

|| 专 题 史 系 列 丛 书 ||



中国古代冶铁技术发展史

杨 宽 著

上海人民出版社



|| 专 题 史 系 列 丛 书 ||

中国古代冶铁技术发展史

杨 宽 著

上海人民出版社



图书在版编目(CIP)数据

中国古代冶铁技术发展史/杨宽著.

—上海:上海人民出版社,2004

(专题史系列丛书)

ISBN 7-208-05309-X

I. 中... II. 杨... III. 炼铁-冶金史-中国-古代

IV. TF5-092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 085953 号

责任编辑 汤中仁

特约编辑 张美娣

封面装帧 王晓阳

· 专题史系列丛书 ·

中国古代冶铁技术发展史

杨 宽 著

世纪出版集团

上海人民出版社出版

(200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.cc)

世纪出版集团发行中心发行

商务印书馆上海印刷股份有限公司印刷

开本 890×1240 1/32 印张 10.75 插页 10 字数 262,000

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

印数 1—3,100

ISBN7-208-05309-X/K · 1064

定价 28.00 元



目 录

序 言	1
绪 论	1
一 关于炼铁技术的发明	1
二 关于铁的种类和炼铁技术的发展	5
三 关于炼钢技术的发明和发展	14

上 编 中国古代炼铁技术的发明和发展

第一章 关于中国炼铁技术发明时代的探讨	21
一 从古代文献记载来推断	21
二 从出土的早期铁器来考察	28
第二章 封建社会前期冶铁业的发展和炼铁技术的进步	43
一 封建社会前期冶铁业的发展	43
二 冶铸生铁技术的快速发展	59
三 炼铁工艺多方面的创造	65
一、铸铁柔化处理技术的创造和发展	65
二、铸造低硅灰口铸铁以及类似球墨铸铁工艺的 发明	75
三、低温还原“块炼法”的继续采用	77
第三章 早期炼铁炉的发展及冶炼技术	80

一	坩埚炼铁法的创造和长期流传	80
二	炼铁高炉的发展变化及冶炼技术	85
三	鼓风技术的改进	97
第四章	水力鼓风机(水排)的发明和发展	102
一	东汉三国间水力鼓风机(水排)的发明和发展	102
二	水力鼓风机(水排)的结构	106
三	水力鼓风机(水排)装置工程的发展	114
第五章	早期化铁炉的发展及铸造铁器技术	117
一	战国时代化铁炉及铸造铁器技术	117
二	汉代化铁炉的进步	123
三	汉代铸造铁器技术的发展和叠铸技术	126
四	铁器的逐渐广泛使用和铁农具的改进	138
第六章	封建社会后期冶铁业的发达和炼铁技术的发展	147
一	封建社会后期冶铁业的发达以及铁产量的提高	147
二	活门木风箱和活塞木风箱的创造和发展	158
三	煤的广泛使用和焦炭的炼制	163
四	铁器铸造工艺的进步	167
第七章	后期炼铁炉的改进及冶炼技术	174
一	宋元时代高炉的改进及冶炼技术	174
二	明清时代高炉的改进及冶炼技术	184
三	近代各地民间流传的土高炉及冶炼技术	193

下 编 中国古代炼钢技术的创造和发展

第八章	固体渗碳制钢技术的发明和流传	211
一	关于干将、莫邪等宝剑的炼制方法	211
二	中国古代的两种固体渗碳制钢技术	216

三	中国边疆兄弟民族的炼制“镔铁”·····	225
第九章	脱碳制钢技术的发明和发展 ·····	228
一	固体脱碳制钢技术的发明·····	228
二	“炒钢”技术的发明和发展·····	233
三	“百炼钢”技术的发展·····	248
第十章	“灌钢”冶炼法的发明和发展 ·····	261
一	“灌钢”的起源及其冶炼技术的进步·····	261
二	明清以后“苏钢”冶炼技术及其传播·····	268
三	“生铁淋口”技术的发明和流传·····	275
第十一章	锻造技术和淬火工艺的进步 ·····	280
一	锻造技术的进步·····	280
二	锻造技术的进步和锻造铁农具的改进·····	290
三	淬火技术的发明和发展·····	297
总 论	·····	302
一	总论中国历史上炼铁技术和铸造技术的发展·····	302
二	总论中国历史上炼钢技术和锻造技术的发展·····	308
三	总论中国历史上铁农具的改革及其作用·····	312

绪 论

一 关于炼铁技术的发明

铁矿石是地壳主要组成部分之一，铁在自然界中是分布得极为广泛的。但是人类发现铁和利用铁，却比黄金和铜要迟。这是什么原因呢？首先是由于天然的纯铁在地球上几乎找不到，不像自然金和自然铜那样容易被人发现。而且铁容易氧化生锈，只有和镍混合的铁才能持久不锈，但是含镍的自然铁又极稀少。

因为地球上很难找到自然铁，人类最早所发现的铁，是天空中落下来的陨星。陨星中有些是铁和镍合金，称为陨铁，其中所含铁的百分比是很高的，而且铁很纯净，细的夹杂物很少^①，无论埃及或美索不达米亚地区的最古文明国家，所发现的最早的铁器都是由陨铁加工制成的。考古学家曾在美索不达米亚苏美尔人所建的古乌尔城的古墓中，发现过一把陨铁所制成的小斧，而在古苏美尔语中，铁叫做“安巴尔”，意思是“天降之火”。很明显，苏美尔人最初用的铁是从“天降之火”中来的，所谓“天降之火”就是陨铁。当然，从天空中落下来的陨铁，为数是不多的，因此在用陨铁制作铁器时，铁一定是非常

① 由于陨星在太空中形成时，从高温冷却凝固极其缓慢，从液体中析出的硫化物、磷化物、硅酸盐的晶体都很大，因而陨铁很纯净，细的夹杂物很少。

珍贵的。在埃及的前王朝时期(公元前 3500 年),曾用含镍 7.5% 的陨铁制成铁珠(在今开罗南 80 公里格尔则出土);在埃及十一王朝(公元前 2000 年)的一个墓里,出土了含镍 10.5% 的陨铁制成的镶银辟邪护符。埃及第五至第六王朝(公元前 2400 年前)的金字塔所藏的宗教经文,曾记述当时太阳神等重要神像的宝座是用铁制成的。这种制作重要神像宝座用的铁,显然也是从陨铁得来的,在当时是被认为带有神秘性的珍贵的金属。

对于处在原始状态的民族来说,铁同样是非常珍贵的。在美洲,几个古代文化中心的印第安人,包括墨西哥的阿兹特克部落、尤卡坦的玛亚人和秘鲁的印加人,以及密西西比河流域的印第安人,都曾用陨铁制成箭头、小刀和其他工具。东南亚的马来族把自己炼制的宝刀,叫做“拍莫刀”,“拍莫”在马来语里是陨铁的意思,这种刀该是用陨铁制成的。

人类开始用陨铁制成铁器是很早的,但由于陨铁来源的稀少,铁在当时成为稀有的贵金属,当然它不可能对生产起什么作用。然而这时对陨铁の利用,毕竟使人们初次认识了铁,这对于后来铁矿石的冶炼技术的发明是有帮助的。

铁矿石冶炼技术的发明,是冶金史上新阶段的到来。因为铁矿在世界上分布既广,铁的性质又远比青铜坚牢锐利,等到铁开始为人类服务,生产工具便可得到很大的改进,生产力便可得到进一步的提高。恩格斯在《家庭、私有制和国家的起源》中指出:“铁已在为人类服务,它是在历史上起过革命作用的各种原料中最后的和最重要的一种原料。所谓最后的,是指直到马铃薯的出现为止。铁使更大面积的农田耕作,开垦广阔的森林地区,成为可能;它给手工业工人提供了一种其坚固和锐利、非石头或当时所知道的其他金属所能抵挡的工具。”^①

① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷,人民出版社 1972 年版,第 159 页。按:马铃薯是 16 世纪传入欧洲的。

铁矿石中的铁，一般呈氧化物状态，如赤铁矿(Fe_2O_3)、磁铁矿(Fe_3O_4)、褐铁矿(含结晶水的 Fe_2O_3)、菱铁矿(FeCO_3)，热分解后成为 FeO 等。在一定温度下，铁矿石中的氧化铁与还原剂(木炭及其他燃烧物所产生的一氧化碳)接触，便可逐渐还原成铁。大约500—600摄氏度以上就开始还原，要到1000度左右，才能得到含碳量很低的固体铁块。

在冶铁技术发明初期，炼铁炉很小，构造也很简单。炉身一般用石头和耐火粘土砌成，有的用石头砌成后涂上耐火粘土，有的全用耐火粘土砌成。炉体大多呈圆形。炉子下身的侧部有一个小孔，插有陶制通风管。多数依傍山坡，利用自然通风。后来进一步用皮囊作鼓风机，用来送进空气。炼铁时，把碎矿石和木炭一层夹一层地从炉子上面加进去，生了火，用一两个皮制风囊鼓动着，把空气从炉侧陶管中不断地压送到炉子中去。这种初期的炼铁炉，因为炉子小，风囊不大，用人力所鼓动出来的风又不够有力，因此吹旺的炭火，温度就不够高，约为1000摄氏度左右，被还原(即去了氧的)的铁块沉到炉底时，就不能熔化为液体流出炉外。每次炼成铁以后，要等炉子冷却，才能把铁块取出来。这样从炉中炼成的铁，是软的、海绵似的熟铁块。这种海绵似的熟铁块，结构疏松，表面很多孔隙，孔隙中夹有矿石本身存在的许多氧化物，主要是未还原氧化铁(FeO)以及氧化铁和硅酸盐(SiO_2)的共同结晶组成的杂质，需要在锻铁炉中烧红后，经过不断锻打，才能挤出一部或大部分杂质，取得较纯的熟铁块，锻造成各种铁器。

这种早期的炼铁技术，曾被称为“块炼法”或“低温固体还原法”。其产品被称为“块炼铁”或“海绵铁”。这样的炼铁法，产量低，费工多，劳动强度大，浪费原料多，而且产品不够坚牢耐用。恩格斯曾经指出：“最初的铁往往比青铜软。”^①只有在炼铁技术进步后，才能提

^① 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1972年版，第159页。

高铁的质量,使铁的坚牢锐利远远超过青铜。

这种冶铁技术究竟最初发明于何时何地,曾经是人们注意和争论的问题。许多学者往往依据考古学上的新发现,变更发明的时间和地点。从目前已有的资料来看,各地铁器的应用是有先后的,那种以为冶金技术来自一个“母国”的说法,完全是不科学的臆说。很显然,凡是一个地方具备了发明某种冶金技术的地理条件和历史条件时,就完全可能创造出某种冶金技术。事实也正是如此,铁在远古时代,是在距离遥远的各个地区,在不同时间出现的。中国冶铁技术的发明,同亚洲西南部和欧洲、非洲所有文明国家的冶铁技术是毫无关联的。许多原始的部落在各别的地区,而且在不同的时间,也都已有冶铁技术的发明。

一般说来,冶铁技术发明于原始社会的末期,就是恩格斯所说的野蛮期的高级阶段。恩格斯曾说野蛮期的高级阶段是“从铁矿的冶炼时开始”。又说,“一切文化民族都在这个时期经历了自己的英雄时代:铁剑时代,但同时也是铁犁和铁斧的时代。”^①这个铁犁与铁斧时代的到来,对于社会生产力的发展是起着巨大作用的。有许多民族由于掌握了铁器手工业,随着社会生产力的发展,随着财富的增加,随着社会分工的扩大以及交换的发展,逐渐由原始公社制过渡到奴隶制社会。但是我们要知道,并不是所有的民族都是如此的。有许多民族由于自然条件的关系,由于采用人工灌溉的关系,特别是由于掌握了较高的农业生产技术,使生产力有了较大发展,因而在拥有青铜器工具的时候,已经过渡到阶级社会。在这些青铜器时代已进入阶级社会的民族中,是在进入阶级社会后再发明冶铁技术的。例如古代的埃及和巴比伦就是如此,古代的中国也是如此。

世界上铁矿石冶炼技术的最早发明的时期,目前学术界还在讨

^① 《马克思恩格斯选集》第4卷,人民出版社1972年版,第21、159页。

论,暂时还不能确定。比较可靠的时期是公元前 14 世纪,因为埃及、两河流域、爱琴等地区在这个世纪都已有铁器应用,在埃及阿马尔纳出土的埃及法老同赫梯国王来往的信札中关于铁的文字记载,也是属于这个世纪的。但是在这个世纪内,铁在各地还是以装饰品的形式出现的,都是些珍贵的精美的工艺品。在冶铁技术刚发明时,铁还是作为贵金属出现的,在意大利大约出现在公元前 12 世纪,在俄国、德国、斯堪的纳维亚半岛大约出现在公元前 10 世纪。大概在公元前 9 世纪,在欧洲,铁的应用才开始推广,到公元前 8—前 7 世纪,整个欧洲才比较普遍用铁,在武器和重要工具的制造上,铁排挤了青铜。至于中国开始发明冶铁技术的时期,学术界正在讨论中,暂时也还没有一致的结论,我们将在本书上编的第一章中加以探讨。

二 关于铁的分类和炼铁技术的发展

我们所谈的炼铁技术,并不是冶炼纯铁的技术。纯铁是很难提炼的,就是用电解方法得出来的铁,也还含有少量的碳。而且纯铁很软,用处不大。自古以来冶铁工业所冶炼的铁,主要是块炼铁(或熟铁)、生铁和钢三种。这些铁,实质上是“铁碳合金”,它们之间的区别主要在于含碳量的多少。含碳量在 0.5% 以下而含有其他杂质和渣滓的是块炼铁或熟铁,也称“软铁”,或称“锻铁”。如果含碳量很低而杂质少的,就是低碳钢。含碳量在 0.5%—2% 而杂质少的,是中碳钢和高碳钢。但实际上一般钢的含碳量多低于 1.4%,很少达到 2%。古人所说的钢,就是指中碳钢和高碳钢。含碳量在 2%—5% 的是生铁,也称“铤铁”。因为它只能用熔化、浇注的方法铸造成型,又称“铸铁”。

熟铁比生铁和钢软得多,有延展性,烧红后可以锻打成各种器

物。熟铁因为含碳量少,熔点较高,大约近于 1 500 摄氏度(纯铁熔点为 1 537 度),而早期的炼铁炉由于炉子小,鼓风设备差,或者采用自然通风,炉温不高,很难把它熔化。这种由矿石直接炼成的熟铁块,我们称为“块炼铁”。等到发明生铁铸造技术之后,生铁成为铁的主要产品,往往用生铁为原料,通过加热炒炼,使其中的碳大部氧化烧掉,从而取得熟铁,其中所含杂质比“块炼铁”要少。

生铁硬度比熟铁高,又比较脆,不适于展接和锻接,而适于用铸范铸成各种器物。凡是熔化的铁很容易溶解碳,温度愈高愈容易溶解。溶解了多量碳的铁,就成为生铁。生铁熔点低,最低达 1 146 摄氏度,比熟铁约低 300 度。在早期冶炼块炼铁的时候,如果炉子高大些,通进空气多些,炉内温度较高,偶或也能使一些铁矿石熔化,得到含碳量较多的生铁。起初,人们把它当做废品抛弃掉,后来才利用它做成铸锭或铸成铁器。这样就逐渐发明了生铁铸造技术。因为铁矿主要成分是氧化铁,它和二氧化硅及其他杂质混在一起,所以当生铁铸成时,硅、锰、磷、硫等元素就渗进不少。

生铁又可分为白口生铁、麻口生铁和灰口生铁三种。一般生铁如果没有硅或含硅很低,或者含碳量较低,极大部分由碳化铁(Fe_3C ,即渗碳体)构成,切面就呈白色,称为白口生铁或白口铁。这种铁又硬又脆,但较耐磨,适宜于制造犁铧之类农具,不适宜于制造需要强度和韧性的工具。硅能使碳化铁分解成游离的碳和铁,生铁如果含硅在 1.5%—3%之间,大部分碳分就处于游离状态,成为片状石墨,切面就呈灰色,称为灰口生铁或灰口铁。灰口铁比白口铁硬度低,脆性较小,具有良好的耐磨性和润滑性能,并具有能消减机件本身振动的消振能力,其耐磨性能高于一般的钢。因而这种铁适宜作轴承材料和铸造各种铁器,用途广泛。介于白口铁和灰口铁之间的,即白口铁中含有片状石墨的,称为“麻口铁”。一般说来,要炼出灰口铁需要更高的温度,在技术上有更高的要求。因而在生铁冶铸

技术发明的初期,炼出的生铁都是白口铁;等到技术进一步发展,才能炼出灰口铁。

钢是含碳量 0.025%—2% 的铁基合金,常含有微量的硅、锰、磷、硫等杂质,熔点约为 1400—1500 摄氏度,性质坚韧而锋利,有良好的塑性,适宜于锻造工具、武器以及各种机械。古代炼制的钢,含有碳分而不含其他合金元素,现在称为“碳素钢”。现代含有一种或一种以上合金元素的钢,称为“合金钢”。

生铁和钢的性质,不仅与其含碳量有关,而且与其内部组织有密切关系。为了说明各种类别的铁和钢的冶炼技术的发明和发展,不能不把铁碳合金的内部组织作简要的介绍。

在铁碳合金中,由于它们含碳量的比例不同和冶炼时的温度不同,分别组成了化合物、固熔体或混合物。化合物是指铁和碳的化合物,固熔体是指铁碳合金在固态下彼此熔解而形成的结晶体。具体说来,生铁和钢的内部组织,有渗碳体、铁素体、奥氏体、珠光体和石墨。

(1) 渗碳体是铁和碳组成的化合物。即碳化铁(Fe_3C),具有独特的结晶形式。含碳量为 6.66%。它是一种不十分稳定的化合物,在特定条件下会分解为铁和石墨。它的硬度很高,脆性极大,几乎没有塑性。

(2) 铁素体是含碳很低的固熔体。铁素体和奥氏体是不同温度下的两种原子排列方式。在 910 摄氏度以下,或者在 1535—1390 度之间,铁素体的原子呈“体心立方体排列”,这种排列的特点是原子分布在立方体的八个角和立方体的中心(参看图 0-1)。铁素体溶解碳的能力较低,在 723 度时含碳为 0.02%。它的硬度

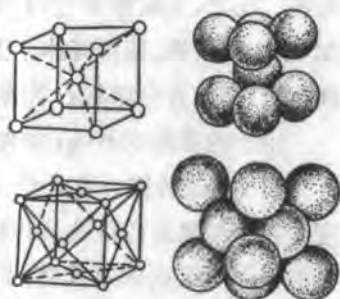


图 0-1 铁碳合金的两种原子排列方式

上图:体心立方体排列

下图:面心立方体排列

强度较低,具有很好的塑性和韧性。

(3) 奥氏体是含碳较高的固溶体。当温度升到一定高度时(纯铁在 910—1 390 度时,含碳 0.8%时在 723 度以上),原子呈“面心立方体排列”,这种排列的特点是原子分布在立方体的八个角和每个面的中心(参看图 0-1)。它熔解碳的能力较高,在 1 130 度时最大熔解度可达 2%。温度降低,它的熔解度也就减少。奥氏体无磁性,具有良好的塑性和较低的变形抗力。

(4) 珠光体是铁素体和渗碳体的混合物。当奥氏体慢慢冷却到 723 度左右,就析出一定比例的铁素体和渗碳体,形成层状混合物组织,称为珠光体。珠光体含碳量为 0.8%,硬度强度较高。

(5) 莱氏体是奥氏体和渗碳体的共晶体,是含碳量 4.3%的生铁液体冷却到 1 130 度时由于凝固而形成的。莱氏体是生铁特有的组织形态。奥氏体在 723 度时变成珠光体,因此在低于 723 度时,莱氏体就会转变为珠光体和渗碳体的混合物。

(6) 石墨是碳的一种结晶体。它只存在于生铁之中。生铁中含碳量多、含硅量多,冷却速度慢或经相当的热处理,则碳成石墨状态存在。反之,含碳量少、含硅量少,冷却速度快,则碳成化合状态存在,成为碳化铁,即渗碳体。少量的细小而均匀分布的石墨对生铁性能有利,而以含有球状石墨的生铁的机械性能最好。

由于内部组织不同,生铁可分为下列三种:

(1) 共晶铸铁。含碳约 4.3%的铁碳合金从液态冷却到 1 130 度左右。如果是白口铁,则同时析出奥氏体和渗碳体,形成由奥氏体和渗碳体所组成的莱氏体;如果是灰口铁,则同时析出奥氏体和石墨。这种过程称为“共晶反应”^①。这种生铁称为“共晶铸铁”。

① “共晶”是指一定成分的合金在某一温度同时结晶出两种不同成分的晶体。由于共晶反应形成的两种晶体混合物,称为“共晶体”。

(2) 亚共晶铸铁。含碳低于 4.3% 而高于 2% 的铁碳合金,凝固时先析出一部分奥氏体,其余凝固成共晶体。这种生铁称为“亚共晶铸铁”。

(3) 过共晶铸铁。含碳高于 4.3% 的铁碳合金凝固时,如果是白口铁先析出渗碳体,如果是灰口铁先析出一部分石墨,其余凝固成共晶体。这种生铁称为“过共晶铸铁”。

由于内部组织的不同,钢又可分为下列三种:

(1) 共析钢。含碳约 0.8% 的钢凝固后成为奥氏体,缓慢冷却到 723 度左右,同时析出铁素体和渗碳体。这个过程称为共析反应。由于共析反应而产生的铁素体和渗碳体的混合物组织,就是珠光体。共析表示从一种原子排列的固态同时析出两种原子排列的固体。这种钢称为“共析钢”。

(2) 亚共析钢。含碳低于 0.8% 的钢,冷却时从奥氏体先析出一部分铁素体,其余分解为珠光体。这种钢称为“亚共析钢”。

(3) 过共析钢。含碳超过 0.8% 而低于 2% 的钢,冷却时从奥氏体先析出一部分渗碳体,其余分解为珠光体。这种钢称为“过共析钢”。

兹将纯铁、钢、生铁的含碳范围和基本组织的情况,列表于下:

类 别	纯 铁	钢			生铁(白口)		
		亚共析	共 析	过共析	亚共晶	共 晶	过共晶
含碳范围	0.02% 以下	0.02%— 0.8%	0.8%	0.8%— 2.0%	2.0%— 4.3%	4.3%	4.3% 以上
室温的基本组织	铁素体	铁素体 珠光体	珠光体	珠光体 渗碳体	珠光体 莱氏体	莱氏体	渗碳体 莱氏体

以上为了便于说明冶铁炼钢技术发展的历史,把铁和钢的成分和组织作了简要的分析。

从欧洲冶铁技术发展的历史来看,初期进步不是很快的,早期的

炼铁炉不能冶炼生铁。由于铁的熔点较高,不容易从冶金炉中将铁熔化成液体。如何提高炼铁炉的温度,从而使炼出的铁成为液体,以提高冶炼的生产率,在欧洲曾经是长期不能解决的问题。直到中世纪中期,由于水力鼓风机创造和发展,才基本上解决了这个问题。在欧洲,从块炼法到发明冶炼生铁技术,先后经历了两千五六百年之久。

欧洲中世纪中期所创造的冶铁鼓风机,构造大体上和过去的炼铁炉差不多,也是从上面加料和从下面通风的,不过比以前所用的要高得多。在14世纪中叶出现于比利时的所谓“狼炉”,就高到4.5米左右。由于炉身高大,容得下更多的炭和铁,使一氧化碳和矿石原料接触而起作用的时间增长;同时由于炉内温度较高,使渗碳作用增长,铁就容易熔化,铁在熔化中又能多吸收碳分,吸收碳分多就可以降低铁的熔点,含碳量到2%时,熔点为1146摄氏度,因此炼铁炉温度到1200度左右,就可以使铁熔化成为液体,下沉炉底时便变成生铁。生铁的熔点比熟铁低,而鼓风炉的温度比过去炼铁炉要高,因而炉里最后得到的是流动状态的熔化的生铁,不再是熟铁块了。这种炉子所以叫做狼炉,因为早期的狼炉仍是要等到炉冷以后把铁块取出的,那时人们把这种铁块叫做“狼”。

鼓风方法的革新,是提高冶铁技术的主要关键。这时鼓风机由于采用了水力鼓风的方法,用水轮来鼓动风囊,风囊便可造得更大,鼓风机也就可以造得更高,可以把较多的空气很有力地压送到炉中,以提高炉中的温度,熔化较多的矿石,以加速冶炼的进程和提高铁的生产率。在欧洲,这种水力鼓风设备,12世纪开始在部分地区出现。到14世纪,这种水力的鼓风设备在欧洲逐渐普遍起来,一直流行到17和18世纪。

这种水力鼓风机就比过去的炼铁炉进步得多。因为炉里炼出来的铁是熔化成液体的生铁,冶铁工人便可让液体的生铁从炉里流出

来,铸成铸锭。这样,炉子每炼成一炉铁就不必冷却,炉子就可不间断地工作下去,只要按照需要的分量加进矿石和炭,每隔一定时间把生铁和熔渣放出来。

由于鼓风方法的革新,鼓风炉就造得越来越高。到1680年时,英国已有了高达9米的鼓风炉,一连可炼铁好几个月。这样炼出来的生铁块就比较大,于是人们就不再把它叫做“狼”,而把它改称为“猪”了。到18世纪,欧洲各国已普遍采用高大的鼓风炉,例如俄罗斯的西伯利亚乌拉尔地方的鼓风炉,炉身高到10.5—13米,直径大到3.6—3.9米,装置有水力推动的强大的圆筒形鼓风器六具,每星期可以生产生铁2000—3000担。

这种较大的水力鼓风炉的创造和冶炼生铁技术的发明,在中世纪的冶铁技术史上是一次重大革新。它利用水力鼓风,把工具从人手里移到机械上来,机械代替了单纯的手工工具,不仅技术有了进一步的提高,更重要的是替扩大鼓风炉的构造创造了条件,使鼓风炉可以不间断地进行工作,大大提高了铁的生产率。自从鼓风炉出现后,生铁成了从矿石中炼出来的主要产品,这就促进了铸铁手工业的发展,使铁器便于铸造。在生铁成为矿石中炼出来的主要产品后,在需要可锻的熟铁和钢铁时,固然发生了一些麻烦,要把生铁重新放到炉子中热烧很久,把生铁中的一部分碳烧掉,使生铁炒炼成熟铁。但是,这些麻烦比起鼓风炉的主要好处——生产率提高这点来,就显得不足道了。

有人把早期由铁矿石或矿砂直接炼得熟铁块的方法,叫做“块炼法”或“一步操作法”;又把这种先从铁矿石或矿砂炼得生铁,再由生铁炒炼成熟铁和钢铁的方法,叫做“两步操作法”。两步操作法远比一步操作法优越,不仅是由于炼铁炉比较高,可以不间断地连续操作,大大提高了铁的生产率,而且由于操作方法的进步和生产率的提高,炼铁所消耗的燃料大为减少,同时矿石的回收率大大提高。过去

采用一步操作法时,渣滓中含铁量竟达 50% 之多,有一半的铁夹杂在渣滓中损失掉了,而采用两步操作法后,渣滓中含铁量就大为降低,损失很少。这样,铁的生产率提高了,成本也就降低了,而且质量也有很大的提高。所以这种两步操作法发明以后,不久就成为主要的炼铁炼钢方法。

冶炼生铁技术的发明和推广,对于生产力的发展是有很大的作用的。在没有发明冶炼生铁技术以前,炼铁炉生产的铁块,数量既少,又需经过多次锻炼,才能制成工具,所以当时铁的使用还不可能普遍,只有用于某些重要的武器和工具上^①。等到冶炼生铁技术发明和推广以后,铁的生产率大为提高,这就能把铁普遍使用到农具和各种工具上,对于改进生产工具起了决定性的作用。从欧洲封建社会发展的历史来看,14 世纪由于水力鼓风机推行,冶炼生铁技术的推广,铁的生产率大为提高,这对于中世纪后期生产工具的改进,社会生产力的提高,是具有决定意义的。

在冶铸生铁技术发明的初期,由于炼铁炉温度不够高,还由于渗进的硅的含量较低,不能使生铁中所含的碳在冷却凝固时成为游离的石墨状态,而全部以化合碳即渗碳体的形态存在,因此只能炼成白口铁。白口铁性脆而硬,不适宜用来铸造需要强度和韧性的生产工具。后来人们从生产实践中创造了生铁柔化处理技术,用白口铁经过适当的退火处理^②,使渗碳体分解出石墨,分解出来的石墨一般成为团絮状,这样就改进了铁的机械性能,减少脆性,提高韧性,成为“可锻铸铁”,也称“韧性铸铁”或“展性铸铁”。

可锻铸铁有“白心”和“黑心”两种:

-
- ① 英国在 14 世纪时,铁只用于制剑和制造重要工具,还没有普遍到各种工具上。一般厨房中的用具,还都是黄铜制的。
 - ② 将铁或钢加热到一定温度,保温一段时间,随后缓慢地冷却,这种热处理方法叫做退火。

(1) 白心可锻铸铁,断面呈亮白色,显微组织中保留有珠光体,有少量团絮状石墨组织。这是用含碳量较高(2.8%—3.2%)的白口铁,在氧化性填料中进行退火处理得到的。铁中的碳大部分氧化,只留下少量的石墨组织。同时,因为退火时间不够长,珠光体来不及分解而被保留下来。

(2) 黑色可锻铸铁,断面呈深灰色或黑色,基体为铁素体,有较多的团絮状石墨组织。这是用含碳量适当(2.2%—2.9%)的白口铁经过长期高温的退火处理得到的。需要经过缓慢地加热到 870 度,保温后再缓慢地冷却,使“渗碳体”逐步分解出的石墨小片聚集在一起成为团絮状。

这两种可锻铸铁,是通过不同工艺的柔化处理技术而得到的。两者都经历了脱碳和石墨化两个过程,不过白心的以脱碳为主,黑心的以石墨化为主。黑心可锻铸铁,由于表面有软的铁素体,同时有较多的团絮状石墨,韧性比白心可锻铸铁好,并具有刚柔结合的特性,耐冲击。白心可锻铸铁在西方,是 18 世纪初叶出现于欧洲的,最早见于 1722 年的法国文献^①,也称为“欧洲式展性铸铁”。黑心可锻铸铁在西方,是 1831 年出现于美国的,亦称“美国式展性铸铁”。

这种生铁柔化处理技术的发明,使生铁的性能得到改善,消除了白口铁的脆性,而有比灰口铁高的强度,因为灰口铁的石墨呈片状,而可锻铸铁的石墨呈团絮状。可锻铸铁虽然机械性能不及钢,但是铸造起来比较经济,而且容易铸造,能够代替部分铸钢件,还能制作形状复杂的薄壁铸件,因而便于推广应用。这对于铁制工具的推广

^① 根据爱奇森(L. Aitchison)所著《金属史》(A history of metals, 1960 年出版)第 453—454 页,可锻铸铁的文献,最早见于法国列奥缪尔(R. A. F de R'eaumur)所著《熟铁炼钢技术和生铁柔化处理技术》(L'art de Convertir le fer forgé en acien et l'art d'adoucir le fer fondu, 1722 年发表)。此书谈到:在 17 世纪末叶巴黎工人中盛行一种传说:“生铁柔化的生产方法,早就被人发现,但后来又屡次失败了。”

有重大意义。

可锻铸铁由于石墨呈团絮状,比灰口铁的石墨呈片状的机械性能要好。如果铸铁中石墨呈分散的小球存在,那么它的性能就更好,何况在可锻铸铁中偶尔已有球状石墨存在。由于这个启发,到1947年左右,经过大量系统的科学实验,终于研制成功“球墨铸铁”。这是利用含硅2%左右的灰口铁,在铸造时加入少量球化剂而取得的。最初在实验中用铈合金作球化剂,因价格昂贵和技术条件的限制,难以实际应用。后来改用镁或稀土镁合金作为球化剂试验成功,才得以推广应用。球墨铸铁由于它的性能优良,工艺简便,成本低廉,很快在世界各地广泛应用,不但能部分代替灰口铁和可锻铸铁,而且还能部分地取代锻钢和铸钢。

上面我们所叙述的,是世界上冶铁技术的发明情况和早期冶铁技术的发展情况。我们了解了这些,就可以进一步研究中国冶铁技术发明和发展的历史了。中国是世界上最早发明生铁冶铸技术的国家,这项发明要比欧洲早一千九百年。中国又是最早创造生铁柔化处理技术的国家,这一创造要比欧洲早两千三百年。还值得注意的是,河南巩县铁生沟冶铁遗址出土的西汉时期铁镢和河南渑池窖藏铁器中汉、魏时期铁斧具有类似现代球墨铸铁的球墨组织。两千多年来我国人民在冶铁技术上不断有着新的发明和独特的创造,在世界科技发展史上曾经居于遥遥领先的地位。

三 关于炼钢技术的发明和发展

在欧洲,以块炼铁为原料,进行渗碳炼钢的技术大概发明于公元前10—前5世纪间。希腊作家把铁称为“西德罗斯”,把钢称为“哈里普斯”,后者由黑海南岸一个小部落哈里布人而得名,因为希腊

人认为哈里布人是炼钢技术的发明者。亚里士多德曾经说：“把铁放入熔炉，数次加热，可以得到优质的钢。”由此可见，当时已经发明固体渗碳的炼钢方法。同时，古典时代的作家们也曾多次提到当时钢炼成后投入冷水中“淬”的方法。钢首先被用来制造武器，也还被利用于某些需要钢刃的重要工具。在古典时代，人们已善于利用这种有钢刃的工具，来打穿岩层，修筑水利工程。

东方有些文明古国也很早发明炼钢方法，而且有一套独特的炼钢技术。例如波斯萨珊朝(公元 224—651 年)所炼制的“镔铁”制品，所用钢材是用块炼铁炼出的海绵铁，配合渗碳剂和催化剂，密封加热，渗碳而成。这是一种进步的固体渗碳炼钢方法。

在欧洲，自从 14 世纪冶炼生铁技术逐渐推广以后，到 18 世纪后期就出现用生铁为原料、炒炼成熟铁和钢的技术。他们把木炭放在没盖的小炉内，点着火，鼓风燃烧，接着就把生铁加入炉内，一起鼓风燃烧，生铁熔化后，就会一点一点地滴向炉底。在滴向炉底的过程中，空气中的氧就会烧掉它所含的碳、矽、锰、磷和别种杂质，使生铁炒炼成熟铁。如果能适当控制含碳量，还可以炒炼成钢。这种用生铁炒炼成熟铁或钢的方法，叫做“炒钢法”，或者称为“精炼法”。这种炒炼生铁的炉，叫做“炒钢炉”，或者称为“精炼炉”。如果这样炒炼成的钢材，能够通过不断锻打，把其中杂质清除，就可以得到组织紧密的比较优质的钢。如果把这样炒炼成的熟铁放到燃烧木炭的炉子中加热，不断使碳分渗进它的表面，反复折叠锻打，也能逐渐炼成比较优质的钢。这种以生铁为原料的炼钢方法的创造，对于推广钢制工具和器械具有重大作用。马克思在《资本论》法文版序言中，对 1780 年英国用生铁为原料的炒钢法，有过很高的评价，认为无论怎么说也不会夸大这项革新的重要性。

比上述这种简单炒钢法进步的，就是反射炉炒钢法，也叫做火焰炉精炼法、搅炼炉冶炼法。这种炒钢法，在欧洲，发明于 18 世纪末

叶。炉的结构,主要分为两部分,除了燃烧的炉膛外,另有炒炼的熔炼池,不让燃料与生铁接触,仅仅使火焰通向熔炼池,利用炉壁的反射作用而产生高温。这样使用煤作燃料,可以不使煤中的硫渗入到铁中去。这种炼钢方法,利用煤燃烧时放出的热,把生铁烧成半熔状态,使生铁中的矽、磷、锰、硫和碳起氧化作用,放出大量的化学热,一方面使铁熔成粘糊状态,一方面使铁中大部分碳分烧去,并使铁中杂质成为液体从铁中分解出来。为了加速熔炼过程,并使铁块均匀地熔炼,需要不断地搅拌。等到熔炼到所谓“沸腾时期”,铁块就从豆渣状态变成粘糊状态,这时需要有意识地搅拌成钢团,然后钳出锻打,打到结实为止。如果控制得好,不待碳素烧完,即拌成钢团锻打,可以得到含碳量较高的钢。

无论炒钢炉或反射炉炼成的钢,都是由粘糊状固体的钢粒焊合而成,经过不断锻打或轧后,钢质可逐渐紧密。它比一般的钢接焊性强,对天气影响的抵抗力也大,而且能耐震动,所以适宜于作螺钉、螺母、链条、铆钉、马蹄铁、各种简单机械和农具、小型工具。

上述各种古代炼钢方法,好处是:不需要高温,对原料和燃料都没有特殊要求,也不需要硅铁、锰铁等铁合金助燃,对炉衬所用耐火材料也没有很多限制,设备简单,操作技术很容易掌握。缺点是:生产率不高,同时因为在低温和半熔胶状态(基本上是固体)下炼成的,所含的碳分不容易控制,杂质不容易除尽,不能浇铸钢材。

最早采用高温、液体状态的炼钢方法,是坩埚炼钢法。这种炼钢法,创造于18世纪初叶,可以用熟铁配合木炭等,熔炼成优质钢。好处是:能够把杂质分离,能得到一定成分的优质钢,同时设备简单,技术简便。缺点是:很费人工,成本较大,钢锭太小,不能铸大件的钢材。自从19世纪中叶发明了转炉炼钢法和平炉炼钢法,19世纪末叶发明了电炉炼钢法,就把炼钢技术大大推进了一步,这样炼出来的钢,能够铸成大的钢锭,还可以浇铸各式各样的大小钢铸件,这对于

工业的发展起了重大的作用。

我们了解了上述世界炼钢技术的发明和发展情况,就可以进一步研究中国炼钢技术发明和发展的历史了。两千多年来,中国人民在炼钢技术上也经常走在世界前列。

上 编

中国古代炼铁技术的
发明和发展

第一章 关于中国炼铁技术发明时代的探讨

一 从古代文献记载来推断

中国炼铁技术究竟在什么时候发明的问題，学术界还没有一致的结论。不少学者都认为中国开始用铁的时代在春秋、战国之间。这种说法最早是由章鸿钊先生提出的。

章鸿钊先生在《中国铜器铁器时代沿革考》一文(《石雅》一书的附录)中，曾作出了这样的结论：(1)中国开始用铁的时代在春秋、战国之间，即公元前5世纪。由于吴、楚等国冶铁技术渐精，开始制作铁兵器，但当时兵器还是以铜制的为多。(2)中国铁器的渐盛时代在战国到西汉，即从公元前4世纪到公元开始的时候。这时农具及日用器具已多用铁制，但兵器还兼用铜铸造。(3)中国铁器的全盛时代在东汉以后，即公元1世纪以后。东汉兵器已都用铁锻制，此后铜渐缺乏，甚至禁止用铜器。

章先生作出上述的结论，基于下列三点理由：

(1)《吴越春秋·阖闾内传》曾说：春秋末年，吴王阖闾时制造干将、莫邪两把宝剑，是用“铁精”和“金英”炼成的。《越绝书·越绝外传记宝剑》曾说：楚国制造龙渊、泰阿、工布三把宝剑，是用“铁英”炼成的。《荀子·议兵篇》曾说当时楚国兵器有“宛钜铁钺(矛)”。《韩

非子·南面篇》曾提到“铁冢”，《内储说上篇》曾提到“铁室”。《吕氏春秋·贵卒篇》曾说：中山有个大力士叫吾丘鸠的，穿着铁甲，拿着铁杖作战。《史记·货殖列传》说：邯郸人郭纵以经营冶铁业起家，财富和国王相等。又说：蜀地卓氏的祖先原是赵国人，因经营冶铁业致富。宛地孔氏的祖先原是魏国人，也是经营冶铁业的。所有这些史料，都足以证明冶铁业是春秋、战国间兴起的。

(2)《左传》记述鲁僖公十八年(公元前642年)楚国曾赠送给郑国可以铸三个钟的“金”(铜)，不久便懊悔，为此和郑国订立盟约，说：不能用来铸造兵器。结果郑国铸了三个钟。《韩非子·十过篇》记述晋国知氏伐赵，赵襄子召张孟谈来问道：“我没有箭奈何？”张孟谈说：“我听说董安于治理晋阳时曾炼铜做庭柱，你拿来应用，就有多余的‘金’(铜)了。”《淮南子·汜论训》曾说：齐桓公想要出征而武器不足，曾命令有重罪的出一件犀牛皮制的甲和一枝戟，有轻罪的用“金”(铜)来赎，诉讼失败的出一束箭。所有这些史料，都足以证明春秋时代兵器还都用铜制，箭也都用铜镞。《史记·秦始皇本纪》曾记述：秦始皇统一全中国后，曾搜集各地的兵器到首都咸阳，铸成十二个“金人”(铜人)。可见战国末年列国所用兵器还多用铜来制作。《汉书·食货志》曾记述：西汉时贾谊曾主张把铜完全收归官府，认为收归官府有“七福”，其中一福就是可以作兵器。《淮南子·汜论训》曾说：“铸金锻铁以为兵刃。”这都足以说明西汉制造兵器还是铜铁并用。《史记·秦始皇本纪》集解引应劭说：“古者以铜为兵。”应劭是东汉时人，他说古时用铜做兵器，可知东汉时兵器已很少用铜制作。

(3)《管子·海王篇》曾说：必须有铁的耜、铤、耨、铎等农具，然后能成农民。《管子》是战国末年的著作。《孟子·滕文公篇》曾记述当时有个许行，主张君民一起耕作。孟子曾为此问他的学生陈相道：“许行用釜甑来蒸煮么？用铁器来耕田么？”足见战国时代农具已普遍用铁制作。《汉书·食货志》曾说汉代法律：人民私铸铁器的要处“铁

左趾”(用铁钳束住左趾)的刑罚。桓宽《盐铁论·禁耕篇》曾说:铁器是关系到农夫的生死的。这都足以证明汉代民间已使用铁农具。

章先生这个分析很有见解。他认为铁农具比铁兵器先普遍应用,又认为吴、楚等国首先制作铁器,都是正确的。但认为中国就在春秋、战国之间开始用铁,还不够确切。

传说中春秋末年吴国的宝剑干将、莫邪是用“铁精”作原料,以“金英”作渗碳剂,并以含有磷质的头发和爪作催化剂而炼成的,可以肯定是钢的^①。从已发现的考古资料来看,当时南方吴、越、楚等国的冶炼技术,是可能炼制钢剑的。1964年江苏六合县程桥镇1号东周墓出土了一个铁丸,同出土物有“攻敌”铭文的编钟和春秋末年铜器^②。金文中常称“吴”为“攻吴”或“攻敌”,“敌”、“吴”两字同声通用。1972年程桥镇2号东周墓又出土一条两端已残损的弯曲铁条,同出土物基本上和1号东周墓类似^③。经过检验,铁条是用“块炼法”炼出的熟铁块锻制的,铁丸是用生铁铸造的。可知春秋末年吴国不但已能炼出熟铁块,而且已能用生铁铸造器物。1975年湖南长沙杨家山65号墓还出土了一把钢剑,属于春秋晚期,含碳0.5%左右,在剑身断面上用放大镜可以看出反复锻打的层次,约7至9层,剑身长30.6厘米,身宽2—2.6厘米,脊厚0.7厘米^④。这时楚国既然已经能够利用熟铁块渗碳

① 《吴越春秋》卷《阖闾内传》说:“干将者,吴人也,与欧冶子同师,俱能为剑。……莫邪,干将之妻也。干将作剑,采五山之铁精,六合之金英,……而金铁之精,不消沦流,于是干将不知其由。……于是干将妻乃断发剪爪,投于炉中,使童女童男三百人鼓囊装炭,金铁乃濡,遂以成剑,阳曰干将,阴曰莫邪,阳作龟文,阴作漫理。”

② 见《考古》1965年第3期,南京博物院:《江苏六合程桥东周墓》。

③ 见《考古》1974年第2期,南京博物院:《江苏六合程桥2号东周墓》。

④ 《文物》1978年第10期,长沙铁路车站建设工程文物发掘队:《长沙发现春秋晚期钢剑和铁器》。此文认为:论墓葬形制、陶器器形、纹饰和组合,此墓和湖北江陵等地所发现的早期楚墓完全一样或者相似。陶礼器以陶鬲、钵、罐(壶)组合的存在年代,应该认为属于春秋晚期或更早一些。墓中出土的铁削和陶器组合又和春秋晚期的长沙龙洞坡826号墓完全相同。因此断定长沙杨家山65号墓应属于春秋晚期。

制钢,反复锻打,制成长的钢剑;那么,与楚国相邻的吴国,在能够冶炼熟铁块和用生铁铸造器物的同时,能够炼制“干将”、“莫邪”之类的钢剑,就不足为奇了。

当春秋末年,吴、楚等国的冶铁技术已达到相当高的水平,不但能够炼出熟铁和生铁,还能用熟铁渗碳制钢,锻造宝剑。因此我们认为中国冶铁技术的发明,必然在这以前。

我在旧著《中国古代冶铁技术的发明和发展》中,根据《左传》所载春秋末年晋国用铁来铸造“刑鼎”这件事,推定当时已发明冶铸生铁技术,并已发展到较高水平,因而推测我国炼铁技术的发明当远在其前。《左传》记述鲁昭公二十九年(公元前513年)晋国的赵鞅、荀寅带了军队在汝水旁边筑城,“遂赋晋国一鼓铁,以铸刑鼎,著范宣子所为《刑书》焉”。就是说:借此向“国”(国都)中征收军赋“一鼓铁”,用来铸造“刑鼎”,著录范宣子所制定的《刑书》。要用“铸型”来铸造这样一只著有《刑书》的大铁鼎,如果冶铁炉上没有鼓风设备是不可能进行的。因为熔化铁矿石需要很高的温度,如果没有鼓风设备,怎能把冶铁炉温度提到这样高呢?一定要有较大的冶铁炉,要鼓风设备不断地把足够的空气压送到冶铁炉里,才能促进木炭的燃烧,从而提高熔解铁矿石的温度,使冶炼出的铁熔化成为铁水,用来铸造铁器。这是我国历史上最早使用生铁铸造器物的记载。

从这时把铁作为军赋在国都中征收这个情况看来^①,铁在晋的国都中已是普遍存在之物。从这时用铁来铸刑鼎这件事看来,这时已经把铁看得同青铜一样,当作铸鼎的原料,而且把《刑书》铸在上面作为颁布成文法的一种工具了。我们知道,要把《刑书》铸在铁鼎上,不是件简单的事。即使这部《刑书》的文字不多,总该有一些条文,要

^① 这种把“铁”作“赋”来征收的办法,后来西汉时期也实行过。《盐铁论·禁耕篇》记载文学说:“县邑或以户口赋铁,而贱平其准。”

把这些条文铸上,这个铸型不会太小,所需的铸铁(即生铁)也不会太少,所铸成的铁鼎的体积也不会不大。否则的话,就不可能作为颁布成文法的工具。这件事不仅说明这时的冶铁技术已经能够同时铸出较多数量的铸铁,而且已经能够用较大的铸型来铸造有铭文的较大的铁器了。要使冶铁技术达到上述较高的水平,是不容易的,决不是发明冶铁不久的技术水平所能达到的。在这时,冶铁手工业一定有较长的历史了。

前面《绪论》中已经谈过,世界上早期炼铁技术,由于炼铁炉小,温度不高,不能使铁矿石熔化,被还原的铁从炉中出来时是海绵状态的熟铁块。由于铁的熔点较高,要冶炼得大量的液体的铸铁是比较困难的。在欧洲,直到中世纪中期,创造了用水力来鼓风的机械设备,才基本上解决了这个问题。中国在公元前6世纪末叶铸造刑鼎的时候,虽然还没有创造水力鼓风设备,但是由于使用了比较高大的冶铁炉和在鼓风方法上有了创造,已经能够提高冶铁炉的温度,炼出多量的铸铁来。十分明显,春秋晚期已不是刚发明冶铁技术的时期,而是冶铁技术发展的时期。中国冶铁技术的发明,应该远在这时以前。

还需要补充说明一下,就是《左传》所说“遂赋晋国一鼓铁,以铸刑鼎”,从来有不同的解释。东汉服虔认为“鼓”是量名,他说:“鼓,量名也。《曲礼》曰:‘献米者操量鼓。’取晋国一鼓铁以铸之”(孔颖达《正义》引)。晋代杜预又认为“鼓”是鼓铸之意,说:“令晋国各出功力,共鼓石为铸,计令一鼓而足。”孔颖达《正义》反对服说而赞成杜说,认为鼓作为量器“非大器也,唯用一鼓则不足以成鼎,家赋一鼓,则铁又太多”。清代顾炎武《左传杜解补正》又反对杜说而赞成服说,说:“王肃《家语》注曰:三十斤为钧,钧四为石,石四为鼓。盖用四百八十斤铁。”按作为量器的鼓,或与作为乐器的鼓相似,该是一种不大的器物。《曲礼》说:“献米者操量鼓。”《荀子·富国篇》说:“瓜桃李一本,数以盆鼓。”盆和鼓都不是大器。王肃《孔子家语·正论篇》的

注,是用来解释他伪造的《孔子家语》把“一鼓铁”改成“一鼓钟”的,他所说一鼓四百八十斤,未必是古代制度。我认为,“一鼓铁”是指一次鼓铸刑鼎所需要的一定量的铁,犹如《三国志·韩暨传》讲到冶铁用“马排”(马力鼓风炉),“每一熟石用马百匹”的“一熟石”。

有人认为《左传》“一鼓铁”,“铁”是“钟”字之误,应从《孔子家语·正论篇》作“一鼓钟”。这个说法是宋代欧阳士秀首先提出的。欧阳士秀作《孔子世家补》,认为“古人铸鼎皆用铜,未闻以铁”,因而主张“当从《家语》作鼓钟”。并解释说:“盖简子(即赵鞅)兴城而用不足,故其赋敛于晋国之内,自一鼓、十鼓以至百鼓以上,自一钟、十钟以至千钟有畸,以是为率数也。又以公私鼓钟之量有不齐者,索而齐壹之,一即壹也,毁其不齐者,更铸给焉;又取其销毁之余,以为铸刑鼎之用。”卢文弨《与周林汲(永年)太史书》(《抱经堂文集》卷19)和《钟山札记》,也有同样的说法。其实这个说法是不通的。这年赵鞅、荀寅因有军事行动,借此向“国”中征收军赋,用收军赋得来的铁铸成刑鼎,怎么可能在征收军赋时,来个统一量制的措施呢?既然是统一量制,又怎么会“取其销毁之余”来铸刑鼎呢?这样把“赋晋国”、“一鼓钟”、“以铸刑鼎”,作为三件事,勉强连起来讲,是讲不通的。最近黄展岳先生在《关于中国开始冶铁和使用铁器的问题》一文^①中,仍然采用这个说法,认为这是三件事,并且说:赵鞅“令晋国中行赋税,统一量制,同时颁布范宣子的《刑书》于鼎上,这些都是变法措施”。这就更讲不通了。《左传》说:“晋赵鞅、荀寅帅师城汝滨,遂赋晋国一鼓铁,以铸刑鼎。”杜预注认为“因军役而为之,故言遂”,是正确的。这是因有军役而向“国”中征收军赋,借此征得“一鼓铁”,用来铸刑鼎。赵鞅怎么可能在“帅师城汝滨”之时,实行统一量制等一系列变法措施呢?

^① 刊于《文物》1976年第8期。

从《左传》疏所引服虔注“取晋国一鼓铁以铸之”和杜预注“共鼓石为铁”来看,他们所看到的《左传》都作“一鼓铁”,不作“一鼓钟”。《孔子家语》一书,清代学者都认为是曹魏时王肃伪造,他抄袭古书每每多增损改易,是不足据的。并不是王肃所见的《左传》别有什么正确的版本。宋代欧阳士秀因为“古人铸鼎以铜,未闻以铁”,主张“当从《家语》作鼓钟”。其实,鼎是一种烹饪器,既可以用陶制,也可以用铜制,更可以用铁制。湖南长沙窑岭春秋、战国之际 15 号墓,就出土有一件形体较大的铁鼎,口径 23 厘米(相当于当时 1 尺),腹深 26 厘米,出土时重 3 250 克^①。《中国冶金简史》已经指出:“从我们现在所了解的当时冶铁技术水平来看,铸铁鼎(按指刑鼎)是做得到的”^②。

究竟在什么时候我国发明了炼制海绵似的熟铁块的块炼法?文献上找不到明确的记载。《诗经·大雅·公刘》描写周的祖先在豳(今陕西彬县东北)建国时,曾经“取厉取锻,止基迺理”。这个“锻”字向来有三种不同解释:或者认为石头(如郑玄《笺》),或者认为是铁(如孔颖达《正义》),或者认为是锻冶(如陈启源《毛诗稽古篇》)。《尚书·费誓》记述周成王时鲁国伯禽讨伐淮夷、徐戎,誓师说:“备乃弓矢,锻乃戈矛,砺乃锋刃,无敢不善。”《公刘》是说把工具锻好磨好,《费誓》是说把武器锻好磨好。锻磨的工具和武器是青铜制的还是铁制的,没法确定。因为铁制工具和武器固然需要锻制,青铜器通过锻锤也可以增加硬度^③。《诗经·秦风·驺虞》说:“驺虞孔阜。”孔颖达《正义》又把“驺”字径写作“铁”。原来的解释,认为马色如铁故名驺。郭沫若先生在《古代研究的自我批判》中,指出这个说法不可信,“安

① 见《文物》1978 年第 10 期,长沙铁路车站建设工程文物发掘队:《长沙新发现春秋晚期的铜剑和铁器》。

② 北京钢铁学院中国冶金简史编写组:《中国冶金简史》,科学出版社 1978 年出版,第 43 页。

③ 例如含锡 10%的青铜器,铸成时布氏硬度为 88,锻造后布氏硬度可上升到 228。

知非马名在先而铁名在后，即金色如骥故名铁？铁字并不古”。同时郭老又认为铁器的使用可以上溯到春秋初期管仲时代。他引用《国语·齐语》所载管仲的话：“美金以铸剑戟，试诸狗马；恶金以铸锄夷斤斨，试诸壤土。”解释说：“美金自然是青铜，恶金可能就是毛铁了”^①。但是有人认为“美金”该指优质的铜，“恶金”可能指劣质的铜，不一定指铁。一般说来，青铜比较贵重，不可能大量用来制作农具，“恶金”是可能指铁的。

郭沫若先生在《希望有更多的古代铁器出土》一文中，曾根据春秋中叶齐灵公时的叔夷钟铭文有“遵或徒四千”的话，他认为“或”是“铁”字的初文或省文，《国语·齐语》管仲所说“恶金以铸钅夷斤斨，试诸壤土”的话，《管子·轻重》诸篇说到齐有“铁官”，辉县出土战国铁器和兴隆出土战国铁范的工艺比较进步，推断“铁的最初出现，必然还在春秋以前”。他说：“如果齐桓公既已使用铁作为耕具，则铁的出现必然更要早些，一种有使用价值的物质要真正被有效地使用，是要费相当长远的摸索过程的，特别是在古代，因此铁的最初出现，必然还远在春秋以前。”^②郭老在这里又提出叔夷钟铭文作为论据。但是，“或”字是否“铁”字的初文或省文，还有不同的看法。有人认为可能是地名。

总之，从现有的古籍和金文资料，想要解决中国开始发明冶铁技术和开始使用铁器的年代，是有困难的。

二 从出土的早期铁器来考察

关于中国冶铁技术的发明时代的探讨，主要应该依靠考古发现

① 郭沫若：《十批判书》，人民出版社 1954 年版，第 51 页。

② 郭沫若：《奴隶制时代》，人民出版社 1973 年版，第 203、204 页。

及其研究成果。但是由于早期的铁器发现不够多,也还没有取得一致的结论。

传为 1931 年 6 月,河南浚县辛村出土的一组青铜兵器,共 12 件,原为褚德彝所藏,转为美国华盛顿的弗里尔美术馆(Freer Gallery of Art)所得,著录于 1946 年出版的《弗里尔美术馆藏中国青铜器图录》一书(只著录其中 11 件)。从这组兵器的形制、花纹和铭文来看,当为西周初期制作。其中有一件刀上有“康侯”两字,当即西周初年卫国的康侯;又有一件残戈上有“太保”和“卣”三字,太保当即召公奭或其后裔^①。其中有两件青铜兵器带有铁的部分:一件是铁刃铜钺,作饕餮纹,铁刃保存较好;另一件是铁援铜戈,作虺龙纹,铁援局部断失。1954 年日本梅原末治发表《关于中国出土的一群铜利器》一文^②,根据这两件兵器,断定中国铁器的使用,可以上溯到公元前一千年的初期。1971 年弗里尔美术馆出版盖登斯、克拉克和蔡斯合著《两件中国古代的陨铁刃青铜兵器》一书^③,发现铜钺的铁刃中留有高镍和低镍铁粒,高镍带含镍 22.6%—29.3%,具有陨铁的特点。铜戈的铁援残留含镍甚微的铁结晶,还不能肯定它是陨铁制成。

1972 年 10 月河北藁城台西村商代遗址发现一件铁刃铜钺,铜外刃部已断失,残存刃部包入铜内约 10 毫米,铜钺残长 111 毫米,阑宽 85 毫米(参看图 1-1)。年代约当公元前 14 世纪前后,相当于殷墟文化的早期。对铜钺铁刃的锈进行仔细检查,没有发现人工冶铁具有的夹杂物如硅酸盐之类。利用电子探针分析铁刃的锈,表明铁锈

① 参看《文物》1977 年第 6 期,冯蒸:《关于西周初期太保氏的一件青铜器》;《文物》1979 年第 12 期,李学勤:《论美澳收藏的几件商周文物》。

② 收入《京都大学人文科学研究所创立廿五周年纪念论文集》。

③ Rutherford J. Getterns, Roy S. Clarke, Jr. and W. T. Chase: Two early Chinese bronze weapons with meteoritic iron blades.

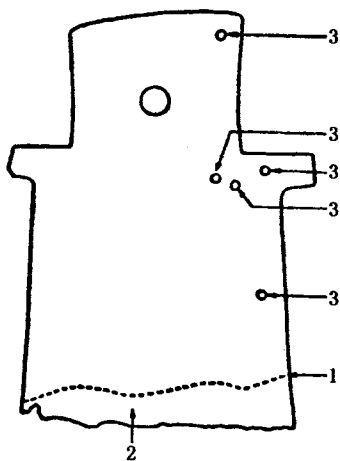


图 1-1 1972 年河北藁城出土商代铁刃铜钺

1. 虚线表示铁刃的后边
2. 铁刃残部
3. 表示青铜含有的夹渣、气泡,表明铜钺系铸成。

中含有较高的镍,镍在铁中呈高低层相间的分布,高镍层中含钴低,而低镍层中含钴高。镍的最高浓度达到 3.6%,低处为 0.9%,平均含镍约 2%。考虑到铁的氧化以及风化后氧化镍从氧化铁中流失,原铁刃镍含量约为 6% 以上,高镍带原有镍含量将在 12% 以上,甚至可能在 30% 以上(参看图版 1)。这种高镍和低镍的层状分布,是陨铁的重要特征。因为这种层状组织,只有在宇宙中极其缓慢地冷却(每一百万年冷却 0.5—500 度)的陨铁中才能形成,因此铁刃的原料只能来自天体的碎块,即陨落的流星铁^①。

1977 年 8 月北京市平谷县刘家河村的商代墓葬中,又发现铁刃铜钺一件。刃部已锈蚀残损,残长 84 毫米,阑宽 50 毫米,“内”上有一穿孔,孔径 10 毫米。比藁城出土铁刃铜钺约小三分之一。年代相当于郑州二里岗文化的上层,不晚于殷墟文化的早期,即商代中期,同藁城台西村的商代铜器群的时代相差不远。经用 X 光透视,铁刃包入铜内的根部残存约 10 毫米,尚有少量铁质未氧化。铁刃残部锈块有明显分层现象,经光谱定性分析含有镍,没有发现钴的谱线。根据已有资料对照,估计也是陨铁锻制。钺身一面平,一面微凸,似为单范浇铸。把铁镍合金的陨铁,锻造成 2 毫米左右的薄刃,再把薄刃

① 参看《考古学报》1976 年第 2 期,李众:《关于藁城商代铜钺铁刃的分析》;《文物》1976 年第 11 期,叶史:《藁城商代铁刃铜钺及其意义》。

和青铜浇铸成一体。类似藁城的商代铁刃铜钺的再次发现,说明铁已被当时人们所认识,并加以利用;使用陨铁制造铁刃已不是偶然的现象,而是当时一种特有的工艺^①。

由于陨铁含有较高的镍,而且各部分的含镍量不均匀,锻造起来比普通的钢要难得多。从平谷和藁城出土铁刃铜钺的锻造工艺来看,三千三百多年前生活在中原地区的商代人民不仅认识了铁,而且已经能够用简单工具锻造较难加工的陨铁,使之成为厚仅2毫米的薄铁刃,并且只有少量隙缝。显示当时金属加工技术已经取得相当成就。

以平谷、藁城出土的商代铁刃铜钺和浚县出土的周初铁刃铜钺比较,浚县铁刃铜钺的制作比较精致,并有装饰的饕餮纹,同时制作方法也有差异。平谷、藁城铜钺是先锻造成带有少量隙缝的薄铁刃,然后把青铜钺接连起来,用青铜浇铸使接合而成。从藁城出土铜钺来观察,可以看到,当用青铜浇铸铁刃时,青铜流入铁刃的隙缝,因而铁刃中有铜夹层。至于浚县出土的铁刃铜钺,制作方法显然有了改进,就是把铁刃的另一端锻有凹坑,使铁刃和铜钺浇铸接合后可以固定,这是为了防止铁刃脱落而采取的措施。这说明尽管陨铁稀少难得,但当时人们已经多次把它当作重要金属加以使用,铜钺铁刃的加工镶嵌技术也有了进步。

从铁刃铜钺和铁援铜戈的嵌铁部位来看,有其共同的特点,都是用铁作为起砍割作用的刃部。不仅铜钺嵌着铁刃,无“胡”的戈上主要起杀伤作用的部位是“援”的前半部,也采用铁来制作。这说明当时人们对铁的性能已经有一定程度的了解,至少已经初步认识到用铁作刃比青铜更为锋利,因而使用铁作为铜兵器的刃部了。从这点来看,我国在三千多年前的商代,确实已

^① 见《文物》1977年第11期,北京市文物管理处:《北京市平谷县发现商代墓葬》。

开始使用“铁”了^①。

从商代中期和西周初年这些铜兵器用陨铁锻造刃部看来,当时应该还没有发明人工炼铁的技术。冶铁技术的发明当在其后。

还需要提一下的,就是日本杉村勇造在1954年发表《芮公纽钟考》一文^②,根据芮公纽钟附有角形铁管,推定西周末年已有铁的使用。此钟铭文作:“芮公作旅钟,子孙永宝用。”口呈椭圆形,顶上有环纽,环纽下脚的顶面,在接合部分有铁锈剥落;在环纽下脚以下钟的内部,露出两个切断的铁制角形管。杉村勇造推断这钟的制作年代在芮国尚未受秦、晋两国压迫以前,当在西周末年以前;并认为角形管是悬挂振舌的铁环痕迹,因而推定西周末年已有铁器。这个论断是不正确的。从钟的形制来看,和西周时代的钟不同,而和日本弥生时代的铜铎一致。李学勤先生认为此钟是一件摹刻西周铜器铭文的日本铜器^③,这个论断是正确的。西周末年是否已有铁器,还没有明确的证据。目前考古发掘中出土的铁器,最早属于春秋晚期。

1957年,在河南信阳县长台关发掘的1号楚墓,规模之大在楚墓中是罕见的。曾出土大批铜器、漆器以及其他器物,同时曾出土五件铁带钩,其中三件扁条形的,满身错金银花纹,十分精致,这三件中的两件还镶有黄金和青玉。顾铁符先生对此作了如下的推断:

-
- ① 《中国史稿》第一册(1977年版)第196页说:“在商代,铁的使用已开始了。”《藁城台西商代遗址》(1977年版)第55页说:“台西遗址铁刃铜钺的出土,无疑把我国使用铁的历史推到三千多年前的商代。”最近黄展岳先生《陨铁制器和人工炼铁》一文(《历史教学》1979年第12期),认为这样把陨铁制器说成“铁的使用”,是不确切的、不科学的。我们认为,用陨铁制成工具或工具的刃部而加以使用,当然不同于人工炼铁制成铁器而使用,但是,不能完全否认这也是一种使用。
- ② 见日本出版《中国古代史的诸问题》第73—90页。
- ③ 见《新建设》1958年第8期,李学勤:《近年考古发现与中国早期奴隶制社会》。李学勤先生认为摹刻底本是《西清古鉴》卷36的周太公钟。黄展岳先生认为摹刻的底本可能是流入日本的芮公甬钟,见《文物》1976年第8期黄展岳:《关于中国开始冶铁和使用铁器的问题》。

凭我们现代人的眼光来看,在衣服装饰上,用铜比用铁要适当些,铜比铁贵重些。但在信阳楚墓里,出土了这许多铜器,偏偏和人体最接近的,带有装饰性的带钩用铁来制造,这究竟是什么缘故呢?在几年前,河北兴隆县战国冶铜遗址附近发现了一批铁范,看来是用以铸造铜的生产工具用的。铁的硬度比铜高,用来制造生产工具比铜要好,但在已经能制造铁器的时代,为什么不直接用铁来制造生产工具,而仅仅用铁来制铸造铜生产工具的范呢?

对用铁制带钩这一事实,我想最可能的理由是当时铁还比较少,人们对这一种新发现的金属很重视,认为比铜还珍贵。所以用来做这样精致的工艺品。至于用铁作范,一种可能是铁还比较稀少,所以不能有大量原料来充作生产工具。另一种可能认为铁不堪作生产工具,不如用铜做的好。假使这样估计是事实的话,说明当时人们对铁的认识不足,铁的产量也还不多。一种物质的发现到广泛使用,包括从不认识到认识,从少量生产到大量生产,都要经过一定的过程的,也就是需要较长的时间,因此用铁制带钩和用铁制器范,正足以说明这是使用铁早期的现象。^①

顾先生这个说法是可商榷的。第一,兴隆出土铁范是用来铸造铁器的,这点考古发掘者已经提出明证。第二,从出土战国带钩来看,还是铜带钩多于铁带钩,这时铁带钩也能如铜带钩一样,镶嵌金银和玉,成为精细的工艺品,正说明这时冶铁技术和铁器工艺的进步。如果是早期很粗松而杂质多的铁器,是不可能上面错很细密的金银丝花纹的。

郭沫若先生根据这墓出土编钟铭文有“唯鬲筭屈柶晋人,救戎于楚竟(境)”的话,断定这钟作于春秋末年,并认为这墓也属于春秋末年。他说:“当然,在这里也应当考虑到这样一个问题,便是编钟的铸造在前,墓的埋葬在后,编钟是墓主从别国俘获来的。但从同出铜器

^① 《文物参考资料》1958年第1期,顾铁符:《有关信阳楚墓铜器的几个问题》。

的花纹看来,大体上是一个时代的制作。”同时,郭先生对考古工作中墓葬的断代提出了问题,他说:“信阳古墓,如果肯定为春秋时代的墓,那么长沙楚墓的年代很多就值得重新考虑了。我们不能把长沙楚墓一概定为属于战国时代。因而我们不能以长沙楚墓作为标准来定信阳古墓之年,反而应以信阳古墓分别核定长沙楚墓之年了。”^①

春秋末期和战国早期出土的铁器统计表

出土地区	出土铁器	时代	资料来源	
楚	长沙杨家山65号墓	钢剑 1 件 铁鼎形器 1 件 铁削 1 件	春秋晚期	《文物》1978 年第 10 期《长沙发现春秋晚期的钢剑和铁器》
	长沙窑岭15号墓	铁鼎 1 件	春秋战国之际	同上
	常德德山楚墓	小铁铍 1 件	春秋晚期	《考古》1963 年第 9 期《湖南常德德山楚墓发掘报告》
	长沙楚墓	铁甬、铁削 3—5 件	春秋晚期	《考古学报》1959 年第 1 期《长沙楚墓》 ^②
国	长沙识字岭314号墓	小铁甬 1 件 (原报告作凹字式铁铸)	春秋晚期(原报告定在战国,根据同出土物改定) ^③	《长沙发掘报告》,第 66 页,图版 35 之 7,科学出版社 1957 年版
	信阳长台关1号楚墓	错金铁带钩 5 件	春秋晚期或春秋战国之际	《文物参考资料》1957 年第 9 期《信阳长台关发掘一座战国大墓》
	长沙龙洞坡52·826号墓	铁削 1 件(原作匕首)	春秋晚期	《文物参考资料》1954 年第 10 期《长沙 52·826 号墓在考古学上诸问题》

① 《文物参考资料》1958 年第 1 期,郭沫若:《信阳墓的年代和国别》。

② 此文系综合报道,没有明确指出每一出土物所出的墓葬。据分析,第一期墓约十多座,出土铁器的约三、五座,每墓出一件。

③ 此墓出土陶鬲、钵、罐各一件,器形与龙洞坡 52·826 号墓出土同类陶器相同。

续上表

出土地区		出土铁器	时代	资料来源
吴国	江苏六合程桥1号墓	铁丸1件	春秋晚期	《考古》1965年第3期《江苏六合程桥东周墓》
	江苏六合程桥2号墓	弯曲铁条1件(两端残缺)	春秋晚期	《考古》1974年第2期《江苏六合程桥2号东周墓》
周	洛阳中州路西工段2717号墓	铜环首铁削1件(已残缺,原报告作铁刀)	战国早期	《洛阳中州路(西工段)》,科学出版社1959年版,第111页,图版65之9
	洛阳市水泥制品厂战国灰坑	铁铲1件 铁铤2件	春秋战国之际	《考古学报》1975年第2期《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》《中国冶金简史》,科学出版社1978年版,第45页
韩国	山西长治分水岭14号墓	铁铲3件 铁凿1件 铁斧等5件	战国早期 ^①	《考古学报》1957年第1期《山西长治分水岭古墓的清理》
	山西长治分水岭12号墓	铁凿1件 铁锤1件 铁铤1件 铁斧5件	战国早期	同上
	三门峡后川2040号墓	金质腊首铁短剑1件	战国早期	《考古通讯》1958年第11期《1957年河南陕县发掘简报》;《新中国的考古收获》,文物出版社1961年版,第61页 ^②

- ① 这两座墓,原报告定在战国。殷涤非《试论东周时期的铁农具》一文(《安徽史学通讯》1959年第4、5期合刊),把14号墓出土铜戟上的铭文第一字释为“周”字,另一戈上铭文头二字释为“宜无”,推论“周”即晋悼公(名周),“宜无”当即其字,因而推定两墓在春秋中期晋悼公时。黄展岳《关于中国开始冶铁和使用铁器的问题》(《文物》1976年第8期)已加反驳,认为所释“周”字不确,“宜无”的“无”字,又字迹不清,不宜凭空推断“周”与“宜无”之间有名号关系;并以同地同类型墓葬作比较,又根据三晋兵器铭刻体例演变来分析,断定两墓出土物应属韩国早期。
- ② 原发掘简报定在春秋末期,《新中国的考古收获》改定在战国早期。王世民《陕县后川2040号墓的年代问题》(《考古》1959年第5期)根据此墓在京展览品,又推定在战国中期。

长台关 1 号楚墓的墓底有腰坑,坑里有鹿的骨架;木槨是单元组合结构,由棺室等七个室合成。这都和战国时代楚墓不同。出土的编钟、木方壶、陶方鉴等形制,和春秋晚期的蔡侯墓、新郑墓的同类铜器相似,但是有许多彩绘漆器、铜陶礼器以及彩绘铜镜,又和战国早期的楚墓相接近^①。目前对于这墓有两种看法:一种认为应属春秋末年或春秋、战国之际;一种认为这墓兼有春秋晚期和战国早期的特征,存在年代早晚不同的器物,判断这墓年代应以最晚出的器物为准,因此应属战国早期。顾铁符先生最近发表《信阳一号楚墓的地望与人物》一文^②,主张前一说,并推定见于编钟铭文的墓主“鬲筭”即《左传》哀公四年(公元前 491 年)的司马馯(司马,官名)。我也认为前一说比较妥当。从这墓出土的五件铁带钩成为精细的工艺品来看,春秋、战国之际的冶铁技术已相当进步。

目前考古发掘出土的铁器,最早的是春秋末期和战国早期的,属于楚、吴、周、韩等地区。详见上列统计表。

表中所列许多铁器,有的已经科学鉴定。长沙杨家山 65 号墓的钢剑,是用含碳 0.5% 左右的中碳钢锻成,断面有反复锻打的层次七至九层;同出土的铁鼎形器的金相组织是莱氏体,相当于共晶铸铁。长沙窑岭 15 号墓的铁鼎含有少量石墨,基体为亚共晶铸铁,含碳量接近 4.3%。江苏六合程桥 1 号墓的铁丸有莱氏体组织的痕迹,是用生铁铸成的。程桥 2 号墓的铁条是用“块炼法”炼出海绵铁锻成,基体为铁素体,含碳量很低,在 0.04% 以下,含有大量氧化铁以及延伸的氧化铁——硅酸盐共晶组成的夹杂,体积占 10%,最厚达 0.3—0.4 毫米,有些地方达到表面,因而端部裂成多层;同时基体中各部分氧化铁分布不均。洛阳水泥制品厂春秋、战国之际灰坑出土的铁

① 见河南省博物馆:《河南信阳楚墓出土文物图录》,河南人民出版社 1959 年版。

② 《故宫博物院院刊》1979 年第 2 期。

铲和铁铤,都是用白口铁铸成,还经过低温下短时期的退火处理,分别变成一种可锻铸铁^①。

尽管目前发现的春秋晚期和春秋、战国之际的铁器不多,尽管这时铁工具还和青铜工具甚至木、石工具同时应用^②,但是从已出土的春秋晚期到战国早期铁器来看,已经发展到较高水平,具有下列三个特点:

第一,铁已被广泛应用于各个方面。既用来制作各种铁农具如铲、铤、耜、铍等,还用来制作各种手工工具如削、凿、斧、锤等,又用来制作长短兵器如剑、短剑等,更用来制作烹饪器如鼎以及服装上用的带钩,也还用来制作铁丸和铁条等。

第二,已能根据不同用途的需要,采用各种冶炼技术和工艺。用“块炼法”炼出的熟铁块锻造弯曲的铁条,用生铁铸造工具、烹饪器以及铁丸等,用钢反复锻打制成锋利坚韧的钢剑,还用金银错的工艺制成铁带钩等精美工艺品。而且春秋、战国之际已使用退火处理技术,使铁农具变为可锻铸铁,提高其性能。

第三,当时冶铁业发展于南方和中原一些地区。首先发展于南方吴、楚两国,特别是楚国;其次是和楚国相邻的韩国和周的京都一带。传说春秋晚年吴国已制作干将、莫邪等著名的钢剑,到战国时代,楚国的兵器以锋利的铁剑、铁钺著名。近年来出土战国早期、中期的钢剑,主要是楚国的制作。与楚国相邻的韩国,也以制作锋利的钢铁剑戟著称。从目前考古发掘已取得成绩,结合古代文献来看,南方首先发展冶铁技术,是可以肯定的。1928年朱希祖先生发表《中国古代铁制兵器先行于南方考》一文^③,根据传说,认为古代铁兵器

① 《考古学报》1975年第2期,李众:《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》。

② 例如六合程桥春秋晚期2号墓出土残铁条的同时,还出土有青铜工具耜、铤、铍等。

③ 刊于《清华学报》第5卷第1期,1928年出版。

先流行于东南地区,是不错的。

1929年翁文灏先生著《为中国古代铁兵器问题进一步解》一文^①,在确认“吴、越、楚始用铁兵”的前提下,对“当时南方的铁所以能比北方好”的原因,作出两种解说,一是南方炼铁使用优质木材作燃料;二是使用的原料质量好。“北方如山西、河南、山东各省铁矿是最多的,但是大概属于水成的一类,成分不太高,不太纯粹,就如现在山西炼铁所用的都是这样;长江流域之内,这种铁矿几乎没有,可用的铁矿,大概地质学家叫做接触变质矿石。”“还有一种是河谷里或沿海边的铁沙,福建、浙江甚多,安徽北部和河南极南部也有一些。这种砂矿最容易炼成顶好的铁。”这一推断是很有见地的,直到后世,南方一带还常用由于风化作用形成的“土锭铁”或“砂铁”。南方的河谷或沿海边常有埋藏很浅的已经风化的富矿石,这就给南方人民较早地发明炼铁技术提供了方便。明末宋应星《天工开物》卷14《五金》部分讲到炼铁所用原料,主要是“土锭铁”和“砂铁”,“凡土锭铁,土面浮出黑块,形似秤锤,遥望宛然如铁,拈之则碎土。若起冶煎炼,浮者拾之。又乘雨湿之后,牛耕起土,拾其数寸土内者。耕垦之后,其块逐日生长,愈用不穷。西北甘肃、东南泉郡(今福建泉州),皆锭铁之藪也”。所说“其块逐日生长”,该是指这种风化的砂铁矿块,经过不断耕垦,不断浮现出来。宋应星所说的,主要是指当时他在南方看到的情况。这样采用“垦土拾锭”的办法来“起冶煎炼”,该是长期流传于南方一带的一种原始的采矿冶炼方法。

中国是世界上最早发明冶铸生铁技术的国家,这是大家公认的。1923年丁格兰(F. R. Tegengren)在《中国铁矿志》第2编《中国之铁业》中已经指出:“中国炼铁术之发明是否较近东诸国为古,虽尚未证

^① 刊于《认识周刊》(1929年)第7号;收入翁文灏《锥指集》,北平地质图书馆1930年版,第222—227页。

明。但中国一知生铁之后，即自发明新法以铸炼之。……中国铸铁工作之通行，盖远在欧洲一千五百年以前。此其原因，殆以沙型铸铜久已甚精，中国人即利用制铜之经验以应用于制铁故欤？”殷、周时代青铜冶炼和铸造技术的发展进步，的确大有助于此后冶铁技术的发展，促使冶铸生铁技术提早发明。有人认为中国的冶铸生铁技术差不多是和炼制熟铁块的块炼法同时发明的。我们认为这一说法是站不住的。在欧洲，从发明块炼法发展到冶铸生铁技术，先后经历了两千多年时间。中国由于殷、周时代冶铸青铜技术的高度发展，大大提前了冶铸生铁技术的发明时间，比欧洲早了一千九百多年。但是不能说中国的“块炼法”也和冶铸生铁技术差不多同时发明的。因为冶铸生铁技术毕竟要比“块炼法”先进得多，两者之间有很大的差距。中国从发明块炼法发展到冶铸生铁技术，可能经历的时间不太长，但毕竟需要生产者经历相当时间的生产实践，从中累积生产技术的经验，才能取得这样的发展。同样的，从冶炼海绵铁到发明渗碳制钢以及锻造钢剑，从冶铸生铁到发明生铁柔化处理技术、制成可锻铸铁，都必须经历一定的生产实践的时间，不可能都是春秋、战国之际同时发明的。不能因为这两种冶炼方法同时并存，就说是同时发明的。在一种进步的技术发明推广之后，原来比较落后的技术，由于还有一定用处，仍旧有继续应用的。在冶铸生铁技术发明推广之后，原有的块炼法还是有有一定用处的，因为熟铁块可以制作有一定用途的较柔软的铁器，而且在用生铁作原料的炒炼熟铁和钢的技术发明以前，要制造钢的工具和兵器，只有用块炼法炼出的熟铁来渗碳制钢。因此，在用生铁炒炼熟铁的技术发明以后，块炼法才会逐渐废弃。

1956年周则岳先生发表的《试论中国古代冶金史的几个问题》一文^①，有《关于铁的问题》一节。他首先叙述了近人有关古代冶铁

^① 刊于《中南矿冶学院学报》第1期，1956年7月出版。

问题的研究论文,他认为从这些研究论文中,只能得出两个结论:(1)春秋、战国时代突然的冶铁技术得到了高度发展;(2)春秋以前整个还是个空白的混沌之谜。接着他对于中国古代冶铁技术,作了下列三点的推测:

(1) 磁铁矿和有些赤铁矿,很容易被古人作普通硬石来砌炉灶,很容易被气体或固体还原剂在并不太高的温度下,还原为海绵铁。古人是很容易发明铁的。但是要发现它们可以在高温下锤锻成熟铁块,必须经过许多劳力或试验,甚至要花费数十百至千年的时间。在锤锻熟铁块的技术发明后,又必须经长期的艰苦劳动,才发明所谓“渗碳法”的制钢技术以及对钢的热处理(即退火与淬火)和机械加工(即锤锻)的方法。这一过程在中国似乎是在西周、东周之间开始,而在西汉才完成的。

(2) 铁矿虽容易还原为熟铁,但它的熔点是1539摄氏度,在古代是无法熔解的。然而只要有适当的高炉,充分的燃料,强力的鼓风,加以适当的技术控制,在旧式炉内风口附近的上部,也容易达到1300—1400摄氏度的温度,只要铁内吸收3%以上的碳,就能熔出生铁。我们的祖先很早掌握了这一规律(当然他们不可能知道其中的理论),因而比世界任何地方都早,就有了这一发明。它的发明时间,似乎与熟铁业的发展相当,也与西周、东周间经济政治转变的情况相适应。

(3) 中国古代高炉冶炼生铁的技术,很可能是直接受着高炉炼铜技术的影响而跃进的。古法冶炼的生铁,照例属于“白口”、“麻口”级的,不宜于冷铸,只有在高温1500度以上,并在特殊条件下,才能产生灰口铁,才适宜冷铸。而我国远在战国时代,燕国已能用冷铸法铸造农具(兴隆发现的燕国铁制生产工具铸范,所用的铸造技术应为“冷铸法”),依理所用生铁必须属于灰口铁,不然就必有特殊的铸造术,可能已使用还原剂。

以上三点,周先生是从冶铁技术的发展趋势来推断的。周先生认为西周、东周之交是熟铁业(即块炼法)的发展时期,又是冶铸生铁技术发明的时期。这个推断,就目前出土的实物来看,似乎太早了些。但是他指出,冶铸生铁技术远在块炼法发明之后,而在块炼法发展的同时;渗碳制钢技术的发明也远在块炼法发明之后,需要相当时间。我认为是合理的。从春秋末年已应用渗碳制钢和反复锻打的技术制造长 30 厘米的钢剑来看,可以肯定渗碳制钢技术在这以前早已发明和应用,当然块炼法的发明更远在其前。从西周初期还使用陨铁制作铜兵器的刃部来看,那时还没有发明块炼法。因此块炼法的发明,当在西周中期以后、春秋中期以前。很可能,西周、东周之交是块炼法的发明时期而不是发展时期。从春秋末年已有较高的冶铸生铁技术水平和春秋、战国之际已发明生铁柔化处理技术来看,冶铸生铁技术的发明至少在春秋中期。

1976 年黄展岳先生发表《关于中国开始冶铁和使用铁器的问题》一文^①,推定我国开始冶铁和使用铁器的时间在春秋后半叶,即公元前六七世纪间。主要有下列两点理由:

(1) 黄先生认为所有过去人们引用古籍和金文材料,用来说明中国开始冶铁和使用铁器问题的,都不可信。他采用宋代欧阳忞之说,否定《左传》上有关赵鞅“赋晋国一鼓铁,以铸刑鼎”的记载,认为“铁”是“钟”字之误。

(2) 黄先生列举近年出土的早期铁器,在考古断代上纠正了一些错误的看法。例如他指出:长治分水岭 12 号墓、14 号墓,有人对其中出土铜兵器上铭文作了不正确的考释,错误地把时代推定在春秋中期。他又指出目前所有出土早期铁器,都属于春秋末期和战国早期的,并断定:“这些被发现的铁器年代会比实际开始使用铁器的

