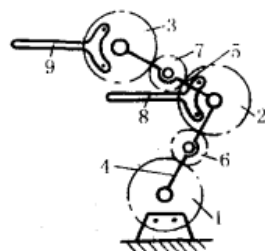


图 4-4-224 齿轮传动的平行升降台

图 4-4-224, 齿轮 1、2、3、6、7 彼此啮合, 其中心分别与转臂 4、5 铰接, 齿轮 1 为固定机架, 齿轮 1、2、3 的节圆直径相等。当转臂 4 转动时, 与齿轮 2、3 固联的平行杆 8、9 作平行升降运动。

图 4-4-225, 门架 1、2、3 借助多级油缸 4 伸缩, 链条 5 的一端与链轮架 6 的  $A$  点固连, 另一端绕过货叉 7 上的链轮 8 和链轮架 6 上的链轮 9 与油缸 4 的  $B$  点固联。当油缸的活塞杆外伸时, 带动门架升高使货叉由最低位置升到最高位置。货叉 7 的导向架未在图中表示。

图 4-4-226, 钢绳 11 的下端与滑架 5 的  $a$  点连接, 另一端绕过固定架 2 上部的滑轮 3 与卷筒 1 缠绕, 钢绳 10 的下端与滑架 7 的  $b$  点连接, 另一端绕过滑架 5 上部的滑轮 4 与固定架 2 的  $d$  点连接, 钢绳 9 的下端与滑架 8 的  $c$  点连接, 另一端绕过滑架 7 上部的滑轮 6 与滑架 5 的  $e$  点连接。当顺时针方向转动卷筒 1 时, 三个滑架同时外伸。反之, 则同时缩回。

图 4-4-227, 为自动伞伸缩机构。中间伞杆由可伸缩的数节组成, 利用弹簧将伞自动打开。压缩弹簧时伞架折叠缩短。

图 4-4-228, 卷筒 1 上缠有两根钢绳, 分别通过两侧滑轮  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$  与上平台 5 连接, 图中左侧是平台降下位置, 右侧是平台升起位置。

