



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



● 文干主编

天文航海
及无线电导航

中国农业出版社

全国高等农业院校教材
天文航海及无线电导航
文 干 主编

责任编辑 陈岳书
出版 中国农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路2号)
发行 新华书店北京发行所
印刷 北京科技印刷厂

* * *
开本 880mm×1230mm1/16 开本
印张 18.25 1 插页 字数 347 千字
版、印次 1997 年 5 月第 1 版
1997 年 5 月北京第 1 次印刷
印数 1—2,000 册 定价 23.60 元

书号 ISBN 7-109-04208-1/P·7

ISBN 7-109-04208-1



9 787109 042087 >

全国高等农业院校教材

天文航海及无线电导航

文 干 主编

海洋渔业专业用

中国农业出版社

内 容 简 介

本教材是根据全国高等水产院校规划教材海洋渔业本科《天文航海及无线电导航》教学大纲编写的。全书分天文航海和无线电导航两大部分。

天文航海主要介绍天文定位的基础知识，基本原理和利用天体测定航位的实用方法。包括利用太阳移线或二、三天体同时测定航位；利用太阳特大高度测定航位；观测太阳、北极星求纬度和利用天体测定罗经差。

无线电导航重点介绍雷达，罗兰 A、C，NNSS 及 GPS 卫星导航仪，简要介绍测向仪、台卡 and 奥米伽等导航系统的定位原理，并结合我国渔船当前常用的仪器型号，具体介绍其主要功能及操作方法。

本教材在原理叙述上力求简明扼要，主要侧重于对各种定位方法的具体操作和实际应用。除海洋渔业专业外，也可作为水产航海有关专业教材和渔船驾驶员的学习参考。

前 言

天文航海与无线电导航是渔船航海技术中两个独立的组成部分。鉴于最近十年导航科学技术的迅猛发展,电子计算机广泛应用,新型无线电导航仪器接踵涌现,航海科学名词、术语、符号已有统一规定。因此,根据教学需要和部教材编写指导委员会的决定,我们把水产高校海洋渔业专业天文航海与无线电导航教材在原基础上进行了重编。新编教材在体系及内容上按新大纲要求作了相应的增删和修改。

根据新大纲,天文航海教学的中心要求是在掌握基本原理的基础上,能实际测出准确可靠的天文船位。由于天文航海的系统性较强,环环相扣,缺一不可,所以本教材建立了以船位为中心,以高度差法原理为线索的体系,在第1章介绍了球面天文学基础知识后,接着便讲天文船位原理和高度差法原理,然后以船位线两要素为引子依次展开,直至求出天测船位,最后对船位的准确性进行分析。随着电子计算机技术的普及和观测仪器的改进,天文航海原有的计算繁琐费时和观测时机受限制等两大缺点将会得到根本改善,而现代天文航海设备操作简便并能自主导航的优势,在今后导航技术中将更为突出,更受重视。所以在本教材第8章编入计算机在天文航海中的应用及观测仪器的改进一内容,介绍了新技术在本学科的应用及其发展趋向。天文定位需用的表册较多,教材内例题用的是1992年天文历的数据,为了成人教育、远洋培训及船员自学进修时学习方便,在教材末摘要附录了1992年航海天文历、航海用表、天体高度方位表及球面三角等有关内容,使读者只用本教材便可以系统完整地进行学习。

无线电导航的主要教学要求是在掌握导航定位原理的基础上,能够对船用仪器进行熟练操作和应用。根据我国渔船目前的装备及近期的可能发展,本教材重点介绍雷达、罗兰(Loran)A、C型定位仪及NNSS和GPS卫星导航仪,同时简要介绍了无线电测向仪,台卡(Decca)和奥米伽(Omega, Ω)定位仪。在解决各系统导航定位原理的基础上,着重介绍仪器的操作使用。因为没有另外的实验实习讲义,所以在本教材内以国内当前较普遍和有代表性的仪器型号为例,对其操作使用的方法步骤进行具体的叙述。对现在或将来所用的其他型号仪器,读者可在掌握其基本要领的基础上,触类旁通。

本教材根据统一大纲,天文航海分为1~8章,共教54学时;无线电导航分为9~12章,共教36学时。其中第1、2、3、4、8章为大连水产学院文干教授编写,第5、6、7章为青岛海洋大学华敬圻副教授编写,第9章为大连水产学院高音讲师编写,第10章为大连水产学院安业本副教授编写,第11、12章为上海水产大学顾浩年副教授编写。

全书主编文干教授,主审大连海运学院杨守仁教授,参审湛江水产学院陈兴崇教授。

因水平有限,时间仓促,缺点错误,在所难免,望广大读者批评指正。

编 者

1993年5月

目 录

前言

第一篇 天文航海

第 1 章 基础知识	1
第 1 节 天体识别	1
第 2 节 天球坐标	10
第 3 节 天文三角形	16
第 4 节 天体的视运动及其坐标值的变化	18
第 2 章 天文定位原理	28
第 1 节 天文船位原理	28
第 2 节 用高度差法求船位线的原理	29
第 3 节 高度差法的准确性分析	33
第 3 章 求天体的计算高度及方位	36
第 1 节 时间	36
第 2 节 不同经度线上的时间及其换算	39
第 3 节 求观测时的世界时	42
第 4 节 求天体的地方时角和赤纬	45
第 5 节 求天体的计算高度及方位	49
第 4 章 求天体的真高度	58
第 1 节 六分仪及其使用	58
第 2 节 求天体的真高度	66
第 3 节 保证真高度准确性的措施	71
第 5 章 船位测定	73
第 1 节 观测太阳定船位	73
第 2 节 观测星体定船位	78
第 3 节 晨光昏影时间计算	83
第 4 节 选星和认星	85
第 5 节 观测太阳和月亮或金星定船位	90
第 6 节 纬度测定	96
第 7 节 观测太阳特大高度定船位	102
第 6 章 天文船位准确性的分析	106
第 1 节 误差的基础知识	106
第 2 节 天文船位线的随机误差	109
第 3 节 观测高度均方误差的求法	111
第 4 节 随机误差对天文船位线和两线船位的影响	113
第 5 节 系统误差对天文船位线和两线船位的影响	114
第 6 节 船位误差三角形的处理和消除	116
第 7 章 用天文方法测定罗经差	119
第 1 节 观测低高度天体方位求罗经差	119
第 2 节 观测太阳出没方位求罗经差	123
第 3 节 观测北极星方位求罗经差	125