① 刊于《文物》1976 年第 8 期。

时间晚些,但相距不会太久,估计其间距离大约几十年到一百年。”因而把开始冶铁和使用铁器的时间推定在春秋后半叶,即公元前六七世纪。

黄先生这个估计看来保守了。《左传》记载晋国用铁铸刑鼎的事,该是可信的。宋代欧阳士秀改“铁”为“钟”的说法是讲不通的,这在上一节已经谈到。尽管目前出土的铁器以春秋末年的为最早,但是春秋、战国之际已是冶铁技术的发展时期,这从上面列举的春秋、战国之际铁器的三个特点,就可以清楚地看到。从块炼法发明到冶铸生铁技术的发展,到渗碳制钢技术的发明,到生铁柔化处理技术的发展,必须经历一段实践和改进的过程,特别是在古代,不可能在短期内突然发展而一举成功的。十分可能,在南方某个地区,冶铁技术的发明和发展已有较久的历史了。当然,这个问题的最后解决,还有待于古代冶铁遗址和铁器的更多发现,有待于我们进一步作深入的研究。

第二章 封建社会前期冶铁业的发展和炼铁技术的进步

一 封建社会前期冶铁业的发展

战国以后，由于冶铁技术的进步，由于社会经济制度的变革，社会上对于铁器需要的增加，铁矿的开采、铁的冶炼和铁器的铸造，成为一种关系国计民生的重要手工业。因此冶铁业开始发展。

战国时代发现或开发的铁矿已经不少。据《山海经·中山经》和《管子·地数篇》说，这时“出铁之山三千六百九”，这个统计数字不一定正确，但可知这时被发现的铁矿一定很多了。同时在采矿中也已积累了一些经验，《管子·地数篇》说：“山上有赭者，其下有铁。”所谓“赭”，据李时珍《本草纲目》说，就是《本草经》上的“代赭”，俗称为“土朱”、“铁朱”，当是一种赤铁矿性质的碎块^①，它是和赤铁矿伴存的。当时这种具有科学根据的探勘矿苗的经验，必然是由于当时冶铁业的发展，不断地找寻矿苗而积累起来的。战国时代著作的《山海经·

① 章鸿钊《石雅》说：“案赭，《北山经》有美赭，《范子计然》谓之石赭，《神农本草经》谓之代赭，一名须丸，俗称铁朱（《本草纲目》），盖其质本为铁也。郭璞《流赭赞》云：‘沙则潜流，亦有运赭，于以求铁，赭在其下。’《管子》云：‘山上有赭，其下有铁。’皆言出有铁处也。”又说：“然赭为铁类，其色若朱，故俗称铁朱。……赤铁与赭，每生一处，如木之同根，水之同源也。而赤铁亦易化为赭，如子之育于母，青出于蓝也。”

五藏山经》，所载产铁之山共有 37 处。《西山经》中计有下列 8 处：(1)符禺之山“其阴多铁”，在今陕西省华阴县北。(2)英山“其阴多铁”，在今陕西省华阴县北。(3)竹山“其阴多铁”，在今陕西省渭南东南。(4)泰(秦)冒之山“其阴多铁”，在今陕西省延安县。(5)龙首之山“其阴多铁”，在今陕西省西安市北。(6)西皇之山“其阴多铁”。(7)鸟山“其阴多铁”。(8)孟(孟)山“其阴多铁”。《北山经》中计有下列 6 处：(1)號(号)山“其阴多铁”。(2)潘侯之山“其阴多铁”。(3)白马之山“其阴多铁”，在今山西省孟县东北。(4)维龙之山“其阴有铁”，在白马之山南 300 里。(5)柘山“其阴有铁”，在维龙之山南 170 里。(6)乾山“其阴有铁”。《中山经》中计有下列 23 处：(1)倭山“其阴多铁”，在今山西省蒲县南。(2)泰威之山有泉谷，“其中多铁”。(3)密山“其阴多铁”，在今河南省新安县。(4)橐山“其阴多铁”，在今河南省陕县西。(5)夸父之山“其阴多铁”，在今河南省灵宝县东南。(6)少室之山“其下多铁”，少室即今嵩山西部，在今河南省登封县北。(7)役山“多铁”，在今河南省新郑县西。(8)大隗之山“其阴多铁”，在今河南省密县。(9)荆山“其阴多铁”，在今湖北省南漳县西。(10)铜山“其上多金、银、铁”。(11)玉山“其下多碧、铁”。(12)岐山“其下多铁”，在今陕西省岐山县东北。(13)骊山“其阴多铁”。(14)虎尾之山“其阴多铁”。(15)又原之山“其阴多铁”。(16)帝困之山“其阴多铁”，约在今河南省泌阳县、南阳县之间。(17)兔床之山“其阳多铁”，约在今河南省嵩县、南阳县之间。(18)鲜山“其阴多铁”。(19)求山“其阴多铁”。(20)丙山“多黄金、铜、铁”。(21)风伯之山“多铁”。(22)洞庭之山“其下多银、铁”，在今洞庭湖旁。(23)暴山“多文石、铁”，在洞庭之山东南 180 里^①。上述有明确地点的产铁山 37 处，分

^① 此据郝懿行《山海经笺疏》。吴承志《山海经地理今释》所释，与此不同。据吴承志的考释，《西山经》的泰(秦)冒之山、龙首之山都在今青海，西皇之山等都在今西藏，战国时代中原人恐怕不具备那些地方的地理知识。

布于今陕西、山西、河南、湖北四省，即在战国时代秦、赵、韩、楚、魏等国统治地区，其中以在韩、楚两国的较多。

这时采矿技术也已相当进步。1972年发掘湖北大冶铜绿山楚国的铜矿遗址两处，其中24号勘探线的古矿井属于战国中晚期。当时的采掘方法，是用简单的铁工具，把矿井开掘达五十多米深，并有效地采取了竖井、斜井、斜巷、平巷等相结合的开拓方式，初步解决了井下的通风、排水、提升、照明和支护等一系列复杂的技术问题。竖井是交通孔道，把矿石和地下水提出地面，把井架支护送到井下，都必须经过竖井，靠辘轳、大绳和木钩等工具来提运。五十多米深的竖井，又分成几层，每掘一层竖井，就挖有一段平巷，每一平巷都装有辘轳，这样便可逐层提运，接力完成。从矿层表面开斜巷斜穿到底部，主要是为了探测矿藏；再沿水平方向开拓平巷，从矿层底部由下而上逐层开拓平巷。十条平巷的方向不一致，宽窄也不一样。在井下将采下的矿石经过分选，把贫矿、碎石和泥土充填废井，以保证运出的大多数是富矿，这样既可以有选择地进行开采，又可以减轻井下运输和提升的工作量。这种分段充填的上行采矿方法，是劳动人民在生产实践中的创造^①。

战国时代各国都有冶铁手工业，都有重要的冶铁手工业地点。其中以韩、楚两国的冶铁手工业最为发达，著名的冶铁手工业地点也最多。宛（今河南省南阳市）介于韩、楚两国之间，原来属楚，一度曾为韩所占有，是当时最著名的冶铁手工业地点，《荀子·议兵篇》所谓“宛钜铁铍（即铁矛）”，就是宛地所炼制的。韩国著名的锋利剑戟出产在冥山、棠谿、墨阳、合膊、邓师、宛冯、龙渊、太阿等地^②。战国时

① 参看《文物》1975年第2期，铜绿山考古发掘队，《湖北铜绿山春秋战国古矿井遗址发掘简报》。

② 见《战国策·韩策一》；《史记》卷69《苏秦列传》。

代各国国都都有较大规模的制铁作坊遗址，山东临淄齐国故都中有冶铁遗址四处，其中最大一处面积约四十多万平方米；河北易县燕下都城址有冶铁遗址三处，总面积也达三十万平方米；河南新郑韩国故都城址内仓城一带，也有较大规模的冶铁遗址发现。赵国国都邯郸（今河北省邯郸市）也是一个重要的冶铁手工业基地，邯郸人郭纵就以冶铁致富，据说财富与“王者”相等^①。临淄之所以能成为当时重要的冶铁地点，是因为淄河两岸有“朱崖式”的铁矿；邯郸之所以能成为当时重要的冶铁地点，是因为邯郸西北地区有丰富的“邯郸式”的铁矿。至今这两类型的铁矿在铁矿床类型中仍占重要地位。

战国时代各国的官营手工业，往往由各国中央或郡县所属的仓库掌管。所有府、库、仓、廩，不仅是官府所有物资储藏之所，同时又是手工业的造作场所^②。大体上，库以制造兵器为主，而府以制作其他器物为主，库与府都设有作坊，并设有工师、冶尹等工官主持。中央一级由相邦（即相国）监造，地方一级由郡守或县令、司寇等监造。制造者有“工”（工匠）或“冶”（金工），也还有刑徒和服兵役的“更”（兵卒）。河北兴隆寿王坟燕国冶铁遗址出土铁范八十七件，其中十多件铸有铭文“右仓”两字，或者释为“右仓”，或者释为“右廩”，亦当为一个仓库所属的作坊所在。

秦国自从商鞅变法以后，“收山泽之税”^③。所谓“山泽之税”，主要是制盐业和冶铁业的税。董仲舒曾说：秦“田租、口赋、盐铁之利，二十倍于古”^④。说明当时冶铁业发达，官府可以征得大量税收。秦

① 见《史记》卷129《货殖列传》。

② 参看《考古》1973年第6期，黄茂琳：《新郑出土战国兵器中的一些问题》；《考古学报》1974年第1期，黄盛璋：《试论三晋兵器的国别和年代及其相关问题》。

③ 《盐铁论·非鞅篇》。

④ 《汉书》卷24《食货志》。

国在某些重要城市设有盐铁市官，如秦昭王时，张仪和张若建设成都，就“置盐铁市官，并长丞”^①。这种盐铁市官，当是掌管盐铁在市上的买卖，并从中征税。秦国有些地方还设有铁官，如司马迁的祖先司马昌，曾“为秦主铁官”^②。这种铁官，当是掌管官营的冶铁业。同时秦国还设有主管开采铁矿的官，湖北云梦睡虎地秦墓出土竹简《秦律》，讲到“大(太)官、右府、左府、右采铁、左采铁课殿，贲嗇夫一盾”。左右采铁当是主管开采铁矿的官。

从战国经秦代，到西汉初年，冶铁业听任商人经营。例如赵国的卓氏原以冶铁致富，被秦迁到临邛后，继续经营冶铁，成为巨富；魏国的孔氏原以冶铁为业，被秦迁到南阳后，也靠冶铁成为巨富。程郑也是被秦迁到临邛后，靠冶铁致富的。西汉“文帝之时，纵民得铸钱、冶铁、煮盐”^③。不但吴王刘濞由于铸钱煮盐，“国用富饶”；商人胸邴也以冶铁成为巨富^④。当时官府把矿山的开采权租借给商人，由商人向官府缴纳一定的租金。例如邓通从汉文帝那里得到赏赐的蜀郡严道(今四川省荣经县)的铜矿、铁矿，他就把开采权租借给卓王孙，“岁取千匹”作为租金，由卓王孙加以经营，因而卓王孙“货累巨万”，而邓通所铸的钱也遍布天下^⑤。当时经营冶铁业的大商人所使用的劳动力多到一千人，大都是收罗来的“放流人民”^⑥，所谓“放流人民”当是流亡的农民；在有些地区由于特殊条件，有使用众多的奴隶性质的

① 《华阳国志》卷 3《蜀志》。

② 《史记》卷 130《太史公自序》。

③ 《盐铁论·错币篇》记大夫曰：“文帝之时，纵民得铸钱、冶铁、煮盐，吴王擅障海泽，邓通专西山。”

④ 《汉书》卷 35《吴王濞传》；《盐铁论·禁耕篇》记大夫曰：“异时盐铁未笼，布衣有胸邴，人君有吴王，皆盐铁初议也。”

⑤ 《华阳国志》卷 3《蜀志》临邛县下说：“汉文帝时以铁铜赐侍郎邓通，通假民卓王孙，岁取千匹，故王孙货累巨万亿，邓通钱亦尽天下。”

⑥ 《盐铁论·复古篇》。

“僮”，例如临邛地方经营冶铁业的卓氏有“僮”一千人，程郑有“僮”几百人^①。所谓“僮”，当是年轻的奴隶^②。

山东莱芜曾出土窖藏农具铁范 24 件，其中有犁、镰、耨的铁范。形制具有上承战国、下启西汉中期的特点，应属于西汉前期。犁作 V 形，与战国铁犁相同，但犁头已由钝变尖。耨的形制也和战国铁耨相同，但耨的刃部较宽。从其文字标志看，其年代下限应在汉武帝实行盐铁官营以前。这些铁范的文字标志，仅仅一字，有“李”、“汜”、“山”、“口”等字。“李”、“汜”（范）显然是经营冶铁业商人的姓氏，“山”、“口”可能也是姓氏，或者是私营作坊所在的地名标志^③。

西汉铁官所在地和冶铁遗址对照表

郡国名	铁官所在地	已发现冶铁遗址
京兆尹	郑(今陕西华县)	
左冯翊	夏阳(今陕西韩城县南)	
右扶风	雍(今陕西凤翔县南) 漆(今陕西郿县)	
弘农郡	宜阳(今河南宜阳县西) 澠池(今河南澠池县西)	新安(河南新安县孤灯村遗址)
河东郡	安邑(今山西夏县西北) 皮氏(今山西河津县) 平阳(今山西临汾县西南) 绛(今山西曲沃县东北)	安邑(山西禹王城遗址)
太原郡	大陵(今山西文水县东北)	

① 《史记》卷 129《货殖列传》；《汉书》卷 57《司马相如传》。

② 日本佐藤武敏《中国古代工业史研究》(日本吉川弘文馆 1962 年版)第 6 章《春秋战国时代制铁业》，采用宇都宫清吉《汉代社会经济史研究》第 9 章《僮约研究》之说，认为“僮”的原意是少年奴隶。当时商人所以都使用少年奴隶，是因为价格比较便宜，这在居延汉简中有明证。

③ 见《文物》1977 年第 7 期，山东省博物馆；《山东省莱芜县西汉农具铁范》。

续上表

郡国名	铁官所在地	已发现冶铁遗址
河内郡	隆虑(今河南林县)	隆虑(河南林县正阳地村遗址) 汤阴(河南鹤壁市鹿楼村遗址) 温(河南温县招贤村遗址)
河南郡	洛阳(今河南洛阳市东北)	巩(河南巩县铁生沟遗址) 荥阳(河南郑州市古荥镇遗址) 梁(河南临汝县夏店遗址)
颍川郡	阳城(今河南登封县东南)	
汝南郡	西平(今河南西平县西)	西平(河南西平县酒店村遗址) 西平(河南西平县冶炉村遗址) 郎陵(河南确山县打铁冢遗址)
南阳郡	宛(今河南南阳市)	宛(河南南阳市北关瓦房庄遗址) 复阳(河南桐柏县张畈村遗址) 鲁阳(河南鲁山县望城岗和煤渣岗遗址) 鲁阳(河南鲁山县马楼村遗址) 堵阳(河南方城县赵河村遗址)
庐江郡	皖(安徽潜山县)	
山阳郡	昌邑(今山东金乡县西北)	
沛郡	沛(今江苏沛县东)	
魏郡	武安(今河北武安县西南)	
常山郡	都乡(今河北井陘县西)	
涿郡	涿(今河北涿县)	
千乘郡	千乘(今山东博兴县西北)	
济南郡	东平陵(今山东章丘县西北) 历城(今山东济南市)	东平陵(山东东平陵故城遗址)
琅邪郡	东武(今山东诸城县)	
东海郡	下邳(今江苏邳县西南) 胸(今江苏连云港市西南)	

续上表

郡国名	铁官所在地	已发现冶铁遗址
临淮郡	盐渎(今江苏盐城县) 堂邑(今江苏六合县西北)	徐县(江苏泗洪县峰山镇遗址)
泰山郡	嬴(今山东莱芜县西北)	
齐郡	临淄(今山东淄博市东北临淄北)	
东莱郡	东牟(今山东牟平县)	
桂阳郡	郴(今湖南郴县)	
汉中郡	沔阳(今陕西勉县东南)	
蜀郡	临邛(今四川邛崃县)	
犍为郡	武阳(今四川彭山县东) 南安(今四川乐山县)	
定襄郡		成乐(内蒙古和林格尔遗址)
陇西郡	狄道(今甘肃临洮县)	
渔阳郡	渔阳(今河北密云县西南)	
右北平郡	夕阳(今河北迁西县西南)	
辽东郡	平郭(今辽宁盖县西南)	
中山国	北平(今河北满城县北)	
胶东国	郁秩(今山东平度县)	
广阳国		蓟(北京清河镇古城遗址)
城阳国	莒(今山东莒县)	
东平国	东平(今山东东平县东)	
鲁国	鲁(今山东曲阜县)	薛(山东滕县遗址)
楚国	彭城(今江苏徐州)	彭城(江苏徐州利国驿遗址)
广陵国	广陵(今江苏扬州东北)	
西域		大宛(新疆民丰县遗址) 龟兹(新疆库车县遗址) 于阗(新疆洛浦县遗址)

汉承秦制,政府设有两大税收机构:治粟内史(后改称大司农)主管征收地税,以供给中央官吏的俸禄和政府日常开支;少府主管征收山泽市井之税,以供给皇帝和皇室“私奉养”。盐铁的税是归少府征收的。元狩四年(公元前119年)^①,汉武帝把原属少府主管的盐铁收入,改归大司农掌管,并实行盐铁官营的政策,在全国四十九处重要冶铁地区设置了“铁官”,并在不产铁的地方,设置小铁官,“销旧器,铸新器”。“铁官”由大司农所属铁市长丞总管。

从上表可以看出,在每个西汉铁官之下,可以在重要冶铁地点设置一个或几个冶铁作坊。从西汉冶铁遗址出土的陶范、陶模、铁范、铁器的铭文来看,冶铁作坊以铁官所在郡县地名作为产品的标记,一郡中有几个作坊的,就依次按数字编号,以便考核管理。如河南郡作坊的产品有铭文作“河一”、“河二”、“河三”的,郑州古荥镇遗址出土的犁铧模、铲模上有隶书“河一”两字,巩县铁生沟遗址出土铁铲、铁铧上铸有“河三”两字,这就是当时在今古荥镇、铁生沟作坊的铸造铁器的标记(参看图2-1)。此外陕西陇县高楼村出土的铁犁铧和裤形铲上铸有隶书“河二”两字,也该是河南郡另一个冶铁作坊的产品。又如南阳郡作坊的产品有铭文作“阳一”、“阳二”的,南阳瓦

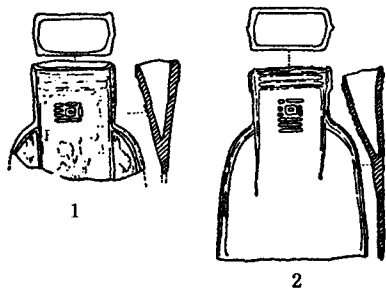


图2-1 汉代冶铁遗址出土的两种有铭文标志的铁铲

1. 郑州古荥镇遗址出土有“河一”铭文的铁铲
2. 巩县铁生沟遗址出土有“河三”铭文的铁铲

^① 《汉书》卷24《食货志》说:汉武帝元封元年(公元前110年)置盐铁官,不确。参看日本加藤繁《中国经济史考证》(吴杰译本),商务印书馆1959年版,第1卷,第34—39页。

房庄遗址出土犁铧陶模上有铭文“阳一”两字,当即该地作坊产品的标记;另外《贞松堂集古遗文》卷 15 第 12 页著录有隶书“阳二”两字铭文的铁耨拓本,该是南阳郡另一作坊的产品。还有出土铁器、陶模上有铭文作“东二”和“东三”的,陇县高楼村出土裤形铲铸有阴文“东二”两字,梓滨《谈几种古器物的范》一文^①收集有砂土质齿轮范上有阳文隶书“东三”两字,李京华先生推断这是河东郡两个冶铁作坊的产品标记^②,是可能的。山东滕县薛故城遗址出土铸范有隶书“山阳二”和“巨野二”等铭文,当是山阳郡两个冶铁作坊的产品标记。江西修水县龙上村出土铁铲、铁耨上铸有隶书“淮一”两字铭文,可能是临淮郡一个冶铁作坊所用的标记,因为此地距离临淮郡不远。当时有些设有铁官的郡县的作坊,只铸有地名一字、两字、四字而不编号的。例如云南鲁甸汉墓封土中出土铁耨上铸有“蜀郡成都”四字,《新纂云南通志》卷 82《金石考》2 著录有铁耨,左右铸有篆文“蜀郡”两字,下边又有“千万”两字连文,这都该是蜀郡成都等地作坊的标记。咸阳出土舌形铁铧,背面铸有隶书“川”字,铁铧的背面又铸有隶书“田”字,“田”字可能是京兆尹蓝田作坊的标记。《汉金文录》卷 4 著录有两件铲,一件有隶书“中山”两字,一件有“宜”字^③,“中山”两字当是中山国作坊的标记,“宜”字可能是宜阳作坊的标记。中国历史博物馆藏有“比阳”铭文的铁犁铧,当是比阳(今河南省泌阳县)作坊的标记。

从已发现的西汉冶铁遗址来看,当时冶铁作坊已有一定的分工,设在矿区的偏重于炼铁,也有兼顾铸造的,设在城市或城市附近的偏

① 刊于《文物参考资料》1957 年第 8 期。

② 见《考古》1974 年第 1 期,李京华:《汉代铁器铭文试释》。

③ 有“中山”铭文的农具又见《善斋吉金录》和《小校经阁金文》卷 13 著录,有“宜”铭文的农具又见《窳斋集古录》第 26 册、《清仪阁藏古器物文》第 2 册、《小校经阁金文》卷 13 著录。

重于铸造。

汉代冶铜、铸钱、冶铁等官营手工业都具有相当规模，都使用大量“卒徒”来从事生产，“卒”是指服役的兵卒，“徒”是指犯罪而罚充工役的人^①。贡禹在元帝即位之初（元帝在公元前48年即位）曾上书说：当时铸钱的官和“铁官”所使用开铜铁矿的“卒徒”多到十万人^②。各地“铁官”所用的“卒徒”，一般都有几百人。汉成帝阳朔三年（公元前22年）六月，颍川郡阳城“铁官徒”举行武装起义，参加这次起义的就有“铁官徒”申屠圣等一百八十人。汉成帝永始三年（公元前14年）十二月，山阳郡“铁官徒”举行武装起义，参加这次起义的就有“铁官徒”苏令等二百二十八人^③。颍川郡、山阳郡并不是当时最大的冶铁手工业地点，较大的冶铁手工业地点如宛、临邛等地“铁官徒”的数量必然更多。

由于冶铁手工业的发展，铁的生产率提高，铁在市场上的价格就比铜要便宜得多。战国时代铜和铁的价格，因为文献不足征，已无从比较，但铁价远比铜价便宜是可以肯定的。西汉初期，大概铁价只有铜价的四分之一。据《史记·货殖列传》说：当时做买卖每年有二分利润，放债每年可得二分利息，一个有铜器千钧（即3万斤）的商人，有铁器千石（即12万斤）的商人，有“千贯”（即100万文钱）本钱的高利贷者，其剥削收入都可和“千户之君”相等。当时封君每年可以向每户征取租税200文钱，“千户之君”每年剥削收入可有20万文钱。我们从这里可知当时铜器价格是铁器价格的四倍，铜器3万斤的价

① 《盐铁论·复古篇》记桑弘羊说：“卒徒衣食县官，作铸铁器，给用甚众，无妨于民。”《盐铁论·水旱篇》记桑弘羊又说：“卒徒工匠以县官日作公事，财用饶，器用备。”而贤良又说：“今县官作铁器，多苦恶，用费不省，卒徒烦而力作不尽。……卒徒作不中程，时命助之。”

② 见《汉书》卷72《贡禹传》。

③ 见《汉书》卷10《成帝纪》。

钱是 100 万文钱,即每斤价 33 文强;铁器 12 万斤的价钱也是 100 万文钱,即每斤价 8 文强^①。

封建社会前期冶铁业的分布地区不断在扩大。战国时代著作的《山海经·五藏山经》,所记出铁之山共 37 处,分布在今陕西、山西、河南、湖北四省。汉武帝所设 49 处铁官,在今山东有 12 处,河南、江苏各有 7 处,河北有 6 处,陕西、山西各有 5 处,四川有 3 处,安徽、湖南、辽宁、甘肃各有 1 处。到东汉时代,在西北、西南、东北等边远地区又略有发展。《续汉书·郡国志》所记产铁地点,除了西汉已设铁官之处以外,还有下列 8 处:(1)桂阳郡的耒阳(今湖南省耒阳县), (2)巴郡的宕渠(今四川省渠县东北), (3)越嶲郡的台登(今四川省冕宁县南), (4)越嶲郡的会无(今四川省会理县西), (5)益州郡的滇池(今云南省晋宁县东), (6)永昌郡的不韦(今云南省保山县东北), (7)北地郡的弋居(今甘肃省宁县南), (8)渔阳郡的泉州(今河北省安次县东南)。

汉代官营冶铁业往往是在民间已经开发的基础上收归官府经营的。不但中原地区是这样,就是边远地区也如此。例如《后汉书·循吏列传·卫飒传》说:“耒阳县出铁石,佗郡民庶常依因聚会,私为冶铸,遂招来亡命,多致奸盗。飒乃上起铁官,罢斥私铸,岁所增入五百余万。”由此可知耒阳的采矿冶铁业原来出于民间私人开创,东汉时卫飒才把它收归官营,禁止民间“私铸”的。

许多边远地区的冶铁技术,常是由中原迁往那里的人传过去的。

^① 《史记》卷 129《货殖列传》说:“通邑大都,酤一岁千酿,……铜器千钧,素木、铁器若扞茜千石,……子贷金钱千贯,……此亦比千乘之家,其大率也。佗杂业不中什二,则非吾财也。”又说:“封者食租税,岁率户二百,千户之君则二十万,朝觐聘享出其中。庶民农工商贾,率亦岁万息二千,户百万之家则二十万,而更徭租赋出其中,衣食之欲,恣所好美矣。”《史记·货殖列传》曾列举当时经营各行各业“百万之家”,他们每年的收入都有 20 万。做铜器千钧买卖的,做铁器千石买卖的,高利贷者有本钱千贯的,都是其中的一种。

例如《汉书·西域传》上说：“自宛(大宛)以至安息国，……不知铸铁器。及汉使亡卒降，教铸作它兵器。”说明西汉时西域各国的冶铁技术是汉的“亡卒”传授的。又如《晋书·庾翼传》说：“时东土多赋役，百姓乃从海道入广州，刺史邓岳大开鼓铸，诸夷因此知造兵器。”东土是指会稽郡。这说明东晋时广州一带的冶铁技术是由会稽郡流亡去的人传播开来的。同时也还有从中原派到边远地区的官吏，为了开辟荒地，推广使用铁农具而在那里创办冶铁业的。例如东汉初年，任延为九真郡太守，“乃令铸作田器”，“教之垦辟”(《后汉书·循吏列传·任延传》)。

西域在汉武帝以前大概只能制造一些简单的铜器，而且数量不多，因而缺乏金属工具。汉武帝以后，在中原的影响下，西域的冶金手工业有了发展，从中原去的移民那儿学会了冶铁和制作铁工具、铁兵器的技术。约为公元前1世纪以前的新疆罗布泊早期墓葬中，仅出土少数铜管和铜环；约为公元1—4世纪的罗布泊晚期墓葬和罗布泊遗址中，除发现铜镞和铅质器物外，还发现了铁刀、铁镞等铁器。尼雅遗址中也有镰刀、刀、锄、斧、镞等铁器的发现。尼雅、库车、洛甫等地还保存有冶铁、冶铜的遗迹。库车阿艾山冶铁遗址中出土了一件陶质鼓风管，和中原汉代冶铁遗址出土的相似。罗布泊、尼雅等地出土的铜镞和铁镞，多作双翼式和三棱式，和中原地区出土的也相同。《汉书·西域传上》说：“自且末以往，……畜产作兵，略与汉同。”它记载的是汉宣帝、汉元帝以后的情况^①，它讲到：“婼羌(今阿尔金山南麓)……山有铁，自作兵”；“鄯善(今车尔臣河以东若羌一带)……能作兵，与婼羌同”；“莎车(今莎车一带)……有铁山”；“姑墨(今阿克苏以北)……出铜铁”；“龟兹(今库车周围地区)……能铸冶，

^① 《汉书》卷96《西域传上》说：“自宣、元后，单于称藩臣，西域服从，其土地、山川、王侯、户数、道里远近翔实矣。”

有铅”；“山国(库鲁克塔格山西部北麓)……山出铁”。说明当时西域有许多地方产铁，已有冶铁手工业。从佉卢文书反映的情况^①，西汉晚期以后，西域已有自己的专业铁工。罗布泊遗址出土魏晋简牍中还提到西域当地出产的铁器，称为“胡铁”。例如：

前新入胡番二百九十枚。

前胡铁小锯△十六。

前胡铁小锯廿八枚^②。

入胡铁大锯一枚^③。

这说明当时在西域的戍卒们所使用的铁锯和铁番已靠当地少数民族所供应，因而特别加上了“胡”的称号。

云南地区的少数民族也是很早就学会冶铁技术的。虽然《续汉书·郡国志》开始记载滇池有铁，但是晋宁石寨山西汉时期墓葬中，已发现有铁器一百多件，其中除全用铁制的镞、削、矛、剑以外，还有一些铜铁合制的器物，如铜釜铁刃斧、铜釜铁刃戟、铜釜铁刃矛和铜柄铁刃剑等。这几种铜铁合制的器物，具有晋宁石寨山文物特有的风格，其形制和同地出土的同类铜器非常相像，无疑是当地滇人自己的制作。例如铜釜铁刃斧的特点身長腰细，刃略成半月形，和一些铜斧、铜镞形制全同。又如铜釜铁刃戟的特点是在“胡”和“内”之间有一长釜，用来受“秘”，这在中原地区的戈、戟中是少见的，只有这里出土的铜戈有这样的长釜。铜釜铁刃矛中有一种釜作六棱形的，釜旁只有一个环钮，这里出土的铜矛也有这样的釜。铜柄铁刃剑发现有四五十把之多，其形制大体一致，假如以之与这里出土的铜剑相比，除了铜剑较短以外，形制非常相似，如柄部都有较粗的茎，茎上都以

① 见《考古学报》1977年第1期，汪宁生：《汉晋西域与祖国文明》。

② 以上三条，见罗振玉、王国维：《流沙坠简》(1914年出版)器物类60—62简。

③ 见张凤：《汉晋西陲木简汇编》(1931年出版)二编第50页。

突起的圆点纹为基本纹饰；此外，无论铜剑或铜柄铁刃剑，多附有金皮的或铜皮的剑鞘，上面有晋宁石寨山文物中常见的花纹，这更是这里滇人所特有的风格，他处没有发现过。至于全用铁制的铁剑，附有滇人特有的剑鞘，也该是当地的制作。这些都足以证明西汉时代滇池已有自己的冶铁业。西汉时代滇池的冶铁业还处在开创阶段，晋宁石寨山出土的铁器数量远较青铜器为少，青铜器还居于优势，而且其中铜铁合制品还占很大比例。值得注意的是，这里的铜铁合制器物的共同特点在于铁都用在刃部，这说明当时冶炼出来的铁远较青铜锋利。其中一件铜柄铁刃经过鉴定，铁刃的成分属于高碳钢。这时能够制作长达一米的铁剑及其他武器，并使用高碳钢制作刃部，可见这里的冶铁业一开始就表现出相当高的水平，这正说明这种技术是从中原地区传来的。汉武帝时在西南地区相继设置犍为郡（公元前135年）、越巂郡（公元前111年）、牂牁郡（公元前111年）和益州郡（公元前109年），这就密切了中原地区和西南地区政治、经济和文化上的联系，当时滇人从中原学会冶铁技术而开创自己的冶铁业，应该说不是偶然的^①。

到魏、晋、南北朝时期，北方由于长期战乱，社会经济受到破坏，冶铁业也不免受到影响。《晋书·刑法志》说：“魏武帝时定甲子科，犯铁左右趾者，易以木械。是时乏铁，故易以木焉。”但是，由于铁农具为农业生产上必需的工具，同时兵器也必须用铁制作，所以各地还有一定的冶铁业存在。

《三国志·魏志·王脩传》注引《魏略》说，在曹魏实行屯田制的同时，鉴于“盐铁之利，足赡军国之用”，设置司金中郎将，主铸农具和兵器。有些重要产铁地方，就长期设置铁官掌管。例如晋人常璩《华阳国志》卷3《蜀志》“临邛县”（今四川省邛崃县）条说：“有古石山，有

^① 参看《考古》1963年第4期，林声：《谈云南开始制造铁器的年代问题》。

石矿,大如蒜子,火烧合之,成流支铁,甚刚,因置铁官,有铁祖庙祠。”临邛从战国以来,就是冶铁业的重要基地,汉代在此曾设铁官管理,后世也长期立冶鼓铸。河南澠池发现的汉魏窖藏的大量铁器中,有许多地名的铭文,如澠池(今河南省澠池县西)、新安(今河南省新安县)、夏阳(今陕西省韩城县西南)、绛邑(今山西省曲沃县东北)、阳成(今河南省登封县的告城镇)等等,这些地方都该设有官营冶铁作坊。

南北朝时期官营冶铁业主要制作兵器。例如后赵的石虎曾在丰国、澠池建立冶铁业^①,南燕的慕容德曾在商山(今山东省淄博市东)建立冶铁业^②。在北魏各地冶铁作坊中,以锻炼军刀的相州牵口冶(今河南浚县北)最为精工^③。拓跋焘时,刘宋攻破北魏碣碣戍,曾得“铁三万斤,大小铁器九千余口”^④,可见当时北魏铁的生产量不低。西魏冶铁和铁兵器制造业的规模也不小,例如在夏阳诸山设置铁冶,命令薛善为冶监,“月役八千人,营造军器”^⑤。当时北方民间制造农具的小型冶铸业,也普遍存在着。《魏书·食货志》说:“其铸铁为农具兵刃,在所有之。”但也常常为封建贵族和官僚所垄断。例如北魏咸阳王元禧“田宅盐铁,遍于远近,臣吏僮隶,相继经营”^⑥。又如崔挺做光州(治光城,今河南省光山县)刺史,州内少铁器,他就请求恢复设置铁官,加以经营^⑦。当时长江以南地区,有些地方冶铁业是比较发达的。晋代和南朝在江南地区设有梅根冶(在今安徽省贵池县东)和冶唐冶(在今湖北省武昌东南),除制造兵器以外,多为民间制

① 见《晋书》卷 106《石季龙载记》。

② 见《晋书》卷 127《慕容德载记》。

③ 见《魏书》卷 110《食货志》。

④ 《宋书》卷 95《索虏传》。

⑤ 《周书》卷 35《薛善传》。

⑥ 《魏书》卷 21《咸阳王禧传》。

⑦ 见《魏书》卷 57《崔挺传》。

造农具和日用铁器^①。茅山(在今江苏省句容县东南)、三白山(在今浙江省嵊县西南)等山区,也是当时重要的炼铁地点^②。冶城(今湖北省黄陂县东南)更是著名的冶炼兵器的地点^③。武昌的北济湖从元嘉初年起,还新建了“水冶”,就是用水力鼓风的冶铁手工业^④。梁时修筑浮山堰,曾用东西两个冶铁作坊所存铁器几千万斤沉在堰旁,可见当时铁的产量已不低。

二 冶铸生铁技术的快速发展

我国冶铸生铁技术所以能够比欧洲早一千九百多年发明,并很早得到发展,主要是由于下列两个原因:(1)我国自从殷商时代起,已有悠久的冶铸青铜的历史。殷商时代已有高度的冶铸青铜技术,已能铸造大件的青铜器,像近年出土的“司母戊大方鼎”,带耳高 137 厘米,重达 1 400 市斤。西周时代冶铸青铜技术也非常高,所铸造的“孟鼎”带耳高 100.8 厘米,重达 307 市斤。如果那时没有规模较大的冶金工场和较完善的冶金设备,是不可能铸成的。我们在河南郑州二里冈和安阳小屯的商代遗址,都曾发现过冶铜手工业的工场,规模已相当宏大。在这样一个较好的基础上,自然容易促使冶铸生铁技术提早发明。(2)鼓风方法的革新,是提高冶铁技术的主要关键。

① 《太平寰宇记》卷 105 池州铜陵县:“自齐、梁之代,为梅根冶,以烹钢铁。”同书卷 112 鄂州江夏县:“冶唐山,在县东南二十六里。旧记云:先是晋、宋之时,依山置冶,因名。”

② 《太平御览》卷 665:“而近造神剑斫十五芒,……以齐建武元年甲戌岁八月十九日辛酉建于茅山。”同书卷 46 引《南徐州记》:“刺县有三白山,出铁,常供戎器。”

③ 《舆地纪胜》卷 49:“冶城在黄陂东南十五里。梁武为刺史,治战守之具。今火迹犹存。”

④ 《太平御览》卷 833 引《武昌记》。

冶铸生铁技术的发明和发展,是和冶铁鼓风机改进分不开的。无疑的,由于我国古代劳动人民在冶金手工业的劳动中积累了经验,革新了鼓风设备,扩大了冶铁炉,使得冶铁炉的温度有了进一步的提高,这样就发明了冶铸生铁的技术。而欧洲是在使用水力鼓风机机械设备的情况下发明冶铸生铁技术的。实际上,要使铁在冶铁炉中熔化成液体,能够流到炉外来,并不一定需要水力鼓风机机械设备。如果炉身比较高,所加的燃料比较充足,运用较多的人力鼓动较大或较多的鼓风设备,同样可以提高冶铁炉的温度,使冶铁炉生产出液体的生铁来。我们只要看明清两代的冶铁炉,它们很多没有用水力鼓风机机械设备,不是照样能产生铁么?近几十年来,我国西北和西南有些产铁地区,还是有用这种“土法”在冶铸生铁的。

利用皮囊鼓风来提高窑或炉的温度的办法,在我们中国是很早发明的。中国在殷商时代已有高度的冶铸青铜技术,已能铸造“司母戊大方鼎”这样巨大的青铜器,铜的熔点约为1 000摄氏度,如果那时没有鼓风设备,就很难想象他们是如何提高冶金炉的温度的。河南郑州南关外商代冶铜遗址、安阳殷墟附近商代冶铜遗址以及山西侯马东周冶铜遗址,都曾发现陶质鼓风嘴。

中国古代的冶铁炉是很早就有鼓风设备的。古时的鼓风设备是一种特制的大皮囊,形式和当时一种盛物的叫做“橐”的皮囊相类似,两端比较紧括,中间鼓起好似橐驼(即骆驼)峰,旁边有个洞口装着简管通到冶铁炉边。在这个大皮囊上有把手,用手拿把手来鼓动,就可把空气不断地压送到冶铁炉中,以促进炉中木炭的燃烧,从而提高冶铁炉的温度。这时的冶铁炉,叫做“橐”。鼓风的大皮囊因为形式像橐,就叫做“橐”^①。

① 黄以周《释囊橐》说:“橐之制与冶家所鼓炉橐相似,两端紧括,洞其旁以为口,受龠吹垂,以消铜铁,故《老子》谓之橐龠,亦谓之排橐。”又说:“卧其橐如驼峰,故谓之橐驼。”(《傲季杂著·史说略》四)

囊上吹出空气的筒管因为和管乐器的竹管差不多,就叫做“龠”,瓦制的叫“𪔐”^①。这种鼓风设备或者总称为“囊龠”。这个冶铁鼓风机,或者总称为“键囊”。西汉冶铁的主要工具,有键、囊、埤(或作锤)、坊四种^②。埤或锤,据《淮南子·本经篇》高诱注是“铜囊口铁筒”,就是铁制的“龠”,囊便是从这个管子压送空气入炉的。坊,据《淮南子·齐俗篇》高注是“土型”,即是土制的模型。在这四种工具中,键、囊是最重要的。

战国时代的道家著作《老子》,曾把宇宙间整个空间比作这种鼓风设备。书中说:“天地之间,其犹囊龠乎?虚而不屈,动而愈出。”这种鼓风用的大皮囊很富于弹性,在空虚的时候是鼓起来的,愈是鼓动它,空气也就愈吹出来,确是“虚而不屈,动而愈出”的。张衡《玄图》说:“囊龠元气,稟授无原。”陆机《文赋》说:“同囊龠之无穷,与天地乎并育。”就是采用《老子》的说法的。因为古时冶铁是拿着大皮囊的把手来鼓动吹火的,所以这样的操作就称为“鼓”,冶炼铸铁往往被称为“鼓铸”了。唐代孔颖达所著的《春秋左传正义》,解释《左传》昭公二十九年的“一鼓铁”,就曾说:“冶石为铁,用囊扇火,动囊谓之鼓,今时俗语犹然。”

- ① 《说文解字》说:“𪔐,治囊榦也。”“𪔐”或误作“𪔐”、“𪔐”,《广韵》说:“𪔐,排囊柄也。”《五音集韵》说:“𪔐,排囊柄也。”段玉裁《说文解字》注说:“治囊谓排囊,……治者以韦囊鼓火,《老子》之所谓囊龠也。其所执之柄曰𪔐。榦犹柄也。𪔐或讹作𪔐,而《广韵》以‘排囊柄’释之,《玉篇》以‘似瓶有耳’释𪔐。……排囊之柄,古用瓦为之,故字从瓦。后乃以木为之,故集韵作‘榦’,从木。”而陈诗庭《读书证疑》卷3说:“榦即其呼吸之气口,字从今者,皆有舌义,故知其为气口也,当以瓦为之,故字从瓦,形如竹筒,故曰榦曰柄。”当以陈说为是,那么,“𪔐”也就是瓦制的“龠”了。《文物》1960年第1期周尊生:《汉代冶铸鼓风设备之一——𪔐》一文有相同的见解。
- ② 《庄子·大宗师篇》说:“皆在键锤之间耳。”《淮南子·本经篇》说:“鼓囊吹埤,以销铜铁。”《淮南子·齐俗篇》说:“键囊埤坊说,非巧冶不能以冶金。”《论衡·量知篇》说:“铜锡未采,在众石之间,工师凿掘,键囊铸铄乃成器。未更键囊,名曰积石。”

战国时代,由于开矿技术和冶铁鼓风技术的进步,封建统治阶级已把这些生产技术和设备运用到兼并战争中去。他们不仅把开矿技术运用到攻城的战争中去,开始使用地道战术;而且把冶铁鼓风设备作为抵御地道战的防御武器。根据《墨子》的《备城门篇》、《备突篇》和《备穴篇》,当时运用“橐橐”来防御地道战的具体方法是这样的:凡是遇到敌人在城墙上掘洞或是从地底下掘地道向城里进攻的时候,必须先挖掘深井,使听觉灵敏的人吊到井中,伏在用薄皮裹口的大陶瓮上静听,察知敌人所掘地道的方位,然后挖掘地道前往迎接它。等到地道快要掘通到敌方地道的时候,就得建筑灶、窑、镗等设备,烧柴艾。等到地道掘通到敌方,就得用木板挡住,使有一孔通向敌方,用“橐”来鼓动,把灶、窑、镗中的烟压送到敌方的地道中去,以窒息敌人。或者把整个井穴作为镗灶,烧柴艾,用盆把井口封住,只留一孔,用“橐”来鼓动,把烟压送到敌方地道中去,使敌人不能从地道攻进城来^①。这是战国时代普遍应用的一种战术,这种战术还曾沿用很长的时间^②。

- ① 《墨子·备突篇》说:“城百步,一突门。……门旁为橐,充灶伏柴艾,寇即入,下轮而塞之,鼓橐而熏之。”《备穴篇》说:“置井中,使聪耳者伏罽而听之,审知穴之所在,凿穴迎之;……穴内口为灶,令如窞,令容七八员(丸)艾,左右窞皆如此。灶用四橐,穴且遇,以颡臯(桔槔)冲之,疾鼓橐熏之。必令明习橐事者,勿令离灶口。……穴则(即)遇,以版当之,……凿其窞,通其烟,烟通,疾鼓橐以熏之。”又说:“具橐橐,橐以牛皮,橐有两甌,以桥(桔槔)鼓之百十,……然(燃)炭杜之,满橐而盖之,毋令气出。适(敌)人疾近吾穴,……即以伯(倚)凿而求通之。”又说:“凿井城上,为三四井,内新甌井中,伏而听之,审知穴之所在,穴而迎之,穴且遇,为颡臯,……用颡臯冲之,灌以不洁十余石,趣伏此井中,置艾其上七八员(丸),盆盖井口,毋令烟上泄,旁其窞口,疾鼓之。”又说:“当穴者客争伏门,转而塞之为窞。容三员(丸)艾者,令其突人伏尺,伏窞突一旁,以二橐守之。”(文中错字,据孙诒让《墨子闲诂》校正。)《墨子·节用上篇》说“有与侵就便橐攻城野战死者,不可胜数”,孙诒让《墨子闲诂》认为“便”是“伏”之误。《韩非子·八说篇》也说:“干城拒冲,不若堙穴伏橐。”所谓“堙穴伏橐”,便是指这种地道战术和防御地道的战术。
- ② 《墨子·备穴篇》毕沅注说:“《通典·守拒法》云:‘审知穴处,助凿迎之,与外相遇,即就以干艾一石,烧令烟出,以板于外,外密复穴口,勿令烟泄,仍用辅袋鼓之。即其遗法。’”

战国时代战争中如此广泛地应用“镝囊”，是当时冶铁手工业的生产中“镝囊”技术进步的结果。

我国炼铁技术是在炼铜技术的基础上发展起来的。春秋时代的炼铜设备已使用竖炉。1976年在湖北大冶铜绿山古矿冶遗址发掘出三座保存基本完整的春秋时代的炼铜竖炉。炉型为圆锥形，由炉基、炉缸、炉身三部分组成。炉基筑在当时的地面下，有通风沟横贯炉底。炉缸架在通风沟上，内壁用高岭土涂糊，外壁用红黏土混合铁矿粉夯筑而成。内外壁共厚30—40厘米。炉缸的水平截面呈椭圆形。炉身上部倒塌，按照炉壁留存烧瘤高度及鼓风口位置推算，整个炉高1.2—1.5米左右。作为出铜、出渣的“金门”筑在炉缸壁的下部，呈半圆形。鼓风口筑在炉缸壁上。原有两个鼓风口，现残存一个，呈喇叭形，口径约5厘米。炉旁筑有工作台，用于加料和放置鼓风设备^①。同时熔铜设备，既有中型和小型的坩埚炉，也有大型熔铜炉。

我国古代的炼铁炉，除了简单的块炼炉以外，主要冶炼铸铁的炉也有高炉（即竖炉）和坩埚炉两种，就是在炼铜竖炉和熔铜坩埚炉的基础上发展起来的。我国古代熔铜技术，采用“内加热”的办法，就是把铜料和木炭一起加入炉中并鼓风燃烧来熔化的。“内加热”熔铜的热效率较“外加热”为高，可以取得较好的熔铜效果。我国古代冶炼铸铁的坩埚炉和高炉，也都采用“内加热”的办法，把碎的铁矿石和木炭分层加入炉中并鼓风燃烧来熔化的。正是因为我国很早就有发达的炼铜铸铜技术，冶铸生铁技术很早就发明了，并得到较快的发展，生铁很早就成为冶铁手工业的主要产品。

冶铸生铁技术的快速发展，可以说是我国封建社会前期炼铁

^① 见《光明日报》1978年6月23日《文物与考古》第85期，湖北省文物局文物处：《我国春秋时期已采用竖炉炼铜》。

技术的主要特点。到目前为止,战国冶铁遗址还没有进行较大规模的系统发掘,当时炼铁炉及其冶炼技术的情况,我们还不够明了,但是从大量出土的生铁铸件来看,当时生铁已成为冶铁业的主要产品。

从文献记载来看,战国、秦、汉的冶铁业已经普遍采用鼓风冶铁炉冶铸生铁。根据《史记·货殖列传》记载,卓氏的祖先本是赵国人,当秦攻破赵国时,卓氏被迁到了临邛,在临邛“即铁山鼓铸”,富到有僮(奴隶)一千人。又孔氏的祖先原是魏国人,当秦征伐魏国时,孔氏被迁到了宛,因在那里“大鼓铸”,富到有几千金的家产。所有这些战国、秦、汉间经营冶铁业的大商人,他们的冶铁技术,或者说是“即铁山鼓铸”,或者说是“冶铸”,或者说是“大鼓铸”,很显然,都已使用鼓风冶铁炉,都已采用冶铸生铁技术。

所有汉代的历史文献,谈到冶铁,没有不称为“冶铸”或“鼓铸”的。例如《汉书·张汤传》说:“赵国以冶铸为业,王数讼铁官事。”《汉书·徐偃传》说:“偃矫制使胶东、鲁国鼓铸盐铁。”说明当时已普遍应用冶铸生铁技术。汉武帝元狩四年(公元前119年),西汉政府把盐铁业收归官府经营,次年任用大商人东郭咸阳和孔仅做大农丞,管理盐铁业。东郭咸阳和孔仅奏请汉武帝在法律上规定:“敢私铸铁器、鬻盐者钦左趾,没入其器物。”^①这样在法律上规定禁止“私铸铁器”的条文,可见这时铁器大都是用生铁铸造的。汉昭帝始元六年(公元前81年),西汉政府召集了天下的开明绅士所谓“贤良”和读儒家书的所谓“文学”六十多人来到京师,和御史大夫桑弘羊辩论盐铁和酒的官营政策。桑弘羊说:官府里有“卒徒”“作铸铁器”。又说:过去豪强大家“采铁石鼓铸,煮海为盐”^②。又说:由官府“铸农具”,可使人

① 《汉书》卷24《食货志》。

② 《盐铁论·复古篇》。

专心本业，不经营末业。而贤良们却说：官府“鼓铸铁器”，大都是大器，不适合民用^①。从这些辩论中，也可以清楚地看到当时铁器主要用生铁铸造。

东汉已有生铁的名称，《淮南子·修务篇》：“苗山之铤，羊头之销。”东汉许慎的注说：“销，生铁也。”^②同时《神农本草经》的玉石部，已把“生铁”列入药中，说：“生铁微寒，主疗下部及脱肛。”最古的医书《素问》，其《病能篇》曾说有一种病名“阳厥”的，患这种病的人常常发怒，医治要“以生铁落为饮”。并且说：“夫生铁落者，下气疾也”^③。所谓“生铁落”是生铁上打落下来的细皮屑。同时东汉也已有熟铁的名称，许慎《说文解字》说：“铍，铁之荚也。”铍就是软铁的专门名称，软铁也就是熟铁。生铁是对熟铁而言的，软铁是对硬铁而言的。

三 炼铁工艺多方面的创造

封建社会前期的炼铁工艺，取得了多方面重大的发展。除了冶铸生铁技术有快速发展以外，更有铸铁柔化处理工艺的创造、铸造低硅灰口铸铁以及类似球墨铸铁工艺的发明，同时也还继续生产块炼铁，用作炼制渗碳钢的原料。现在分别叙述于下。

一、铸铁柔化处理技术的创造和发展

自从铸铁冶铸技术发明以后，铸铁的生产效率高，铸造又方便，

① 《盐铁论·水旱篇》。

② 见《文选》卷 35 张协《七命》李善注引许慎《淮南子注》。

③ 近人都认为《素问》主要是战国时代的著作，但也杂有秦、汉以后人的医论。“生铁”名称不见于战国书籍，《素问》中这部分可能出于汉代人之手。

这是使得铁器得以广泛应用的重要因素之一。但是,早期只能生产白口铸铁,白口铁耐磨,性脆而硬,强度不够,只适宜铸造犁铧等农具,不适宜制造需要质量坚韧的农具和工具。中国至少在公元前5世纪的春秋、战国之际,已经创造了铸铁柔化处理技术,把白口铁进行退火处理,使变为可锻铸铁(或称韧性铸铁)。这种可锻铸铁,和现代球墨铸铁以及某些合金铸铁相比,只属于中等强度。但是在古代,和脆硬的白口生铁、麻口生铁和不具韧性的灰口生铁相比,它无疑是一种优质的高强度铸铁,适宜于铸作农具和手工工具。洛阳市博物馆最近在洛阳水泥制品厂春秋、战国之际灰坑中发现了一件铁铧和一件空首铁铲,经过金相检验,证明这两件都是白口铁经过一定的柔化处理而得到的可锻铸铁。铁铧经过脱碳退火,表面冷却后形成一层珠光体组织,使铸件减小了脆性,提高了韧性,改善了性能,但这一脱碳层很薄,表明退火的温度较低,大约750度左右,退火的时间也不长,这可以认为是可锻铸铁的初级阶段(参看图版2)。空首铁铲则作了进一步的退火处理,除表面是脱碳层以外,中心部分已有发展得比较完善的团絮状石墨组织,成为黑心可锻铸铁(参看图版3)^①。还有长沙识字岭314号墓出土春秋末年的小铁耒,其组织未经检验,但它的器形和1957年长沙出土并经鉴定为可锻铸铁的战国铁耒完全相同,因此很可能是同类产品。

这种工艺到战国中晚期,在楚、魏、赵、燕等国广大地区,已被广泛应用于制作农具和武器。河北石家庄出土的战国铁斧,河南辉县固围村出土的铁耒^②,湖北大冶铜绿山古矿井出土的六角铁锄、铁斧^③,湖

① 见《考古学报》1975年第2期,李众:《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》。

② 见《考古学报》1956年第2期,孙廷烈:《辉县出土几件铁器底金相学考察》。

③ 见《文物》1975年第2期,大冶钢厂冶军:《铜绿山古矿井遗址出土铁制及铜制工具的初步鉴定》。

南长沙出土的铁锛，都是用白口铁经过柔化处理而得到的可锻铸铁。石家庄出土铁斧和辉县出土铁锛，由于在氧化气氛下进行脱碳处理，铸件的外层已成为钢的组织，而内层还是白口铁，实际上成为钢和铁共存于同一工件中的复合组织。铜绿山出土铁锄、铁斧，经过氧化脱碳并析出部分石墨，属于白心可锻铸铁。湖南长沙出土铁锛外形端正，制作精细，壁厚仅1—2毫米左右，是以铁素体和珠光体为基体的黑心可锻铸铁^①。

从春秋、战国之际到战国时期，铸铁柔化处理技术还处于初期阶段，固然已经出现白心和黑心两种可锻铸铁件，但多数是脱碳不完全的钢铁复合件。到西汉中期以后，由于冶铁业实行官营，这种技术得到进一步的发展。不但工艺比较成熟，而且分布地域遍及全国。从已发掘的汉代冶铁遗址来看，西汉中期以后的官营冶铁作坊，已经普遍采用这种技术作为常规工艺方法。脱碳不完全的白心可锻铸铁已较少见，黑心可锻铸铁多数以铁素体——珠光体基体为主，以适应铁农具必须具有较高强度和耐磨性的要求。

从河南巩县铁生沟和南阳市北关瓦房庄两个汉代冶铁遗址所出铁器来分析检验，可以看到汉代农具主要采用可锻铸铁。瓦房庄所出经过检验的12件铁农具中，有9件是可锻铸铁，两件是铸铁脱碳钢，另一件是白口铁。铁生沟所出一件铁镢，经鉴定也是可锻铸铁。这表明不论像铁生沟那样以炼铁为主、兼营锻铸的联合作坊，或是像瓦房庄那样铸铁、锻铁而不炼铁的冶铸作坊，都已普遍采用这种铸铁柔化技术。从质量上看，当时制作这种可锻铸铁的技术已相当稳定。河南出土的这类可锻铸铁制品，退火石墨的形状多数比较规整，呈典型的团絮状，而且分布均匀。在检验的试样中，从未见到铸件边缘部

^① 见《考古学报》1960年第1期，华觉明、杨根等：《战国两汉铁器的金相学考查初步报告》。

分有因氧化过烧而造成的黑色氧化铁,在铸件中心部分也极少见到有残存的莱氏体。可见汉代这方面的技术,从熔化铁液、制备泥范、浇注成形,到高温退火和出炉冷却,各个工艺环节的进行都是比较正常而稳定的,操作技术是高度熟练而精细的。白心可锻铸铁和黑心可锻铸铁比较,在性能上黑心的要比白心的强些,在制作技术上黑心的要比白心的困难些。而汉代冶铁工人已经能够在使用高碳低硅白口铸铁的生产条件下,制作出多数属于黑心的可锻铸铁,这是难能可贵的。汉代的可锻铸铁,除了少数石墨较为粗大或者形成较粗的珠光体(可能由于退火周期过长)以外,不少工件已和现代可锻铸铁无本质的区别。汉代的黑心可锻铸铁,也和现代的工艺要求差不多,除少数是铁素体基体外,多数是铁素体—珠光体基体或珠光体基体的黑心可锻铸铁。看来当时已能采取适当措施来控制铸件的金属组织,改进机械性能,以达到制造较高强度和耐磨性能的工具的要求^①。

东汉以后,这种铸铁柔化技术仍然使用很广。除了小型农具如耜、锄、镰和小型工具如斧之类用可锻铸铁以外,较大的犁铧也开始用可锻铸铁。河北武安午汲古城出土东汉铁犁,就是一件脱碳不完全的白心可锻铸铁^②。1974年河南滎池出土一批窖藏汉魏至北朝的铁器,共60多种,4000多件,其中相当一部分采用可锻铸铁制成,如小铁镢是用白心可锻铸铁制成,铲和犁铧用黑心可锻铸铁制成^③。

还值得注意的是,南阳市瓦房庄汉代冶铁遗址的东汉地层中出

-
- ① 参看《考古学报》1978年第1期,河南省博物馆、石景山钢铁公司炼铁厂、中国冶金史编写组:《河南汉代冶铁技术初探》。
 - ② 见《考古学报》1960年第1期,华觉明、杨根等:《战国两汉铁器的金相学考查初步报告》。
 - ③ 见《文物》1976年第8期,北京钢铁学院金属材料中心化验室:《河南滎池窖藏铁器检验报告》。

土的 135 号铁镢，它的石墨组织虽不是出自铸态，而是在高温退火时形成的，但形状规则，接近球状，边缘也很光滑，提高了工件的机械性能。它的抗张强度预计可达 40—60 公斤/毫米²，延伸率 4%—8% 左右，作为小农具质量相当优良^①。它的含硫量不高，而石墨组织与现代高硫球墨可锻铸铁相似。远东汉时代能取得这样的成就，确是值得称许的。

《盐铁论·水旱篇》中记载桑弘羊说：“家人会合，徧于日而勤于用，铁力不销炼，坚柔不和。”又说：“吏明其教，工致其事，则刚柔和，器用便。”这是说，私人聚合众人经营的冶铁业，由于农闲日子少，制作时间仓促，急于制成应用，对熔炼的火候掌握不准，结果制成的铁器坚柔不和，质量不高。官营冶铁业有官吏指导，工匠致力于他们的工作，就能炼制“刚柔和”的铁器，便于作为工具使用。从桑弘羊这段议论，结合西汉官营冶铁作坊遗址出土的铁器来看，可以认为，桑弘羊把“坚柔不和”和“刚柔和”作为鉴别铁工具优劣的标准，就是指铸铁柔化处理技术的水平而言的。这种技术的操作和管理，确实需要经历相当长的时间，必须精心细致地加以管理，如果时间仓促，急于求成，就不可能达到预期的效果。

如果用现代科学技术观点加以分类，我国古代铸铁柔化技术可以分为两种方法：(1)一种方法是在氧化气氛下对铸铁件进行退火脱碳处理。当热处理温度较低、退火时间较短时，成为脱碳不完全的白心可锻铸铁，外层是熟铁和钢的组织，而内层仍为白口组织；当脱碳完全时，白口组织消失，成为质量较好的白心可锻铸铁。这种铸件，战国时已经出现，到西汉中期以后达到成熟阶段。如果适当控制时间和温度，在退火时基本不析出石墨，而使生铁中多余的碳被氧化成气体脱掉，就成为全钢组织，这就是铸铁脱碳钢。这种铸铁脱碳钢，

^① 见《考古学报》1978 年第 1 期，河南省博物馆等：《河南汉代冶铁技术初探》。

西汉已经出现,到东汉达到成熟阶段。(2)另一种方法是在中性或弱氧化气氛下,对铸件进行长时间高温退火处理,使成为黑心可锻铸铁。根据已经检验的古代铁器来看,战国黑心可锻铸铁大都是铁素体基体,汉代以后,以铁素体——珠光体基体和珠光体——铁素体基体为主。石墨一般呈团絮状,少数呈粗大的菜花状,也还有作球状的。

我国所以能够这样早创造铸铁柔化处理技术,是由于当时生铁冶炼技术进步较快,白口铁比较广泛地用来铸造工具,在铸造和使用白口生铁工具中,逐渐发现了白口生铁长期受热会变得柔韧的规律。西汉中期以后可锻铸铁所以能够普遍达到相当高的水平,是由于官营冶铁作坊采用了大致相同的常规工艺方法。

当时制成可锻铸铁的常规工艺方法,主要有下列四点:

(1) 制成可锻铸铁的坯件,采用了高碳、低硅、薄壁白口生铁铸件。现代可锻铸铁的坯件,使用高硅低碳的铁水铸成,但在我国古代,则用高碳低硅的白口生铁。可锻铸铁的坯件所以必须用白口生铁,这是因为坯件中如果有片状石墨析出,经过退火,石墨会长大,甚至使得退火处理失败。当时这种白口生铁含碳量相当高,一般在4%以上,很有利于石墨析出;所含硅分虽低,但硫分也低,含铬量大多小于0.01%,对于石墨化过程一般都不起明显的阻碍作用。同时由于这种生铁使用木炭熔炼,生铁中含气量低,含氧化亚铁少,非金属夹杂也较少,金属结晶粒细,比较容易进行退火处理。这时作为坯件的生铁工具的造型特点是,器形较小,薄壁而作嵌刃式(即所谓“铁口”),或者带釜。因为铸件壁薄,冷却快,内应力大,退火时可生成较多的石墨核心,从而可以细化石墨。如果器形过大,必然具有较大的厚壁,退火处理将十分困难,不可能达到完全退火的目的。

(2) 使用铁范铸造生铁铸件,可以保证取得薄壁的白口生铁。战国中晚期已较多使用铁范铸造铁器,到西汉中期以后,铁范为官营

冶铁作坊所普遍应用,近年来南阳、巩县、郑州、莱芜、镇平等地冶铁遗址都出土有大量铁范或翻制铁范用的陶模。同时各地出土的铁农具和手工工具如铁耩、铁锄、耨铍、犁铍、镰、斧等,有相当数量是用铁范浇注而成。使用铁范浇注铁器,由于铁范导热性良好,浇注后冷却速度快,可以保证取得白口生铁。又由于范壁厚度一致,使铸件冷却速度均匀,可以得到薄壁而结晶良好的铁器。而且使用金属型铸件,石墨化核心可以大为增加。所有这些都助于进行退火处理时加速石墨化,从而取得可锻铸铁。从出土的汉、魏可锻铸铁工具来看,大多数壁厚3毫米,有的仅1.5—1.6毫米,这是为了适应退火处理工艺的需要。要取得这样薄壁的铸件,在当时手工业技术条件下,必须采取一系列的工艺措施,例如顶浇、预热铸型、提高铁水温度等等。

(3) 把薄壁白口铁工具套合叠放在加热炉或窑中,成批进行退火处理。已发现的汉代冶铁遗址中,有成百件铁工具套合叠放在一起的。金相检验中多次发现这些铁工具的釜底的脱碳程度,比釜壁外侧为甚,这一现象,当是由于同类铁工具交叉叠放,釜壁外侧受到保护,而釜底较多接触炉气的结果。巩县铁生沟冶铁遗址中发现有西汉后期15号地坑式加热炉一座^①。华觉明先生认为:“巩县铁生沟汉代地坑式加热炉,结构相当讲究,炉底和侧壁都设有火道,热能利用和温度分布比较合理,采用这样的退火设施,就有可能获得该遗址出土铁耩、铁铲那样质量良好的韧性铸铁件。北京农业机械厂采用地坑式退火炉,生产壁厚为1.5—2.5毫米的韧性铸铁,效果很好,认为操作方便,温度均匀,适用于小批量生产”^②。

巩县铁生沟发现西汉后期地坑式加热炉,长方形,长3.47米,宽

① 《巩县铁生沟》发掘报告把这种加热炉定名为“反射炉”,认为用于炒炼熟铁或钢,但是从整个炉的结构来看,不应是反射炉,不可能在炉中炒炼熟铁或钢。

② 《自然科学史研究》第1卷第1期,华觉明:《汉魏高强度铸铁的探讨》。

0.83米,最深处0.8米。炉门向南。其结构可分为加热室(原报告作“熔池”)、燃烧室(原报告作“炉膛”)、炉门、烟囱四部分。(1)加热室,平面作长方形,长1.47米,宽0.83米,深0.8米。位于炉的后半部。它高于燃烧室0.54米。加热室的壁分内外两层。外壁即建炉时所挖长方坑,坑壁涂抹一层草拌泥。东西两壁向内倾斜,因而炉底南北两端都较上口为宽。内壁及炉底用长方耐火砖垒砌而成。在内外两壁之间留出宽约8厘米的空间,其间并以红色耐火砖砌成条状火道。火道的南端和燃烧室连接,并砌有洞口。底部也同样有夹层,从北到南砌成四个长方形条状火道。这些条状火道的北端和烟囱相连。(2)燃烧室平面也作长方形,长2米,宽0.61—1米,残深0.78米。位于加热室的前半部,低于加热室0.54米。壁用红色耐火砖平卧交错垒砌,砖上涂有草拌耐火泥,被火烧成绿色,如玻璃状。炉底铺一层白石灰。根据炉内发现的拱形耐火砖,推知顶部为拱形。壁砖长27厘米,宽13.5厘米,厚7厘米。拱形砖长30—34厘米,宽16.7厘米,厚8厘米,弧度2.7厘米。(3)炉门在燃烧室的南端,已损毁,仅发现长25厘米、宽20厘米的长方形铁板一块。炉门外向南1米地方堆有一片木炭灰,因此估计这个炉的燃料主要是木炭。(4)烟囱位于加热室的最北端,它是就地掏挖成的两个并列的烟囱,烟囱内上方下圆,并敷有耐火泥。烟囱下部和加热室内两层炉壁间的火道相通,可以通风和出烟。烟囱上部已残,东边一个口部长0.13米,宽0.12米,下部直径0.12米,由口到底部深0.98米。西边的一个口长0.18米,宽0.1米,下部直径0.1米^①(参看图2-2)。

从这种地坑式加热炉的结构来看,它的加热退火方法是:先在燃

^① 参考河南省文化局文物工作队:《巩县铁生沟》,文物出版社1962年版,第13—17页。

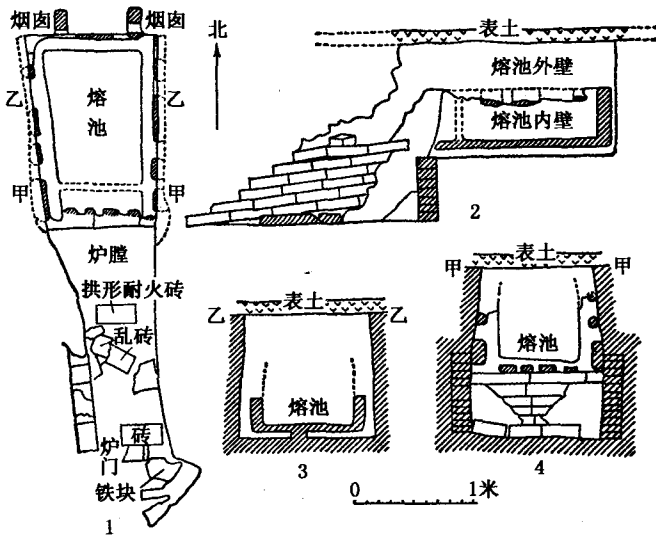


图 2-2 巩县铁生沟西汉冶铁遗址 15 号地坑式加热炉平面图、剖面图

烧室中装好燃料,并把需要退火的铁工具套合叠放入加热室内,然后在炉门处点火燃烧,并加以鼓风,使燃烧室内产生大量火焰和热能,通过炉底和侧壁的火道通入加热室,并从烟囱通入空气,使加热室内火力旺盛,温度分布均匀而持久不变。这种加热炉的顶部砌成密封式拱券形,燃烧停止后,听其自然冷却,还可以有一段保温时间,从而取得良好的退火效果。

(4) 退火工艺的操作已有一定的规范。20 世纪初叶,使用“欧法”制成白心可锻铸铁,退火时间为 144—240 小时(6—10 昼夜);使用“美法”制成黑心可锻铸铁,退火时间为 192 小时(8 昼夜)。我国古代制成可锻铸铁的退火时间该和这相当。退火温度如果低于 760—780 度时,石墨化就难以进行,因此这是退火温度的下限。温度到 850 度以上,石墨化进行就较速,因此汉魏多数可锻铸铁的退火顶温当在 850—950 度之间。个别的顶温可能达到 1 000 度。华觉明先生对汉魏可锻铸铁的退火工艺作了分析:

汉魏韧性铸铁大都为铁素体——珠光体基体。珠光体多数呈粗大片状,说明第一阶段石墨化时间偏长。为彻底消除白口组织,必须有充分的保温时间,使碳原子扩散,渗碳体完全分解,但在分解后又延续时间,则将导致珠光体长大,第二阶段石墨化时难以再分解。

纯铁素体基体之极少存在,和基体中珠光体比例一般偏高,说明第二阶段石墨化进行得很不充分。看来是随炉自然冷却而没有在临界点上进行保温。少数以珠光体为基体的铸件,可能采用了提前停炉,使快速冷却的措施,借以获得强度高、耐磨的器件(但韧性较差)。

表皮脱碳层一般较薄,均在现行标准的一级以内。在被检验的器件中,迄未发现有因温度过高、强烈氧化而造成过烧氧化铁沿、粗大铁素体晶解分布等严重缺陷,说明采用了有效的保护措施(泥涂、用砂覆盖等),温度控制较好。就技术难度来说,黑心韧性铸铁的要求为严,波动稍大,不是脱碳便是发生增碳。……我们在汉魏时期即能稳定地进行黑心韧性铸铁的生产,确实是了不起的技术成就。^①

战国、秦、汉间创造和发展的铸铁柔化处理技术,使得用生铁铸造的工具(特别是农具)转变为可锻铸铁,增强了这些工具的抗拉强度、耐磨性、韧性以及抗冲击能力,这就大大有助于生产效能的提高,大大有助于生产力的发展。战国、秦、汉时代正当我国封建社会初期,当时社会经济所以能够高度发展,创造出灿烂的物质精神文化,该与当时生产力的发展有关,也该与当时生铁冶铸技术的快速发展和铸铁柔化处理技术的推广有密切关系。

为了便于了解可锻铸铁的机械性能的改进,兹将战国、两汉铸铁

^① 《自然科学史研究》第1卷第1期,华觉明:《汉魏高强度铸铁的探讨》。

件的机械性能列为比较表如下：

战国、两汉铸铁件机械性能比较表(估计值)

器 件 及 材 质	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率(%)	硬度(HB)
战国白口铸件	10—20	0	700
战国黑心可锻铸铁	30—40	6—8	100—120
西汉黑心可锻铸铁	40—50	3—5	160
西汉类似球墨铸铁	50—60	4—6	200
东汉铸铁脱碳钢件	80—90	4—6	250

(此表采自华觉明《汉魏高强度铸铁的探讨》)

二、铸造低硅灰口铸铁以及类似球墨铸铁工艺的发明

战国中期以后,我国已能生产白口和灰口混合的麻口铁制成品。例如铜绿山出土战国中晚期铁锤中就有片状石墨存在;山东莱芜发现窖藏的西汉前期铁范,具有麻口铁组织,中间部分相当于白口铁,两侧部分夹有片状石墨,相当于灰口铁;河北满城2号汉墓出土西汉中期铁犁铧也具有这种组织。又如河南滎池窖藏汉魏到北朝铁器中,铁铤和六角轴承都具有麻口铁组织。铁铤刃部的外层为白口铁,中间部分为灰口铁。六角轴承的表面为白口层,向内为麻口层,占三分之二左右,最内部为灰口层。这种铁器可能在预热的铁范中铸成,表层因冷却速度较快而为白口,内部因冷却速度缓慢而成为麻口或灰口。

至迟到西汉中期,我国已能生产低硅灰口铁制成品。河北满城1号汉墓出土的铁器中,对需要强度和韧性的镢是用可锻铸铁的,而对需要承载能力、润滑和耐磨性能的车上的铜(轴承)则用灰口铸铁

(参看图版 4)。河南南阳瓦房庄汉代冶铁遗址也出土有东汉用来浇铸铁釜的灰口铁浇口,经化验,是高磷的灰口铁,含磷 0.7% (参看图版 5)。说明当时已懂得用这种流动性较好的铸铁来浇注薄壁器物。在河南滎池窖藏铁器中,也有一部分是用灰口铸铁制成的,如箭头范、铍范以及甬等。铍范含碳 2.31%,接近现代高强度铸铁(含碳 2.8%—3%),但含硅量低,只有 0.21%。这些灰口铸铁的石墨片的大小和分布,都比较合理。说明汉魏至北朝时期,劳动人民在制造和控制灰口铸铁的工艺上,已经积累了丰富的经验。

现在生产灰口铸铁,其含硅量一般要求在 1%—3.5% 之间,因为硅能促使铸铁中碳变成片状石墨而使其断面呈暗灰色。如果含硅量低于 1%,在一般生产条件下就很难获得灰口铁。值得注意的是,我国古代有过很多含硅量低于 1% 的灰口铸铁,看来是采用了一种特殊的工艺。很可能是在铸范外面采取了特殊的保温措施,例如使用预热范或者在浇注后立即放到专门的炉子中去,造成极其缓慢的冷却过程,从而获得低硅低碳的灰口铸铁。因为冷却速度对铸铁中石墨化的影响很大,冷却愈慢,愈有利于石墨化,也就愈容易获得灰口铁^①。

更值得注意的是,巩县铁生沟汉代冶铁遗址中出土的一件铁镢,经检验,有形状十分良好的球状石墨,有明显的石墨核心和放射性结构,与现行球墨铸铁国家标准一类 A 级石墨相当(参看图版 6)。还有河南滎池窖藏汉魏铁器中,257 号“陵右”Ⅱ式斧,大部分组织相当于 0.4% 碳钢,但在釜部发现有相当于现代球墨铸铁中的球状石墨,在平均厚约 3.2 毫米、总长 50 毫米的 U 形截面上,发现有直径约 20 微米的球墨约 30 颗(参看图版 7)。现在制造球墨铸铁的新工艺,是

^① 参看《文物》1976 年第 8 期,北京钢铁学院金属材料系中心化验室:《河南滎池窖藏铁器检验报告》;李众:《从滎池铁器看我国古代冶金技术的成就》。

在试验使用金属镁和稀土金属作球化剂成功以后,才得到推广的。远在汉代,当然不可能使用这种球化剂。因此进一步搞清楚当时制造低硅灰口铁和球墨铸铁的工艺,对于今天改进铸铁的生产工艺,具有重要的现实意义。

三、低温还原“块炼法”的继续采用

在战国、秦、汉时代,冶铸生铁技术已成为主要的炼铁方法,生铁已成为冶铁业的主要产品,但是比较原始的低温还原“块炼法”仍然继续采用,在一定范围内发挥其作用。块炼法的生产效率虽然很低,但是生产设备和工艺远较冶铸生铁简便,便于就地取材和因陋就简。所生产的块炼铁(或称“海绵铁”)含碳量低,便于锻造铁器,还可以用来渗碳制钢,因而成为古代锻造铁器和渗碳制钢的主要原料。在西汉晚期发明炒钢技术(使用生铁炒炼成熟铁或钢铁)以前,固然是锻铁和制钢的惟一原料,即使在炒钢技术发展起来以后,块炼铁也没有被完全排挤掉,仍然被用作某些制成品的的重要原料。

块炼法生产的块炼铁,含碳量很低,含有较多夹杂物(由氧化铁和硅酸盐组成的共晶体),例如江苏六合程桥2号东周墓出土的铁条,就是块炼铁制成,第一章第二节已经谈到。湖北大冶铜绿山古矿井出土的铁耙和铁钻也都是用块炼铁制成。铁耙含碳量为0.1%,铁钻含碳量为0.06%。河北易县燕下都44号战国晚期墓葬出土的19号铁剑(带有铜剑首残部),铁部长697毫米,是迄今发现的铁剑(不包括钢剑)中最长的,其含碳量在0.05%左右。这种块炼铁不仅含碳量很低,硅、锰、硫等其他元素的含量也都很低,因此性能柔软,易于锻造器物,缺点是不刚强、不耐用,但是经过渗碳处理成钢以后,就能克服这个缺点。所以在战国以后很长一段时间,在大量生产铸铁的同时,也还生产块炼铁,用来作为锻造铁器和渗碳制钢的原料。

巩县铁生沟西汉冶铁遗址曾发现块炼铁炉三座。以 14 号炉为例：建炉前先把地面夯实，然后从夯打的地面上向下挖成长方形的坑。坑深 0.5 米，长 0.69 米，宽 0.32 米。周壁涂耐火泥一层。在坑口周围砌有灰色耐火砖。炉腔中部有三块侧砖，纵砌于前后两壁之间作为炉齿。炉齿之间以及它与坑底之间都保留一定的空间。另外在炉身的东南方开挖一沟，作为火门。沟底呈斜坡状，长 0.82 米，宽 0.25 米，最深处 0.59 米，用以燃火或通风。根据炉基周围的痕迹观察，此炉呈椭圆形，上部原有大口，高出地面约 1 米左右，长 1.18 米，宽 0.78 米。在炉底（炉齿下面）发现有很多黑色灰烬和冶炼时剥落的小铁块。在火门附近还发现有块炼铁（参看图 2-3）^①。其炼法，据推测可能是先在炉齿的下部装满木柴或木炭（从炉门装入），然后把燃料和铁矿石从上部炉口分层

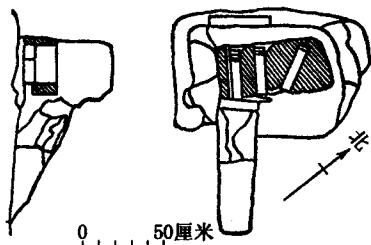


图 2-3 巩县铁生沟西汉冶铁遗址 14 号块炼铁炉的平面图、剖面图

装入炉腔，再在火门点火燃烧。由于火道处可以自然通风，加上炉口的抽力和火道对流，就可以保证炉内火力旺盛。由于温度不高，只能使铁矿石还原为块炼铁。

总的说来，上述封建社会前期炼铁工艺的多方面发展，是适应当时制作生产工具所需的各种不同性能的钢铁材料的要求的。从各地汉代遗址出土的铁器来看，对于需要强度和韧性的铁农具，主要用的是可锻铸铁件；对于抗冲击能力要求更高的手工工具和兵器，则分别选用铸铁脱碳钢或其他钢件；轴套、轴承、铁釜、铁范则仍采用白口铁或灰口铁，而锻造铁器或渗碳制钢，则仍采用块炼铁。综观我国封建

^① 参看河南省文化局文物工作队：《巩县铁生沟》，文物出版社 1962 年版。

社会前期的炼铁技术,从战国初期经历战国中、晚期至西汉前期的大发展,已经达到了相当成熟的水平。不仅能生产白口铁、麻口铁和灰口铁,还能生产白心和黑心可锻铸铁,而且能够有效地根据性能应用于制造不同要求的农具、手工工具和兵器以及日常生活用品。直到今天,世界上的生铁产品,除了合金铸铁和 20 世纪 40 年代开始发展的球墨铸铁以外,仍然是这样几种基本品种。而我国制造这几种基本品种的工艺技术的发明,比欧洲要早两千年左右。

第三章 早期炼铁炉的发展及冶炼技术

一 坩埚炼铁法的创造和长期流传

坩埚炼铁法是我国人民独特的创造,已有悠久的历史。河南南阳市北关外瓦房庄西汉冶铁遗址^①和河北清河镇西汉初年故城冶铁遗址^②,都曾发掘出坩埚炼铁炉的遗迹,说明至迟在西汉时代已经应用此法了。前面谈过,这种炼铁法该是从坩埚熔铜法演变而来,那么,此法在春秋、战国之际早就发明了。

1959年发掘瓦房庄附近古宛城西汉冶铁遗址,发现坩埚炼铁炉17座,其中3座较完整,都近似长方形。其中一座长3.6米,宽1.82米,深度残存0.82米。炉的建筑方法是,就地面挖出长方坑,留下炉门,周壁经过夯打后再涂薄泥一层。炉顶有的用弧形的耐火砖砌成,砖的大小不同,砖的内面敷有一层厚约1厘米的耐火泥,泥的表面还留有很薄的灰白色岩浆,砖的背面涂有较厚(约5厘米)的草拌泥。炉顶有的是用土坯和草拌泥券成。炉由门、池、窑膛、烟囱四部分组成。门在炉的最前端,当是用来装炉和通风的,左右两壁都经火烧,

① 见《文物》1960年第1期,河南省文化局文物工作队:《南阳汉代铁工厂发掘简报》。

② 见《考古学报》1957年第3期,黄展岳:《近年出土的战国两汉铁器》。

已成砖灰色。池在门内,周壁也烧成砖灰色,池底留有厚约1厘米的细砂,当是用作燃烧时的“风窝”的。炉膛为长方形,周壁糊有草拌泥,火烧较轻,当是盛放成行排列的坩埚和木柴、木炭等燃料的。炉的后部设有三个烟囱,当是排出炉烟用的。有的炉内填满木柴灰,有的炉底堆有很多烧土块和砖瓦碎片。坩埚发现三件,都是椭圆形的圜底陶罐,罐外敷有草拌泥约厚3—4厘米,泥的内部烧成红砖色,表面则成光亮的深黑色,并存有一层灰白色光亮岩浆。另在一坩埚的内壁还粘有铁渣的碎块。从炼炉的结构以及流传到后世的坩埚炼铁法,可以推知当时的炼铁方法是:先用碎块矿石和木炭以及助熔剂混合配好,装入坩埚。装炉前,先在炉底铺上一层适当数量的砖瓦碎片,使炉底通风;并留出许多“火口”放进易燃物,以便点火,接着就铺上一层木炭,在木炭上安装成行坩埚;然后在这层坩埚之上再铺上一层木炭,在木炭上再安装成行坩埚,待炉装满,便可从“火口”点火,并加鼓风(或采取自然通风),使坩埚中矿石还原熔化为生铁。

这种炼铁法,由于经济和简便,曾长期流传,直到近代,还流行于山西、河南、山东、辽宁等省,尤以山西省的太行山地区最为流行。在近代全国土铁的总产量中,有40%以上是山西省太行山地区运用这种炼铁法生产出来的。据1870年左右德人李希霍芬估计:晋城高平(今晋城县北)日产200吨,阳城日产50吨,平定(今阳泉市南)日产150吨,太原日产50吨,共日产450吨。据1899年英人宿克来的估计:孟县(今阳泉市西北)有铁炉60座,每年工作250日,每日每炉炼铁500斤,每年产铁4500吨,平定有铁炉250座,每年产铁18000吨,荫城(今长治市南)年产6000吨,高平年产4000吨,泽州(今晋城县)年产13333吨,阳城年产2000吨,沁水(今阳城县西北)年产415吨,太原年产2000吨,总共年产50248吨。据1916年地质调查所的约计,全国全年生产土铁共170850吨,其中山西省所产土铁的数量占第一位,计有70000吨,占当时全国土铁产量的41.2%;其

次为湖南,年产 35 000 吨,仅及山西省的一半;再次为四川,年产 23 000 吨,仅及山西省的三分之一;更次为河南,年产 14 400 吨,仅及山西省的五分之一。据王竹泉所著《山西铁矿补志》1924 年的调查,山西省各地土铁的年产量如下:高平 1 100 吨,晋阳(今太原市西南) 5 000 吨,长治 800 吨,和顺 300 吨,壶关 300 吨,隰县 2 000 吨,陵川(今晋城县东北) 500 吨,太原 500 吨,平定 20 000 吨,临县 2 600 吨,孟县 5 000 吨,再加上晋城 13 300 吨,总共年产 51 400 吨。其中以平定产量最高,在平定境内共有方炉 1 099 座^①。由此可见,山西省长期流行的这种坩埚炼铁法,曾在过去土铁生产中起了很大的作用。

这种坩埚炼铁法,所采用的炼铁炉是方形的。建炉前,需要把地基筑结实,在三边建起高 4 尺多、厚 1 尺多的土墙或砖墙,在一面的墙底开一个孔,作为进风口,在旁建有小屋,屋里装有大风箱,以便鼓风。也有利用一旁的高地来作炉墙的,在高原地挖窑洞来安装风箱的,这样就可省造一垛土墙和一间小屋。大的方形炉,成为一个方形的炼铁场,可以装入 240 到 300 个坩埚,小的方形炉也可装入 60 到 70 个坩埚。所用风箱要 2 至 4 人推拉。