图 4-4-229, 为汽车升降平台, 通过油缸使升降平台升降。图 4-4-229a 为剪式垂直升降台; 图 4-4-229b 为折展臂式升降台。

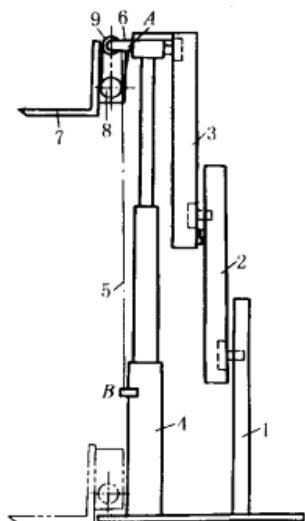


图 4-4-225 叉车三级门架伸缩机构

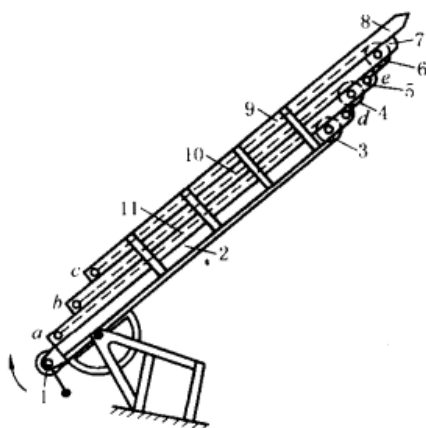


图 4-4-226 钢绳联动伸缩架

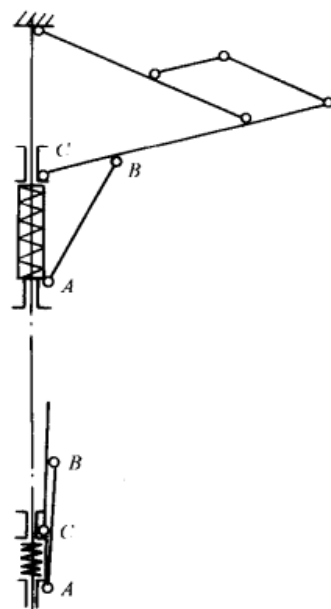


图 4-4-227 自动伞伸缩机构

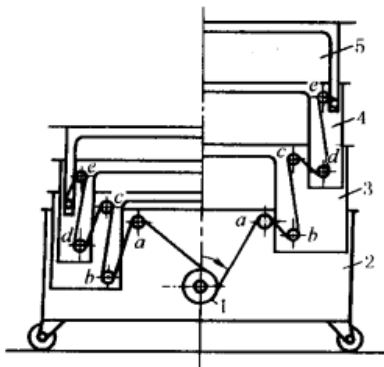


图 4-4-228 钢绳联动升降平台

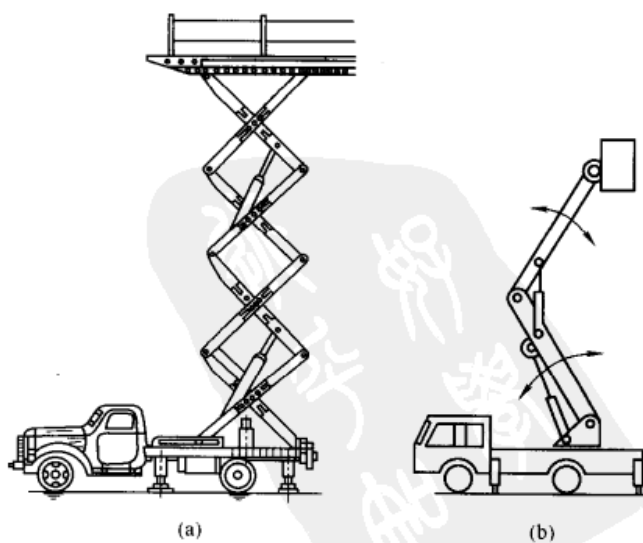


图 4-4-229 汽车升降平台

图 4-4-230，转动插入螺旋头 4 的扳手，驱使螺旋 5 转动，于是螺母 6 开始沿螺旋轴线移动，使杠杆系 1、2 和 3 合拢或分开，从而使重物上升或下降。为了使杠杆系分合均等，杠杆 1 和 3 分别啮合。这种型式的千斤顶的特点是螺旋承受拉伸。