第4节 太阳磁方位表的编制	126
第8章 新技术在天文航海中的应用	129
第1节 计算机在天文航海中的应用	129
第2节 观测仪器的改进	130

第二篇 无线电导航

第9章 雷达定位及导航	133
第1节 雷达工作原理	133
第2节 雷达的技术性能	134
第3节 雷达的最大作用距离	137
第4节 目标的影像特点和回波识别	140
第5节 假回波与干扰杂波	143
第6节 雷达操作使用	145
第7节 雷达定位及其精度	147
第8节 雷达导航	150
第10章 罗兰系统	155
第1节 罗兰A系统工作原理	155
第2节 罗兰A接收机及其操作	157
第3节 罗兰A定位	159
第4节 天地波识别及天波修正	160
第5节 罗兰A系统定位精度	161
第6节 罗兰C系统的特点及组成	163
第7节 罗兰C系统工作原理	163
第8节 罗兰C接收机及其主要功能	165
第9节 罗兰C定位	166
第11章 卫星导航	172
第1节 子午仪卫星导航系统	172
第2节 子午仪卫星导航仪的操纵使用	174
第3节 导航星全球定位系统	188
第12章 其它无线电导航仪器	203
第1节 无线电测向仪	203
第2节 台卡导航系统	208
第3节 奥米伽导航系统	213
附录一 天文航海有关的数学问题	222
第1节 常用数学公式摘录	222
第2节 球面几何摘要	224
第3节 球面三角摘要	225
附录二 有关天文表格(表中单位均按中国GB要求改正)	231
1. 四星纪要, 1992年	231
2. 天体位置表(摘)	233
3. 恒星视位置表	247
4. 时角、赤纬内插表(摘)	249
5. 北极星高度求纬度表	254
6. 北极星方位角表	256
7. 天体高度修正表	257
① 太阳高度总改正表	257
② 星体高度总改正表	259

③ 月亮下边高度总改正表 (摘)	261
④ 太阳、星体高度改正表	262
⑤ 天体每分钟高度变动量表	263
⑥ 异顶差表	263
⑦ 太阳上边 (☉) 视出没方位表	264
8. 《B105 天体高度方位表》(摘)	265
9. 纬度差的高度修正表	278
10. 乘积表	280

第一篇 天文航海

第 1 章 基础知识

船舶在海上利用天文方法测定船位，如同地文航海利用陆标定位一样，必须满足两个基本条件：一是要知道所观测的目标及其准确的位置；二是要能找到目标与观测者位置之间的相对关系。由于陆标定位所观测的物标都已编印在海图上，其名称与位置一目了然，但天文定位所观测的物标是天空中的日、月、星辰，不仅数目繁多而且人们看到它们总是东升西没，星移斗转，在天空中的位置不断变化，所以研究天文定位就必须研究解决：①识别天上的观测目标；②确定所测目标当时的位置；③找出观测者与目标位置之间的相对关系等一系列问题，从而定出船位。

第 1 节 天体识别

天体 (celestial body) 是天文学中对太阳、月亮、行星和恒星的统称，也是在天文航海中对观测目标的统称。宇宙是无限的，天体的数目无穷无尽，除太阳、月亮外，在晴朗的夜晚，仰望天空，繁星闪烁，肉眼能见的天体共约六七千个，其余的因为距离太远，需用望远镜才能看见。在天文定位中除太阳、月亮和四颗行星外，能用到的还有 159 颗恒星，这些天体在天文航海中统称为航用天体。在航用天体中常用到的约有其中的 50 个左右。

一、太阳、行星和月亮

(一) 太阳 (The Sun) 太阳和以太阳为中心并围绕着太阳旋转的天体系统，称为太阳系 (Solar system)。太阳是太阳系的主体，位于太阳系的中央，它的直径约为地球直径的 109 倍，质量约占整个太阳系质量的 99.86%，即太阳的质量相当于太阳系其它天体质量总和的七百多倍，它所产生的强大引力使太阳系的所有其它天体都围绕着它旋转。太阳的表面温度约为 6000℃。太阳与地球的平均距离约为 15000 万 km，在天文学上作为度量宇宙间距离的一个天文单位。按光速从地球至太阳约需 8min。太阳和其它恒星相比较，无论在体积或绝对亮度上，都只不过是一颗中等的恒星，由于它距地球比其它恒星近得多，所以我们看到太阳比其它的恒星都大得多也亮得多。白天除了偶尔能看到月亮和金星之外，其余的天体都被太阳光所淹没，因此在白天多数时间只能利用太阳一个天体来测定船位。

(二) 行星 (Planets) 围绕恒星运转的天体称为行星。围绕太阳运转的有九大行星，依其距太阳由近至远的次序排列，它们是水星 (Mercury)、金星 (Venus)、地球 (Earth)、火星 (Mars)、木星 (Jupiter)、土星 (Saturn)、天王星 (Uranus)、海王星 (Neptune) 和冥王星 (Pluto)，如图 1-1-1。

九大行星围绕太阳自西向东沿着各自的轨道周而复始地运行。行星的这种运动称为公转。行星的公转轨道都是椭圆形的。行星的公转周期随着距太阳的远近而各异；地球为 1a，金星为 224.7d，木星为 4332.7d。行星在公转的同时还绕着各自的旋转轴进行自转。

在地球公转轨道内侧的金星、水星称为地内行星 (inferior planets)，在外侧的其余六颗行星称为地外行星 (superior planets)。水星离太阳最近，常被太阳光所淹没，不易看见。天王星、海王星和冥王星离地球太远、太暗，肉眼看不见。因

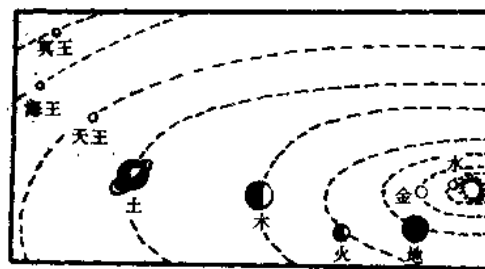


图 1-1-1 太阳系

此能用于天文定位的行星只有金星、火星、木星和土星四颗。

因为行星本身不会发光，是靠太阳光把它们照亮的，而且行星离地球都很近，所以它们都比较亮而且亮度稳定，没有恒星那种闪烁现象。四颗航用行星中，金星最亮，光辉夺目，光色辉青，因为它靠近太阳，只在日出前见于东方或日没后见于西方，在我国有称之为启明星、长庚星或太白星，极易辨认；木星呈银白色，光亮次于金星；火星第三，略带红色；土星较暗，光色橙黄。在夜空中我们看到恒星之间的相对位置是固定的，但行星的位置却不断变动，因此，当发现星空的某一区域内比往常多出一颗较亮的星，它一般就是行星，在实际工作中，还可根据《航海天文历》四星纪要栏内给出的行星概略位置来寻找和识别它们。