坩埚都用耐火泥(俗名“干子土”)制成,也有用耐火泥 55%、粘土 40%、焦炭粉 5% 配料,或者用粘土 50%、煤屑 50% 配合制成的。形状为长圆筒形,制法如下:先把耐火泥加适量的水,调成面团状物,然后取一团(相当于制成一个坩埚所需的分量)置于倒立的木模底上,一面用手拍打,向下挤压,一面四周旋转拍打,即可制成。一般坩埚底有二指厚,坩埚口如粗碗口厚,每工可成 80 个。木模用桐木制成,底部呈锅底形,模外套有布套,一般直径为 5 寸左右,高 1 尺多,也有直径 6 寸以上而高 2 尺的。

炼铁时,先将矿石打碎,用筛子筛过,把较大的块剔除,再把小块

^① 见丁格兰(F. R. Tegengren)著《中国铁矿志》第 2 编。

矿石和无烟煤屑(作为还原剂)及黑土(作为熔剂)混合配好,装入坩埚中。大体上每个坩埚装入 10—15 斤矿石、1—1.5 斤煤屑或焦炭粉、1—1.5 斤黑土,装好后要用瓦片及煤渣把坩埚口盖紧,才能装入炉内。

装炉时,炉底先铺上一层破旧的坩埚,或者搁置适当数量的碎砖和铺上一层碎瓦片,使得炉底通风。在铺旧坩埚和碎瓦片时,要留置十多个“火口”,在火口处放置麦秸或其他易燃物和一些耐烧的小竹竿,以便点火。接着,就在上面装上一层无烟煤(或焦炭),在这层煤上就可以安装几排坩埚,在坩埚间的空隙中要用无烟煤(或焦炭)仔细填充,以防坩埚倾斜,然后在这层坩埚上再铺上一层无烟煤,在无烟煤上更放上几排坩埚,最后用煤掩盖上,上面再用破旧的坩埚或碎瓦片盖好。接着在无墙的一面,就需要用破旧坩埚或石灰石积叠成一道墙,如此装炉才算完毕。

等炉装好后,便可点火。点火时,要先点中间的火口,待其大量冒烟后,再点两头的火口,以求各部位燃烧均衡。点火后拉动风箱鼓风,如炉口冒出的火焰太旺,就要及时压住,使火力集中。一般鼓风 8 小时左右,热度已够高,就停止鼓风,因为自动钻进去的空气已足够使它燃烧。让它自然通风 24 小时后,就可以开炉。这样,就可把坩埚从火中取出,把坩埚中的生铁水倾倒入铸型里。为了取出方便起见,也可以让它冷却后,打碎坩埚,取得圆柱形的生铁块。它的产量随炉的大小而不同,一次装 200 个坩埚约 3 000 斤矿石的炉子,可炼成铁 1 500 余斤。如用石灰石作为装炉后堵住炉子一面的墙壁,还可以利用炉内熔炼之火,把石灰石烧成石灰,成为一种副产品。

山东潍坊市也有这种坩埚炉。炉为长方形,四周炉墙用青砖或土坯砌成,炉后砌有挡风墙,炉底也挖有半圆形的通风道(俗名风窝),上铺铁制的炉条,以便自然通风(参看图 3-1)。

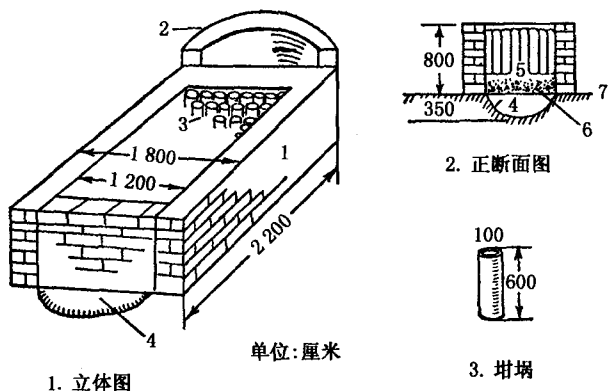


图 3-1 山东潍坊市的炼铁坩埚炉

(采自陕西省科学技术协会筹备委员会编《土法炼铁》，1958 年出版)

部位名称：1. 炉墙 2. 挡风墙 3. 坩埚 4. 风窝(通风道) 5. 煤炭
6. 引火柴 7. 铁条

这种坩埚炼铁法，是炼铁法中成本最低的^①。建筑土墙和制造坩埚的材料，都可就地取材，不需要材料费；采用自然通风，可以节省劳动力，装炉时需要四到六人，平时只要一管理；劳动强度也不大，也不需要高温之下操作；炉子构造简单，也不必经常修理；装炉和熔炼过程都很简便，一学即会。它之所以长期成为山西、山东一带农村中主要炼铁方法，就是由于有着上述这些优点。如果选取的原料成分好，从坩埚炼铁法取得的生铁质量要比高炉炼出的高。但是常常由于因陋就简，选取原料不讲究，炼出生铁质量不高。特别是使用煤作为燃料和渗碳剂以后，煤中硫磷等杂质容易渗入铁中，影响到生铁的质量。这种炼铁法虽然简便，但不适宜大规模生产，因而尽管长期流传，流行很广，然而始终处于次要地位。

① 丁格兰《中国铁矿志》第 2 编说这种炼铁法“炼铁成本之低，犹为世界所无”。

二 炼铁高炉的发展变化及冶炼技术

我国古代冶炼生铁,主要使用炼铁高炉。从公元前 513 年晋国使用“一鼓铁,以铸刑鼎”的事来看,春秋末年已经使用高炉冶铸生铁了。目前对于战国冶铁遗址还没有作大规模的有系统的发掘,战国高炉的结构还不清楚。但是从文献资料来看,当时的冶铁业已经普遍采用冶铸生铁技术,该已普遍采用高炉炼铁。出土的战国铸造铁器用的铁范和大量战国生铁铸件,显然都是高炉炼铁的产品。有不少出土的战国铁农具和手工工具,壁薄而外形细致端正,如果不是高炉炼出的有足够温度的铁水是没法铸造的。

从战国到西汉,随着铁器需要量的大幅度增加,冶铁业的重大发展,炼铁高炉建造得越来越大。历史上最早关于高炉事故的记载,有下列两件:

(1) 汉武帝征和二年(公元前 91 年)春天,涿郡的铁官“铸铁”,因为技术上的某种关系,“铁销,皆飞上去”^①。

(2) 汉成帝河平二年(公元前 27 年)正月,“沛郡铁官铸铁,铁不下,隆隆如雷声,又如鼓音,工十三人惊走。音止,还视地,地陷数尺,炉分为十,一炉中销铁散如流星,皆上去,与征和二年同象”^②。

这种事故之所以会发生,当是因为高炉相当高大,温度不够均匀,悬料很久不下,高炉下部很长一段炉料已经烧空而熔化,炉缸里积聚了很多沸腾的铁水,当上部炉料突然下降时,炉缸承受的压力过大,引起了严重的爆炸事故。炉子爆炸成十块,炸得地面塌陷数尺之

①② 《汉书》卷 27《五行志》。

深,而炉中沸腾的铁水散射如流星一般,说明当时爆炸的力量很大,这个爆炸的高炉必然是庞然大物了。在这个高炉上同时操作的工匠多到十三人,也说明这个炉子很高大,需要装料鼓风的人力很多。我国古代炼铁高炉是从炼铜高炉的基础上发展起来的。西汉初年的炼铜高炉也十分巨大。据南齐时刘峻的实地调查,南广郡界蒙山有城名蒙城,约有2顷地,上有烧炉4座,高1丈,广1丈5尺,就是汉文帝时邓通冶铜铸钱的作坊^①。

高炉炼铁是一种经济而有效的炼铁方法,因而长期以来成为我国冶炼生铁的主要方法。高炉从上边装料,下部鼓风,形成炉料下降,和煤气上升的相对运动。燃烧产生的高温煤气穿过料层上升,把热量传给炉料,其中所含一氧化碳同时对氧化铁起还原作用。这样燃料的热能和化学能同时得到比较充分的利用。下层的炉料被逐渐还原以至熔化,上层的炉料便从炉顶徐徐下降,燃料被预热而能达到更高的燃烧温度。这确是一种比较合理的冶炼方法,因而具有强大的生命力,长期流传。

在今河南新安、鹤壁、巩县、临汝、西平以及江苏徐州、泗洪、北京清河以及新疆民丰、洛浦等地汉代冶铁遗址中,都有高炉的遗迹发现。从河南各地冶铁遗址来看,当时高炉有圆形截面和椭圆形截面两种:巩县铁生沟六座高炉的截面都是圆形的,炉身直径有1.8米的,也有1.6米的,又有1.3—1.5米之间的,有残高1米左右的^②。鹤壁市东南5公里鹿楼村发现有13座高炉,截面都是椭圆形,炉缸

① 《南齐书》卷37《刘峻传》载刘峻说:“南广郡界蒙山下有城名蒙城,可二顷地,有烧炉四所,高一丈,广一丈五尺。从蒙城渡水南百许步,平地掘土深二尺得铜,又有古掘铜坑,深二丈,并居宅处犹存。邓通,南安人,汉文帝赐严道县铜山铸钱,今蒙山近青衣水南,青衣在侧,并是故秦之严道地,青衣县又名‘汉嘉’。且蒙山去南安二百里,案此必是通所铸。”

② 见河南省文化局文物工作队:《巩县铁生沟》,文物出版社1962年版。

短轴 2.2—2.4 米,长轴 2.4—3 米左右,面积一般在 5.72 平方米左右。其中 1 座残高 1.14 米,长 2.99 米,炉体系就地挖成,内积大量木炭灰烬,灰烬下有许多穿插贯连的直筒状及曲尺状的鼓风管。鼓风管都用草拌泥制成,分内外两层,每层厚达 8 厘米左右,外层多烧成黑灰色,局部成琉璃状^①。江苏徐州峒山北微山湖南岸发现汉代炼铁炉,炉型作长方形,底部东西宽 3.8 米,南北长 4.7 米,炉壁厚 1 米左右,内腔作椭圆形,长轴 2.5 米,短轴 1.4 米。炉身北壁在地面以下,估计炉高 1.78 米以上。筑炉用石英砂粒和粘土混合而成的耐火泥夯筑而成,采用一层层捣筑结实的方法,每层厚 6 厘米。炉基用粘土夯筑而成,范围大于炉身^②。

铁生沟的 18 号高炉,圆形,用红色耐火砖砌造。炉门向南,炉壁已残,炉底成缶形。炉壁残高 1.04 米,直径 1.6 米。炉的南面,挖有一长方形的炉道,长 3.4 米,宽 0.9 米,比原来地面深 1.6 米。炉道低于炉底约 0.5 米,估计当时是在这里出铁的。炉道的北端有一片经过夯打的坚硬地面,距炉很近,估计是往炉内装料的地点。炉底南半部发现有草拌耐火泥的陶风管,呈圆筒形,残长 0.16 米,内径 0.08 米,外径 0.2 米,这证明高炉是有鼓风设备的。

河南郑州市古荥镇西汉中晚期冶铁遗址发现了两座特大的炼铁高炉,2 号炉的炉缸已损坏,1 号炉短轴约 2.7 米,长轴约 4 米,面积约 8.48 平方米。在 1 号炉南端 5 米处的坑内,挖出了拆炉时取出的 1 号炉积铁块,积铁块的边缘立着一块条状的铁瘤,铁瘤和积铁成 118 度夹角,向外倾斜,高约 2 米。由此可以推知高炉的高度可能达到 5—6 米,炉身呈直筒形,其下有一段喇叭形(上大下小)的炉腹与

① 见《考古》1963 年第 10 期,河南省文化局文物工作队:《河南省鹤壁市汉代冶铁遗址》。

② 见《文物》1960 年第 4 期,南京博物院:《利国驿古代炼铁炉的调查及清理》。

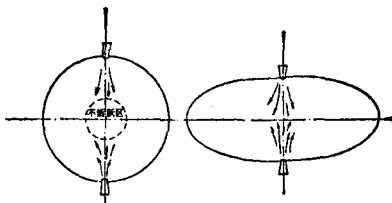


图 3-2 圆形与椭圆高炉鼓风效果比较示意图

(采自《文物》1978 年第 2 期,刘云彩:《中国古代高炉的起源和演变》)

最下部的炉缸连接,有效容积约 50 立方米左右^①。炉子截面筑成椭圆形,是为了使鼓风和煤气流(鼓进炉内的风和炭燃烧生成的气体)更容易达到炉缸中心,有利于提高炉的中心温度(参看图 3-2)^②。因此这种椭圆形高炉,风口一般设在长轴的两侧。

从条状铁瘤分叉处的形状,可以推知每侧有两个风口,全炉共有四个风口。这里出土的陶质鼓风管,粗端内径有达 32 厘米的,结合炉子高度和容积来推测,其鼓风能力必定达到相当的水平(参看图 3-3)。很可能每个风口不止使用一个鼓风皮囊,而同时使用一排几个鼓风皮囊。为了减少漏风,陶质鼓风管外敷有一层草拌泥。有的鼓风管表面有受热痕迹,表明风管是倾

① 参看《文物》1978 年第 2 期,中国冶金史编写组:《从古莱镇遗址看汉代生铁冶炼技术》;《考古学报》1978 年第 1 期,河南省博物馆等:《河南汉代冶铁技术初探》。1 号炉积铁块重二十多吨,其形状、大小和 1 号炉的炉缸底部基本相符,可知是拆炉时取出的。积铁块上凝结的铁质立柱,从其结构和化学成分来看,它原是炉内结成的铁瘤,因此它的高度反映了炉内出现金属铁和熔化区以下的高度。一般小风量的高炉内,铁矿石还原成金属铁并可能生成炉瘤的部位,约为高炉全高的 40%—50%,因此可以推知这座高炉高达 5—6 米。从铁瘤的角度可以判定高炉的炉腹是向外倾斜的,炉腹角约为 62 度。条状铁瘤的上部是分叉的,中间有一个缺口。缺口内侧指向炉缸中部,有一个约成 60 度的锥形斜面。斜面一部分,粘接着耐火材料。分叉以上取样化验,含碳量只有 0.73%,而下部的含碳量远远高于这个水平,可见铁瘤上部在渣面以上。由于风管沿上述锥面而伸到炉内,所以条状铁瘤在分叉处形成缺口。铁瘤内侧与风管的外衬相连,使外衬牢固地粘在锥面上,这是铁瘤锥面局部附有耐火材料的原因。

② 西方也曾一度采用椭圆形高炉。1850 年美国建成两座椭圆形高炉,同一年英国也建成了一座。此后不久,当时主要产铁国家瑞典和俄国,相继建成过椭圆形高炉。这些高炉虽然出现于 19 世纪中叶,在当时情况下仍被当成新的创造,取得了较好的成绩。

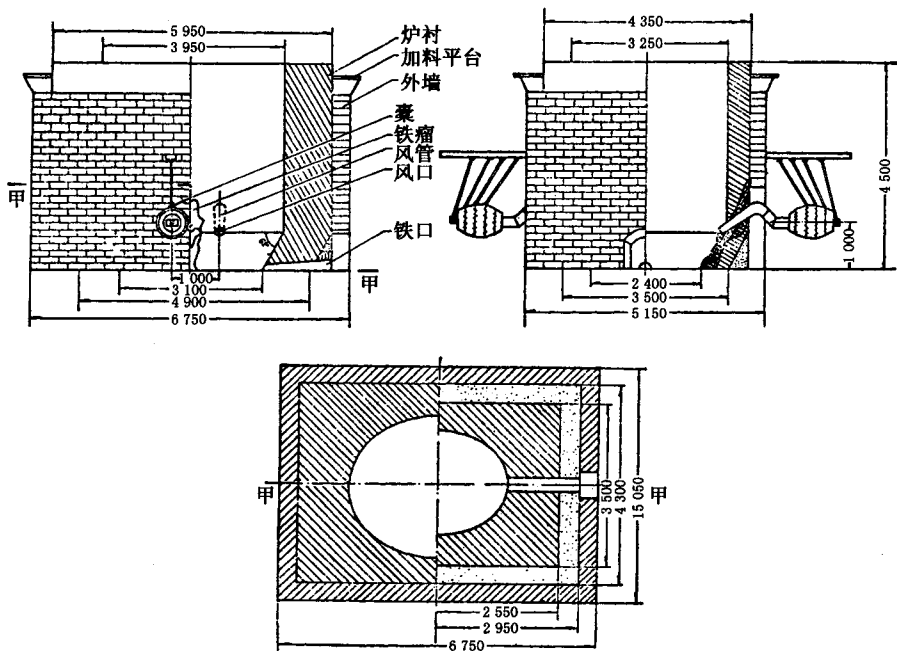


图 3-3 郑州古荥镇汉代冶铁遗址 1 号高炉复原图(平面图和剖面图)

(采自《考古学报》1978 年第 1 期,《河南汉代冶铁技术初探》)

斜插入炉墙的,风口倾斜使火焰向上,有利于提高炉缸温度。炉腹作喇叭形,下部一段炉墙向外倾斜,炉腹角(指倾斜炉墙与水平所成角度)为 62 度,是为了使边缘炉料能够比较充分和煤气接触。如果炉墙是直壁,在风力不大的情况下,风量大部分就会沿炉墙上升,煤气也会沿炉墙上升,不能在中心部分很好地起作用,这样就多耗燃料,浪费煤气(参看图 3-4)。从古荥镇这座汉代高炉的结构,可以看到当时冶铁工人在实践的基础上加深了对冶炼原理的认识,不断改进高炉结构,使之达到较高的水平。

古荥镇汉代高炉的筑炉技术也达到了较高水平。炉子底座周围有延伸 6—9 米乃至 10 米以上的夯土区,炉底下部有深达 3 米以上

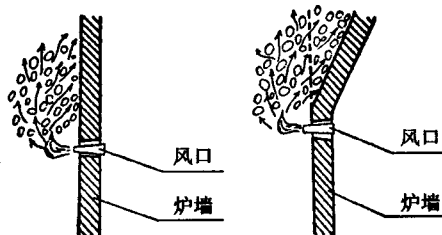


图 3-4 炉墙对煤气分布影响示意图

左:直立炉墙 右:外倾炉墙

(采自《文物》1978年第2期,刘云彩:《中国古代高炉的起源和演变》)

夯实的基础,这是为使这座估计总重达 200 吨以上的高炉的基础巩固。在夯土层之上,又加夯了一层掺有 1—3 厘米大小石子的耐火粘土层,而在 50 厘米的表层耐火粘土层中并没有掺石子。它之所以要掺石子,是为了加强耐火粘土的耐压强度;它的表层之所以不掺石子,因为石子的耐热和抗渣铁浸蚀的性能不如耐火粘土。耐火粘土层的炉底厚达 3 米左右,炉底凹入的最深处约达半米以上,如果炉底耐火材料没有足够厚度,就会被烧穿而引起重大事故。炉子的上部砌筑情况,因炉墙都已塌坍,不很清楚。从 1 号炉残留一段高约半米的炉壁来看,炉衬用耐火土夯筑,厚度为半米到一米,耐火土中掺有炭末或矿粉,耐火炉衬之外用黄土夯培,这主要是为了加强结构,同时也起到保温作用。

汉代的筑炉技术有多种方式。有的用含二氧化硅较高的黄色或红色耐火粘土烧成的长方形或弧形耐火砖砌筑。例如巩县铁生沟遗址出土的耐火砖,二氧化硅的含量很高,占 61.16%—70.57%;氧化铝的含量较少,占 12.94%—15.81%;而三氧化二铁的含量较现代耐火砖为大,占 4.35%—6.14%,因而耐火度只达到 1 240—1 330 度之间^①。南阳

^① 参看河南省文化局文物工作队:《巩县铁生沟》,文物出版社 1962 年版,第 17—18 页。

市瓦房庄遗址出土的耐火砖,含二氧化硅 77%强,含三氧化二铝 11%左右,含三氧化二铁 2.7%强,耐火度达到 1 463—1 469 度之间^①。这显然是耐火粘土中掺入了大量含有二氧化硅相当高的砂石的结果。这种含二氧化硅相当高的酸性耐火材料,对于我国古代高炉所出大都是酸性炉渣来说,是合适的。

当时高炉的炉衬和炉底,也用耐火粘土做成。这种耐火粘土在许多汉代冶铁遗址中都有发现,原料和制造耐火砖的原料相同,其中掺有大量的石英颗粒。多数石英颗粒是经过破碎加工而成,在使用前曾经烧制。耐火度大体上和耐火砖差不多。

这时炼铁高炉不断向高大发展,固然提高了产量,但是炉子过于高大,就使得煤气上升的阻力增加,影响到冶炼的进程。在炉温不够高的情况下,这种矛盾尤其突出。至迟到西汉,冶炼工人从长期实践的经验中,发现炉料的粒度整齐可以减少煤气阻力,因而炼铁之前,已注意到对矿石的加工和准备,在不少汉代冶铁遗址中都发现了原料加工场。

铁生沟遗址北半部有原料加工场,有石炭岩制成的石砧用作砸碎矿石的工具,也还利用鹅卵石和碎石块作为工具。遗址中还保留有一堆筛过的矿石碎粒,粒度大小在 3 厘米左右,没有碎末,这是准备装炉的冶炼原料。另有大量矿石粉末作为废料,有的和炼渣或残砖块堆积在一起,有的挖坑加以埋藏,有的被用来铺设地面或填塞土坑^②。因为在当时还没有办法使矿石粉末作为原料使用。古荥镇遗址 2 号高炉以北也发现了原料加工场,有砸碎矿石用的工具如铁锤、石砧、石夯等。砸碎的矿石有粒状和粉末状两种,后者应是筛选剩下

① 见北京钢铁学院中国冶金简史编写小组:《中国冶金简史》,科学出版社 1978 年版,第 98 页。

② 参看河南省文化局文物工作队:《巩县铁生沟》,文物出版社 1962 年版,第 6—7 页。

来的废料,前者一般粒度为2—5厘米,最大块为12厘米^①。在桐柏县张畷村遗址中,曾挖出数以千吨计的矿石粉末。说明当时已十分注意矿石的加工,为了取得粒度比较整齐的原料,在破碎和筛分方面花费了大量劳力。这种原料加工场的情况,说明当时冶炼技术人员已经从实践中认识到原料加工的重要性,并且已经了解到:原料粒度比较整齐能够减少煤气上升的阻力,改善炉气的利用,节省燃料,加速冶炼的进程;而矿石粉末入炉,因其颗粒太小,密度大,会使炉中温度分布不均匀,或者堵塞炉腔,降低温度,甚至由于温度骤然下降,熔体凝固结底,造成事故。

古茱镇遗址发现两种不同的炼渣,反映了当时两种不同的冶炼情况。一种炼渣颜色发黑,熔化很不充分,当是炉况不正常或发生事故的时候产生的。其中有些就是人工从炉口抓出的。另一种炼渣,断口很像玻璃状,显然经过充分熔化。经取样化验,其中含氧化钙25%左右,含氧化镁2.5%左右。这种炼渣显然加入了适量的碱性熔剂,因而熔化性和流动性比较良好,这就保证了炉渣和铁水容易很好分离,并顺利地流出炉外。这对古代冶炼生铁技术来说,是个重要的关键。

从上述熔化的炼渣来看,当时冶炼工人已有一定的造渣经验,并能适当掌握炼渣的熔化性和流动性。至迟到西汉,已经发明在炉料中配入一定数量的石灰石作为碱性熔剂,起了助熔作用,使渣中的二氧化硅和氧化钙结合,降低炉渣熔点,从而加强炼渣的熔化性和流动性。同时客观上也起了一定的脱硫作用。中国古代生铁含硫都很低,除了使用的原料含硫量比较低以外,也该与使用石灰石造渣有关。铁生沟遗址中就保留有不少作为熔剂的石灰石,经过取样化验,知道其中含氧化钙41.927%,氧化镁3.229%^②。这

① 见《文物》1978年第2期,郑州市博物馆,《郑州古茱镇汉代冶铁遗址发掘简报》。

② 见河南省文化局文物工作队,《巩县铁生沟》,文物出版社1962年版,第21页。

和炉渣中含有一定的氧化钙和氧化镁,是密切有关的。古荥镇遗址的炼渣成分,也说明已使用石灰石作助熔剂。当时使用石灰石作为炼铁的助熔剂,是十分重要的创造。从古荥镇遗址不同地点的炼渣取样检验,尽管年代可能间隔较长,但是成分差别不大,可见当时已经知道按重量比例进行配料,已经掌握稳定冶炼的科学技术。

河南省博物馆等所著《河南汉代冶铁技术初探》一文^①,根据古荥镇遗址所用的矿石和炼得的生铁、炉渣,又依据当地所出木炭和石灰石的成分,假定四个风口所用风囊,每个风囊每分钟风量为8立方米左右,加以推算,古荥1号高炉每生产1吨生铁,约需铁矿石2吨,石灰石130公斤,木炭7吨,渣量600公斤,日产量约500公斤。上述每个风囊的风量,是按照山东滕县宏道院出土的锻铁画像石上锻炉所使用的“囊”来估计的,而大型高炉所使用的鼓风机应当比它大,因此这个日产量是最低的估计。

汉代冶铁用的燃料依然是木炭。巩县铁生沟遗址曾发现不少木炭块、木炭灰和原煤(白煤)、煤饼(用煤末入粘土、石英或石灰石颗粒制成)。文物工作者曾经推断原煤主要用于块炼炉,木炭和煤饼主要用于圆形高炉、长方形炼炉、排炉及反射炉等^②。但是从同时出土的炼渣块中经常夹有木炭的痕迹来看,尽管这时已有原煤和煤饼作为一般燃料,炼铁用的燃料仍然是木炭。从当时炼得的生铁含硫量很低来看,也不会是用煤作燃料的。因为煤中含硫量一般比木炭高得多,如果当时用煤炼铁,含硫量不可能如此之低。汉代生铁的成分有如下表:

① 刊于《考古学报》1978年第1期。

② 见河南省文化局文物工作队:《巩县铁生沟》,文物出版社1962年版,第18—19页。

出土地点 \ 成分	碳(C)	硅(Si)	锰(Mn)	磷(P)	硫(S)	取样数量
铁生沟	4.12%	0.27%	0.125%	0.15%	0.043%	1
古茱镇	4.0%	0.21%	0.21%	0.29%	0.091%	3(平均)

古茱镇遗址 1 号高炉西南方向的一块积铁块，由未完全熔化的炉渣和部分还原矿石等粘结在一起，里面裹有木炭，其断面呈放射性，是一种火力较强而质地坚硬的柘木炭，比较适宜用作高炉炼铁的燃料和还原剂^①。

从汉代以炼铁为主的古茱镇作坊来看，它的主要产品是生铁及其制品。生铁制品主要有三种类型：第一种是生铁铸造的农具和工具。古茱出土最多的是铁铧和铁耩，并无使用过的痕迹，是尚未出厂的成品。第二种是铁范。遗址中出土大量铸造铁范的陶模及其残片，表明曾大量生产过铁范，但是没有发现铁范，当是作为成品已经出厂。铁范铸造要有较高的技术水平，必须由专门的作坊生产铁范以供铸造铁器作坊应用，或者供临时铸造铁器的需要。例如河北满城发现的西汉刘胜墓，建筑岩洞之中，发现有多件铸造铁斧的铁范和铁芯，说明开凿岩洞时，用铁范就地浇铸铁斧，以便及时更换损坏的铁斧。第三种是梯形铁锭，经过脱碳退火变成了钢。古茱镇遗址中出土几十公斤这样的梯形钢锭，长 19 厘米，宽 7—10 厘米，厚 0.4 厘米。经取样化验，含碳只 0.1%，其他成分均与本遗址出土的生铁相合。外形表明是铸造的，是经过脱碳退火而变成钢材的。这是作为半制成品，提供锻铁作坊和小铁匠作为锻造钢铁器物的原料的。

^① 参看《文物》1978 年第 2 期，中国冶金史编写组：《从古茱遗址看汉代冶炼生铁技术》。

除了像古荥镇西汉冶铁作坊专门制造梯形钢锭以供锻铁作坊作为原料以外,汉魏间还有冶铁作坊专门制造生铁锭,提供铸造铁器和炒炼钢材的原料的。河北满城2号汉墓和河南滎池汉魏窖藏中,都有一种见方(14×14×10厘米)的生铁锭,经取样化验,其成分基本相同,有如下表:

生铁锭	碳(C)	硅(Si)	锰(Mn)	磷(P)	硫(S)
刘胜墓出土	4.05%	0.018%	0.03%	0.217%	0.063%
滎池窖藏	4.15%	0.04%	0.02%	0.34%	0.031%

这两种生铁锭的特点是,硅很低,磷稍高,含硫很低。磷稍高,是从矿石带来的。含磷高的生铁容易铸造,但含磷过多会发生“冷脆”毛病。可贵的是含硫很低,完全达到了现代生铁的质量标准,既可以作为较好的炼钢原料,也有利于制作可锻铸铁。

上面谈的,主要是西汉的冶炼生铁技术,这是我国封建社会前期冶铁技术发展的一个高峰。从春秋末期一直到西汉时代,炼铁高炉经历着一个蓬勃发展的阶段,逐渐由矮小发展到高大。但是炉子过于高大,与当时的鼓风设备不相适应,尽管对鼓风设备有所革新,还是不能使得高大的高炉得到充分的风量,这就容易造成炉温不够甚至冻结事故,各地冶炼遗址出土不少黑色半熔炉渣和大块凝铁,就是明显的佐证。古荥镇遗址的高炉冶炼水平虽然已经相当高,但是由于高炉过于高大,鼓进去的风量不够,温度不够高,有时不免发生冻结事故。这个遗址上的大块积铁已清理出的有九块,1号和5号积铁都重达20多吨,4号积铁也重达15吨多^①。有这样的大块积铁固然显示出当时冶炼效能之大,同时也反映了当

① 见《文物》1978年第2期,郑州市博物馆:《郑州古荥镇汉代冶铁遗址发掘简报》。

时发生冻结事故的严重情况。

东汉以后高炉的冶炼技术,主要从两方面进行改革。一方面对高炉的内径作了适当的减小,使热量能够比较集中,以提高炉温;另一方面对鼓风设备机械化,创造和推广了水力鼓风机(水排),从而加强鼓风,以提高炉温。这样从两方面提高炉温,是很符合高炉的冶金原理的。汉代高炉多半建设在矿山附近,而鲁山县望城岗、桐柏县张畈村两个冶铁遗址,距矿山却有10—20公里,其所以远离矿山而设在河边,很可能是为了利用水力鼓风。从张畈村遗址出土物来看,冶炼的兴盛时期是在东汉时期。

至少魏、晋以后,冶炼生铁已开始用煤作燃料。北魏郦道元《水经·浊漳水注》引《释氏西域记》说:“屈茨(龟兹的异译,今新疆维吾尔自治区库车县)北二百里有山,夜则火光,昼日但烟。人取此山石炭,冶此山铁,恒充三十六国用。”从这段话,可知当时西域已用石炭(即煤)冶铁,而且采煤和冶铁的规模都相当大,“恒充三十六国用”。《释氏西域记》一书,据已故岑仲勉先生考证,出于晋朝道安之手^①。西域的冶铁技术是从中原传过去的,前面已经谈到;这种使用煤作燃料来炼铁的方法,也该是从中原传过去。因此中原用煤冶铁的方法,至少在晋代或者晋代以前就开始了。我国是世界上最早用煤冶铁的国家。欧洲用煤冶铁要迟至16世纪。原来冶铁用木炭作燃料,优点是可以使生产的铁含杂质较少,缺点是温度不能升得太高,同时耐燃的时间较短,需要在冶炼时不断往炉内补充木炭,炼炉的启闭和燃料的更替都会影响炉内的温度。改用煤作燃料以后,就可以弥补这些缺点。当然,用煤作燃料也有缺点,就是炼炉容易粘结,所生产的铁含非金属的杂质较多。但是两者比较起来,用煤的优点多于缺点,用煤炼铁对提高生铁产量是有很大帮助的。

^① 见岑仲勉:《中外史地考证》,中华书局1962年版,第213页。

魏、晋以后耐火材料的使用也有发展。至少南北朝已开始使用铝土(即含三氧化二铝超过 50% 的耐火粘土)作为耐火材料。河南滎池冶铁遗址中发现了铝土鼓风管,就是一例^①。铝土具有耐火度高、寿命长的优点,是比一般耐火粘土更高级的材料。我国这方面的资源丰富,在一千多年前已使用于冶金手工业了。

三 鼓风技术的改进

封建社会前期炼铁高炉及其冶炼技术的发展,是和鼓风技术的不断改进分不开的。

我国古代炼铁高炉是用皮制的“橐”作为鼓风器的。《墨子·备穴篇》在叙述用“橐”作为地道战的防御武器时,曾说“具炉橐,橐以牛皮”,可知当时冶铁炉用的风囊是牛皮制的。《太平御览》卷 905 引《淮南子》说:“马之死(尸)也,剥之若橐。”又引注说:“橐,治(当作冶)橐也,虽含气而形不能摇。”注文所说“虽含气而形不能摇”,是指马尸而言,若是真橐,就含气而形能摇了。如此说来,当时大的橐,有用整匹马挖空了肚来制成的。《墨子·备穴篇》又曾说:“灶用四橐”,当时地道战中使用的灶要用四个鼓风囊,由此可以推知当时冶铁炉所用的鼓风器不止一两个。大概越是大的冶铁炉,所使用的风囊就越多。《吴越春秋》叙述吴王阖闾时铸造干将、莫邪两把宝剑,曾使用“童男童女三百人鼓橐装炭”,然后“金铁乃濡,遂以成剑”。这个铸剑的故事虽是神话传说性质,但是所描写的冶铁技术决不是凭空杜撰的。在冶铁炉上参加“鼓橐装炭”的多到三百人,这就说明春秋、战国之际

^① 参看北京钢铁学院中国冶金简史编写组:《中国冶金简史》,科学出版社 1978 年版,第 99 页。

大型炼铁、炼钢炉上确已使用较多的鼓风囊。

在欧洲,在17世纪以前,冶铁炉的入风管大都只有一个,一般都用两个风囊挤在一个人风管把空气压送进去的。到18世纪,欧洲冶铁炉上的入风管才由两个陆续增加到八个、十六个。增多了入风管,四面八方用鼓风机把空气压送进去,不但可以送进较多的空气,而且可以使空气均匀地进入到炉子的每一个角落,这样便可促使炉中的燃料得到充分的燃烧,使炉子的温度提高,加速冶炼的进程。欧洲在冶铁炉上加多人风管和加多鼓风机,已是在用水力鼓风的时代了。但是我们中国,远在用人力鼓风的时代,冶铁炉上就从四周装置了多支人

风管和鼓风囊,因而很早就提高了炼铁炉的温度,发展了冶铸生铁技术。

这儿附带要论述的,就是山东滕县宏道院汉画像冶铁图上的鼓风设备问题。这画像石是1930年滕县宏道院出土的。图的中部,描写的是锻铁的情况,图的左边,是描写鼓风烧炼的情况(参看图3-5)。1958年11



图3-5 山东滕县宏道院汉冶铁画像石的鼓风机部分

月,中国历史博物馆为了筹建新馆,

对这个冶铁鼓风设备进行复原,到1959年1月这项复原工作设计结束,王振铎先生把他们设计复原的情况,写成《汉代冶铁鼓风机的复原》一文发表^①。王先生认为:“这个所谓韦囊皮囊,应该是由三个木环、两块圆板,外敷以皮革所制成的。……在结构上应是四根吊挂在屋梁的吊杆,用来拉持皮囊,使皮囊固定的一种构造。必需另有一条横木,中段结固在皮囊的圆板上,两头伸展出去固定在左右的墙垣或柱身,这样才能便于操纵推拉,才能使支点、力点和重点都有了着落。

^① 《文物》1959年第5期。

排气进气的风门,分别设在两头的圆板上,排风管下通地管,外接炼炉,它的运动规律,应如图中所表示的情况。”同时,还发表了一张复原图(参看图 3-6)。王先生又说:“由这种鼓风机根据需要,有大小之分,画像中的一种,以人的比例来看,应是大型的。”这个复原是一个比较合理的推断,既符合于画像的形象,也符合于工程物理上的基本原则,只是必须加上风囊的固定的装置,才能应用。从图像来看,这种鼓风皮囊是用人力推动的,而且还要有人躺在皮囊底下操作,把皮囊推回原位。在高温的炉旁这样操作,劳动条件是很坏的,劳动强度是很高的。还必须指出,这是锻铁炉上使用的鼓风设备,是比较小的,并不是大型的。炼铁高炉使用的鼓风设备,肯定要大得多。

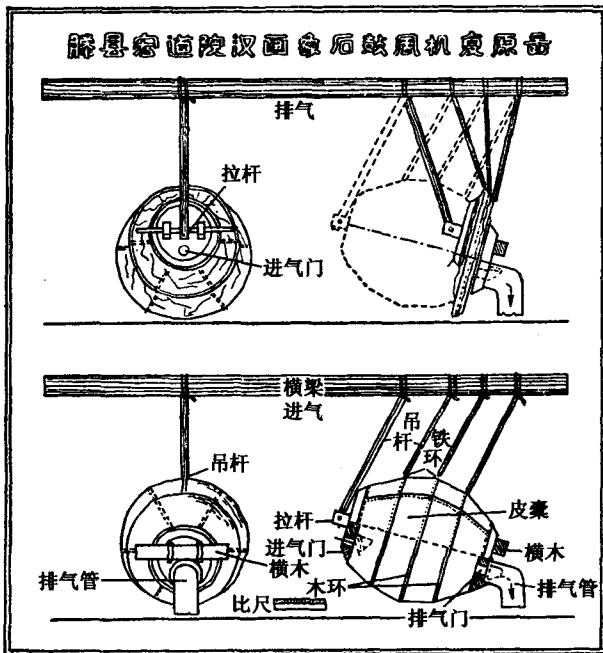


图 3-6 滕县宏道院汉画像石鼓风机复原图

(采自《文物》1959年第5期王振铎《汉代冶铁鼓风机的复原》)

到东汉时,这种鼓风设备称为“排囊”,也或简称为“排”。据说东汉灵帝时,杨璇做零陵(郡治泉陵,今湖南零陵)太守,当时苍梧、桂阳正发生农民起义,农民群众正聚集起来,围攻郡县。杨璇特别制造马车几十辆,把排囊连同石灰安放在车上,并且把布挂在马尾上。等到作战时,先把这几十辆马车安排在兵车的前面,使用排囊“顺风鼓灰”,使得进攻的农民军看不见;接着就用火烧布,使马惊奔,突入农民军阵地,然后“弓弩乱发”,把农民军打败^①。

李恒德先生在《中国历史上钢铁冶金技术》一文^②中,曾经对“排”作出解释:“顾名思义,所谓‘排’可能是好几个风箱并在一起的,或是一个炉中有一排入风管。这种方式是在欧洲找不到的,狼炉最多不过两个风箱、两个人风口,因此燃烧的速度比较慢。”李先生因鼓风设备称“排”而推断当时炼铁炉有一排鼓风囊或一排入风管,是很合情理的。在日本,就有一种鼓风炼铁炉,炉身并不高,也没有利用水力来鼓风,由于它有一排入风管,送进去的空气比较充分,也能冶炼出生铁来。原来鼓风的风囊叫做“囊”,所以会有“排囊”、“排囊”等名称,该就是由于使用一排的囊或囊而来的,后来简称为“排”,人们不知道“排”字的原意,见“排”是一种皮囊,又别造新字作“囊”、“辅”、“鼈”,又或称它为“鼓囊”、“鼓鼈”^③。

根据日本下原重仲在1784年写成的《铁山必要记事》(日本《科学古典全书》第10卷),日本在中世纪所应用的多管输风的鼓风机,

① 见《后汉书》卷38《杨璇传》。李贤注:“排囊,即今囊袋也。”李贤这个解释是错误的。从文中使用“排囊”“顺风鼓灰”来看,“排囊”当是鼓风设备。“排囊”这个名称,后世还沿用。例如《广韵》说:“鼈,排囊柄也”。

② 刊于《自然科学》第1卷第7期,1951年12月出版。

③ “排囊”的名称见于《后汉书·杨璇传》。“鼓鼈”的名称见玄应《一切经音义》卷12。“囊”、“辅”、“鼈”三字,都是后来新造的形声字,它们所从的“𠂔”、“韦”、“皮”等偏旁,就是因为这种东西是一种皮囊,是用皮革制的。它们所从的“隶”、“菑”、“鼻”等偏旁,取其和“排”的声音相同。

都是在鼓风机旁有个半圆形的储风器,在储风器上再装置出一排鼓风管的,他们把这种半圆形的储风器,叫做“头”。我们推测东汉以后鼓风设备所以称为“排”或“排囊”、“排囊”,是由于装置有一排鼓风皮囊的缘故。一排鼓风皮囊怎样装置,是否和日本在中世纪应用的多管输风的鼓风设备相似,因为古代的鼓风设备不可能在冶铁遗址中保存下来,就很难根据考古资料加以证实。汉代冶铁遗址出土有内径大小不同的陶风管,南阳瓦房庄遗址出土的一段带弯头的陶风管,粗端内径为 100 毫米,细端内径为 50 毫米,长约 400 毫米。郑州古荥镇遗址出土的一段较完整的风管,粗端内径 320 毫米,细端内径约 100 毫米。内径 320 毫米的陶风管,使用的决不止一两个鼓风皮囊,很可能装置有一排鼓风皮囊。

第四章 水力鼓风机(水排)的发明和发展

一 东汉三国间水力鼓风机(水排)的发明和发展

中国古代的冶铁技术是发展得比较快的,远在两千六七百年前的春秋时代已经发明了冶铸生铁技术,这个发明要比欧洲早一千九百多年。同样的,中国水力鼓风机的发明也是较早的,远在公元开始的时期已发明了“水排”,这个发明也要比欧洲早一千二百年。

《东观汉记》卷 15、谢承《后汉书》(汪文台《七家后汉书》辑本卷 1)和《后汉书》卷 31《杜诗传》都说:河内汲县人杜诗(字公君),在东汉建武七年(公元 31 年)到南阳做太守,由于他“善于计略,省爱民役”,总结当地冶炼经验,制造了水排来铸造农具,结果“用力少,见功多,百姓便之”。南阳原是战国时代著名的冶铁手工业地点,这里的冶铁技术本来比他处进步,在战国时代已能冶炼钢铁,所制造的铁兵器是当时最锋利的。到西汉初期,大商人孔氏就曾在这里大规模地经营冶铁业,富到有家产几千金。南阳的冶铁业有较长的历史,规模又较大,此时此地能够创造出水排来,决不是偶然的。这是几百年来冶铁手工业工人劳动经验和智慧的结晶,杜诗只是进一步加以推广利用而已。利用水排来鼓风,来冶铸农具,自然比用人力来鼓风“用力少,见功多”。这样就能减省“民役”,所以“百姓便之”。从已发现

的在今河南省的汉代冶铁遗址来看,汉代冶铁作坊多半建设在矿山附近,而鲁山县望城岗、桐柏县张畝村两处,却距离矿山较远,相距有10—20公里,而建设在河流旁边,这两处在汉代正属于南阳郡,很可能就是为了利用“水排”鼓风的缘故。

这时所以能够创造水力鼓风机水排,是和当时水力舂米机“水碓”的发明有关的。桓谭《新论》说:“伏牺制杵臼,万民以济,及后世加巧,因延力借身以践碓,而利十倍。杵舂又复设机关,用驴羸牛马及役水而舂,其利乃且百倍”^①。所谓“役水而舂”就是指水力舂米机,也就是指水碓。桓谭生于西汉后期,死于东汉光武帝时(公元25—57年),《新论》的写成在王莽改制失败之后,应在更始时期(公元23—25年)或东汉之初。水碓的发明和推广使用的时期,应在前后汉之间。此后,孔融《肉刑论》也说:“贤者所制,或踰圣人,水碓之巧,胜于断木掘地。”^②

水碓发明以后,在东汉时期,雍州地区使用很广,《后汉书·西羌传》载顺帝永建四年(公元129年)虞诩上奏章说:“雍州之域,……因渠以溉,水舂河漕,用功省少,而军粮饶足。”所谓“水舂河漕”,也是指水碓。

两汉之际,同时发明了水碓和水排,出现了水力工作机,这是手工业技术发展史上一个重大革新。因为“所有发达的机器都由三个本质上不同的部分组成:发动机,传动机构,工具机或工作机”^③,而水碓和水排,都基本上具备了这三个部分,它们有利用水力冲动的水轮作为发动机,有旋转的轮轴作为配力机,有“碓”和“排”作为工具机。从此,工具便从人手里移到一个机构上来了,机器便代替了单纯

① 《全后汉文》卷15 桓子《新论》下《离事》第十一,据《太平御览》卷762、829引。

② 《全后汉文》卷83,据《太平御览》卷762引。

③ 《资本论》第1卷,人民出版社1975年版,第410页。

的工具。马克思曾经认为欧洲水力磨机的发明,对手工业和科学技术的发展起着重大的作用。他说:

磨从一开始,从水磨发明的时候起,就具有机器结构的重要特征。机械动力;由这种动力发动的最初的发动机;传动机构;最后是处理材料的工作机;这一切都彼此独立地存在着。在磨的基础上建立了关于摩擦的理论,并从而进行了关于轮盘联动装置、齿轮等等的算式的研究;测量动力强度的理论和最好地使用动力的理论等等,最初也是从这里建立起来的。^①

我国在两汉之际,水碓和水排的发明,对手工业和科学技术的发展,也具有重大的作用。在东汉安帝时(公元107—125年),科学家张衡就创造了用水力为动力的天文仪器——浑天仪。到东汉灵帝时(公元168—189年),就创造了原始的水车——翻车,到魏明帝时,马钧又把翻车改进,使儿童转动,灌溉园囿。

在东汉、三国间,这种“水碓”和“水排”等水力工作机,有了进一步的推广。曹操曾徙陇西、天水、南安人民充实河北,“民相恐动,扰扰不安”。张既“假三郡人为将吏者休课,使治屋宅,作水碓,民心遂安”^②。在杜诗创造水排后约两百年,魏国监冶谒者(官名)韩暨,又把水排推行到整个魏国官营冶铁手工业中去。韩暨字公至,是南阳堵阳(今河南方城县东)人,据《三国志·魏志·韩暨传》说:“旧时冶作马排,每一熟石用马百匹,更作人排,又费功力,暨乃因长流为水排,计其利益,三倍于前,在职七年,器用充实。”我们认为这时韩暨所推行的水排,就在杜诗所推广的水排的基础上改进的。两百年前杜诗在南阳推广了水排,既然“百姓便之”,这时南阳人不会不应用的,

① 1863年1月28日马克思致恩格斯信,引自《马克思恩格斯全集》第30卷,人民出版社1974年版,第319页。

② 《三国志》卷15《魏志·张既传》。《太平御览》卷762引《魏略》说:“司农王思宏作水碓”。

韩暨既是南阳人,不会不知道的。韩暨在这时对于水排的改进,主要有两点:第一点,是“因长流为水排”,他开始利用大河(即所谓“长流”)作为“水排”的动力,这样就把水排的使用地区大为推广。据《水经·谷水注》说:在缺门山东十五里有地名“白超垒”,白超垒的南面靠着谷水,旁侧有个坞,旧为冶官所居,“魏晋之日,引谷水为水冶,以经国用,遗迹尚存”。这个谷水旁的“水冶”,既然是“魏晋之日”所创,该就是韩暨所创设的,即所谓“因长流为水排”。第二点,是把“马排”的机械装置改造成为“水排”的机械装置。《三国志·魏志·韩暨传》说在韩暨推行水排前,“冶作马排,每一熟石用马百匹”。可知中原地区在水排普遍应用前,马排已普遍使用。所谓马排,就是利用牲畜力来推动机械轮轴,依靠轮轴的转动来鼓动鼓风器的。当时熔化一次矿石(即所谓“每一熟石”)要应用一百匹马力,可见冶铁工场的规模已相当大。这时韩暨把马排改造成为水排,就是把牲畜力推动的机械轮轴改造成为用水力激动的机械轮轴,这样就可大大降低成本,所以“计其利益,三倍于前”了。马排的结构,当是卧轮式的(参看图 4-1)。

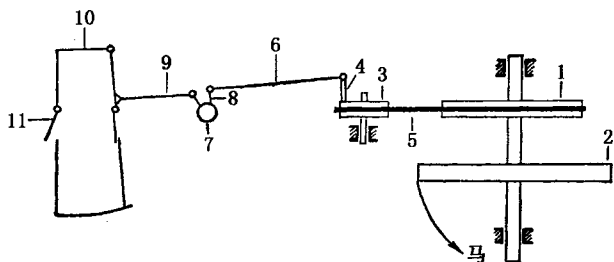


图 4-1 卧轮式“马排”结构示意图

(采自刘仙洲:《中国机械工程发明史》第1编第52页,科学出版社1962年版)

- 部位名称:1. 上卧轮(绳轮) 2. 下卧轮(马牵引轮) 3. 旋鼓(鼓式小轮)
4. 掉枝 5. 弦索 6. 行枕 7. 卧轴(滑轴) 8. 攀耳 9. 直木
(往复杆) 10. 木扇(附注:三国时的“马排”当使用皮囊作鼓
风器,不是使用木扇的) 11. 活门

这种水排自从杜诗、韩暨推广以后，就长期为冶铁手工业所沿用。据《太平御览》卷 833 引《武昌记》说：元嘉初年（公元 424 年或稍后）在武昌地方曾新造“冶塘湖”，兴建“水冶”，利用“水排”来冶铁。《安阳县志》（清嘉庆二十四年贵泰补纂本）卷 5《地理志》山川部分说：“《邶乘》：铜山在县西北四十里，旧产铜，……案《水冶图经》曰：后魏时，引水鼓炉，名水冶，仆射高隆之监造，深一尺，阔一步半。”由此可见南北朝时南朝和北朝都曾推行水排。《元和郡县志》卷 18 载唐元和七年（公元 812 年）李吉甫上奏章说：蔚州飞狐县（今河北省涞源县）三河冶铜山约有几十里，铜矿很多，离开飞狐钱坊 25 里，两处同用拒马河水“以水斛销铜”，铸钱人工很省，所以平日三河冶设置有四十个炉铸钱，旧迹还存在。从这里，又可见唐代还曾用水排来铸造铜钱。据苏轼《东坡志林》卷 4《筒井用水辅法》条说：“《后汉书》有水辅，此法惟蜀中铁冶用之。”从这里，又可知宋代在今四川一带，水排还是普遍应用的。到元代，王祯著《农书》，在卷 19《农器图谱》中，就有水排的图谱和说明。

二 水力鼓风机(水排)的结构

东汉初年杜诗所推广的水排，究竟是怎样的一种东西呢？《后汉书·杜诗传》李贤注说：“冶铸者为排以吹炭，令激水以鼓之也。”究竟怎样“激水以鼓之”呢？虽然文献不足征，但是我们有理由可以肯定这种水排是应用机械轮轴的^①。

桓谭《新论》谈到和水排同时发明的水碓时说：“又复设机关，用驴羸牛马及役水而舂，其利乃且百倍。”可知水碓是“设机关”的。东汉灵

^① 明末方以智《通雅》卷 34 说：“水排，炊火之车也。”这是正确的。

帝时(公元168—189年)服虔所著的《通俗文》又曾谈到水碓,《广韵》碓字条引《通俗文》说:“水碓曰翻车碓。”可知水碓是和翻车差不多的。《后汉书·张让传》说:毕岚曾制作“翻车”,据李贤注,翻车是“设机车以引水”,便是后世农村所用“龙骨车”的前身,是一种应用机械轮轴造成的水车。水碓既是“设机关”的,又称为“翻车碓”,该是利用水力推动机械轮轴来打动舂碓的一种水力舂米机。水碓既是用机械轮轴构造的,和水碓同时发明的水排,当然也是用机械轮轴构造的了。

在欧洲开始应用水力鼓风机械的时候,有一种最简单的水力鼓风机械,在直立的水轮的轴心上接连有一根卧轴,在卧轴上装置有拐木。当水力激动直立的水轮转动时,卧轴就连带转动,卧轴上的拐木就打动鼓风囊的底部,或者打动鼓风囊的柄,使不断地起鼓风作用。这种简单的水力鼓风机械的结构,和水碓完全相同。我们认为中国在东汉初年和水碓同时发明的水排,就是这种式样的^①。

有关水排结构的记述,最早见于元代王祜所著的《农书》。在王祜《农书》中,曾叙述好多种水力发动的工作机,并绘有图样。从王祜的叙述中,可知当时所有的水力工作机,水轮的装置方式不外乎立轮式和卧轮式两种。水碓、水转连磨是属于立轮式的,水击面罗是属于卧轮式的,水磨、水碾、水碄和水排则是立轮式、卧轮式两种都有。

现在把立轮式和卧轮式两种水排,分别叙述于下:

(1) 立轮式水排的机械结构。

王祜《农书》卷19《农器图谱利用门》记述立轮式水排说:

① 王祜《农书》卷19《农器图谱》在叙述水排之后,有诗一首说:“尝闻古循吏,官为铸农器,欲免力役繁,排冶资水利。轮轴既旋转,机梃互牵掣,深存橐籥功,呼吸惟一气。遂致巽离用,立见风火炽,熟石既不劳,熔金亦何易。国工倍常资,农用知省费,谁无兴利心,愿言述此制。”我们体会王祜这首诗的意思,知道王祜认为杜诗所创造的水排,就是利用水力,依靠轮轴的旋转和机梃的牵掣,来发挥“橐籥功”的。

又有一法，先于排前，直立木箕，约长三尺，箕头竖置偃木，形如初月，上用秋千索悬之。复于排前植一劲竹，上带捺索，以控排扇，然后却假水轮卧轴所列拐木，自然打动排前偃木，排即随入。其拐木既落，捺竹引排复回。如此间，打一轴可供数排。宛若水碓之制，亦甚便捷。

这是说：先在“木扇”前直装着一根三尺长的“木箕”，在木箕的头上竖装着一块“初月”形的“偃木”，用“秋千索”挂起。再在木扇前直立一根“劲竹”，在劲竹头上带有“捺索”，用来拉住木扇的盖板。选择湍急的河流旁边，架着竖直的“水轮”，在水轮的轴心上接连有一根“卧轴”，在卧轴上排列装置着几根“拐木”。等到水流激动水轮，转动卧轴，卧轴上所排列的拐木就打动木扇前木箕的偃木，木扇的盖板就向前关闭。等到卧轴转动，拐木从偃木上滑下来，用捺索控制着木扇盖板的劲竹就把盖板拉回。这样，水轮的卧轴转动，卧轴上排列的拐木，可以同时打动好几个“排”，这和水碓的情况是相同的。

这里，最重要的关键是偃木，偃有“仰仆”之意，偃木当即由一仰

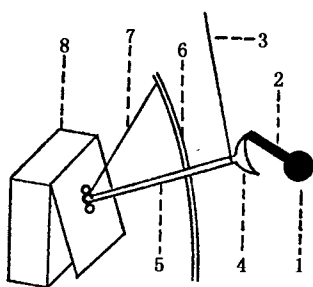


图 4-2 王祯《农书》所载立轮式水排示意图

部位名称：1. 卧轴 2. 拐木
3. 秋千索 4. 偃木
5. 木箕 6. 劲竹
7. 捺索 8. 木扇

一仆而得名。这种立轮式水排的运动，其关键当在偃木的一仰一仆之中。这是由于卧轴转动时，拐木打动初月形的偃木，使原来略向上仰的偃木向下仆，推动木箕向前把木扇的盖板关闭。等到拐木从偃木上滑下来，劲竹就把木扇的盖板拉开，使木箕和偃木都恢复原状。这样，由于拐木的打动偃木，偃木一仰一仆，就使得木扇的盖板一关一开，起着鼓风作用。我们根据这样的理解，画了一张《立轮式水排复原图》(参看图 4-2)。从这张图上，可以看到：当拐木打动初

月形的偃木时,偃木会推动木箕把木扇的盖板推入,即所谓“水轮卧轴所列拐木,自然打动排前偃木,排即随入”,同时“秋千索”也跟着向前荡。等到木箕连同偃木向前推动时,拐木就从初月形的偃木上滑下来,劲竹又把木扇的盖板拉开,而木箕连同偃木又向后退,恢复原状,秋千索也跟着向后荡。这样,由于拐木的打动偃木,偃木一仰一仆,秋千索就如秋千那样前后摆动,而木扇的盖板就一闭一开,起着鼓风的作用^①。

这种立轮式水排的结构是比较简单的,但是它比我们前面所谈的最简单的水排已有进步。最简单的水排是用卧轴上的拐木直接打动鼓风器的,而这种立轮式水排,在鼓风机上已装置有木箕和偃木,卧轴上拐木打动的是鼓风机上的木箕和偃木,同时鼓风机还有富于弹性的劲竹撑着,使鼓风机鼓动起来较为灵活。欧洲在中世纪,也同样有一种用劲竹撑着鼓风器的水力鼓风机械。

(2) 卧轮式水排的机械结构。

王祜《农书》卷 19《利用门》记述卧轮式水排说:

其制当选湍流之侧,架木立轴,作二卧轮。用水激转下轮,则上轮所周弦索,通缴轮前旋鼓,掉枝一例随转。其掉枝所贯行枕,因而推挽卧轴左右攀耳以及排前直木,则排随来去,搨冶甚速,过于人力。^②

除了上述记载以外,《农书》上还附有图谱一幅(参看图 4-3)。根据这些资料,可知这种卧轮式水排的结构是这样的:选择湍急的河流旁

① 参看《文物》1959 年第 7 期拙作《关于水力冶铁鼓风机“水排”复原的讨论》,和《文物》1960 年第 5 期拙作《再论王祜农书“水排”的复原问题》。

② 《四库全书总目提要》说:这部《农书》“明人刊本舛讹漏落,疑误宏多,诸图尤失其真。《永乐大典》所载,犹元时旧本。今据以缮写校勘,以还其旧观焉。”这里所根据的是清代聚珍版本,聚珍版本就是根据《四库全书》本。这里所引“通缴轮前旋鼓掉枝”一句,他本“缴”或误作“激”,徐光启《农政全书》亦误刊作“激”。“缴”若误作“激”,全文就很难通解。

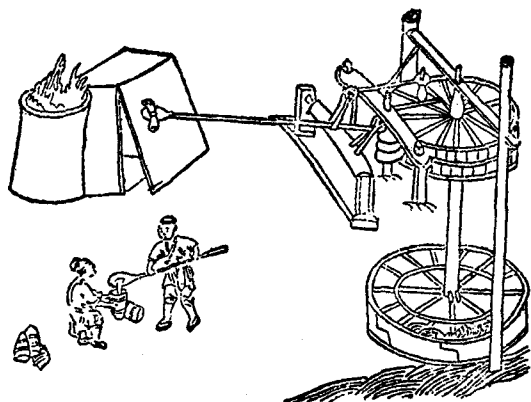


图 4-3 王祯《农书》(清代聚珍本)所载卧轮式水排图

王祯《农书》这幅图,因辗转翻刻,在明刻本上已有不少错误。清代聚珍本是根据《四库全书》本的,《四库全书》本《农书》的图是根据《永乐大典》的,比他本错误较少。但是还存在着下列错误:(1)“旋鼓”画得失真,“旋鼓”上的“弦索”画得太粗。(2)“掉枝”画得太长,没有装在“旋鼓”的转轴的上端,而误画在“上卧轮”上,没有装在“旋鼓”的“转轴”上。(3)“直木”穿进了连结“行枕”的“攀耳”,末端没有和“攀耳”连结好。(4)“木扇”的箱盖板上漏画了两个可以向内开闭的“活门”。

边,架立木架,在木架上直立着转轴,在转轴的上部和下部都安装一个卧轮。下卧轮是水轮,在它的轮轴四周装有叶板,是承受水流,把水力转变为机械转动的装置。在上卧轮的前面安置有一个鼓式的小轮,即所谓“旋鼓”。上卧轮是绳轮,在它的周围绕着“弦索”,弦索通绕到旋鼓的腰中,用来牵动整个工作机。为了使旋鼓旋转时稳定起见,在旋鼓的转轴上也装置有木架,旋鼓的转轴是贯穿着木架上的横木的。同时,在卧轮和旋鼓的木架间,还以木条相连,以加固这个机械的结构。在旋鼓的转轴的上端安装有一根可以摇动的木柄,即所谓“掉枝”,“掉”就是“摇动”的意思。在旋鼓的前面横放一个卧轴(即今所谓“滑轴”),在卧轴上装有左右两个“攀耳”,左右两个攀耳就是卧轴的两根“连杆”,一根连杆连结着前面的“行枕”,行枕就是一根运

动的横木,它的一端是套插在掉枝上的。在卧轴的前面就是鼓风机,即所谓“木扇”,或称为“排”。在排和卧轴间,还有往复杆和卧轴的攀耳连结着,即所谓直木。当水流激动旋转下卧轮的时候,在同一转轴上的上卧轮就跟着旋转。由于上卧轮的旋转,上卧轮周围的弦索就牵动旋鼓旋转。由于旋鼓的旋转,旋鼓上端的掉枝就牵动所连贯的行枕,行枕也就推挽着卧轴的左右攀耳,使卧轴前后摇摆,成为前后摇摆的往复运动。由于卧轴的前后往复运动,也就拉动木扇前的直木作前后的往复运动,这样就能使木扇的盖板不断的开闭,起鼓风作用(参看图 4-4)。在《农书》上,“水击面罗”的结构和卧轮式水排是相同的,我们从《农书》“水击面罗图”中,就可以看到旋鼓的转轴上的掉枝,和连结在卧轴的攀耳上的行枕,是可以脱离的,在掉枝上有个孔,在行枕上有长钉,要开动机器时,只要把长钉插入掉枝的孔中;要停止工作时,只要把长钉从孔中拔出(参看图 4-5)。

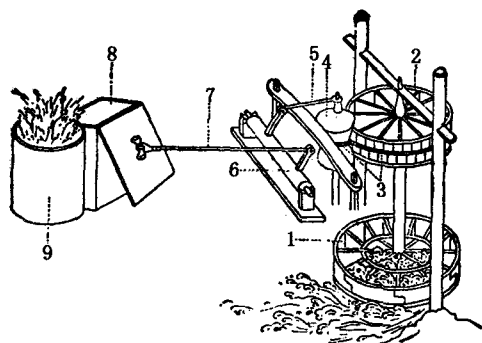


图 4-4 王桢《农书》所载卧轮式水排复原图

部位名称:1. 上卧轮(绳轮) 2. 下卧轮(水轮) 3. 弦索 4. 旋鼓
(鼓式小轮) 5. 行枕 6. 卧轴(滑轴) 7. 直木(往复杆)
8. 木扇 9. 炼铁炉

这个卧轮式水排的机械结构,基本的作用,是使水流所激动的卧轮的回转运动改变为直线的往复运动,从而使鼓风机不断地起鼓风

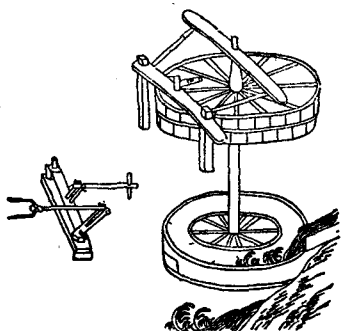


图 4-5 王祯《农书》(聚珍本)所载卧轮式“水击面罗图”

这图中,漏画了“旋鼓”,画错了“卧轴”的结构,但是“掉枝”和“行杓”以及“攀耳”的结构,都画得比较正确。由此可见,“旋鼓”的“转轴”上的“掉枝”,是和“行杓”可以分离的,如果需要工作机停止工作时,只要把“行杓”的长钉从“掉枝”的孔中拔出。如果需要工作时,只要把长钉再插入孔中。这样,就可以随意控制水力工作机。“掉枝”上的孔应是圆形,此处误画为三角形。

作用。这种卧轮式水排的机械结构比立轮式水排复杂,也比较进步,所以王祯《农书》是把它作为水排的主要式样来叙述的。在《农书》所载的水力工作机中,卧轮式水排和水击面罗都是用大卧轮通过弦索来牵动鼓式小轮(旋鼓)旋转的。这样大轮旋转一次,可以牵动鼓式小轮旋转好几次。这个原理是和《农书》上的“驴磨”(畜力绳磨)相同的,驴磨用畜力拖着大木轮旋转,再由大木轮牵着磨旋转,“计轮转一周则磨转十五余周”^①。水排由于同样的原理,用大轮牵着小轮旋转,使得大轮一次回转运动可以改变为十几次的直线往复运动,这样就大大增加了鼓风机鼓动的次数,达到了“撮冶甚速”的效果。

这种卧轮式水排,该就是三国时所创造的。韩暨在魏国官营冶铁手工业中所推行的水排,是用马排改造成的。马排是用马力拖着

① 王祯《农书》卷 15《驴磨》条。

大木轮旋转,利用机械的装置把回转运动改变为直线的往复运动,以牵动鼓风机,使起鼓风作用的。用马来拖动的大木轮,必须是卧轮,不可能是立轮的。韩暨所推行的水排既然是由马排改造成的,那一定是卧轮式水排了。当然,韩暨利用马排改造的水排,不可能一开始就像《农书》所说的那样灵巧,《农书》上所记述的卧轮式水排该是经过长期的改进,才达到这样灵巧的地步的。王祯《农书》上所载卧轮式水排的图谱,是王祯多方搜访得来的。他说因为“去古已远,失其制度,今特多方搜访,列为图谱”。这张图谱究竟和古时的制度有多少差别呢?王祯只指出了一点,就是“此排古用韦囊,今用木扇”。其实,这时的水排,不仅把韦囊改进为木扇,整个水排的结构也是经过不断的改进的。

苏轼《东坡志林》卷4《筒井用水耬法》条说:

自庆历(公元1041—1048年)、皇祐(公元1049—1053年)以来,蜀始创筒井,用圜刃凿如碗大,深者数十丈,以巨竹去节,牝牡相衔为井,以隔横入淡水,则咸泉自上。又以竹之差小者出入井中为桶,无底而穹其上,悬熟皮数寸,出入水中,气自呼吸而启闭之,一筒致水数斗。凡筒井皆用机械,利之所在,人无不知。

《后汉书》有水耬,此法惟蜀中铁冶用之,大略似盐井取水筒。^①

从这里,可知四川盐井用大绳轮通过“导轮”和辘轳(滑车)拉动装卤的长竹筒的方法,即所谓“筒井”,是庆历、皇祐年间始创的。当时四川水排的机械,是和筒井用的机械大略相似的。四川的筒井每多用水作为动力,其机械结构是利用水轮来转动绳轮的,的确和《农书》所载卧轮式水排极相类似。由此可知,《农书》上所载那样灵巧的卧轮式水排,一定在庆历、皇祐年间早已有了。

北宋是封建经济高度发展的时期,手工业技术有较大的进步,许

^① 涵芬楼 1919 年据明万历赵开美刊本校印本。

多科学技术都在这时有了进一步的提高。中国三大发明之一的火药,这时已进一步使用到武器上来,创造了燃烧性火器——火箭、火毬和爆炸性火器——霹雳炮。中国三大发明之一的罗盘针(指南针),这时已使用到航海上去。中国三大发明之一的印刷术,这时也有了新的创造,活字印刷术就是庆历年间毕昇所发明的。前面所谈到的蜀中深达数十丈的筒井,也是庆历、皇祐年间所始创的。这种深井探凿工具和探钻方法的发明,也是科学技术上的一个重要贡献。因此我们认为《农书》上所载那样灵巧的卧轮式水排,也该是庆历、皇祐年间或者在这以前所创造发明的。

直到近代,四川、云南、福建等省的土高炉,还多用水力来拉动木风箱(参看图4-6)。

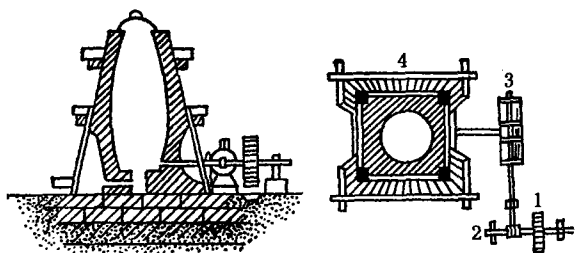


图4-6 近代四川运用立轮式水力鼓风机的土高炉

(采自丁格兰《中国铁矿志》第2编下册)

部位名称:1. 立轮 2. 卧轴 3. 圆筒形木风箱 4. 土高炉

三 水力鼓风机(水排)装置工程的发展

要装置水力发动的工作机,首先要掌握河流的规律,了解四周的地形和水源。因为水力的原动力,是由水流的流量和落差来决定的,而流量和落差又是由地形、降雨量以及其他地理环境来决定的。要

选择天然的合适地点来装置水力工作机,是比较困难的。因为适宜装置水力工作机的地点不一定靠近出产原料和燃料的地方,同时天然的河流也不可能经常有一定的流量。因此要推广应用水力工作机,就必须创造出一套改造地理环境的办法。为了要利用河流的能量,就必须在建筑水力工作机的地点用人工来造成一个集中的落差,使水流从上游高度的水位骤然落下,以激动水力工作机的水轮。为了要构成一个水流集中的落差,就必须建筑各种形式的拦河坝。《三国志·魏志·韩暨传》说韩暨“因长流为水排”,他利用“长流”,该有一套办法。《水经·谷水注》说魏晋时在谷水旁白超垒设冶官兴建“水冶”,该也有一套利用谷水水流的办法。

据《太平御览》卷 833 引《武昌记》说:

北济湖本是新兴冶塘湖,元嘉初(元嘉元年为公元 424 年)发水冶,水冶者以水排。冶令颜茂以塘数破坏,难为功力,茂因废水冶,以人鼓排,谓之步冶。湖日因破坏,不复修治,冬月则涸。

这里所谓“塘”就是拦河坝,所谓“冶塘湖”就是因水冶筑塘而形成的湖,当然,这种湖不是大规模兴建的,只是利用低洼之地筑塘而形成的。这里说:武昌的北济湖原是新建的冶塘湖,元嘉初年在那里装置水排,利用水力来冶铁,叫做水冶。因为塘没有筑好,常常为水流所破坏,水冶也就“难为功力”了。因而就废弃水冶,改用人力来鼓风,叫做“步冶”。从此湖日渐破坏,不再修浚,一到冬季水就干涸。从这里,可知在南北朝时代,水力鼓风机械的装置工程,不但有建筑拦河坝的方法,而且已有兴建小规模的水库的方法。

在魏晋南北朝时代,不仅装置水排有用拦河坝的方法,所有水力工作机的装置都是用这种方法的。用筑拦河坝的方法来装置水力工作机,如果上游两岸的堤岸不高,遇到雨季大水暴涨时,无可避免地将使上游两岸泛滥成灾。如果遇到天旱,坝的下游就会发生旱灾,严

重影响到农业灌溉。在晋代,因为利用水力的大手工业,特别是利用水力的农产品加工的手工业,利润很大,有权势的官僚地主往往霸占河流,到处建筑拦河坝,建造水碓,这样就不断地给农业生产带来灾害^①。要免除农业生产的灾害,是非改进拦河坝的建筑方法不可的。中国远在战国秦汉时代,已在水利工程中设置水闸了^②。王祯《农书》曾说这种水闸既有利于灌溉,又有利于航运,更可以“激动碾砮”等水力工作机。由此可知,这种水利灌溉工程上用的水闸,后来就同时用来装置水力工作机。这样,在水力工作机所用的拦河坝上装置水闸,就可免除因拦河坝而引起的灾害;而水利工程上的堤坝水闸,又可利用它来装置水力工作机了。

① 例如《晋书·刘颂传》说:“〔刘颂〕转任河内。……郡界多公主水碓,遏塞流水,转为浸害。颂表罢之,百姓获其便利。”《太平御览》卷762引王隐《晋书》也说:“刘颂为河内太守,有公主水碓三十余区,所在遏塞,辄为侵害。颂上表封,诸民获便宜。”

② 参看拙作《战国时代水利工程的成就》第四节,收入李光壁、钱君晔编《中国科学技术发明和科学技术人物论集》,三联书店1955年12月版。

第五章 早期化铁炉的发展及 铸造铁器技术

一 战国时代化铁炉及铸造铁器技术

我国很早就发明了冶铸生铁技术，最初生铁的铸件当是用炼铁炉的铁水直接浇注而成。至迟到战国中晚期，冶炼生铁和铸造铁器已开始分工。我们已经发现了多处战国时期的铸造铁器作坊的遗址，例如河南新郑郑韩故城内仓城的铸铁遗址、西平酒店村铸铁遗址、登封告成镇铸铁遗址等。酒店村和告成镇都是从战国时期到汉代连续使用着的铸造铁器作坊的重要遗址。酒店村可能就是当时著名的棠谿的遗址，告成镇就是古代重要都城阳城的所在。

登封告成镇的铸铁遗址，就在告成镇的东塞外，阳城古城的南墙外。1977年曾经试掘，发现了战国时代化铁炉的残块、铸造各种铁器的残陶范以及汉代化铁炉残底等^①。《山海经·中山经》载：少室之山“其下多铁”，少室山就在告成镇的西北部。根据初步调查资料，在今告成镇东北约十二公里大冶镇一带和东南仅三公里的冶上村一带，都有汉代冶铁遗址，说明由于这里产铁，从战国到汉代，这一带冶

^① 参看《文物》1977年第12期，中国历史博物馆考古调查组等：《河南登封阳城遗址的调查与铸铁遗址的试掘》。

铁业不断有发展。汉武帝实行盐铁官营后,在全国设置四十九处铁官,阳城便是其中一处。

根据阳城铸铁遗址试掘的结果,化铁炉的炉底系用掺有粗砂的粘泥制成,外侧粘附有一层厚约 2 厘米的草拌泥,周围直径为 1.44 米左右。炉壁用白色石英砂掺合耐火土制成。有的炉壁在耐火泥内夹进了数层铁锄残片,类似现在在水泥中配置钢筋的作用。炉壁的内壁,有用两端尖、中间粗的圆形耐火泥条横列叠砌成的炉衬,厚 4.4 厘米(参看图 5-1)。整个化铁炉由于遗留的炉壁不多,已不能复原。同时还出土有拐头的陶鼓风管(参看图 5-2)以及木炭屑,说明化铁炉也和炼铁炉一样使用木炭作燃料。

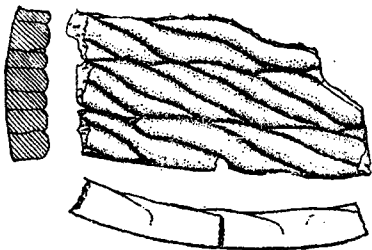


图 5-1 告成镇战国铸铁遗址化铁炉的耐火泥炉衬

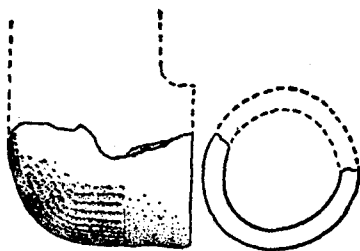


图 5-2 告成镇战国铸铁遗址化铁炉的陶鼓风管

在告成镇的铸铁遗址中,还发掘和采集到不少铸造各种铁器的残陶范。其中能看出所铸铁器形制的,计有镢、锄、镰、斧、刀、削、戈、箭杆、环、方棱形条、带钩等十多种。陶范有外范和范芯(内范)之分,外范由范底和范盖组成。其中镢范、斧范和圆柄形范,采用范底、范盖和范芯三者合铸,其余都用范底和范盖扣合铸造。凡是一套相扣合的范底和范盖,都是大小相同,并且扣合严密。外范的形制,分扁长方形和梯形两种。在每件外范(范底和范盖)的四个侧角中间,各挖有一个三角形豁槽(参看图 5-3)。在豁槽与豁槽之间,还遗留有绳子捆绑过的痕迹。同时在捆绑绳子的两侧和外范的周壁和底面,

都有厚薄不等的红色加固泥遗存。这是在铸造铁器之前,为了使范底和范盖扣合紧密,先用绳子把每套陶范或几套陶范捆绑起来,并在范外再糊上一层加固泥,然后经过入窑烘烤,趁热浇铸。浇口一般都设在范底铸造面上端的中部。浇口的形制一般为上宽下窄的椭圆漏斗形。陶范的范腔多数设在范底的铸造面上,即所谓“单合范”。但也有少量是范底和范盖都有一半范腔的,即所谓“双合范”。为了使所铸铁器的器表光滑,使范底和范盖的铸造面吻合严密,在合范铸造前,还要在范底和范盖的铸造面上,涂上一层质细而薄的红色细料。因而凡是铸造过铁器的陶范,铸造面皆呈光滑的灰白色铸痕,而铸造面的周边则为光滑的红色和黑红色。

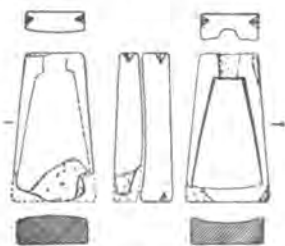


图 5-3 告成镇战国铸铁遗址出土陶锄范的底和盖



图 5-4 告成镇战国铸铁遗址出土陶带钩范

告成镇出土的陶范,有一范铸造一器的,也有一范铸造两器的,如双镋范、双斧范、双镰范、双刀范等。铸造较小的器物,更有一范铸造多件器物的,如削范有两至五个范腔上下并列的,箭杆范有四根、五根或六根范腔并列的,带钩范有四个或六个以上范腔重叠在一起的。带钩范的范底和范盖的范腔两侧各有一个方棱形母榫,可以使范腔扣合严密和吻合;范的中间有一个直浇口,直浇口和范腔间又有内浇口。说明当时已采用一范多器的薄壳铸造法(参看图 5-4)。

河南新郑县郑韩故城内的仓城铸铁遗址发现有多浇口的卧式

多层镗范,就是把单面的镗范并列组合在一起,以便同时浇注,但是各个范的浇口仍是分开的,没有串在一起,这是叠铸技术的初级形式。

战国时代铸造铁器技术之所以能够这样进步,是由于战国以前,在青铜冶铸技术上已经累积了丰富的实践经验。当时铸造青铜器的陶范,不仅有双合的,也还有多合的;空心的器件的铸造更要使用范芯(内范)。为了浇铸时使范芯固定,有在外范上做成卯、范芯上做成榫的。战国时代铸造铁器使用的陶范,显然是在制作铸造青铜器陶范的基础上发展起来的。

值得注意的是,1953年河北兴隆县寿王坟曾发现了87件战国时代的铁范,其中有锄范1副(3件),双镰范2副(每副1件),镗范25副(每副2件,其中3副缺外范,一共47件),斧范11副(每副3件,其中3副缺内范,一共30件),双凿范1副(计2件),车具范(2件)。在出土铁范的附近曾发现大量红烧土、木炭屑和筑石基址,说明这一带是当时冶铁范铸的地方,是一个具有一定规模的冶铁作坊。在镰、凿、镗、斧等范上都有战国铭文“右𠂔”两字(近人释为“右仓”或“右廩”),当是燕国官营作坊的名称。战国时代各国中央和地方所设的仓库,不仅是保藏器物的处所,同时又是管理制作器物的机构,因而常常设有各种官营手工业作坊。在这个冶铁作坊西约一公里半的古洞沟,现存两个古代铁矿井,坑内面积很大,并有阶梯可下,当为冶铁的原料产地。在兴隆县鹰手营子和隆化县各发现铁斧一件,在兴隆县寿王坟发现残铁锄两件,其形式和前面所谈的斧范、锄范基本相同,证明了这批铁范是专门铸造铁工具的^①。从这批出土的铁范上,可以看到战国时代的铸

^① 参看《考古通讯》1956年第1期,郑绍宗:《河北兴隆发现的战国生产工具铸范》;《文物》1960年第2期,杨根:《兴隆铁范的科学考查》。

造铁器技术已相当发展,而且这种铸造铁工具的作坊已有一定的规模。

这批铁范中以农具范占多数,有一副锄范可以作为代表。这副锄范共三件组成,上、下两半双合,上半是平板,下半是锄的形状,还有一条四角锥形的铁内芯。范的边缘有三枚子母榫,可使上下扣合。范的背后有带弓形的把手,浇口在上端,通长 18.6 厘米,上宽 6.9 厘米,下宽 23 厘米,腰宽 20.5 厘米。把手高 4 厘米,宽 5 厘米。这副锄范的形制美观,结构整齐,用来浇铸成的铸件为板状铁锄,近背部有装木柄用的横方孔,通高 11.5 厘米,刃宽 20 厘米,体厚 0.5 厘米(参看图 5-5)。

这批铁范是用典型的白口生铁铸造而成,含碳量高达 4.45%。从它的结构来看,当时铸造技术已比较成熟。这批铁范的外面形状,与范腔的形状基本一致,这样不仅可以降低铸范用铁的消耗;还可以减轻铁范的重量,使便于操作;更可以使铸范的每一部分冷却速度均匀,以保证铸件质量和铸范寿命。这里还采用了铁内芯插入锄范壁来形成锄柄孔的方法,可以看出当时这种铸造技术已达到相当成熟的程度。如果这时冶铁工匠不掌握相当熟练的技术,是不可能浇铸造好这种留有柄孔的薄壁铸件的^①。

从铸造技术的发展过程来看,从陶范到铁范的使用,是一个很大的进步。使用铁范来铸造铁器,不仅可以提高铸造铁器的质量,而且可以降低生产的成本,提高生产的效率。因为陶范一般只能使用一次,每浇铸一次都要使用新范;而铁范就不同了,可以连续多次使用。除了河北兴隆县发现大批战国铁范以外,石家庄、磁县等地也曾发现战国铁范,说明战国中晚期铁范已较多的使用。

^① 参看《文物》1973年第6期,张子高、杨根:《从侯马陶范和兴隆铁范看战国时代的冶铸技术》。

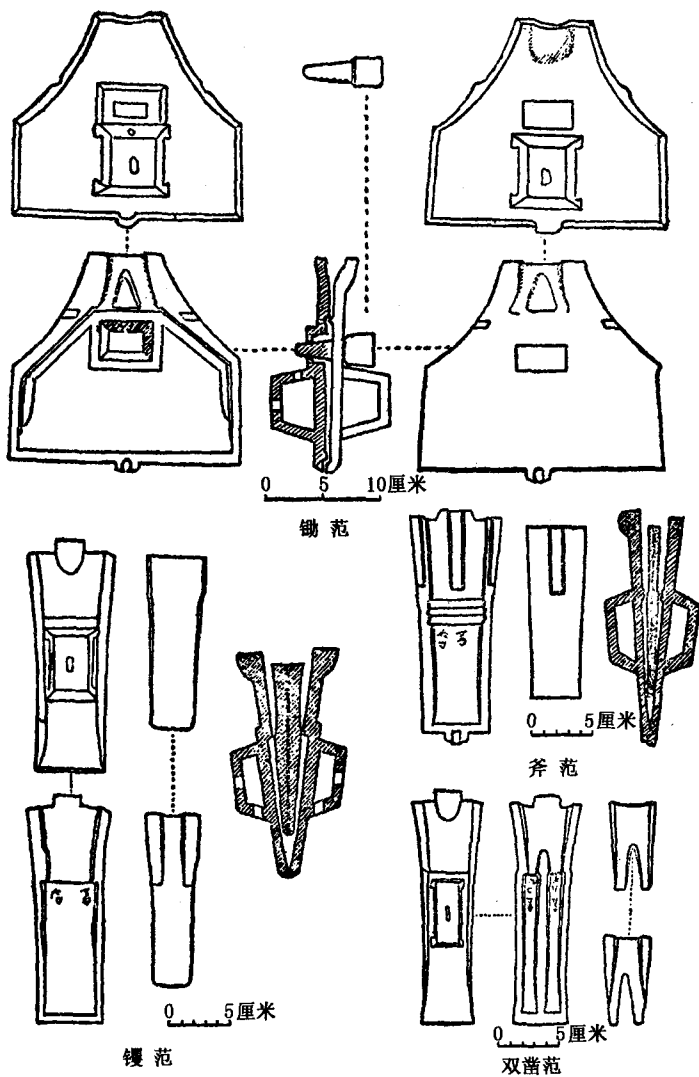


图 5-5 兴隆发现的战国铁范

(采自《考古通讯》1956年第1期,郑绍宗:《河北兴隆发现的战国生产工具铸范》)