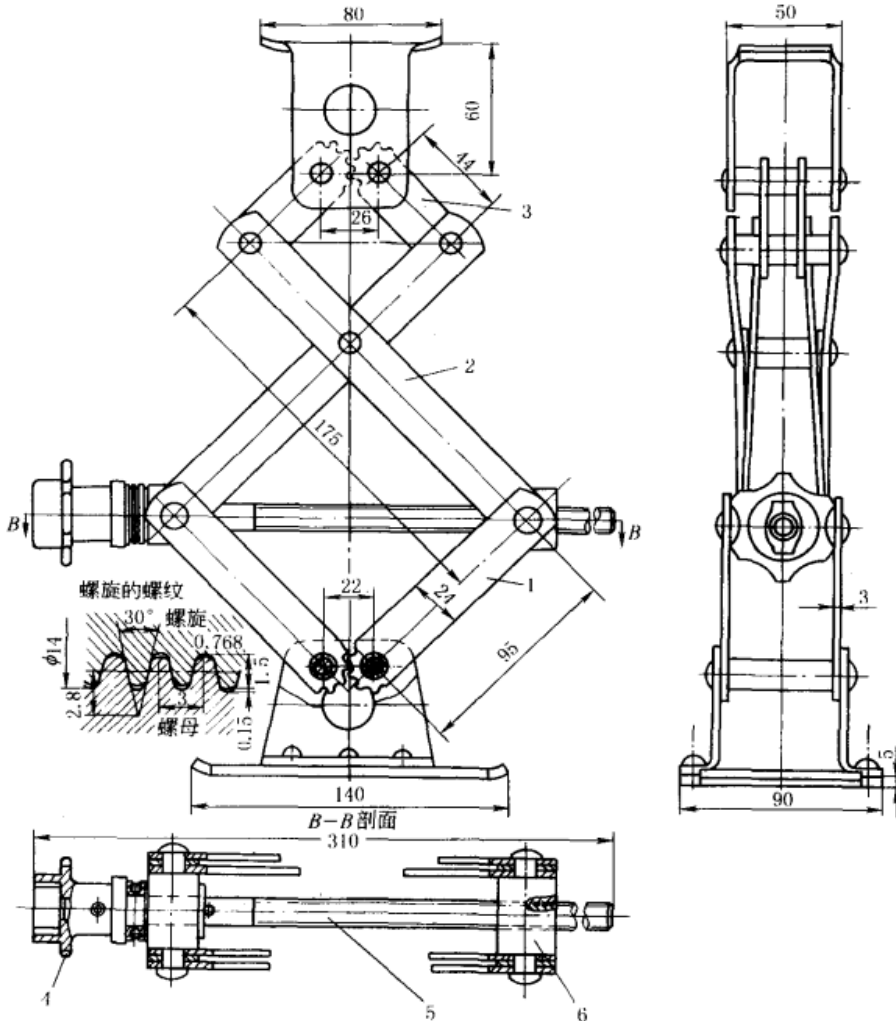


图 4-4-230 汽车千斤顶

### 17 振动机构

图 4-4-231 为单质体振动机构，由主动曲柄 1 通过弹性连杆 2 带动单质体  $m$ （料槽、管或筛）作往复摆动。

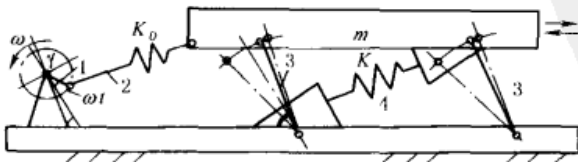


图 4-4-231 单质体振动机构

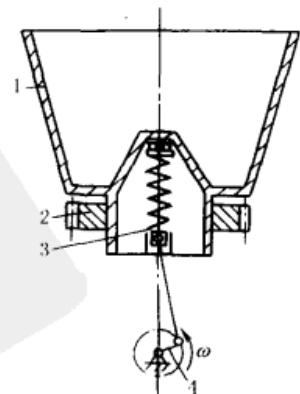


图 4-4-232 振动离心机构

由于在一次振动循环中摆杆3总是向左倾斜,所以物料向右运动。这种机构可用于物料的输送与筛分。

图4-4-232,齿轮2带动1转动,曲柄4通过滑块和弹簧使1产生垂直运动,因而1内的含水粒状物料沿内壁(带孔的钢板)上升,水从孔中分离出来。

图4-4-233为弹性连杆式螺旋垂直振动输送机。工作构件4为一垂直安装的螺旋形槽体,螺旋槽的下方沿圆周方向安装着倾斜布置的主振弹簧3,弹簧的另一端固定于基础上,槽体4由水平偏心轴1及垂直安装的弹性连杆2驱动,由于在槽体与基础之间装有与主振弹簧相垂直的杆5,因而槽体作垂直与扭转、振动叠加的组合振动。

图4-4-234,沿圆周装有4个电磁激振器,每个电磁激振器均呈倾斜安装。由电磁激振器产生的电磁激振力强迫漏斗4及底座1产生垂直振动和绕垂直轴的扭转振动。图中2为板簧、3为衔铁、5为线圈、6为铁芯、7为橡胶减振器。振动频率通常为3000次/min,双振幅为0.5~1.5mm。机器在近共振状态下工作。