(三) 月亮 (Moon) 围绕行星公转的天体称为卫星 (satellite)。月亮是地球唯一的天然卫星，也是太阳系里唯一能够用作天文定位的卫星。卫星自身不会发光，我们看到的亮光是太阳光的反射。月亮沿其公转轨道环绕地球运行，后以太阳为参照基准，月亮从地球和太阳的连线上开始公转，运行一周又到达地球和太阳的连线上时 (按投影在二维空间上讨论)，称为一朔望月 (synodic month)。这样，在一朔望月中，月亮在不同日期运行到各个不同的位置上时，人们在地球上看到月亮光亮部分的形状也就不同，如图 1-1-2。

图中 E 表示地球， M_1 、 M_2 、 M_3 …… M_8 表示月亮绕地球公转一周所经过的不同位置。由于太阳距月亮很远同时又有足够的大，图右侧表示从太阳射向月亮的光线是平行的，月亮朝向太阳的一半是光亮的，另一半是黑暗的，人们在地球上看到月亮光亮部分的形状，称为月相。当月亮在 M_1 时，从地球看不见它的光亮部分，这时的月相称为“朔”又称新月，见图 1-1-2 左侧；当月亮在 M_3 位置时，光亮部分可全部看见，这时月相称“望”又称满月；当月亮

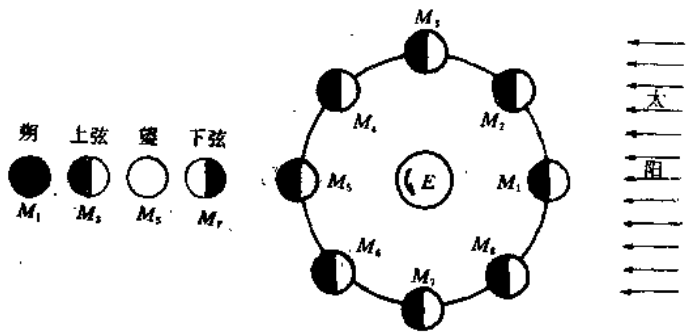


图 1-1-2 月相

在 M_5 、 M_7 位置时，可以看见一半，在 M_5 当月亮升起时亮的一半朝上，这时的月相称为“上弦”，在 M_7 升起时亮的一半朝下，称为“下弦”；当月亮在公转轨道上的其余位置，可看见它不同形状的光亮部分，在天文观测时，要根据月相选择观测它的上边沿或下边沿。

二、恒星的识别

(一) 恒星 (star) 恒星都是炽热发光的天体，太阳就是一颗恒星。我们知道，宇宙间的所有天体，都是永不停息地在运动着的，所谓恒星，并不是固定不动的星，宇宙间固定不动的星是没有的，实际上每颗恒星都以极大的速度运动着，但由于距地球太远，在短期内人们并不察觉它们位置的移动，所以被人们称之为恒星。

(二) 星座、星名和星等

1. 星座 (constellation) 为了识别天上的恒星，古时候的人们按天空恒星的排列形状将星空划分成若干区域，在每个区域内的恒星合组成一个星座，到 1922 年国际天文会议时，将整个星空共划分为 88 个星座。星座名称大部分取自古代神话，有人名、神名、禽兽及物品名等，如猎户座、仙后座、大熊座及天琴座等。

2. 星名 (star name) 在各个星座中，按恒星的亮度依次以希腊字母 α 、 β 、 γ ……排列，附在星座名之后，作为该恒星的星名，例如狮子座最亮的一颗星，就名为狮子座 α 星，第二亮的名为狮子座 β 星，余类推。由于有的恒星经过若干年亮度发生了变化，如双子座及猎户座的 α 星到现在反而不及 β 星亮，但现在仍保留用原来的星名。

较亮的恒星除了星名外，还有专名，如天琴座 α 星专名为织女一 (Vega)、大犬座 α 星专名为天狼星 (Sirius)。

根据恒星在天上位置的顺序，从赤经为零开始依次编号，为该恒星的星号。如仙女座 α 星星号为 1；小犬座 α 星星号为 55。

3. 星等 (magnitude) 星等是用来表示星的视亮度的标志。在晴朗的夜空，人眼能看到最暗的星为六等星，国际上规定比六等星亮 100 倍的为一等星，其余星等按等比级数排列。一等星的亮度比六等星高五级，共为 100 倍，则每级的亮度差为 $\sqrt[5]{100}$ 倍 ≈ 2.5 倍，即五等星比六等星亮 2.5 倍，四等星比五等星亮 2.5 倍，余类推。

星空中各恒星以视亮度表示星等的数字并不刚好都是整数，如织女一为 0.1，室女座 α 星为 1.21。人们为了方便起见，把一定范围内的星等概括统称为一个星等，即：

统称	实际星等范围
一等星	比 +1.50 亮的星
二等星	+1.51 ~ +2.50
三等星	+2.51 ~ +3.50
四等星	+3.51 ~ +4.50

在航海上常用二等以上亮星，三等星很少用到，四等以下的星就根本不用。

(三) 航海常用恒星的识别 在航海上常用的恒星大约有 25 个星座共 50 颗左右的亮星。识别恒星的一般方法是先认识星空中的几个主要星座，并以此为基准，根据其相互关系去识别其余的星座；在一个星座里可根据恒星的分布形状、亮星的相互位置及其亮度与颜色等特征去识别它们。具体介绍如下：