二 汉代化铁炉的进步

从已发现的汉代冶铁遗址来看,当时冶铁作坊有以炼铁为主而兼铸铁器的,也有专门铸造铁器的。例如河南巩县铁生沟和郑州古荥镇等遗址,就是属于前一种。古荥镇遗址除发现两座大炼铁炉外,还发现有大量铸造铁范用的陶模(即母范),计有犁模、犁铧模、铲模、凹形耒模、一字形耒模、六角承模等;还出土有直接浇铸成器的陶范,计有铺首范、鼎耳范、鼎足范等;同时更出土有铸成的铁器,如犁铧、铲、铤、耒、耜等农具以及耒、矛、齿轮等。在陶模和铁器上,都发现有铭文“河一”,这当是作坊铸造的标志。河南南阳瓦房庄冶铁遗址,则是一处专门铸造的作坊,除发现七座化铁炉外,还发现有陶模如铧模、耒模、耒铧模、六角承模、耒模等;陶范如铧范芯、耒范、耒范、车轴范、杈范、鼎范、釜范、盆范等;铸成铁器如铁镰、铁锄、铁犁、铁耒、铁耒铧、铁耒、铁铤、铁刀、铁矛、铁齿轮、铁马具、铁六角承、铁轴、铁鼎、铁釜等。

从这些汉代冶铁遗址的化铁炉来看,它的结构和筑炉材料显然和炼铁炉有别,炼铁和化铁的分工已很明确。化铁炉以炼铁炉所产铁锭或废旧铁器作原料,进行熔化,熔成铁水,用来浇铸铁器。

巩县铁生沟遗址发现有化铁炉1座,炉身圆形,直径1.01米,底近圆形。在北壁的硬土台上遗留有三块侧立的红砖,可能是砖砌的炉齿。炉身南部有长方形的炉道,长0.8米,宽0.56米,深0.38米,底部平坦。炉的周围有八个铸造坑,大小不同,作长方形或不规则形。在炉和铸造坑附近发现一批不同形式的陶范,都作单合范,都已残缺。由于采取一范一器的铸法,保存下来的陶范不多(参看图5-6)^①。

^① 河南省文化局文物工作队:《巩县铁生沟》,文物出版社1962年版,第23—26页。

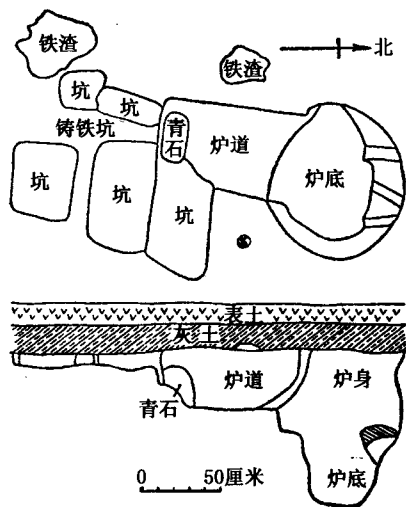


图 5-6 巩县铁生沟汉代冶铁遗址化铁炉平面图和剖面图

南阳瓦房庄遗址发现化铁炉 7 座。整个化铁炉可以分为炉基、炉底、炉缸、炉体等部分。炉基直径约 2.6 米，用厚 50 毫米的草拌泥铺筑而成，烧成橙黄色。炉底是空心的，由基底、束腰式支柱、周壁与炉缸组成。基底厚约 45 毫米，用掺有大颗粒砂的耐火泥铺成，砂的粒度在 10 毫米左右。周壁厚 40—50 毫米，支柱大约有 15 个左右，直径 70—120 毫米，高 70 毫米，都是用掺有大量小颗粒砂的耐火泥筑成。支柱之上砌筑炉缸底部。

瓦房庄遗址中化铁炉的炉身圆形，周围的炉壁全用特制的弧形耐火砖砌成，外敷草拌泥厚约 15—50 毫米，内搪炉衬厚约 40 毫米。根据出土时比较完整的 14 块耐火砖的弧度来推测^①，炉的平均内径可能有 1.5 米左右。炉体是否直筒形，因为出土的耐火砖较残破和堆积不规

① 14 块耐火砖中，最小的外径 1.16 米，内径 0.92 米；最大的外径 2.3 米，内径 2.14 米。

则,已无从推断。炉体大体上可以分为三个区域:(1)预热区,炉口及其下三四层砖,炉衬略现熔融,有许多龟裂纹道,温度最低。(2)还原区,炉体中部的三四层砖,炉衬都有烧流,说明这里温度较高,可以起还原作用。(3)氧化区,再往下三四层砖,炉衬普遍烧流,有的甚至全部流下,露出砖体,说明这里温度最高,当是靠近风口处的氧化区。依照耐火砖高度以及上述炉壁烧流情况来推算,炉体高度约3—4米。

瓦房庄遗址出土有大量陶鼓风管。有一种陶鼓风管带有直角弯头,外敷厚约45毫米的草拌泥,有明显外加热的迹象,下侧泥料表层烧熔下滴,靠近拐角处的泥料也熔融顺角流下,流向火焰相对的方向,而另一侧则受热程度较低。经测定,烧熔的温度为1250度到1280度,表明其火焰温度不会低于这个水平。河南省博物馆的同志认为这可能是一种用作预热的鼓风管,向炉内鼓送热风用的;同时根据南阳地区流传的一种土法热风铁炉的结构,认为它可能架设在炉顶上,作为预热管道使用的。并根据这种设想,绘制成复原图(参看图5-7)。

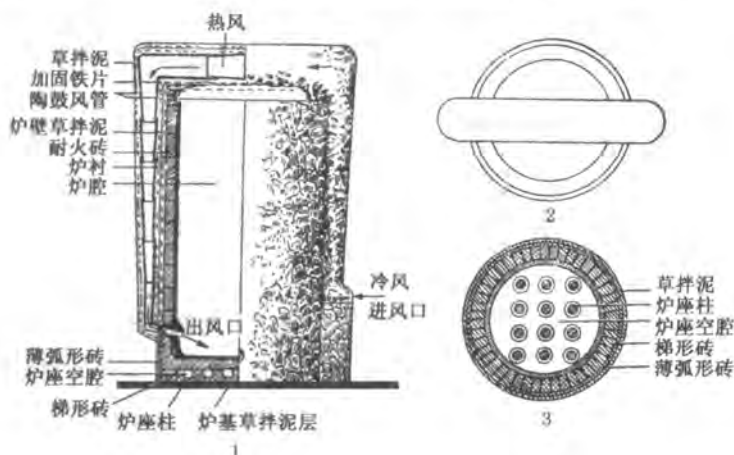


图5-7 南阳瓦房庄汉代冶铁遗址化铁炉复原图

(采自《考古学报》1978年第1期,《河南汉代冶铁技术初探》)

瓦房庄遗址距离河流较远,发掘中也未发现水渠,鼓风设备不可能使用水排。在化铁炉的炉基以北3—4米处,有一个圆坑,直径7—8米,深1米左右,底部平整,中心有长3.3米、宽1.5米的凹槽。坑的西北部又有宽0.75米的阶梯,能容一人上下;正北有一条长9米、宽1.4—1.6米的沟槽。估计这个圆坑可能是使用“人排”的遗迹。

瓦房庄遗址中还出土不少梯形铁板(即铁锭)和铍、舌、铤、镗、锄、斧等铁器残片,残片的块度约40—70毫米,当是化铁炉所用的原料。遗址还出土方形铁钻和铁锤,既是锻造工具,也可用来破碎铁料。更出土有大量的木炭渣,可知所用燃料是木炭。从木炭年轮和粗大的辐射状纹理来看,应由栗木烧成,这是一种质量很好的木炭。炉中残留的木炭凝块,有的与表面微熔的铁块凝结在一起,某些器形尚能辨认,这种现象可能是由于分层装料(即一层铁料夹一层木炭)加以熔炼而产生的。残存的炉衬,断面明显地分成三层,说明至少经过两次停炉修补。由此可知,当时这样大的化铁炉是半连续操作的,每出一次铁水,便浇注一批铸范,铸造各种铁器。当熔炼过久或浇注铸范告一段落,需适时停炉。如果炉衬被侵蚀烧流,就需经过修补,才能继续使用^①。

三 汉代铸造铁器技术的发展和叠铸技术

汉代铸造铁器的技术,在战国时代铸造铁器和铜器技术的基础上有了新的发展。这时铸造用的陶范还继续使用,并有所发展,该与灰口铁的铸造有关。因为铸造灰口铁需要较缓慢的冷却速度,使用

^① 参看《考古学报》1978年第1期,河南省博物馆、石景山钢铁公司炼铁厂、中国冶金史编写组:《河南汉代冶铁技术初探》。

陶范是比较合适的。近年来在河南郑州古荥镇和温县西招贤村汉代冶铁遗址,都曾发现烘范窑;陕西咸阳曾发现秦汉时代车器范的烘范窑,陕西西安北郊还发现新莽钱范的烘范窑,形制基本相同。这些烘范窑除用来烘烤陶范以外,还用来预热陶范以便浇铸,这样可以减少次品,提高产品质量。

这种烘范窑是地坑式的。这里以温县遗址的烘范窑为例,具体说明它的结构。烘范窑呈东西方向,建筑在距现在地表深 1.5 米的长方形土坑中。窑通长 7.4 米,宽 3 米,可分为五部分:窑道(工作场地)、窑门、火膛(燃烧室)、窑室、烟囱。窑道近方形,长 2.7 米,宽 2.34 米。窑道西南角有台阶,以便工匠上下。窑道东壁就生土挖成一拱形的窑门,门高 1.44 米,宽 0.84 米。窑门内为火膛,平面作梯形,是烧火的地方。火膛与窑室相通,火焰可以通向窑室。窑室比火膛高 50 厘米,近方形,长 2.86 米,宽 2.72 米,底部为砖铺地面,四壁用土坯砌成,向上逐渐收拢,用来烘烤陶范。从残存遗迹来看,窑顶应是密封的拱券形。在窑室上部一侧或两侧当设有门,以便铸范的装卸。窑的后壁有三个烟洞和烟囱,边宽 26 厘米。中间的烟囱是垂直的,两边两个烟囱作弧形,向中间靠拢。参看复原的剖视图(图 5-8)^①。温县烘范窑以木柴和木炭为燃料,古荥镇有一烘范窑中发现有煤渣和煤饼,可能用煤为燃料。从陶范和窑壁的火候来看,窑内温度不够均匀,这是个缺点。

汉代铸造铁器的陶范的制作,是在战国以前铸造青铜器的陶范的基础上进一步发展起来的。至迟到西周时代,制范的泥料已有面料和背料之分。面料是指陶范的表层所用经过筛选的细料,可以使范的表面光洁,花纹清晰。背料是指陶范其他部分所用的加砂的粗

^① 参看河南省博物馆、中国冶金史编写组:《汉代叠铸》,文物出版社 1978 年版,第 12—14 页。

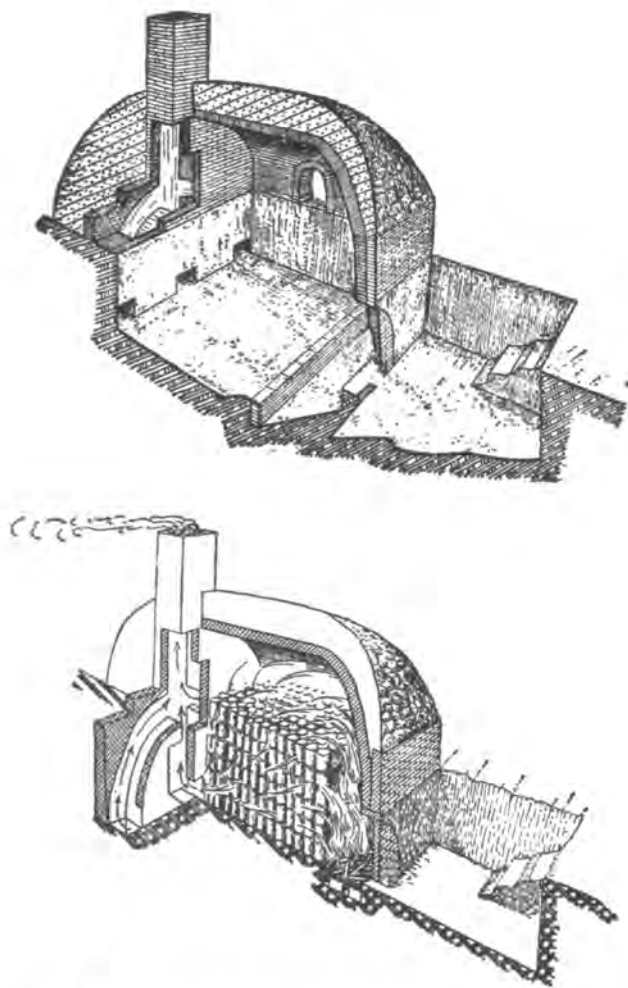


图 5-8 温县西招贤村东汉冶铁遗址烘范窑剖视图

上图:烘范窑结构剖视图 下图:烘范窑烘制成品时剖视图

(采自《汉代叠铸——温县烘范窑的发掘和研究》，文物出版社 1978 年版)

料。比较大型的陶范同时使用面料和背料,可以节省细料的用量,并增加范的透气性。郑州古荥镇汉代冶铁作坊铸造的大型犁铧所用的陶范,就是沿用这个办法,同时又有了改进。他们先用背料制成范块,表面打出许多夯窝,然后用面料涂敷其上,使范面十分平整光洁。

同时小型陶范的制作,不论范身和范芯,都使用经过筛选的泥料,而不分面料和背料。当时由于积累了丰富的铸造经验,认识到范身和范芯的用途不同,浇注时承受的温度和压力不同,它们所用的原料和配比也各不相同。这里以温县东汉遗址烘范窑中保存的五百多套尚未浇注的叠铸范为例,说明范身、范芯所用原料和配比的的不同。一般范身所用泥料中黏土含量比范芯要高,是为了增加其强度;同时麝和部分研磨很细的旧范土,是为了提高泥料的塑性,使易于就范成型,并使在干燥和烘烤过程中不易开裂。范芯的主要作用是用来获得铸件的内腔和穿透孔,由于它受高温金属液的包围,要求有较好的透气性和退让性。范芯所用泥料中含砂量比范身高,是为了降低强度,提高透气性;加入一定量的草秸屑,是为了减少范芯的收缩率,防止在干燥及烘烤过程中发生裂纹。经过高温焙烧,草秸屑碳化以后,又可使范芯增加孔隙,提高透气性和退让性。至于合范用的加固泥,就取用未经筛选的粗料,并掺入大量的草秸,使烘烤后形成较大的缝隙,以利透气和散热。汉代各个冶铁遗址出土的陶范,其范身、范芯和加固泥所用的原料及其配料大体上差不多。

当时陶范都用模(母范)翻制而成。模有陶模和金属模两种。一般用陶模翻制陶范的方法是:先将陶模放在模板上,套上边框,把配好的泥料填入框内,一层层地边填边夯,使泥料填满而压实,达到适当的紧实度,因此范背常常留下圆而平的夯痕,周边还隐约地可以看到夯层的痕迹。陶范制成后,等到阴干,为了保护范面,便于铸造铁器,还要刷上银灰色的滑石粉涂料。然后合范和糊上草拌泥,等到晾干,便可入窑烘烤。多数陶范的烘烤,温度在 600—700 度以上,也有温度较

低的,约 200 度。陶范经烘烤之后,便可用铁水趁热浇注,铸成铁器。

陶范也有用金属模盒翻制而成的。例如温县东汉遗址烘范窑中保存的大量陶范,从其表面痕迹,可以看出它们是用金属模盒翻制的。这种金属模盒是用木模翻制成的,往往留有木纹痕迹,因而用它来翻制成的陶范,有的地方还可以看到木纹痕迹。例如铸造革带扣的陶范片上,中心斗合线及两侧的木纹痕迹还清晰可见。制作陶范时需要适当掌握泥料的紧实度,因为太松则强度不够,浇注时会将范冲坏;过度紧实则不易脱模,并且要降低范的透气性。用金属模盒翻制陶范,更需要注意这点。用金属模盒翻制陶模的方法是:先在模盒内撒一层草木灰,然后放入配好的泥料,随放随用小棒桩紧,使其紧实度适当。从温县出土陶范的表面观察,可以发现靠近范腔部位的紧实度较边沿部分为强,这样可以保证范腔结构严密,腔壁光滑平整,也利于脱模。

从温县出土的叠铸陶范,可以看到当时铸范的设计已达到相当高的水平。在许多陶范中,有一范一件的轴套范、一范两件의 圆环范、一范四件的革带扣Ⅱ式范和一范六件的钩形器范,范腔多数采用偶数,在范面上可以对称排列。这种陶范片都用同一金属模盒翻制而成,具有高度的互换性;同时陶范片都对称排列而以一条或三条斗合线作为基准,可以保证合范后的范腔以及由此浇铸成的铸件,都有较高的精确度。这是相当科学的设计,同时也具有巧妙的工艺构思。

从温县出土陶范的制作来看,当时在工艺设计中,已注意到陶范的收缩量、拔模斜度和榫卯定位结构等方面。(1)关于陶范收缩量:用砂型来铸造,一般不考虑铸型本身的收缩膨胀,因为数值很小。但是用泥型来铸造,就必须注意到陶范的收缩量。以温县出土的车套范芯与陶质芯盒作比较,芯盒内腔长 7.8 厘米,作出的范芯经烘干后长 7.5 厘米,盒腔比范芯放大 0.3 厘米的收缩量,这样收缩后的范芯放入范腔中刚刚合适。这该是根据实践经验来进行设计的。(2)关

于拔模斜度:为了使范片或范块在范盒翻制成功后能够顺利取出,垂直于模壁都要做成一定的斜度,称为拔模斜度。从温县出土的陶范来看,当时对拔模斜度的设计已掌握一定规律。壁高如轴套,拔模斜度较小;壁矮如革带扣,拔模斜度相应增大。(3)关于榫卯定位结构:合范用的榫卯定位结构十分重要,制作不合规格就会严重影响铸件质量。温县出土陶范上的榫卯结构,制作很精细。榫是由卯翻制出来的,这样扣合就能严密。范片上的榫卯,少则四个,多则八个。有的范片不仅边部有榫卯,还在范腔内采用乳钉形或角锥形的小定位销,使合范时定位更为可靠。有的范还采用复合式榫卯,即两个榫或两个卯连在一起。榫卯做成三角形,也有做成梯形的。

当时陶范的工艺设计,还注意到整个布局。为了使范面紧凑,范腔之间的泥层很薄,榫卯定位结构也尽量作紧凑的安排,例如环范的榫卯就设在范腔内的自带式泥芯块上。范的外形与范腔制作得形状相同,边的厚度也尽可能一致,不少陶范还削去角部。这样不但可以减少范的体积,还可以使得散热均匀,提高铸件质量。

值得重视的是,汉代叠铸技术有了重大发展。叠铸技术,就是把许多相同的范片和范块层层叠合起来,用统一的直浇道,一次浇注出多个铸件。它最适用小型同类铸件的大量生产。这种技术,战国时代已经发明,例如齐刀币就是多层叠铸的。从齐刀币铜质模盒的特征来看,和温县汉代烘范窑出土陶范的制作工艺基本一致,说明汉代铁器的叠铸技术,是从战国时代青铜叠铸技术的基础上发展起来的。

温县烘范窑出土的 500 多套陶范,多数是用来铸造车马器,共有 16 类,36 种器形。每个铸范的范腔有 1 件到 6 件,每套铸范由 5 到 17 层范块叠成,最少一次可浇注 5 件,多的一次可浇注 60 件到 84 件。例如钩形器范,一范 6 件,每套由 10 层范叠成,一次可铸 60 件;圆环范 I 式,一范 4 件,每套由 17 层范叠成,一次可铸 68 件;革带扣范 I 式,一范 6 件,每套由 14 层范叠成,一次可铸 84 件。革带扣范

Ⅲ式，一范2件，每套由12层范叠成，一次可铸24件(参看图5-9)。

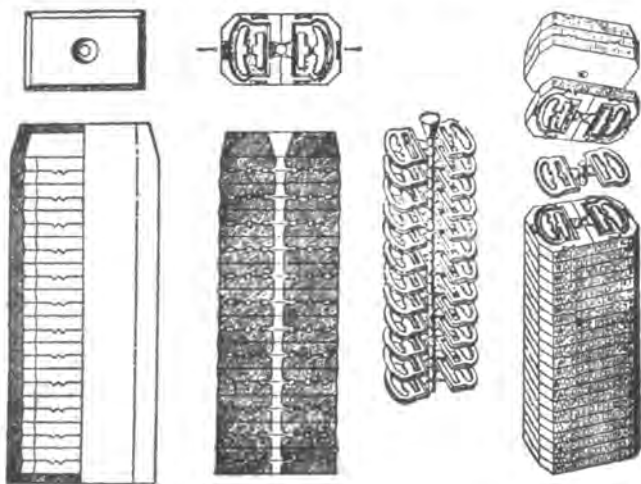


图5-9 Ⅲ式革带扣叠铸范和铸件

(采自《汉代叠铸——温县烘范窑的发掘和研究》，文物出版社1978年版)

陶范多层叠装方法大致有两种：(1)心轴套合法：例如轴套范，范面呈桃形，桃尖处设置直浇口，中心为圆形轴孔。多层叠装起来，以木质心轴由上而下贯穿轴孔，同时对准直浇口，然后糊上加固泥，便成为一套叠装铸范。(2)定位线套合法：例如圆环范，范面长宽度相差很小，为了防止叠装出错，在每个范的一边做出三条定向线(即泥印)，另一边又有两条定向线。按照两边不同的定向线进行叠装，便容易准确。这种范的直浇口设在中央，为了防止浇口对不准，需要用心轴贯穿直浇口(参看图5-10)。

这种多层叠装的陶范，有一定的叠铸浇注系统，由浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道等组成。(1)浇口杯：做在顶范上，和直浇道相通，用来接纳从浇包中流下的铁水。浇口杯随着直浇口位置的不同，采用了不同形状，有正漏斗形(如革带扣、圆环等范)和偏漏斗形(如

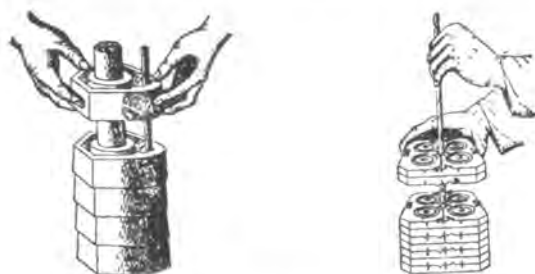


图 5-10 叠铸范的两种套合方法

1. 心轴套合法 2. 定位线套合法

(采自《汉代叠铸——温县烘范窑的发掘和研究》，文物出版社 1978 年版)

车套、轴套等范)两种,口径为 2 厘米或 3.5 厘米,高 2 厘米。(2)直浇道:通连浇口杯的垂直通道。直浇道高,铁水流入的速度快,压力大,对铸件填充性就好。直浇道的截面大多为圆锥形,少数也有作椭圆形的,只见于革带扣范和衔范。浇口杯和直浇道在范面上所处的位置,根据范腔内铸件排列的不同而异,有的设在范面的一侧,有的设在范面的中心,可以分为顶注式和中注式两种。(3)横浇道:仅见用于车销范,是为了使铁水从直浇道合理地引入内浇道而不损伤铸件。(4)内浇道:是引导铁水从直浇道或横浇道流入范腔的通道。

现代铸造工艺,是按照金属液在浇道中充满程度来划分,有开放式、部分封闭式和封闭式三种类型。开放式,是从直浇口到横浇口到内浇口,截面积依次扩大,因而金属液在浇道中是不充满的。反之,金属液在浇道中充满的,称为“封闭式”。部分封闭式则介于二者之间。温县汉代叠铸范,对这三种类型的浇注系统已全部采用。例如 I 式圆环范属于封闭式,铁水在浇道内是全部充满的。而车销范的第一层铸范是属于部分封闭式,从直浇道到横浇道,铁水是充满的,在内浇道中是不充满的;第二层和以下各层铸范,则

属于开放式,铁水在浇道中都是不充满的。当时的冶铸工匠已能根据各种铸范的不同需要,分别采用三种浇注系统。如对于较小的铸件,一般采用封闭式,这样充型较快,生产率高。对于较为厚重高大的铸件,则采用开放式,内浇口厚度增大四分之三(从2毫米加到3.5毫米),而直浇口直径却增加很少,甚至不增加。但是也有些小件由于特殊情况而采用开放式的,例如Ⅲ式革带扣的浇注系统,本来和Ⅱ式革带扣一样,应该用封闭式或接近封闭式的,但是因为改用扁圆形直浇道,内浇道总面积相对增加,也成为开放式。浇注系统这种具有规律性的设计、安排,说明汉代的叠铸技术已达到相当高的水平。

汉代叠铸范浇注系统最显著的特点,就是采用了很薄的内浇口。温县出土陶范的内浇道出口处的厚度,小铸件仅2毫米(如革带扣、圆环、马镫、车轭等范),较厚重的铸件也只有3.5毫米(如车销、六角承、轴套等范)。这种设计很富于创造性。这样薄的浇口,铸范必须经过预热,才能使铁水流得进去。因为用预热的铸范浇注,能减低金属液在叠铸范中的冷却速度,提高它的流通性。预热铸范,趁热浇注,是我国传统的冶金工艺。殷周的陶范和战国的铁范,都是经过预热之后才浇注的。汉代采用这种薄浇口、预热浇注的叠铸范,不仅用来大量生产小型铸件,而且用来大量铸造钱币。

河南南阳瓦房庄汉代冶铁遗址还发现东汉时期多堆式叠铸车轭范,两堆铸范共用一个直浇道,使浇注的效率更为提高,金属的实收率更为增加,这比温县叠铸范又进了一步(参看图5-11)。

这种叠铸技术在我国长期流传和发展。例如素负盛名的广东佛山的铸造业使用叠铸技术,据说已有八百多年的历史,积累了丰富的经验。

汉代小型铸铁件采用叠铸技术,而大型铸铁件则采用地面造型。例如瓦房庄出土的一件铸铁釜,直径达2米左右,就是采用地面造型法。

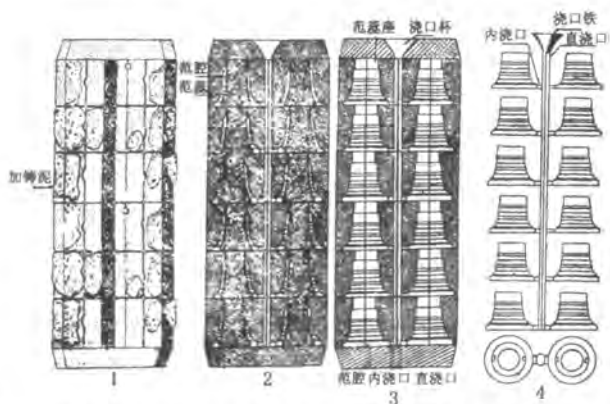


图 5-11 南阳瓦房庄遗址发现东汉多堆式叠铸车范铸造工艺图

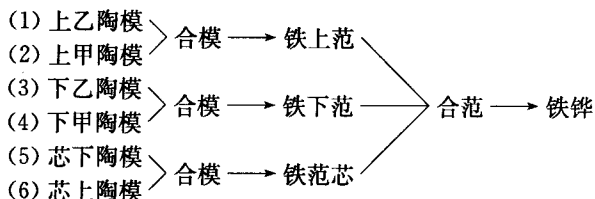
1. 车范合范后的外形示意图
2. 车范合范后的剖面示意图
3. 车范合范后的浇道系统和范腔
4. 车范叠铸件示意图

汉代对铁范的应用,比战国时广泛了。河南南阳、郑州、鲁山、镇平和山东莱芜、滕县等地汉代冶铁遗址出土的铁范和铸造铁范的陶模,计有犁铧、一字舌、凹字形舌、凹字形铧、凹字形耒铧、耒、铲、镰、凿、锤、六角承、四方形铁材等。

南南北关瓦房庄汉代冶铁遗址,曾出土五十多块铸造铁犁铧范的陶模和一些以这种陶模铸造的铁范。其中有上甲陶模、上乙陶模、下甲陶模、下乙陶模和铁上范、铁下范、铁范芯。陶模系用黄黏土配合 35% 左右细沙制成。浇口作扁漏斗状,设在模的顶端。所制作的陶模的腔型,厚薄均匀,能使铸出的范件各个部位的范壁,达到厚薄一致。因为厚薄一致的范壁,在浇铸时才能散热均匀,使铁液在铁范腔中合理凝固,以免铸件由于散热不均而发生裂痕。在浇铸之前,先合模(将甲乙两模相合),糊上草拌加固泥,再将陶模送入窑中烘烤,达到一定温度时停烘出窑,乘热浇注铁液。烘烤目的在于提高陶模温度,以便铁液畅流,注满模腔,不致因浇口小和模腔冷而产生浇注

不足的弊病。浇注时需要将浇口、冒口注满铁液,以适应模腔收缩的需要。待铁液在模腔中凝固到一定程度时,打开加固泥,脱去陶模,再打掉浇口铁,便可得到铁质铸范。

汉代使用陶模翻制铁范、再使用铁范浇铸成铁器的工艺,已得到普遍的推广。从瓦房庄遗址出土犁铧陶模和铁范来看,整个铸造工艺过程是这样的:先用上乙陶模和上甲陶模合模,浇铸出铧的铁上范;继用下乙陶模和下甲陶模合模,浇铸出铧的铁下范;再用芯的下陶模和上陶模合模,浇铸出铧的铁范芯;然后将铁下范、铁上范和铁范芯合范,加以紧固,经过预热,趁热用铁水浇注,便得到铁犁铧的成品^①。为了便于了解,作出示意表如下(参看图 5-12):



这种六模→三范→一产品的翻制浇铸工艺,汉代各地官营冶铸作坊已普遍使用。

铁范比较耐用,用来铸造铁器,操作也比较方便,能够提高产品质量,提高生产率。这时冶铸工匠对铁范的制作也取得了成熟的经验,力求铁范的外面形状与范腔的形状基本一致,力求范壁的厚度一致,使铸件的冷却速度均匀,从而得到薄壁而结晶良好的铁器。从一些出土的铁器来看,当时使用壁厚 10 毫米左右的铁范,已能铸造出壁厚 3 毫米的铁器,如铁犁铧、铁耜、铁耨铧等。这是古代铸造业的一项杰出成就。即使在现代,铸造 3—5 毫米的薄壁铁铸件,也是比

^① 见《文物》1965 年第 7 期,河南省文化局文物工作队:《从南阳宛城遗址出土汉代犁铧模和铸范看犁铧的铸造工艺》。

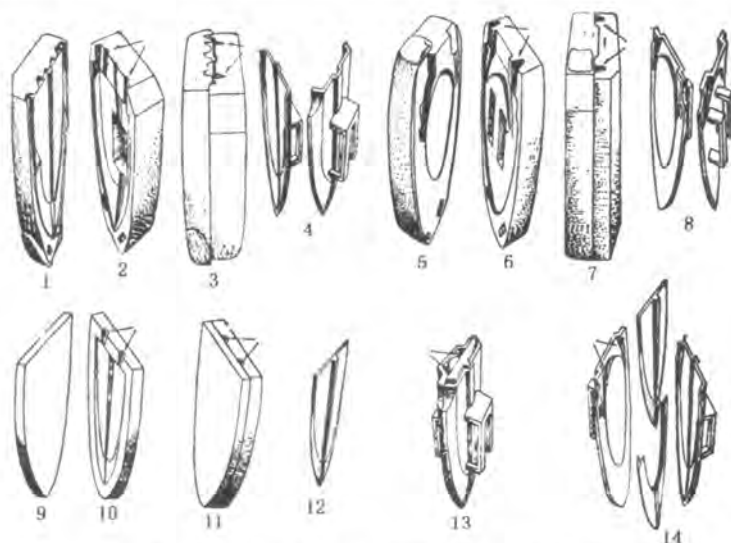


图 5-12 南阳瓦房庄铁铤翻制浇铸工艺示意图

1. 上乙陶模 2. 上甲陶模 3. 上乙陶模和上甲陶模合模 4. 上乙陶模和上甲陶模合铸的铁上范 5. 下乙陶模 6. 下甲陶模 7. 下乙陶模和下甲陶模合模 8. 下乙陶模和下甲陶模合铸的铁下范
9. 芯的上陶模 10. 芯的下陶模 11. 芯的上陶模和下陶模合模 12. 芯的上下陶模合铸的铁范芯 13. 铁范装备图 14. 用铁范铸成铁铤后的分解图

较先进的技术。汉代的铸件壁厚和铁范壁厚参看下表：

铸件名称	铸件壁厚	铁范壁厚
犁铧	3毫米	10毫米
雨	3毫米	8—10毫米
腰铧	3毫米	8—12毫米
六角承	6—13毫米	12—14毫米

使用铁范也还有其缺点。由于铁范传热性比陶范好，浇注后冷

却速度快,浇注成的铁铸件常常是白口组织,不易得到灰口铁。但是这时正流行使用可锻铸铁(即韧性铸铁)的生产工具,用作可锻铸铁的坯件的,必须是薄壁白口生铁,不容许有石墨析出。而采用铁范可以保证铸造出薄壁白口铁铸件,这正符合当时作为可锻铸铁的坯件而进行退火柔化处理的需要。南阳瓦房庄遗址出土的铁器,经化验,锤和轴承是白口铁,犁铧、耒铧、铲、镰、耨等农具都是用白口铁经过退火处理而成的可锻铸铁,这些坯件都是由铁范铸造的。

四 铁器的逐渐广泛使用和铁农具的改进

战国时代,中原地区随着冶铁技术和冶铁业的发展,铁器的使用正向两个方面发展:由于生铁冶铸技术的发展,铸铁柔化处理技术的进步,铸造的铁农具和手工工具,特别是可锻铸铁农具的使用正逐渐推广;由于块炼法的继续使用,固体渗碳制钢技术的发展,锻造的铁兵器,特别是钢制兵器的使用正开始推广。

我国北起辽宁,南到广西、广东,东到山东半岛,西到四川、陕西,通过考古发掘,发现了不少战国中期以后的铁器,这和春秋晚期和春秋、战国之际铁器只发现于南方吴、楚地区和中原周、韩地区的情况显然不同了。在当时齐、楚、秦、韩、赵、魏、燕等七国的广大地区,都有许多铁器的发现,其中生铁铸造的农具占很大比例。1950—1951年河南辉县固围村发掘5座大型魏墓,1号墓出土铁器65件,其中农具就占58件,包括耬、锄、铲、镰、犁铧等一整套铁农具。1953年河北兴隆县寿王坟燕国冶铁遗址发现一批铁范,共48副,87件,其中铁农具范28副,51件,占全部铁范的60%。还有铁手工工具范12副,32件。辽宁抚顺莲花堡燕国遗址出土的铁农具,占全部出土

农具的 85%^①。河北石家庄市市庄村赵国遗址出土的铁农具,占全部出土农具的 65%^②。这说明战国中期以后,铁农具在农具中已占主导地位。

从考古发现的战国遗址和墓葬来看,当时各国使用的兵器还是铜铁器兼用的,而且铜兵器占很大的比重。铁兵器特别是钢制兵器正开始推广。当时南方的楚国和中原的韩国都以制造锋利的钢铁兵器而著名,楚的铁剑有长达 1.4 米的^③。北方的燕国至迟到战国晚期也已较多地使用钢铁兵器。河北易县燕下都战国晚期的墓葬中就出土有 1 件铁兜鍪、15 件铁剑、12 件铁戟、19 件铁矛以及其他铁器。其中剑、戟有用钢制的,钢剑长达 1 米以上^④。

西汉时代铁器的应用比战国时更为广泛,主要表现在三个方面:一是冶铁业从中原地区不断向周围边远地区和少数民族地区推广;二是在铁农具、铁工具推广的同时,铁兵器正进一步推广;三是日常生活用的铁器和铁的机械构件正逐渐推广。

关于西汉时代冶铁业从中原向边远地区推广的情况,我们在前面第二章第一节中已经谈到。在考古发掘中,出土西汉铁器的地点,遍及福建、贵州、云南、新疆等边远地区和少数民族地区。同时,广西、广东等地出土的西汉铁器,无论品种和数量都显著增加了。据统计,目前广东出土的战国铁器只有斧、凿等 6 件,而出土的秦、汉之际铁器有凿、铍、剑、匕首、削等 19 件,出土的西汉铁器就有斧、凿、凿、镰、剑、戟、矛、匕首、削、剪等 201 件^⑤。

① 见《考古》1964 年第 6 期,王增新:《辽宁省抚顺市莲花堡遗址发掘简报》。

② 见《考古学报》1957 年第 1 期,孙德海等:《河北石家庄市市庄村战国遗址的发掘》。

③ 见《考古通讯》1956 年第 1 期,河南省文物工作队:《长沙衡阳出土战国时代的铁器》。

④ 见《考古》1975 年第 4 期,河北省文物管理处:《河北易县燕下都 44 号墓发掘报告》。

⑤ 见《考古》1977 年第 2 期,杨式挺:《关于广东早期铁器的若干问题》。

从出土的西汉早期兵器来看,铜铁还是兼用的,铁兵器往往和铜兵器同时出土。但是从汉武帝以后,即西汉中期以后,中原地区的主要兵器基本上已用铁制,取代了铜兵器,而且种类增多,器形一般也加大加重。这该当与当时官营冶铁业和锻铁技术的发展有关。

西汉中期以后,铁器的制造有着明显的进步和发展。不但质量提高,而且品种增多。在铁兵器、铁农具、铁工具增多的同时,日常生活用的铁器也显著增加了。1968年河北满城发掘的中山靖王刘胜及其妻窦绾的两座大墓中,就出土有各种高水平的铁兵器、铁农具、铁工具以及生活用的铁器。而且这两座大墓的墓门也是用生铁就地浇铸而成。浇铸的方法是,先在墓道的外口砌了两道夹墙,然后在其间浇灌铁水,从而铸成铁门,对墓道严加封闭。所用铁水之多和现场浇铸技术的艰巨,具体说明了当时生铁冶铸技术已达到较高水平。

许多铁制的日常生活用品如灯、釜、炉、锁、剪、家用刀、书刀等,铁制的机械构件如齿轮、轴承等,都是西汉中期开始出现,到东汉以后逐渐普遍的。河南滎池窖藏大量铁器中,就有从小到大的成套轴承,表明这时作为机械构件的生铁铸件已开始有一系列的规格。这该与当时叠铸技术的发明和发展有关。东汉不但能够按照一定规格制作成批的小型生铁铸件,而且还能锻造大型钢铁兵器和工具。例如四川金堂县焦山东汉初年崖墓出土的铁矛长达84厘米^①,洛阳浇沟东汉末年墓中出土铁斧,斧身长16.3厘米,柄也用铁制成^②。

值得我们进一步探讨的,就是随着冶铁技术的不断进步,我国封建社会前期的铁农具不断有着新发展,这对于当时农业生产的发展是起很大作用的。

① 见《考古》1959年第8期,郭立中:《四川焦山魏家冲发现汉代崖墓》。

② 见洛阳区考古发掘队:《洛阳浇沟汉墓》,科学出版社1959年版。

从出土的战国铁农具来看,当时已有“V”字形铁口犁铧可以用来推广牛耕,五齿铁耙可以用来挖土和翻土,还有凹字形铁口耜、一字形铁口耜和铲、耨等可以用来挖土和松土,更有六角形锄可以用来除草,镰可以用来收割(参看图 5-13)。尽管这时的犁铧还没有翻土的犁壁装置(至今没有发现战国时代的犁壁),只能起破土划深沟的作用;要深耕和起垅做亩,还需要依靠其他农具协助完成。但是,铁犁铧、五齿铁耙、铁锄之类铁农具的出现,对提高农业生产率,毕竟是有积极作用的。

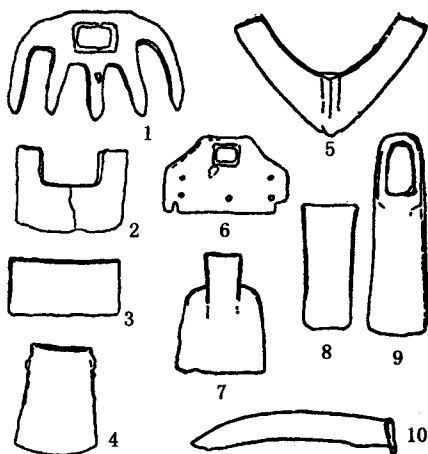


图 5-13 战国时代铸造的铁工具

1. 五齿耙 2. 凹字形耜 3. 一字形耜 4. 斧 5. V 字形犁铧
6. 六角形锄 7. 铲 8. 耨
9. 耨 10. 镰

汉代的铁农具是在战国的基础上进一步发展起来的。汉代的凹字形耜、一字形耜、铲、耨、镰等,形制基本上和战国相同,同时也还有新发展的两刃耜和长柄镰等(参看图 5-14 和 5-15)。

汉代铁农具有重大发展的是犁。汉代铁犁铧为了适应不同的需要,形制和大小各有差别。一种为了适用于垦耕熟地,形制较小,上下两面凸起,轻巧灵便。一种为了适用于开垦荒地,形制较大,前端呈锐角,上面凸起,中有凸脊,下面板平,锐利厚重。更有一种为了适用于开沟做渠,形制很大,特大的长宽都在 40 厘米以上,重达 12—15 公斤,往往需要数牛牵引。

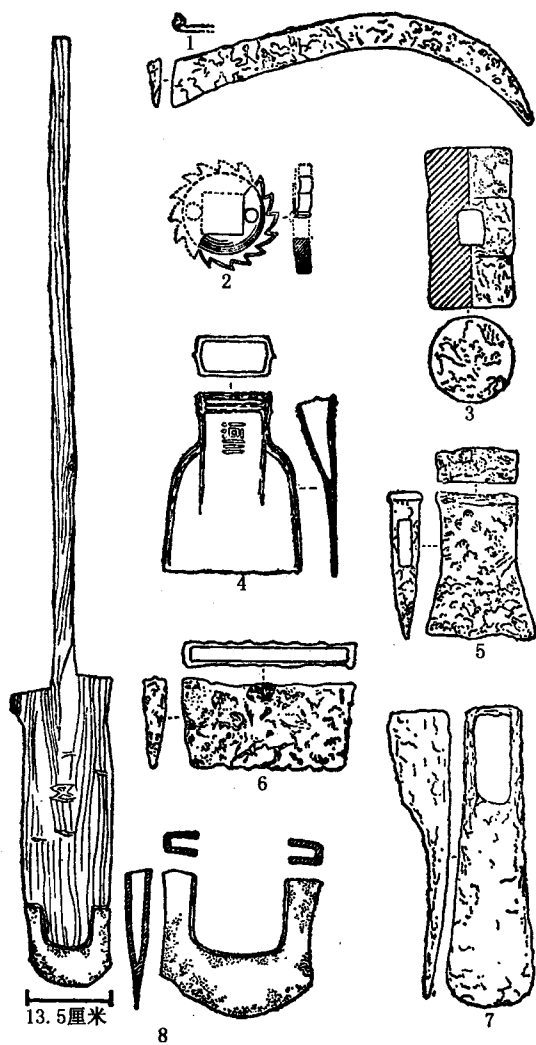


图 5-14 汉代铸造的主要铁工具

1. 镰 2. 齿轮 3. 锤 4. 铲 5. 斧 6. 一字形耒
7. 耨 8. 凹字形耒及其全貌

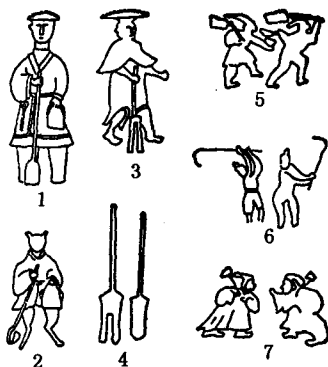


图 5-15 汉代铁工具的使用

1. 手执箕耜的陶俑 2. 四川乐山柿子湾汉代崖墓石刻画像上手执锄的劳动者 3. 江苏徐州汉墓石刻上手执两刃耜的劳动者 4. 湖南长沙西汉后期墓葬出土木俑手执的两刃耜和耜 5. 汉画像上所见手执耜的劳动者 6. 四川成都出土汉画像砖上手执长柄镰的劳动者 7. 汉画像上所见手执锤和斧的劳动者

至迟到西汉晚期,犁铧已有翻土的犁壁(或称“犁镜”)装置。山东安丘、河南中牟、鹤壁、浍池、陕西西安、醴泉、咸阳、陇县等地,都有汉代铁犁壁的出土,而且犁壁已有多种样式。陕西出土的汉代犁壁,有向一侧翻土的菱形壁、板瓦形壁,有向两侧翻土的马鞍形壁(参看图5-16),可见当时对于犁壁的设计和使用时已达到相当的水平。

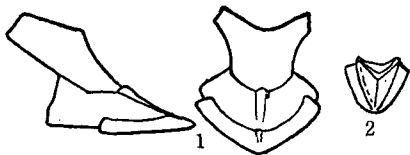


图 5-16 汉代的犁和铁耨铧

1. 陕西醴泉出土东汉末年配有犁壁的铁犁铧 2. 北京清河镇出土西汉铁耨铧(或称“耨脚”)

目前已发现的汉代犁耕图像和模型,有下列八件:(1)甘肃武威

磨嘴子西汉末年墓出土的木牛犁模型,(2)山西平陆枣园村王莽时期壁画墓牛耕图,(3)山东滕县宏道院东汉画像石牛耕图,(4)江苏睢宁双沟东汉画像石牛耕图,(5)陕西绥德东汉王得元墓画像石牛耕图,(6)陕西绥德东汉郭雅文墓画像石牛耕图,(7)陕西米脂东汉画像石牛耕图,(8)内蒙古和林格尔东汉壁画墓牛耕图(犁具已模糊不清)。这些模型和图像,虽然只有粗略的线条,从中还是可以看到当时耕犁的结构(参看图 5-17)^①。我

^① 参看《文物》1977年第8期,张振新:《汉代的牛耕》;日本天野元之助:《中国农业史研究》(增补版),日本御茶之水书房1979年7月版,《追记》Ⅲ,第1025页。

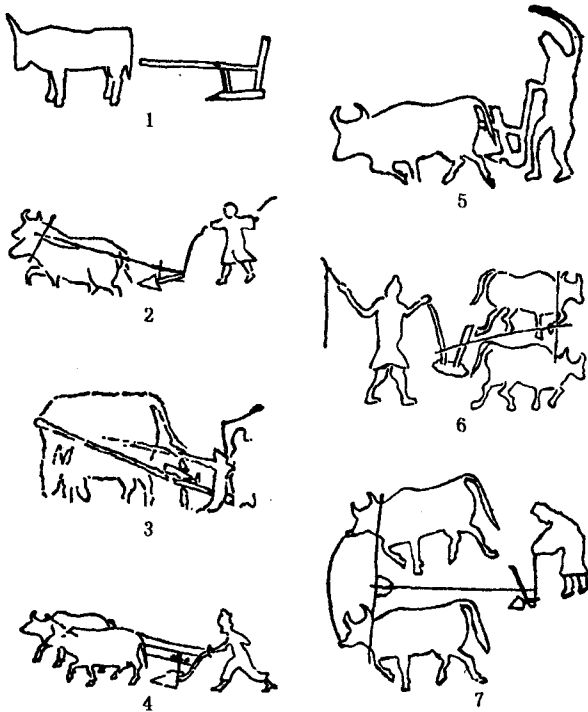


图 5-17 汉代牛耕模型和图像(摹本)

1. 甘肃武威磨嘴子西汉末年墓出土牛耕模型
2. 山西平陆枣园村王莽时期壁画墓牛耕图
3. 山东滕县宏道院东汉画像石牛耕图
4. 江苏睢宁双沟东汉画像石牛耕图
5. 陕西绥德东汉王得元墓画像石牛耕图
6. 陕西绥德东汉郭雅文墓画像石牛耕图
7. 陕西米脂东汉画像石牛耕图

们从(1)、(2)、(5)、(6)、(7)等件,可以清楚地看到当时耕犁已有犁床(又称“犁底”);从(1)、(2)、(4)、(6)等件,可知东汉耕犁大多是单长辕,用两头牛牵引;从(3)图,可知东汉耕犁也有双长辕,用一头牛牵引的。从这些模型和图像,可知汉代耕犁都已装置有犁箭。犁箭是控制耕犁入土深浅的部件。从(3)、(4)两图,还可以看到在犁箭和犁辕的交叉处插有活动的木楔,这种木楔在犁箭上可以上下移动,使犁辕与犁床之间

的夹角张大或缩小,决定犁头入土的深浅。这是耕犁上的一种比较进步的装置。我们根据这些图像,绘成了一张东汉耕犁复原图(图 5-18)。从犁架上的进步装置和犁铧、犁壁的结构来看,东汉时代耕犁已经基本定型了^①,后世耕犁大抵是沿着这一基本形制发展和演变的。

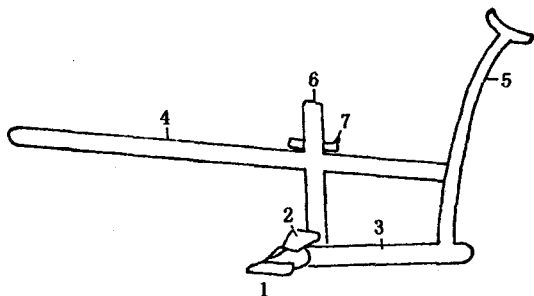


图 5-18 东汉耕犁复原图

部位名称:1. 犁铧(犁镜) 2. 犁壁(犁镜) 3. 犁床(犁底) 4. 犁辕
5. 犁梢(犁把) 6. 犁箭 7. 木楔

汉代在改进耕犁的同时,还创造了一种称为“耒”的播种机械,采用分行播种的方法,前边用耒的铁铧按需要的行列开沟,后面同时紧密地按行列将种子散撒在沟中,然后加以覆土、压实等工作(参看图 5-19)。

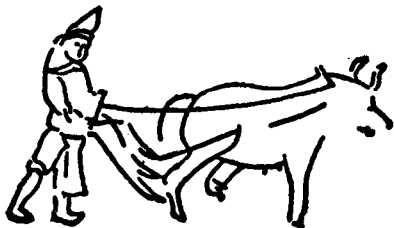


图 5-19 山西平陆枣园村王莽时期壁画墓耒耨播图
(摹本)

^① 张振新《汉代的牛耕》(《文物》1977年第8期)认为我国耕犁在汉代已经基本定型,这是正确的。刘仙洲《中国古代农业机械发明史》(科学出版社1963年版)第18—19页,根据唐代陆龟蒙《耒耨经》的记载,认为耕犁自唐代起开始定型,是不确当的。

随着冶铁技术的进步,铁农具的广泛使用,汉代耕犁有了很大的改进,同时又有播种机械的创造和使用。农业生产技术的重大改革,对于社会生产力的发展无疑会发生极大的作用。

随着牛耕的推广和耕犁的改进,冶铁技术的进步,碎土平整的农具也有了很大的进步。农田经过犁耕之后,必须经过一番碎土和平整的工作,才能播种。早期碎土平整的农具叫做“耨”或“耨”,也叫做“椎”,是一种木榔头。至迟到南北朝时期已采用铁齿耙和劳作为碎土平整的农具。北魏贾思勰《齐民要术》卷1《耕地篇》曾提到铁齿镈耨和劳,并且讲到“耕荒毕,以铁齿镈耨再遍耙之”。这种铁齿镈耨,据王祯《农书》卷12《农器图谱》2《耒耜门》的解释,就是人字耙,“铸铁为齿”。这该是战国时代铁的五齿耙的进一步发展。人字耙的结构,是在人字形的木框下,装有一排长铁齿。使用时,把它放在已耕垦的土壤上,由牛拖拉前进,或由人站在耙上,或用一定重量的砖块、石块压在耙上,以增大它的压力,来耙碎土条或土块,并铲除耕土中留存的杂草,使得耕土又细又实,达到防旱保墒的作用。这种用牛拖拉的铁齿耙,唐代以后长期流行。唐陆龟蒙《耒耜经》说:“耕而后有耙,渠疏之义也,散垆去芟者焉。”“散垆”是说把已耕垦的土块或土条耙碎,“去芟”是说把耕土中留存的杂草芟除。

与铁齿耙差不多同时发明的有“劳”,或作“耨”。劳的结构,是在长方形木框上,编有许多排木条。使用的方法和铁齿耙相同,这是为了把已经耙好的耕土,进一步磨碎磨平,使组织更加细密,防旱保墒的效果更好。《齐民要术》就曾指出:“再劳地熟,旱亦保泽也。”

南北朝时期碎土整地农具铁齿耙和劳的出现,使得黄河流域农业上精耕细作技术大为提高,加强了防旱保墒工作,这对于农业生产的发展也起了很大的作用。

第六章 封建社会后期冶铁业的发达和炼铁技术的发展

一 封建社会后期冶铁业的发达以及铁产量的提高

我国在封建社会前期,从春秋、战国之际一直到魏、晋、南北朝,无论是炼铁、铸铁和炼钢的技术,都已发展到了基本成熟的阶段,各种重要的炼铁、铸铁和炼钢的工艺都已经发明。到封建社会后期,冶炼技术在前期的基础上得到了进一步的发展。

从唐代起一直到明代,冶铁业有了进一步的发展。这期间冶铁业的发展,首先反映在历代政府每年所收入的铁的数量上(表见下页)。

唐宋元明国库每年铁的收入情况表

时 间	收入项目	铁冶数	国库每年铁的收入数	资料来源
唐宪宗元和初年 (约 806 年)	岁采	5	2 070 000 斤	①《新唐书》卷 54 《食货志》。
唐宣宗大中年间 (847—859 年)	岁率	76	532 000 斤	②《文献通考》卷 18 《征榷》5。
宋太宗至道末年 (995—997 年)	岁课	4 监、12 冶、 20 务、25 场。	5 748 000 斤	①《宋史》卷 185《食 货志》下 7《坑冶》。
宋真宗天禧末年 (1017—1021 年)	岁课		6 293 000 斤	②《文献通考》卷 18 《征榷》5。

续上表

时 间	收入项目	铁冶数	国库每年铁的收入数	资料来源
宋仁宗皇祐年间 (1049—1054年)	岁得		7 241 000 斤	③《宋会要辑稿》第137册《食货》33。
宋英宗治平年间 (1064—1067年)		77	8 241 000 斤	
宋神宗元丰元年 (1078年)	诸路坑冶		5 501 097 斤	
南宋初年 (约 1127年)	旧额岁	638	2 162 144 斤	
宋孝宗乾道二年 (1166年)	岁入		880 300 斤	
元世祖中统四年 (1263年)	岁课、岁输		4 807 000 斤 + 1 037 000 斤 5 844 000 斤	①《元史》卷 5《世祖本纪》2。 ②《续文献通考》卷 23《征榷》6。
元世祖至元十三年 (1276年)	课铁		16 000 000 斤	《春明梦余录》卷 46《工部》1。
元文宗天历元年 (1328年)	岁课	江浙、江西、湖广、河南、云南、陕西等省	(银钞 1 879 锭 38 两) 铁 881 543 斤	①《元史》卷 94《食货志》。 ②《续文献通考》卷 23《征榷》6。
明太祖洪武初年 (约 1368年)	官冶炼铁	11 省	18 475 026 斤	《明会典》卷 194《冶课》。

表中收入项目“岁采”、“岁课”、“岁输”，是指当时国库每年这方面的收入，其中包括官营冶铁业的全部产量、对民营冶铁业征得的税收以及征购的铁。表中有些时期国库铁的收入突然减少，主要由于当时政治经济的混乱，或者由于战争的破坏。唐代自从安史之乱以后，逐渐形成藩镇割据的局面，各地税收多数不解到中央，所以到唐

宣宗时,铁冶数虽比前大有增加,而中央政府的收入数却大为减少。至于南宋时国库收入数的减少,是由于北方大块领土已为金所侵占。总的看来,从唐到明,铁的国库收入不断在增长,从公元 806 年到 1064 年,二百五十多年间增长了四倍;从 1064 年到 1368 年间,三百年间又增长了一倍多。这具体反映了当时冶铁业正在不断发展,总的铁产量正在不断增加。

在这些统计数字中,情况是比较复杂的。例如宋神宗时经过王安石的变法,铜、锡、铅、金的收入都有增加,同仁宗年间相比,铜产量增加三倍,锡增加近一倍,铅增加四倍半,金增加一倍多,但是铁的收入反而减少了 24%,其原因之一,是由于当时推广了胆水浸铜的新技术,需要耗费很多铁的缘故。当时铜的产量高达 1 460 万斤,依照北宋末年胆铜产量占铜产量总额的 15%—20%推算^①,每年大约生产胆铜 300 万斤左右,约需耗铁 650 万斤。如果把宋神宗时铁的收入 550 万斤再加上胆水浸铜法所耗铁 650 万斤,则共 1 200 万斤。可知这一时期铁的实际产量不但没有减少,反而有增加。宋代以后民营的冶铁业逐渐增多,宋元时代对民营冶铁业的抽税率为 20%,即所谓“二八抽分”^②,到明代洪武二十八年(公元 1395 年)改为 15%,即所谓“每三十分取其二”。当时政府对民营冶铁业征收的税率,只是其产量的 15%—20%,因此宋元以后全国铁的实际产量当远远超过国库铁的收入数。

① 李心传《建炎以来朝野杂记》中《东南诸路铸钱增损兴废本末》条说:“及蔡京为政,大观中,岁收铜止六百六十余万斤,比祖额高四十余万斤,内旧场四百六十余万斤,胆铜一百余万斤。”可知北宋末年胆铜产量占铜产量总额 15%—20%。

② 《宋会要辑稿》第 138 册《食货》34 和《文献通考》卷 18 记绍兴七年工部言:“知台州黄岩县刘觉民乞依熙宁法以金银坑冶召百姓采取,自备物料烹炼,十分为率,官收二分,其八分许坑户自便货卖。”《续文献通考》卷 23 记元成宗元贞二年中书省言:“各路系官铁冶,累年积铁为数甚多,虽百姓自备工本,二八抽分,而纳官之数不尽实,请罢其制,官为煅卖。”

北宋以后,冶铁业所以能够得到发展,主要原因是由于生产关系的改进和“民营”冶铁业的逐渐增多。自从西汉设置铁官以后,一直到唐代,官营冶铁业占着主要地位。官营冶铁业多役使地方兵士和流配囚徒,只给很少衣食,强迫作奴隶式的劳动,有时也役使民户当差,民户受到很厉害的压迫和剥削。到北宋,这种情况就有了很大的改变。北宋的冶铁业,有官营的,有民营的,也有半官营的。所谓民营,实际上是豪强大家所经营。官营的采用劳役制,生产率很低,被劳役的人民不断进行反抗斗争,迫使官吏不得不把劳役制改为招募制。例如《宋史·梁适传》记述:宋仁宗时,梁适“出知兖州,莱芜冶铁为民病,当役者率破产以偿,适募人为之,自是民不忧冶户而铁岁溢”。宋代多数的铁冶地点、铁矿,都由豪强大家经营,由官家监督管理。例如徐州利国监,“凡三十六冶,冶户皆大家,藏镪巨万”,“三十六冶,冶各百余人,采矿伐炭,多饥寒亡命、强力鸷忍之民”^①。又如兖州莱芜冶,其中吕氏一家所经营的最为兴盛,据说,吕氏“募工徒,斩木锻铁,制器利用,视他工尤精密。……凡东州之人,一农一工,家爨户御,其器皆吕氏作也”^②。此外如舒州(州治怀宁,今安徽潜山县)的望江,“有富翁曰陈国瑞,以铁冶起家”^③。又如遂安人汪革,“闻淮有耕冶可业”,便到舒州宿松附近的麻地“招合流徒,冶炭其中,起铁冶其居旁”,又派人在荆桥设置铁冶,在淳熙八年(公元1181年)汪革曾率领其“二冶之众”五百余人,起兵反抗政府^④。在神宗熙宁年间和元丰初年,即王安石变法的时期,曾较多听任民营冶铁业的发展,采用“二八抽分”的抽税率,是宋代民营冶铁业最发展的时期,也是宋代整个冶铁业最发展的时期。到元丰六年(公元1083年)宋政

① 苏轼《东坡奏议》卷2《元丰元年上皇帝书》。

② 李昭玘《乐静集》卷29《吕正臣墓志铭》。

③ 岳珂《程史》卷2《望江二翁》条。

④ 岳珂《程史》卷6《汪革谣讪》条。

府把利国、莱芜二监收归官营，曾引起矿冶户和冶工们的反抗斗争^①。

到了元代，由于蒙古贵族加强了统治，冶铁业如同其他手工业一样，它的发展受到很大阻碍。政府禁止民间开矿炼铁，全由官方垄断。在官营冶铁业手工业中，又迫使人民作为匠户来煅炼。例如燕北、燕南铁冶“大小一十七处，约用煅炼人户三万有余，周岁可煅课铁约一千六百余万斤”^②。我们从元代王恽《秋涧集》卷 89《论革罢拨户兴煅炉冶事》中，可以看到綦阳、乞石烈、杨都事、高撒合四处铁冶的情况，王恽在这里算了一笔细账，认为在这些官营冶铁业里，不如把冶户罢放，让冶户“自治窑冶煅炼”，向每户征收包银来得合算。他在呈给御史台的呈文中说：

今略举綦阳并乞石烈、杨都事、高撒合所管四处铁冶，见分管户九千五百五十户，验每户包钞四两计，该钞七百六十四锭。今总黄青铁二百四十七万五千六百九十三斤半，价值不等，该钞四百六十八锭二十三两三钱三分半，比包钞亏官二百九十五锭二十六两六钱半，……如将上项户计罢去当差，许从诸人自治窑冶煅炼，官用铁货给价和买，深是官民两便。据此合行具呈，伏乞御史台照样施行。须主呈者：

綦阳

户：二千七百六十四户，每户四两，计钞一百二十一定单六两。

办铁：七十五万斤，每十斤钞一钱，计钞一百五十锭。

乞石烈

户：一千七百八十六户，每户四两，计钞一百四十二定四十四两。

办铁：二十六万斤，每十斤价钞一钱，计钞五十二定。

^① 见《宋史》卷 185《食货志》下 7；卷 343《吴居厚传》。

^② 《秋涧集》卷 90《省罢铁冶户》。

杨都事

户：二千户，每户四两，计钞一百六十定。

办铁：五十三万二千三百三十三斤半，每十斤价钞一钱，该一百六定二十三两三钱半。

高撒合

户：三千户，每户四两，计钞二百四十定。

办铁：九十三万三千三百四十斤，计钞一百六十定，内：青铁五十三万三千三百四十斤，每十斤价钞一钱，计钞一百单六定三十三两四钱。黄铁四十万斤，每十五斤价钞一钱，计钞五十三定一十六两六钱。

由此可见，在这样的冶户制度之下，生产力是很低的，平均每户每年只能炼铁 200 斤左右，少的只有 150 斤左右，至多也只有 300 斤左右。这里所说的“青铁”是指一般生铁，所谓“黄铁”该是指含杂质较多的铁，所以黄铁的价格要比青铁低得多。由于元代政府各个时期的需要不同，更由于广大人民的反抗斗争，使得官营冶铁业“废置不常”。在这个夹缝里，民间也还有大型冶铁业的存在，例如庐陵永福人刘宗海，就“尝业铁炉于金牛，大冶煽，役者常千”^①。当时民间冶铁业之所以能够存在，还因为官府虽禁止“无引(执照)私贩”，但是对于“私铁农具、锅釜、刀镰、斧杖及破坏生熟铁器，不在禁限”。看来当时江南民间冶铁业比较盛，产量要超过北方官营冶铁业，因此法令规定：“江南铁货及生熟铁器不得于淮、汉以北贩卖，违者以私铁论。”

到明代初年，由于继续了元代官营铁冶这个局面，在冶铁业中还是以官营铁冶为主。在明初，十一省官营铁冶每年的总炼铁数是 18 475 026 斤，这个铁产量超过了以往任何一代的水平。洪武六年(1373 年)设置十三个铁冶所，江西进贤、新喻、分宜，湖广兴国、黄

^① 《麟原文集》卷 3《刘宗海行状》。

梅,山东莱芜,广东阳山,陕西巩昌各一所,山西吉州二所,太原、泽、潞各一所。洪武七年(公元1374年),十三个铁冶所的每年总炼铁数是8052987斤。到洪武十八年(公元1385年),明太祖因存铁已多,把各处官营铁冶停了。洪武二十六年(公元1393年)因有需要,再开官营铁冶。洪武二十八年(公元1395年)内库存铁3743万多斤,明太祖“诏罢各处铁冶,令民得自采炼,而岁给课程,每三十分取其二”^①。此后官营铁冶日渐减少,民营铁冶也就多起来了。

从宋代以来,在官营铁冶中被奴役的人民曾不断地进行反抗斗争,生产率很低,迫使封建政府不得不逐渐开放民营的冶铁业,到明代,民营冶铁业终于占主要地位。据《明实录》所载民营铁冶历年缴纳的铁课数字,可以看到当时民营铁冶的发展情况:

永乐元年(公元1403年)79806斤;二年80186斤;三年75720斤;四年82306斤;五年77677斤;六年79709斤;七年84338斤;八年79709斤;九年84338斤;十一年80859斤;十二年86829斤;十三年389605斤;十五年514399斤;十六年490031斤;十七年489166斤;十八年489166斤;十九年113783斤;二十年448175斤;二十一年413783斤;二十二年413783斤;

洪熙元年(公元1425年)527264斤;

宣德元年(公元1426年)488598斤;二年488598斤;三年529756斤;四年490898斤;五年529757斤;六年490898斤;七年483800斤;八年545168斤;九年555267斤^②。

这里所列举的铁课数,虽然有些涨落,但是总的趋势是在逐步上升。

① 见《明太祖实录》卷176,242。

② 据《明成祖实录》卷25,32,39,47,54,60,67,73,80,90,94,99,103,108,112,115,118,121,124,127;《明仁宗实录》卷5下;《明宣宗实录》卷12,23,34,49,60,74,86,97,107,115。

在永乐十二年(公元 1414 年)到十五年(公元 1417 年)间迅速上升,永乐十二年以前的铁课数在 7—8 万斤以上,永乐十五年以后的铁课数,除了永乐二十九年外,都在 40—50 万斤以上。按照当时铁课的课率十五分之一计算,铁课 7 万斤,铁产量应有 105 万斤;铁课 8 万斤,铁产量应有 120 万斤;铁课 40 万斤,铁产量应有 600 万斤;铁课 50 万斤,铁产量应有 750 万斤。具体的计算,永乐元年(公元 1403 年)民营铁冶的铁产量是: $79\,806 \text{ 斤} \times 15 = 1\,197\,090 \text{ 斤}$;宣德九年(公元 1434 年)的铁产量是: $555\,267 \text{ 斤} \times 15 = 8\,329\,005 \text{ 斤}$,三十年间铁的年产量上升到 7 倍以上^①。

总之,宋、明两代冶铁业的较大的发展,该与当时民营冶铁业发展有关,也是由于官营铁冶中被奴役的人民进行反抗斗争所促成的。这时期冶铁技术的迅速发展,也该与生产关系的改进有关。

从唐到明治铁业的发展,还由于南方的冶铁业的迅速成长,这是和这期间南方社会经济的较快发展分不开的。唐代产铁的主要地区是陕州(治陕,今河南省陕县)、宣州(治宣城,今安徽省宣城县)、润州(治丹徒,今江苏省镇江市)、饶州(治鄱阳,今江西省波阳县)、衢州(治西安,今浙江省衢县)、信州(治上饶,今江西省上饶县)。宋代在大通(今山西省交城县附近)、徐州的利国(今江苏省徐州东北盘马山下)、兖州的莱芜(今山东省莱芜县附近)、相州的利安(今河南省安阳县附近)设有“四监”,在河南(今河南省洛阳市)、凤翔(治天兴,今陕西省凤翔县)、同州(治冯翊,今陕西省大荔县)、虢州(治虢略,今河南省灵宝县)、仪州(治华亭,今甘肃省平凉市南)、蕲州(治蕲春,今湖北省蕲春县)、黄州(治黄冈,今湖北省黄冈县)、袁州(治宜春,今江西省宜春县)、英州(治真阳,今广东省英德县)、兴国军(治永兴,今湖北省

^① 以上参考白寿彝《明代矿业的发展》,收入《中国资本主义萌芽问题讨论集》,三联书店 1957 年版。

阳新县)设有“十二冶”,在晋州(治临汾,今山西省临汾县)、磁州(治滏阳,今河北省磁县)、凤州(治梁泉,今陕西省凤县)、澧州(治澧阳,今湖南省澧县)、道州(治营道,今湖南省道县)、渠州(治流江,今四川省渠县)、合州(治石照,今四川省合川县)、梅州(治程乡,今广东省梅县)、陕州、耀州(治华原,今陕西省铜川县西南)、坊州(治中部,今陕西省黄陵县)、虔州(治赣,今江西省赣州市)、汀州(治长汀,今福建省长汀县)、吉州(治庐陵,今江西省吉安市)设有“二十务”,在信州、鄂州(治江夏,今湖北省武昌县)、连州(治桂阳,今广东省连县)、建州(治建安,今福建省建瓯县)、南剑州(治剑浦,今福建省南平市)、邵武军(治邵武,今福建省邵武县)设有“二十五场”。这时虽然大的冶铁业都设在北方,例如徐州的利国监共有铁冶三十六所,每冶有冶工一百多人,兖州的莱芜监共有铁冶十八所,共有冶工一千多户^①,但是南方的冶铁业正在发展,半数以上的冶铁地点已都在南方,而且南方冶炼的技术水平已远胜北方。《宋史·食货志》记述绍圣元年蔡京上奏说:“商、虢间苗脉多,陕民不习烹炼,久废不发,请募南方善工诣陕西经划,择地兴冶。”这时北方已需要到南方来募“善工”“择地兴冶”了。

北宋时代政府所收铁税额每年在百万斤以上的有两处:(1)磁州武安县固镇,原额 1 814 261 斤,元丰元年收 1 971 001 斤。(2)邢州綦村,原额 1 716 413 斤,元丰元年收 2 173 201 斤。所收铁税额每年在 30 万斤以上的有三处:(1)晋州,原额 569 767 斤(元丰元年收 30 098 斤)。(2)兖州莱芜,原额 396 000 斤(元丰元年收 242 000 斤)。(3)徐州利国监,原额 30 万斤(元丰元年收 308 000 斤)。所收铁税额在 10 万斤以上的有两处:(1)威胜军(治铜鞮,今山西省沁县),原额 158 506 斤(元丰元年收 228 286 斤)。(2)虢州清水獭猴冶上警槽冶,原额 139 050 斤(元丰元年收 155 850 斤)。从此可知,北

^① 见《太平寰宇记》卷 21。

宋时产铁量较多的冶铁手工业都在北方。但是,这个情况到南宋时代就有很大的改变,南方有好几处地点每年所纳铁在 10 万斤以上。例如吉州安福县(今江西省安福县)连岭场是 714 000 斤,庐陵县(今江西省吉安市)黄岗场是 106 500 斤,信州铅山场(在今江西省铅山县)是 147 671 斤,弋阳县(今江西省弋阳县)是 12 万斤,上饶县(今江西省上饶县)也是 12 万斤,郁林州南流县(今广西壮族自治区玉林县)是 126 240 斤。显而易见,南宋时南方的冶铁业是在成长。由于南宋时南方冶铁业的发展,火攻用的火炮已改用铁制,叫做铁火炮。形状如匏而口小,用生铁铸成,厚 2 寸。南宋李曾伯《可斋续稿后集》卷 5 曾说:“于火攻之具,则荆、淮之铁火炮动十数万只。臣在荆州,一月制造一二千只。如拨付襄、郢,皆一二万。”可知这时铁火炮的铸造业规模也已不小。

到元代,重要的冶铁地点,在腹地有河东(今山西省芮城县西北)、顺德(治邢台,今河北省邢台县)、檀州(治密云,今北京市密云县)、景州(治蓟,今河北省吴桥县西北)、济南(治历城,今山东省济南市),在陕西省有兴元(治南郑,今陕西省汉中市),在江浙省有饶州、徽州(治歙,今安徽省歙县)、宁国(治宣城,今安徽省宣城县)、信州、庆元(今浙江省龙泉县南)、台(治临海,今浙江省临海县)、衢、处州(治丽水,今浙江省丽水县)、建宁(治建安,今福建省建瓯县)、兴化(治莆田,今福建省莆田县)、邵武、漳州(治龙溪,今福建省漳州市)、福州(治闽,今福建省福州市)、泉(治晋江,今福建省泉州市),在江西省有龙兴(治南昌,今江西省南昌市)、吉安(治庐陵,今江西省吉安市)、抚州(治临川,今江西省抚州市)、袁州(治宜春,今江西省宜春县)、瑞州(治高安,今江西省高安县)、赣州(治赣,今江西省赣州市)、临江(治清江,今江西省清江县西)、桂阳(今广东省连县),在湖广省有沅州(治卢阳,今湖南省芷江县)、潭州(治长沙,今湖南省长沙市)、衡州(治衡阳,今湖南省衡阳市)、武冈(今湖南省武冈县)、宝庆(治邵

阳,今湖南省邵阳市)、永州(治零陵,今湖南省零陵县)、全州(治清湘,今广西壮族自治区全县)、常宁(今湖南省常宁县)、道州,在云南省有中庆(治昆明,今云南省昆明市)、大理(治太和,今云南省大理县)、金齿(今云南省永德县)、临安(治通海,今云南省通海县)、曲靖(治南宁,今云南省曲靖县)、濞江(今云南省澄江县)、罗罗(今四川省越西、喜德、昭觉一带)、建昌(治建安,今四川省西昌县)。所有冶铁地点,大多数都在南方。天历元年(公元1328年)各省的铁税额是:江浙245867斤(另有钞1730锭14两),江西217450斤(另有钞176锭24两),湖广282595斤,河南3930斤,陕西10000斤,云南124701斤。南方各省的税额都已超过北方各省。到明代初年,官营铁冶共炼铁18475026斤,各省的铁税额是:(1)湖广6752927斤,(2)广东1896641斤,(3)北平351241斤,(4)江西326斤,(5)陕西12666斤,(6)山东3152187斤,(7)四川468809斤,(8)河南718336斤,(9)浙江591686斤,(10)山西1146917斤,(11)福建124336斤。到这时,湖广所负担的铁税额已占到全国铁税额的三分之一强了。

《明太祖实录》卷88记述明洪武七年(公元1374年)“命置铁冶所官,凡一十三所”,各所的炼铁岁额是:

江西南昌府进监冶	1630000斤,
临江府新喻冶	815000斤,
袁州府分宜冶	815000斤,
湖广兴国冶	1148785斤,
蕲州黄梅冶	1283992斤,
山东济南府莱芜冶	720000斤,
广东广州府阳山冶	700000斤,
陕西巩昌冶	178210斤,
山西平阳府富国、丰国冶	各221000斤,

太原府大通冶	120 000 斤,
潞州润国冶	100 000 斤,
泽州益国冶	100 000 斤,

总共 8 052 987 斤。当时除这十三个官营铁冶以外,广西、河南也还有官营铁冶存在,没有统计在内。但从此已可看出,当时产铁多的铁冶已多在江西、湖广、广东等南方各省。

宋代以后,由于当时社会经济的发展,民间冶铁业的发展,南方冶铁业的迅速发展,更由于劳动人民在生产实践中的不断创造,冶铁技术有了较大的进步,冶铁业于是日趋发达。

二 活门木风箱和活塞木风箱的创造和发展

宋代以后,冶铁技术有较大的进步,主要表现在炼铁和铸铁高炉的改进,鼓风机器的改进和使用燃料的改进。关于宋代以后高炉的改进,留待下一章论述。这里先谈鼓风机器和燃料的改进。

在中世纪,水力鼓风机器的发明,是冶铁炉的鼓风装置上起革新作用的大事。在水力鼓风机器发明之后,冶铁炉的鼓风装置上还有一件起革新作用的大事,那就是木制风箱的创造。木制风箱的好处有三点:第一,它可以制造得很大,不必像皮风囊那样要受到皮革的限制;第二,它可以造得比较牢固,可以使用很大的压力,不像皮风囊那样风压太大时容易压破;第三,风量较大,漏风可以减少,而且用人工操作方便,安装畜力和水力的发动机也方便。这样,就替冶铁炉的改进创造了条件,不但冶铁炉可以造得更高大,使它能吞下和消化更多的矿石;而且使得冶铁炉可以得到更多的氧气,好像有了强大的肺似的,可以大呼大吸了。

在欧洲,木制风箱的发展共有三个阶段:第一个阶段所造的木风

箱是三角形的，它的形式和过去的皮风囊差不多，好像两个三角形的抽屉装在一起，是依靠一个抽屉绕着枢轴摇动来鼓风。这样简单的木风箱在欧洲是 16 世纪发明的。过了些时，才有长方形的木风箱出现。这种风箱是由两只长方形的木箱，相对地套合在一起，利用一只木箱的往复推动来鼓风的。在欧洲，一直要到发明了蒸汽发动机，开始用蒸汽发动机来代替水力工作机的时候，才又附带地发明了运用活塞来推动和压缩空气的鼓风机。这已是 18 世纪后期的事了。

在我们中国，在 14 世纪初年王祜所著的《农书》的水排图中，已经绘有长方形的简单木风箱，叫做“木扇”，是利用箱盖板的开闭来鼓风的。在元代至顺元年（公元 1330 年）绘成的《熬波图》的第三十七图——《铸造铁杵（盘）图》上，也已经绘有长矩形的简单木风箱（参看第七章图 7-1），它的形式比《农书》水排图上的木扇要长得多，侧面成梯形，同样利用箱盖板的开闭来鼓风，在箱盖板上安装有四根推拉的杆，并列成一排，可由四个人同时推拉鼓风，这该是当时高大的高炉上使用四人推拉的一种大木风箱，所以木风箱的结构特别长，以便四个人并立同时推拉，与水排上高而狭的长方形木风箱不同。在这个四人推拉的箱盖板上有两个方孔，装有只能向内开闭的活门，当箱盖板向前推时，活门就被推闭；当箱盖板向后拉时，活门也就开启，让空气流入箱内。元代是中国历史上生产力发展遭到阻碍、生产技术停滞不进的时候，这种简单木风箱该是元代以前就已发明的。

敦煌榆林窟西夏壁画的锻铁图中，锻铁炉上也使用木扇。这是在木风箱上装有左右两块长方形的箱盖板，每个箱盖板上安装有一根推拉的杆，只需一人操作，用左右两手各执一根推拉杆的柄，可以一手把一根推拉杆拉开，同时另一手把另一根推拉杆推进，这样左右两手一推一拉，便可不断起鼓风作用。这种称为木扇的木风箱，利用箱盖板推拉来鼓风，当把箱盖板推进时送风到炉内，拉开时就无风，所以箱盖板多数成对，同时一推一拉，以保证风

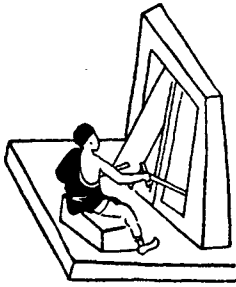


图 6-1 敦煌榆林窟
西夏木扇锻
铁壁画中的
“木扇”

(摹本)

量不断流入(参看图 6-1)。

北宋庆历四年(公元 1044 年)编成的《武经总要》,前集卷 12 有行炉图,图上同样有侧面作梯形的简单木风箱(参看第七章图 7-3),只是因为安放行炉木架比较狭小,所以木风箱就造成直长的梯形,有两根推拉的杆,只需要一人同时左右推拉。在箱盖板上的两个长方孔,装有仅可向内开闭的活门。由此可见,这种装有活门的简单木风箱,至少在北宋时代早已发明了。它的发明,要比欧洲早五六百年。

比有活门装置的简单木风箱更进步的鼓风机,便是利用活塞来鼓风的木风箱。它的发明年代已不能确知,但是在明崇祯十年(公元 1637 年)宋应星所著的《天工开物》第 8 卷《冶铸》的图谱上,已经普遍出现了这种风箱。它的形式和现在铁匠铺所用的手风箱相同,而且宋应星在解说中也已称它为“风箱”(参看图 6-2)。

这种木风箱有长方形的,也有圆筒形的。长方形的箱体用木板拼成,箱内装有可以推拉的一个大活塞,叫做“辅”,辅有拉手露在箱外,可以推拉(参看图 6-3①)。箱的两端有通风口,各装有只能向内开闭的活门(参看图 6-3②③)。箱的下部或侧部装有一个通风管,通风管的侧面装有一个吹风口,通风管的两端各装有只能向下或向内开闭的活门(参看图 6-3④⑤)。如果把辅向前推动,辅后的空气稀薄,箱外的空气便压开后端通风口的活门(参看图 6-3②),流入到箱内,而在辅前的空气就压开通风管的活门(参看图 6-3④),冲入通风管,由吹风口吹出。等到把辅向后拉动,辅前的空气稀薄,箱外空气便压开前端通风口的活门(参看图 6-3③),流入到箱内,而在辅后的空气就压开通风管的活门(参看图 6-3⑤),冲入通风管,由吹风口吹出。如此无论把辅一推或一拉,同样可以把空气压送到冶铁炉中



图 6-2 明代铸鼎时所用的手风箱冶炉

(采自《天工开物》)

去,不断地起鼓风作用。还有一种木风箱,通风管两端没有活门,而仅在通风管的吹风口装有一个活门(参看图 6-3⑥),这个活门的作用:当辮向前推时,空气就压使这个活门向后关闭,使空气从吹风口吹出;当辮向后拉时,空气就压使这个活门向前关闭,使空气从吹风口吹出。这种利用活塞和活门的装置来推动和压缩空气的风箱,其结构的巧妙,是和近代所应用的鼓风设备差不多的。然而,它在中国至少已有三百多年的历史了。

圆筒形的木风箱,结构和长方形木风箱差不多(参看图 6-4)。只是风箱用圆木挖成,效果要比长方形木风箱好,因为它没有“死角”,风量较大,风压较足,不漏风,比较耐用。这种圆筒形木风箱至迟在清代已广泛流行,我们从吴其濬(公元 1789—1847 年)《滇南矿厂图略》中已经看到^①。

① 《滇南矿厂图略》说:“罐器曰风箱,大木而空其中,形圆,口径一尺三四五寸,长一丈二三尺。每箱每班用三人。设无整木,亦可以板箱代用,然风力究逊,亦有小者,一人可扯。”

从宋、元时代称为“木扇”的简单活门木风箱，发展到明、清时代利用活塞来鼓风的木风箱，这是我国封建社会后期鼓风器的重大改进。由于木风箱的使用，风量加大，风压提高，风向炉内穿透深入，炉缸温度因而升高，就能炼出含硅较高的灰口铁，便于铸造较薄的铸件。

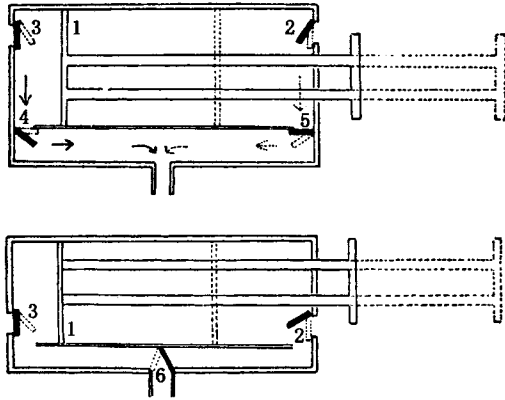


图 6-3 长方形木风箱结构图

部位名称:1. 箍及其拉手 2.3.4.5. 活门

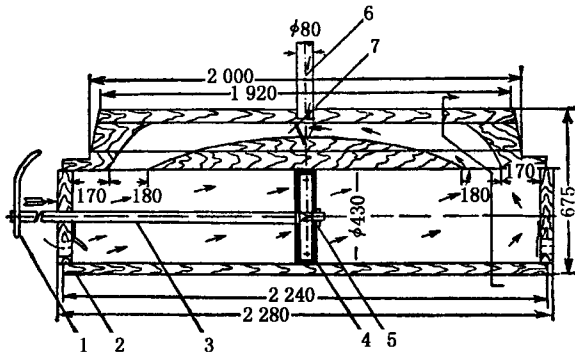


图 6-4 圆筒形木风箱结构图

1. 手柄 2. 活门 3. 拉杆 4. 活塞(箍) 5. 木梢 6. 出风口
7. 活门(采自江苏人民出版社编《土法炼铁》，1958年版)

三 煤的广泛使用和焦炭的炼制

我国封建社会后期冶铁技术的进步,还表现在燃料的不断改进上。自从魏晋南北朝开始用煤作为冶铁的燃料以后,到宋代,用煤代替木炭作为燃料,日益普遍。

宋代煤的开采已比较广泛,在今陕西、山西、河南、山东、河北等省都已开采,并设有专官管理,曾实行专卖。宋人朱翌《猗觉寮杂记》卷上说:“石炭自本朝河北、山东、陕西方出,遂及京师。”朱弁《曲洧旧闻》卷4也说:“石炭西北处处有之,其为利甚博。”宋元丰元年(公元1078年),苏轼在徐州做地方官的时候,因徐州“旧无石炭”,曾派人到徐州西南白土镇找得煤矿。他的《石炭行引》曾说:“以冶铁作兵,犀利胜常云。”他在《石炭行》中写道:“岂料山中有遗宝,磊落如莹万车炭。流膏迸液无人知,阵阵腥风自吹散。根苗一发浩无际,万人鼓舞千人看。投泥泼水愈光明,炼玉流金是精悍。南山栗林渐可息,北山顽矿何劳锻。为君铸作百炼刀,要斩长鲸为万段!”^①由此可见,宋代已知道用煤来冶铁的好处。用煤来冶铁,能够提高冶铁炉的温度,加速冶炼进程,提高铁的生产率。徐州是宋代冶铁业中心之一,在附近本来没有找到煤矿,这时由于苏轼派人勘探矿苗,发现了大量的煤矿,便不必用南山栗林制木炭,可以就近应用煤来作燃料了。这为当地冶铁业的发展和冶铁术的提高创造了有利条件,所以苏轼要用十分兴奋的心情写这首《石炭行》诗了。《宋史·李昭传》记载李昭在徽宗时期出任泽州的知州,“阳城旧铸铁钱,民冒山险,而输矿炭,苦其役,为奏罢铸钱。”泽州治所在晋城(今山西省晋城县),阳城是其属

^① 《集注分类东坡先生诗》卷25;《东坡集》卷14。

县,矿炭即是煤,说明12世纪初叶在今山西一带也已把煤用于冶铁。

当时北方地区多用石炭,南方地区多用木炭,而四川多用竹炭。陆游《老学庵笔记》卷1说:“北方多石炭,南方多木炭,而蜀又有竹炭,烧巨竹为之,易燃,无烟,耐久,亦奇物。邛州出铁,烹炼利于竹炭,皆用牛车载以入城,予亲见之。”

在欧洲,英国、比利时等国在13世纪初开始较大规模地用煤作燃料,到18世纪40年代才用煤冶炼。所以13世纪末叶,意大利人马可·波罗来到中国,看到各地广泛使用煤作燃料,觉得新奇,他还不认识煤,说中国有一种黑石作为燃料,火力比木薪足,而价格比木薪便宜^①。

自明代以后,多数冶铁业已用煤作燃料,宋应星《天工开物》卷10《冶铁》条说:

凡炉中炽铁用炭,煤炭居十七(十分之七),木炭居十三(十分之三),凡山林无煤之处,锻工先择坚硬条木,烧成火墨(俗名火矢,扬烧不闭穴火),其炎更烈于煤。即用煤炭,亦别有铁炭一种,取其火性内攻,焰不虚腾者。

这种“焰不虚腾”的煤,当是一种无烟煤。同书卷11《煤炭》条,把煤分为明煤、碎煤、末煤三大类,又把碎煤分为饭炭和铁炭两种,饭炭是烧饭用的煤,铁炭是冶铁用的煤。还说:

炎平者曰铁炭,用以冶锻,入炉先用水沃湿,必用鼓鞴后红,以次增添而用。

这儿说使用无烟的碎煤,必须“入炉先用水沃湿”,这是当时冶铁工人所创造的一种经验,是为了使煤屑相互粘结,防止鼓风后煤屑飞出或

^① 冯承钧译《马可李罗行记》第101章:“契丹(指中国)全境之中,有一种黑石,采自山中,如同脉络。燃烧之时,与炭无异。其火候,且较木薪为佳。若夜间燃火,次晨不熄,其质优良。至今全境,不燃他物,所产木材固多,然不用以烧。盖石之火力足,而其价亦廉于木也。”

下沉,近代土法冶炼中也还应用这种方法。《畿辅通志》卷74《舆地》29《物产》2引李翊《戒庵漫笔》也说:“石炭,宛平、房山二县出,北京诸处多出石炭,俗称为水和炭,可和水烧也。”

自古以来,大规模的冶铁工场,凡是采用木炭作燃料的,都在附近山林中设有烧炭的窑。这种设窑烧炭的山,在宋代叫做“炭山”^①,在清代叫做“黑山”。清代陕西汉中一带的铁厂都还是用木炭来冶铁的。道光初年,严如煜《三省边防备览》卷10《山货》说:陕西汉中一带的铁厂都有“黑山”、“红山”两部分,“黑山”就是炭窑所在地,他们从附近山林砍伐树木,装入窑内烧成木炭,备冶铁炉的应用。“红山”就是冶铁炉所在地,因为从这些山里开采出来的铁矿,颜色略赤,所以称为“红山”(即赤铁矿)。《三省边防备览》卷17《铁厂咏》也说:“当其开采时,颇与蜀、黔异。红山凿矿石,块磊小坡岨,黑山储薪炭,纵横排雁翅。”

在大规模的交通运输工具没有创造以前,铁矿的附近必须有燃料的来源,冶铁业才得以发展。《盐铁论·禁耕篇》说:当时冶铁业“皆依山川,近铁炭”,就是这个道理。清初屈大均《广东新语》卷15《铁》条说:“产铁之山有林木方可开炉,山苟童然,虽多铁,亦无所用,此铁山之所以不易得也。”《三省边防备览》卷10说:“山中矿多,红山处处有之,而炭必近老林,故铁厂恒开老林之旁。如老林渐次开空,则虽有矿石,不能煅出,亦无用矣。近日洵阳骆家河、留坝光化山铁厂皆歇业,职是之故。”可见到清代还是如此情况。自从宋代以后北方多用煤冶铁,不但为煤矿附近铁矿的开发和冶炼创造了有利条件,而且煤远较木炭耐烧,不像森林那样容易砍光,使冶铁业不至于因缺乏燃料而停歇。宋代以后,冶铁业所以能够进一步发展,该与使用煤作燃料有关。

^① 见岳珂《程史》卷6《汪革谣诮》条。

但是用煤炼铁也存在着缺点。煤在炉内受热容易碎裂,容易阻塞炉料的透气;同时煤中含硫一般较高,用煤炼铁常常使得生铁中含硫量升高,影响生铁的质量。《中国冶金简史》指出:河南省安阳县唐坡遗址出土九根大铁锭,含硫 1.075% (据安阳钢铁厂中心化验室分析),“这个含硫量远远高于汉代生铁的数十倍”。同时,“利用金相、硫印、化学分析等方法,检查了唐、宋以后的若干铁器、铁钱和铁塔等,观察到五代十国即公元 10 世纪以后的一部分生铁含硫较高。这可能是用煤炼铁的证据”^①。

宋、元以后,大体上是北方用煤炼铁,南方用木炭炼铁。因为用煤炼铁,使铁中含硫量增高,影响铁的质量,因而当时南方的铁质量要比北方为佳。其中福建、广东出产的尤为上乘。明代末年赵士桢《神器谱》(《玄览堂丛书》第 85 册)的《神器杂说 31 条》中讲到:“制銃须用福建铁,他铁性燥不可用。炼铁,炭火为上;北方炭贵,不得已以煤火代之,故迸炸常多。”当时福建出产生铁全用木炭炼制,质量较纯,其他地方生产的多数由于用煤炼制,“性燥不可用”。把生铁炼成熟铁,也以“炭火为上”。北方采用煤火锻炼,铁的质量就差,因而这种火器发射时常常容易炸裂。赵士桢《神器谱或问》(《玄览堂丛书》第 86 册)还谈到:

或问:南方木炭锻炼銃筒,不唯坚刚,与北地大相悬绝;即色泽亦胜煤火成造之器,其故为何? 曰:此政(正)足印证神器必欲五行全备之言耳。炭,木火也;北方用煤,是无木矣,稟受欠缺,安得与具足者较量高下?