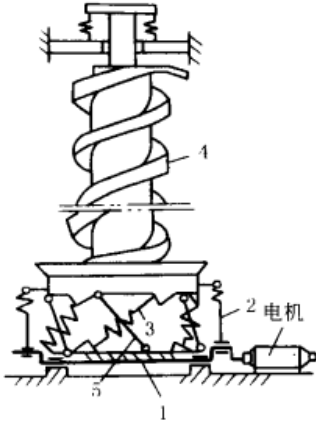


图 4-4-233 螺旋垂直振动输送机

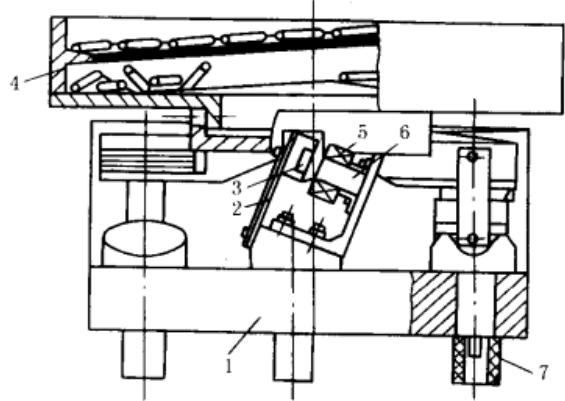


图 4-4-234 漏斗型电磁振动喂料机

图4-4-235a为插入式振捣器,由带有增速齿轮的电动机7、增速器4、软轴3和偏心式振动棒1所组成。电动机7通过增速器4和软轴3,将动力传递给偏心轴2使振动棒1振动,用来振捣混凝土。在电动机轴5和增速器大齿轮之间有防逆转用的超越离合器6。

图b为外滚锥行星高频振捣器,采用了行星增速原理,滚动体沿着不同直径的滚道(滚道大小可以更换)作滚动运动,造成质量不平衡的离心作用,使外壳3获得高频振动,其振动频率为:

$$f = \frac{n}{\frac{D}{d} - 1} \quad (\text{次/min})$$

式中  $n$ ——滚动体驱动轴的转速, r/min;

$d$ ——滚动体直径, mm;

$D$ ——滚道直径, mm。

图4-4-236,电动机5通过两级V带7、3使带有偏心块10的带轮回转。当偏心块10回转至某一角度时,夯头1被抬起,在离心力作用下,夯头被提升到一定高度,同时整台机器向前移动一定距离;当偏心块转到一定位置后,夯头开始下落,下落速度逐渐增大,并以较大的冲击力夯实土壤。

该机用于建筑工程中夯实灰土和素土地基以及完成场地的平整工作。

图4-4-237a为电动机与激振器连在一起的振动锤。为了防止由于冲击引起电动机损坏,在图b中用弹簧5将电动机1与激振器2隔离。为了预防由于振动引起带的伸长与缩短,在电动机底座上增设一个中间带轮6,中间带轮轴与激振器轴在一个水平平面内。图中3为夹持器,4为冲击锤。

图4-4-238,为简易振动机,用于实验室。它为一空间五杆机构,共包含有4个运动构件和一个固定构件以及4个转动副A、C、D、E和一个球面副B。在这种机器中,当主动杆1转动时,可以使杆2获得特殊的空间运动。如果将杆2制成一箱盒,并将试验用工件置于箱盒内,则当机构运动时,即能达到对其进行振动试验的目的。