1. 大熊座、狮子座为中心进行识别的有关星座，如图 1-1-3。

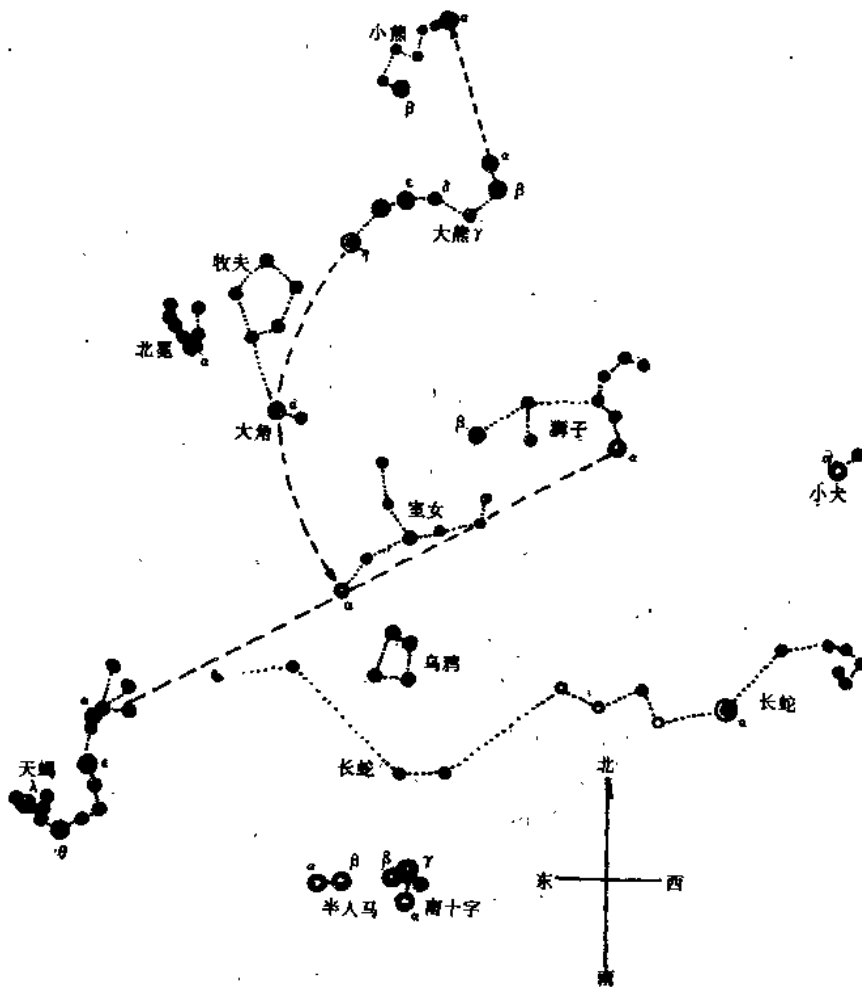


图 1-1-3 星图一

(1) 大熊座 (Ursa major): 位于天北极附近, 主要由七颗较亮的星组成, 形状很像一把杓子, 俗称杓子星或北斗七星。从斗口开始依次为 α 、 β 、 γ 各星。

(2) 小熊座 (Ursa minor): 连接大熊座 β 和 α , 并向 α 星的方向顺延约五倍于两星的距离, 可找到小熊座 α 星, 即北极星 (Polaris)。小熊座也是由七颗星组成, 形状与大熊座相似, 但要小一些, 斗口斗柄方向彼此相反。小熊座只有 α 星, 即北极星是二等星, 在航海上有用, 其余各星均为三四等较暗的星。

(3) 牧夫座 (Bootes) 顺着大熊座斗柄的弧线向前延伸, 可以找到牧夫座的 α 星, 专名大角星 (Arcturus), 星号 (99), 星等 (0.2)。

(4) 室女座 (Virgo) 大熊座斗柄的弧形线经牧夫座 α 星后, 顺势延伸, 又可找到一颗亮星, 即室女座 α 星, 专名角宿一 (Spica), 星号 (92), 星等 (1.2)。

(5) 狮子座 (Leo) 在大熊座斗柄连接牧夫 α 、室女 α 弧形线的西面, 或从大熊座 α 到 β 连线的延长线上, 可找到狮子座, 其形状像一卧伏的狮子, 头朝西, 在它前爪处一颗亮星, 是狮子座 α 星, 专名轩辕十四 (Regulus) 星号 (67), 星等 (1.3)。在尾巴处的一颗亮星是狮子座的 β 星, 专名五帝一 (Danebola), 星号 (74), 是颗二等星。在狮子座 β 、 α 星连线的延长线上, 还可以看到小犬座的 α 星。

(6) 天蝎座 (Scorpio) 从狮子座 α 星连接室女座 α 星并继续向东南方向延伸, 可找到一颗带红色的亮星, 即天蝎座 α 星, 专名心宿二 (Antares), 星号 (117), 星等 (1.2)。天蝎座形状像一只蝎子, 心宿二位于它的颈部。

(7) 南十字座 (Crux) 在室女座的南方有两个十分显著的星座, 靠西边的星座由四颗亮星组成, 连接其对角线, 像十字形, 即为南十字座。在南面的一颗亮星便是南十字座 α 星, 专名十字架二 (Acrux), 星号 (80), 星等 (1.6)。在东面的一颗是南十字座 β 星, 专名十字架三 (Mimosa), 星号 (86), 星等 (1.5)。

(8) 半人马座 (Centaurus) 在室女座的南方, 与南十字座东面比邻的星座为半人马座。半人马座有两颗亮星与南十字座 β 星并列, 在东边的一颗为半人马座 α 星, 专名南门二 (Rigilkent), 星号 (102), 星等 (0.3, 1.7) 它是由二颗星合成。西面一颗为半人马座 β 星, 专名马腹一 (Hadar), 星号 (97), 星等 (0.9)。

如图 1-1-3 所示, 在上述星座附近还有北冕座、乌鸦座、长蛇座较易识别, 但星都太暗, 在航海上不用。以上各星座在 3~7 月的晚上可看到全部或部分。

2. 以仙后座、飞马座、天鹰座为中心进行识别的有关星座, 如图 1-1-4。

(1) 仙后座 (Cassiopeia) 以北极星为中心, 位于大熊座相对方向的一个 W 形星座, 便是仙后座。仙后座的几颗亮星都只是二等星, 但在星空中甚为显著, 较亮的 α 星及 β 星位于 W 形向西的外边上。

(2) 飞马座 (Pegasus) 和仙女座 (Andromeda) 从北极星连接仙后座 β 星并顺势延伸约一倍距离, 可看到由四颗亮星组成的大四边形, 在东北角的一颗为仙女座 α 星, 其余三颗为飞马座的 α 、 β 、 γ 星。仙女座的 α 、 β 、 γ 各星在飞马座的东北方连成一条弧线。

(3) 英仙座 (Perseus) 沿仙女座 α 、 β 、 γ 各星所组成的弧线向前延伸, 可看到一颗亮星, 即英仙座 α 星, 专名天船三 (Mirfak), 星号 (20), 星等 (1.9)。

飞马座、仙女座各星及英仙座 α 星, 联合组成与大熊座形状相仿的勺子形, 但范围要比大熊座大许多。

(4) 南鱼座 (Pisces austrinus) 连接飞马座 β 及 α 星向南延伸约为两星距离的三倍, 可看到一颗带红色的亮星, 即南鱼座 α 星, 专名北落师门 (Fomalhaut), 星号 (157), 星等 (1.3)。

(5) 鲸鱼座 (Cetus) 连接仙女座 α 星和飞马座 γ 星向南偏东方向延伸, 约在两星距离的二倍处, 可见一颗亮星即鲸鱼座 β 星, 专名土司空 (Diphda), 星号 (7), 星等 (2.2)。