当时人在使用火器的过程中,已经普遍察觉到用木炭锻炼成的与用煤火锻炼成的火器,质量大相悬殊,只是限于当时的科学水平,不可

^① 北京钢铁学院中国冶金简史编写小组:《中国冶金简史》,科学出版社 1978 年版,第 152 页。

能对此作出合于科学的解释。

焦炭炼制成功,用焦炭代替煤作燃料,就可以避免煤的缺点。我国使用焦炭炼铁,至少起于明代。方以智《物理小识》记载有炼焦及用焦炼铁的情况:“煤则各处产之,臭者烧熔而闭之成石,再凿而入炉曰礁,可五日不绝火,煎矿煮石,殊为省力。”这里所说的“礁”,就是焦炭;臭煤是指含挥发物较多的炼焦煤。这是说,在密闭的条件下,用高温烧熔臭煤,可以炼成像石一般坚硬的礁,火力耐久而旺盛,用来炼铁,很是省力。李翊《戒庵漫笔》又说北京一带“或者炼焦炭,备冶铸之用”。清代康熙初年益都孙廷铨著《颜山杂记》卷4^①,记述家乡的物产,认为石炭有死活之分,活的火力旺盛,可以炼成礁。他说:

凡炭之在山也,辨死活:死者脉近土而上浮,其色蒙,其臭平,其火文以柔,其用宜房闾围罐;活者脉夹石而潜行,其色晶,其臭辛,其火武以刚,其用以锻金冶陶,或谓之煤,或谓之炭。块者谓之砢,或谓之砒,散无力也;炼而坚之谓之礁,顽于石,重于金铁。绿焰而辛酷,不可蒸也,以为攀,谓之铜磧。故礁出于炭而烈于炭,磧弃于炭而宝于炭也。

这是说,臭辛而火力旺盛的煤块,可以炼成坚硬而火力更烈的礁。同时书中还记述铁冶,讲到“火烈石礁,风生地穴”。礁或石礁都是指焦炭。

四 铁器铸造工艺的进步

封建社会后期,铁器铸造工艺也有较大的进步。当时铁器,除了生产工具、兵器、一般生活用具以外,又出现了大型铸件,用于建筑工

^① 收入孙廷铨《孙文定公全集》。

程,用作宗教艺术品。

唐代已铸造铁钟、铁佛等宗教艺术品,例如西安大雁塔里的大铁钟,就是唐代铸造的。唐代已把大型铸铁件用于巨大的建桥工程。例如唐代开元十九年(公元731年)在蒲津(今山西风陵渡)建筑黄河上的浮桥,就在两岸各铸有四座大铁山,山上站有四个铁人驱赶着四头铁牛,并用五十六根铁柱相互贯穿起来,用来作为架设浮桥的支柱,所使用的铁多到几十万斤。

五代留存至今的大型铸铁件以沧州铁狮子为最著名。铁狮子在今河北沧州市东南沧州古城内,是后周广顺三年(公元953年)铸造的,狮身高3.9米,头高1.5米,共高5.4米;身长6.8米,宽约3米;重约40吨以上。背负巨盆,直径2.1米。前胸和臀部束带,带的两端分垂于两肩和胯部。狮头上毛发作波浪形,有少许毛发略有旋卷。它昂首张口,作奔走状(参看图版8)。《沧县志》记载:“铁狮在旧州城内开元寺前。高一丈七尺,长一丈六尺。背负巨盆,头顶及项下各有‘狮子王’三字,右项及牙边皆有‘大周广顺三年铸’七字,左肋有‘山东李云造’五字。腹内牙内外字迹甚多,然漫灭不全,后有识者谓是《金刚经》文。头内有‘窈田、郭宝玉’五字,曾见拓本,意系冶者名字,体为古隶。”这大铁狮子原在开元寺,当是文殊菩萨的佛座,背负巨盆当是莲花座。其铸造工艺十分复杂,是按照分节叠铸方法浇铸而成。狮腹内壁光滑,该是以整块泥模为芯;外面有明显的范块拼接痕迹,范块的尺寸大小不同,如四肢和左、右肋的范块就有13种规格。铁狮全身的范块,除爪、腹是一次浇铸、头部范块痕迹不明外,从小腿到脊背有15节、344块,莲盆和圆座有6节、65块,总共有外范409块^①。

宋代留存至今的大型铸铁件,以湖北当阳的北宋铁塔和山西太

^① 参看《文物》1980年第4期,王敏之:《沧州铁狮子》。

原晋祠的北宋镇水金人最为著名。铁塔建立在当阳的玉泉寺前，塔身有北宋嘉祐六年(公元1061年)的铭文，是这年所铸造。据《玉泉寺志》记载，塔高7丈，重106600斤。塔身为八棱，共十三层，各层分别铸造，然后套接而成。底层八角铸有金刚，冠胄衣甲，托塔站立(参看图版9、10、11)。此外还有武士、二龙戏珠和藤菊等纹样相饰，造型工细生动，每层塔都有四门对开，塔壁中央多铸佛像，其大小姿态各不相同。佛旁有侍者。每层塔的斗拱以下，又有数以百计的小佛像连续排列，组成边缘图案，环饰塔身；斗拱以上，飞檐龙首凌空，用以悬挂风铃。这座九百多年前用生铁铸造的大型建筑物，至今造型完好，说明当时铸造和套接技术已很高明^①。在太原晋祠内，从东南到西北走向的中轴线上，从水镜台经过会仙桥，便到金人台。台方形，四角各立有铁铸的镇水金人一尊，高2米多。其西南角的一尊是北宋绍圣四年(公元1097年)铸造，姿态英武，神采奕奕，衣纹转折流畅，并铸有文字。据考察，也是采用分节叠铸方法浇铸而成。此像经历八百多年的雨雪风霜，仍明亮不锈(参看图版12)^②。

当时不但能铸造大型铁铸件，也还能铸造极为精细灵巧的铸件。例如，唐代开元年间一行和梁令瓚制造精密天文仪器“黄道游仪”，先用木试制，后改用铜铁铸造。宋代至道年间(公元995—997年)用铁铸造浑天仪，皇祐年间(公元1056—1063年)改用铜制。这种浑天仪就是天文钟，用水轮转动，能按时辰击钟报时。

当时铸造铁器工艺的突出成就，更表现在铸造大铁锅上。汉代已经能够采用地面造型法，铸造直径达2米左右的铁釜(南阳瓦房庄汉代冶铁遗址出土)。到封建社会后期，铸造大铁釜锅的技术又有发展。许多大的佛教寺院中，往往保存有隋代以来的大铁釜锅。湖北

① 见《文物》1978年第6期《文博简讯》，《湖北当阳玉泉寺北宋棱金铁塔》。

② 《山西师范学院学报》1960年第1期，乔志强：《历史上的山西制铁业》。

当阳县玉泉寺原来保存有一件隋代大铁镬和三件元代大铁釜。隋代大铁镬是大业十一年(公元615年)铸造,上有铭文44字,每字方2寸左右:“隋大业十一年,岁次乙亥,十一月十八日当阳县治下李慧达建造。镬一口,用铁今秤二千斤,永充玉泉道场供养”^①。三件元代大铁釜,各重3000斤,两件为至元五年(1268年)铸造,一件为至元十一年铸造^②。浙江省北雁荡山能仁寺保存的大铁锅,上口直径2.2米,高1.55米,上有铭文记载是北宋元祐七年(公元1092年)铸造,并写明“重二万七千斤”。经实地观察,是用灰口生铁整体铸造的。这样大而厚薄均匀的生铁铸件,充分说明当时的冶炼和铸造技术已达到了较高的水平。铸造大铁锅是隋代以来传统的技术。明代宋应星《天工开物》卷八《冶铸》部分,详细记载了这方面的铸造技术:

其模(泥模)内外为两层,先塑其内,俟久日干燥,合釜形分寸于上,然后塑外层盖模。此塑匠最精,差之毫厘则无用。模既成就干燥,……铁化如水,以泥固纯铁柄杓,从咀受注,一杓约一釜之料(案即铁水),倾注模底孔内,不俟冷定,即揭开盖模,看视罅绽未周之处。此时釜身尚通红未黑,有不到处,即浇少许于上补完,打湿草片按平,若无痕迹。

这种铸造铁锅的方法,可以说已达到了很高的技术水平。这种铁锅“厚约二分”,最大的能够“煮糜受米二石”,要铸造得厚薄均匀一致,是非有很高技术水平不可的。不但制作泥模技术的要求很高,“差之毫厘则无用”;而且浇注铁水也要求十分周到,如有“未周之处”,就要成为废品。如果有“不到处”,必须在没有“冷定”、“通红未

① 见《同治当阳县志》卷17辑录阮元《隋铁镬字跋》。阮元说:“丁丑春,余过当阳玉泉寺,得见隋铁镬字,榻之。……考此镬乃彼时民间所造,民间所写,其写字之人亦惟当时俗人,其字亦当时通行之体耳,非摹古隶也,而笔法半出于隶,全是北周、北齐遗法,可知隋、唐之间,字体通行,皆肖于此。”

② 见《同治当阳县志》卷3《古迹》。

黑”之时，及时补好，而且要补得“若无痕迹”。必须用熟练而精细的技巧，才可能成功。宋代以后这种铸造铁锅工艺，能够达到如此高度水平，正是我国铁器铸造技术进一步发展的结果。方以智《物理小识》卷7《冶铸》条又讲到：

生铁铸釜，补锭甚多，惟废破铁釜熔铸，则无复隙漏。釜成后，以轻杖敲之如木者佳。然惟福山铸锅为最，以其薄而光，熔铁既精，工法又熟。他处皆厚，必用黄泥豕油炼之，乃可用。

只有“熔铁既精，工法又熟”，才能使铁锅铸造得“薄而光”，成为最佳之品。方以智所说的福山，可能是佛山之误。

明、清之际，广州佛山镇已是南方沿海的重要冶铁基地，并为产销铁器的重要商埠。它以铸锅业、炒铁业、制铁线业、制针业和制铁钉业等等著称于世。屈大均《广东新语》卷15《货语》的《铁》条说：

……然诸冶惟罗定、大塘基炉铁最良，悉是镢铁。光润而柔，可拔之为线。铸镢亦坚好，价贵于诸炉一等。诸炉之铁冶既成，皆输佛山之埠。佛山俗善鼓铸，其为镢，大者曰糖围、深七、深六、牛一、牛二，小者曰牛三、牛四、牛五。以五为一连曰五口，三为一连曰三口。无耳者曰牛魁、曰清。古时，凡铸有耳者不得铸无耳者，铸无耳者不得铸有耳者，兼铸之必讼。铸成时，以黄泥豕油涂之，以轻杖敲之，如木者良，以质坚，故其声如木也。故凡佛山之镢贵坚也，石湾之镢贱脆也，鬻于江、楚间，人能辨之，以其薄而光滑，销炼既精，工法又熟也。

佛山出产的铁锅，因为质量好，不但畅销我国长江流域和珠江流域各地，而且大批运销国外，成为广州主要出口货物的一种。根据清代雍正九年（公元1731年），广东布政使杨永斌《禁铁锅出洋疏》，当时外商所买铁锅，每船少者一百连到二三百连不等，多者五百连，并有一千连的。铁锅一连，大者一个，小者四、五、六个不等，每连约重二十

斤。若以每船买铁锅五百连计算，所装运的铁锅将重一万斤^①。说明当时出口铁锅数量之大。当时铁锅所以会这样大量出口，成为外国商船争购的商品，就是由于这种铁锅质量很高，铸造工艺达到了很高的水平。

宋代以后铁器铸造工艺的进步，还表现在“铜合金铁”冶炼法的创造上。宋人周去非《岭外代答》卷6《梧州生铁》条说：

梧州生铁，在熔时则如流水然，以之铸器，则薄几类纸，无穿破，凡器既轻，且耐久。都郡铁工煅铜，得梧铁杂淋之，则为至刚，信天下之美材也。

从这里，我们了解到两点：（一）宋代梧州生产的生铁质量很好，不但杂质少，比较纯粹，而且其中游离碳素比较细小，分布均匀，所以能够把铁器铸得很轻薄而“无穿破”，比较坚韧而能耐久。（二）当时的铁工，已能够用“煅铜”使“铁杂淋之”，冶炼成“至刚”的“美材”。无疑的，他们在这时已经创造了铜合金铁的冶炼方法。铜合金铁冶炼法，是要使生铁中熔合一定分量的铜，一般不超过2.5%，至多不能超过4%，这样就能使它在空气中不生锈，变得更硬，使铁的质量和性能提高。既然这时已能由此炼成“至刚”的“美材”，那么，这种冶炼技术定是很熟练了。

《岭外代答》卷6《融剑》条又说：

梧州生铁最良，藤州（治谭津，今广西藤县）有黄岗铁最易。融州（治融水，在今广西融安县西南）人以梧铁淋铜，以黄岗铁夹盘煅之，遂成松文（纹），刷丝工饰，其制剑亦颇铄，然终不可以为良。

这里所说的“黄岗铁”，该是一种较纯的熟铁，即低碳钢，铁工用“梧铁淋铜”方法炼制成的铜合金铁作为骨干，再用黄岗铁夹盘起来锻炼，

^① 见乾隆《广州府志》卷首。

据说也能使表面表现出“松文”，可以用来制成剑。照理，剑是应该由低碳钢和高碳钢夹起来，折叠锻炼而成的，这里改用低碳钢和铜合金铁夹盘锻炼而成，其效果当然会“颇钜”而“终不可以为良”了。

第七章 后期炼铁炉的改进及冶炼技术

一 宋元时代高炉的改进及冶炼技术

运用高炉炼铁和铸造,在我国已有悠久的历史。由于这种方法比较进步,长期成为我国炼铁和铸铁技术的主流。高炉在劳动人民长期使用中不断有所改进和发展。到宋、元时代,高炉的建造方法和炉型有进一步的改革。

值得我们注意的是元代至顺元年(公元 1330 年)绘成的《熬波图》。这图是陈椿根据前任上海下砂场盐司提干(名守仁,号乐山)所绘的草图绘成的,共有四十七图,绘的是整个海盐的生产过程,并附有说明和诗。流传至今的刊本,是清代乾隆年间编辑《四库全书》时,从《永乐大典》中辑出的。图绘比较精致的,有《吉石庵丛书》影印《画院摹永乐大典本》。其中第三十七图《铸造铁样(盘)图》(参看图版 15),就有高炉铸造煎盐用的铁盘的情况。图后有说明:

熔铸样(盘),各随所铸大小,用工铸造,以旧破锅覆铁为上。先筑炉,用瓶砂、白礬、炭屑、小麦穗和泥,实筑为炉。其铁样(盘),沉重难秤斤两,只以秤铁入炉为则,每铁一斤,用炭一斤,总计其数。鼓辅煽熔成汁,候铁熔尽为度。用柳木棒钻炉脐为一小窍,炼熟泥为溜,放汁入样(盘)模内,逐一块依所欲模样泻

铸。如是汁止，用小麦穗和泥一块于木杖头上抹塞之即止。样（盘）一面，亦用生铁一二万斤，合用铸冶，工食所费不多。

这张图以及所附说明，虽然描写的是用高炉化铁冶铸铁盘的情况，但是我们可以由此推知当时炼铁用的高炉大致也相仿。由此可以了解到下列六点：

(1) 这种高炉用瓶砂、白礞、炭屑、小麦穗和泥调和成的耐火材料筑成。所谓“瓶砂”，即今所谓“缸砂”。所谓“白礞”，即一种白色耐火泥。加入炭屑，是为了增加它的耐火程度，炭在非氧化气氛下是一种很好耐高温材料，而且有较好抵抗炉渣浸蚀的性能。加入小麦穗，是为了使这种耐火泥有筋骨，增加它的坚韧性。

(2) 这种高炉作圆锥形，上口向上缩小，炉腰用铁链捆住加固。炉口向上缩小，炉壁上部向内倾斜，可以充分利用热能，加速熔化过程。如果是炼铁炉，就可以使还原气体（一氧化碳）分布趋向均匀，和炉料充分接触，加速还原和熔化过程。同时上口小，下部炉膛大，形成一个自然斜坡，使炉料便于顺利下降，不易造成悬料事故；而且炉子下部形成炉缸，便于集中热量，有利于铁水熔化。

(3) 在炉前的“炉脐”地方，用柳木棒钻成一个“窍”（孔），在窍下用熟泥做成“溜”，作为放出铁水的口子。这种装置，与近代流传的土高炉基本相同。在炉前地上，筑成方塘，以便安放铸范，铸泻铁盘。

(4) 在炉后安装有一个长柜形的简单木风箱，高度只有炉子的一半高，宽度要比炉子宽得多，箱盖板上安装四个推拉的木杆，并排成一列，由四个人同时推拉箱盖板，进行鼓风。

(5) 熔铸时，放入炉中的原料与燃料是一与一之比，放入原料与燃料点火燃烧后，需要用小麦穗和泥调成的泥块把出铁口塞住。等熔铸到铁水下流时，用木棒凿开出铁口，让铁水流入方池的铸模内。等到铁水流完时，再用小麦穗和泥调成的泥块放在木杖头上把出铁口塞住，再加料继续熔铸。这种炉子一次能化铁一两万斤，可知容

是不小的。

(6) 在这个炉旁,有司炉的两人,鼓风的四人,打碎废铁的一人,挑担运输的两人,共九人。

拿这张图和说明结合起来看,可知这张图由于屡次临摹,已有画错的地方。画错的是:没有画出炉前“炉脐”上的“窍”和“溜”,而在炉前的下部画了一个大圆洞,如同烧饭的行灶似的,这是必须加以改正的。这种炉脐上窍和溜的结构,我们还可在明代的炼铁炉上看到。为此,在这里作了一张复原图以供参考(参看图 7-1)。

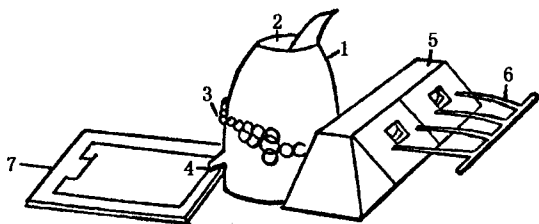


图 7-1 陈椿《熬波图》所绘元代化铁炉复原图

部位名称:1. 炉 2. 炉口 3. 束捆炉腰的铁链 4. 溜(出铁口) 5. 辅(长柜形木风箱) 6. 推拉杆 7. 铸泻铁盘用的方塘

我们把这张高炉的图,和王祯《农书》上《卧轮式水排图》(见前第四章图 4-3)上的高炉比较一下,除了木扇的形式不同外,高炉的形式也略有不同,《卧轮式水排图》上的高炉整个作圆筒形,上面口部并不缩小。

在宋代,这种高炉叫做“蒸矿炉”。《宋会要辑稿·食货》33 曾说:“雅州名山县蒸矿炉三所,熙宁六年置”。这种蒸矿炉的结构和形式,在文献上没有记载。宋代还有一种小冶铁炉,叫做“行炉”,该是由于移动方便而得名的。北宋时代编成的《武经总要》前集卷 12 曾说:“行炉熔铁汁舁行于城上,以泼敌人。”同时还附有一张《行炉图》(图 7-2)。这图由于转辗翻刻,已走了样,但是我们只要参照一下

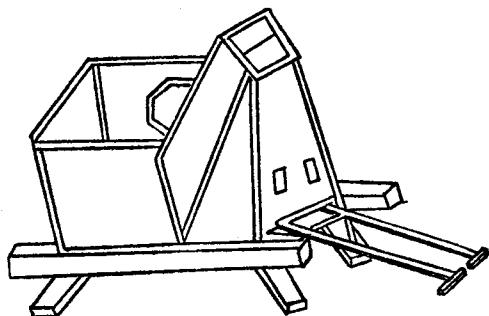


图 7-2 明代正德年间刊本《武经总要·前集》的北宋“行炉”图
 (《四库珍本丛书》影印的文渊阁《四库全书》写本,这幅图少画了炉
 上八角形的炉口和木风箱上两个长方形的“活门”)

《熬波图》上的化铁炉,就可以把它恢复原状(图 7-3)。从这里我们可以看到,行炉为了便于移动起见,在炉下设有木架和木脚。炉子外面的形状不作圆筒形而作方形,以便于安装在方形的木架上;炉后简单的木风箱不作横宽的梯形而作直长的梯形,以便和炉子同时安装在木架上;因为木风箱比较小而成为直长的梯形,箱盖板上安装的推拉杆只有两个,只需一个人同时推拉。同时宋代这个行炉的结构和

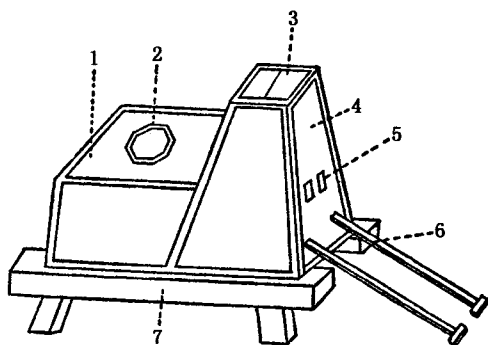


图 7-3 曾公亮《武经总要·前集》所绘北宋时代“行炉”复原图
 1. 炉 2. 炉口 3. 梯形木风箱 4. 木风箱盖板 5. 箱盖板上的活
 门 6. 风箱的推拉杆 7. 木架

式样,使我们可以推知宋代蒸矿炉的结构和式样,基本上是和元代相同的,宋、元间蒸矿炉的结构和式样并没有多大的变化。

近年来发现的宋代及金代冶铁遗址,据报道,主要有下列八处:

(1) 河北省沙河县綦阳村发现的宋、元时代冶铁遗址:在綦阳村南观音寺的后面土中埋着半截石碑,碑上刻着“顺德等处铁冶提举司,大德二年九月日立石”等字。大德是元成宗的年号,大德二年是公元 1298 年。在村北玄帝庙东有《大宋重修冶神庙记》石碑,石碑建于宣和四年八月,上有刻铭说:“其地多隆岗秃坑,冶之利自昔有之,綦村者即其所也,□皇祐五年始置官吏”。皇祐是宋仁宗年号,皇祐五年是公元 1053 年。从上述两块石碑,可知这是宋、元时代的冶铁遗址。在綦阳村以及附近綦村、后坡、赵岗等村,到处有残破的矿石、铁渣和冶铁炉的遗迹。在綦阳村口西边一条沟,叫“铁沟”,是冶铁炉遗迹集中之处,从地面上看得出的炼铁炉遗迹有十七八个,其中四个还剩有五分之一部分,炉型为圆锥形,残存的铁块有两大堆,计十七八块,每块约有几吨重^①。

(2) 福建省同安县发现宋、明冶铁遗址:在城东东桥头西部约 80 米处的遗址中,发现约 50 米见方、高 3 米的土堆,堆积着大量铁渣和铁砂,也还有冶铁炉残片、耐火砖残块、木炭、绿釉、黑釉、青花瓷片等。瓷片都是宋、明两代之物,尤以宋代瓷片为多。在城内中山公园中也发现有同样的土堆,土堆中的杂物与上述相同。1958 年在县城迁移一座宋代婆罗门石塔,在塔内填土中也发现有同样的铁渣。从上述情况,断定这是宋、明时代的冶铁遗址。从东桥头出土的冶铁炉残片和耐火砖残块来看,可知当时耐火材料系用高岭土、黄泥及谷壳等调和制成^②。

① 见《文物参考资料》1957 年第 6 期,《文物工作报道》河北省部分。

② 见《文物》1959 年第 2 期,《文物工作报道》福建省部分。

(3) 安徽省繁昌县发现的唐、宋冶铁遗址:1958年10月间,在繁昌县从铁塘冲经三梁山、铁牛山到竹园湾十里范围内,发现了较大的六处炼铁炉遗址和十七个废墟墩,还有许多零星冶铁遗址。从各遗址中出土的唐、宋瓷片及炉砖形制来看,这里该是唐、宋时代的冶铁遗址。其中以竹园湾门前炉址较为完整,炉膛内尚存有未炼成的铁块、栗树柴炭、石灰石块等。冶铁炉的结构,与现在繁昌县桃形土高炉的形式很相近,平面为圆形,直径1.15米左右,现存炉身高60厘米,炉壁厚36厘米。壁用长方形灰砖(长32、宽20、高10厘米)立砌,内壁搪4厘米的耐火泥,泥中属大量粗砂粒。炉门宽约60厘米。炉底下层铺长方形灰砖,上层搪着属合大量砂粒的耐火泥,厚约17厘米。从炉内积存的残物来看,当时炼铁方法是:先将栗树柴铺在炉膛下层作燃料,再装入打碎的铁矿石和石灰石块,然后点火冶炼。同时在附近善峰山还发现古代开采的铁矿井一处^①。

(4) 河北省武安县发现宋代冶铁遗址:在武安县午汲古城发现有宋代冶铁炉残迹,还能看出炉身相当高大,上下略有斜度^②。

(5) 河北省邯郸市武安矿区矿山村发现宋代冶铁遗址:所发现的一座宋代炼铁炉,仅存半壁,高约6米,炉底直径3米,外形呈圆锥形。炉底圆周小于炉腹,从炉腹到炉顶逐渐缩小。炉体用较大砾石和砂质耐火泥砌成。在这座炉的四周尚有四座大小相同的炉址。炉型与距离此地十多里的綦阳村冶铁遗址所发现的宋代炼铁炉,基本相同^③。刘云彩先生依据照片,估量各部分比例和尺寸,绘出复原图(图7-4)^④。

(6) 河南省林县发现宋代冶铁遗址:林县铁牛沟遗址有宋代炼

① 见《文物》1959年第7期,《文物工作报告》安徽省部分。

② 见《考古通讯》1957年第4期,孟浩、陈慧:《河北武安午汲古城发掘记》。

③ 见《光明日报》1959年12月13日,陈应祺:《邯郸矿山村发现宋代冶铁炉》。

④ 见《文物》1978年第2期,刘云彩:《中国古代高炉的起源和演变》。

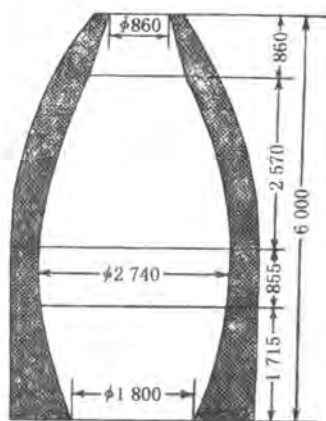


图 7-4 矿山村宋代冶铁遗址出土高炉复原图

铁炉 11 座，炉膛内径 0.9—2.6 米，炉子一般靠近沟坡，利用山坡地形，使炉子建筑坚固；同时在山坡上面平台装料，便于运输；在下面平台鼓风、出铁、出渣，便于操作。这样利用地形建炉，可以节省人力。

(7) 河南省安阳县发现宋代冶铁遗址：在安阳县铜冶公社铍炉村附近的断崖上，发现了一座宋代残存的炼铁炉，高约 4 米，直径 2.5 米，断崖上层平台积存大量矿粉和炭屑，下层平台进行鼓风、出铁、出渣，四周地层中有许多炉渣。

这里也是利用地形建炉。

以上两处冶铁遗址，炼铁炉有用当地两种山上出产的白砂石和红砂石砌成的。其残块的化学成分有如下表：

	二氧化硅	氧化钙	氧化镁	三氧化二铝
白砂石	76.21%	8.25%	5.21%	2.83%
红砂石	64.62%	5.43%	4.77%	13.48%

从上表可知白砂石和红砂石都是含硅比较高的优质耐火材料，具有较高的耐火度。从炉底和炉子下部炉墙上保留的烧结物的分析，说明冶炼时温度较高，估计不低于 1200 度。在林县申村大队冶铁遗址中还发现有打结成型的弧形耐火砖，砖中有较粗的砂粒和较细的粘土，较粗的砂粒可以提高耐火度，较细的粘土可以使耐火材料不易开裂。这种耐火砖已和近代用来砌炉的耐火砖十分相似^①。

^① 参看《中国冶金简史》，科学出版社 1978 年版，第 148—150 页。

(8) 黑龙江阿城县五道岭发现金代冶铁遗址：五道岭发现有 10 多个古矿坑，最深的达 40 米，开矿方法是从山上往下旋转开凿，成阶梯形，一级比一级短，并有采矿和选矿工业区。同时还发现有 50 多处冶铁遗址，大多数遗址中都发现有炼铁炉、铁矿渣、炼渣、木炭、铁块、铁矿石等。炼铁炉的炉壁共厚 1 米，内层用花岗石砌成，厚 40 厘米，石与石之间用黄粘土压缝；外层用较细的黄粘土筑成，厚 60 厘米。炉膛高 1.63 米。炉门向南，门长 50 厘米，宽 40 厘米，高 70 厘米。炉内尚保存有木炭痕迹^①。

结合文献和考古材料来看，宋、元时代高炉的建造已具有相当的规模。炉壁有用夹杂瓶砂、炭屑、小麦穗的耐火泥筑成的，有用麝杂高岭土、谷壳的耐火泥筑成的，也有用掺有粗砂粒的耐火砖砌成的，更有用耐火的白砂石、红砂石砌成的。炉型有圆筒形的，也有上口小而作圆锥形的，更有上口小而作方形、便于移动的“行炉”。上口小而上部炉墙内倾，便于保持热量和加速还原、熔化过程，这是筑炉技术上的重要创造。炉脐有出铁孔，装有熟泥制成的“溜”（流出铁水的圆形管子）。炉后安装有很大的有活门的简单木风箱，有用四个人同时推拉的。这种高炉大都使用煤作燃料，可以连续不断地操作，当一炉铁水炼成放出后，可以继续冶炼。

河南省安阳县唐坡宋代冶铁遗址出土了九根大铁锭，根据安阳钢铁厂中心化验室的分析，成分如下：含碳 2.5%，含硅 0.86%，含锰 0.001%，含磷 0.1%，含硫 1.075%。含硫量这样高，可能是用煤炼

^① 见《黑龙江日报》1962 年 11 月 13 日，王永祥：《阿城五道岭地区古代冶铁遗址的初步研究》。遗址出土遗物有金代的白瓷片、褐釉瓷片、瓦片和北宋铜钱（最早为宋真宗的“咸平元宝”，最迟为宋徽宗的“政和元宝”），可以证明这个遗址属于金代初期。此文因出土铁块作海绵状，推定这些炼铁炉只能炼出海绵铁，这个推论是否正确，还有待于作进一步的调查研究。这些遗址中未发现铸铁范和成品，此文推定当时炼铁和铸造已有分工。

铁的缘故。含硅量是目前化验的古代生铁中比较高的,这反映了当时的冶炼温度已比较高。由于二氧化硅(SiO_2)还原温度比较高,一般说来,生铁中硅的含量多少,反映了冶炼温度的高低。

宋代对炼铁原料仍然采用加工砸碎、筛选的办法,筛选剩下来的矿粉仍然被当作废料。安阳铍炉村和唐坡遗址废弃的矿粉,经化学分析,含铁 40.55%,二氧化硅 26.58%,氧化钙 7.84%,三氧化二铝 14.04%。这就是当时冶铁用的矿石的成分。当地钢铁厂曾将这些矿粉进行富选和烧结后,用于炼铁,效果良好。

林县和安阳两地宋代冶铁遗址的炼铁炉渣,经过两地钢铁厂化验,其成分如下表:

成分 项目	二氧化硅	氧化钙	氧化镁	氧化锰	硫
林县东冶炉渣	48.73%	23.24%	9.55%	0.21%	0.14%
林县利城炉渣	52.79%	24.45%	9.33%	0.27%	0.102%
安阳铍炉炉渣	43.84%	19.60%	10.94%	—	0.326%
安阳唐坡炉渣	54.26%	25.20%	11.69%	—	0.091%

这些炉渣都属于酸性,碱度很低。渣的断口多呈玻璃状,渣呈淡绿色,几乎不带铁,说明当时冶铁炉的熔化情况、流动性以及渣铁分离是比较好的,造渣的技术水平已相当的高了。缺点是去除硫的能力较差。渣中含有较高的氧化镁,这个数值同现代炼铁炉渣的氧化镁含量相近,可能是采用了白云石作为熔剂的结果。现代高炉炼铁,一般矿石中含氧化镁不多,为了有利于熔化、增加渣的流动性和脱硫能力,加入白云石作为熔剂,炉渣中氧化镁含量可提高到 8%—10% 左右。

总的说来,宋、元时代使用高炉的炼铁技术有了很大的进步,多种炉型的使用,炉口的缩小和炉型的改进,多种耐火材料的使用和质量的提高,木风箱的推广使用和风量的加大、风压的提高,煤的普遍用作燃料和炉温的提高,都是提高炼铁生产率的重要手段。

《弘治徽州府志》卷3《食货》2记载有元代初年徽州府婺源州的铁产地和冶炼情况,婺源县有铁炉五座,设在朱村、蟠坑、双桥、鱼坑、大塘,至元十九年(公元1282年)“五炉岁课一万四千四百斤”,后来因“岁久矿脉耗竭,无可煅炼,各人逃居”,五炉先后废弃。元代的“岁课”一般是铁产量的20%,五座炼铁炉的“岁课”14400斤,那么,其年产量共有72000斤,平均每座炉的年产量有14400斤。根据《弘治徽州府志》和《嘉靖徽州府志》所引胡升所记载元代初年婺源州的炼铁情况:

凡取矿,先认地脉,租赁他人之山,穿山入穴,深数丈,远或至一里。矿尽又穿他穴。凡入穴,必祷于神。或不幸而覆压者有之。既得矿,必先烹炼,然后入炉。煅者,看者,上矿者,取钩(矿)沙者,炼生者,而各有其任。昼夜番换,约四五十人。若取矿之夫、造炭之夫,又不止是。故一炉之起,厥费亦重。或炉既起,而风路不通,不可熔冶;或风路虽通而熔冶不成,未免重起,其难如此,所得不足以偿所费也。

这里具体描写了当时开矿、筑炉和冶炼的情况。所说“凡取矿,先认地脉”,就是要预先探测好矿藏。所说“入穴深数丈,远或至一里”,是说当时开矿要深达几丈以至一里。所说“或不幸而覆压者”,是说不免要发生矿井倒压的事故。所说“既得矿,必先烹炼,然后入炉”,是说当时送入炉中的矿石要经过焙烧。我国从汉代以后,对入炉的矿石采用砸碎、筛分的方法,十分费力。这时在入炉前改用焙烧方法,不但可以使矿石经过焙烧而破碎,而且矿石经过焙烧,入炉后可以减少炉内热量的消耗;如果是菱铁矿,经过焙烧,更可以使碳酸铁分解,

这都有利于加速冶炼的进程。所谓“煽者”，是指鼓风的工人；“看者”，是指观察炉况的工人；“上矿者”，是指送原料入炉的工人；“取钩矿砂者”，是指转运矿砂原料的工人；“炼生者”，是指炼成生铁的工人。说明当时每炉工人的分工已很明确，因为每一工种都必须有一定技术。所说“昼夜番换，约四五十人”，是说昼夜轮流换班，共四五十人，那么每炉每班工人有二十多人。胡升是宋末元初的人，他所描写的只是婺源州的炼铁情况。当时婺源州并不是重要产铁地区，前后冶炼的时间也不长，不久就因矿源耗竭而废弃，因此胡升所描写的只是当时一种小规模炼铁情况，但是从中可以看出当时冶铁技术已经达到相当高的水平。

二 明清时代高炉的改进及冶炼技术

明代的高炉，叫做“大鉴炉”（有人认为“鉴”是“竖”字之误）。《明会典》卷 194《遵化铁冶事例》曾说：遵化铁冶厂在正德四年开大鉴炉 10 座，共炼生铁 486 000 斤，六年开大鉴炉 5 座，炼生铁如前。嘉靖八年以后，每年开大鉴炉 3 座，炼生板铁 180 800 斤，生碎铁 64 000 斤。从这里，可知明代遵化冶铁炉的生产率是在提高，正德六年比正德四年提高了一倍。遵化铁冶厂每年十月上工，到次年四月放工，只生产六个月。从这里，又可知明代的一个冶铁炉在六个月中已能炼出生铁 97 200 斤，约 486 吨。明代遵化的大鉴炉，是当时一种较大的高炉，明人朱国桢《涌幢小品》卷 4《铁炉》条和清孙恩泽《春明梦余录》卷 46《铁厂》条，曾有具体的描写：

遵化铁厂（《春明梦余录》作“京东北遵化境有铁炉”）深一丈二尺，广前二尺五寸，后二尺七寸，左右各一尺六寸，前辟数丈为出铁之所。俱石砌，以筒千石为门，牛头石为心。黑沙为本，石

子为佐,时时旋下,用炭火,置二辅扇之,得铁日可四次。妙在(《春明梦余录》无此两字)石子产于水门口,色间红白,略似桃花,大者如斛,小者如拳,捣而碎之,以投于火,则化而为水。石心若燥,沙不能下,以此救之,则其沙始销成铁。不然则心病而不销也,如人心火大盛,用良剂救之,则脾胃和而饮食进,造化之妙如此(《春明梦余录》无“不然则”至“造化之妙如此”一段)。……生铁之炼,凡三时而成,……其炉由微而盛,由盛而衰,最多九十日则败矣。

遵化铁厂是明代主要冶铁基地,政府制造军器需要的铁就完全取自该厂。正德年间傅俊曾主持该厂。傅俊字汝原,福建南安人,以工部郎中在正德年间主持该厂,并著有《铁冶志》两卷,著录于《明史·艺文志》。上述《涌幢小品》和《春明梦余录》关于该厂高炉及其冶炼技术的记载,基本相同,当即出于傅俊所著《铁冶志》。这里,值得注意的有下列四点:

(1) 这种高炉深达1丈2尺,合今3.804米^①。所谓“广前二尺五寸”,是指前面出铁口的内径2尺5寸。所谓“后二尺七寸”,是指后面出渣口的内径2尺7寸。所谓“左右各一尺六寸”,是指两侧鼓风口的内径各1尺6寸。

(2) 整个炉身全用石头砌成,以“牛头石”做成炉的内壁,以“筒千石”做成炉门,用两个风箱鼓风。

(3) 炼铁时,“黑沙为本,石子为佐,时时旋下”。就是以“黑沙”为原料,以“色间红白,略似桃花”的石子作为熔剂,陆续按时由炉口投入旋下。“黑沙”当是小块黑色矿石,可能是磁铁矿。“色兼红白,略似桃色”的石子,该是一种淡红色的萤石(即氟石,亦即氟化钙)。

^① 据武进袁氏所藏“明嘉靖牙尺”,长0.317米,参看拙著《中国历代尺度考》,商务印书馆1955年重版。

这种捣碎的熔剂，熔点很低，投入炉火中，便“化而为水”。因为它是一种良好的熔剂，所以“石心若燥，沙不能下，以此救之，则其沙始消成铁”。

(4) 这种高炉，每3个时辰(6小时)出铁1次，每天可以出铁4次，最多能连续使用90天。

从上述四点看来，明代炼铁高炉已有较大规模和效能，并已使用很好的熔剂。

明人卢若腾《岛居随录》卷下“制伏”部分说：“铸铁不销，以羊头骨灰致之，则消融。”这该是由于某种铁矿石不容易熔化，所以又采用含磷丰富的骨头作为熔剂了。

明代由于冶铁炉较大，冶铁炉较多的铁厂，就需不少开矿、烧炭和冶铁的工人。据《明会典》卷194《遵化铁冶事例》，明代遵化铁冶厂在永乐年间(公元1403—1424年)每年有民夫1366名，军夫924名，匠270名。在正统三年(公元1438年)有民夫683名，军夫462名，烧炭匠71户，淘沙(铁沙)匠63户，铸铁等匠60户。此外还有轮班匠630名，按季分成四班。在嘉靖七年(公元1528年)有民夫410名，军夫425名，匠268名，轮班匠410名。总计此厂工人最多时达2500多人，最少时也有1500多人。又据张萱《西园见闻录》卷40《蠲账》条，福建尤溪铁厂，炉主“招集四方无赖之徒，来彼间冶铁，每一炉多至五七百人”。

《天工开物》卷14《五金》部分说：

凡铁炉用盐做造，和泥砌成，其炉多傍山穴为之，或用巨木匡围。塑造盐泥，穷月之力，不容造次，盐泥有罅，尽弃全功。凡铁一炉，载土二千余斤，或用硬木柴，或用煤炭，或用木炭，南北各从利便。扇炉风箱，必用四人、六人带拽。土化成铁之后，从炉腰孔流出，炉孔先用泥塞，每旦昼六时，一时出铁一陀，既出，即又泥塞，鼓风再熔，凡造生铁为冶铸用者，就此流成长条圆块，

范内取用。

《物理小识》卷7《金石类》也说：“凡铁炉用盐和泥造成。”由此，可知明代的一般的高炉都用盐和泥砌成，这种泥要经过长时间的捶炼，有的靠山穴筑成，有的用大木柱框围起来。一般的冶铁炉，大风箱要用四人或六人才能鼓动，每炉可以装入矿砂2000斤，每一个时辰（即2小时）可以炼出一炉铁，如果按照“每矿砂十斤可煎生铁三斤”来计算^①，明代一般冶铁炉在2小时内已能炼出600斤铁了。

明代还有一种可以抬走的小型高炉，以便冶铸铁器之用。《天工开物》卷8记述一种冶铁炉，是专门用来铸造千斤以下的钟的。据说，“炉形如箕，铁条作骨，附泥做就。其下先以铁片圈筒，直透作两孔以受杠，穿其炉垫于土墩之上。各炉一齐鼓鞴熔化，化后以两杠穿炉下，轻者两人，重者数人抬起，倾注模底孔中，甲炉既倾，乙炉疾继之，丙炉又疾继之，其中自然粘合。”《天工开物》卷8所附“铸千斤钟与仙佛像”图，绘有这种冶铁炉的形状（参看图7-5）。这种小高炉，该是由当时的高炉缩小而制成，为了便于移动的，如同宋代的行炉一样。

明代各地所产生铁以南方的较为优良。李时珍《本草纲目》卷8《金石部·铁》条说：

铁皆取矿土炒成。秦、晋、淮、楚、湖南、闽、广诸山中皆产铁，以广铁为良。甘肃土锭铁，色黑性坚，宜作刀剑。西番出锭铁，尤胜。《宝藏论》云：铁有五种，荆铁出当阳，色紫而坚利。上

^① 《清文献通考》记乾隆二十九年四川总督阿尔泰奏：“屏山县之李村、石堰、凤村及利店、茨藜、荣丁等处产铁，每矿砂十斤可煎生铁三斤，每岁计得生铁三万八千八百八十斤，请照例开采。”三十年阿尔泰奏：“江油县木通溪和合碛等处产铁，每矿砂十五斤可煎得生铁四斤八两，每岁得生铁二万九千一百六十斤。”三十一年阿尔泰又奏：“宜宾县濠坝等处产铁，每矿砂十斤煎得生铁三斤，每岁计得生铁九千七百二十斤。”



图 7-5 明代铸造大钟和大佛像时所用的冶铁炉
(采自《天工开物》)

饶铁次之。宾铁出波斯，坚利可切金玉。太原、蜀山之铁顽滞。……

明代唐顺之《武编·前编》卷 5《铁》条也说：

生铁出广东、福建，火熔则化，如金、银、铜、锡之流走，今人鼓铸以为锅鼎之类是也。出自广者精，出自福者粗，故售广铁则加价，福铁则减价。

明末清初屈大均《广东新语》卷 15 也说：“铁莫良于广铁。”但也有称许闽铁的。方以智《物理小识》卷 7《金石类·铁》条注引方中通说：“南方以闽铁为上，广铁次之，楚铁止可作钼。”茅元仪《武备志》卷 119《制具》条和赵士楨《神器谱》讲到“制威远炮用闽铁，晋铁次之”。《神器谱》还说：“制銃须用福建铁，他铁性燥不可用。”当时广东、福建一带生产的生铁，品质所以优良，首先是由于冶炼技术比较先进，其次是由于使用的铁矿石和作为渗碳剂、燃料的木炭质量都较好。当时冶炼广铁所用矿石，主要是广东云浮的沼铁矿及褐铁矿。《大清一统志》（乾隆八年修）记载：“罗定州东安县（今广东云浮县）大台山，在

县东北二十里，又五里有铁山，产铁矿，剖之皆竹筍(笋)树叶之形。旧尝置炉于此。”这就是一种含有第三纪植物化石的沼铁矿。这种铁矿所含硫磷等杂质很低。《广东新语》说：“广中产铁之山，凡有黄水渗流，则知有铁。掘之得大铁矿一枚，其状若牛，是铁牛也。循其脉路，深入掘之，斯得多铁矣。”从书中描写来看，这肯定是一种褐铁矿的矿床。

特别需要讨论的是所谓“堕子钢”问题。《天工开物》所载炼铁炉和炒铁炉串联使用的图(参看图 7-6)，描绘生铁水从炼铁炉的“管”(出铁口)中流出，经过圆塘，流入方塘，以便在方塘中炒炼成熟铁。在所绘生铁水流经圆塘的过程中，在圆塘上端，右面写着“此管流出成生铁”，左面写着“流入方塘”，在圆塘下部，右面有三个小圆孔，圆塘中的少量生铁水正在向下流入(用三条或四条虚线表示)，旁边写



图 7-6 明代炼铁炉和炒铁炉串联的操作方法

(采自《天工开物》)

着“堕子钢”；左面又有三长条小沟，圆塘中的少量生铁水正在流入（用一条虚线表示），下边写着“板生铁”。所谓堕子钢是什么？《天工开物》没有这方面的文字说明。

《中国冶金简史》对堕子钢作出解释说：

堕子钢的意义还不清楚，从图中来看，有可能是这样的过程：在铁水流入方塘前，流经一个圆塘，当铁水流入圆塘的过程中，随着温度不断降低，铁水中析出一种含碳较高、夹杂较少的钢。取名“堕子钢”，正是形象地表明了这种钢是经过凝聚沉积而成。由于当时科学发展的水平所限，虽不能了解这种分步结晶过程的原理，但经过劳动人民的长期实践和刻苦钻研，创造了这种巧妙的堕子钢法。^①

这个解释并不恰当。生铁水从炉中流出，经过圆塘而流入方塘的过程中，正在逐渐冷却凝固，很难使得其中一部分特别分离出来，先凝聚下沉而成为一种钢。不但在明代的设备和技术条件下，就是在比较先进的设备和技术条件下也没有见到这样的实例。因此我们不能把堕子钢看作一种钢，更不能把它看作一种特殊的炼钢方法。《天工开物》卷14《五金》部分讲到“灌钢”冶炼法，要用熟铁薄片束包夹紧，“生铁安置其上”，原注说：“广南生铁名堕子生钢者，妙甚。”接着原文又说：“洪炉鼓鞴，火力到时，生钢先化，渗淋熟铁之中，两情投合，取出加锤。”可知宋应星是把“堕子生钢”作为一种优质生铁的。所谓堕子钢或堕子生钢，只是广南生产的一种优质生铁的品种名称。方以智《物理小识》卷7《金石类》中也谈到“广南堕子生钢”。这种优质生钢是在生铁水流经圆塘的过程中，通过小孔堕下沉积冷却凝聚而成，含碳较高，渣滓夹杂很少，因而成为炼制灌钢所用“妙甚”的生铁原

^① 北京钢铁学院中国冶金简史编写小组：《中国冶金简史》，科学出版社1978年版，第189页。

料。所以宋应星在讲到炼制灌钢所用生铁原料时，特别提到这种堕子生钢；讲到灌钢冶炼过程时，又说“火力到时，生钢先化”。所谓“生钢”就是优质生铁，否则怎么可能“先化”呢？如果堕子生钢真是一种钢材的话，钢的熔点高，是不可能先化的。

明代晚期一般所谓“生钢”，实质上就是一种优质生铁，是炒炼成熟铁或钢的好原料，也是炼制灌钢的好原料。明代唐顺之《武编》前编卷5《铁》条和茅元仪《武备志》卷105，都把“生铁合熟铁炼成”的灌钢称为“熟钢”，说是“或以熟铁片夹广铁，锅涂泥，入火团之”而成。所说“广铁”，就是宋应星所说“广南生铁名堕子生钢者”。唐顺之又说：

生钢出处州，其性脆，拙工炼之为难。盖其出炉冶者，多杂粪炭灰土，且甚粗大。惟巧工能看火候，不疾不徐，捶击中节。

若火候过，则与粪滓俱流，火候少，则本体未熔，而不相合。此钢出处州，惟浙东用之，若其他远土，则皆货熟钢也。

这种处州生产、“出炉冶”而“多杂粪炭灰土”的“生钢”，也该是一种炒炼熟铁和钢的好原料，只是因为含有较多粗大的夹杂物，“其性脆”，必须经过有技巧的冶炼工匠，掌握适当的火候烧炼，再加锻打，才能成为优质熟铁或钢材。如果火候过了，火力太猛，渣滓和铁一起流动，就难以把铁分离出来。如果火候不到，火力太弱，铁的本体不能熔融，也难以使渣滓分离出来。《光绪永嘉县志》卷6《物产》引《东瓯杂俎》说：铁沙“溪山处处有之，在黄土中淘出，色黑者，是以松炭炼之成铁，以栎炭炼之生钢。”栎炭该是一种炼铁的好燃料，火力较旺，因而能够用来炼出优质生铁。所谓“以栎炭炼之生钢”，实质上还是一种优质生铁。

清代冶铁炉的规模，大体上和明代相同。明末清初屈大均《广东新语》卷15《货语》的《铁》条，记述广东冶铁炉的情况说：

炉之状如瓶，其口上出，口广丈许，底厚三丈五尺，崇半之。

身厚二尺有奇。以灰沙盐醋筑之，巨籐束之，铁力、紫荆木支之，又凭山崖以为固。炉后有口，口外为一土墙，墙有门二扇，高五六尺，广四尺，以四人持门，一阖一开，以作风势。其二口皆镶水石，水石产东安大绛山，其质不坚，不坚故不受火，不受火则能久而不化，故名水石。

凡开炉，始于秋，终于春。……下铁卅(矿)时，与坚炭相杂，率以机车从山上飞掷以入炉，其焰烛天，黑浊之气数十里不散。铁卅既溶，液流至于方池，凝铁一版取之，以大木杠搅炉，铁水注倾，复成一版，凡十二时，一时须出一版，重可十钧。一时而出二版，是曰双钩，则炉太王(旺)，炉将伤，须以白犬血灌炉，乃得无事。……

凡一炉场，环而居者三百家，司炉者二百余人，掘铁卅者三百余，汲者、烧炭者二百有余，驮者牛二百头，载者舟五十艘，计一铁场之费，不止万金，日得铁二十余版则利赢，八九版则缩，是有命焉。

由此可见，清初广东冶铁炉高有一丈七八尺，底部直径有3丈5尺，口部直径约有1丈，整个炉的内部好似瓶形。炉的身部厚2尺多，用灰沙和盐醋调和后筑成，筑成后用巨籐捆束，并用铁力紫荆木加以支撑，使之牢固。炉门和通风口都镶有耐火的“水石”。通风口在炉后面，口外有土墙，墙上装有高五六尺、阔4尺的门两扇，作为鼓风设备。这种运用门扇的鼓风设备，该是宋、元时代“木扇”的进一步发展。炉靠山崖建筑，还装置有“机车”，铁矿石用机车从山上抛掷到炉中。这时高炉已有这样的上料机械设备，也是高炉结构上重大进步。这时每一炼炉每一个时辰，可炼出重达10钧(300斤)的生铁板一版。这里，既说每炉每个时辰可出铁一版，又说一个炉场每天得铁二十余版，司炉者两百余人，可知当时一般炉场日夜有炉两座炼铁，每炉工人有100多人。每炉每个时辰出铁一版重300斤，可以日产铁

3 600 斤,约 1.8 吨。以开炉时间“始于秋、终于春”两个季度六个月计算,每炉年产量约 324 吨。

道光初年严如煜《三省边防备览》卷 10 记述陕西汉中一带的冶铁炉情况说:

铁炉高一丈七八尺,四面椽木作栅,方形,坚筑土泥,中空,上有洞放烟,下层放炭,中安矿石。矿石几百斤,用炭若干斤,皆有分两,不可增减。旁用风箱,十余人轮流曳之,日夜不断,火炉底有桥,矿渣分出,矿之化为铁者,流出成铁板。每炉匠人一名辨火候,别铁色成分,通计匠佣工每十数人可给一炉。其用人最多,则黑山之运木装窑,红山开石挖矿运矿,炭路之远近不等,供给一炉所用人夫须百数十人。如有六、七炉则匠作佣工不下千人。铁既成板,或就近作钢厂、作农器,匠作搬运之人又必千数百人,故铁炉川等稍大厂分,常川有二三千人,小厂分三、四炉,亦必有千人、数百人。

由此可知,清代陕西的冶铁炉大体上和广东的冶铁炉相同,炉身也高一丈七八尺,每炉工人也要一百几十人,只是陕西的冶铁炉不用门扇鼓风而是用风箱鼓风的。

三 近代各地民间流传的土高炉及冶炼技术

近代各地流传的土高炉,就是在明、清时代炼铁高炉的基础上发展起来的。由于各地因地制宜,适应各地所产原料的特点,同时由于各地对流传的操作技术有所改进,许多地区流传着不同筑炉方法和不同的冶炼技术。我们对各地流传的各种类型的土高炉和冶炼技术加以探讨,不仅可以了解近代各种土法冶炼技术的分布情况,还可以由此追索它的起源和流变,从而了解我国历史上炼铁技术的发展情

况。因此,我们不能忽视对近代各地土法冶炼技术的调查研究。

一般说来,近代各地的土高炉有高型、中型、矮型三大类。

近代高型土高炉流行很广,在陕西、山西、湖南、四川、云南、贵州等省流传有各种不同的式样。高型土高炉的外形,或是木头围成的方柱形,或是用砖石砌成的方柱形和圆柱形。炉的内部类似瓶状,敷有耐火泥。炉约高2—3丈,上口径7—8寸到2尺,炉腰宽5尺到1丈,炉缸直径1—1.5尺。炉前后近底处各有半圆形孔,前孔出铁,后孔鼓风。运用人力推动风箱鼓风,一昼夜能产生铁1500—3000斤。

高型土高炉在四川比较流行。《民国大竹县志》(1928年陈步武等纂本)卷13记述当地冶铁的情况说:

冶铁之法,先在露天中,用木炭将生矿焙烧,使碳酸铁随热飞散,煨成红蓝二色适于冶炼之熟矿,然后可以入炉。炉以石制,高二丈余,外方,内如坛形,中宽丈余,上口只七八寸,下有“金丝门”。风箱位置,有湾吹、对吹两种。湾吹,炉较大;对吹,较小。湾吹,箱在“金丝门”左侧;对吹,箱在“金丝门”后方。冶铁者,先用木炭,将炉填满燃烧,俟木炭销熔一部,然后以矿与炭从上口陆续相同贮入,借抽运风箱之力,使发大热。经若干时,矿质化成铁水,如露珠下滴,落于“河”底。“河”满,用湿木所制木扒挖出,流入池内,上覆冷灰一二时,冷尽拖出,即成生板。县中采矿炼铁办法,大率如此。

这种炉子一般高达2—3丈,用白砂石砌成。砂石要求是颗粒粗、含有高岭土与石英的混合物,要放在打铁炉上长期鼓风煨烧,不爆裂、不熔化的才能使用。砌石块缝用的泥,是白色粘土和石英粉的混合物。整个炉壁、进风口、出铁口和炉缸,全用白砂石砌成,成为一个坛形。四周用杉木紧排成方柱形,并用杉木在四周箍紧,在坛形炉壁和四周木排间,用含砂的粘土填入打结。炉缸的长短和深度以及风管所安装的位置,根据风力的大小来决定。在炉子基本建成后,要先烤

烘,等到炉内温度能保持摄氏 60—70 度时,才能开始搪炉。搪炉一般要搪三道:第一道采用黄泥土或白磷泥与胆水(约占 10%—15%)混合成的泥浆,用手擦在坛肚和炉缸上;第二道采用油炭灰、铁屑或铜釉渣、白色粘土、胆水等混合成的耐火材料来搪;第三道用米汤混泥浆,用高粱粑或谷粑来刷。每搪一道,都要把炉子烤热,趁热进行。在四川,炼铜也用同样的土高炉(参看图 7-7)。

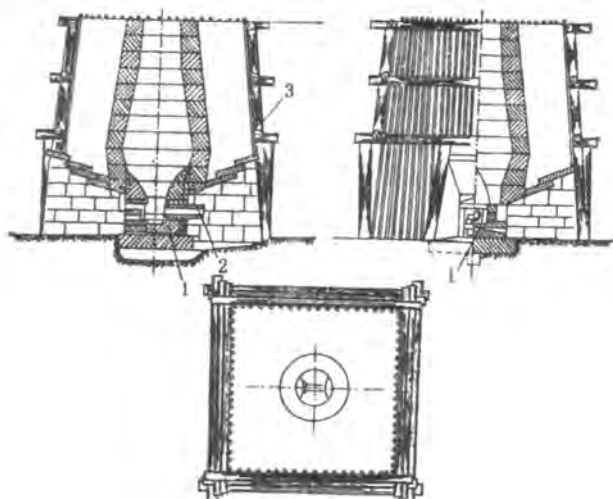


图 7-7 四川省石砌的高型土高炉

部位名称:1. 金池 2. 风嘴 3. 木保护匣(这炉为炼铜用,但结构是和炼铁用的石砌土高炉相同的。摘自四川省工业建设经验交流展览会编《土法冶炼》)

高型土高炉在湖南也是比较流行的。1923 年丁格兰在《中国铁矿志》第 2 编,记述当时湖南的高炉说:

高炉亦名标炉,形如四角柱,高十八尺,上小下大,四周砌以砖石,下部宽十四尺,上部宽十尺。其内部形如瓶,腹宽八尺,口仅一尺,近火处敷以耐火之土(白泥和砂制成),外部敷以普通胶

泥,然后再装木条,使其坚固。近底之前后二部,设有半圆之口,在前者出铁,在后者鼓风(鼓风之孔亦有在炉之侧面者)。炉顶有尺大圆孔,为加入矿石木柴及出烟之用。每一高炉可容矿石六千余斤,燃料七千余斤,每日夜可出铁二十三担(一吨又三四成)。炼法:置燃料于炉之底部,加煨矿于上,迭次平铺,间加石灰岩助熔,直到炉顶为止。然后由炉底发火,至十余时,铁已渐熔,以铁棍击通炉底小孔,除去铁渣,铁液流出,至砂模中凝为铁板。所用燃料,分柴炭及煤炭。用柴所出之铁,名为柴铁,性脆,适于铸锅。用煤所出者名煤铁,性较坚,适于铸农具及钟磬等。然高炉多用柴炭,而煤炭多用于甑炉。柴炭之原料多为栗、松、杉等木。

这种高型土高炉在湖南长期流行,我们以湖南攸县 1919 年建成的土高炉为例。炉高 24 尺,炉的上口直径 1.5 尺,炉腰直径 5.5 尺,炉缸直长 1.5 尺,前宽 6 寸,后宽 7 寸,深 0.6 寸。进风口高 8 寸,宽 9 寸,出铁口直径 5.5 寸(参看图 7-8)。筑炉前,在炉基深挖至 3 尺以下(挖到硬底),用火砖、卵石和泥土铺出地面,再从基心处竖起一根 5 尺长的木柱,作为炉心,靠炉基四周紧排杉木(1.2 尺围大),约需 100 根,在离地 8 尺处用杉木(2 尺围大)在四周箍紧,共需 12 根,然后用含砂的粘土往内填,由下而上,层层打结,每填下 5 寸松土,要打成 1 寸多厚,使粘土十分结实,吸不进水。等到填土打筑结实后,按炉型的尺寸在中间挖空,再在内面砌一层青砖,作为炉的内壳,约需青砖 3 000 块,砖上搪上 3 分厚的盐泥(三担白泥、一担河泥、20 斤盐配成)。炉门做成向外 60 度的倾斜,使炉内火舌往外喷时,直往上升,避免火力集中烧坏炉门,并减轻炉前温度,以便操作。进风口安装的是可以调换的岩石。炉缸用耐火的岩石装成。这个炉子日产 2 吨左右^①。

^① 参看《冶金报》1958 年 44 期,中共湖南省委员会工业办公室:《一座生产了四十年的土高炉》。

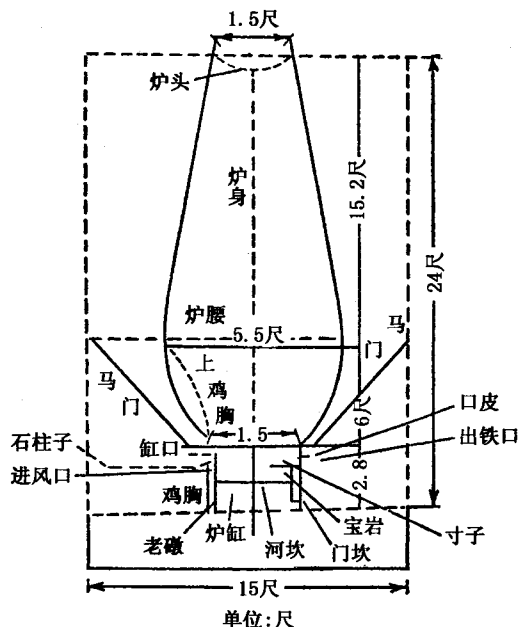


图 7-8 湖南省攸县 1919 年建成的砖砌土高炉
(采自《冶金报》1958 年第 44 期)

近代流传在云南的土高炉，一般作方锥体，个别地区有作圆锥体的。现在以罗次县果园村的炼铁炉为例。炉高 18 尺，方锥体，基部每边长 12 尺，顶部每边长 9 尺。其筑法：先用土砖砌炉心作胎，再在胎心周围用泥土筑炉壁，并加捶打坚实。待建筑完成，将胎心所砌土砖取去，对炉壁再次加工捶紧，然后在整个炼炉内壁用一种耐火细砂土加入少量原盐和水拌成的泥浆涂抹，厚约 5 厘米。炉壁四周用巨木框围，每边竖巨木抬柱两根，横柱三根，四周串联钉紧。炉的内腔作煤油灯罩形，上部炉喉直径约 4 尺 5 寸，中部炉膛的最大直径达 6 尺。炉底用耐火石砌成圜底炉缸（即铁水池）。炉基之下铺有板石，板石之下铺有沙泥，沙泥之下有十字形的排水沟，内装炭灰。炉基一

面正中设炉门,作为出铁水口,其底部高出地面 20 厘米。门框用砂石砌成。炉门背面对应处设后火洞,是鼓风生火的地方(参看图 7-9)。鼓风用圆筒形风箱,长 6 尺,直径 2 尺。一般用水力鼓风。如用人力鼓风,需由 4 人拉曳,拉力约 100 公斤,每分钟抽拉 30—38 下。炼铁时,每两小时装料一次,每次装矿砂 120 公斤,木柴(一般用栗木)300 公斤、木炭 30 公斤。先装木柴,次装木炭,后装矿砂。直

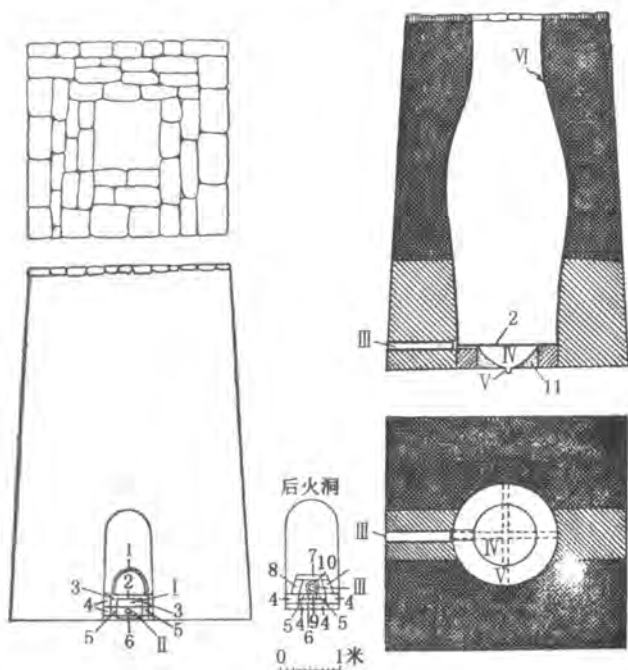


图 7-9 云南省罗次县的土高炉

- 部位名称:1. 月牙石(砂石)两块 2. 炉牙石一块 3. 小柱子(砂石)两块
 4. 砂土杂石四十八块 5. 盘樑石两块 6. 底板石一块 7. 鸡胸石一块 8. 大柱子(砂石)两块 9. 土地石一块 10. 咀子石一块 11. 梭山石两块 I. 炉火口门 II. 出铁水口(封口)
 III. 风管口 IV. 铁水池 V. 排水沟 VI. 耐火泥

到装满,共需装 12 次。一般每四小时出铁水一次。初炼时每次出铁水 100—150 公斤,一昼夜出铁水 600—900 公斤,以后逐渐增加,十天以后,一昼夜最高可达 1 200—1 400 公斤^①。

近代中型土高炉流行的地区也很广泛。炉高 1 丈左右或 1 丈以上,用泥或砖砌成。我们先举河南商城县的土高炉为例。商城县土法炼铁已有两百多年的历史,在建炉和操作技术上都积累有丰富的经验,其中流行最广的土高炉,有腰鼓式、双节式、灯罩式三种。这三种炉型的结构和所用建筑材料不同,形状也有区别(参看图 7-10)。

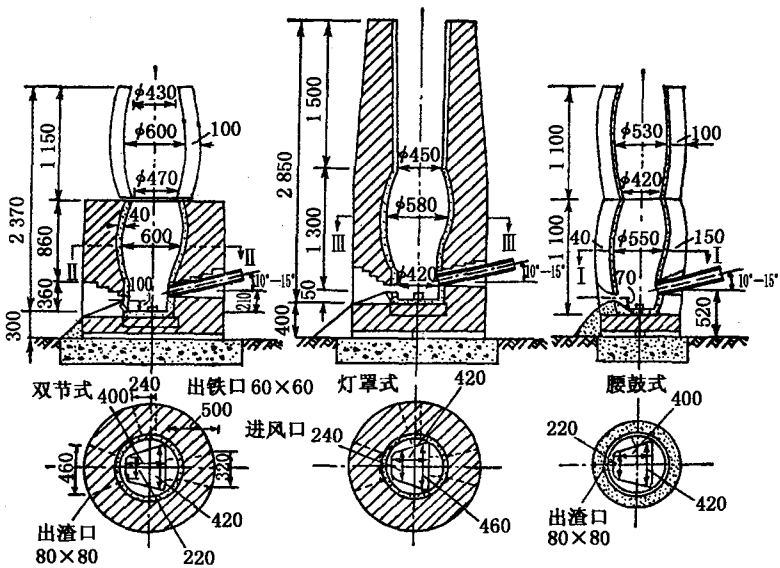


图 7-10 河南省商城县流行的三种土高炉

(采自《冶金报》1958 年第 44 期)

(1) 腰鼓式:选择干燥地点,挖一圆坑,用碎砖或石块混黄泥浆,

^① 参看《考古》1962 年第 7 期,黄展岳、王代之:《云南土法炼铁的调查》。

筑出地面,作为炉基。炉底用砖砌成。炉缸用黄粘土粉(40%)、木炭或焦炭粉(40%)、砂石或瓷片、缸片碾成的粉(20%)掺水调炼而成的耐火泥制成,呈簸箕形。炉身所用的原料合成方法是:用黄粘土掺入40%的粗砂,用水捣拌,然后再掺入长15—30厘米的稻草作筋,由人或使牲口踩踏,直踏到泥巴滥熟为止,闷过一夜即可使用。炉身分上下两节,都成腰鼓形,它的制法是:先用泥巴做成一个底盘,沿底盘中部用竹竿或树枝插成一个圆圈,用篾片编成所需要的腰鼓形圆筒,筒内充填石块,然后在圆筒周围糊上踏熟的泥料,要分几次糊成,先糊下半节,过一昼夜再糊上半节,再过一天至三天,再糊上一层。糊好后,先用草拍轻打,两至四天后再用光滑的拍子重打,随后不断地拍打,直到炉身干了,拍打不动为止。如此炉就建成,结实耐用。炉壁需搪耐火泥,耐火泥以60%黄粘土和40%炭粉掺水捣合而成,由炉腹直搪到炉腰,炉腰以上可用黄粘土来搪。

(2) 灯罩式:建炉基、砌炉底和制炉缸的方法同前。炉身全用青砖砌成,约需1600至2000块,才可砌成所需要的煤油灯罩式样。砌成后,炉壁需搪耐火泥,办法如前。

(3) 双节式:炉身分上下两节,下节用青砖砌成,上节用黄粘土掺粗砂、用稻草搭筋糊成,制作方法如前,不过下节应砌得厚一些。

这三种炉的风嘴上部的炉墙要砌成鼓形,出铁口用砂石砌成,砌砖时都用黄泥土,接缝须用黄泥浆合拌细砂填补。炉子建成后,要在炉壳上加四条铁箍和十五根竖的铁筋,加固炉身。进风嘴用黄粘土(60%)、细砂(40%)掺水搅匀的耐火泥制成,做法是:拿一根有一定尺寸的木棒,用耐火泥把它包住,做成毛坯,用板拍打,待阴干后修饰即成。鼓风机用两人可以推拉的木风箱。

开炉时,先装60—100斤干柴,再装焦炭至炉口,点火烧3—6小时,待温度达800—1000度时即可装料。刚装料时,矿石和焦炭的比例是1比3,逐渐增多矿石到1比1。一般配料的比例是:焦炭40

斤,矿石 40 斤,石灰石 16 斤,每次装料的程序是矿石——石灰石——焦炭。炉子正常时,一般 20 分钟左右出一次渣,40 分钟出一次铁,10—15 分钟装一批料。如进风嘴熔短,须将风嘴推进,如风嘴不能使用时,就需要调换。这种炉一般能连续生产一个月左右,泥制的炉寿命较长,可用 10 到 12 个月。双节式和腰鼓式土高炉日产量最高可达 1 吨,一般为 500—600 公斤,灯罩式土高炉日产量最高达 1.2 吨,一般也在 600 公斤左右^①。

其次,我们再举湖北省鄂城县的中型土高炉为例。这种炉的炉基用红砖砌成,炉分上下两节,下节用带有粘性的黄白土筑成,上节用梯形的砖围砌而成。下节的制作方法是:先用高木板围成一个圆圈,中间放一个圆木树筒或脚盆,再用黄白粘土掺水,炼成不干不湿状态,沿圆圈四周一层层填土锤结,最后卸下围板,修光锤结实,每天早晚加锤,直到锤干为止。接着就挖进风口和出铁口,并加以修整。为了经久耐用,防止炉炸裂,在下节炉身上戳了一些三分大的小眼。炉缸用白泥粉(50%)和熟焦炭粉(50%)配成的耐火泥制成,待干燥后,再用熟焦炭粉搪炉缸底部。整个炉的内腔,前、左、右三面类似坛形,后面类似人的胸腹,先用高岭土(50%)、白砂石粉(25%)、熟焦炭粉(25%)配成的耐火泥,在炉的内壁搪一层,再用高岭土(40%)、熟焦炭(60%)配成的耐火泥搪一层。进风管的制作方法是:用 57% 的黄粘土、40% 的焦炭粉、1% 的食盐(要筛细)、1%—3% 的鸡毛或猪鬃,混合锤熟,把一根有一定尺寸的木棒包住,制成毛坯,待稍阴干后修饰而成。在出铁口的上下安装有耐火的石块,两侧用盐水调和的泥糊一层(参看图 7-11)。这种炉每半小时可出铁 95—110 斤。

矮型土高炉流行于河南、浙江、江苏、福建、湖南、湖北等省。炉型有甑型、喇叭型、鼓形、圆桶形、方型等种。高度从一尺多到六七尺

^① 参看《冶金报》1958 年 44 期,冶金部工作组:《商城优秀土高炉》。

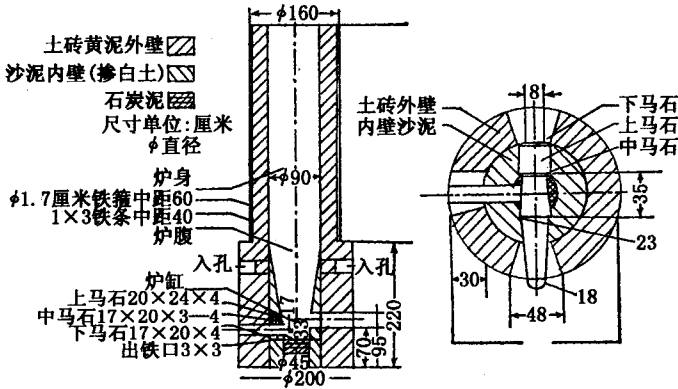


图 7-11 湖北省鄂城县的土高炉

(采自《冶金报》1958 年第 44 期)

不等。多数先用竹或木按炉腔结构的需要，制成内腔模型，用耐火泥涂糊在内腔模型外围，塑成高炉的外壳。也有在木桶内用耐火泥搪成炉的内腔的，更有用小石块砌成的。

在湖南、湖北、河南等省，近代流行一种“甑炉”，是一种矮型土高炉。甑炉的炉身分两节，大口细腰，用铁锅作底，也称“喇叭炉”。1923 年丁格兰(F. R. Tegengren)在《中国铁矿志》第 2 编，记述湖南的甑炉构造及冶炼方法说：

甑炉以形似名，体较小而融熔较速，故用者较多。构造以三截连成，上二截为泥，内部敷以砂泥及最碎之煤。下截为泥制之锅，内部亦敷碎煤，并有一槽为储蓄铁液之用。槽之上部置石灰岩二块相合，中实泥砂，下部亦置石灰岩一块，与水平面成三十度之倾斜，以防铁液溢出。中部则旁敷泥砂，内留一洞以为出铁之用。炉之全部高五尺，上部宽三尺，中部二尺六寸，下部二尺，内部腹宽一尺八寸。炼法：以煨矿与焦炭迭层加入，至炉顶止。发火鼓风约七小时，即可出铁。每炉每次可容矿二千六百余斤，须进炭二千八九百斤，每一日夜可出铁板七八百斤(约半吨)。

现在我们以湖北麻城的甑炉为例,作进一步的具体说明。制法是:先用竹条编成所需的圆筒形,立在地上,内填石卵,然后在筒上糊泥,泥分三层糊上,每层稍干,用木槌轻打结实后,再糊另一层。所糊的泥,是用黄土、砂和稻草梗或葛麻配合而成,要先把黄粘土晒干打细,加30%砂和水浸过的2—3寸长的稻草梗,掺水搅拌,用棒打熟,直打到土里没有长的茎条丝为止。炉身糊成后,取出竹筒中石卵,抽出竹筒,加以修整,再开进风口和出铁口。用文火烤干后,再加铁箍。炉底用三个大铁锅套在一起,安装在三脚架上。锅与锅之间要垫一层炭子泥,上面的一个锅内用炭子泥搪成一个簸箕形的炉缸。炭子泥是用60%炭屑、30%黄土粉、6%高岭土粉、4%瓷碗粉,加盐水拌和而成的。炉子装配时,先把炉底(连三脚架)放在炉基上,再把上下节炉身安在炉底上,上下节炉身和炉底之间用熟铁条纵横箍紧(大修时可以拔出拆开),并用黄泥糊好外面接口。炉的内壁用炭子泥搪好,进风口和出铁口要涂得厚些。风管深入炉中4寸,约成15度倾斜,对准上边的炉门石。出铁口上用两块砂石砌成。炉旁装有四条铁条直出炉顶,铁条顶部作弯钩形,可以穿入木棒抬起来。出铁时可以抬起炉底后部,使炉身倾侧,倒出铁水(参看图7-12)。炉高2米,容积为0.5立方米。炼铁时,先精选铁砂,再用铁锅加以烘炒,要炒得发暗红色后入炉。燃料以黑炭(烧透的木炭)与白炭(银灰色的好炭)各半混合,炭一般长5—8寸,因为黑炭易燃,白炭火力猛而耐烧。平时投入的矿砂和木炭的比例为1比1,火力旺盛时增加到1.5—2比1。大约每10分钟上一次料,每半小时出一次铁。风箱里的风板上,要多插鸡毛,使少漏气,用三至四人拉动^①。