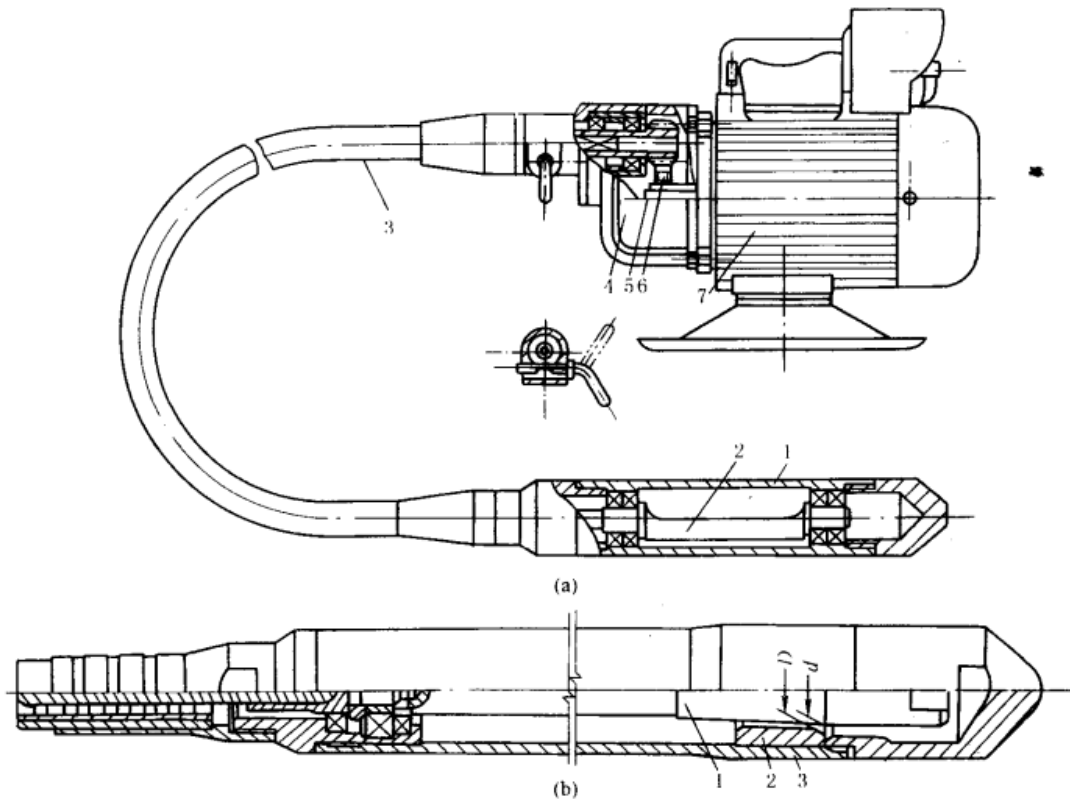


图 4-4-235 插入式振捣器

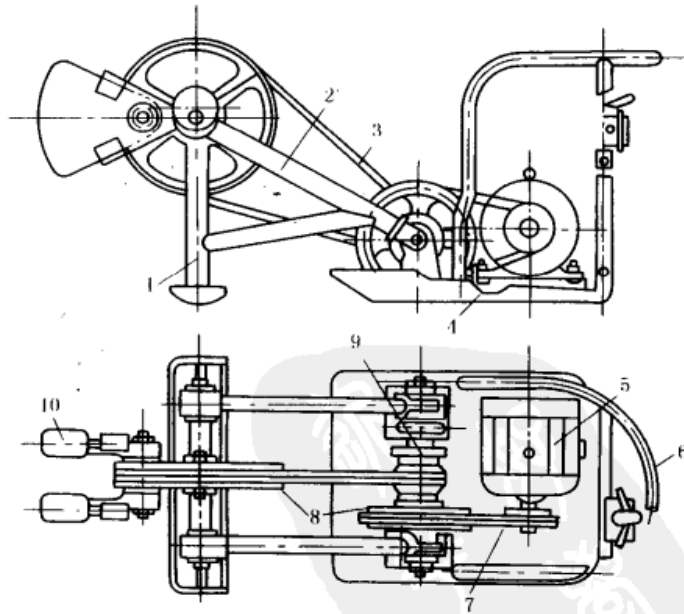


图 4-4-236 惯性激振蛙式夯土机

1—夯头；2—夯架；3,7—V带；4—底盘；5—电动机；6—把手；8—V带轮；9—传动轴架；10—偏心块

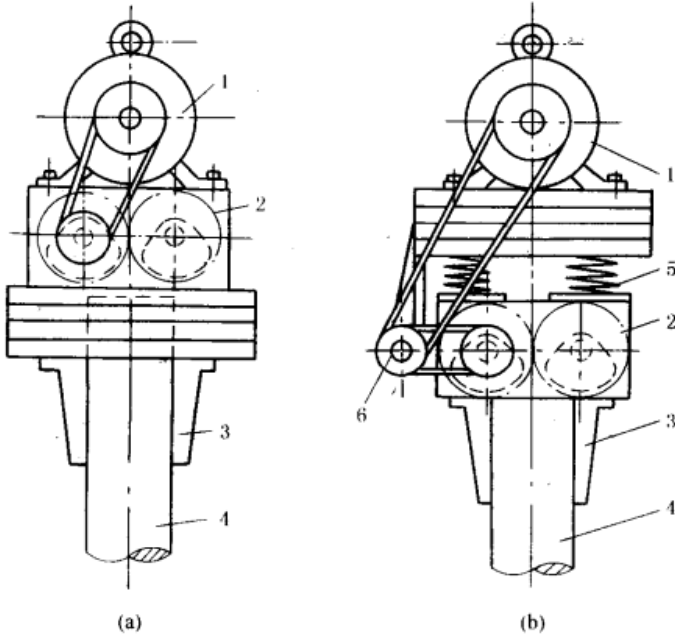


图 4-4-237 振动锤

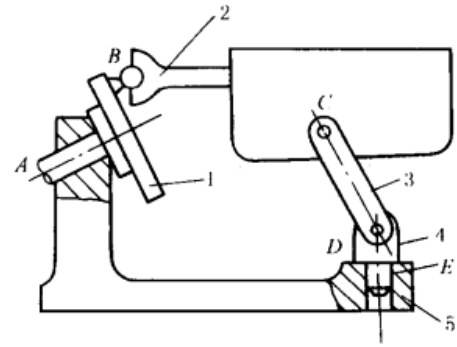


图 4-4-238 空间五杆简易振动机



## 参 考 文 献

- 1 机械工程手册电机工程手册编辑委员会编. 机械工程手册. 机械设计基础卷. 第二版. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 2 现代机械传动手册编辑委员会编. 现代机械传动手册. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 3 [苏] Армоболевский И. И. Теория Механизмов и Машин. М., 1975
- 4 黄锡恺, 郑文纬主编. 机械原理. 第六版. 北京: 高等教育出版社, 1989
- 5 [美] C. H. Suh, C. W. Radcliffe 著. 运动学及机构设计. 上海交通大学机械原理及零件教研室译. 北京: 机械工业出版社, 1983
- 6 [美] G. N. Sandor & A. Erdman 著. 高等机构设计——分析与综合. 第1、2卷. 庄细荣, 党祖祺, 杨上培译. 北京: 高等教育出版社, 1992
- 7 楼鸿棣, 邹慧君主编. 高等机械原理. 北京: 高等教育出版社, 1990
- 8 [苏] И. И. Армоболевский. 等著. 平面机构综合. 孙可宗, 陈兆雄, 张世民译. 上、下册. 北京: 人民教育出版社, 1965
- 9 [俄] К. В. Фролов 主编. 机械原理. 刘作毅等译. 北京: 高等教育出版社, 1997
- 10 [美] H. H. Mabie & F. W. Ocvik. Mechanisms and Dynamics of Machinery. John Wiley and Sons, 1975