(6) 波江座 (Eridanus) 从飞马座 γ 星连接鲸鱼座 β 星的直线继续向南延伸约一倍的距离, 可找到波江座 α 星, 专名水委一 (Achernar), 星号 (11), 星等 (0.6)。

(7) 天鹰座 (Aquila) 夏天的夜晚, 在银河南岸可看到一颗很亮的星, 两旁各有一颗较暗的星与之连成一直线, 当中的亮星便是天鹰座 α 星, 俗称牛郎星, 专名河鼓二 (Altair), 星号 (146), 星等 (0.9)。

(8) 天琴座 (Lyra) 在银河北岸, 与天鹰座隔河相望, 有四颗较暗的星组成一小四边形, 旁边的一颗很亮的星便是天琴座 α 星, 专名织女一 (Vega), 星号 (139), 星等 (0.1)。

(9) 天鹅座 (Cygnus) 位于织女星东北方向的银河上有一个巨大又十分显著的十字形星座, 称为天鹅座, 形状颇似一只在银河上张翅戏水的天鹅。尾巴最亮的一颗星便是天鹅座 α 星, 专名天津四 (Deneb), 星号 (149), 星等 (1.3)。

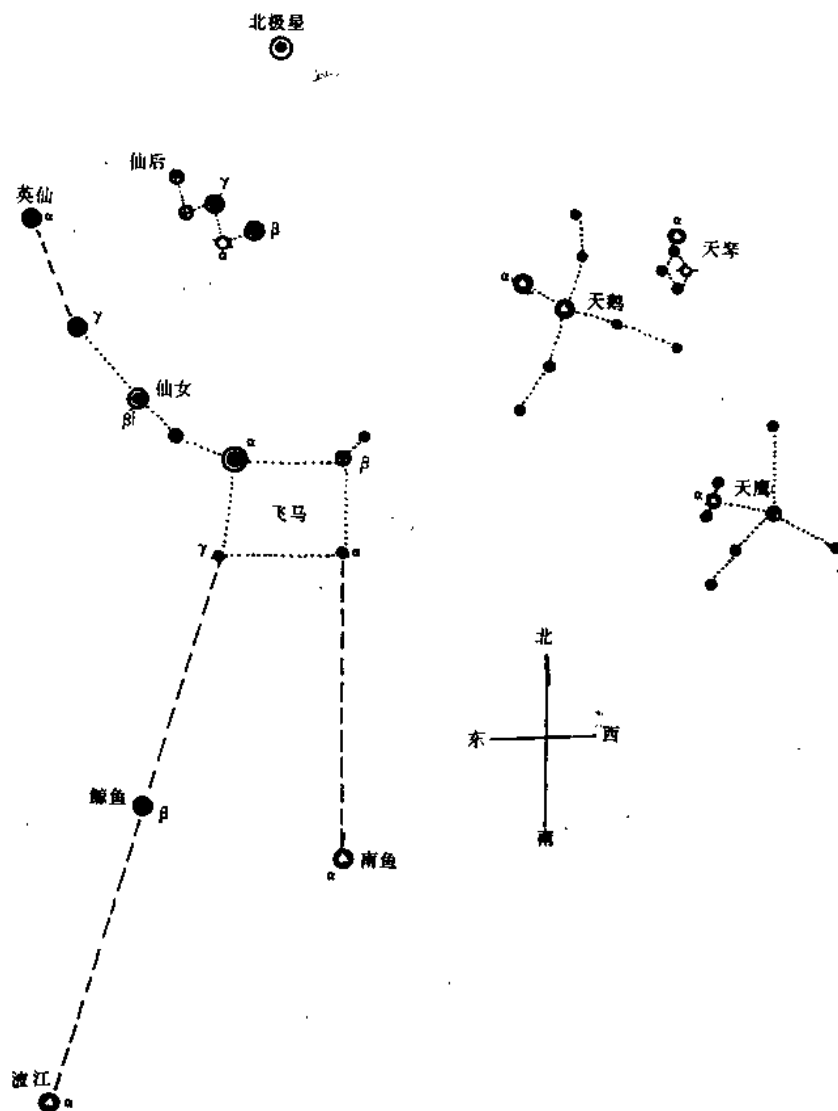


图 1-1-4 星图二

以上各星座在 6~11 月的夜里能看到全部或部分。

3. 以猎户座为中心进行识别的星座, 如图 1-1-5。

(1) 猎户座 (Orion) 在冬天的夜里, 可见一明亮显著的星座, 即猎户座, 它由七颗亮星组成, 中间三颗一线排列形同猎人的腰带。猎人东北肩头一颗为猎户座 α 星, 专名参宿四 (Betelgeuse), 星号 (40), 星等 (0.1~1.2)。猎人西南膝盖一颗亮星为猎户座 β 星, 专名参宿七 (Rigel), 星号 (27), 星等 (0.3)。

(2) 金牛座 (Taurus) 从猎户座当中的三星开始, 用反时针旋转的螺旋曲线通过猎户座的四颗亮星后, 顺势延伸, 可找到猎户座西北方的金牛座, 金牛座形状如“V”字形, 其中一颗带红色的亮星即金牛座 α 星, 专名毕宿五 (Aldebaran), 星号 (24), 星等 (1.1)。

(3) 御夫座 (Auriga) 将螺旋曲线继续延伸, 在金牛座的东北方, 可看到由五颗亮星组成的一个五边形。五边形最南的一颗是金牛座 β 星, 其余四颗属于御夫座, 在西北角的一颗亮星即御夫座 α 星, 专名五东二 (Capella), 星号 (28), 星等 (0.2)。