这种矮型土高炉,近代流行在福建省,有全部成为喇叭形的,俗名“喇叭炉”。制法是:先编好一个竹或木的圆筒,用配好的筑炉材料

^① 参看《冶金报》1958年45期,冶金部中南工作组:《打破炼铁史高产先例的土炉》。

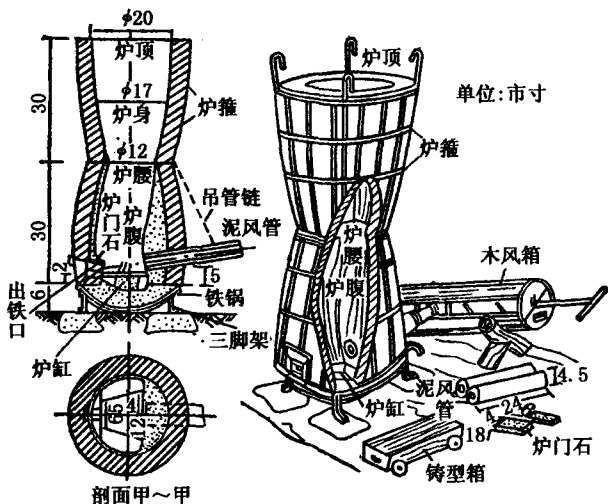


图 7-12 湖北省麻城县的甑炉
(采自《冶金报》1958 年第 45 期)

均匀地糊成喇叭形的炉壳。糊的时候，分内外两层来糊，上部要糊得薄些(约 4 寸)，越到下部越厚(约 10 寸)，再在炉壁内涂一层炉衬，然后在炉外壳箍以扁铁。糊炉身用的材料，一般用高岭土 98%、纸根(或稻草)2%混合而成。糊炉衬用的材料，用高岭土 80%、炭屑 20%混合而成。糊炉底上层的材料用高岭土、炭屑各 50%混合而成，糊炉底下层的材料用高岭土 85%、炭屑 15%混合而成，糊风口周围另加食盐 3%(参看图 7-13)①。

近代流行在河南的矮形土高炉，一般高 5—7 尺，上部口径 3 尺左右，中部口径 1.5 尺左右，下部口径在 1—1.5 尺之间，外形好像一只大口的瓶。炉身分上下两节，上节为喇叭形，下节内部前鼓后平，成为半圆鼓形。这两节圆筒形炉身的制法是：先编好一个竹编圆筒，

① 见陕西省科学技术协会筹备委员会编《土法炼铁》，1958 年出版。

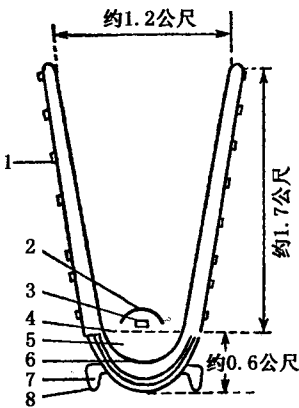


图 7-13 福建省的一种“喇叭炉”
 部位名称: 1. 扁铁 2. 观音面 3. 出渣口 4. 出铁口
 5. 炉缸 6. 炉底 7. 铁锅
 8. 铁三脚

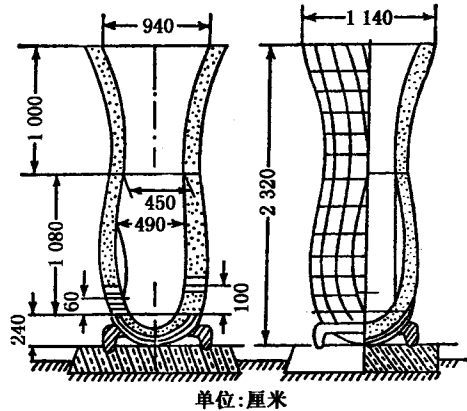


图 7-14 河南省的一种矮型土高炉

其外径即做炉子的内径,用配好的耐火泥均匀粘附在圆筒周围壁上,在阴暗处慢慢吹干。耐火泥的成分是黄土 30%、石英砂 70%,或者是黄土 20%、稻草 10%、石英砂 70%,也有掺猪毛、头发或麻,以加强其韧性的。两节圆筒的炉身制成后,便叠起来,外部周围用熟铁条纵横箍紧,箍得如同网络形状,使上下两节合为一体,以抗胀防裂。炉的内壁涂上一层拌有木炭屑的黄泥,作为炉衬。炉身下段进风口用砂石砌成,或用砂粒掺炭屑涂抹。与进风口相对而略低的出铁口(即炉门),也用砂石砌成,以耐高温,并防止损伤。风管也用木炭屑、黄土及砂粒调合成的耐火泥制成。炉缸利用三个大铁锅套在一起制成,在铁锅内糊有木炭屑(30%)、黄土(60%)、砂粒(10%)制成的耐火泥,糊成中间凹、四周高的形状。锅的下面安装有带圆形铁圈的三条铁腿(安装时用两根铁条把锅底兜住),作为整个炉子的支架。在炉基上铺有大石块,在石块上凿有三个穴,以承放炉的三条铁腿,使

炉子能够固定(参看图 7-14)。待炉烘干后,便可投燃料点火,待炭烧得赤热时,即可加入一层矿砂,此后每 20 分钟加上一层矿砂和一层木炭,并加石灰石作为熔剂。大体上炼成 1 吨生铁,需要 2 吨矿砂,0.5 吨熔剂和 3 吨木炭。开炉后 1 小时即可见铁水滴下,再过半小时,就可除去炉渣,放出铁水。如果土高炉的有效容积为 0.5 立方米,每昼夜可产铁 0.7 吨^①。

近代流行于江苏省的一种“鼓炉”,因为炉型中间大,两头小,形状像鼓而得名。相传这样的土高炉已有一千多年的历史。我们以江苏省宜兴县的鼓炉为例。炉壳用炉桶一个、炉顶圈一个和羊角形泥块二块组成。制炉壳用的原料是黄粘土和稻芒配合制成,先把黄粘土晒干后捣碎,浸入池内,待浸透 10 小时后,用铁耙搅成浓泥浆,和稻芒拌和(500 斤黄粘土和入约 60 斤稻芒),再用脚踏成泥浆。制作炉桶时,先用木棒围成炉桶形,周围绕细棕绳子,做成“绳柱”,然后用黄粘土和稻芒制成的泥浆涂上,要分两三次进行,逐层捣紧,阴干待用。炉顶圈所用的原料和制作方法,和炉桶相同,在安装时为填平炉顶之用。羊角形泥块,所用原料和炉桶相同,安装时垫在炉桶下,为使炉壳达到预定的倾斜角度之用。炉底用较厚的铁锅制成,外套铁架脚(俗称“金刚箍”),后面焊有弯钩(俗称老鹰嘴)一只,用以倾侧炉体出铁水之用。锅底内要搪耐火泥。整个炉壳在安装以后要用铁箍箍紧。因为炉顶圈为泥制,容易磨损,要用破铁锅一只,凿穿后剩一圈边作为炉口(参看图 7-15)。炉门用三块砂石砌成,外面搪耐火泥。进风口的上部和针对进风口的风头石和侧石,用耐火砖或砂石砌成。风管用宜兴鼎山乌泥捣碎后,用木工具制成。搪炉底用耐火泥,是用水屑拌和淤泥浓浆制成,所谓“水屑”是木炭在熔铁后出渣中的碎屑。搪炉身用的耐火泥,用 80 斤水屑、50 斤火泥拌和淤泥浓浆

^① 见河南省冶金局编《土法炼铁》,河南人民出版社 1958 年版。

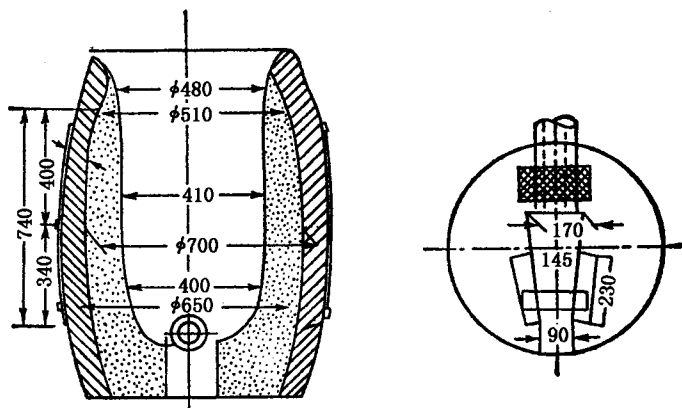


图 7-15 江苏省宜兴县的鼓炉

(采自江苏人民出版社编《土法炼铁》，1958 年版)

制成。搪炉身和炉底衔接处的耐火泥，用 50% 水屑、50% 缸砂拌和淤泥浓浆制成。由于这种炉子比一般土高炉低，投入的矿石必须敲小，约在 2 厘米左右，投入的白煤最大也只能宽四五厘米。上料时先装煤，后上矿石和石灰石，第一次配料为矿石 3 斤、白煤 9 斤、石灰石 1.5 斤，第二次配料改为矿石 4 斤、白煤 8 斤、石灰石 1.5 斤。风管伸入炉 34 厘米，熔掉一些再伸进一些，每根风管约用 6 小时，出渣约 10 分钟一次，出铁约一个半小时一次，共需投料十六次。使用圆筒形木风箱鼓风，一日夜能生产铁 600 市斤^①。

流传在湖北鄂城县等地的小土炉炼铁法，是近代土法炼铁中炼铁炉最小的一种。它只有 1 尺多高，圆筒形，外形像一个小水桶。在一个圆形的木桶内，用高岭土和耐火砂搪成较厚的炉壁，炉的内腔，如同有些土高炉的内腔形式一样，成为瓶形，上部口径为 3 寸，中部口径为 5 寸，底部直径为 4 寸，前边靠底部开有一出铁口，后边开有

^① 见江苏人民出版社编《土法炼铁》第 2 篇，孙承谋：《鼎泰元冶厂土法炼铁介绍》。

一个进风口(比出铁口稍高)。炉子全重 50 斤,可以搬动。这种炉子,就其结构来看,与土高炉相同,只是特别小。因为炉子小,用一个木制的手拉或脚踏的风箱,就可以得到足够风力,使炉火旺盛,得到高温。因为炉子小,操作技术也就比较简单,只要加入炉内的原料少些,原料的颗粒细些,鼓足风力,就能保证流出铁水来,几十分钟可出铁一次,一昼夜一般能出铁 40—50 斤,多的有出 120 斤以上的^①。

^① 见《冶金报》1958 年 40 期,冶金部中南工作组:《鄂城一瞥》。

下 编

中国古代炼钢技术的
创造和发展

第八章 固体渗碳制钢技术的发明和流传

一 关于干将、莫邪等宝剑的炼制方法

中国人民很早就发明了炼钢技术，曾经在冶炼钢铁的技术上有很多独特的创造。

中国古代有许多杰出的宝剑就是用钢制的。在《吴越春秋》和《越绝书》两书中，记述不少有关宝剑的神话传说。《吴越春秋》有这样一个传说：春秋末年吴王阖闾请当时著名的冶炼师干将铸造两把宝剑。干将开采了“铁精”和“金英”，开始冶炼宝剑。炼了三个月，“金铁之精不消沦流”，炼不成宝剑。后来他的妻子莫邪“断发剪爪”，把头发和指甲投到冶金炉中，使用了童男童女三百人，不断地鼓动着囊（皮制风囊），不断地装进木炭，结果“金铁乃濡”，炼成了两把宝剑。一把叫干将，剑身“作龟文”（龟裂纹）；一把叫莫邪，剑身“作漫理”（水波纹）。《越绝书》上又有这样的传说：楚王派风胡子到吴国，请欧冶子、干将“作铁剑”，欧冶子、干将凿茨山，“取铁英作为铁剑三枚”，叫做龙渊、泰阿、工布。据说龙渊是“观其状如登高山，临深渊”，泰阿是“观其瓠巍巍翼翼，如流水之波”，工布是“瓠从文起，至脊而止，如珠不可衽，若

流水不绝”^①。这种有龟裂纹、水波纹的宝剑，是我国古代著名冶金技师的杰出成就。

这个故事显然带有神话传说性质。所谓干将、莫邪，有人认为本来是宝剑的名称而不是人名，两者原来都是形容宝剑锋利的形容词。清代学者王念孙在《广雅疏证》的《释器》中说：“干将、莫邪皆连语，以状其锋刃之利，非人名也。……干将、莫邪皆利刃之貌，故又为剑戟之通称。……故自西汉以前未有以干将、莫邪为人名者，自《吴越春秋》始以干将为吴人，莫邪为干将之妻，……遂致纷纷之说。”王念孙这个看法是很有见地的。干将、莫邪从刀剑锋利的形容词变为锋利宝剑的名称，再从宝剑的名称变为冶炼宝剑技师的名字，并逐渐形成生动的冶炼宝剑的传说，记载于东汉时代著作的《吴越春秋》中，这个推论是合乎情理的。

然而应当指出，《吴越春秋》所记载的冶炼宝剑的传说，并不是凭空虚构的。所说“断发剪爪，使童男童女三百人鼓囊裹炭”，虽然带有神秘性质，但也有一定的事实为依据。丁格兰(F. R. Tegengren)《中国铁矿志》第2编《中国之铁业》部分^②，曾解释说：

盖铁矿石及炼铁所用的木炭，其中所含之磷皆不甚多。在古时所用之铸铁炉，实不易发生相当温度，使铁充分熔融，须加相当磷份，熔融方易。中国古代虽未能有关于磷之化学知识，但从经验上发现融铁吸收骨质后较易铸作，则甚可能。《吴越春

① 见《吴越春秋》卷4《阖闾内传》和《越绝书》卷11《越绝外传记宝剑》。《晋书·张华传》说：“〔雷〕焕为丰城令。焕到县，掘狱屋基，入地四丈余，得一石函，光气非常，中有双剑并刻题，一曰龙泉，一曰太阿。……焕以南昌西北岩下土以拭剑，光芒艳发。大盆盛水，置剑其上，视之者精芒炫目。遣使送一剑并土与〔张〕华，……华以南昌土不如华阴赤土，报焕书曰：‘详观剑文，乃干将也，莫邪何复不至？……’因以华阴土一斤致焕，焕更以拭剑，倍益精明。”雷焕所掘到的剑，不一定是龙泉、太阿或干将、莫邪，但无疑是优质钢炼制的剑。

② 《地质专报》甲种第2号，地质调查所1923年出版。

秋》干将作剑，……于是干将之妻莫邪乃断发剪爪投入炉中，……此可见古代确屡试加入有机物质，而以为有若何神秘作用。近者日人村上板藏氏曾于辽阳安山铁矿发现一千年前炼铁遗址，留有兽骨，足见契丹人亦尝用此矣。

张子高先生因为“从我们所分析的铁器来看，含磷并不显著的高”，认为丁格兰这个推测缺乏确切的证据^①。其实，这个推测是有一定的科学根据的。我国古代炼铁使用木炭作燃料，又不采用含有磷质的熔剂，因而古代生铁中含磷量很低。但是，我国古代炼钢并没有排除使用含有磷质的催化剂。长期流传在河南、湖北、江苏等地的“焖钢”冶炼法，把熟铁块放在陶制或铁制容器中，除了按一定配方加入渗碳剂以外，也还使用含有磷质的骨粉作为主要催化剂，然后密封加热，使之渗碳而成为钢材。河北满城1号汉墓出土的刘胜佩剑和错金书刀，经过分析，都表明含磷较高，错金书刀的刃部中间还有含钙磷的较大夹杂物，估计也曾采用骨粉之类作为渗碳的催化剂^②。《吴越春秋》所说干将在冶炼宝剑之前，“采五山之铁精，六合之金英”，所谓“铁精”当是一种质量较精的用块炼法炼成的海绵铁，“金英”当是一种含碳量较多的渗碳剂。所谓“金铁之精，不消沦流”，是说把“铁精”和“金英”焖在炉中一起鼓风加热，没有使铁块的表面熔解而达到渗碳的作用。等到莫邪把含有磷质的头发和指甲投入炉中，焖在炉中再鼓风加热，磷质就使铁块表面熔解而起强烈的碳化作用，形成部分熔点较低的铸铁，从而流入海绵体似的铁块各部分疏松的空隙中。这样碳分不断渗入，炼制成中碳钢或高碳钢，就可以用来锻造宝剑。这就是《吴越春秋》所说：“金铁乃濡，遂以成剑。”“濡”有

① 见张子高《中国化学史稿》，科学出版社1964年版，第37页。

② 见《考古学报》1975年第2期，李众：《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》。

湿润而相互渗透的意思。

有人认为这个冶炼宝剑的传说不可信,因为考古工作已经证明,吴、越的宝剑都是青铜制的。湖北江陵楚墓先后出土的越王句践剑、越王州句剑都是青铜制的,传世的吴王夫差剑、吴季子之子剑也是青铜制的。但是我们认为,春秋末年吴、越是可能炼制钢铁的宝剑的。江苏六合程桥镇 1 号东周墓曾出土一个铁丸,经化验是用生铁铸造的;程桥镇 2 号东周墓又出土一条铁条,经化验是用块炼法炼出的海绵铁锻制而成,可知春秋末年吴国不但能够炼制块炼铁,而且已能用生铁铸造铁器。湖南长沙杨家山 65 号墓还出土了一把钢剑,属于春秋晚期,是用 7 至 9 层的薄钢片反复锻打而成。薄钢片的含碳量为 5% 左右(参看图版 16、17)。这时楚国既然已能炼制钢剑,那么,与楚国相邻的吴国,在能冶炼熟铁块和用生铁铸造器物的同时,炼成干将、莫邪之类宝剑,就不是不可能的了。

世界上有些文明古国,不但很早发明炼钢技术,而且有其独特的炼钢方法。古代印度、波斯等东方古国所造的“镔铁”制品,就是其中著名的一种。这种钢制品,最初是波斯萨珊朝(公元 224—651 年)的出产,波斯语叫做“班奈”(Spaina),北魏时期传入我国,音译为“镔铁”,亦作“宾铁”或“斌铁”^①。

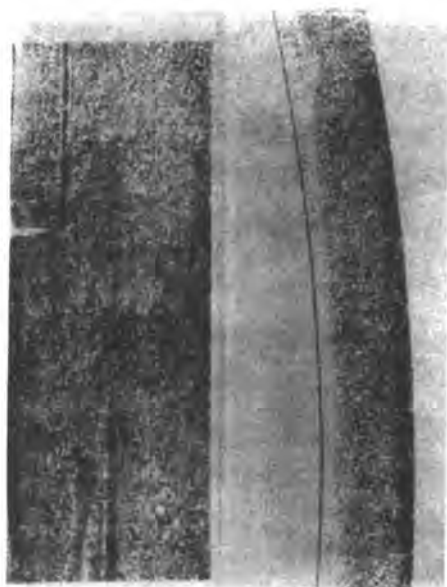
镔铁是古代一种杂质很少的优质钢制成品,表面有黑白相间、细

^① 章鸿钊《洛氏(Laufer)中国伊兰卷金石译证》说:“镔铁,史称出波斯萨珊朝(《周书》卷 50),又出罽宾(《太平寰宇记》卷 182),中古著述家常德谓印度及哈密亦有之(Bretschneider, Mediaeval Researches, Vol. I. P. 146,《广輿记》卷 28)。《格古要论》卷 6 云:镔铁出西番,面有螺旋纹者,有芝麻雪花者。……李时珍《本草纲目》卷 8 谓西番出镔铁,又引《宝藏论》:镔铁出波斯。”又说:“镔字不知何解,……或云与伊兰语斯班奈(Spaina)、柏密尔语斯宾(Spin)、阿富汗语奥斯彼奈(Qspina)或奥斯巴奈(Ospana)、奥塞梯语(Ossetic)奥富孙(Afsän)通(Hübshman, Persische Studien, P. 10)。镔字即由此制出者。玛伊尔氏(Mayers)曾谓此字无他意义,仅语音之转耳。”

如丝发的卷曲花纹,被称为“旋螺花”(参看图 8-1)。据考证,这种制

图 8-1 “镗铁”制品表面花纹
两种

明代曹昭《格古要论》卷 6 “镗铁”条说:“镗铁出西番,面上有旋螺花者,有芝麻雪花者,凡刀剑打磨光净,用金丝矾矾之,其花则见”。金丝矾是硫酸铁($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)的化合物,可以用作腐蚀剂。由于腐蚀剂的作用,可以使“镗铁”的固定的内部组织显示出来,成为一种自然的花纹。这两种“镗铁”表面花纹,采自爱奇森(L. Aitchison)《金属史》(A History of Metals)第 352 页。



品的原料来自古代印度一种称为“乌次”(Wootz)的钢材。这种钢材,原料是从磁铁矿石直接冶炼出来的海绵铁,也就是用块炼法炼出的熟铁块。冶炼时,把海绵铁配合一定分量的干木料、植物茎叶,作为渗碳剂,放在坩锅中,加以密封,用木炭火加热,使用大型鼓风囊鼓风,经四五小时就可得到钢材。这是因为海绵似的有空隙的熟铁块和木料等含碳分的物质,密封在坩锅中一起加热以后,海绵铁的表面起了强烈的碳化作用,逐渐形成部分熔点较低的流动的铸铁,渗入到海绵似的各部分空隙之中,随着碳分不断渗入海绵似的熟铁块中,就变成中碳钢或高碳钢。炼成钢材后,还需要使用淬火方法以增强硬度,更需要不断地锻打,挤去杂质,使钢材结实,成为优质钢。这种古老的炼钢方法,在印度直到 18 世纪以至 19 世纪初叶,仍然被小规模

地使用^①。在我国也曾长期流行,并有所发展,称为“焖钢”。

这种古代东方国家镔铁炼制的宝刀,五十多年前瑞士冶金学者磋概(B. Zchokke)曾加化验,锋刃部分的钢,含碳量 1.677%,含硅 0.015%,含锰 0.056%,含硫 0.007%,含磷 0.086%,是一种优质的高碳钢。同时试验曲力(曲而不折)的结果,每 1 立方厘米,可受 94 公斤到 361 公斤的重量而不折断。试验硬度(受砍不凹)的结果,每 1 平方毫米可受碰力自 193 公斤到 347 公斤的重量而不稍凹损。因此作出结论说,这种宝刀是世界上最锋利而坚韧的刀^②。

我国古代称为“干将”、“莫邪”、“太阿”等宝剑,也该是用优质钢锻制而成的。所用的优质钢材,也该是使用海绵铁配合一定分量的渗碳剂和催化剂,密封加热,使之渗碳而成。炼制这种钢材所用的渗碳剂和催化剂,虽然和炼制镔铁有所不同,但是所用的固体渗碳技术,基本是相同的。后世长期流行的焖钢冶炼法,就是这种比较进步的固体渗碳技术。

二 中国古代的两种固体渗碳制钢技术

我国古代固体渗碳制钢技术有两种:一种是把海绵铁直接放在炽热的木炭中长期加热,表面渗碳,再经锻打,使成为渗碳钢。另一种就是把海绵铁配合渗碳剂和催化剂,密封加热,使之渗碳成钢,俗

① 参看雷依(P. Ray):《古代中世纪印度化学史》(History of Chemistry in ancient and medieval India),第 102—103 页;《科学史集刊》第 7 期,科学出版社 1964 年版,张子高、杨根《镔铁考》。

② 参看周纬:《中国兵器史稿》第 155 页引,原著是磋概(B. Zchokke):《论大马士革钢以及大马士革钢片》(Du Damasse' et des lames de damas),刊于《冶金杂志》(Revue de métallurgie),1924 年第 21 期。

称“焖钢”。这两种方法比较起来,焖钢应该比较进步,该是前一种方法的进一步发展。

我们从河北易县燕下都出土的钢制品中,可以了解到战国时代一般的固体渗碳制钢技术。1965年在河北易县武阳台村的44号墓葬中出土铁器79件,其中有12号钢剑1件,100号残钢剑1件,9号钢戟1件,115号钢矛1件。经过检验表明,这些钢剑、钢戟、钢矛,都是由含碳不均匀的钢材制成。这种钢材是以块炼法炼出的海绵铁为原料,在炭火中长期加热,表面渗碳,再经锻打而成。因为碳是从表面向内渗进去的,所以这种钢片表面碳多而里面碳少。制作钢剑或钢戟时,需要把若干钢片折叠锻接,反复锻打,因而这种钢制品的横截面上就形成含碳高低不均匀的分层现象。两把钢剑的组织基本相同,由含碳0.5%—0.6%的高碳层以及含碳0.15%—0.2%的低碳层,多层相间组成,各层有宽有窄,分界有时明显,有时有较厚的过渡层。从其中所含夹杂物的分布不均和大夹杂物的不规则形状来看,原料的铁基体没有经过液态,是使用块炼铁作为原料的。从大夹杂物成为大块的条状氧化亚铁(FeO)——铁橄榄石型硅酸铁($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)共晶组织来看,这种夹杂物曾经处于液态,冶炼或锻造温度曾经达到共晶温度1175度以上。

从100号残钢剑的断面观察,这把剑是用块炼铁渗碳制成的低碳钢片对折,然后多层叠打而成。钢片折叠的方向并不一致,有的对折后按同样的方向堆叠,有的对折后按相反的方向堆叠。剑的断面上有弯折十几个,就是由于多层钢片对折而形成。因为表面锈蚀,总层数难以准确估计,大约由四五片经过对折的钢片叠打而成。每片钢片由于表面渗碳,因而表面为高碳层,中间为低碳层。在高碳层中间常常有大块夹杂。同时高碳层和低碳层的含磷量不均,高碳层所含的磷有时低于低碳层,这是由于原料使用块炼铁,采用固体渗碳方法,保持了原有的不均匀性(参看图版18)。

这两把钢剑,都是经过淬火的。这是我国已经出土钢制品中观察到的最早淬火的产物。因为经过淬火,就取得了坚硬锐利的淬火高碳钢刃部和具有韧性的高碳层(珠光体为主)和低碳层(铁素体为主)的层叠组织,成为当时锋利而坚韧的兵器^①。

和两把钢剑同时出土的钢戟,组织和钢剑相似,只是低碳层含碳较低,分层比较明显,而没有明显的折叠。当是将渗碳的钢片叠在一起锻打而成,或是将铁片叠好经过渗碳再锻打成形。整体经过淬火。

同两把钢剑同时出土的还有铁剑,铁剑用块炼铁直接锻造而成,含碳很低,估计在 0.05% 左右。铁剑和钢剑同时存在,说明当时燕国铁兵器还没有普遍使用钢制成,但是剑、戟之类的长兵器已多数使用钢制成,而且作为武士随身武器,葬入墓中而不再回收使用,说明这种固体渗碳炼钢技术已较普遍,这样的钢剑、钢戟已非稀珍之品。

战国晚期钢铁制兵器已应用较广,易县燕下都 44 号燕墓中,除出土钢剑、铁剑、钢戟以外,还出土有钢矛、铁镞、铁铤铜镞以及铁胄。铁胄共用八十九片铁甲片联缀而成。河北满城 1 号汉墓出土有铁甲片,内蒙古自治区呼和浩特二十家子古城还出土有一具完整的铁甲,以及许多铁甲片,都属于汉武帝时期的遗物。经选取二十家子出土的一件铁甲片进行金相鉴定,那是一种低碳钢,表面磨光,中心部分的碳含量稍高,约 0.1%—0.15%,含有层状氧化物和硅酸盐夹杂,表明所用材料仍系块炼铁,经过渗碳并反复锻打成甲片后,再经过退火处理,进行表面渗碳,以提高钢的延展性,以便进行加工^②。河北满城汉墓出土的同时代的铁甲片,金相组织大体相似。当时不同地

① 参看《考古》1975 年第 4 期,北京钢铁学院压力加工专业:《易县燕下都 44 墓葬铁器金相考察初步报告》;《考古学报》1975 年第 2 期,李众:《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》。

② 见《考古》1975 年第 4 期,内蒙古自治区文物工作队:《呼和浩特二十家子古城出土的西汉铁甲》。

点、不同身分的人所使用的铁甲片,具有相似的金相组织,说明当时制作铁甲片的工匠,都已较好地掌握这种渗碳、锻打和退火的技术。

从文献记载来看,战国、秦、汉时代,钢制品已不是希罕之物,一般锋利的铁兵器都是用钢制成的,著名的剑戟都是用钢锻制的,珍贵的宝剑更是用优质钢材锻造而成。战国时代著作的《尚书·禹贡篇》,记载梁州(约当今四川省)贡物有“璆、铁、银、镂”,过去注释家都认为“镂”是一种“刚铁”^①。荀子在讨论兵法时曾谈到楚国的兵器有“宛钜铁钺(矛),惨如蜂蛰”,过去注释家又认为“钜”就是“刚铁”^②。战国时代著作的《荀子》、《吕氏春秋》、《战国策》等书,谈到锋利兵器“白刃”^③,这种兵器有白色的刀口,也该是钢制的。《战国策·韩策一》说:韩的剑戟出于冥山、棠溪、墨阳、合膊、邓师、宛冯、龙渊、太阿,都是“陆断马牛,水击鹄雁,当敌即斩”,非常锋利,也该是钢制的。李斯在《谏逐客书》中讲到从别国输入秦国的宝物,“太阿之剑”就是其中一种。汉代人提到这类宝剑的更多,《淮南子·修务篇》曾把“墨阳”、“莫邪”连称,《盐铁论·论勇篇》曾把棠溪、墨阳连称。正由于这类宝剑是用特殊的优质钢制成的,才会显得这样珍贵。

我国炼铁炼钢技术,该是南方一些地区最先发明的。在我国古代传说中,都说宝刀宝剑是吴、越、楚等国所生产的^④。以前朱希祖

- ① 见许慎《说文解字》、《史记·夏本纪》裴骃《集解》引郑玄说、《汉书·地理志》颜师古注。
- ② 见《荀子·议兵篇》及杨倞注。
- ③ 见《荀子·强国篇》、《吕氏春秋·节丧篇》、《战国策·秦策一》等。章炳麟《铜器铁器变迁考》说:“按《中庸》言白刃可蹈,《庄子》言王脱白刃待之,惟刚铁故色白。”见《华国月刊》第5册。
- ④ 《战国策·赵策三》载马服君说:“夫吴干〔将〕之剑,肉试则断牛马,金试则截盘盂。”又说:“且夫吴干之剑材难。”《吕氏春秋·拟似篇》说:“相剑者之所患,患剑之似吴干者。”《盐铁论·殊路篇》说:“干、越之铤不厉,匹夫贱之。”《论勇篇》又说:“所谓利兵者,非吴、越之铤,干将之剑也。”不但吴越的剑以锋利著称,吴的刀也同样是宝刀,《山海经·海内经》注引《开筮》说:“鲛死三岁不腐,剖之以吴刀,化为黄龙。”

先生曾著《中国古代铁制兵器先行于南方考》一文^①，根据古传说论证我国古代铁兵器先流行于东南地区，当时曾引起了一次学术讨论，有些人不同意这个看法。现在把文献和考古资料结合起来看，这个看法是可以成立的。不但吴国有春秋末年炼制干将、莫邪等钢剑的传说，到战国时代，楚国也仍以铁兵器锋利著称。秦昭王曾说：“吾闻楚之铁剑利”^②。《荀子·议兵篇》也说：“宛钜铁钹，惨如蜂蚤。”宛原是楚国最著名的冶铁手工业地点，在战国后期被韩国占有，因而韩国的钢铁兵器也极著名。生产韩国著名钢铁剑戟的地点有冥山、棠溪、墨阳、合膊、邓师、宛冯、龙渊、太阿。宛冯当即是宛，在今河南南阳市，棠溪、合膊、龙渊等地也都在宛的东面。棠溪、龙渊在今河南平西各县西，合膊在今河南舞阳县南。

过去我在《中国古代冶铁技术的发明和发展》一书中，提到用优质钢制成的宝剑，至少是在战国时代吴、楚等国已能冶炼。黄展岳先生不同意这个看法，曾说：

我看楚国兵器可能是把铸铁经过软化处理后的熟铁制成的，但也可能由铁矿砂直接炼冶熟铁。产量似极有限。当时其他各国可能还未进到炼冶熟铁锻制兵器的程度。楚国虽有铁兵出现，但仍以铜兵占优势。由于战国各国生产技术文化各方面都没有多大区别，虽然楚国冶铁技术较当时各国进了一步，但不会相差太远，不应过高估计。杨宽先生在其近著《中国古代冶铁技术的发明和发展》一书中认为：早在战国时代，中国人民已发明了“自然钢”的冶炼法，已能炼制非常坚韧而锋利的钢铁，用来制造宝刀、宝剑。这主要是指楚兵器说的。可惜我们从长沙、衡阳出土的楚铁兵细加观察，却一点也看不出

① 刊于《清华学报》5卷1期，1928年出版。

② 《史记》卷79《范雎列传》。

钢的痕迹。杨先生显然是过高估计了。当然我们惟一的希望是，长沙、衡阳出土的楚国铁兵器应急速采用科学化验，正确解决这个问题。^①

从目前对出土的铁器检验的结果看来，我的估计显然不是过高了。早在春秋晚期，楚国已能炼制钢剑，到战国晚期燕国也已比较普遍地使用钢剑、钢戟。目前长沙和易县等地楚、韩两国墓葬中出土的钢剑，当然不可能是当时的宝剑，要比宝剑的质量差得多。古代的宝刀宝剑，是用优质钢锻造成功的，很是费时费力的。例如三国时曹操“命有司造宝刀五枚，三年乃就”。这类宝刀宝剑，在当时就是稀有之物，十分名贵。张协《七命》所谓“价兼三乡，声贵二都”。三国时除了曹操父子曾制造这种宝刀宝剑以外，吴大帝也曾有宝刀三把，叫百炼、青犊、漏影^②。战国时代早已有所谓“千金之剑”^③。李斯在《谏逐客书》中便把太阿之剑作为秦王之宝，和昆山之玉、随和之宝、明月之珠等等，相提并论。可以肯定，像太阿之剑这样的宝剑，不是一般用固体渗碳方法炼制的钢材制成的，应该是用特殊方法炼制的优质钢制成的。它的炼制方法，该是像《吴越春秋》所讲炼制干将、莫邪两把宝剑那样，也像古代波斯等国炼制“镔铁”刀剑那样，是用海绵铁配合一定分量的渗碳剂和催化剂，密封加热，使之渗碳而炼成的优质钢。这是当时比较进步的一种固体渗碳制钢技术。

值得注意的是，河北满城1号汉墓出土的中山靖王刘胜的佩剑(M1:5105)、钢剑(M1:4249)和错金书刀(M1:5197)。这些钢制品的冶炼原料虽然还是块炼法炼出的海绵铁，仍然采用固体渗碳制钢技术，但是，所炼成的钢材质量，比燕下都出土的钢制品显然有很大

① 《考古学报》1957年第3期，黄展岳《近年出土的战国两汉铁器》。

② 见崔豹《古今注·舆服第一》。

③ 《战国策·西周策》。

提高。刀剑中不同碳含量的分层程度减小,各层组织碳的分布比较均匀,没有像燕下都出土钢剑那样有明显分层和折叠的痕迹,而且每层的厚度减小。燕下都钢剑的低碳层厚约 0.2 毫米,而刘胜佩剑则为 0.05—0.1 毫米。其中所含大的共晶夹杂物的尺寸减小,数目也减少。根据大的夹杂物的分布和含碳量的分层,这种钢剑中部剑叶的厚度由五层至七层叠打而成;含碳量最低处 0.05% 左右,高处为 0.15%—0.4%。在高碳层和低碳层之间没有明显夹杂物存在,但是在高碳层中含有较多的、比较分散的氧化铁夹杂物,同时在高低碳层中未见有含磷量数量悬殊的地方,这些特点说明刀剑的高碳层是由于表面渗碳而形成的。

与刘胜佩剑同时出土的错金书刀,是由含碳为 0.1% 到 0.4% 的薄钢片多层组成,表面经过渗碳淬火(参看图版 20、21)。钢中氧化铁及硅酸盐夹杂比较分散,反映了较高的冶炼水平,但在刀的刃部中有特大的夹杂物,夹杂物中含氧化铁较多,估计是对折或叠打时在表面生成的。值得重视的是,这些位于刃部中间的大夹杂物(最大的长达 2.5 毫米),和低碳层中含硅的氧化铁夹杂不同,其中含硅很少,相当于较小夹杂的三分之一,而含有较多的钙、铝(约 0.3%)和磷(约 1%);而低碳层中的分散的夹杂物里含钙很少。这表明这种钢制品的原料,是炼制时没有加入石灰一类含钙物质的块炼铁;而位于叠层界面部分的特大夹杂物中,含有较多的磷和钙,该是钢片在叠片前曾用骨粉之类作为催化剂进行表面渗碳。由于残留的骨灰附着于表面,叠打时其中磷钙进入表面生成的氧化铁、硅酸盐,因而成为含磷钙的较大夹杂物。同时出土的钢剑,夹杂物的元素分布也一样,即最大的夹杂物中含钙多,而内部小夹杂物中含钙很少,也该是所使用的钢片在冶炼过程中使用了含有钙磷的物质作为渗碳的催化剂的结果。

满城 1 号汉墓的钢剑和书刀所使用的钢片,在冶炼时,是使用木

炭直接渗碳还是密封加热而渗碳,还有待于研究。很可能是采用比较进步的密封加热的渗碳方法的。我国长期流传的焖钢冶炼法,已经有悠久的历史了。前面已经谈到,《吴越春秋》中的干将、莫邪等宝剑的钢材,就已采用这种方法炼制了。使用这种焖钢冶炼法,比直接使用木炭火渗碳,能够较好地控制质量,可以炼成比较优质的钢材。

明代宋应星《天工开物》卷10《锤锻》部分载有密封渗碳炼制钢针方法,把制成的针放入釜(铁锅)中“慢火炒熬”,然后用松木、火矢(木炭)、豆豉做渗碳剂,拌以土末,和针一起在釜中密封加热,在密封层外表插上两三枚针,用以测试火候,当外表插针经加热氧化、手捻成粉碎时,表明其下渗碳的针火候已足,便可打开密封层,将针淬火。这样钢针就炼制成功。据调查,我国东北的赫哲族人在近代还用类似的方法制作鱼钩。先将铁丝加工成鱼钩,然后把它同木炭、火硝一起装入陶罐内,放置炉中加热,加热到一定火候,将罐打碎,立即将鱼钩放到水中淬硬,再在铁锅中用油和小米炒熟(回火)。这样炼制成的鱼钩十分坚韧,可以钩很重的大鱼,不致拉断。赫哲族人炼制钢鱼钩的方法,基本上和《天工开物》所载炼制钢针的方法相同。

这种密封加热渗碳的炼钢方法,就是近代所说的“焖钢”。把熟铁或低碳钢焖在罐内,加热到一定温度,使碳分渗入,渗碳的深度一般在2毫米左右。这样就可以使薄铁板和扁的低碳钢片全部“焖”透,其硬度相当于高碳钢。至于厚铁块和厚的低碳钢块,只能焖得表面硬化。如果需要锋刃的工具,把工具大部分用泥涂盖而只留锋刃部分来焖,就可以得到锋利的锋刃。

这种焖钢方法在河南等地已有相当长的历史,河南所用的焖钢炉,都是方形的,用土坯建成。在距地面半尺高的地方,设有炉栅,在炉栅下面,四周留有方的通风口,以便炉子自动吸风;炉正前面留有方的装料口,在炉顶上留有方的通火口,以便出炉散发热度。焖钢用的罐子,可以用铁罐,也可以用砂罐和缸罐。铁罐可以焖几十次,砂

罐和缸罐只能焖一两次。

焖钢所用的渗碳剂主要是木炭粉，所用的催化剂有骨粉、火硝等，各地配方不同：

(1) 河南省鲁山县的一种配方：每焖 100 斤铁的配料为木炭粉 10 斤、牛骨粉 6 斤、火硝粉 4 斤。

(2) 河南省林县的一种配方：每焖 100 斤铁的配料为木炭粉 20 斤、黄血盐 12—14 两、红汞 1 两 6 钱、黄碘 1 钱。

(3) 江苏省赣榆县的一种配方：配料为木炭 30%、锯木屑 50%、盐 15%。

(4) 湖北省宜都县的一种配方：每焖 100 斤铁的配料为木炭粉 4 斤、牛骨粉 20 斤、锯木屑 5 斤。

(5) 河南省浚县的一种配方：每焖五百粒滚珠的配料为木炭粉 3 两、牛骨粉 3 两、苛性钾半两、黄血盐 1 两、食盐 1 两半、苏打 1 两。

(6) 郑州的一种配方：焖滚珠轴承用的配料为木炭粉 70%、羊角（或牛骨）粉 20%、食盐 10%，每 10 斤可焖轴承外套 70 套、里套 150 套。

(7) 天津的一种配方：焖滚珠轴承用配料为碳酸钠 25%、碳酸钙 1%、骨粉 1%、木炭粉适量。

此外，也有只用木炭粉，不用其他催化剂的。

近代焖钢炉的燃料有用焦炭、煤炭的，也有用煤球的。燃烧时要求火力均匀，温度不超过 900 度。

焖钢冶炼的基本方法是：要先将焖件做好，配料配好。装入焖罐时，要依次放一层原料，再放一层焖件，罐的底层和上层所放配料要厚些，在焖件与焖件之间应该距离均匀，以便焖件能够充分吸收碳分。待焖罐装好后，应该适当地压紧，并用粘土把罐口密封。装入焖钢炉时，罐与罐之间要有一定距离，装好后要把装料口用土坯封闭，然后点火燃烧。焖的时间依据焖件来决定，一般需要 9 至 13 小时，

也有 24 小时的。如果是滚珠等小件,3 小时就可以。焖件出炉后要淬火,才能硬化。淬火有三种办法:一种是放入冷水中冷却;另一种是放在碱水中冷却,比单纯用水冷却迅速,硬度均匀;还有一种是在空气中缓缓冷却后,再放到炉中烧到 200 度,然后放入水中冷却。

这种焖钢方法在缺乏炼钢设备的农村,使用很方便。它可以焖制各种小型农具、手工业工具和家庭用具,也能制作小型机器零件,如滚珠轴承、轧花剥绒机的锯片等^①。

三 中国边疆兄弟民族的炼制“镔铁”

上面第一节中,我们已经谈到波斯萨珊朝的“镔铁”,是使用熟铁配合定量的渗碳剂和催化剂,密封加热而炼成的优质钢。这种镔铁制品,在北魏时期已传入我国。同时还西传到欧洲。当时叙利亚的大马士革是欧、亚交通的重要港口,镔铁制品首先从这里输入,因而被称为“大马士革钢”。这种制品传入俄罗斯,又被称为“布拉特钢”。这在当时是一种珍贵物品。

在宋、元时代,我国西北边疆地区兄弟民族也还有炼制镔铁的。《宋史·高昌传》说:在今我国新疆吐鲁番一带的高昌,“有砺石,剖之得镔铁,谓之吃铁石”。方以智《物理小识》卷 7《金石类》也说:“王延德《高昌行记》言:砺,石中宝铁。《哈密卫志》云:砺石谓之吃铁石,剖之得镔铁。”因为这种钢是由一种特定的矿石炼成的,所以说是由砺石中剖得的。这种矿石之所以称为“吃铁石”,也该是由于这个缘故^②。宋

① 参看冶金工业出版社编《土法炼钢》,1958 年版,第 4 辑第 1 篇《怎样炒铁和焖钢》、第 2 篇《怎样焖钢并用焖钢方法制滚珠轴承》。

② 章鸿钊《洛氏中国伊兰卷金石译证》有案语说:“此盖剖而铸之,既若镔铁,故云然。又谓之吃铁石者,亦即坚胜于铁之意。”这个解释是不妥当的。

人周密《云烟过眼录》卷上说：

篦刀一，其铁皆细花文，云此乃银片细剪，又以铁片细剪如丝发，然后团打万槌，乃成自然之花。其靶如合色乌木，乃西域鸡舌香木也。此乃金水总管所造刀，上用渗金鏤“水造”二字。

当时中原一般人已经不知道这种鍍铁的冶炼方法，看到它有细花纹，便误以银丝和铁丝团打而成。元代人刘郁《西使记》也曾说：当时的鍍铁刀，刀把用鸡舌香木制成，“自当为西域之产”。元人杨瑀《山居新话》也说：“鍍铁胡不四，世所罕也，乃回回国中上用之。制作轻妙，余每询铁工，皆不能为也。”明人曹昭《格古要论》卷6又说：

鍍铁出西番，面上有旋螺花者，有芝麻雪花者，凡刀剑打磨光净，用金丝矾矾之，其花则见。价值过于银。古语云：“识铁强如识金。”假造者是黑花，宜仔细辨认。刀子有三绝，大金水总管刀一也，西番瀟瀟木靶二也，鞑靶桦皮鞘三也。尝有鍍铁剪刀一把，制作极巧，外面起花鍍金，里面嵌银回回字者。^①

从上述这些资料，可知宋元时代，我国边疆地区兄弟民族仍然能出色地炼制鍍铁的刀和剪刀。

中国东北边疆有不少兄弟民族以能炼制精致铁器著称。室韦以能制作精好铜器、铁器著称，渤海也擅长冶铁。《新唐书·渤海传》以渤海的铁作为名贵产品。契丹也很讲究冶铁技术，辽代的奴隶们是鞍山铁矿的最早开采者，鞍山的首山附近曾发现深达十八米的辽代矿坑。在辽代的冶铁业中，以能冶炼鍍铁最为著名。《金史·太祖纪》记述金太祖说：“辽以宾铁为号，取其坚也。宾铁虽坚，终亦变坏，惟金不变不坏，……于是号大金。”这里说金朝依女真完颜部住地按出虎（女真语，意为“金”）水为国号，辽朝也是依辽水建号，该是出于

^① 明人文震亨《长物志》也说：“有宾铁剪刀，外面起花，鍍金，内嵌回回字者，制作极巧。”

附会。但是辽以出产镔铁著名,当是事实。辽朝贺宋朝正旦,曾用镔铁作为一种礼品。契丹炼铁遗址中发现有用含磷质的兽骨作为催化剂,可能就和炼制镔铁有关。金代也能炼制镔铁,常以镔铁作为名贵的赏赐品,例如《金史·仆散忠义传》说:“拜忠义平章政事,兼右副元帅,封荣国公,赐以御府貂裘、宾铁、吐鹞、弓矢、大刀、具装、对马及安山铁甲、金牌。”据《元史·百官志》记载,在元朝政府工部的诸色人匠总管府下设有“镔铁局”,专门炼制镔铁。同时“提举右八作司”也“在都局院造作镔铁、铜、输石、东南筒铁”等。辽、金、元都是能够炼制镔铁的,他们的技术该就是从西北兄弟民族那里学来,在元代的工匠中就有不少是西北兄弟民族的人。

第九章 脱碳制钢技术的发明和发展

一 固体脱碳制钢技术的发明

上一章所谈的是,我国古代以含碳量低的块炼铁或熟铁为原料,采用渗碳方法炼制成钢的技术。本章所谈的,是我国古代以含碳量高的生铁为原料,采用脱碳方法炼制成钢的技术。这种脱碳制钢技术,先后创造了两种:一种是把比较薄的生铁铸件经过脱碳退火,使变成钢件;另一种是把生铁加热到熔化或基本熔化后,经过炒炼,使氧化脱碳而成为钢或熟铁。

这种使用生铁铸件在固体状态下脱碳制钢的方法,是在铸铁柔化处理工艺的基础上发展起来的。战国时代已经采用柔化处理工艺,对生铁进行脱碳退火,出现了脱碳不完全的钢和铁共存于同一工件的复合组织,这种铸件的外层已成为钢,而内层还是生铁。例如河北石家庄市庄村出土的铁斧和河南辉县出土的铁甬,即属于这一类。如果生铁铸件脱碳退火时,由于适当控制时间和温度,基本不析出石墨,不成为可锻铸铁,使得生铁铸件中部分的碳被氧化成气体脱掉,从而白口组织消失,铸件金属组织就全部从铁变成了钢;但仍保留有铸件的特征,具有缩孔、气眼等特征性铸造缺陷,这就是一种铸铁脱碳钢。这种钢件有的在中心部分,在某些晶粒间界之间,发现少量细

小的石墨颗粒,这些颗粒只有放大 500 倍以上的高倍显微镜才能看出来。有些工艺不很成功的钢件,就可以发现较多的残留石墨颗粒。

这种固体脱碳制钢工艺,能够使生铁在固体状态下进行比较完全的氧化脱碳,从而得到钢件,这是铸铁热处理技术的巧妙运用和发展。这种工艺的特点之一,是有控制的适当的脱碳,它和可锻铸铁的区别就是由表及里全部适当的脱碳,使基本不析出或只析出极少的石墨;特点之二是钢件中夹杂物很少,这是由于生铁铸件中夹杂较少,没有一般用海绵铁渗碳炼成的钢制品夹杂物较多的缺点。

从北京市大葆台西汉燕王墓(公元前 80 年)中发现这种用铸铁脱碳钢制成的环首刀、簪、箭镞、扒钉来看,这种制钢技术至少在西汉已创造和使用^①。在河南滎池汉、魏窖藏大批铁器中,就有许多铸铁脱碳钢的钢件,包括斧、镰等工具和兵器,从外形看是铸件,从化学成分和金相组织看基本是钢,而且夹杂物极少。粗看起来好像是铸钢件,但是用高倍显微镜仔细检查,有时在晶粒间界发现有少量的微细石墨析出。这些石墨的形态与一般铸铁析出的石墨显然不同,而是在白口生铁脱碳过程中生成的。滎池出土铁器中部分钢件的化学成分有如下表:

原编号	器名	碳(%)	硅(%)	锰(%)	硫(%)	磷(%)
254	“新安”Ⅱ式斧	0.87	0.69	0.25	0.024	0.27
277	“甬〔左水〕”Ⅱ式斧	0.87	0.05	0.60	0.011	0.14
257	“陵右”Ⅱ式斧	0.6—0.9	0.16	0.05	0.020	0.11
299	“滎池军〔左〕”Ⅱ式斧	0.29	0.10	0.58	0.011	0.11
528	“新安”镰	0.57	0.21	0.14	0.019	0.34
471	I 式斧	0.24	0.16	0.41	0.014	0.14

^① 参看《文物》1977 年第 6 期,北京市古墓发掘办公室:《大葆台西汉木椁墓发掘简报》。

经过化学分析和金相观察,这些铸件基本是钢。例如 528 号“新安”镰的金相显微组织,由铁素体与珠光体组成。但是仔细的金相观察表明,有时可以在组织中心部分观察到少量石墨。例如 277 号“龟〔左水〕”Ⅱ式斧的金相组织右侧的黑点便是。有时在晶粒之间有极微小的、经放大 500 倍以上才能观察到的石墨颗粒。例如 299 号Ⅱ式斧由刃部向里截取 10 毫米试样上靠近中心的组织,在刃口 5 毫米以内,基本上为铁素体,愈向中心珠光体(黑色组织)愈多;同时还可以看到晶粒之间的黑细石墨。由此可见这些铸件是由白口铸铁脱碳得到的。

值得注意的是,在这些铸件中,为了提高刃口的硬度,根据不同的用途,采取了不同的加工措施。有的为了使刃口锋利,进一步对刃部采取了重新表面渗碳的工艺。有的在刃部渗碳之前还经过锻打加工。例如 528 号“新安”镰的刃口边缘表面含碳较高,珠光体(相当于含碳 0.8%)占 70%,提高了硬度,而在中心部位珠光体只占 30%左右,显然是用生铁脱碳成钢以后再进行表面渗碳的结果。又如 471 号Ⅰ式斧,刃部表面为珠光体,含碳量为 0.7%—0.8%;稍里为细晶粒珠光体,分布均匀,含碳量为 0.5%—0.6%;中心部位基本没有石墨析出,珠光体较刃部显著减少,含碳量为 0.3%—0.4%;根部为铁素体和存在于晶粒间界的少量珠光体,还可以明显看到一些石墨以及一些铸造疏松的缺陷。453 号Ⅰ式斧也有类似的组织。这些钢件的金相组织和含碳量的分布,清楚地表明是用白口铁铸成器形后,在氧化气氛中脱碳,使含碳量降低,然后对刃部渗碳,使具有高碳的珠光体组织,以提高硬高(参看图版 22)。257 号“陵右”Ⅱ式斧的刃部在渗碳之前还经过锻打加工。这样在整个铸件脱碳退火之后,又对刃部表面重新渗碳,说明当时工匠对于脱碳和渗碳工艺的作用,已经有了经验性的了解,并且能够熟练地加以应用了。

这些铸件从它们的铭文看来,是不同地点的官冶作坊的产品。

然而这些产品,不但器形相同,而且化学成分和金相组织也很相近,说明当时各地官冶作坊生产钢铁制品,不但有大体上统一规格,而且在冶铸工艺上也已有某种统一的要求。上列表中铸造Ⅱ式斧的滹池作坊,早在西汉时就驻有铁官,到后赵时继续建立有官营冶铁业^①。上列表中铸造Ⅱ式斧和镰的新安作坊,也是汉、魏间重要冶铁基地所在。新安在汉代属弘农郡,当时铁官驻在滹池,当兼管新安作坊。在新安县西北的孤灯地发现汉代冶铁作坊。上列表中铸造Ⅱ式斧的陵的作坊,不知在今何地,有待于进一步探讨。所有汉、魏时期这些不同地点的官冶作坊,能够制造出大体相同的钢铁制品,不但说明这种固体脱碳制钢技术已经广泛地应用,而且在冶铸工艺上已实行一定程度的规格化^②。

汉代铸铁脱碳制钢工艺的成就,突出地表现于郑州市博物馆在东史马发掘到的六件东汉铁剪上。铁剪需要有较好的硬度和弹性,才便于应用,不致于在使用过程中很快断裂。因此按一般的工艺观点来看,无论就形状和性能来说,是不适宜铸造的。但是,其中一件经过金相检验,发现剪刀的整个断面都是含碳量为1%的碳钢,组织均匀,渗碳体成良好的球状,和现代工业中所用的碳素滚珠钢相似,而质地非常纯净,几乎找不到夹杂物。但是,经过仔细观察,在断面的较厚部位,见到有微小的石墨析出,证明这种剪刀是用铸件为材料经过脱碳退火而成的。它的制作方法,应是先用白口铁铸造出成形的铁条,经过脱碳成为钢材后,磨砺刃部,而后加热弯曲作交股式的“8”字形。从这六件东汉铁剪,可以看到当时这种固体脱碳制钢工艺有了进一步的发展,不但广泛使用生铁铸件脱碳成为钢件,而且能够

① 见《晋书》卷106《石季龙载记》。

② 参看《文物》1976年第8期,北京钢铁学院金属材料系中心化验室:《河南滹池窖藏铁器检验报告》。

利用这种成形的钢材,再锻造成为工件。

正因为当时锻造作坊和小铁匠已广泛使用铸铁脱碳钢作为锻造钢铁器物的原料,当时冶铁作坊就有专门制造成形钢锭作为原料以便采用的。郑州市古荥镇、南阳市瓦房庄和鲁山县望城岗等汉代冶铁遗址中,都有成形的薄钢锭出土,有梯形的,也有长方形的,数以百计。这些钢锭有明显的披缝,是在铁范中直接浇铸而成。古荥遗址出土的两件梯形钢锭,经金相鉴定,其金属组织为低碳钢,在铁素体晶粒内还有弥散的碳化铁。另外十多块钢锭,用火花鉴别法,并与工业纯铁和低碳钢的标样作比较,其含碳量在 0.1%—0.2% 之间。这都表明这些薄钢锭是用生铁铸件经过脱碳处理而成。这样就扩大了生铁的使用范围,增加了优质钢材的来源,这对于提高钢铁产量和发展钢铁工具有着重大作用的。

但是必须指出,当时这种巧妙的固体脱碳制钢工艺,是工匠依靠长期实践的经验和熟练的技巧来掌握的。因此在大量铸铁脱碳钢制品中,有完成工艺较好的,也有完成工艺较差的。例如浞池窖藏铁器中 197 号小铁铤是脱碳退火工艺较好的例子,它的中心部分金相组织由铁素体和局部球化的较粗的珠光体组成,含碳量约 0.3% 左右,边缘部则基本上为铁素体。这种铸件退火时可能先在较高温度(900 度以上)长时间脱碳,并避免生成石墨,而后冷却到 700 度左右,再经较长保温或缓慢地冷却,得到较粗的珠光体。这种组织具有较好的机械性能。与此相反,277、299 号 II 式斧则是脱碳退火工艺不完全成功的例子,都是由于脱碳温度低,使得少量石墨得以形成,而得不到全部钢的组织。这少量石墨会使退火铸件耐冲击的能力降低。

汉魏以后,渗碳炼钢技术虽已发展到相当高的水平,百炼钢也能取得较优的钢材,但是毕竟费时费力。这种固体脱碳制钢工艺,通过脱碳办法把铸铁处理成钢件,含碳量既高,夹杂物又较少,如果完成工艺较好,不析出石墨,性能是比较好的。从技术条件来看,当时使

用生铁铸件,促进石墨生成的硅的含量较现代生铁为低,同时锰的含量也低,这些都为铸件防止退火时产生石墨、全部由表及里脱碳成为钢件创造了有利条件。由于当时工匠掌握了熟练的脱碳工艺,并能按照一定的规格进行生产,因而使不同地点的作坊生产出规格材质大体相同的钢材和钢制品。在尚未具备铸钢条件的古代,能够充分利用技术上的有利条件,利用热处理技术获得代替钢铸件的新方法,这是难能可贵的。当然,这种制钢方法也有它的局限性,它不可能制成较大和较厚的钢件。现在已发现的这种钢件都是比较薄的,一般不超过1厘米,只有这样薄的生铁铸件才便于由表及里全部脱碳成钢。

二 “炒钢”技术的发明和发展

用块炼法炼成的块炼铁渗碳制钢,缺点在于费时费力,产量过低,质量也不容易保证。用生铁在固体形态下脱碳制钢,也有很大的局限性,既不能制造较大较厚的钢件,又不便很好控制钢件中的含碳量。为了适应封建社会上升时期社会上对钢制品的较多需要,至少在西汉后期又创造了“炒钢”技术。这种技术把生铁加热到熔化或基本熔化的状态下再加以炒炼,使脱碳成钢或熟铁。这样就能把当时生产效率相当高的生铁作为炼钢原料,从而开辟了炼钢的新途径。这是炼钢技术发展史上一次重要的技术革新,直到现代,生铁仍为炼钢的主要原料。

炒钢时,首先把生铁在空气中加热,使处于熔融或半熔融状态。加热到1200度时,含碳总量3%的生铁,由约60%的含碳1.7%的奥氏体和40%的含碳3.7%左右的液体组成,通过不断的搅拌,增加氧气和铁的接触面,使液体中的碳氧化;随着温度升高,奥氏体中含

碳量逐渐下降；铁中硅锰氧化后与氧化铁生成硅酸盐夹杂。如果半固态下继续搅拌，借助空气中的氧把所含的碳再氧化掉，就可以成为低碳熟铁。也可以在它不完全脱碳时，控制所需要的含碳量，终止炒炼过程，就可以成为中碳钢或高碳钢。这种钢由于含碳较高，氧化程度较低，与低碳熟铁相比，所含的夹杂物应该较小较少，经过反复锻打，便可以得到组织比较均匀的钢材。但是在古代缺乏化学分析的条件下，要在炒钢过程中控制所需要的一定含碳量是比较困难的，需要有熟练的技巧和丰富的经验。因此多数是把生铁先炒炼成低碳熟铁，再用固体表面渗碳方法重新增碳而炼制成钢的。这样炼成的钢虽然比前一种方法炼成的夹杂物尺寸较大较厚，分布不均，但是比用块炼铁炼成的渗碳钢质量要好得多，没有严重影响性能的大共晶夹杂物。区别炒钢和块炼铁炼成的钢的重要标志之一，就是炒钢夹杂物是含硅较多而含铁较少的硅酸盐，成分比较均匀，含氧化亚铁很少；而块炼铁炼成的钢的夹杂物则以氧化亚铁和含铁较多的硅酸盐共晶为主。

东汉晚期著作的《太平经》^①，在卷 72《不用大言无效诀》第 110 说：

今军师兵，不祥之器也，君子本不当有也，……不贵用之也。

但备不然，有急乃后使工师击冶石，求其中铁，烧冶之使成水，乃后使良工万锻之，乃成莫耶。

从这里，可知东汉时期普遍的炼钢技术是：先寻求铁矿石，冶炼成生铁水（熟铁在当时是不可能熔化成铁水的），即所谓“烧冶之使成水”，然后炒炼成钢，再反复锻打（生铁是不可能经过锻打制成钢材的），制

^① 《太平经》收在《道藏》的《太平部》，原为 170 卷，今残存 57 卷。另有《太平经钞》10 卷，是唐人节钞《太平经》而成，其中除卷 1“甲部”是后人伪造补充外，其余都可信。此书是东汉时代的著作，详拙作《论太平经》，刊于《学术月刊》1959 年 9 月号。

成莫邪一类钢剑。即所谓“万锻之，乃成莫耶”。由此可见，炒钢技术的发明，使得百炼钢技术进入成熟阶段。

东汉唯物主义思想家王充，在所著《论衡·率性篇》中曾这样说：世间价值千金的宝剑，如棠溪、鱼肠、龙泉、太阿之类，原来就是矿山中普通的铁。冶工把它们锻炼成锋利的剑，岂是锻炼的原料有什么不同，而是由于锻炼到家。如果用价值一金的剑，“更熟锻炼，足其火，齐其铍”，也就和价值千金的剑相同了。这样出于天然的“铁石”，经过锻炼就“变易故质”，产生了质的变化。从这段话，我们可以清楚地看到：在汉代用一般的铁经过反复炒熟锻炼也能成为钢了。所说“更熟锻炼”，就是反复炒熟和锻炼。由于东汉炼钢技术的进步，铁工具已多用钢刃。《考工记·车人》郑玄注：“首六寸，谓今刚关头斧。”贾公彦疏：“汉时斧近刃，皆以刚铁为之。”到三国时，用钢制作兵器更加广泛。陶弘景《刀剑录》说：“吴主孙权黄武四年，采武昌山铜铁，作千口剑，万口刀，各长三尺九寸，刀头方，皆是南钢、越炭作之”（《太平御览》卷343引）。所谓“南钢”，可能是指当时南方出产的一种优质钢材。

东汉时代已有熟铁的专门名称。许慎《说文解字》说：“铍，铁之奕也。”“铍”就是柔软的熟铁的专门名称，正是对钢铁而言。这时以刚柔的性质，分别用来称呼钢和熟铁，该是和当时炒钢技术的推广、钢和熟铁的生产增加有关。

河南巩县铁生沟汉代冶铁遗址发现了西汉后期炒钢炉一座，上部已毁损。炉体很小，建造也很简单，从地面向下挖成“缶底”状坑作为炉膛，然后在炉膛内边涂一层耐火泥。炉门向西，长0.37米，宽0.28米，残高0.15米。炉壁已烧成黑色，炉内尚有未经炒炼的铁块（参看图9-1）。在河南省方城县赵河村汉代冶铁遗址中也曾发现同样的炉型六座。这种炒铁炉容积小，呈缶形，温度可以集中；挖入地下成为地炉，散热较少，有利于温度升高；炉下部作“缶底”状，是为了便于装料搅拌。这种炉子的风当是从炉子上面鼓入的。铁生沟遗

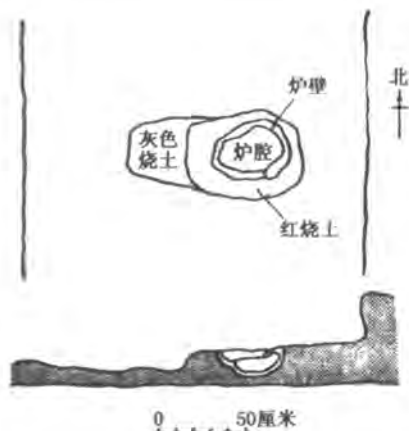


图 9-1 铁生沟遗址发现的西汉炒钢炉平面、剖面图

(采自河南省文化局文物工作队:《巩县铁生沟》,文物出版社 1962 年版,第 14 页)

址的藏铁坑中还发现有高碳钢和熟铁,成分如下表:

原编号	样品名称	碳	硅	锰	磷	硫
T12·21	高碳钢(原报告称“海绵铁块”)	1.288%	0.231%	0.017%	0.024%	0.022%
T1·22	熟铁(原报告称“优质铁”)	0.048%	2.35%	微量	0.154%	0.012%

这两种样品的锰、磷、硫的含量都很低,该是用铁生沟所出生铁在炒钢炉中炒炼而成。熟铁中含硅量相当高,可能由于未经充分锻打,挤渣不完全而含有大量硅酸盐夹杂所致。高碳钢含碳量较高,该是在炒炼过程中脱碳到相当程度时就停止的缘故。

河南南阳市瓦房庄汉代冶铁遗址中,也发现几座炒钢炉,形制、结构都和铁生沟发现的缶式炒钢炉大同小异,炉底还留有铁渣块(参看图 9-2)。说明当时这类冶铁作坊,不仅用生铁铸造铁器,也还用生铁炒炼成熟铁或钢,锻制成工具、构件。遗址中出土的锻件如凿、镢等,当是该作坊自制的。南阳东郊出土一件东汉铁刀,形制较特殊,类似炊事用刀,刀身有一道平行于刃部的锻接痕迹。刀宽 11.2

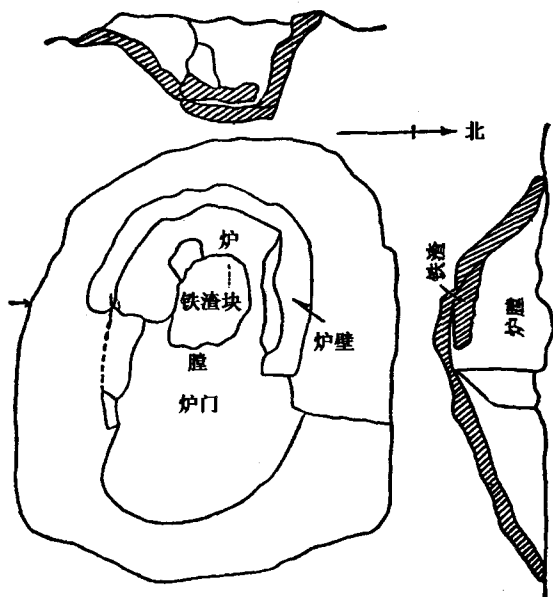


图 9-2 南阳北关瓦房庄遗址 19 号炒钢炉平面、剖面图

(采自《考古学报》1978 年第 1 期,河南省博物馆等:《河南汉代冶铁技术初探》)

厘米,长约 17 厘米,刀背厚约 0.5 厘米,就是用炒钢锻制,其刃部当是用高质量的炒钢锻接而成^①。

洛阳晋元康九年(公元 299 年)徐美人墓出土的铁刀^②,长约 22 厘米。经过金相鉴定,含碳量在 0.1% 以下,夹杂物的总量较大,截面上分布不匀,多的地方,体积占 8% 左右,少的地方约占 2%,平均占 3%—4%,和现在熟铁相似。夹杂物的尺寸也较大,厚约 40—50 微米,宽度约厚度的 3 至 10 倍。刃部夹杂物的尺寸略小。这是用炒炼成的熟铁锻成,表面经过渗碳,但未经反复锻打,加工量较小。刀

① 见《考古学报》1978 年第 1 期,河南省博物馆等:《河南汉代冶铁技术初探》。

② 见《考古学报》1951 年第 1 期,蒋若是等:《洛阳晋墓的发掘》。

还经过淬火,刃端含马氏体层约 1.5 毫米^①。

近代流传在我国河南、山西、山东、安徽、湖北、湖南等省民间的简便炒钢方法,就是从古代长期流传下来的。这种简便炼钢法,所采用的简便炒钢炉,建造的方法有下列两种:

(1) 最简单的建炉方法,只在地下挖一个口小、底大的橘子形或圆筒形的坑,用力夯结实,用耐火泥糊成炉壁,或用耐火砖砌成炉壁。炉口上大半用半圆形的炉盖盖住,炉盖用半圆形泥板、石板或铁板制成,俗称“天门盖”。也有架起铁条、铺上或砌上青砖作炉盖的,中间凿有进风眼,安装着进风管。炉口上小半空出来,作为炉门口,也就是下料、搅拌和出钢的口子。这种炒钢炉在今山西省长期流行(参看图 9-3)。

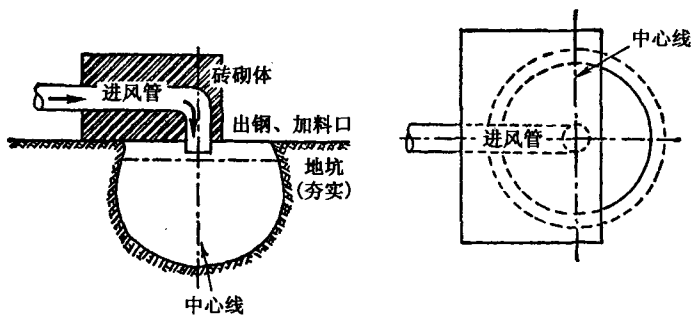


图 9-3 山西省流行的一种炒钢炉

(见《土炒钢炉》,刊于《山西日报》1958年10月12日;《冶金报》同年42期)

(2) 另一种建炉方法,先在地下挖成方形的土坑,选用耐火的干燥黄砂土打碎和粗砂拌匀,或用耐火黄黏土晒干打碎和粗砂拌匀,调和适量的水,捏成团,一层层地填进土坑,要填一层打一层夯,筑紧筑实,一直筑到地平。然后在筑得很结实的砂土或黏土中,挖成橘形或

^① 见《考古学报》1975年第2期,李众:《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》。

圆筒形的炉缸,再安装炉盖、进风管和炉门等。所用炉盖与前一种相同。在炉门口的前面,用一块小的长方形铁板铺在地上,在上竖立着“炉门石”(用铁板或耐火石做成)。炉门是一个圆手椅的形状,左右两边各嵌有一块长方形的铁板(或用耐火石、耐火砖),从这两块铁板起,绕炉盖做一道墙,墙高以适合风管的高度为准,然后糊泥,糊成上大下小的漏斗形,以便盛料。这个部分俗名叫做“炉窝”。炼钢时,上料后再用一块铁板盖住炉门。

这种炒钢炉长期流行于河南、湖北、安徽三省。

河南省商城县的炒钢炉,也是属于这一种的(参看图 9-4)。商城县的炒钢炉建造时,一般都两个炉子并建在一起,以便轮流使用。炉缸作橘子形,炉窝是用黄沙泥土加少许草筋和水打熟后制成的,输风管用厚铁皮制成,作牛角形。

大体说来,在我国中部和北部,长期流传的简便炒钢炉都建筑在地下,一般称为“地炉”。南方因为地势低或者比较潮湿,不适宜建造

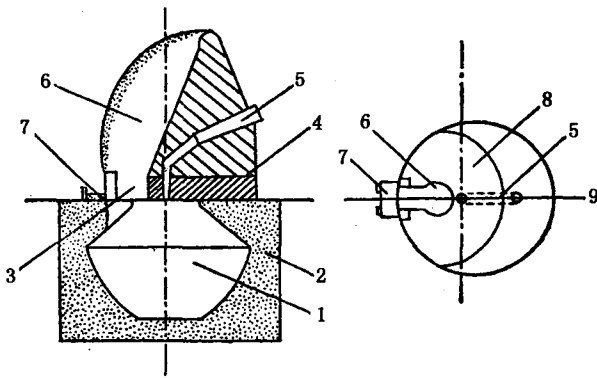


图 9-4 河南省商城县土法炒钢炉的正视图和剖视图

(采自冶金工业出版社编《土铁土法炼钢》1958年版,第一篇《河南商城县的土法低温炼钢》)

部位名称:1. 炉缸 2. 夯实的耐火泥 3. 炉门口 4. 天门盖 5. 通风管
6. 炉门 7. 炉门铁 8. 炉窝 9. 地面

地炉,就先用砖石砌成方形的炉台,在炉台上再建成炒钢炉。例如云南的炒钢炉,叫做“毛铁炉”。构造简单,方形,每边长4尺8寸左右,高2尺7寸。顶部中央略为隆起。用砂石砌造,外壁垒砌土坯。炉的一侧装有风箱,另一侧设有火膛(参看图9-5)。这种炒钢冶炼法,操作时也很简便。先把木柴、木炭装入炉缸内,点着火,鼓风使它燃烧,接着就把生铁加入炉内,把炉门堵塞。等到生铁烧红时,即开始炒拌。等到铁块烧得发白时,就剧烈地搅拌。铁块搅拌成豆渣状态,铁中的渣滓就分解成液体流出,豆渣状态的钢粒就成粘糊状态。这时就需要有意识地搅拌成团块,使形成一个钢团,然后钳出锻打,打到渣滓挤出、钢块组织结实为止。锻打时,要先轻打、快打,打成形状,再重打、多打,打成结实的钢锭。



图 9-5 云南的毛铁炉以及毛铁炉鼓风情况

(采自《考古》1962年第7期黄展岳、王代之《云南土法炼铁的调查》)



这种简便的炼钢法,是利用木柴、木炭燃烧时放出的热,把生铁烧成半熔状态,使炉内生铁中的硅、磷、锰、硫和碳起氧化作用,放出大量的化学热,一方面使铁熔成粘糊状态,一方面使铁中部分碳分烧去,并使铁中杂质成为液体而分解出来。因铁中杂质的熔点比较低,在比较低的温度下可先溶解,因此在铁的一半熔状态中就可以把其中

大部分的杂质和碳除去,使它转变成为熟铁或钢。如果锻打得好,能够进一步把其中的渣子挤出,使钢的组织紧密细致。如果把它放到锻铁炉中,烧红后反复锻打,可以提高钢的质量。

比上述简便炒钢炉进步的,便是反射炉。反射炉进步的地方是:简便炒钢炉只有一个炉缸,把木柴、木炭和铁块放在一个炉缸里,用木柴、木炭直接燃烧铁块,并加以炒炼。而反射炉则有两个部分,燃烧室用来燃烧燃料,熔池用来加热和炒炼铁块,它有火道使两部分连接起来,火焰从燃烧室通过火道射到炒炼铁块的熔池中,这样使用的燃料就不限于木柴或木炭,还可以用煤燃烧,使得煤中的硫不致渗到钢铁中去,同时炒炼中也容易清除杂质,可以得到质量较高的钢材。

这种反射炉炒钢法,在欧洲,发明于18世纪末叶。至于我国在何时发明,还有待于探索。河南省文化局文物工作队《巩县铁生沟》发掘报告,把属于西汉后期的15号炼炉定为反射炉,看来不够确切,这该是一种地坑式加热炉(参看本书上编第二章第三节)。

这种反射炉炒钢法,长期在我国河南、陕西、湖南、四川等省民间流传。这种长期流传的反射炉也是挖地坑建成的。有燃烧室和熔池并列的形式,也有燃烧室叠在熔池之上的形式。

河南省鲁山县流行的一种简单反射炉,是燃烧室和熔池并列的形式。这是在地下挖两个适当大小的坑,一个方形,一个圆形,四周都用耐火砖砌成炉壁。方形坑作为燃烧室,半腰安装有炉栅,其下部有口与鼓风机相连,装入燃料,可以鼓风燃烧。另一圆形坑作为熔池,是装料和炒炼用的,其顶部有一口,装有火道。燃烧室中的火焰,通过火道,从炉顶吹入熔池内。这种简单反射炉,就是在一般炒钢炉之旁安装了一个燃烧室。

陕西西安流行的一种简单反射炉,是燃烧室叠在熔池上的形式。先在地上挖掘一个地坑,坑底略作扁圆形,涂上耐火泥层,作为加热和炒炼铁块的熔池,旁边向上斜开一个缺口,作为炉门,以便装料、炒

炼和出钢。在熔池之上,用砖砌造一个火口朝下的燃烧室,燃烧时可以使火由火口向下直冲到熔池内(参看图 9-6)。这种反射炉,就是在一般炒钢炉之上安装了一个燃烧室。

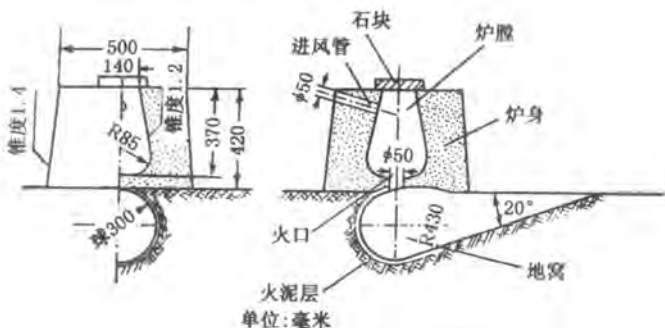


图 9-6 西安的一种简单反射炉

(采自科技卫生出版社编《土法低温炼钢》第六篇《最简单的反射炉炼钢》，1958年版)

流传在民间的比较进步的反射炉是建筑在地面上的。燃烧室上有炉盖,下部安装有炉栅,炉栅之下有出灰口。燃烧室有火道从炉顶通向熔池,熔池有出钢口。熔池之旁还有预热室。例如四川威远流行的反射炉便是这种式样(参看图 9-7)。

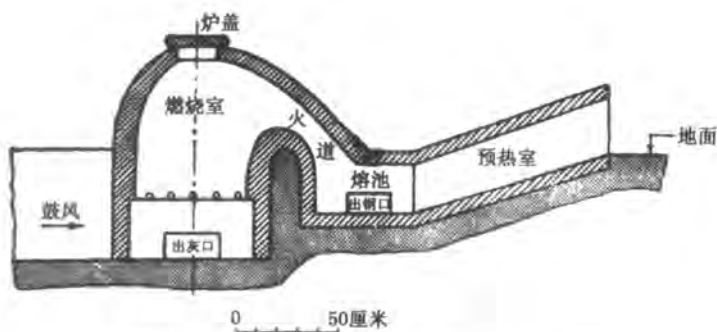


图 9-7 四川威远流行的炒钢反射炉剖面图

反射炉炼钢法是否创造于西汉后期,或者稍后一些,目前还没法断定。但是,西汉后期已经创造简便炒钢炉,发明使用生铁炒炼成钢或熟铁的技术,确是事实。这标志着炼钢技术发展到一个新的阶段,使得钢材的产量可以大大提高,便于社会上能够得到大量廉价的熟铁和钢,这对于当时生产工具的改进,钢刃铁器以及钢制品的推广,起着重要的作用。欧洲用炒钢方法把生铁炒炼成熟铁,是18世纪中叶创始于英国的。我国这种炒钢工艺比欧洲要早一千八百年。这个发明对我国封建社会前期和中期的生产的发展具有重要作用。当然,由于社会历史条件的不同,它不可能像欧洲出现在产业革命时期那样与近代工业联系起来,并发展为现代炼钢技术,但是我们决不能低估这项革新的重要意义。

在古代,一般都没有把熟铁和低碳钢区别开来,我国古代也是如此。在我国古代,对熟铁和低碳钢都混称为“铁”,东汉以后又混称为“镔”或“镔铁”,也或称为“镔铁”或“熟铁”。唐人李世勣、苏恭等所著《唐本草》说:“单言铁者,镔铁也。铁落是锻家烧铁赤沸,砧上锻之,皮甲落者。”宋人苏颂《本草图经》又说:“初炼矿用以铸泻器者为生铁。再三销拍,可作镔者为镔铁,亦谓之熟铁”(《重修政和经史证类备用本草》卷4《玉石部》引)。可知宋代由矿石初炼出来的是生铁,需要“再三销拍”,才能炒炼成熟铁。所谓“再三销拍”,就是上述的炒钢方法。

古时也有把熟铁或低碳钢称为“黄铁”的。例如晋、隋间著作的《夏侯阳算经》卷中《称轻重》节,有下列两个算术题:

(1) 现在有生铁6281斤,要炼黄铁,每斤损耗5两,问能炼得黄铁多少?

答:黄铁4318斤3两。

(2) 现在有黄铁4318斤3两,要炼为钢铁,每斤损耗3两,问能炼得钢铁多少?