- 11 杨基原编著. 机构运动学与动力学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 12 [德] J. Volmer 著. 连杆机构. 陆锡平等译. 北京: 机械工业出版社, 1988
- 13 R. J. Brodell. Design of the Crank-rocker Mechanism with cenit Time ratio. J of Mechanisms, 1970
- 14 [美] A. H. Seni. Mechanism Synthesis and Analysis. McGraw-Hill Book Company, 1974
- 15 吴序堂等编著. 非圆齿轮及非匀速比传动. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 16 陈志新著. 共轭曲面原理. 上册. 北京: 科学出版社, 1974
- 17 [美] H. A. Rothbart, John Wiley and Sons. Cams. 1956
- 18 [美] F. Y. Chen. Mechanics and Design of Cam Mechanisms. Pergamon Press, 1982
- 19 邹慧君等编译. 凸轮机构的现代设计. 上海: 上海交通大学出版社, 1991
- 20 彭国勋, 肖正扬著. 自动机械的凸轮机构设计. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 21 石永刚, 徐振华编著. 凸轮机构设计. 上海: 上海科学技术出版社, 1995
- 22 赵韩, 丁爵曾, 梁锦华编著. 凸轮机构设计. 北京: 高等教育出版社, 1993
- 23 殷鸿梁, 朱邦贤编著. 间歇运动机构设计. 上海: 上海科学技术出版社, 1996
- 24 [苏] С. И. 柯热夫尼柯夫等著. 机构参考手册. 孟宪源等译. 北京: 机械工业出版社, 1988
- 25 阮忠唐主编. 机械无级变速器设计与选用指南. 北京: 化学工业出版社, 1999
- 26 [日] 牧野洋著. 自动机械机构学. 胡茂松译. 北京: 科学出版社, 1980
- 27 [美] H. H. Ryffel. Machinery's Hand Book (22nd Edition). New York: Industrail Press, 1984
- 28 徐灏. 机械设计手册. 第3版. 第2卷. 北京: 机械工业出版社, 2004
- 29 卜炎. 机械传动装置设计手册. 上册. 北京: 机械工业出版社, 1999