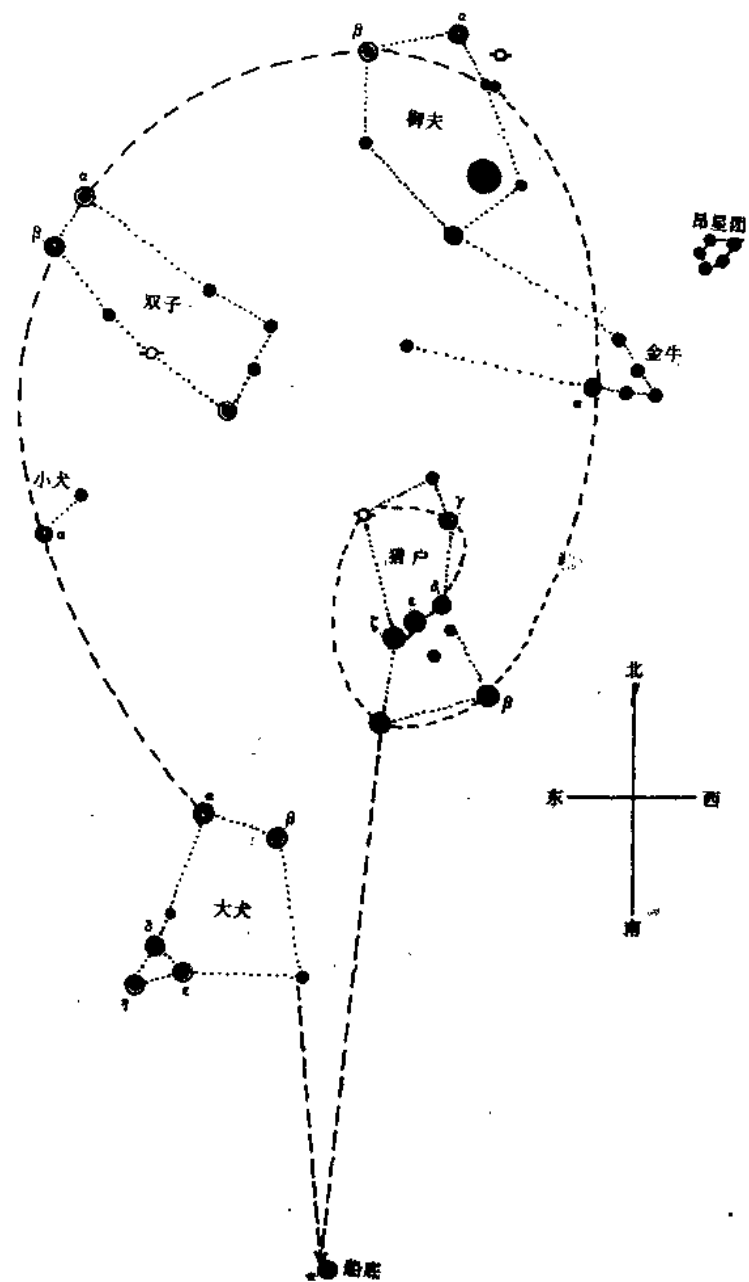


图 1-1-5、星图三

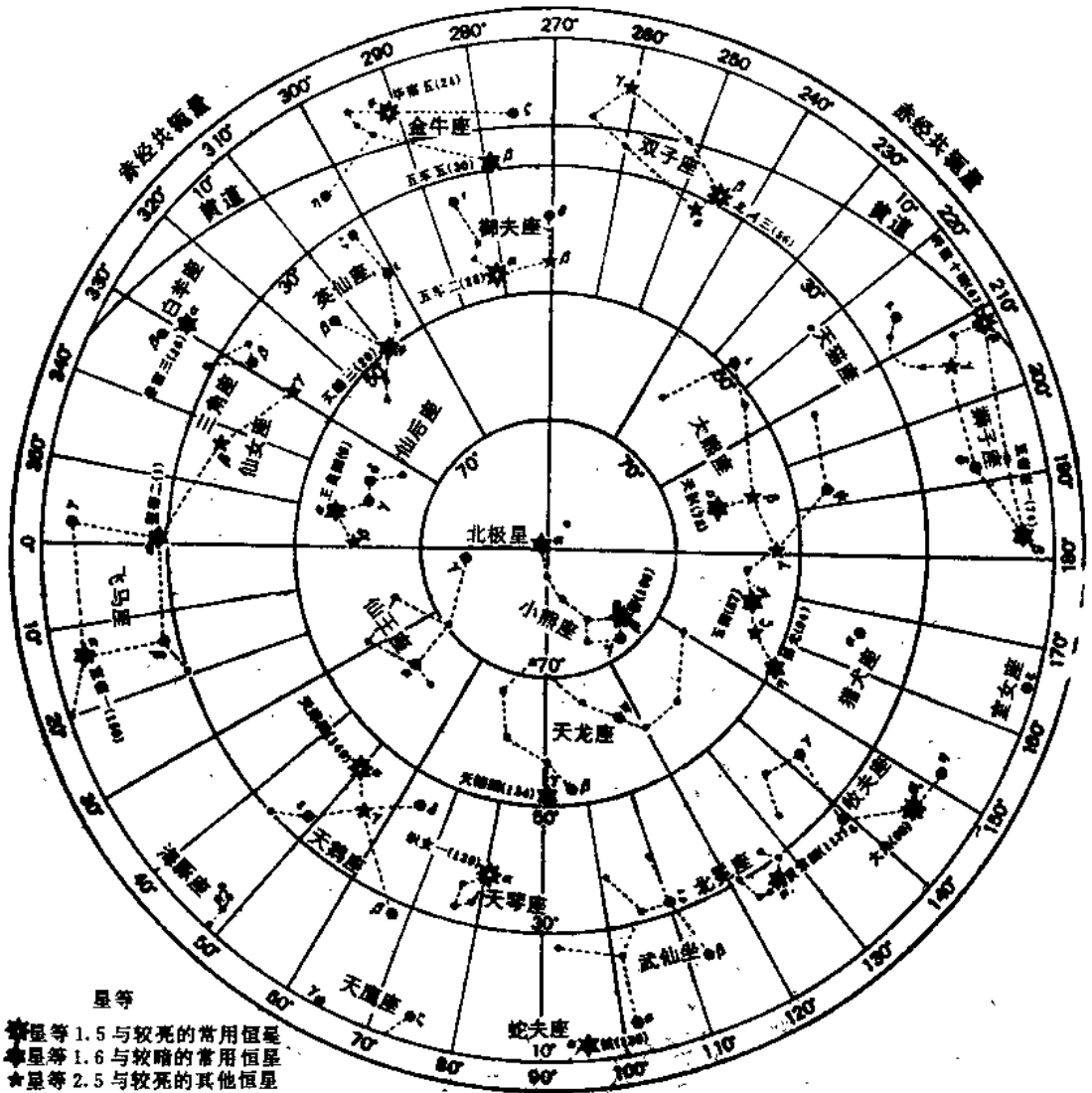
(4) 双子座 (Gemini) 将螺旋曲线继续顺势延伸到猎户座的东北方, 可看到排列成二条平行线的星座即双子座, 在顶端西边的为双子座 α 星, 专名北河二 (Castor), 星号 (54), 星等 (2.0~2.8), 在顶端南边的为双子座 β 星, 专名北河三 (Pollux), 星号 (56), 星等 (1.2)。

(5) 小犬座 (Canis Minor) 螺旋曲线继续旋转, 顺势延伸至猎户座的东方有一颗亮星, 即小犬座 α 星, 专名南河三 (Procyon), 星号 (55), 星等 (0.5)。