答:钢铁 3 508 斤 8 两 10 铢 5 累。

这里所谓黄铁该就是熟铁。从这两个算术题,可知由生铁炼熟铁、再由熟铁炼钢铁的方法,在晋、隋间已用得很普遍。从生铁炒炼成熟铁是每斤损耗 5 两,再从熟铁渗碳锻炼成钢是每斤损耗 3 两。由于当时冶铁工匠对这两种工艺比较熟练,在操作过程中损耗的比例大体上差不多,已能掌握一定的规格,因而能够把它作为算术题了。

明代唐顺之《武编·前编》卷 5《铁》条,谈到熟铁说:

熟铁出福建、温州等处,至云南、山西、四川亦皆有之。闻出山西及四川泸州者甚精,然南人实罕用之,不能知其悉。熟铁多滓滓,入火则化,如豆渣,不流走。冶工以竹夹夹出,以木槌捶之成块,或以竹刀就罐中画(划)而开之。今人用以造刀铕器皿之类是也。其名有三:一方铁;二把铁;三条铁。用有精粗,原出一种。铁工作用,以泥浆淬之,入火极热,粪出即以锤捶之,则渣滓泻而净铁合。初炼色白而声浊,久炼则色青而声清,然二地之铁,百炼百折,虽千斤亦不能成分两也。

这里记载锻炼熟铁的过程很详细,是采用了三段法。先把生铁炒炼成“多滓滓”的熟铁,初步“捶之成块”,或者加以划开,成为“方铁”、“把铁”、“条铁”,近代称为“毛铁”。再用毛铁进一步加以锻炼,除去渣滓,使得到较纯的熟铁,用来制作工具和兵器等。明末清初屈大均《广东新语》卷 15《货语》的《铁》条,对于广东的炒铁业有更具体的描写:

其炒铁,则以生铁团之入炉,火烧通红,乃出而置砧上,一人钳之,二三人锤之,旁十余童子扇(煽)之。童子必唱歌不辍,然后可炼熟而为镡也。计炒铁之肆有数十,人有数千,一肆数十砧,一砧十余人,是为小炉。炉有大小,以铁有生有熟也。故夫冶生铁者,大炉之事也;冶熟铁者,小炉之事也。

“扇之”是说鼓动鼓风机,“镡”是指熟铁片。由此可见当时炒铁炉所

使用鼓风的人力比较多。明末宋应星《天工开物》卷10《锤锻》说：

凡出炉熟铁，名曰毛铁。受锻之时，十耗其三，为铁华铁落。宋应星《论气》的《形气五》又说：

凡铁之化土也，初入生熟炉时，铁华铁落已丧三分之一；自是锤锻有损焉，冶铸有损焉，磨砺有损焉，攻木与石有损焉，闲住不用而衣锈更损焉，所损者皆化为土，以俟劫尽。

由于时代的限制，宋应星不了解铁在各种不同情况下损耗的原因，误认为铁的损耗“皆化为土”。他所说“生熟炉”，当即指把生铁炒炼成熟铁的炉。所说“十耗其三”和“丧三分之一”，是指生铁炒炼成熟铁和经锻打的损耗，这和《夏侯阳算经》所说每斤损耗5两差不多。据调查，流传在云南的土法炼铁采用三段法，先把生铁炒炼成毛铁要损耗六分之一，再由毛铁锻打成熟铁要损耗五分之一，也就是说，由生铁炒炼成熟铁，大约要损耗三分之一^①。这和宋应星所说的损耗大致相当。

在明代，这种炒炼熟铁和钢铁的炉子，又叫做“白作炉”。《明会要》卷194《遵化铁冶事例》曾说：正德四年（公元1509年）开白作炉20座，炼熟铁208000斤，钢铁62000斤。六年开白作炉8座，炼熟铁钢铁如前。嘉靖八年（公元1529年）以后每年用白作炉炼熟挂铁208000斤，计熟铁每挂4块，重20斤，共10400挂。这种炒铁炉较冶铁炉为小，根据上述记录，可知白作炉一座在六个月中只能炒炼熟铁1万多斤到2万多斤。朱国桢《涌幢小品》卷4《铁炉》条和孙恩泽《春明梦余录》卷46《铁厂》条，记述遵化铁冶厂情况说：“熟铁由生铁五六炼而成。”这种由生铁五六炼而成的熟铁，实际上已经不是熟铁而成为低碳钢了。

明代唐顺之《武编·前编》卷5《铁》条，曾谈到“炼铁”的费用。

^① 《考古》1962年第7期，黄展岳、王代之：《云南土法炼铁的调查》。

他说：

炼铁，每十斤权炼作三斤，计用匠五工，工食二钱五分，约用炭价银一钱六分，通算炼就铁，计用银一钱六分六厘六毫，得铁一斤。此锻炼之大数。至于成置刀铤，工又益加，铁又益折，此须逐样监试一件，才能定价。

由此可见，在明代，用生铁炒炼成熟铁或钢，还比较费时费力，炼成3斤优质的低碳钢，要五个人劳动一天，同时铁的折耗也还很大，10斤生铁只能炼成3斤优质的低碳钢。这时一般的炼铁炉，大概一炉需要五六个人操作，其中最主要的是钳手，《武编·前编》卷5《火器》条在叙述“鸟铤”时曾说：“炼铁炉，每炉六人，炼该四日，共二十四工，内钳手每工四分，散匠三分，算该银七钱六分。”清代的情况大体上和明代相同，屈大均《广东新语》卷15记述佛山镇炒铁肆的情况说：“其炒铁，则以生铁团之入炉，火烧透红乃出而置砧上，一人钳之，二三人锤之。”近代我国的土法炒炼土钢的技术，就是在上述基础上发展起来的。

值得注意的是，明代还出现了一种不经炒炼的生铁脱碳制钢工艺。明代万历二十六年（公元1598年）赵士楨著作的《神器谱》（《玄览堂丛书》第85册），叙述噜密铤、西洋铤、迅雷铤等火器制造方法，在其《神器杂说三十一条》中有一条说：

制铤须用福建铁，他铁性燥不可用。炼铁，炭火为上；北方炭贵，不得已以煤火代之，故迸炸常多。铁在炉时，用稻草戳细，杂黄土，频洒火中，令铁尿自出，炼至五火，用黄土和作浆，入稻草浸一、二宿，将铁放在浆内，半日取出再炼，须炼至十火之外，生铁十斤，炼至一斤余，方可言熟。

这样“用稻草戳细，杂黄土，频洒火中”，是为了帮助氧化；炼到“五火”（即五次烧炼）后，又用黄土和稻草做成浆，把铁放在浆里半日，取出再烧炼，也是为了帮助氧化。这样不经搅拌，先后用“五火”和“十火”来烧炼，当然很费时和费料，十斤生铁只能炼成一斤多熟铁，几乎要

消耗十分之九,比《夏侯阳算经》所说“每斤耗五两”,损耗几乎要增加两倍,但是所生产的料铁比较纯净,适宜于制作火器。茅元仪《武备志》卷119《制具》条,讲到威远炮的制法,炼铁方法大体差不多,只是说要炼到五—七斤生铁炼成一斤熟铁为止。赵士楨《神器谱或问》(《玄览堂丛书》第86册)又说:

或问:近日大小神器,易铜为铁,舍铸务锻,犹然不堪,此何以故?曰:将作欲博精明之誉,损其值以致之耳。尝闻卢将军镗,南方初造鸟銃,工值三金之外。今一金吝而不给,一金不足精工鸟銃铁炭之费,余可类推焉。

这时火器之所以必须采用较纯的熟铁锻造,是为了防止发射时爆裂。《神器谱》之所以主张火器必须采用福建铁作原料,就是因为当时福建生产的生铁质量较纯。而主张采用木炭做燃料,以“炭火为上”,反对使用“煤火”,则是为了防止铁中混杂硫、磷等杂质,以免发射时爆裂。所以要采用不经炒炼的生铁脱碳制钢工艺,同样是为了这点。

更值得注意的是,明代开始用炼铁炉的铁水在搅拌坑中由液体直接脱碳炒炼成熟铁的方法,就是炼铁炉和炒铁炉的串联使用^①。

① 李恒德《中国历史上的钢铁冶金技术》(《自然科学》第1卷第7期)分析《天工开物》所载的炼铁方法说:“宋应星所述的炼铁方法有几个特色是不容忽视的。第一,是炼铁炉和炒铁炉的串联使用,从炼铁炉流出的铁水,直接流进炒铁炉里炒成熟铁。……这一串联的使用方法减少了一步再熔化的过程,……宋氏叙述中的第二个特色便是炼铁炉操作的半连续性,他说道‘既出,即又泥塞,鼓风再熔’,……宋氏叙述中第三个特色是历史上为中国人所独创独有的一套钢铁生产系统,这个系统自铁矿开始,炼成生铁,再由生铁炼成熟铁,然后由生铁和熟铁合炼成钢,正是今日推行在全世界的钢铁生产系统。宋氏叙述中的第四个特色是熔剂的使用。……我们可以看到一个人站在炒铁炉旁向生铁上撒泥灰,另有些人在用木棍搅。泥灰的作用在此是熔剂,木棍的作用除搅以外,还可以帮助氧化。”李先生所说的第二个特色,是高炉炼铁技术发明后就有的,至少早在汉代已有了,第三个特色至迟在南北朝时代也早已有了,只有炼铁炉和炒铁炉的串联使用(即今所谓“热装”炒炼法),该是明代所发明和创造的。

《天工开物》卷 14《五金》部分说：

若造熟铁，则生铁流出时，相连数尺内低下数寸，筑一方塘，短墙抵之。其铁流入塘内，数人执持柳木棍排立墙上，先以污潮泥晒干，春筛细罗如面，一人疾手撒滌，众人柳棍疾搅，即时炒成熟铁。其柳棍每炒一次，烧折二三寸；再用，则又更之。炒过稍冷之时，或有就塘内斩划成方块者，或有提出挥推打圆后货者。若浏阳诸冶，不知出此也。

方以智《物理小识》卷 7《金石类》也说：

凡铁炉用盐和泥造成，出炉未炒为生铁，既炒则熟，生熟相炼则钢。尤溪毛铁，生也。豆腐铁，熟也。熔流时又作方塘留之，洒干泥灰而持柳棍疾搅，则熟矣。

这样在炼铁炉旁设置方塘来炒铁，减少了炒炼熟铁时再熔化的过程，不但缩短了炒炼熟铁的时间，也还减低了炒炼熟铁的成本。这种炼铁炉和炒铁炉串联操作方法的使用，是冶铁技术进步的具体表现（参看上编第七章插图 46）。以上两书所说在炒炼熟铁时，要先在流体的生铁上撒干泥灰，泥灰可能是作为造渣的熔剂。至于用柳棍来炒炼，则是为了提高氧化脱碳的速度。

三 “百炼钢”技术的发展

由于炒钢法的创造，使得“百炼钢”技术发展成熟阶段。东汉、魏、晋、南北朝时期，最精良的钢就称为“百炼精钢”或“百炼钢”。例如陈琳《武军赋》说：“铠则东胡阙巩，百炼精钢”^①。《文选》卷 25 载晋刘琨《重赠卢湛诗》又说：“何意百炼刚（钢），化为绕指柔。”在夏赫

^① 《北堂书钞》卷 121 引。

连勃勃称王时，曾以叱干阿利为将作大匠，制造“五兵之器，精锐尤甚”；又制造一种“百炼钢刀”，刀上有龙雀形的大环，号为“大夏龙雀”^①。南朝有一种“横法钢”，也是百炼而成，或称为“百炼钢”。当时用百炼钢制成的刀，十分锋利，据说能够斫断用头发丝悬挂起来的捆为一束的十三根“芒”^②。

从已发现的古代钢制品来看，我国东汉时代已经掌握这种百炼钢技术，当时“炼”的工艺有“三十炼”、“五十炼”、“百炼”等区别。东汉流行一种环首钢刀，叫做“书刀”。因为它的一面常有错金的马形纹样，又称为“金马书刀”。皇帝往往用它来赏赐给臣下，官僚和儒生往往用带子把它系在腰间，因此也往往作为陪葬品。东汉人李元《金马书刀铭》说：“巧冶练刚，金马托形；黄文错镂，兼勒工名”^③。所说“练刚”，就是“炼钢”。说明这时已用“刚”字专指钢制品。

罗振玉《贞松堂吉金图》卷下著录有四件“书刀”，一面有错金的马形纹样，一面有错金铭文。其中三件铭文都是“卅炼”：

一、“永元十六年(公元 104 年)，广汉郡工官卅涑(炼)△△△△△△△△△△△△史成、长荆、守丞熹主。”

二、“永元十△年，广汉郡工官，卅涑(炼)书刀，工冯武……”

三、“……广汉〔郡工官〕卅〔涑〕△△△秋造，护工卒史克，长不，丞奉主”^④。

汉代在今四川省境内设置工官两处，即蜀郡(治成都，今四川成

① 见《晋书》卷 130《赫连勃勃载记》。据说叱干阿利“性工巧”，然而“残忍刻薄”，工匠制成兵器，既成呈之，工匠必有死者。射甲不入，即斩工人；如其人也，便斩铠匠。先后杀工匠数千。由此可以看到当时冶铁工匠所受的迫害极其严重；但是从此也可以看到，当时炼钢和制作钢铁兵器的技术已有很大发展。

② 见《太平御览》卷 665 引陶弘景说。

③ 《太平御览》卷 346 引。

④ 以上三把书刀，罗振玉《贞松堂吉金图》卷下及《贞松堂集古遗文》卷 15、容庚《汉金文录》卷 6、黄濬《衡斋金石识小录》卷下、刘体智《小校经阁金文》卷 14 著录。

都市)和广汉郡(治雒县,在今四川广汉北)。从已发现的古物来看,两处工官生产有金银钹漆器、刀剑和铜镜等。从上列三把“书刀”的铭文来看,广汉郡工官所造“书刀”都是采用“卅炼”工艺制成的。

1974年山东苍山县汉墓出土一把环首钢刀,全长111.5厘米,刀身宽3厘米,刀背厚1厘米,环首呈椭圆形,环内径2—3.5厘米。刀身有错金火焰纹和隶书铭文:“永初六年(公元112年)五月丙午造卅煉(炼)大刀,吉羊(祥)宜子孙”^①。说明这把大刀也是用“卅炼”工艺制成的。

东汉钢制品还有用“五十炼”工艺制成的。1978年江苏徐州铜山县驼龙山汉墓出土一把钢剑,锋部稍残,无首,通长109厘米,剑身长88.5厘米,宽1.1—3.1厘米,脊厚0.3—0.8厘米。剑把正面有错金铭文:“建初二年(公元77年)蜀郡西工官王愔造五十煉(炼)△△△孙剑△。”内侧上阴刻铭文“直千五百”四字。“西工官”是蜀郡的工官,王愔是工官姓名。铭文说明这把钢剑是蜀郡工官用“五十炼”工艺制成的^②。

东汉钢制品更有用“百炼”工艺制成的。1961年日本奈良县古墓出土一把钢刀,上有错金铭文:“中平△〔年〕五月丙午,造作〔支刀〕,百炼清〔刚〕,上应星宿,〔下〕辟〔不祥〕”^③。中平是公元184—189年东汉灵帝年号。铭文说明这把钢刀用“百炼”工艺制成的。

上述山东苍山汉墓出土的“卅炼”环首钢刀,经过金相鉴定,刃部由组织均匀、晶体很细的珠光体组成,有很少量的铁素体,估计含碳量在0.6%—0.7%之间。刃部经过淬火,虽经锈蚀,还可见少量马氏体。钢中变形量较大的细长硅酸盐数目较多,但尺寸很小,大部厚

① 《文物》1974年第12期,刘心健、陈自经:《山东苍山发现东汉永初纪年铁刀》。

② 《文物》1979年第7期,徐州博物馆:《徐州发现东汉建初二年五十煉钢剑》。

③ 日本《考古学杂志》48卷2号(1962年),梅原末治:《奈良县栎本东大寺山古坟出土汉中南平纪年的铁刀》。

度在 2.5—5 微米、宽度 25—40 微米、少数宽达 60 微米,这是锻造时和基体的钢一起高度变形的产物。除硅酸盐外,尚有少量变形较小的灰色氧化铁夹杂物。这些夹杂物显然与西汉中叶以前用块炼铁渗碳制成的刀剑中的夹杂物有差别,它没有大块以氧化亚铁和含铁较多的硅酸盐共晶夹杂,而以细长硅酸盐夹杂为主,夹杂物数目多,细薄分散,变形量很大,而分布比较均匀(刘胜书刀中最大夹杂长 2.5 毫米,而这把钢刀中夹杂约长 0.05 毫米,相差 50 倍);但可以看出夹杂物排列成行,表现有分层存在。这些成行夹杂物在刀的外缘行间较密,中间较疏。钢的各部分含碳量均匀,这也和西汉中期以前用块炼铁渗碳制成的钢不同。把这种钢刀和现代熟铁相比,夹杂物很相似,但数量较少,约占体积 1%,较熟铁少三分之一至一半,夹杂物也较细,分层比较明显。根据含碳量分布和夹杂物形态来分析,这种钢刀不是用炒成的熟铁再用固体表面渗碳制成的钢锻造而成,而是用炒钢方法取得的含碳量较高的钢为原料,再经过反复折叠锻打而成。

上述江苏徐州汉墓出土的“五十炼”钢剑,经过金相鉴定,组织也由珠光体和铁素体组成,分层明显。各层含碳量不同,最高含碳量 0.7%,最低含碳量 0.4%。切割部位剑脊厚 5 毫米,其中心部位 2 毫米含碳 0.6%—0.7%。组织比较均匀。剑柄含碳量与剑身大致相同,中心部位约 0.7%。剑身、剑柄夹杂物数量不多,细薄分散,变形大,以硅酸盐夹杂为主,夹杂物排列成行。剑柄部分夹杂物数量较剑身稍多。可知这把钢剑组织和苍山出土“卅炼”钢刀基本相同,也该是用含碳较高的炒钢为原料反复锻炼而成。

什么叫“卅炼”、“五十炼”和“百炼”?北京钢铁学院理论组作了如下的推测:

如果说“百炼”一词在早期形容反复锻炼的意思,那么在有了“卅炼”与“百炼”共存的事实以后,它们的含义就应代表一定的工艺质量标准。永初卅炼刀中硅酸盐夹杂物有明显分层,如以位于

同一平面的连续或间断的夹杂物作为一层的标志,由三个观察者(其中二人事先不知道卅炼及测量目的),在100倍显微镜下,整个断面观察到的层数分别平均为31层、31层弱及25层。据此,卅炼似乎是将炒钢锻造后折叠,再行锻打,如此反复最后得到大约30层,或将锻打的炒钢30层叠在一起进行锻造但不再折叠;当然也可能是指钢加热次数为三十火,每五火折叠一次。以上推测是否正确,有待将来根据更多的实物进行考查。^①

华觉明先生赞成后一说,认为“卅炼”“说明它是经过三十次左右反复锻炼(即三十火)制成的”。“每加热锻打一次,称为一‘火’或一‘炼’,这些术语,至今流传应用。”本人认为所谓“卅炼”、“五十炼”和“百炼”的“炼”,既包括加热次数,也包括折叠锻打次数。因为这时的炒钢技术水平,要炼制成含碳量高、含杂质少而组织均匀的优质钢,只能先制成薄钢片再经反复锻打而成。要制成有一定长度的优质钢的刀剑,又必须把一定数量的薄钢片陆续折叠和反复锻打,要陆续折叠和反复锻打是非加热不可的。因此在当时,这种“百炼”的利器,同时又有“百辟”的称呼。“辟”是“𠄎”的假借字,就是𠄎积折叠而加以锻打的意思^②。

在东汉末建安年间,曹操命令造宝刀五把,三年才造成,自己留了两把,把其余三把分给了三个儿子。这五把宝刀,也叫做“百辟刀”,是“百炼利器”,据说是用来“以辟不祥,摄服奸宄”的^③。既称为

① 《考古学报》1975年第2期,北京钢铁学院李众:《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展探讨》。

② 《文选》卷35张协《七命》说:“乃炼乃𠄎,万辟千灌。”李善注:“辟谓叠之。”

③ 《太平御览》卷345引曹操《内诫令》说:“百炼利器,以辟不祥,摄服奸宄者也。”《北堂书钞》卷123引《内诫令》也说:“往岁作百辟刀五枚,吾闻百炼利器,辟不祥,摄伏奸宄者也。”《艺文类聚》卷60引曹操令说:“往岁作百辟刀五枚适成,先以一与五官将,其余四,吾子中有不好武而好文学者,将以次与之。”这也该是《内诫令》中的文字,因为各书节引,以致各不相同,严可均辑《全三国文》,漏辑《北堂书钞》这段引文,误认《艺文类聚》卷60所引为另一个令,并定名为《百辟刀令》。据此,可知曹植《宝刀赋》所说的“宝刀五枚”,即是“百辟刀五枚”。

“百辟刀”，又说是“百炼利器”，说明“百炼”和“百辟”的意义是一致的。曹植为此作赋说：

乃炽火炎炉，融铁挺（当作“铤”）英。乌获奋椎，欧冶是管。扇景风以激气，飞光鉴于天庭。爰告祠于太乙，乃感梦而通灵。然后砺以五方之石，鉴以中黄之壤。规圆景以定环，摅神思而造象。垂华纷之蕙蕤，流翠采之滉漾。故其利陆断犀革，水断龙角，轻击浮截，刃不纤削。逾南越之巨阙，超西楚之太阿。实真人之攸御，永天禄而是荷。^①

这五把宝刀，要三年才造成，就可知它们不是一般的刀了。冶炼时，先用“炽火炎炉”来“融铁挺英”，这种“炽火炎炉”是有强大的鼓风设备的，即所谓“扇景风以激气”。在融好“铁挺英”后，还要由力气大的人锻打，即所谓“乌获奋椎”。锻打的次数是很多的，所以又叫做“百辟刀”。“辟”就是折叠锻打的意思。这样炼成的刀，有着“华纷”和“翠采”，非常锋利。这种宝刀，既然是“以辟不祥”的，又要“告祠于太乙”，又说“实真人之攸御”，看来不是一般作战用的刀，而是道家的“伏魔”宝刀之类。这时炼制宝刀宝剑技术的发展，看来与道家有关。

在建安二十四年（公元 219 年），曹丕也曾命令“国工”挑选“良金”，精炼“宝器”，共炼成宝剑三把、宝刀三把、匕首两把和露陌刀一把。据他自己说，所有“国工”“亦一时之良也”，“至于百辟”才炼成的，炼成的时候“五色充（或作“跃”）炉，巨囊自鼓，灵物髣髴，飞鸟翔舞”。炼成的宝剑，有“光似流星”而名为“飞景”的，有“色似采虹”而名为“流采”的，还有名为“华锋”的。宝刀中有“文似灵龟”而名为“灵宝”的，有“采似丹霞”而名为“含章”的，有“似霜”而名为“素质”的。匕首中有“理似坚冰”而名为“清刚”

^① 丁晏纂《曹集铨评》卷 2《宝刀赋》。

的，有“曜似朝（早）日”而名为“阳文”的。露陌刀是“状如龙文”而名为“龙鳞”的^①。曹毗《魏都赋》也说：“剑则含章、飞景、清刚、露皓、流采之珍，素质之宝，乍虹蔚、波映，或龟文、龙藻。”傅玄《正都赋》也说：“苗山之铤，铸以为剑，百辟文身，质美铭鉴。”^②所有这些有特殊花纹和光彩的“文身”的“宝器”，该也是用百炼钢的技术锻炼而成。曹毗《冶成赋》说：“含彩可以宝珍”^③，这种“可以宝珍”的“含彩”，也该是指这些“宝器”的“文身”而言的。

这些宝刀宝剑的炼制，值得我们注意的是：曹操命令“有司”炼制的“宝刀”，叫做“百辟刀”，曹丕命令“国工”炼成的“宝器”，也是“至于百辟”才炼成的，炼成的宝剑也叫“百辟宝剑”，宝刀也叫“百辟宝刀”，匕首也叫“百辟匕首”。所谓“百辟”，是和“百炼”的意义一致的，就是经过一百次左右的加热和反复折叠锻打。这代表了当时炼制优质钢铁器的工艺质量的最高水平。

值得注意的是，从西汉到东汉、三国，主要钢铁兵器有了很大的变化，就是长剑逐渐消失，而代之以环首长刀。之所以会起这样的变化，看来由于两个原因：一是由于骑兵的发展和战斗上的需要。剑的特点，前有长的尖锋，两侧有锋利的刃口，既便于向前推刺，又可以左右挥舞和劈削。到这时由于骑兵的发展，大量使用骑兵作为主力临阵战斗，由于车速很快，飞奔作战，就不便于使用长剑来推刺和挥舞，而适宜使用长刀来劈砍。环首长刀只一侧有刃，另一侧是厚实的刀脊，又没有长尖锋而有方刀头，很便于挥臂劈砍。同时长剑在战斗中容易弯曲或折损，环首长刀由于刀脊厚实，不易折损。二是由于制造方便和炼钢技术的进步。长剑的尖头和两侧都需要有锋利的刃，而

① 见严可均辑《全三国文》卷8曹丕《典论·剑铭》。

② 《北堂书钞》卷122引。

③ 《文选》卷22鲍昭《行药至城东桥》诗注引。

中脊又需要较厚而坚韧,因此工艺要求高,不便于大量制造。环首长刀只一侧需要锋利的刃口,制造比较方便,便于大量制作。特别是由于炒钢方法和百炼钢技术的进步,使得环首长刀的制造大为发展。1957—1958年在洛阳西郊西汉墓群的清理中,就发现23座墓陪葬有较长的环首长刀,长度从85厘米到114厘米^①。这说明西汉时期环首长刀正日渐增多。山东沂南画像石墓墓门的横额上刻有战斗图,图中作战双方除使用弓箭以外,主要格斗武器就是环首长刀^②,说明东汉末年已把环首长刀作为主要武器。从南北朝时期的壁画、画像砖来看,当时主要兵器还是环首长刀和楯。

魏晋南北朝时期,曾经出了不少炼制这种宝刀宝剑的著名冶炼家。例如晋代永嘉年间的刘懂和南朝齐、梁时的黄文庆,都是当时极著名的刀剑冶炼家。当时验看刀剑锋利的办法是这样的:把若干根“芒”(稻杪)捆为一小束,用头发丝系住这小束“芒”的杪,悬挂在一根杖头上,由一人拿着杖,由另一人用刀剑去斫这束用头发丝系在杖头上的“芒”,凡是能把“芒”斫断而发不断的才算好刀剑。据说刘懂炼制的刀剑,锋利得能够斫断这样用头发丝悬挂起来的捆为一束的十三根“芒”。而黄文庆用上虞谢平所开凿的“刚朴”(炼钢的矿石)炼成的“神剑”,比刘懂炼制的刀剑更要锋利,据说它能够斫断这样悬挂起来的捆为一束的十五根“芒”^③。

① 《考古学报》1963年第2期,中国科学院考古研究所洛阳发掘队:《洛阳西郊汉墓发掘报告》。

② 南京博物院:《沂南古画像石墓发掘报告》,文化部文物管理局1956年出版,第12页,图版24。

③ 《太平御览》卷665引陶弘景说:“而近造神剑斫十五芒,观其铁色青激,光采有异,盖薛烛所谓涣如冰之将释者矣。顷来有作者十余人皆不及此。作刚朴是上虞谢平,凿镂装冶(平声)是石尚方师黄文庆,并是中国绝手,以齐建武元年甲戌岁八月十九日辛酉建于茅山,造至梁天监四年乙酉岁,敕令造刀剑,形供御用,穷极精功,奇丽绝世。”

在我国西南的兄弟民族中,从宋代以来还多用经过百炼或数十锻的钢来制刀。南宋初年曾敏行所著《独醒杂志》卷4曾说:他在湖南见到瑶族人民的“黄钢刀”,能够一挥斩断牛腰,这种黄钢刀是经过百炼,从铁中取得“钢精”的^①。

在宋代,磁州的锻坊还有能炼百炼钢的。据沈括《梦溪笔谈》卷3《辨证一》说:

予出使至磁州锻坊,观炼铁,方识真钢。凡铁之有钢者,如面中有筋,濯尽柔面,则面筋乃见,炼钢亦然。但取精铁锻之百余火,每锻称之,一锻一轻,至累锻而斤两不减,则纯钢也,虽百炼不耗矣。此乃铁之精纯者,其色清明,磨莹之,则黯然青且黑,与常铁迥异。亦有炼之至尽而全无钢者,皆系地之所产。

从沈括这段话,可知百炼钢是由“取精铁锻之百余火”而得名,既加热“百余火”,同时又锻打百余次。所谓“精铁”,当是一种用炒钢方法取得的高碳钢材,其中含有不少渣和杂质,就是沈括所说的“柔面”。采用加热锻打的方法,可以把钢材中所含夹杂物挤出去,所以每锻一次,钢材就轻一些。等到“锻之百余火”,“至累锻而斤两不减”,说明钢材中的渣和杂质再也挤不出去了,这样就得到了质量比较纯净的钢材。所谓“斤两不减”,并不是真的绝对不减,实际上锻打时仍有少量氧化皮脱落,但为量很微,不易察觉。

但是,各地出产的钢材原料,由于矿石的成分和冶炼方法有差别,成分和质量不同。有的质量较差,所含杂质较多,特别是含硫较多,在不断加热锻造时会引起热脆,这就不可能经过“锻之百余火”而取得坚韧的钢件。沈括说:“亦有炼之至尽而全无钢者,皆系地之所

^① 明人包汝楫《南中纪闻》说:“倭奴制刀,必经数十锻,故铄锐无比。其国中,人炼一刀自佩,起卧不离,即黔蜀诸土夷亦然。土夷试刀,尝于路旁,伺水牛经过,一挥牛首辄落。”张澍《续黔书》卷6也说“苗人制刀,必经数十锻,故铄锐无比”,也还有在路旁伺水牛经过而试刀的说法。

产。”那是由于当时科学水平的限制,不可能对此作出科学的解释,只能根据经验,以为与产地有关了。沈括所说“纯钢”,“其色清明,磨莹之,则黯然青且黑”,这是指经过“锻之百余火”,钢材中杂质清除,组织均匀而细密,成为后世所说的“喜鹊青”。方以智《物理小识》卷7注引方中通说:“烧淬刀石,色白再烘之,为喜鹊青乃刚。”这种“锻之百余火”炼成的钢,因为很费时费力,成本太高,在宋代已较少见,像沈括这样杰出的科学家直到磁州参观锻坊后,才知道有“百炼钢”,而且认为“方识真钢”。其实钢并无真伪之分,只有质量上的差别。

沈括《梦溪笔谈》卷19《器用》有一段说:

古剑有湛卢、鱼肠之名。湛卢谓其湛湛然黑色也,古人或以剂钢为刃,柔铁为茎干,不尔则多断折。剑之钢者,刃多毁缺,巨阙是也,故不可纯用剂钢。鱼肠即今蟠钢剑也,又谓之松文,取诸鱼燔熟,漉去胁,视见其肠,正如今之蟠钢剑文也。

夏鼐先生解释说:

这是因为“剂钢”(指高碳钢)淬火后质硬而脆,可能当时未用回火(tempering)的方法,它的硬度适合于制成利刃,但易断折。“柔铁”是指锻铁(即熟铁)或低碳钢,硬度稍低,但坚韧而不脆,用作剑的中脊(茎干),铁剑便不易断。我国近年在战国至西汉墓中,发现铜剑和铁剑颇多。铁剑由于锈重,未作分析。但是铜剑往往是脊部的青铜含锡较少,有的呈赤色,像嵌合赤铜一条。含锡少则质柔而坚,不易断折。刃部含锡较多,质硬而脆,适合刃部的要求。……铁剑这种制造法,当源于古代的铜剑。^①

沈括认为古代的鱼肠剑和当时的蟠钢剑都是采用“以剂钢为刃,柔铁为茎干”的锻合制剑方法。所谓“剂钢”当是用灌钢冶炼法取得的中、高碳钢,所谓“柔铁”实际上是低碳钢,由于不断反复锻打,使钢

^① 《考古学报》1974年第2期,夏鼐:《沈括和考古学》。

中杂质稀少,组织细密;同时由于作为刃部的硬钢和作为茎干的软钢锻合得紧密而均匀,使得钢剑刃部坚硬锋利,而整个剑身富于韧性和弹性,不易折断。

沈括所说“以剂钢为刃,柔铁为茎干”的刀剑锻制方法,在我国古文献上没有详细的记述,但是,我们从流传在日本的“锻刀法”中还可以见到。日本的锻刀法是这样的:首先要炼成“软钢”、“中硬钢”、“硬钢”等含碳量不同的钢,以便锻制刀剑的“皮部”、“刃部”和“心部”。大体上,皮部需用硬钢,刃部需用中硬钢,心部需要软钢。这三部分的钢,都需要经过多次折叠锻打而成。折叠锻打时,或者采取直的对折办法,或者采取横的对折办法,需要经过多次反复的对折锻打。一般皮部锻制的方法,先把硬钢反复对折锻打,要反复锻打十次以上,然后再用经过五次以上反复锻打的较薄的软钢块,和硬钢块锻合,再反复对折锻打,使得这层皮部在一层层的硬钢中夹有一层层薄的软钢。在所有皮部、刃部和心部的钢都反复折叠锻制完成后,再把这三部分的钢按照刀剑的需要折叠起来锻打,其折叠的方法也有多种(参看图9-8)。总之,心部的钢要求其富于韧性与弹性,使不易折断,刃部的钢要求其耐磨而锋利,皮部的钢要求其具有一定的硬度和韧性。

这种“以剂钢为刃、柔铁为茎干”的锻合技术,我国在什么时候创造,还有待于进一步的探讨。华觉明、杨根、刘恩珠等同志在对辽阳三道壕出土西汉铁刀残段和长沙出土铁剑残段进行金相考察后指出:“其中长沙铁剑较为完整,可以看出它在各个部分含碳量不一致,并作有层次的分布,杂质的条件分布也最明显。据此可以推断,它是用类似《东洋炼金术》一书所载的将铁料层层包裹,反复锻打的方法制成的,为了使它外坚内韧,还经过淬火处理(另有铁剑残段,截面有明显的包裹痕迹,估计也是用此法做成的)”^①。从春秋末年以后,制

^① 《考古学报》1960年第1期,华觉明、杨根、刘恩珠:《战国两汉铁器的金相学考查初步报告》。

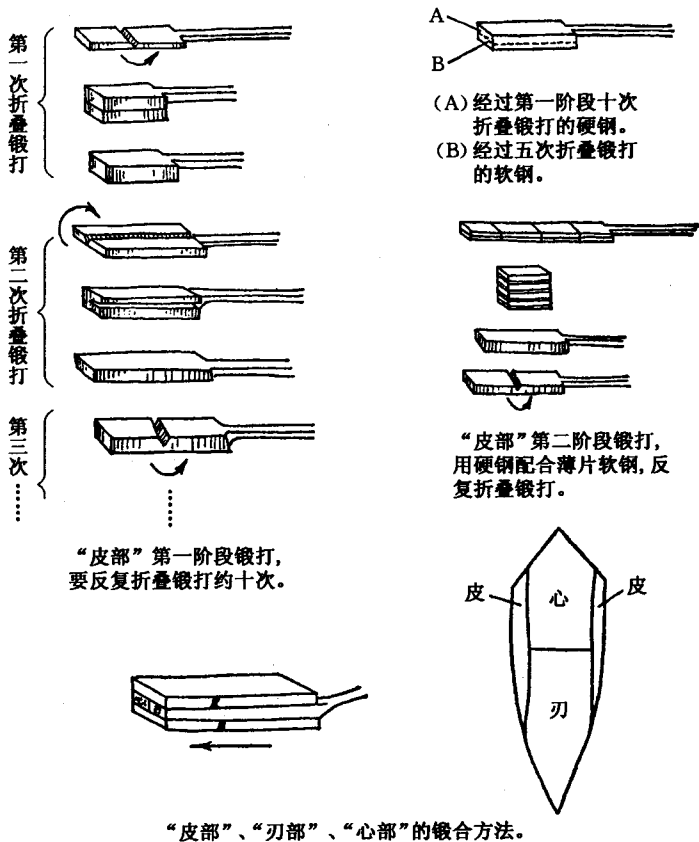


图 9-8 日本刀的锻制法
(采自日本近重真澄:《东洋炼金术》第二章第六节)

造钢剑,就采用多层薄钢片折叠反复锻打的方法,后来发展到“卅炼”以及“百炼”或“百辟”,不断有着进步。但是什么时候进一步明确采用“以剂钢为刃,柔铁为茎干”,还需要通过对古代许多钢剑、钢刀的金相鉴定,才能判明。

《梦溪笔谈》卷 21《异事》还说:

钱塘(今浙江省杭州市)有闻人绍者,尝宝一剑。以十大钉陷柱中,挥剑一削,十钉皆截,隐如秤衡,而剑锋无纤迹。用力屈之如钩,纵之铿然有声,复直如弦。关中(指今陕西省渭水流域)钟谔亦蓄一剑,可以屈置盒中,纵之复直。张景阳《七命》论剑曰:“若其灵宝,则舒屈无方。”盖自古有此一类,非常铁能为也。沈括谈到闻人绍所藏的宝剑,不但剑刃十分锋利,“挥剑一削,十钉皆截”,而且富有韧性,截去十钉之后,刃部没有一点折损,仍然“隐如秤衡”;并且极其富于弹性,“用力屈之如钩,纵之铿然有声,复直如弦”。钟谔所藏的宝剑,就更富于弹性,“可以屈置盒中,纵之复直”。这种剑所使用的钢材,已经和现代用来制作钢卷尺、带锯条、板簧、簧片的弹簧钢差不多,也该是经过百炼而成,说明当时钢的热处理加工技术已经达到很高的水平。

明代钢铁的生产量已有显著的提高。据明人朱国桢《涌幢小品》卷4“铁炉”条和孙恩泽《春明梦余录》卷46“铁厂”条,记述遵化铁冶厂的情况说:“钢铁由熟铁九炼而成。”可知明代还多“九炼而成”的钢。《天工开物》卷10《锤锻》部分说:“刀剑绝美者,百炼钢包外。”说明明代也还有百炼钢作为优质钢材。所谓“百炼钢包外”,就是把硬钢和软钢锻合的技术。明戚继光《练兵实纪杂集》的《军器解》中,指出当时步马兵所使用的腰刀,造法是“铁要多炼,刃用纯钢,自背起用平铲平削,至刃平磨无肩,乃利,妙尤在尖。近时匠役将刃打厚,不肯用工平磨,止用侧锉,将刃横出其芒,两下有肩,砍入不深,刀芒一秃,即为顽铁矣。”所说“铁要多炼,刃用纯钢”,当是刀脊使用低碳的软钢,刃部使用高碳的硬钢,加以锻合而成。

第十章 “灌钢”冶炼法的发明和发展

一 “灌钢”的起源及其冶炼技术的进步

中国早期冶炼钢铁技术,最突出的成就,就是“灌钢”冶炼法的创造。在世界上坩埚制钢法发明以前,钢铁冶炼技术还停留在用熟铁低温冶炼的阶段,由于温度不能提高,钢铁不能熔化,钢液不流动,就产生铁和渣滓不容易分离的问题和碳分不能迅速渗入的问题。必须经过百炼才可能得到纯钢,这样所花费的人力和时间是很多的,不可能生产大量的钢铁。由于中国古代劳动人民的辛勤劳动,在冶炼钢铁技术上积累了不少经验,不断地发挥创造能力,很早就发明了灌钢冶炼方法。这种冶炼方法,利用生铁的铁液灌入未经锻打的熟铁,能使碳分较快地、均匀地渗入。只要配好生铁和熟铁的比例,就能比较准确地控制钢中含碳量,再经反复锻打,就可以使质地均匀,炼成质量较好的钢铁。这是成本较低、工艺简便而比较能保证质量的一种炼钢方法。这种独特的炼钢方法,是我国早期炼钢技术上一种创造性的成就。

这种具有创造性的灌钢冶炼方法,至少南北朝时在南方已经普遍应用了。《重修政和经史证类备用本草》卷4《玉石部》引梁陶弘景说:“钢铁是杂炼生铄作刀镰者。”所谓“生”就是指生铁,所谓“铄”就

是指熟铁，“杂炼生铁”就是把生铁和熟铁混杂起来冶炼。《重修政和经史证类备用本草》又引宋代嘉祐年间苏颂所著的《本草图经》说：“以生柔相杂和，用以作刀剑锋刃者为钢铁。”明人唐顺之《武编·前编》卷5《铁》条说：“熟钢无出处，以生铁合熟铁炼成。”明末宋应星《天工开物》卷14《五金》部分说：“生熟相和，炼成则钢。”方以智《物理小识》卷7《金石类》说：“生熟相炼则钢。”所说的也都是同样的意思。

究竟用什么方法把生铁和熟铁混杂起来冶炼呢？东魏、北齐间（公元550年左右）有个讲究道术的人叫“綦母（双姓，亦作綦母）怀文”的，曾经炼造一种“宿铁刀”。所谓“宿铁”就是后世所说的灌钢。《北史》卷89《艺术列传》说：“怀文造宿铁刀，其法烧生铁精，以重柔铤，数宿则成刚。以柔铁为刀脊，浴以五牲之溺，淬以五牲之脂，斩甲过三十札。今襄国冶家所铸宿柔铤，是其遗法，作刀犹甚快利，但不能顿截三十札也”（《北齐书》卷49《方伎列传》所载略同）。这里所说“柔铤”是柔铁（即熟铁）的原料，也就是今天所谓“料铁”^①，“宿”是说生铁熟铁如同雄雌两性的动物宿在一起交配，就是《天工开物》解释灌钢所说“生钢（铁）先化，渗淋熟铁之中，两情投合”。这是说：把生铁烧出精液来，让精液灌注到熟铁的原料中，经过几度交配之后就成钢铁。“宿铁”就是由此得名的。綦母怀文用柔铁来作刀脊，是为了使刀有弹性韧性；他用牲畜的溺和脂来浴淬，是为了使刀刚利。这样炼造“宿铁刀”，是很合于冶金原理的。清代学者成瓘在所著《菑园日札》卷6“琐语琐事之沿”中，认为“此灌钢之始”，是很有见识的。

这种灌钢冶炼法，大概晋代已经发明，南朝齐、梁时代的医学家和道教思想家陶弘景（约公元452—536年）已经把它作为炼钢的主要方法记录下来。北朝东魏、北齐间的道术之士綦母怀文也曾用灌

^① 许慎《说文解字》：“铤，铜铁朴也。”朴是“原料”的意思。

钢冶炼法炼制成质量很高、十分锋利的钢刀,这种炼制方法后来在襄国(今河北省邢台县西南)一带长期为冶炼家所采用。一种生产技术从发明到普遍应用,成为主要生产技术,是需要经历一段改进和推广的时间的;而从发明达到高水平,更必须经过不断的实践,从实践中取得改进的经验的。由此可以知道灌钢冶炼法的发明必然远在南北朝之前。但要确定这种炼钢方法的发明年代,还有待于对魏晋时代的钢制品作出科学的检验分析。

西晋张协《七命》说:

大夫曰:楚之阳剑,欧冶所营。邪溪之铤,赤山之精。销逾羊头,镞(或作镞)越锻成。乃炼乃铄,万辟千灌。丰隆(雷神)奋椎,飞廉(风神)扇炭。神器化成,阳文阴纒。流绮星连,浮彩艳发。光如散电,质如耀雪。霜锷水凝,冰刃露洁。……此盖希世之神兵,子岂能从我而服之乎?①

除去其中描写的神秘色彩,我们可以看到当时宝剑的冶炼方法。“销逾羊头”的“销”当指生铁,《淮南子·修务篇》:“羊头之销”,许慎注:“销,生铁也”②。“镞越锻成”的“镞”是指经过锻制的熟铁。“乃炼乃铄”,“炼”是说烧炼,“铄”是说熔化。“万辟千灌”,“辟”是“𠄎”的假借字,是𠄎积折叠的意思,指反复折叠锻打;“灌”应该指熔化的生铁水灌注到熟铁之中。“乃炼乃铄,万辟千灌”,当是形容灌钢的冶炼进程。“万辟千灌”是说“辟”的次数要比“灌”多,因为灌钢仍然是使用固体原料炼成的,不能熔成钢液,还是需要不断地锻打,使组织均匀并挤出杂质,因此后道工序仍然保留着百炼钢需要反复锻打的特点。

这种灌钢冶炼法,当是劳动人民在炒钢的实践过程中逐渐创造

① 《文选》卷 35 张协《七命》;《晋书》卷 55《张协传》。

② 《文选》卷 35 张协《七命》李善注引许慎《淮南子注》。

出来的。用生铁炒炼成钢,所用火候和保留的含碳量是比较难掌握的;如果炒炼“过火”,含碳量过低,就不能炼成含有一定含碳量的钢。因此遇到炒炼“过火”时,就变成熟铁,不免要重新加入一些生铁加以补救。这样把生铁和熟铁同时炒炼,冶炼工人就逐渐掌握“杂炼生铁”的炼钢规律,进一步地创造了这种灌钢冶炼法。

与此同时,这种具有创造性的灌钢冶炼法的发展,该和当时讲究方术的道家有关。道家的方术,着重讲究的是“炼”,如炼气功、炼丹、炼金银、炼刀剑等。因为他们讲究“炼”,的确“炼”出了不少新的科学技术。由于他们炼气功,发展了气功疗养法;由于他们炼丹和炼金银,创造了原始的化学;由于他们炼刀剑,提高了炼钢技术。他们炼丹和炼金银的目的,本来在于制成仙药和炼成金银,虽然他们本来的目的没有达到,但是由于不断地用各种矿物配合和烧炼,发现了不少秘密,创造了不少新东西。他们炼丹、炼金银多在深山古洞,经常在高山峻岭人迹罕至的地方采集药物,为了避免野兽的侵害,需要佩带弓箭。所谓“凡学道术者,皆须有好镜剑随身”^①。他们很讲究锻炼宝剑,例如南朝的陶弘景,他不但是个炼丹家和药物学家,著有《本草经集注》,而且是个锻炼刀剑的专家,著有《太清经》,一名《剑经》^②,《太平御览》卷 665 也引有他有关刀剑的长篇大论。道家在炼丹和炼金银的过程中,运用多种矿石和金属作化合试验,必然会丰富冶金的知识,提高冶金的技术。这种用生铁熟铁相和炼的灌钢冶炼法,该就是道术之士在劳动人民冶炼经验的基础上,经过炼制宝刀宝剑的实践而进一步提高了。我们前面所谈的,那个在北朝最先推行灌钢冶炼法、炼造“宿铁刀”的綦母怀文,就是个道术之士,可为明证。

南北朝时代这种灌钢冶炼法的发展和推广,使得钢的生产率有了较大的提高,使得钢较普遍地用到农具和手工业的工具上,隋、唐

①② 见唐李肇《尚书故实》。

以后生产力的大幅度的提高该与此有关。

到宋代,这种灌钢冶炼法已在全中国范围内流行,作为主要的炼钢法了。苏颂《本草图经》说:“以生柔相杂和,用以作刀剑锋刃者为钢铁。”说明宋代用作刀剑锋刃的钢材,都是灌钢。宋代沈括《梦溪笔谈》卷3《辨证一》说:“世间锻铁所谓钢铁者,用柔铁屈盘之,乃以生铁陷其间,封泥炼之,锻令相入,谓之团钢,亦谓之灌钢。”这里的“柔铁”,是炒炼生铁所得的熟铁。这是说:在炼钢炉中把熟铁条屈曲地盘绕着,把生铁片嵌在盘绕的熟铁条中间,用泥把炉密封起来烧炼,待炼成后再加锻打,这样灌钢就炼制成功了。采用泥封办法,主要是为了防止加热时氧化脱碳。人们利用生铁的含碳量高和熔点低,可以在温度较低时先熔化,让生铁的铁液灌入四周盘绕的熟铁中,使熟铁中所含的碳到达适当的分量,终于转变成为品质较纯的钢铁。因为这种钢的冶炼方法的主要特点,是用生铁液灌注熟铁,所以称为“灌钢”。又因为这种钢的冶炼方法是用生铁和熟铁团结起来炼成的,所以又称为“团钢”^①。

到明代,这种灌钢的冶炼方法又有提高。明末方以智《物理小识》卷7《金石类》说:“灌钢以熟片加生铁,用破草鞮盖之,泥涂其下,火力熔渗,取煅再三。”这是说,用熟铁片加上生铁,用泥涂的破草鞋盖住,运用炼钢炉的火力,使生铁的铁液“熔渗”到熟铁片中,再加锻打,便可炼成灌钢。明末宋应星《天工开物》卷14《五金》部分说得比较详细,他说:“凡钢铁炼法,用熟铁打成薄片如指头阔,长寸半许,以铁片束包尖(夹)紧,生铁安置其上(原注:广南生铁名堕子生钢者,妙甚),又用破草覆盖其上(原注:粘带泥土者,故不速化),泥涂其底下。

^① 李恒德先生《中国历史上的钢铁冶金技术》(《自然科学》1卷7期,1951年12月出版),解释灌钢制作技巧,说是“把强度高、硬性高的生铁嵌在柔铁里锻打成一种兼有韧性和硬度的制成品。这种锻的方式演变成后世的夹钢”。这是错误的。

洪炉鼓鞴，火力到时，生钢(铁)先化，渗淋熟铁之中，两情投合，取出加锤。再炼再锤，不一而足。俗名‘团钢’，亦曰灌钢者是也。”这是说：先把熟铁打成薄片像指头阔，长一寸多光景，把若干熟铁薄片夹紧捆住，放在炼钢炉中，用一片生铁放在上面，再把破草鞋鞋底涂了泥，盖在上面。随后就把炼钢炉鼓风，等到温度到达一定度数，生铁便先熔化成铁液，渗淋到下面的熟铁中。等到渗淋完毕，就取出来锻打。这样，一次锻炼的过程才算了结。接着还需要再炼再锻。明代灌钢的冶炼方法和宋代不同的是：(1)不用泥封而用涂泥的草鞋遮盖；(2)不把生铁片嵌在盘绕的熟铁条中，而是把生铁片盖在捆紧的若干熟铁薄片上。他们不用泥封而用涂泥草鞋来遮盖，一方面是使炼钢炉依然能够从空气中得到氧，使生铁在还原气氛下熔化；一方面是使大部分火焰反射入炉内，以提高冶炼温度。他们把熟铁打成薄片后夹紧捆住，无非使生铁的铁液能够灌到若干熟铁薄片的夹缝中，增加生铁和熟铁的接触面，使熟铁易于吸收生铁的铁液，能够使碳分均匀地渗入，这是冶炼方法的进一步的改进。宋应星从原理上概括说：“凡铁分生熟，出炉未炒则生，既炒则熟，生熟相和，炼成则钢。”

这种灌钢冶炼法，明代在福建的安溪、湖头、福鼎、德化等处还很流行。顾炎武《天下郡国利病书》的福建部分说：

凡炼铁，依山为窑，以矿与炭相间，乘高纳之。窑底为窠，窠下为渠。炭炽，矿液流入渠中者，为生铁，用以模铸器物。复以生铁再三销拍，为熟铁。以生熟相杂和，用作器械锋刃者，为刚铁也。今安溪、湖头、福鼎及德化等处，尚有业作者。

所谓“以生熟相杂和”，便是灌钢冶炼法。李时珍《本草纲目》卷8《金石部》说钢铁共有三种：“有生铁夹熟铁炼成者，有精铁百炼出钢者，有西南海山中生成状如紫石英者。”这里所说的第一种钢铁，即“生铁夹熟铁炼成者”，就是指灌钢。这里所说的第三种钢铁，是依据《宝藏论》的说法，李时珍曾引《宝藏论》说：“钢铁生西南瘴海中山石

上,状如紫石英,水火不能坏,穿珠切玉如土也。”实际上天然的钢铁是不存在的,这是金刚石(俗称“金刚钻”)的误传^①。

中国自从冶炼生铁技术推行以后,一般炼高碳钢的技术有两种,一种是“精铁”炼成的百炼钢,一种就是生铁和熟铁混杂炼成的灌钢。根据上面所引陶弘景、苏颂、唐顺之、方以智、宋应星等人的话,他们谈到冶炼钢铁的方法时,都只举出了冶炼灌钢的方法,可知从南朝起一直到宋代、明代,这种炼钢法已逐渐成为炼钢的主要方法。沈括在《梦溪笔谈》卷3《辨证一》中论到钢铁,也说当时人所谓钢铁都是指灌钢。因为这种炼钢法比较简便,比较进步,所以百炼钢的方法已居于次要地位。沈括因为在磁州锻坊中见到了当时不常见的百炼钢冶炼方法,因而认为百炼钢才是“真钢”,而灌钢乃是“伪钢”。他曾说:“此乃伪钢耳,暂假生铁以为坚;二三炼则生铁自熟,仍是柔铁。然而天下莫以为非者,盖未识真钢耳。”这个说法是完全不正确的。钢铁(中碳钢和高碳钢)和熟铁的区别,在于钢铁的含碳量较高而没有杂质,根本无所谓“真钢”、“伪钢”。这种灌钢冶炼法能够“假生铁以为坚”,正是它的巧妙处。宋代曾敏行《独醒杂志》卷4说:“今人才以生熟二铁杂和为钢,何炼之有?”这样的看法也是不正确的。因为古人不懂得炼钢过程中的变化,不了解灌钢冶炼法的原理,因而就产生不正确的看法。其实灌钢冶炼法的巧妙,不仅在于利用生铁水作渗碳剂,“假生铁以为坚”,而且利用它和熟铁中渣滓发生氧化作用,把渣滓除去。沈括说灌钢经过二三炼“仍是熟铁”,其实任何中碳钢或高碳钢,如果用烈火炒炼,把其中碳分烧掉,都是要变成低碳钢的,不仅灌钢是如此。明人唐顺之《武编·前编》卷5《铁》条,也曾讨论到

① 《旧唐书》卷198《西戎传》说西戎“有金刚似紫石英,百炼不销,可以切玉”。章鸿钊《石雅》卷上《金刚》条说:“纪元后一世纪时,棣奥司诰梨堤氏曾别金刚为四种,其第三种如铁,谓之铁质金刚。……要之金刚与铁,世常相混,至中古世犹然。”

这点：

人谓久炼则生铁去而熟铁存，其性柔，颇似不然。盖生铁虽百铸，所折甚少；熟铁每一铸，所折甚多；其去其存，不知其孰多而孰少也。人有谓团钢久则钢脆，与性柔之说相反。

其实，灌钢冶炼法使用生铁灌注熟铁，结果使生铁和熟铁经过变化，都变成了钢，并不存在“其去其存”、“孰多孰少”的问题。灌钢既不是“久炼则生铁去而熟铁存，其性柔”，也不会“久则钢脆”。

二 明清以后“苏钢”冶炼技术及其传播

明、清以后流行的“苏钢”冶炼法，是灌钢冶炼法的进一步发展。它比灌钢冶炼技术有了改进。当炉温在摄氏 1 300 度左右的时候，炉里的生铁熔化，铁水均匀地滴淋入料铁的疏松的蜂窝中，不但能够起均匀的渗碳作用，还能与存留其中的氧化渣发生强烈的氧化作用，使渣和铁分离，渣浮于表面而逐渐流出体外，这样便能得到含渣少而成分均匀的钢材。

明唐顺之《武编·前编》卷 5《铁》条所说“熟钢”，就是灌钢：

熟钢无出处，以生铁合熟铁炼成。或以熟铁片夹广铁（案即广东生产的优质生铁），锅涂泥，入火而团之^①；或以生铁与熟铁并铸，待其极熟，生铁欲流，则以生铁于熟铁上，擦而入之。此钢合二铁，两经铸炼之手，复合为一，少沙土粪滓，故凡工炼之为易

^① “或以熟铁片夹广铁，锅涂泥，入火而团之”，这是说，把熟铁片夹着广铁（即优质生铁），装入锅中，锅口涂泥密封，然后入火加热，使生铁先熔化，和熟铁片团结起来，炼成灌钢。最近华觉明同志来信指出：“锅涂泥，似解释不通。铁锅连读，可释为用熟铁片夹着钢铁片合炼，因为锅铁片很薄，又是优质生铁，适用于炼灌钢，而广东又是盛产铁锅的。”这个解释，可备一说。

也。……此二钢久炼之，其形质细腻，其声清甚。（明茅元仪《武备志》卷 105 同）

这里叙述了两种灌钢的冶炼方法，前一种“以熟铁片夹广铁”，“入火而团之”，就是前举方以智、宋应星所说的方法，当是明代最流行的一种方法。后一种“以生铁与熟铁并铸”，等到“生铁欲流”时把生铁水擦入熟铁中，当是灌钢冶炼法的进一步发展，也就是流传在今四川等地的苏钢冶炼法^①。唐顺之是明代嘉靖年间的人，可知，至少明代中期（15—16 世纪之间）这种苏钢冶炼法已经发明了。

这种苏钢冶炼法，曾盛行于安徽芜湖。《嘉庆芜湖县志》（陈春华纂本）卷 1 曾说：“芜工，人素朴拙，无他技巧，而攻木攻革刮摩埴埴之工皆备，然不能为良，惟铁工为异于他县。”又说：

居于廬冶钢业者数十家，每日须工作不啻数百人。初锻熟铁于炉，徐以生镬下之，名曰倭铁，倭饱则镬不入也。于时渣滓尽去，锤而条之，乃成钢。其工之上者，视火候无差，戒手而试其声，曰若者良，若者楛。其良者扑之皆寸断，乃分别为记，囊束而授之客，走天下不啻也，工以此食于主人倍其曹，而恒秘其术。

这里所谓“生镬”，即是生铁板。所谓“以生镬下之”，就是以生铁水淋熟铁，如同把生铁水喂给熟铁吃一般，因而“名曰倭铁”，如同今四川威远所谓“吃生”。由于高温的生铁水和熟铁中的渣滓起氧化作用，能够除去渣滓，结果“渣滓尽去”。当时掌握这种技术的人，全凭经

① 凌业勤《“生铁淋口”技术的起源、流传和作用》（《科学史集刊》第 9 期，科学出版社 1966 年出版）分析唐顺之《武编·前编》卷 5《铁》条说：“从这段文字叙述里似乎谈炼钢法，作者认为这种作法只在表面熔覆一薄层生铁，渗碳层也仅及表层，如要炼团钢，大可不必这样作，而对已成器形的工件，将有很好的功效，证之今天手工业中的刨板擦生，方法完全相同，所以尽管唐氏并列在炼钢法内，似可认作擦生工艺看待。”我认为这个看法不正确。唐氏明明说：“以生铁与熟铁并铸”，等到“生铁欲流”，就把生铁放在熟铁上，让生铁液“擦而入之”。这很明显就是后来流传的“苏钢”冶炼法，和使用在工具的刃部的“生铁淋口”技术是有区别的。

验,有丰富经验的工人可以观察火候来操作,并可以鉴定成品的好坏。因为当时全凭一代代的把经验传授下来的,有经验的工人可以得到较高的待遇,因而有经验的老师傅往往“秘其术”。芜湖这种炼钢业,到咸丰年间也还很盛。《民国芜湖县志》(鲍寔等纂本)卷35曾说:“钢为旧日驰名物产,咸丰后尚存炼坊十四家,均极富贵。”

据张九皋先生的调查,芜湖的炼钢业,远起于南宋初年。据说在北宋末期,山东曲阜有精于炼钢的铁工濮家兄弟七人,因金兵南侵,激于义愤,相约分别从军,从事炼制武器。兄弟七人分别随军转战南移,于南宋初期分别在安徽的芜湖、凤阳、和州、当涂、江苏的溧水、苏州、常州、浙江的嘉兴成家立业,来到芜湖的是老七。濮七先住于古城东南郊的百家店镇,炼制钢铁,因炼制的钢铁品质优良,业务发达,人们称百家店为濮家店。到南宋中期,濮七的孙子濮万伦,积累了丰富的炼钢经验,精于“听钢”(即敲击钢的声音,就能鉴别它的优劣)。到明代中叶,由于社会经济的发展,芜湖专业炼钢的钢坊开始扩大,濮家的濮万兴钢坊就从濮家店迁到古城西郊濮家院(在今市区明城以内,与铁石墩、铁锁巷毗连),以便取西湖水淬钢。后来因炼钢业发展,加之明城筑成后用水不便,濮万兴又在西城外七更点设置总作坊,以濮家院为东作坊。在乾隆、嘉庆年间,是最盛的时期,又增设西作坊,并在石桥港西面(即今花津路)建筑白石浴池,专供本坊工人沐浴,可见工人人数之多。

从明代中叶到清代初期,芜湖大钢坊发展到八家,除濮万兴以外,著名的有葛永泰、马万盛两家,这两家都是从南京迁来的,葛家在先,马家在后。葛永泰钢坊开设于西湖池东面,即今太阳宫(古名北极星阁)湖滨街附近。马万盛钢坊最初开设于市区城内堂子巷中段,离濮家院很近,后来也因用水不便,迁到七家点。当时炼钢业所以会集中到芜湖来,是因为芜湖邻境的繁昌、当涂两县都产铁,皖南山区产木炭,而芜湖的水道交通较便利。不但芜湖的钢坊多数是从南京迁

来的,炼钢工人也都是来自南京周围的江宁、句容、溧水、当涂。从康熙到嘉庆年间,芜湖大钢坊发展到十八家,小型的还没有计算在内,单陈姓钢坊一家,就发展成为五家:陈奎泰、陈元泰、陈祥泰、陈京泰、陈茂源。到嘉庆六年,清政府就对钢坊加强统制,曾饬令芜湖关道宋镛详定运销章程,责令各钢坊出具连环互结,公布坊票,认明熟客,指定售卖地方,并将钢斤数目、商贾姓名,填写票内,具结,就近呈送关道衙门编号钤印,验明放行。同时钢坊也正式成立公所,并在城内薪市街建筑公所,专人办理章程中所规定的事项。这时芜湖炼成的钢,行销七省之广,最远是山西省。濮万兴总作坊设有客舍,招待各省顾客食宿,钢款的汇划和现银的解运,都由票号办理。芜湖最后一家山西人开的三晋源票号(在三圣坊兴隆巷内),在七十年前芜湖炼钢业完全衰落时,才迁回山西^①。

相传苏钢是由江苏人发明的,所以称为“苏钢”。在明、清时代,芜湖的苏钢冶炼业为最盛,而芜湖有不少大钢坊是由南京迁去的,炼钢工人也多数来自南京周围的地区。这种炼钢技术全凭父亲传儿子、师傅传徒弟一代代传下来的,老师傅是不肯随便教人的,所谓“恒秘其术”,而明、清时代的苏钢冶炼工人既然都出于江宁、句容、溧水等地,那么,这个苏钢冶炼法创自江苏人的传说,应该是有根据的。自从灌钢冶炼法在南朝推广以后,在江苏地区该是比较流行的,首先记述灌钢冶炼法的陶弘景便是南朝秣陵(即今江宁县)人,隐居于句曲山(在今句容县东南)的。由灌钢冶炼法发展出来的苏钢冶炼法,发明于江苏地区,该不是偶然的。

明、清时代芜湖所以会成为苏钢冶炼业的中心,不仅由于附近出产原料,交通方便,更由于苏钢冶炼工人多出在其所附江苏地区。此后苏钢冶炼法的传布,也都是由芜湖传布开来的。这种苏钢冶炼法,在清代

^① 以上资料见《安徽史学通讯》1959年第3期,张九皋:《濮家与芜钢》。

乾隆年间曾由陶裕盛传授到了湖南湘潭,使得湘潭也逐渐成为苏钢冶炼业的中心之一。1935年出版的《中国实业志(湖南省)》第七篇说:

湘潭产钢,名曰苏钢,……质地较优。该业起自前清乾隆年间,由芜湖陶裕盛传授来湘。至咸丰时,湘潭之苏钢坊,计有四十余家。所产之钢,销于湖北、湖南、河南、陕西、山西、山东、天津、汉口、奉天(今辽宁省)、吉林等地,殊见畅旺,亦为湘潭苏钢业之黄金时代。迨光绪年间,亦受洋钢进口影响,贸易渐渐缩小,钢坊相继停闭(至宣统初年,只余六家,且所出之货,销路滞迟,营业奄奄不振)。

可知湘潭的苏钢,曾经在清代中期盛极一时,行销很广。1870年6月德人李希霍芬写给米琪的信曾说:“山西不炼钢,所用的钢全部来自芜湖和汉口。”李希霍芬在1882年所著《中国》一书卷2也说:当时山西所用钢,一部分是中国的,一部分是欧洲的,由汉口和芜湖购进,但欧洲的钢过脆,因此要同软铁掺合使用^①。当时由汉口运销各地的钢,其中该有不少是由湘潭生产的。近代流行于四川等地的苏钢冶炼法,可能是由湘潭传往的。

周志宏先生于1938年在重庆北碚金刚碑附近的一个炼钢厂内,曾对这种苏钢冶炼法作了一次比较深入的调查研究。这里炼钢的炉子称为抹钢炉,高约0.7米左右。炉前部炼钢部分用砂石砌成,并衬以沙泥;炼钢炉的结构形似陶甗,上部有沙泥捏成的盖板。炉底作狭长方形,由四根熟铁条平列构成,中间露出三孔,使空气和渣滓上下可以畅通。鼓风设备是平列的两个风箱,系用砂石砌成,截面成三角形(参看图10-1)。炼钢时,先把未经锻打的熟铁(即料铁)两条放入炉中红炽的木炭中,加盖鼓风。2分钟后,即去炉盖,用火钳钳住一块长方形的生铁板斜搁于炉口内,继续用力鼓风,这时温度升高达

^① 见彭泽益编《中国近代手工业史资料》第2卷第140、143页。

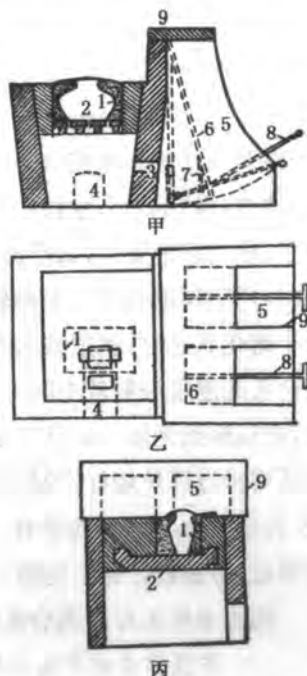


图 10-1 四川重庆冶炼“苏钢”的抹钢炉

(采自《科学通报》1955年第2期周志宏《中国早期钢铁冶炼技术上创造性的成就》)

甲 正中截面图 乙 平面图 丙 横中截面图

1. 炉膛及膛壁上涂泥砂
2. 炉桥
3. 进风口
4. 灰渣出口处
5. 连续性风箱
6. 风叶
7. 活门
8. 送风柄
9. 风箱墙

1 000摄氏度左右。3 分钟后，斜搁在炉口内的那块生铁板的一端开始熔化，从炉口喷出的火焰中夹有生铁板的火花，温度约在1 300摄氏度左右。这时炼钢工人使用左手握大钳夹住生铁板左右移动，使熔化下滴的铁液均匀地滴在熟铁上，发生强烈的氧化作用，同时用右手执钢钩不断翻动熟铁，使熟铁各部分能均匀地尽量吸收铁液。6 分钟后，一块生铁板熔化淋完，接着就用第二块生铁板斜搁在炉口内。4 分钟后，就进行第二次淋铁，到生铁板淋完为止。到这时，淋铁工作完毕，把淋过铁的生铁板夹到砧上锻打，除去熔渣，使成为钢坯，俗称“钢团”。接着便把钢团放到炼炉（俗称“抽条炉”）内加热，锻打成钢条，在钢条尚呈红色时投入冷水中淬冷。这样炼成的钢，内外部成分相差很微，含渣很少，磷、硫也有显著的降低，除了锰、矽成分低

外,其他成分完全合乎碳素工具钢的成分。在半流体状态冶炼过程中能得到这样的钢,已是很杰出的^①。

这种苏钢冶炼法,在四川省威远县也已有较久的历史。威远县的抹钢炉,结构和重庆市的差不多,操作过程也差不多。当地工人把“料铁”叫做“钢坯”,生铁板叫做“抹板”,装炉时把钢坯放在炉心,顺四条、横两条地安放,又把抹板放在钢坯上烧着。当钢坯接近软化状态时,用钢勾把钢坯不断翻转,使受热均匀,叫做“勾钢”。等到钢坯呈半熔化状态时,就把铁水滴入抹板上,先滴钢坯两头,再滴中间,因为两头的温度一般较中间上升得快,这叫做“吃生”。“吃生”要吃两次,在观察到钢坯增碳已经足够时,就停止“吃生”,把钢坯钳出。钢坯还要经过炼炉烧红,锻打成一定的形状。抹板一般都采用高锰生铁(含锰3%—4%),加热在1 150—1 250度之间,这样就可以增碳和增锰,得到较好的工具钢^②。

周志宏先生对苏钢冶炼法曾作深刻的分析。他说:

依据作者的实地考察和取样检验的结果,可以肯定说:这种炼钢方法是和世界工业先进国家早期的炼钢方法不同,它们过去所有熟铁渗碳钢等方法,我们都有,可是上面所说的炼钢方法,在国外还没有类似的发现,显然是一种创造性的发明!必须指出:这种方法设备很简陋,材料单纯,原料消耗很大,但整个的操作过程却能适合现代的冶金原理。不用坩埚而创造出一种淋铁氧化的方法使渣铁分开,成为比较纯的工具钢,这是中国古代先进炼钢工作者的智慧结晶。他们利用生铁的高碳和低熔点,可以在低温时熔化,成滴地滴入料铁,同时也由于料铁疏松,易于吸收铁

① 《科学通报》1956年第2期,周志宏:《中国早期钢铁冶炼技术上创造性的成就》。

② 见四川省工业建设经验交流展览会编《土法冶炼》,重庆人民出版社1958年版,第4篇《威远钢铁厂土法炼钢技术操作经验》。

液,并使其分散成为无数小珠流入料铁内各个蜂窝中,与存留其中的氧化渣紧密地发生作用,并迅速地除去杂质,减低碳分,这时渣铁分开,渣浮于表面,逐渐流出体外,而铁液中碳分降低到相当程度,即不再流动,而留于海绵体内,直至全部空隙填满,渣子流去,一个不含渣的钢团就被冶炼成功了。这种利用料铁的结构来分散渣和铁液至极细小的个体,以达到增加接触面和氧化速度的方法,与近代白林快速炼钢法在原则上是没有什么区别的。依据对成品的检查,缺点是有的:如硬度上有点参差,钢团的表面还有空隙,个别部分尚有炉渣存在。但在半液体状态下很难做到严格的控制,所以还是含渣少、成分均匀的产物。这里值得我们注意的是在成分方面:除锰、砂均低外,其他都与碳素工具钢的成分完全相似。至于磷、硫特低的原因,系由于原料的磷、硫已在炒料时去其一部分,在抹钢时又去其一部分,故含量特低。在低温度时,在含多量氧化铁渣的作用下,这是可以做到的,但渣杂的去除,碳分的适合与均匀,完全依赖于液体铁珠的大小和降落的频数的控制,以及温度的调节。在这方面熟练工人的操作,也是值得称道的。他们凭自己的丰富经验来看炉内的火色,利用鼓风的缓急来调节温度和作用的快慢,在当时没有新式科学的测温设备,单凭经验来控制,不能不说是一种杰作。从产品所显示的细小颗粒及均匀的淬硬断面,与近代工具钢几乎完全相似,所以中国早期钢铁冶炼的技术是符合科学的原理的。

我们从这个分析中,可以了解这种苏钢冶炼法的巨大成就。

三 “生铁淋口”技术的发明和流传

更值得重视的,就是在明代锻制工具和兵器的锋刃时,采用了

“生铁淋口”的方法,使锋刃具有钢铁组织的表面层。这个方法所应用的原理是和苏钢冶炼法相同的,也应该是灌钢冶炼法的进一步发展,也是中国人民在炼钢技术上独到的创造。

宋应星在《天工开物》卷10《锤锻》部分叙述锄钁制造方法时说:“凡治地生物,用锄、钁之属,熟铁锻成,熔化生铁淋口,入水淬硬,即成刚劲。每锄钁重一斤者,淋生铁三钱为率,少则不坚,多则过刚而折。”这种“生铁淋口”的方法,就是利用熔化的生铁作为熟铁的渗碳剂,使这种熟铁的刀口的表面有一定厚度的生铁熔复层和渗碳层,渗碳层具有高碳钢的组织,所以这种熟铁制的刀口,用“生铁淋口”法处理后,再加上淬火处理,就能“刚劲”。这种炼制工具钢刃的方法,既不需要夹进炼好的钢条,又不需要把工具加以熔化,而利用了炼钢原理,很巧妙地用“生铁淋口”的方法使工具具有钢刃,不但方法简捷,而且节省很多时间,这又是我们祖先在制造生产工具上的一个创造性成就。

这种生铁淋口技术,四百多年来在民间流传很广,几乎遍及全国。凌业勤先生曾赴山西、河北、山东、江苏等省进行实地调查,看到这项技术仍然广泛用于农具制造,并听到不少老农对“擦生”农具如锄、铧、镢、耨等给以很高评价,认为既耐磨而又韧性好,因而锋刃快,经久耐用。这种传统工艺,各个地区有各自传统的操作习惯,所用来“淋口”或“擦生”的生铁材料也有不同。如山西省使用疙瘩犁镜铁片、古庙钟铁、古建筑铁柱铁瓦、锅铁、秤砣铁等等;山西阳泉地区使用坩埚炼铁法炼制成的高碳灰口铁条。根据化验分析,这种生铁材料含碳量很高(3.5%—4%)而含硅量很低(0.04%—0.12%),是一种高碳低硅的生铁。这种生铁材料的性能是:熔点低(1130度左右),流动性好,渗碳作用强,硅低使生铁不容易析出石墨。有了这些性能,擦生工艺便容易进行,产品质量可以得到保证。他们所以要搜集古代铁器作为擦生的生铁原料,就是因为我国古代铸造的铁器基

本上都是高碳低硅的生铁。所要擦生的农具本体是含碳量在0.25%以下的熟铁或低碳钢,要烧到1200度左右为合适,过低渗碳作用不强,过高则本体将严重脱碳,材料发疏而脆。整个擦生的时间,包括加热、擦生、淬火等等,大约4—5分钟,而生铁液擦上的时间仅为20—30秒钟。操作者的动作要求敏捷而准确,否则会擦不匀,表面凹凸不平,影响质量。淬火前,工件要凉到樱红色,估计温度在750—800度左右。入水淬火的时间约5秒。经过修边开刃,便成为一件耐磨而又韧性好的农具。每3市斤重的锄要淋生铁4.5市两,也就是每重1市斤要淋生铁1.5市两。《天工开物》说:“每锹锄重一斤者,淋生铁三钱为率。”所淋的生铁液只有现在的五分之一。这是因为宋应星所说的只淋农具的刃口部分,而现在大多是全面淋擦的。

这种生铁淋口技术的作用,有人认为是渗碳^①,也有人认为是渗碳兼生铁堆焊^②。凌业勤先生从北京昌平农具厂出产的“双枣花”名牌锄板左上角截取试样的过渡层金相照片进行了分析,其外层是白口生铁熔覆层,厚度约0.14毫米;其次为高碳钢层,厚约0.11毫米;再其次是过共析层,厚度约0.23毫米;更其次为亚共析层,也就是向本体金属过渡的一层,厚约0.15毫米。他进一步说:

可以初步认为最外面为白口生铁熔复层,在高温下与本体金属表面层熔合良好,从图像上可以清楚看出,所以同堆焊有所不同,也不能单纯理解为渗碳作用,因为它覆着一层生铁,起了耐磨的作用。所用的擦生材料含碳量高达4%左右,而本体金属含碳量在0.25%以下,两者间的碳分浓度差距很大,高温下碳元素迅速扩散到本体金属中去,形成了渗碳层,渗碳层与生铁

① 见《压力加工与热处理》1959年第10期,黄尧仁:《我国古代的金属学与钢铁热处理技术》。

② 见《中国农机学报》1963年6卷3期,袁绍华:《擦镔处理及其在犁铧上的应用》。

熔覆层总起来就叫“擦生层”，组织结构都由珠光体和数量不同的渗碳体形成混合物。经过冷锤、淬火以后，组织起了变化，形成了马氏体和渗碳体。这种组织基体的特性是十分坚硬，有很高的耐磨性，而本体未起渗碳作用的低碳钢部分却异常柔软，韧性良好。表面坚硬、内部柔韧这正是一件手工具、农具和武器所要求的特性。擦生厚度如果适当，刃口还会常保持自动磨锐的特点，这就是一般叫做“自刃性”。如果擦生层过厚或渗透了（老匠师叫做“吃透了”），整个断面都变成坚硬的高碳钢，也就不能显出这些优特点了，而且还会变脆易折。这正是宋应星氏所谓：“少则不坚，多则过刚而折”的道理。^①

我们从这个分析中，可以了解这种生铁淋口技术对于改进生产工具性能的巨大作用。由于采用生铁淋口技术，使原来以熟铁或低碳钢作为本体的生产工具，表面有一层一定厚度的擦生层，包括渗碳层和生铁熔覆层（渗碳层具有高碳钢性质），达到了表面坚硬、内部柔韧和耐磨、耐用的要求。

根据本章的论述，可知灌钢冶炼法在南北朝时期已普遍使用，距今已有一千四五百年了。它的发明年代还要早，可能在西晋时期。在那个时候，欧洲的炼铁炉连生铁还不会生产哩！

从灌钢冶炼法的发展历史来看，它是在不断的进步的。明代用生铁淋灌夹紧的若干熟铁薄片的方法，比宋代以前用生铁淋灌盘绕的熟铁条的方法是前进了一步，因为这样可以增加接触面。明代中期以后的苏钢冶炼法，把熔化的生铁左右移动，使生铁液淋灌到不断翻动的熟铁条上，比明代以前把生铁和熟铁安置在炉内，让它们自己“两情投合”的方法又前进了一步，因为这样不但可以更多地增加接

^① 《科学史集刊》第9期（科学出版社1966年出版），凌业勤：《“生铁淋口”技术的起源、流传和作用》。

触面,而且可以利用强烈的氧化作用来清除杂质,从而加速冶炼进程,并提高钢的质量。明代中期以后创造的生铁淋口技术,又是苏钢冶炼法的发展,这对改进生产工具的性能起了很大作用。

第十一章 锻造技术和淬火工艺的进步

一 锻造技术的进步

中国古代对于熟铁和钢的机械处理方法是“锻”。一方面是为了把熟铁或钢的渣滓挤去,使组织比较均匀细致,性能提高;一方面是为了锻造成所需要的形状。

我国铁的锻造技术发明很早。河北藁城等地出土的商代铁刃铜钺,它的铁刃就是用陨铁锻造而成,而且已经能够把陨铁锻成厚仅2毫米的薄刃。河南浚县出土西周早期铁刃铜钺,还在铁刃上锻成凹坑,使铁刃和铜钺经过浇铸接连后可以固定。这都说明当时的锻造技术已具有一定水平。

我国古代锻打熟铁和钢材用的锻炉,用土坯、石块或砖砌成,形状和当时温酒用的炉灶差不多,“四边隆起,其一面高”。大体上锻炉的结构,从汉代以后直到近代,没有多大变化^①。例如近代流行于云

^① 《史记·司马相如传》裴骃《集解》引韦昭说:“炉,酒肆也,以土为墮,边高似炉。”《汉书·食货志》颜师古注也说:“卢(炉)者,卖酒之区也,以其一边高,形似锻家卢,故取名耳。”《汉书·司马相如传》颜师古注又说:“卖酒之处,垒土为卢,以居酒瓮,四边隆起,其一面高,形如锻卢,故名卢耳。”可知锻炉的形状,从汉代以来没有多大变化。

南的锻铁炉，又称“压铁炉”，用土坯和石块砌成，形同南方炉灶。火膛略近正方形，每边长约 35 厘米。使用小型风箱鼓风（参看图 11-1）。一炉三人操作，一人掌钳，两人锤打。每次安置熟铁 6—8 块，待鼓风烧炼约 20 分钟左右，即可取出锻打一次，淬火后再入炉烧炼，再炼再锤。



图 11-1 云南流行的锻铁炉

河南巩县铁生沟汉代冶铁遗址发现锻炉 1 座，炉基为白色夯土，夯土每层厚 8 厘米，有平夯痕迹，相当坚实。锻炉用红色耐火砖和红色耐火泥建成。炉腔近圆形，直径 0.36 米，高 0.24 米。底部平坦。南有火门，炉北有一道高 0.43 米的土台。锻炉依台砌成。炉西挖有长方形土坑，长 0.56 米，宽 0.26 米，深 0.3 米（参看图 11-2）。炉西发现有不少铁块、薄铁片以及铁锄、铁条等物，皆为锻制。在炉北的台上，有一片被火灼烙的遗迹，深灰色，中间高而四周略低^①。

山东滕县宏道院出土画像石《冶铁图》，西部描写锻炉用皮囊鼓风的情况，一人正在推拉皮囊，一人躺在皮囊底下推动，看来锻炉建筑于地坑里。炉旁有两人相对，正在一个铁砧上锻打铁器，同时旁边又有人正在观察已锻成的铁器，以便进一步加工（参看图 11-3）。

我国古代钢铁的刀剑的制造，都是采用锻造技术的。所谓百炼和百辟，就是把薄钢片通过加热反复折叠锻打一百次以上。关于这点，我们在前面论述百炼钢制造方法时已经讲到。由于不断地反复锻打，可以使得钢中杂质减少，组织细密。

^① 见河南省文化局文物工作队：《巩县铁生沟》，科学出版社 1962 年版，第 26 页。

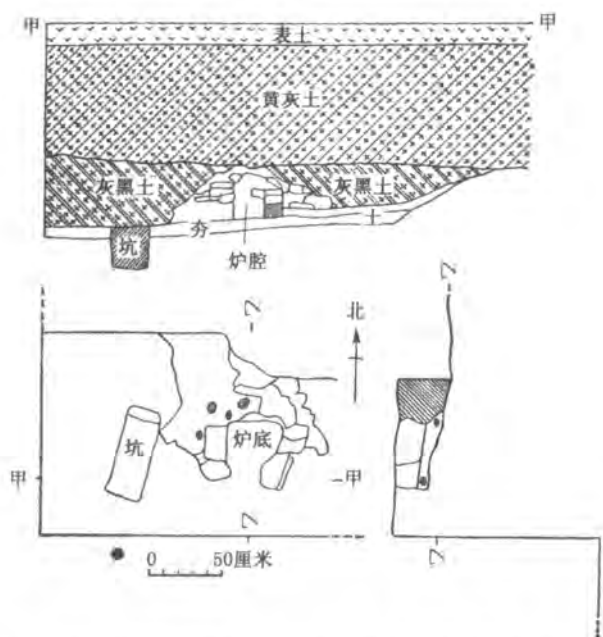


图 11-2 巩县铁生沟汉代冶铁遗址发现的锻炉平面、剖面图



图 11-3 山东滕县宏道院汉冶铁画像石的锻铁部分

从出土的战国、秦、汉的铁农具和工具来看,多数是用生铁铸造而经过柔化处理的,但也有少数是用熟铁锻造成型的。例如西安半坡战国墓出土的铁锄,截面成尖劈状,中间有釜,壁厚为 0.25 厘米。和其他铸造成型的铁锄相比较,它的特点是釜特深,尖劈很短,壁较薄。它的锻造工艺过程估计如下:先将原材料多次锻打成薄片,再将薄片折合和锻接,然后再加工锻成所需要的器形。这件铁锄锻造成型的过程大体如下图^①:

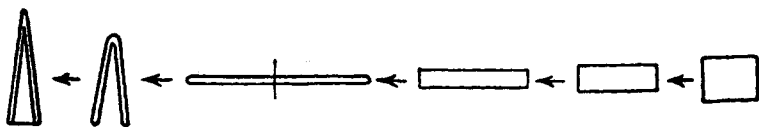


图 11-4 铁锄锻造成型的过程示意图

封建社会后期锻造技术更有进步。前面叙述百炼钢技术的时候已经谈到,古代的鱼肠剑和宋代的蟠钢剑,由于不断加热和反复锻打,使杂质稀少,组织细密,富于韧性和弹性。

明、清时代锻造技术有较大的发展,大到“千钧锚”,小到锥、锯、镘、凿、针,都有一定的锻造方法。据《天工开物》卷 10《锤锻》条,千钧锚的锻造方法是:“先锻成四爪,以次逐节接身。”关于锻接的方法,《天工开物》说:“凡铁性逐节粘合,涂上黄泥于接口之上,入火挥槌,泥滓成枵而去,取其神气为媒合,胶结之后,非灼红斧斩,永不可断也。”《物理小识》卷 7《锻缝》条也有同样的说法,并说:“大器以细陈壁土撒接口自合。”这也该是从锻接的经验中得来的方法。这样采用陈年壁土细末或黄泥撒在接口,在锻合过程中,壁土和氧化铁皮形成低熔点的液态硅酸盐,被挤出接缝,所谓“泥滓成枵而去”,因而不会留下隙缝,胶结得十分牢固。

^① 参看《考古学报》1960 年第 1 期,华觉明、杨根、刘恩珠:《战国两汉铁器的金相学考查初步报告》。

我国古代钢铁锻造技术的突出成就,更表现在“冷锻”方法上。

远在 11 世纪,我国的羌族已能运用冷锻方法锻制成很坚韧的甲。李焘《续资治通鉴长编》卷 132 记载北宋庆历元年(公元 1041 年)五月甲戌太常丞直集贤院签书陕西经略安抚判官田况“上兵策十四事”,其中第十二事说:

工作器用,中国之所长,非外蕃可及。今贼甲皆冷锻而成,坚滑光莹,非劲弩可入。自京赍去衣甲皆软,不足当矢石,以朝廷之事力,中国之技巧(“中”字旧脱,从《愧郟录》卷 13 引增补),乃不如一小羌乎?由彼专而精,我漫而略故也。今请下逐处,悉令工匠冷砧,打造纯钢甲,旋发赴缘边,先用八九斗力弓试射,以观透箭深浅而赏罚之。闻太祖朝旧甲,绝为精好,但岁久断绽,乞且穿贯三五万联,均给四路,亦足以御敌也。

由此可见当时西夏使用的钢甲,都冷锻制成,由于他们在这方面“专而精”,所造钢甲都“坚滑光莹,非劲弩可入”。

宋人岳珂《愧郟录》卷 13《冷端(锻)甲》条又说:

杨太监简在戎监,尝得诸李尉府显忠之族子,谓甲不经火,冷砧则劲可御矢,谓之冷端(锻)。遂言于朝,乞下军器所制造。时显忠之子师尹为知阁门事,实领是官,力辩其不然,文移互往复,其实工人惮劳费耳。时虽知其强辩,而无以折之。

接着,岳珂引据上述田况的话,又说:“然则此甲在祖宗朝已有之,时珂以忧去国,恨不能以所闻佐其说,故迄今犹不能革其制焉。”如此说来,冷锻法不但西夏采用,原来宋朝也是应用的。

沈括《梦溪笔谈》卷 19《器用》有一条记载青堂羌(在今青海西宁附近)用冷锻方法制作“瘕子甲”说:

青堂羌善锻甲,铁色青黑,莹彻可鉴毛发,以麕皮为缙(按指串甲片的皮带)旅之,柔薄而韧。镇戎军(在今宁夏固原县)有一铁甲,棣藏之,相传以为宝器。韩魏公(即韩琦)帅泾(今甘肃泾川