(6) 大犬座 (Canis Major) 螺旋曲线继续顺势延伸至猎户座东南方, 可见一光辉夺目的亮星, 即大犬座 α 星, 专名天狼星 (Sirius), 星号 (46), 星等 (-1.6) 是天上最亮的恒星。

星图

北半球



星等

- ★ 星等 1.5 与较亮的常用恒星
- ☆ 星等 1.6 与较暗的常用恒星
- ☆ 星等 2.5 与较亮的其他恒星
- 星等 2.6 与较暗的其他恒星

注：括弧中数字指恒星视位置表中恒星的星号

赤道图 (赤经共辄量 0°~180°)

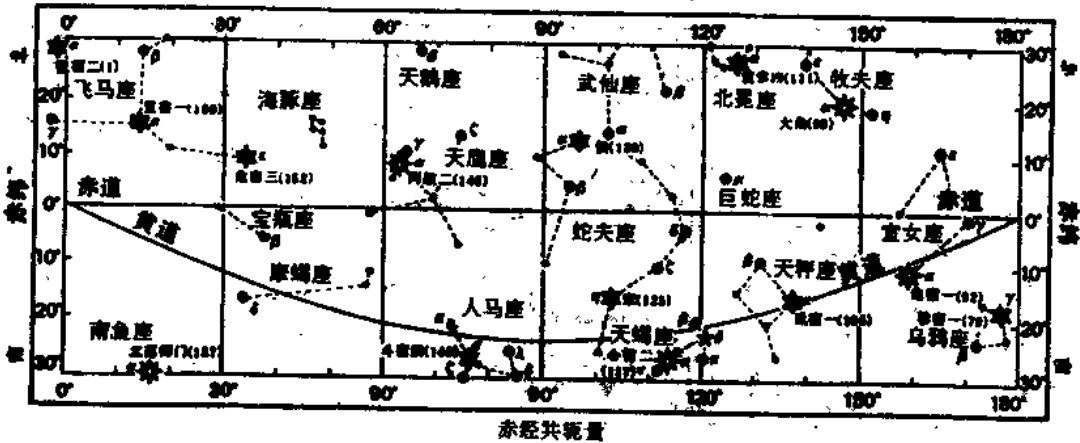
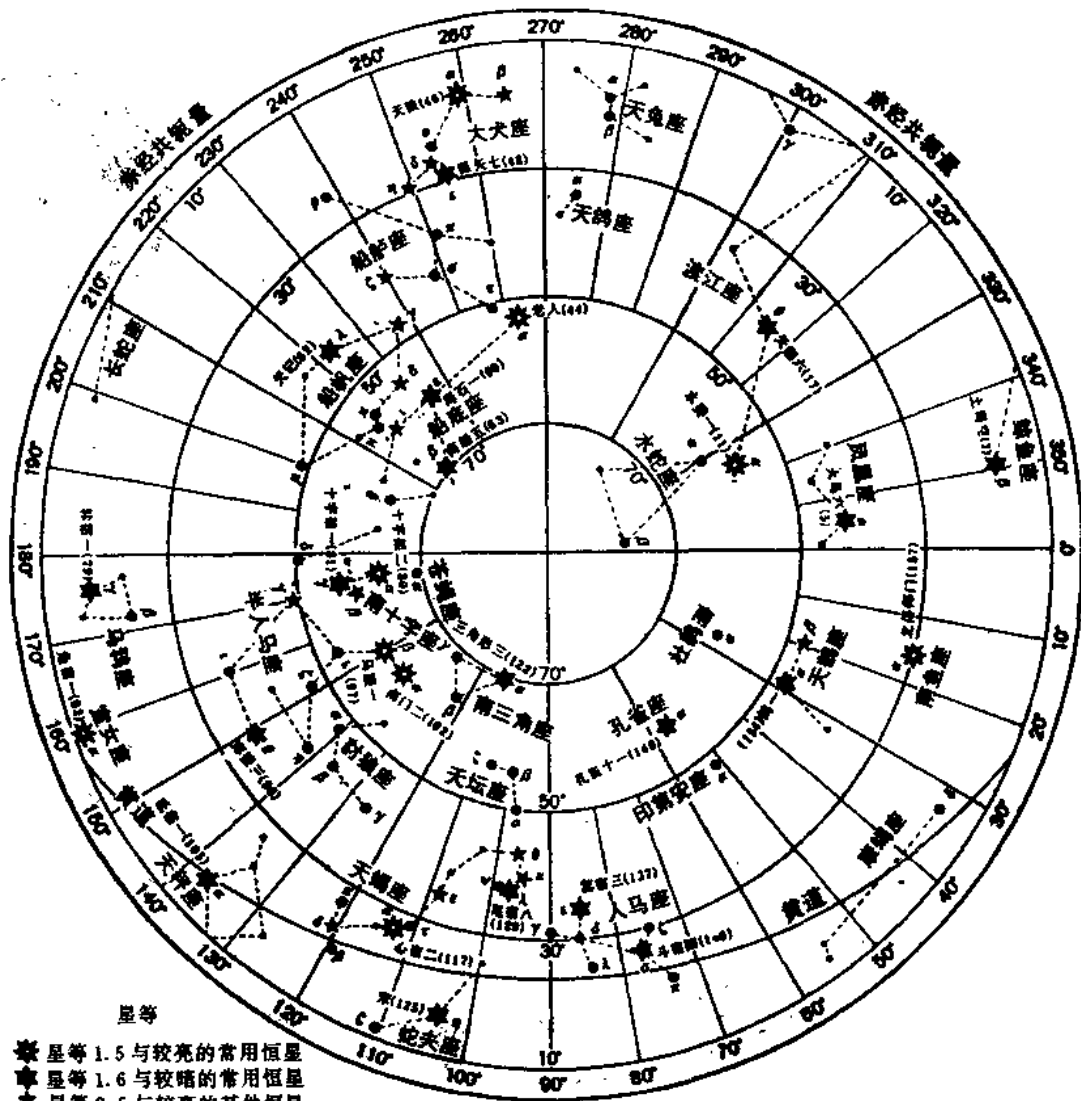


图 1-1-6 星图四

星图

南半球



星等
 星等 1.5 与较亮的常用恒星
 星等 1.6 与较暗的常用恒星
 ★ 星等 2.5 与较亮的其他恒星
 ● 星等 2.6 与较暗的其他恒星
 注: 括弧中数字指恒星视位置表中恒星的星号

赤道图 (赤经共轭量 180°~360°)