县)、原(今甘肃镇原县),曾取试之,去之五十步,强弩射之不能入。尝有一矢贯札,乃是中其钻空,为钻空所刮,铁皆反卷,其坚如此。凡锻甲之法,其始甚厚,不用火,冷锻之,比元厚三分减二,乃成。其末留筋头许不锻,隐然如瘰子,欲以验未锻时厚薄,如浚河留土笋也,谓之瘰子甲。今人多于甲札之背隐起,伪为瘰子,虽置瘰子,但元非精钢,或以火锻为之,皆无补于用,徒为外饰而已。这是利用冷锻使变形而提高钢的硬度和韧性,直到今天仍然是强化金属的最重要的方法之一。冷锻到原来厚度的三分之一的程度(即比原来厚度减去三分之二),它的末端要留一小块不锻,好像皮肤上长的瘰子,以便检验未锻时的厚薄。李恒德先生在《中国历史上的钢铁冶金技术》一文中解释说:“沈括在这里明确地指出来冷作比热作的长处,他科学地说明了所谓瘰子甲上留有瘰子的冶金学意义。原来瘰子的目的,是在表示锻前和锻后厚度的差别,用实物记下冷作的程度,和今天欧美人用缩减数来表示冷轧钢经过冷作程度是一样道理”^①。《中国冶金简史》还解释说:“青堂羌族的铁工们,在长期的生产实践中,得到一个经验:‘比元厚三分减二乃成’。现代科学实验证明:一般金属的冷加工形变量小于60%—70%时,形变量越大,强度性能越好;而形变量过大,则脆性急剧增加。‘三分减二’的形变量,大体上符合这个冷加工硬化规律”^②。青堂羌这种冷锻方法的制造,是早期钢铁锻造技术上的一个杰出成就。因为冷锻不但可以避免热锻时金属表面粗糙而有斑点的缺点,使钢片表面非常光滑,“莹彻可鉴毛发”;而且能够把钢甲锻打得更加结实硬化,具有比热锻甲更高的硬度,使得五十步以外的强弩也不能射穿。

① 刊于《自然科学》1卷7期,1951年12月出版。

② 北京钢铁学院中国冶金简史编写小组:《中国冶金简史》,科学出版社1978年版,第160页。

古代冷加工方法还使用于铁锯条上。《天工开物》卷10《锤锻》部分讲到锯条的制作方法：

熟铁锻成薄条，不钢，亦不淬硬，出火退烧后，频加冷锤坚性，用锉开齿。

可知当时铁锯条是用熟铁制造，采用冷加工硬化方法来提高硬度的，避免了使用钢料制造锯条，淬火时容易变形和开齿困难等缺点。

我国古代钢铁冷加工技术的发展，还表现在钢针的制造上。《天工开物》卷10《锤锻》部分说：

凡针，先锤铁为细条，用铁尺一根，锥成线眼，抽过条铁成线，逐寸剪断为针。先锉其末成颖，用小槌敲扁其本，钢锥穿鼻，

复锉其外，然后入釜，慢火炒熟，炒后以土末入松木、火矢、豆豉三物罨盖。下用火蒸，留针二三口插于其外，以试火候，其外针入手捻成粉碎，则其下针火候皆足。然后开封，入水淬之。凡引线成衣与刺绣者，其质皆刚。惟马尾刺工为冠者，则用柳条软针。分别之妙，在于水火捷法云。（参见图11-5）

李恒德先生解释说：“这一段造针的方法，既说明了冷作的利用，更说明了当日中国人已利用了今日拉丝的技巧。早在三百年前我们的祖先们已聪明地利用生铁作模，发明冷拉了。除



图 11-5 明代使用“冷拉”的造针方法

（采自《天工开物》）

此以外,……当时造针的过程中,至少包括了两种热处理的步骤:一个是用松木、火矢、豆豉作渗碳剂的表层增碳处理,另一个便是所谓水火徼法,也就是今日的淬火处理。”^①很明显,这种造针方法具体表现了古代中国人民在钢铁的冷加工和热处理上,已掌握了较高的技术水平。1973年江西出土明代嘉靖三十二年(公元1553年)的细铁丝,经金相检验,证明系冷拔钢丝。冷拔钢丝的优点是强度高,韧性好,不易折。《物理小识》卷7《冶铸》条有方中德注说:“青州出铁,而颜神镇穿珠灯,必资山西铁丝。”可知明代以山西生产的铁丝最佳。

事实上,这种冷拔钢丝的工艺不仅存在于三百年前,远在宋代已经出现。中国历史博物馆所藏宋代济南刘家功夫针铺印刷广告铜版,上刻“济南刘家功夫针铺”八字,中雕一兔子捣药图像,左右两边刻有反文“认门前白兔儿为记”,下面刻有反文“收买上等钢条,造功夫细针,不误宅院使用,客转与贩,别有加饶,请记白”等字(参看图11-6)。所以刻成反文,是便于印刷广告。看来,在宋代制造细针,还很费功夫,所以有“功夫针铺”和“功夫细针”之称。到明代“冷拉”方法有了进步,到清代就更有进步。屈大均《广东新语》卷15说:“诸冶惟罗定大塘基炉铁最良,悉是错铁,光润而柔,可拔之为线。”所谓“错铁”,当是当时当地对低碳钢的称呼。《民国佛山忠义乡志》(1923年冼宝幹等纂本)卷6《实业志》记述佛山的铁线行、土针行的情况说:

铁线行,亦佛山特产,法以生铁废铁炼成熟铁,再加工细拔成线,小者如丝,大者如箸,有大缆、二缆、上绣、中绣、花丝等名,以别精粗,式式俱备,销行内地各处及西北江,前有十余家,多在城门头、圣堂乡等处,道、咸时为最盛,工人多至千余,后以洋铁

^① 《自然科学》1卷7期,李恒德:《中国历史上的钢铁冶金技术》。



图 11-6 宋代济南刘家功夫针铺印刷广告铜版
(原大 12.5×13 厘米)

线输入，仅存数家。

土针行，亦本乡特产。用熟铁制成，价值不一，行销本省各属，咸、同以前最盛，家数约二三十，多在鹤园社、花衫街、莺岗等处，后以洋针输入，销路渐减，今仅存数家。

到清代初年，这种锻造技术有了高度发展，创造了“铁画”的艺术。《嘉庆芜湖县志》(陈春华等纂本)卷 1 说：“康熙间，有汤天池者，创为此，名噪公卿间。”汤天池名鹏，溧水人^①，芜湖铁工，因为有个邻居是画家，他天天看画家绘画，熟悉了绘画的艺术，于是运用他熟练的锻造技术，把熟铁锻制成画，既能锻制山水画，也能锻

^① 张九皋《芜湖手工炼钢业的片断史料》(《安徽史学通讯》1958 年第 1 期)说：“据《芜志》载，汤是溧水县人，也有说他是句容县人。经我最近在芜湖调查，汤天池是溧水神巷村人，离句容县汤巷村很近，汤的祖先是从小巷迁居神巷的。”本来当时芜湖炼钢工人都来自溧水、句容一带，这一带炼钢技术的传授有很悠久的历史，可见汤天池的创造铁画工艺，是有历史渊源的。

制兰竹草虫，很能表现出我国绘画的特色，称为“铁画”，成为我国特有的工艺品。它同当时的绘画一样，有的装上木框成为屏条、堂幅，有的合四面做成灯框，叫做“铁灯”。在清代乾隆年间，安徽建德（今县东北）的铁工梁应达，在铁画工艺上也有突出的成就。梁应达字在邦，据金浚《梁应达像生志》，他原来靠“冶铁为生”，在业余锻制铁画，后来铁画的工艺越锻越好，所作山水、花卉、鸟虫，都很精妙^①。

在清代初年，安徽芜湖能够创造出铁画工艺，不是偶然的，当时芜湖是全国最著名的钢铁产地之一。铁画以熟铁为原料，由艺人依据画稿，取料入炉，经过锻打、钻锉、整形、校正、焊接、退火、烘漆等工序，然后装上木框成为铁画。在艺术上，铁画吸取明末清初安徽新安江画派的笔意和章法布局，画面黑白分明，虚实相衬，线条疏密粗细适当，酷似水墨画，而有强烈的立体感，构成了艺术上独特的风格。

明末清初北京、杭州等地还出现了不少锻造刀剪的著名工匠。例如王麻子刀、镊子张、张小泉剪。清杨静亭《都门杂咏》有咏镊子张的诗：

锤剪刀锥百炼钢，打磨厂内货精良；教人何处辨真假？处处招牌镊子张。

又有咏王麻子刀的诗：

刀店传名本姓王，两边更有万同汪；诸公拭目分明认，虎额三横看莫慌。

清范祖述《杭俗遗风》说：“五杭者，杭扇、杭线、杭粉、杭烟、杭剪也。”又说：“剪店则惟张小泉一家而已。”王麻子刀和张小泉剪，直到今天还是刀剪的名牌货。

^① 参看《文物参考资料》1957年第3期，姚翁望：《汤天池和梁应达的铁画》。

二 锻造技术的进步和锻造铁农具的改进

封建社会的生产主要是农业,而从事农业生产的农民是一家一户的个体小农。广大的个体小农都使用简单的农具,分别从事农业生产。因此农具的改进,对于当时农业生产的发展关系很大。战国、秦、汉时期,由于生铁冶铸技术的进步,铸铁柔化处理技术的创造和发展,除了大型铁犁铧使用白口生铁铸造以外,多数农具采用可锻铸铁制成,使农业生产得到重大发展。但是由于技术条件的限制,可锻铸铁农具一般器形较小,薄壁而作嵌刃式,因而耕作效能还比较差。东汉以后由于炒钢方法和锻造技术开始发展,锻造的小铁锄开始流行。从战国一直到东汉前期,除草用的农具主要是铸造的六角形铁板锄(大多经柔化处理而成为可锻铸铁),到东汉后期开始流行锻造的曲柄的半圆形铁板锄,但器形还较小。这种曲柄铁锄后世长期流传,不断有所改进。1976年河北磁县南开河村出土元代木船上的82件铁器,其中有曲柄铁锄4件,曲柄较长,长74厘米,锄板也较宽,刃部宽19厘米(参看图11-7)。在魏、晋、南北朝时期,虽然锻造铁农具正在逐渐增加,但是铁农具还是以铸造的可锻铸铁为主。到唐宋时代,由于炒钢方法和灌钢冶炼法的进步,锻造技术的进步,铁农具就发生了明显的变化,锻造的钢刃熟铁的厚重农具代替了小型薄壁的嵌刃式铸铁农具,只有犁铧、犁壁(即犁镜)等农具,为了坚硬耐磨,还是用白口铁铸造。

唐代的耕犁更为进步。唐末陆龟蒙著《耒耜经》详细记载了唐代江东的犁,它由大小十一个部件组成,结构更为坚固轻巧。“犁镜”(即犁铧)上有翻土的“犁壁”装置,“犁辕”和“犁底”(即犁床)之间有调整入土深浅的“犁箭”装置,“犁辕”作弯曲的弧形,辕头又有可以转

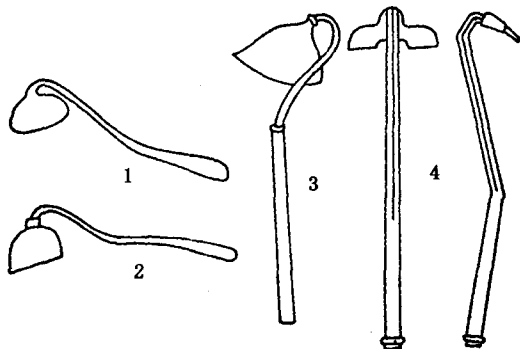


图 11-7 东汉、北宋和元代的锻造铁锄

1. 河南洛阳东汉墓出土的曲柄铁锄
2. 河南禹县出土北宋曲柄铁锄
3. 元代王祜《农书》上的曲柄铁锄图
4. 河北磁县南开河村元代木船出土的曲柄铁锄(正面和侧面)

动的“犁槃”装置(参看图 11-8)。很明显,这比我们在上编第五章第四节中所谈到东汉的犁更为进步了。

元代王祜《农书》卷 2《农桑通诀·垦耕篇》称赞当时犁的功用,“不问地之坚强轻薄莫不任使,欲浅欲深,求之犁箭,箭一而已;欲廉欲猛,取之犁梢,梢一而已;然则犁之为器,岂不简易而利用哉?”“浅深”是指开垦入土

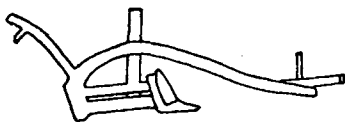


图 11-8 唐陆龟蒙《耒耜经》所载江东犁复原图

(根据中国历史博物馆复原模型)

的深浅,“廉猛”是指垦耕入土的宽窄,就是说,通过对犁箭的上下调整,可以控制开垦的深浅;通过对犁梢(即犁把)的把握,可以控制垦耕的宽窄。《农书·垦耕篇》还说:“沿山或老荒地树木多者,必须用镬刷去,余有不尽耕科(俗谓之埋头根也),当使熟铁煅成镬尖(套于退旧生铁镬上),纵遇根株,不至攀缺妨误工力。”为了掘除荒地上的树根,必须在耕犁的生铁镬上,套上熟铁锻成的镬尖,这是因为生铁铸造的犁镬硬脆,容易折损,只有熟铁和钢锻造的镬尖才能胜任。

至迟到宋代,耕犁的结构又有重大的改进,发明了犁刀,并加以推广使用。这与当时钢铁冶炼技术和锻造技术的进步有密切关系。根据《宋会要辑稿·食货》三之一七《营田》条记载:宋孝宗乾道五年(公元1169年)正月十七日,把楚州界内宝应县、山阳县空闲的水陆官田,分配给“归正人”,每名田一顷(100亩),每五家编成一甲,“每种田人二名,给借耕牛一头,犁、杷各一副,锄、锹、镬、镰刀各一件,每牛三头用开荒犁刀一副,每一甲用踏水车一部、石辘轴二条,木勒泽一具”。其中作为开荒农具的犁刀,就是犁刀^①。这时为了开垦荒田,每两个农民借给耕牛一头,每三头耕牛发给开荒用的犁刀一副,说明南宋初年已经普遍使用犁刀作为开荒的农具了。

这种犁刀,元代王祜《农书》称为“剗刀”。《农书》卷2《农桑通诀·垦耕篇》说:“如泊下芦苇地内,必用剗刀引之,犁铧随耕,起垆特易,牛乃省力。”剗刀就是犁刀。这是说,开垦湖泊旁边的芦苇地,必须先用牛拉引犁刀除去芦苇的根,然后再用牛拉引犁铧加以垦耕,这样就省力而容易见效。王祜《农书》卷14《农器图谱·铨艾门》有剗刀的记载:

剗刀,《集韵》与“剗”同,辟荒刃也。其制如短镰,而背则加厚。尝见开垦芦苇、蒿、菜等荒地,根株骈密,虽强牛利器,鲜不困败,故于耕犁之前,先用一牛引曳小犁,仍置刃裂地,辟及一垆,然后犁铧随过,覆垆截然,省力过半。又有于本犁辕首里边,就置此刃,比之别用人畜,尤省便也。

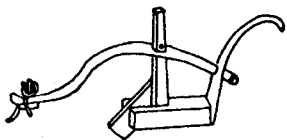


图 11-9 元王祜《农书》所载剗刀图

王祜谈到当时使用犁刀有两种办法:一种是把犁刀装置在小犁的犁底(犁床)上(参看图 11-9),专用一牛牵引开垦,然

^① 参看天野元之助《中国农业史研究(增补版)》,日本1979年7月御茶之水书房出版,第3编《农具编》,第883页。

后再用一牛牵引大型犂耕垦；另一种是把犁刀直接附装在大犁的“辕首里边”，使犁刀和犁犂在同一犁上同时起开垦和耕地的作用。这种同时装置有犁刀和犁犂的耕犁，就完全和新式犁的装法一致。这种开垦荒地用的犁刀，必须是熟铁锻造并嵌有钢刃的。如果用生铁铸造，不但容易折断，而且不可能取得铲除深根的效果。宋、元时代犁刀及其装置方法的创造，使耕犁的功用大大加强，这在农业机械发明史上是值得大书特书的大事。这种农业机械上的发明和创造，是与当时炼钢技术和锻造技术的进步分不开的^①。

铁搭是值得重视的垦耕工具，唐、宋以后流行于长江流域。明朱国祜《涌幢小品》卷2《农蚕》条说：“中国耕田必用牛。以铁齿耙土，乃东夷儋罗国之法。今江南皆用之。不知中国原有此法，抑唐以后仿而为之也。”所说“铁齿”当即铁搭。唐、宋时代铁搭确已在南方流行。1956年江苏扬州东北凤凰河工地出土宋代铁搭，是一把四个齿的铁耙^②，形制和现在农村中使用的基本相同。元王祜《农书》卷13《镵锄门》说：“铁搭四齿或六齿，其齿锐而微钩，似耙非耙，剷土如搭，是名铁搭。就带圆釜，以受直柄，柄长四尺。南方农家，或乏牛犁，举此剷地，以代耕垦，取其疏利，仍就镵块壤，兼有耙镵之效。尝见数家为朋，工力相助，日可剷地数亩。”这种铁搭不但可以用来开垦土地，也还“兼有耙镵之效”。这种铁搭是用熟铁和钢锻造而成。王祜所作的《铁搭赋》就曾讲到：“自夫锻炼而锋，乃有釜柄之楬。独擅力乎田园，尝始见于江浙。锐比昆吾之钩，利即莫邪之铁。”顾炎武《天下郡国利病书》第8册《苏松》项下也说：“上农多以牛耕，无牛犁者以刀

① 刘仙洲《中国古代农业机械发明史》(1963年科学出版社出版)第20页，根据王祜《农书》，认为这是农业机械发明史上值得大书特书的事，这是正确的。但是由于他没有看到《宋会要辑稿》有关犁刀的记载，认为这种犁刀“应用的范围不大，在各地实际看到的也不多”，这就不正确了。

② 《文物》1959年第1期，蒋缙初：《江苏扬州附近出土的宋代铁农具》。

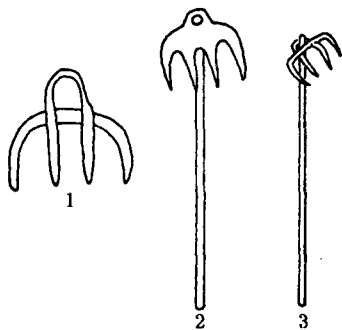


图 11-10 宋元时代锻造的铁搭

1. 江苏扬州凤凰河出土宋代铁搭
 2. 《四库全书》本王祜《农书》上的铁搭图
 3. 明刊本王祜《农书》上的铁搭图

耕。其制如锄而四齿，谓之铁搭。人日耕一亩，率十人当一牛。”说明铁搭是唐、宋以后十分得力的一种手工耕垦工具(参看图 11-10)①。

用熟铁和钢锻造的铁搭，坚韧而锋利，如果有强壮的劳动力使用，可以取得比牛耕更好的垦耕效果。《天工开物》卷 1《乃粒·稻工》中谈到：“吴郡力田者以锄代耜，不借牛力。”所谓“锄”即指铁搭，所谓“耜”即指牛耕的犁。说明明代晚期吴郡一带农民翻耕农田，常常不用牛耕而靠人力使用铁

搭来进行。成书于明代末年的《沈氏农书》和《补农书》，记载嘉湖地区农业生产的情况也是这样。《沈氏农书》谈到田地的垦耕，不谈牛耕，而一再谈到田地的“垦”和“倒”。“垦”是指庄稼收割之后开始用铁搭普遍翻地，“倒”是指“垦”好之后再用地铁搭按照“垦”的相反方向倒翻。《沈氏农书》上卷《逐月事宜》记载：正月，天晴，垦田，倒地；二月，天晴，倒地，倒田，倒秧田；三月，天晴，倒田；四月，天晴，倒花草田，倒地；六月，天晴，垦倒种菜地(伏内)；八月，天晴，倒地；九月，天晴，垦地；十月，天晴，垦地；十一月，天晴，垦菜棱(种菜)；十二月，天晴，垦坂田。在这里，田和地是有区别的，田是指种稻的水田，地是指种麦和蔬菜的旱地。一般说来，“垦田”应在冬天，“倒田”应在春天，都必须在晴天。《沈氏农书》上卷《运田地法》说：“冬天垦地，草根翻在上；春天倒地，草根翻在下。”又说：“垦地、倒地，非天色极晴不可。”无论“垦”或“倒”，所

① 参看日本天野元之助：《中国农业史研究(增补版)》，1979年日本出版，第3编《农具编》，第812—813页。

使用的农具都是铁搭。《逐月事宜》在记载正月天晴垦田、倒地之后，在“置备”项下记有“铁扒、锄头”。所谓“铁扒”，当即铁搭。

明代晚期太湖流域农民多数不用牛耕而使用铁搭翻田，首先由于经济上的原因，一则农民贫困，养不起耕牛；二则由于地少人多，农民耕地不足而人力有余。同时也还有耕作技术上的原因，使用铁搭可以比牛耕翻得深、翻得匀、翻得透。《沈氏农书》上卷《运田地法》中讲到：“古称深耕易耨，以知田地全要垦深。……须要晴明天气，二三层起深，每工止垦半亩，倒六七分。春间倒二次，尤要老晴时节。”又说：“必照垦田法，二三层起深。”一般用铁搭翻垦有五六寸深，所谓“二三层起深”，可达七八寸深，牛耕不可能耕得这样深。《运田地法》又说：“而扼要之法，一在垦倒极深，深则肥气深入土中，徐徐讨力，且根派深远，苗干必壮实，可耐水旱。”要“垦倒极深”，只有铁搭可以办到。《补农书》说：“农事随乡，地之利为博，多种田不如多治地。盖吾乡田不宜牛耕，用人力最难。”所说“农事随乡”，“不宜牛耕”，因为太湖流域的土壤是青紫泥，土质粘重，需要干垦，而干垦不是一般耕牛所能胜任，因而靠人力使用铁搭比较适宜。江南有些地区为了加深垦耕，以求提高产量，既用牛耕，又依靠人力使用铁搭开垦。《正德松江府志》卷7《风俗》部分说：“牛犁之后，复以刀耕，制如锄而四齿，俗呼为铁搭，每人日可一亩，率十人当一牛”^①。明徐献忠《吴兴掌故集》记载湖州归云庵老僧说：由于先用人耕，继用牛耕，耕深八寸，收获就加倍。由此可见，铁搭这一农具的创造和使用，对南方农业生产的发展确实起着很大作用。

踏犁或称“长镰”，也是值得重视的垦耕工具，也是唐、宋以后开始流行的。唐杜甫《乾元中寓居同谷(峪)县作歌七首》，说到“长镰长镰白木柄”；宋陆游的诗中也谈到长镰，如《山园杂咏》说到“笑携长镰

^① 顾炎武《肇域志·江南九·松江府》所引相同。

伴畦丁”，《杂感》讲到“药品随长镰”。这两首诗都是陆游在故乡所作，可知当时浙江山阴一带流行这种农具。王祜认为长镰即是踏犁，在《农书》卷 13《耨锄门》解释说：“长镰，踏田器也。比之犁镰颇狭，制为长柄。……柄长三尺余，后偃而曲，上有横木如拐，以两手按之，用足踏其镰柄后根，其锋入土，乃捩柄以起垆也。在园圃区田，皆可代耕，比之耨锄省力，得土又多。古谓之蹠铍，今谓之踏犁。”这种踏



图 11-11 王祜《农书》上的长镰图

犁有长柄，柄上有横木，耕作时，用两手按横木，用脚踏镰柄后根，使镰锋刺入土中，然后加以发掘（参看图 11-11）。铁镰必须坚韧而锋利，肯定也是用熟铁和钢锻造而成。这种踏犁可以用来代替牛耕，在宋代已很流行。例如淳化五年（公元 994 年）因宋（今河南商丘）、亳（今安徽亳县）等州发生牛疫，耕牛死去过半，政府就造踏犁数千具分给农民^①；又如景德二年（公元 1005 年）由于契丹侵扰，河朔（河北）一带牛多死亡，耕具不足，政府又造踏犁分发^②。据说当时淮、楚之间，农民使用

踏犁耕垦，“凡四五人力，可比牛一具”^③。宋周去非《岭外代答》卷 4《风土门》记载广西静江（治桂州，今桂林市）的踏犁，“三人二踏犁，夹掘一穴，方可五尺，宿犍巨梗无不翻举，甚易为功”。由此可知三人相互配合，同时使用两把踏犁“夹掘一穴”，能够发挥较大的功效。铁搭和踏犁，从唐、宋以后，长期是重要的开垦农具。清代编著的《授时通考》卷 32《功作》部分，绘有垦耕的图，就画有一个农民正使用铁搭垦

① 见《宋史》卷 173《食货志·农田》；《宋会要辑稿·食货》一之一六《农田杂录》；《玉海》卷 178《食货·农器》。

② 见《宋会要辑稿·食货》一之一七《农田杂录》；《玉海》卷 178《食货·农器》。

③ 《续资治通鉴长编》卷 59 真宗景德二年正月条；《宋史》卷 173《食货志·农田》。

耕,而另一个农民正使用踏犁开垦^①。

唐、宋以后由于炒钢技术和锻造技术的进步,除了制成铁搭、犁刀、踏犁等开垦工具以外,耨、耜、杵、锄、铲等农具也器形扩大,采用炒钢锻制而成。王祯《农书》解释铁杵说:“锻铁为首,谓之铁杵,惟宜土工。”还有《铁杵诗》说:“非锹非耜别名杵,柄直釜圆首利铄,毋谓土工能事毕,划除荒秽要渠兼。”1976年河北磁县元代木船出土一批铁器,经金相鉴定,其中铁锥、铁船钉、铁刀、铁剪,都是用不同含碳量的炒钢作为原料,叠在一起,反复锻打而成的钢制品。铁刀在锻打成形后经过淬火处理。铁剪在成形后刃口也经过淬火处理^②。这种锻造工具的方法,应该是长期流传沿用的。明宋应星《天工开物》卷10《锤锻》部分,记载明代制造刀、剑、斧、斤、锉、凿等兵器和工具,都用熟铁锻造,而在刃部采用“夹钢”、“嵌钢”技术,制成钢和铁复合的工件。这种制作钢和铁复合工件的方法,应该在明代以前就已应用了。

唐、宋以后锻铁农具的发展,是我国古代农具发展史上的大事,它对封建社会后期社会生产力的巨大发展起了很大的作用。

三 淬火技术的发明和发展

“淬”是中国古代对于钢铁最重要的热处理方法,明代以后又称为“淬”。就是将已经锻好的钢铁烧红,达到一定温度,突然浸入冷却剂中很快冷却,使它获得高的硬度和一定的物理机械性能。古代常用的冷却剂就是清水,水最便宜,而且冷却能力很强。《天工开物》卷

① 参看日本天野元之助《中国农业史研究(增补版)》,第725—727页。

② 参看《考古》1978年第6期,中国冶金史编写组、首钢研究所金相组:《磁县元代木船出土铁器金相鉴定》。

10《锤锻》部分说：“凡熟铁钢铁，已经炉锤，水火未济，其质未坚，乘其出火之时，入清水淬之，名曰健钢、健铁。”

淬火方法至少在战国时代已经发明。“淬”也作“焯”，《史记·天官书》说：“火与水合为焯。”《说文解字》说：“焯，坚刀刃也。”《汉书·王褒传》说：“巧冶铸干将之朴，清水淬其锋。”古人已经注意到对作为冷却剂的“水”的选择。《史记·苏秦列传》司马贞《索隐》引《晋太康地理记》说：“汝南西平有龙泉水，可以淬刀剑，特坚利，故有龙泉水之剑。”曹丕《典论·剑铭》也曾说：“淬以清漳，厉以砥礪。”据《北堂书钞》卷123引《蒲元别传》，蒲元曾在斜谷为诸葛亮铸炼刀三千把，认为“汉水纯弱，不任淬，用蜀江爽烈”，派人到成都取江水来淬。有一人取来江水中杂有涪水，他指出涪水不可用。据说他用江水淬火，“刀成，以竹筒密内（纳）铁珠满其中，举刀断之，应手虚落，若薤生芎，故称绝当世，因曰神刀”^①。可见三国时炼制钢刀专家蒲元对于淬火工艺有极其丰富的经验，已经认识到不同水质对淬火后钢质量的影响的规律，因而对水的选择特别讲究。

从已经出土的古代钢制品的金相考察结果来看，至少战国后期已广泛使用淬火工艺。河北易县燕下都44号墓出土的锻钢件大都经过淬火处理，例如两把钢剑和一把钢戟，都是把薄钢片经过反复折叠锻打成形之后，再经过淬火的，都发现有针状的马氏体组织^②；还

^① 《太平御览》卷345引《蒲元传》也说：“蒲元……于斜谷为诸葛亮铸刀三千口，熔金造器，特异常法。刀成，自言：‘汉水纯弱，不能淬用。蜀江爽烈，是谓大金之元精，天分其野。乃命人于成都取之，有一人前至，君以淬刀，言杂涪水不可用。取水者犹悍言不杂。君以刀画水云：‘杂以八升，何故言不？’取水者方叩头首伏云：‘实于涪津渡负倒覆水，惧怖，遂以涪水八升益之。’于是咸共惊服，称为神妙。刀成，以竹筒密内（纳）铁珠满其中，举刀断之，应手灵落，若薤生芎，故绝称当世，因曰神刀。”

^② 马氏体组织在显微镜下常呈针状，是淬火时，因冷却速度高，由奥氏体转变而成。易县燕下都44号墓出土两把剑的马氏体的魏氏硬度为530公斤/毫米²，其中低碳的铁素体硬度为150—180公斤/毫米²，珠光体为260公斤/毫米²。

有一件矛的骹部(指矛头的较细部分)和一件箭镞,分别为0.25%及0.2%的碳素钢,由铁素体和珠光体组成,是经过正火处理后的组织^①。说明当时除淬火工艺之外,还掌握了正火工艺,已能依据不同的需要,对钢材进行不同的热处理,以改善机械性能。

到西汉时期,淬火工艺有进一步的发展,常常对钢刀、钢剑的刃部采用局部渗碳和淬火技术,从而提高刃部的硬度和机械性能。例如河北满城出土的刘胜佩剑,由于对刃部采用这种技术,内部组织的硬度比较低,而刃部的淬火马氏体组织的硬度就高得多^②。同时出土的错金书刀同样由于对刃部采用这种技术,刃部的马氏体组织硬度就较高,而刀背低碳部分的硬度就低得多^③。这样对刃部采用局部渗碳和淬火办法,使得刃部坚硬锋利而背部具有较好的韧性,符合了兵器的使用要求,显示出我国古代劳动人民炼制钢刀、钢剑技术的进步。山东苍山出土的东汉永初六年“卅炼”环首钢刀,同样在刃部发现马氏体组织,说明也是采用局部淬火技术。这种局部淬火技术为后世长期沿用。

钢在淬火时常用的冷却剂,除了清水以外,还有盐液、碱水、油脂等。所用液体的性质不同、液体的温度不同以及淬火时间的长短不同,都会发生不同的效果。我国至少在南北朝时期已经初步认识到这点,并使用含有盐分的液体和动物的油脂作为冷却剂。前面已经谈到,綦母怀文在用灌钢冶炼法制成“宿铁刀”之后,便“浴以五牲之

① 所谓“正火”,是把钢件加热到适当温度使形成奥氏体,然后在空气中冷却,得到较细而均匀的珠光体和铁素体组织,这对细化晶粒,提高机械性能,都有较好效果。

② 满城出土刘胜佩剑,内部组织的魏氏硬度为220—300公斤/毫米²,刃部的马氏体组织的魏氏硬度为900—1170公斤/毫米²。

③ 满城出土的错金书刀,刃部马氏体组织的魏氏硬度为570公斤/毫米²,刀背低碳部分的魏氏硬度为140公斤/毫米²,边缘珠光体的魏氏硬度为260公斤/毫米²左右。参看《考古学报》1975年第2期,李众:《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》。

溺，淬以五牲之脂”。他之所以要“浴以五牲之溺”，因为牲畜的尿中含有盐分，用盐分的液体作冷却剂，钢的冷却速度可以比水快，可以得到比水淬更硬的性能。他之所以要“淬以五牲之脂”，因为用油脂作冷却剂有一定的优点，在低于 300 度的温度时具有较弱的冷却能力，约为水的十分之一，冷却速度可以比水慢，可以得到比水淬更坚韧的性能，并且可以减少淬火过程中的变形和开裂。

《物理小识》卷 8《器用类》有“淬刀法”，书中说：“山间水出而殷者曰绣水，淬刀刻玉，地溲也。一曰虎骨朴硝酱，刀成之后，火赤而屡淬之，一以酱同硝涂鍔口，煨赤淬水。”这里所谈的，又是一种特殊的“淬锻法”。所谓“地溲”，明人卢若腾《岛居随录》卷下《制伏》条说：“冬月收取地溲，以柔铁烧赤投之二三次，刚可切玉。地溲形状，如油如泥，色如黄金，气甚腥烈。沟涧流水及引水灌田之次，多有之，亦能化铜制砒。”据《天工开物》，“地溲”是“石脑油”之类，是我国兄弟民族用来“淬”钢的，《天工开物》卷 14《五金》部分说：“夷人又有以地溲淬刀剑者（地溲乃石脑油之类，不产于中国），云钢可切玉，亦未之见也。”石脑油是地下流出或汲出而未经提炼的原油（石油的原油），色黄或褐，带绿闪光，与卢若腾所说“地溲形状，如油如泥，色如黄金，气甚腥烈”相当。

值得注意的是，明代已经出现“冷待淬火”工艺。《天工开物》卷 10《锤锻》部分记载铁槌的制作说：

凡铁槌，纯钢为之，未健之时，钢性亦软，以已健钢斲划成纵斜文理，……划后烧红，退微冷，入水健。久用乖平，入火退去健性，再用斲划。

这种等待“微冷”而淬火的技术，就是现代淬火前的“冷待”。这种工艺的关键就在于等待“微冷”。因为冷待短暂时间，再淬入水中，可以减少工件内外温差，可以防止淬火时造成变形和发生开裂。等到使用较久，槌上所有纵斜刻文被磨平，需要重新加以刻划，就得“入火退

去韧性”，就是把镗重新加热后缓慢退火，用来降低由于淬火而增加的硬度，以便再度加以刻画。这样采用“冷待淬火”工艺和退火重新加工工艺，说明当时熟练的工匠，由于长期实践的经验，对淬火工艺的功能已有较深的认识。

明代人们对于淬火工艺功能的认识确已比较精深。例如明代赵士桢《神器谱》讲到“噜密铳”的“机”的“轨”的制造说：“其轨必用钢铁，如钱厚，不用水蘸（淬），蘸则恐其太硬；用别铁恐其性软起迟。”讲到“西洋铳”的“机”的“发轨”的制造也说：“发轨用钢铁，不用水蘸。”当时人们已经认识到，有些钢件如果不需要“太硬”，就不宜用水淬火。

总 论

一 总论中国历史上炼铁技术和铸造技术的发展

在世界冶金技术发展史上,我国炼铁、炼钢技术的发明都不是最早的。我国在公元前 14 世纪的商代中期一直到公元前 12 世纪的西周初期,还不会用矿石炼铁,只能用陨铁锻成铁片作为铜钺的刃部。我国什么时候发明炼铁技术的,目前还不能确切判断,看来不外乎西周后期和春秋前期,不过还有待于出土更多古代铁器来加以证明。我国最早发明炼铁技术的地点,大概在南方某个地区。从现在已出土的春秋晚期铁器来看,都是南方楚、吴两国的产品,而且当时南方炼铁技术已有相当的水平,不但能用低温块炼法炼制块炼铁,还能用生铁铸造铁器,更能用块炼铁渗碳制钢并锻造钢剑。古文献上春秋晚期吴国炼制干将、莫邪等钢剑的传说,并非出于虚构。从炼制干将、莫邪等宝剑传说的内容来看,是符合冶金原理的。这种宝剑所用钢材,该是使用优质块炼铁,即所谓“铁精”,配合一定分量的优质渗碳剂,即所谓“金英”,再配合有磷质的催化剂,即“断发剪爪”,然后密封加热,使之渗碳而炼成。干将、莫邪之所以能够成为宝剑,不同于一般的宝剑,就是由于它使用优质钢材经过精细的锻炼而成。李斯在《谏逐客书》中把太阿之剑和昆山之玉、随和之宝、明月之珠、纤离之马等等,一样看作秦王的“宝”,而且说:“此数宝者,秦不生一焉,而

陛下说(悦)之。”这把不出于秦国而为秦王所爱好的太阿之剑,肯定也是干将、莫邪一类的宝剑,而不是寻常的钢剑。它可能就是从南方楚、越地区输入秦国的。曹植《宝刀赋》,称赞所造宝刀“逾南越之巨阙,起西楚之太阿”。因为巨阙、太阿之类宝剑从来就是出产在南方的楚、越地区。

我国炼铁、炼钢技术虽然发明较迟,但是它的发展,却后来居上。从公元前6世纪的春秋晚期起,中国人民在这方面不断有独特的创造,在世界冶金史上经常居于遥遥领先的地位。这是当前科学技术史的研究者所公认的。

从炼铁技术来看,中国是世界上最早发明生铁冶铸技术的国家,至迟在公元前6世纪的春秋晚期,中国人民已经能冶铸白口生铁,用来铸造铁器,使得铁的生产率有很大的提高,铁器的应用逐渐推广。这一发明要比欧洲各国早一千九百多年。中国又是世界上最早发明生铁柔化处理技术的国家,至迟在公元前5世纪的春秋、战国之际,中国人民已经能够把又硬又脆的白口生铁加以柔化处理,使变为可锻铸铁(即韧性铸铁),用作农具和工具原料,便利了铁制生产工具的广泛使用,有助于当时社会生产力的发展。这项发明又比西方早两千三百年。

我国之所以能够很早发明生铁冶铸技术,是由于当时冶炼工匠继承和发展了青铜冶铸技术,并运用长期积累的丰富经验,在炼铁炉及冶炼技术上很早取得了重大进步。远在商代,青铜冶铸技术已有很高的水平,不但有近人称为“将军盔”的内加热的坩埚炉,也还有直径达1米左右的竖炉,更有直径1米、深半米到1米的地坑式竖炉。这种熔铜竖炉的炉衬是用石英砂和黏土组成的耐火材料制成,使用木炭作为燃料。根据对残存的炉壁和炉渣的熔点进行测定的结果,炉壁熔化温度一般是1160—1300度,炉渣熔化温度是1100—1200度。要达到这样高的温度,应该已经采用鼓风设备。这种高大

竖炉所熔炼的铜,已经能够用来浇铸大型青铜器如司母戊大鼎等。这种青铜冶铸技术,到西周、春秋时代有进一步的发展。春秋后期的炼铁炉及冶炼技术之所以能够取得重大发展,能够很早发明生铁冶铸技术,毫无疑问,是由于继承和发展了青铜冶铸技术,并运用了长期积累的丰富经验。我国很早创造了坩埚炼铁法,该就是从坩埚熔铜法发展而来。我国又很早发明了高炉炼铁法,该又是从冶炼青铜的竖炉进一步发展而来。

欧洲生铁冶铸技术的发展,先有白口生铁,再有灰口生铁,然后才有可锻铸铁。但是中国古代不同,有着自己独特的发展途径,在能生产白口生铁之后,不久就创造了铸铁柔化处理技术。我国能生产可锻铸铁(即韧性铸铁),远在能生产灰口生铁之前。在欧洲,从发明生铁冶铸技术,到创造铸铁柔化处理技术,经历了三个多世纪,而在我国,所经历的时间就比较短。这是什么缘故呢?这是由于我国生铁冶铸技术发明较早,在生铁农具和工具的大量铸造和比较广泛的使用中,人们逐渐发现了生铁铸件经过持续高温加热可以变得柔韧的规律。现代可锻铸铁必须使用高硅低碳铁水铸成,而在我国古代,却用高碳低硅的白口生铁。这种生铁由于含碳量相当高,一般在4%以上,有利于石墨析出。同时使用木炭作燃料,非金属的夹杂物较少,金属晶粒较细,退火比较容易进行。特别是战国中晚期以后,较多地使用铁范铸造铁器,这样可以得到便于进行退火柔化处理的薄壁白口生铁铸件。

我国不但很早发明了生铁冶铸技术,很早创造了铸铁柔化处理技术,到战国中期已能铸造麻口生铁,到西汉中期又进一步能够铸造低硅的灰口生铁。这是炼铁技术不断取得进步的结果。主要是由于炼铁炉造得高大,结构有了改进,鼓风设备有了进步,炉温得到了提高。

汉代炼铁高炉,一般炉身直径在1.5米左右,高大的直径达3—

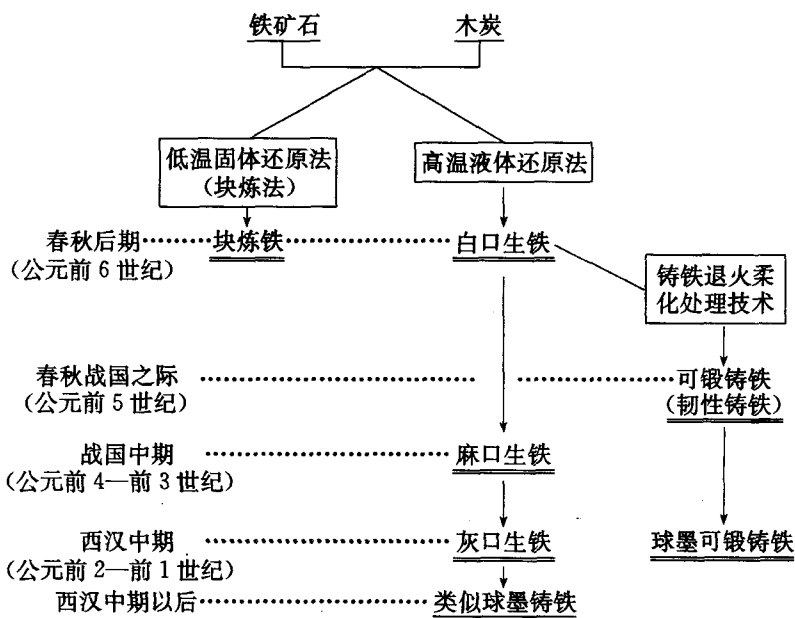
4米,高达5—6米,有效容积达50立方米左右。高炉的截面一般筑成圆形,高大的高炉有筑成椭圆形的,这是为了使鼓风和煤气流便于达到炉缸中心,从而提高炉的中心温度。这种高炉有四个风口,每个风口可能使用一排皮囊来鼓风,以提高炉内的温度。当时鼓风设备有用人工力的,称为“人排”;有用马力的,称为“马排”。至迟在西汉、东汉之交,又发明了“水排”,利用水力进行鼓风。水排的发明,要比欧洲早一千二百年。这时高炉所用矿石原料,已用砸碎和筛选的方法加工,使粒度整齐,减少煤气上升的阻力,改善炉气的利用,节省燃料,加速冶炼的进程。与此同时,在炉料中搭配一定数量的石灰石作为碱性熔剂,以促进炼渣的熔化性和流动性。汉代由于炼铁技术的进步,用木炭作燃料,高炉所生产的生铁质量很高,含硫量很低,已经完全达到了现代生铁的质量标准。

我国不但很早发明生铁冶铸技术,而且在生铁冶铸技术发明之后,很早就把炼铁和化铁分工。早在战国时期已有化铁炉,专门用来熔化铁料和浇铸铁器。浇铸铁器用的铸范,不但有陶范,也还有铁范。不但有单合范,也还有双合范。当时有一范铸造两器的,铸造较小器物时还有一范多器的。我国是世界上最早用金属型铸造的国家。

汉代是我国封建社会前期冶铁技术发展的一个高峰时期,不但炼铁技术有重大发展,铸造铁器也有飞跃进步。汉代化铁炉造得和炼铁炉同样高大,直径有1.5米左右,高约3—4米,可能已采用预热鼓风管的办法,向炉内鼓送热风,以提高炉温。这时已能铸造大型的薄壁铁器,铁釜有直径达2米左右的。同时铸造较小器物,已采用叠铸技术,把同一规格的具有多件范腔的铸范,多层叠装,通过一个浇注系统加以浇铸。这样一次便可浇注小型铸件60件到84件。汉代对铁范的应用更加广泛,已能用壁厚10毫米的铁范铸造出壁厚仅3毫米的薄壁铁器。

汉代炼铁技术达到了成熟阶段,已能生产白口生铁、麻口生铁、灰口生铁以及白心、黑心可锻铸铁。除了合金铸铁和现代开始发展的球墨铸铁以外,现代世界上的生铁产品仍然是这几种。值得注意的是,在巩县铁生沟汉代遗址和浞池窖藏汉魏铁器中还发现了与现代球墨铸铁金相组织极为相似的球状石墨组织。总之,我国在封建社会前期,具有中华民族特色的古代冶铁技术体系基本上建立起来了。为便于了解起见,作出示意图如下:

中国封建社会前期炼铁技术发展示意图



表例: — 表示采用原料 □ 表示采用技术 → 表示技术成果
 —— 表示生产成品 表示所处时期

封建社会后期的炼铁技术,在前期成熟的基础上有着一一定的发展。宋、元时代炼铁和化铁用的高炉,炉型结构有了改进,多数炉口

逐渐向上缩小,炉壁上部内倾,这是为了减少热量散失和充分利用还原气体,并便于炉料顺利下降,从而加速还原、熔化过程。同时鼓风机有了改进,开始使用有活门的大型木风箱,利用箱盖板的开闭来鼓风,可以增加风量和风压,并减少漏风,从而提高炉温。这种活门木风箱的发明,比欧洲早五六百年。

明代炼铁技术又有进步,一般高炉可投入铁砂 2 000 多斤,使用两个风箱从左右两侧鼓风,并使用熔点很低的熔剂,可以炼出优质的生铁。当时优质生铁主要生产于南方广东、福建,其中称为“堕子生钢”的最为著名。堕子生钢是在炼铁炉放出铁水流经圆塘的过程中,通过小孔流下沉积凝聚而成,含碳较高,夹杂很少,成为炼制灌钢所用的最好生铁原料。这时鼓风机已由有活门的木风箱改为有活塞推拉的木风箱,无论一推或一拉都可以不断起鼓风作用。这项发明要比欧洲早一二百年。同时对入炉的矿石原料,事先采用焙烧方法,既可以使矿石破碎,投入炉中还可以减少炉内热量消耗。

炼铁所用燃料也是不断有所改进的。原先用木炭作燃料,至少魏、晋以后已开始用煤作燃料。到封建社会后期,用煤作燃料更加广泛。使用煤作燃料有很大优点,燃料来源多,火力旺而耐烧,有利于产量提高和冶铁业的发展。但也存在缺点,煤中含硫量较高,影响生铁的质量。至迟到明代又创造了炼制焦炭的方法,开始用焦炭作燃料,这样就可以避免用煤作燃料的缺点。这是使用燃料的重大改进。

总的说来,封建社会后期炼铁技术比前期是有发展的,但是发展的速度比起前期来是迟缓了。特别是明代末年(17 世纪)以后,就停滞不前了。封建社会后期由于炼钢技术有进一步发展,钢的生产不断增加,可锻铸铁的使用减少,铸铁退火处理技术就逐渐被遗忘了,我们没有从文献中看到有关这方面的任何记载。

二 总论中国历史上炼钢技术和锻造技术的发展

我国炼钢技术有着独特发展的历史,从春秋晚期起,中国人民不断创造出独特的炼钢技术。

块炼铁(或熟铁)、生铁和钢,都是铁碳合金,它们之间的主要差别在于含碳量的多少。块炼铁(或熟铁)的含碳量低,生铁的含碳量高,而钢的含碳量则介于块炼铁(或熟铁)和生铁之间。因此古代的炼钢方法不外乎两种:如果用块炼铁(或熟铁)作原料,就必须用渗碳技术以增加碳分;如果用生铁作原料,就必须用脱碳技术以减少碳分。

我国在公元前6世纪的春秋后期已经使用固体渗碳制钢技术炼制钢材,并用来锻造宝剑。这种钢材,我们称为“块炼渗碳钢”。当时使用的固体渗碳制钢技术有两种:一种是用块炼铁放在炭火中加热渗碳;一种是用优质块炼铁配合定量的渗碳剂和催化剂,密封加热渗碳。前一种方法比较简便,不需要特殊的设备和技术,所需要的温度也不很高,因而它成为我国最早的一种炼钢方法,用来取得一般钢材,以便锻造成作战需要的锋利兵器。后一种方法比较精细,需要特殊的设备和技术,既要选择优质原料,配合定量的配料,又要掌握一定的火候,必须由高水平的技师指导和操作,可以由此取得优质钢材,锻造成著名的宝剑。从春秋后期一直到战国、秦、汉,我国有不少著名的宝剑如干将、莫邪、太阿之类,就是著名技师使用这种方法炼成的。

到公元前2—前1世纪的西汉时代,中国人民又创造一种别开生面的制钢法,就是用薄壁的生铁铸件通过脱碳退火处理,既使白口组织消失,又不析出石墨,不致变成可锻铸铁,从而整体成为钢件。这是在铸铁柔化处理技术的基础上进一步发展起来的。这种钢材,我们称为“铸铁脱碳钢”。在河南渑池发现窖藏的汉、魏铁器中,

有些白口铁工具整体通过脱碳退火成为钢件之后,再在刃口部分进行局部渗碳或加工锻打,以提高刃部的硬度和锋利程度。在东汉时期,还有用白口铁条通过脱碳退火成为钢件之后,再磨砺刃部,而后加热弯曲制成剪刀的。说明这种固体脱碳制钢技术已被广泛应用,而且有进一步的发展。

至少在公元前1世纪的西汉后期,中国人民又创造了用生铁炒炼成钢或熟铁的新技术,就是用生铁加热到熔化或基本熔化的状态下加以炒炼,使脱碳而成钢或熟铁。这种钢材,我们称为炒钢。有的由于在炒钢过程中控制了一定的含碳量,使成为钢材;有的由于控制一定的含碳量困难,在炒炼成熟铁之后,再用表面渗碳方法,使重新渗碳而成钢材。当时生铁已成为冶铁业的主要产品,可以充分供应炒钢的原料,这样就可以大大提高钢的生产率。直到今天,炼钢仍以生铁作为主要原料。这种炒钢技术,我国曾长期使用,一直流传到近代。明代更创造了炼铁炉和炒钢炉串联使用法,把炼铁炉中流出的铁水直接炒炼成熟铁或钢。

原来使用块炼铁渗碳制钢、锻造成剑的时候,为了提高质量,需要把许多薄钢片折叠起来反复锻打。到公元1—2世纪东汉时期,中国人民又进一步创造了百炼钢锻炼技术,就是把薄钢片经过很多次加热和反复折叠锻打,以求清除杂质,使组织均匀而成为优质钢件。当时根据加热和反复折叠锻打的次数,有所谓“卅炼”、“五十炼”和“百炼”的差别。这种百炼钢技术也曾长期使用,锻造技术也不断有进步。根据宋代科学家沈括的分析,古代的鱼肠剑和宋代的蟠钢剑采用以高碳钢为刃部和低碳钢为茎干的锻合制剑方法,使得钢剑刃部锋利而剑身富于韧性和弹性。有的钢剑“可以屈置盒中,纵之复直”,类似现代的弹簧钢。

从来炼钢技术,或是用低碳的熟铁进行渗碳,或是用高碳的生铁进行脱碳。我国在南北朝时期使用(可能创始于晋代)灌钢冶炼法,

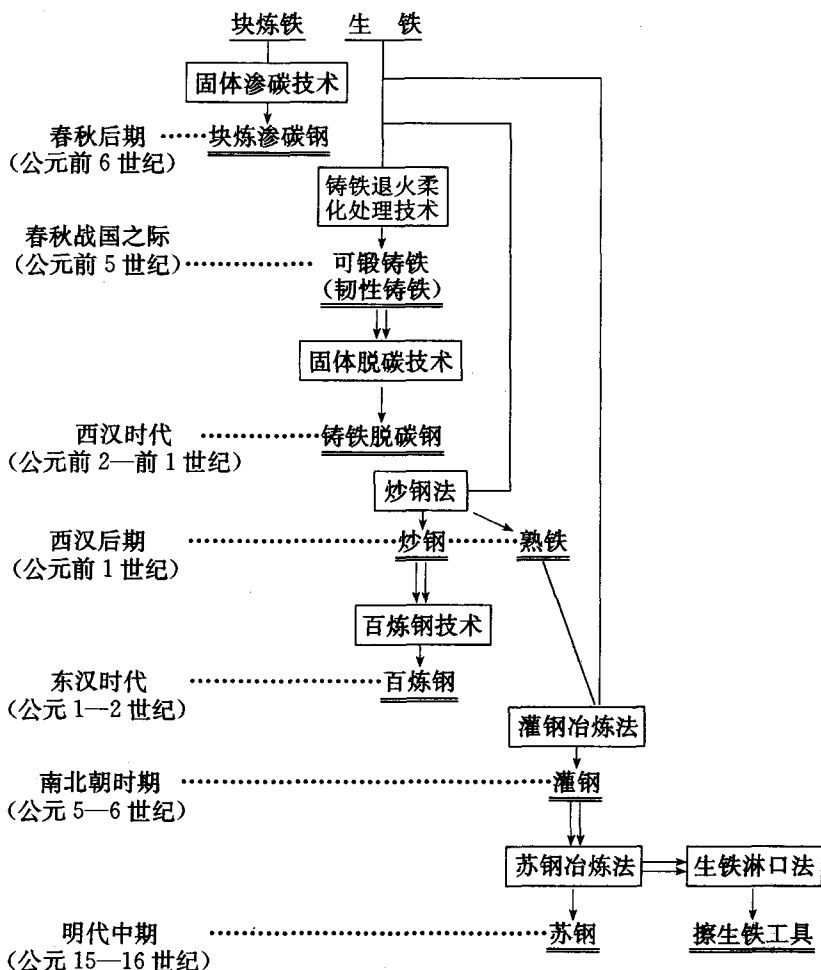
开创了独特的炼钢技术,它同时兼用生铁和熟铁两种原料,利用生铁含碳量高、比熟铁熔点低而先熔解的特点,把两种原料配合一起加热,让先熔的生铁液作为渗碳剂,灌注到疏松的熟铁的空隙之中,使熟铁的含碳量升高而成为钢材。因而这种炼钢方法被称为“灌钢”,亦称“团钢”。这种炼钢技术曾长期流行,不断有新发展。宋代把生铁片嵌在盘绕的熟铁条中间,用泥把炉密封起来烧炼,炼成灌钢。明代有了改进,把生铁片盖在捆紧的若干熟铁薄片上,使熟铁容易吸收生铁的铁液;不用泥封而用涂泥的草鞋遮盖,使生铁得到氧而容易熔化。至少到明代中期(15—16世纪之间),开始发展成为苏钢冶炼法,用人工钳住熔化的生铁板左右移动,使熔化下滴的高温的生铁液,均匀地淋入疏松的熟铁的空隙中,不但起了均匀的渗碳作用,同时熟铁中存留的渣滓也发生强烈的氧化作用,从而使渣铁分离,得到优质钢材。明代中期以后对于铁工具和铁兵器,采用液体增碳的“生铁淋口”方法,使刃部表面产生生铁熔复层和渗碳层,渗碳层具有高碳钢性质,达到了表面坚硬、内部柔韧和耐磨、耐用的要求。这种生铁淋口技术,又是苏钢冶炼法的重要发展。

总的说来,我国在封建社会前期,具有中华民族特色的古代炼钢技术基本上已经成熟,到封建社会后期,这种独特的炼钢技术体系进一步有了重大发展。为了便于了解起见,我们把我国历史上炼钢技术多方面发展情况,作出示意图,见下页。

我国钢铁的锻造技术也是不断进步的。公元前14世纪的商代中期,中国人民已经能够把陨铁锻成厚仅2毫米的铁刃。到公元前6世纪的春秋后期,炼制钢剑,已是使用多层薄钢片折叠反复锻打而成。到公元1—2世纪的东汉时代,采用百炼钢技术制造刀剑,进一步发展了锻造技术。到封建社会后期,锻造技术更有进步。宋代精工钢剑正由于锻造技术进步,加工均匀,富有韧性和弹性。同时冷加工技术有了发展,用冷锻强化钢的方法制成的钢甲特别著名,用冷

拉方法制成的钢针也很坚韧耐用。到清代初年,著名的钢铁产地芜湖,还利用锻造技术,创造了铁画工艺。

中国古代独特的炼钢技术系统发展示意图



表例: — 表示采用原料 □ 表示采用技术 → 表示技术成果
 ⇨ 表示技术进一步发展 — 表示生产成品 表示所处时期

三 总论中国历史上铁农具的改革及其作用

在中国古代社会历史发展过程中,炼铁技术和铸造技术的发明和发展,炼钢技术和锻造技术的发明和发展,对于铁农具的改革起了重要作用,而铁农具的不断改革,对于社会生产力的发展起了重要作用。

中国是世界上最早发明生铁冶炼技术的国家。至迟在公元前 6 世纪的春秋晚期已能炼出白口生铁,用来铸造铁农具和铁工具。春秋晚期生铁冶炼技术的发明和发展,使得铁的生产率大为提高,成本大幅度地降低,十分有利于铁农具的推广。采用生铁冶炼技术,炼铁炉可以连续操作一段时间,燃料损耗可以大为减少,而矿石的出铁率又可以大为提高。

中国又是世界上最早发明生铁柔化技术的国家。至迟在公元前 5 世纪的春秋、战国之际已经发明用“退火”处理办法,制造可锻铸铁(又称“韧性铸铁”或“展性铸铁”)的农具和手工工具。早期生产的生铁是白口铁。白口铁的优点是耐磨,适宜于铸造犁铧一类农具;它的缺点是质硬而脆,容易折损,不适宜制造犁铧以外各种需要强度和韧性的农具。如果采用适当的退火处理方法,可以使白口铁发生脱碳和石墨化的作用,从而改进生铁的性能。如果退火处理的效果偏重于起脱碳作用,就成为白心可锻铸铁。如果退火处理的效果偏重于起石墨化作用,就成为黑心可锻铸铁。这样制成的可锻铸铁农具,就消除了原来白口铁硬脆的缺点,变得韧性好而耐冲击。在两种可锻铸铁农具中,黑心的性能要比白心的优越。

战国时代的生铁柔化技术还处于开创阶段,还不够成熟,多数产品是白心可锻铸铁,表面经过脱碳,形成一层熟铁和钢的组织,增加

了铸件的韧性,而内部依然是白口生铁。但是这一技术的发明和使用,已使原来的白口铁农具改进了性能,提高了工作效率。这对于铁农具的推广显然起了重要作用。尽管这时已发明用块炼铁渗碳制钢的技术,但是渗碳制钢,反复折叠锻打,十分费时费力,而且成本又高,因此只能用来制作部分兵器(当时青铜兵器还多于钢铁兵器),不可能用来制作广大农民使用的农具。采用生铁柔化技术制成的韧性铸铁农具,性能虽然比钢刃熟铁的制成品要差些,但是制造方法简便,成本低廉,适宜于普遍推广使用。生铁柔化技术的发明和发展,使得可锻铸铁农具广泛推广使用,这是中国古代历史上铁农具的第一次重大改革。

从现在已出土的早期铁器来看,春秋晚期和战国早期南方楚国地区和中原周、韩地区使用的铁农具,只有镢、镰、凹字形侈刃铁口锄、空首布式锄等种,还不能排除青铜和木石农具的使用。由于生铁冶炼技术的进步,生铁柔化技术的发展,到战国中期,北起今辽宁,南到今广东,东到今山东,西到今四川、陕西,都有各种铁农具出土,铁农具在农具中已经取得主导地位。而且铁农具的品种增多,犁铧有V字形铁口犁一种,耙有五齿耙一种,耨有一字形铁口耨、凹字形铁口耨两种,锄有凹字形侈刃铁口锄、空首布式锄、六角梯形板锄等三种,还有镢、镰、镰等种。铁口犁、铁口耨、铁口锄,只是把铁制刃部镶嵌在木农具的锋刃的边缘上,成为一种嵌刃式(即所谓“铁口”)的铁农具,铁的刃部虽还比较单薄,但铁的锋刃毕竟坚固锐利多了。这时的V字形铁口犁虽然没有翻转土块的犁壁的装置,但是它的前端尖锐,锐端有直棱,能够起破土划沟的作用,便于推广牛耕,这比起过去依靠人力耕作用的耒耜等耕具,显然是耕作技术史上的一次重大革新。这时的五齿耙既可以用来挖土,又可以用来翻土起垄,作为耕垦的农具。两种铁口耨既可以用来掘起土块,也可以用来翻动土块,作为耕垦的辅助农具。三种不同形式的锄,有的可以用来起土开沟,

有的适应了中耕除草的需要。这些铁农具的推广使用,为当时精耕细作的农业技术创造了条件。《吕氏春秋·上农篇》说:“是以六尺之耜,所以成亩也;其博(当作镈)八寸,所以成刚也;耨柄尺,此其度也。其耨六寸,所以间稼也。”这里所说的“耜”当是犁的代称。这是说:长六尺的犁可以用来耕垦成垄,刃宽八寸的镈(大锄)可以用来起土开沟,垄与沟的宽度都以耨(小锄)柄一尺的长度作为标准。这说明当时已很讲究铁农具柄的长短和刃的宽狭,以适应当时耕垦、整地、除草等技术上的需要。随着铁农具的推广使用,农业生产技术有很大进步,从事研究农业技术的科学也就兴起,这就是所谓农家之学。《吕氏春秋》中《上农》、《任地》、《辩土》、《审时》等四篇,就保存了当时农家之学的一部分。

春秋、战国之际,铁农具的革新和推广使用,使得农业生产技术取得重大进步,社会生产力得到重大发展,这对当时社会历史的发展有重大的促进作用。当时中国社会正由奴隶制转变为封建制。这个转变的分界线,有的依据《史记·六国年表》定在周元王元年(公元前475年);有的为了上接《春秋》定在鲁哀公十四年(公元前481年),这年正是发生“田氏代齐”(田常杀死齐简公)事件的一年。而欧洲由奴隶制转变为封建制的分界线,是在西罗马灭亡的公元476年。中国进入封建社会比欧洲要早一千年,这不是偶然的,是当时高度发展的生产力推动生产关系变革的结果。中国生铁冶炼技术的发明比欧洲早一千九百多年,生铁柔化技术的创造又比欧洲早两千两百多年。铁农具因之很快得到推广使用,功能也日益提高,既有利于开垦田地和精耕细作,也便于水利灌溉事业的兴修,从而促进小农经济的发展。战国初年李悝在魏国实行变法,根据魏国地少人多的情况,提倡“尽地力之教”,主张精耕细作,来发展农业生产。后来商鞅在秦国实行变法,根据秦国地广人稀的条件,提倡大力开垦荒地和休耕地,来发展农业生产。这些变法措施,都是在铁农具的改革和农业生产技

术发展的基础上提出的。

根据李悝的估计,战国初期魏国农业产量,1亩(相当于今 $1/3$ 亩)一般可以生产粟(小米)一石半(相当于今3斗)^①,相当于今天1亩生产小米9斗。战国末年秦开凿郑国渠之后,改良了灌溉地区的土壤,“收皆亩一鍾”^②,即每亩生产六石四斗。当时秦1亩(商鞅变法后以240步为1亩)合今0.69亩,1石约合今2斗,以此折算,就是今天1亩生产1.85石,比李悝估计的一般产量增加一倍。由于农产品量的提高,战国时代一夫一妇种田100亩(相当于今30多亩),可以养活5—9人。《孟子·万章下篇》说:“上农夫食九人,上次食八人,中食七人,中次食六人,下食五人。”《吕氏春秋·上农篇》也说:“上田夫食九人,下田夫食五人,可以益,可以损,一人治之,十人食之,六畜皆在其中矣。”一家一户的小农生产,这时可以养活6—9人,甚至10人,这就使得“五口之家”或“八口之家”的小农经济成长发展,成为封建社会的经济基础。

战国时代的铁农具,犁铧采用白口生铁铸造,其他铁农具多数用可锻铸铁制成。汉代的铁农具,就是在战国的基础上作了进一步的发展。从出土的汉代铁犁铧来看,已有大小不同的形制,以适应垦耕熟地、开垦荒地、开沟做渠等不同的需要。最大型的开沟用的犁铧,陕西陇县、河北满城等地都曾出土,长宽有在40厘米以上、重达12—15公斤的。由此可见当时人所说:“县官(官府)鼓铸铁器,大抵多为大器”^③,是有根据的。这是铁农具进步的重要标志之一。开荒犁的推广,便利了荒地的开垦,有利于农业生产的发展。大型的开沟

① 见《汉书·食货志》。三晋的量器至今没有发现,根据安邑下官鍾(咸阳市博物馆藏)、少府壶、尹壶(上海博物馆藏)等三晋容器上所刻容积来推算,每升合192到231毫升,大体与商鞅方升接近。参看拙著《战国史》(1980年版)第229页注①。

② 《史记》卷29《河渠书》。

③ 《盐铁论·水旱篇》。

犁的出现,更便利了大型水利工程建设,这对于农业生产的发展起了重要的作用。从西汉晚期到东汉时代,犁铧上都已装置有翻土用的犁壁,而且犁壁已有多种多样,有向一侧翻土而作菱形或板形的,有向两侧翻土而作马鞍形的。东汉时代的耕犁都已装有“犁床”(或称“犁底”),大多是单长辕,用两头牛牵引,而且装置有“犁箭”可以上下移动,以决定犁铧入土的深浅。这时中国的耕犁已经定型,后世的耕犁只是在这个基础上不断有所改进罢了。

汉代的韧性铸铁农具比战国有很大进步,制成品多数属于黑心可锻铸铁,质量已与现代可锻铸铁没有本质的差别。汉代冶铁作坊采用铁范铸造薄壁的白口生铁铸件,用作制成可锻铸铁的坯件。由于铁范导热性良好,浇注成铁器后冷却速度快,可以保证取得白口生铁。又由于铁范的范壁厚薄一致,使铸件的冷却速度均匀,可以得到薄壁而结晶良好的白口生铁铸件,有助于进行退火处理时加速石墨化,从而取得优质可锻铸铁。这时可锻铸铁农具之所以能够大量推广,是由于官营冶铁作坊采用了成批生产的进步办法。他们采用铁范来铸造坯件,使得成批的坯件规格一致。他们使用规模较大的加热炉,把薄壁的同规格的坯件套合叠放在炉内加热,就可以成批进行退火处理。在已发现的汉代冶铁作坊遗址中,就有成百件同规格的铁工具套合叠放在一起的。在金相检验中,多次发现这些铁工具的釜底的脱碳程度比釜壁外侧为甚,这一现象当是由于采用成批生产办法,把同一规格的铁工具交叉叠放在一起加热,釜壁的外侧受到保护,而釜底较多接触炉气的结果。

汉代由于冶铁技术的进步和冶铁手工业的发展,铁农具显然比战国时代有很大进步。耕犁结构的改进,各种大小形制的犁铧和犁壁的创造和使用,各种优质可锻铸铁农具的成批生产和推广使用,使得当时以一家一户为单位的小农扩展了独立生产的能力,这就大大促进了当时农业生产的发展。当时人们已经普遍认识到铁农具在农

业生产中的重要性,例如说:“铁器者,农夫之死生也”^①;“铁器,民之大用也”^②。同时人们也已认识到冶铁工人操作技术的熟练细致与否,会影响到铁农具的质量是否合于实用。如果生铁柔化技术的操作水平高超,就能使得制成的铁农具“刚柔和”而合用,否则的话,就“坚柔不和”而不合实用^③。汉代之所以能够成为封建社会前期生产力高度发展的时期,铁农具的改革和推广该是一个重要的因素。

西汉时代由于生铁柔化技术的发展,出现固体脱碳制钢技术,可使小型的薄壁的铁工具由表及里全部适当的脱碳,成为钢件而不析出或只析出极少的石墨,我们称之为“铸铁脱碳钢”。汉、魏之间就有一些小铁农具如镰刀之类就是铸铁脱碳钢的性质的。这是韧性铸铁农具的一个发展。

战国、秦、汉时期韧性铸铁农具的发展和推广是中国历史上铁农具的第一次重大改革,对于封建社会前期生产力的发展起了重大的促进作用。唐、宋时期钢刃熟铁农具的推广是中国历史上铁农具的第二次重大改革,对于封建社会后期生产力的发展起了重大的促进作用。

封建社会前期,从战国、秦、汉一直到魏、晋、南北朝,长期使用生铁柔化技术制成可锻铸铁农具,有它的优点,也有它的缺点。缺点是由于技术条件的限制,可锻铸铁农具一般器形较小,薄壁而作嵌刃式(即所谓“铁口”),因而耕作的效能还比较差。尽管汉代炼铁和铸铁技术有很大发展,炼铁炉和化铁炉的容积都很大,可以铸造大型铁器,但在当时,除了用白口生铁铸造大型犁铧和犁壁以外,由于技术条件的限制,还不可能制造其他各种需要强度和韧性的大型可锻铸铁农具。因为采用生铁柔化技术,使白口生铁变为可锻铸铁,只有用薄壁的小型铸件作为坯件,才能使得退火处理成功。如果铸件厚而

① 《盐铁论·农耕篇》。

②③ 《盐铁论·水旱篇》。

大,退火就不可能完全,强度和韧性就不合工具的需要。因此必须采用钢刃熟铁农具,才可能使农具造得大而厚重,符合农业生产进一步发展的需要。

钢刃熟铁农具有一个逐步推广的过程,这和炼钢技术的不断革新有密切关系。从春秋晚期一直到西汉前期,尽管当时已发明用块炼铁锻成熟铁和渗碳制钢的方法,但是由于成本昂贵,费时费力,只能用来制成部分兵器。到西汉晚期,发明用生铁炒炼成熟铁或钢的方法,熟铁和钢的生产有所提高,因而东汉时代钢刃熟铁的兵器就大为推广,排除了青铜兵器的使用;同时,部分重要手工工具如斧之类也已采用钢作刃部。但是由于熟铁和钢的产量还不够多,还不可能大量用来制作农具。从战国一直到东汉前期,除草用的农具主要是可锻铸铁的六角梯形板锄,到东汉后期才开始出现用熟铁锻造的曲柄的半圆形板锄,但器形还较小,还不够普遍。整个魏、晋、南北朝时期,铁农具的制作还是以可锻铸铁为主,钢刃熟铁农具还不多见。

南北朝时期推行的灌钢冶炼法,是炼钢技术的一次重大革新,这是中国劳动人民创造的一种独特的炼钢技术,此后不断有所改进,成为中国封建社会后期的主要炼钢方法,使钢的产量和质量不断提高,这就为推广钢刃熟铁农具创造了有利条件。南北朝时期著名医药家陶弘景说:“钢铁是杂炼生镵作刀镰者”^①。“杂炼生镵”就是指兼用生铁和熟铁作原料的灌钢冶炼法,所说“作刀镰者”,说明当时除了使用灌钢作刀剑等兵器的刃部以外,需要锋利的镰刀的刃部也已用灌钢制成。但是大量推广使用钢刃熟铁农具,开始于唐、宋时代,这是炒炼熟铁技术和灌钢冶炼技术以及锻造技术进一步发展的结果。唐、宋以后,除了犁铧、犁壁为了坚硬耐磨,仍然用白口生铁铸造以外,锻造的钢刃熟铁的厚重农具代替了小型薄壁的嵌刃式的可锻铸

^① 《重修政和经史证类备用本草》卷4《玉石部》引。

铁农具。值得重视的是,这时在耕犁上发明了使用钢刃熟铁犁的装置,同时创造了钢刃熟铁的铁搭、踏犁等垦耕工具。

唐、宋时代耕犁的结构又有了进步。唐末陆龟蒙《耒耜经》记载了当时江东的犁,由大小十一个部件组成,结构坚固而灵巧,除了有犁壁、犁箭等装置外,犁辕的头上还有可以转动的犁槃的装置。至迟到宋代,耕犁上更有了钢刃熟铁犁刀的装置。南宋初年犁刀已被普遍用作开荒的农具,称为“鋤刀”或“开荒鋤刀”。元代王祿《农书》又称为“鋤刀”,或者装置在小犁的犁底(犁床)上,用牛牵引作为第一道开荒的工具;或者直接附装在大犁的“辕首里边”,使犁刀和犁铧在同一犁上起开垦和耕田的作用。宋、元时代犁刀及其装置方法的创造,使耕犁的功用大为增强,这是农具发展史上一次值得大书特书的重大革新。

唐、宋以后长江流域流行的铁搭,也是农具发展史上的重大发明。这是十分得力的手工垦耕工具,用钢刃熟铁锻造而成,有四齿或六齿,十分锋利。铁搭在长期的广泛使用中,适应不同开垦的需要,有各种不同式样,多数的齿的刃部是平方的,又有齿的刃部作为梯形的,也有齿的刃部是锐利的。平方的齿刃多用于开垦旱地,梯形的齿刃多用于开垦水田,锐利的齿刃多用于开垦荒地。由于齿刃如同刀一样的锋利,当时人们把使用铁搭垦地称为“刀耕”。明代太湖流域的农民常常不用牛耕而靠“刀耕”。这是因为农民贫困,养不起耕牛;同时这一带地少人多,耕地不足而人力有余,如果有强壮劳动力使用铁搭“刀耕”,可以比牛耕翻得深、翻得匀、翻得透;而且太湖流域的土壤是青紫泥,土质黏重,需要干垦,而干垦不是一般牛耕所能胜任,因而靠人力使用铁搭比较适宜。据说十个人使用铁搭翻耕可当牛一头。当时使用铁搭翻耕田地,有所谓“垦”和“倒”的区别。“垦”是指庄稼收割之后开始用铁搭顺次普遍翻地,一般在冬天进行;“倒”是指垦好之后再用地搭按照垦的相反方向倒翻,一般在春天进行。当时有些地区为了加深垦耕,既用牛耕,又用地搭翻耕。明、清时代江南

地区农业生产有很大发展,使用铁搭深耕是起了很大作用的。直到今天江南地区农民还把铁搭作为人工耕垦的重要工具。

唐、宋以后流行的人工使用的开荒农具——钢刃熟铁的踏犁,虽然速度比牛耕慢,但在缺少耕牛的条件下,还是一种有效的垦耕工具。如果有强有力的劳动力配合使用,还能取得比牛耕更好的效果。这种踏犁在北宋初年已推广使用。据说四五个人使用踏犁耕作,可比牛一头。

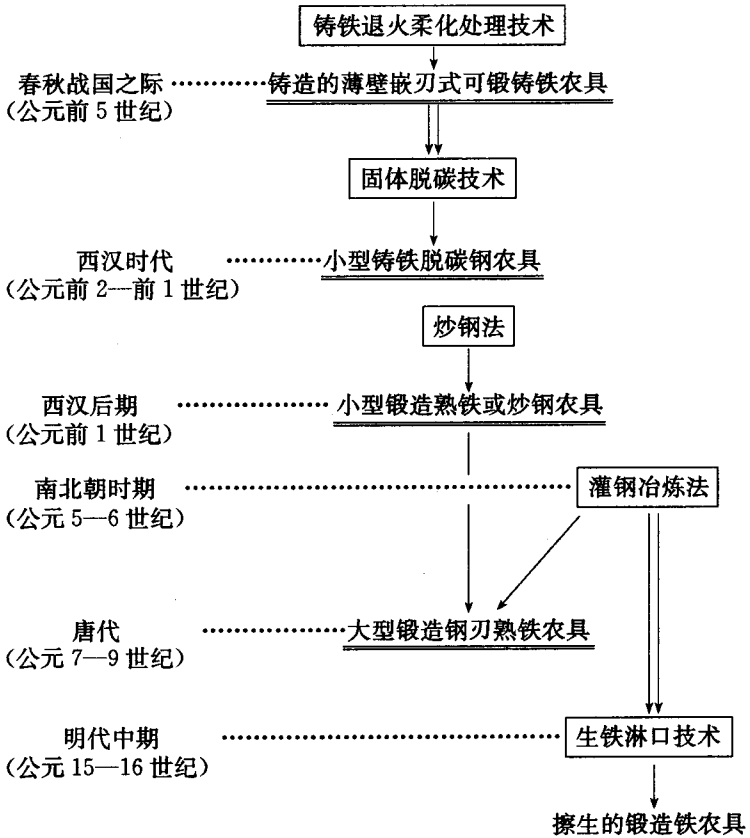
唐、宋时代钢刃熟铁农具的推广,是中国历史上铁农具的第二次重大改革,特别是耕犁上犁刀的创造和使用,铁搭和踏犁的创造和推广,对于长江流域特别是太湖流域农业生产的发展起了相当大的作用。

明、清之际擦生铁农具的推广,是中国历史上铁农具的第三次改革。明代中期以后,铁农具除了犁铧、犁壁仍用生铁铸造,犁刀、铁搭之类仍用钢刃熟铁制造以外,锄、镢、镰等小铁农具采用生铁淋口技术,制成擦生铁农具,这对农业生产的发展也起一定的作用。

明代中期以后,灌钢冶炼技术发展为苏钢冶炼技术。苏钢冶炼技术使用火钳钳住正在熔化下滴的高温生铁液的铁条左右移动,使均匀地滴淋入疏松的熟铁块的孔隙中,发生渗碳作用,从而取得较纯的钢材。生铁淋口技术是苏钢冶炼法的一个发展,它用熔化下滴的高温生铁液滴淋小铁农具的刃部,使它的表面有一定厚度的生铁熔覆层和渗碳层,而这种渗碳层具有高碳钢的组织,这样使得这些小铁农具制作时不需要在刃部夹进炼好的钢条,而能具有钢刃的性能。直到今天,山西、河北、山东、江苏等省仍然采用这种方法制造小铁农具。现在稍有不同的地方,就是不仅用生铁淋口,而大多是全面用生铁液来淋擦的,因而被称为“擦生农具”。这种擦生农具的特点是,既耐磨,韧性又好,锋刃快,经久耐用。这次铁农具的改革,显然没有上两次那样重要,因为擦生铁农具的功能效果并不比钢刃熟铁农具更好,只是方法简便,造价低廉,便于推广使用;而且改革的范围较小,

只限于小铁农具,如犁刀、铁搭等耕垦农具就不适宜采用这种方法制造。尽管如此,但是制造方法简便而造价低廉还是很重要的,因为这样便于广大贫苦农民采购使用,对于农业生产的发展无疑是有积极意义的。正是这个时期,农业生产得到进一步发展,社会经济得到进一步繁荣,产生了资本主义的萌芽。

中国封建社会冶铁技术发展和铁农具进步示意图



表例: □表示采用技术 → 表示技术成果

⇨表示技术进一步发展 ———表示生产成品表示所处时期

在 16 世纪以前,无论从社会经济和科学技术的发展来看,中国在上个世纪是个先进的大国。就炼铁炼钢技术这个领域来看,也是如此。但是在 16 世纪以后三百年中,中国日益落后于西方了。中国在明末清初之际,虽然也产生了资本主义萌芽,促进了民营商办矿冶业的发展,但是由于封建的专制统治,采用限制和打击措施,对商业、手工业和海外贸易加以束缚和摧残,严重压制了商业资本的发展和向手工制造业资本的转化,微弱的手工业资本不可能较快地大量积累起来。正因为如此,中国的资本主义萌芽发展十分迟缓,越来越落后于西方。这时欧洲的炼铁炼钢技术,由于产业革命而得到了快速的发展,而中国原来先进的炼铁炼钢技术,却变成落后者,而且越来越落在西方近代钢铁工业的后面。

落后是要挨打的。自从鸦片战争以后,中国在帝国主义列强的侵略和本国反动统治阶级的压榨下,变成了半殖民地、半封建的社会,经济命脉既为帝国主义者操纵和掠夺,生产也就越来越落后,使得旧中国的钢铁工业走着一条屈辱的道路。在帝国主义者侵略和国内反动派的压迫下,原有土法的炼铁炼钢被排挤得奄奄一息,而现代化的钢铁工业也不能发育,满身带着帝国主义盘剥、榨取的鞭痕。自从 1890 年我国创办第一个现代钢铁联合企业——汉阳钢铁厂起,到 1949 年解放前为止,五十九年间总共只生产了 760 万吨钢,平均每年只有 12.8 万吨,1949 年的钢产量只有 15.8 万吨,落在二十四个国家的后面。更可痛心的是,我国重要的钢铁资源,成了帝国主义者血腥的魔手掠夺的目标。

新中国的成立,标志着中国进入历史发展的新时代。一百多年殖民主义、帝国主义奴役中国人民的时代从此结束,广大劳动人民成为新中国的主人。三十年来,我们在旧中国遗留下来的“一穷二白”的基础上,建立了独立的比较完整的工业体系和国民经济体系。钢铁工业有了新发展,钢产量从 1950 年的 60.6 万吨发展到 1979 年的

3 443万吨。粉碎“四人帮”以来,我们从政治上、思想上和组织上拨乱反正,提出了实现四个现代化的宏伟目标。在今天回顾我国炼铁炼钢技术发展的历史,更可以增强我们实现四个现代化的信心,鼓舞我们在科学技术领域尽快地赶上和超过世界先进水平。



ISBN 7-208-05309-X



9 787208 053090 >

定价 28.00 元

易文网: www.ewen.cc



[General Information]

书名:中国古代冶铁技术发展史

作者:杨宽著

页数:323

出版社:上海人民出版社

出版日期:2004

简介:本书分两篇。上篇介绍了中国古代冶铁业的发展和炼铁技术的进步以及炼铁炉的发展和冶炼技术,下编介绍了中国古代炼钢技术的创造和发展。

主题词:炼铁(学科:冶金史 地点:中国 年代:古代) 炼铁
冶金史

SS号:11287392

DX号:000005079229

<http://book1.duxiu.com/bookDetail.jsp?dxNumber=000005079229&d=14AFF9DBD0628ACE086B85923C5A4D9B&fenlei=180906&sw=%D7%A8%CC%E2%CA%B7%CF%B5%C1%D0%B4%D4%CA%E9>

封面页
书名页
版权页
前言页
目录页
绪论

- 一 关于炼铁技术的发明
- 二 关于铁的种类和炼铁技术的发展
- 三 关于炼钢技术的发明和发展

上编 中国古代炼铁技术的发明和发展

第一章 关于中国炼铁技术发明时代的探讨

- 一 从古代文献记载来推断
- 二 从出土的早期铁器来考察

第二章 封建社会前期冶铁业的发展和炼铁技术的进步

- 一 封建社会前期冶铁业的发展
- 二 冶铸生铁技术的快速发展
- 三 炼铁工艺多方面的创造
 - 一、铸铁柔化处理技术的创造和发展
 - 二、铸造低硅灰口铸铁以及类似球墨铸铁工艺的

发明

三、低温还原“块炼法”的继续采用

第三章 早期炼铁炉的发展及冶炼技术

- 一 坩埚炼铁法的创造和长期流传
- 二 炼铁高炉的发展变化及冶炼技术
- 三 鼓风技术的改进

第四章 水力鼓风机(水排)的发明和发展

- 一 东汉三国间水力鼓风机(水排)的发明和发展
- 二 水力鼓风机(水排)的结构
- 三 水力鼓风机(水排)装置工程的发展

第五章 早期化铁炉的发展及铸造铁器技术

- 一 战国时代化铁炉及铸造铁器技术
- 二 汉代化铁炉的进步
- 三 汉代铸造铁器技术的发展和叠铸技术
- 四 铁器的逐渐广泛使用和铁农具的改进

第六章	封建社会后期冶铁业的发达和炼铁技术的发展
一	封建社会后期冶铁业的发达以及铁产量的提高
二	活门木风箱和活塞木风箱的创造和发展
三	煤的广泛使用和焦炭的炼制
四	铁器铸造工艺的进步
第七章	后期炼铁炉的改进及冶炼技术
一	宋元时代高炉的改进及冶炼技术
二	明清时代高炉的改进及冶炼技术
三	近代各地民间流传的土高炉及冶炼技术
下编	中国古代炼钢技术的创造和发展
第八章	固体渗碳制钢技术的发明和流传
一	关于干将、莫邪等宝剑的炼制方法
二	中国古代的两种固体渗碳制钢技术
三	中国边疆兄弟民族的炼制“镔铁”
第九章	脱碳制钢技术的发明和发展
一	固体脱碳制钢技术的发明
二	“炒钢”技术的发明和发展
三	“百炼钢”技术的发展
第十章	“灌钢”冶炼法的发明和发展
一	“灌钢”的起源及其冶炼技术的进步
二	明清以后“苏钢”冶炼技术及其传播
三	“生铁淋口”技术的发明和流传
第十一章	锻造技术和淬火工艺的进步
一	锻造技术的进步
二	锻造技术的进步和锻造铁农具的改进
三	淬火技术的发明和发展
总论	
一	总论中国历史上炼铁技术和铸造技术的发展
二	总论中国历史上炼钢技术和锻造技术的发展
三	总论中国历史上铁农具的改革及其作用
附录页	
封底	