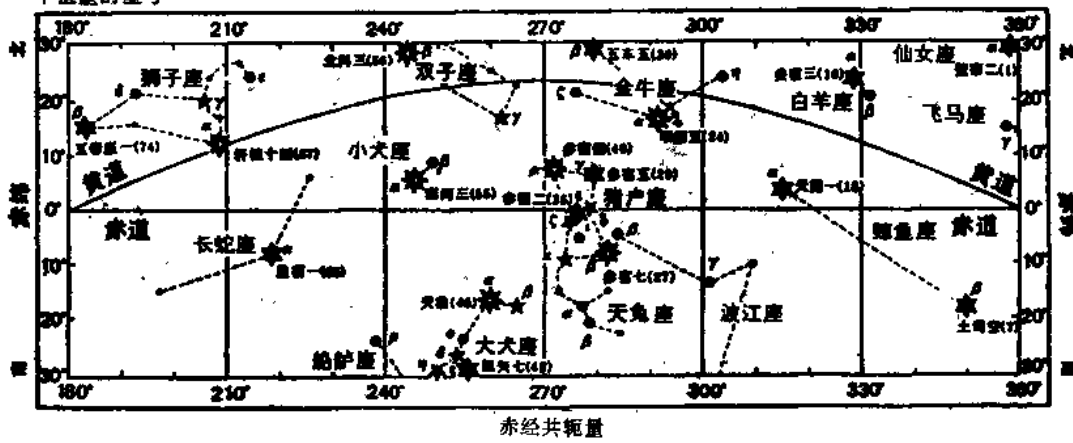


图 1-1-7 星图五

(7) 船底座 (Carina) 在天狼星的正南方可看到一颗呈蓝白色的亮度仅次于天狼星的亮星, 即船底座 α 星, 专名老人星 (Canopus), 星号 (44), 星等 (-0.9)。

以上各星座在 11 月至翌年 3 月的夜里能看到全部或部分。

以上介绍过的南十字座 α 、 β 星, 半人马座 α 、 β 星, 波江座 α 星和船底座 α 星都是极南的天体, 只有在南半球或北半球低纬度上才能看见和使用。

识别恒星除了上述直接识别方法外, 还可以使用星球仪或索星卡等器具来识别, 具体方法将在观测星体测定船位中介绍。

表 1-1 主要航海用恒星一览表

星 号	星 名	专 名	星 等
11	波江座 α 星	水委一 (Achernar)	0.6
20	英仙座 α 星	天船三 (Marfak)	1.9
24	金牛座 α 星	毕宿五 (Aldebaran)	1.1
27	猎户座 β 星	参宿七 (Rigel)	0.3
28	御夫座 α 星	五车二 (Capella)	0.2
40	猎户座 α 星	参宿四 (Betelgeuse)	0.1~1.2
44	船底座 α 星	老人 (Canopus)	-0.9
46	大犬座 α 星	天狼 (Sirius)	-1.6
55	小犬座 α 星	南河三 (Procyon)	0.5
56	双子座 β 星	北河三 (Pollux)	1.2
67	狮子座 α 星	轩辕十四 (Regulus)	1.3
72	大熊座 α 星	天枢 (Dubhe)	2.0
74	狮子座 β 星	五帝一 (Denebola)	2.2
80	南十字座 α 星	十字架二 (Acrux)	1.6
86	南十字座 β 星	十字架三 (Mimosa)	1.5
92	室女座 α 星	角宿一 (Spica)	1.2
97	半人马座 β 星	马腹一 (Hadar)	0.9
99	牧夫座 α 星	大角 (Arcturus)	0.2
102	半人马座 α 星	南门二 (Rigilkent)	0.3~1.7
117	天蠍座 α 星	心宿二 (Antares)	1.2
139	天琴座 α 星	织女一 (Vega)	0.1
146	天鹰座 α 星	河鼓二 (Altair)	0.9
149	天鹅座 α 星	天津四 (Deneb)	1.3
157	南鱼座 α 星	北落师门 (Fomalhaut)	1.3
159	小熊座 α 星	北极星 (Polaris)	2.1

第2节 天球坐标

利用天体来测定船位，除了要识别所测的天体之外，还要知道所测天体的位置。天体位置是用天球坐标表示的，天球坐标与地理坐标相类似。在天文航海定位中，常用的天球坐标系有赤道坐标系和地平坐标系两种，其中赤道坐标系与地理坐标系相对应。

一、天球及其主要的点、线和圆

(一) 天球 (celestial sphere) 仰望天空，觉得天空像一个空心的大球，地球处在它的中心，所有天体都在这个大球的内表面上，这个感觉上的大球，便称之为天球。或者从几何的角度上说，以地心为中心，以无限大为半径，把所有天体都投影在它的表面上的球体，称为天球。

宇宙是无限的，无数天体距地球极其遥远，而且并不是在同一球面上，所谓天球，只是为了便于讨论问题而作出的一种假设，因为我们只是根据球心张角的大小来确定天体的位置，即确定天体的坐标，至于天体距离我们的远近，与它所对应球心角的大小是无关的。

(二) 天球上主要的点、线和圆 为了要确定天体的位置和天体与测者位置的相对关系，我们需要建立天球坐标系，首先须要在天球上设定一些基本的或主要的点、线和圆，如同建立地理坐标须要有地极、赤道、经线、纬线等一样。

天球上的基本点、线和圆是由地球上的基本点、线、圆扩展或投影到天球上而成的。分别说明如下：

1. 与地球相联系的点、线和圆 地球上地轴、地极（南极、北极）和赤道。把地球上的地轴、地极和赤道分别扩展或投影到天球上，便成了天轴、天极和天赤道，具体说明如下（图 1-2-1）：

(1) 天轴 (celestial axis) —— 延长地轴所成的天球直径，称为天轴。如图 1-2-1 的 $\overline{P_N P_S}$ 。

(2) 天极 (celestial pole) —— 天轴在天球上的两个端点为天极。对应地球北极的一点 (P_N) 叫北天极 (north celestial pole)，对应地球南极的一点 (P_S) 叫南天极 (south celestial pole)。

(3) 天赤道 (celestial equator) —— 扩展地球赤道面与天球相交所成的大圆，如图 1-2-1 的 $\overline{QEQ'W}$ ，称为天赤道。天赤道是垂直于天轴的大圆，从天赤道到南、北天极各为 90° 。

2. 与测者相联系的点、线和圆

(1) 测者垂线 (observer's vertical) —— 延长测者与地心的连线所成的天球直径，如图 1-2-1 的 $\overline{z\eta}$ ，称为测者垂线。

(2) 测者天顶、天底 (observer's zenith, nadir) —— 测者垂线交天球于两点，在测者头顶上方的一点 (z)，称为测者天顶；在测者脚底下方的一点 (η)，称为测者天底。

测者天顶即测者地理位置在天球上的投影点。

(3) 测者子午圈 (observer's meridian) —— 通过南、北天极和测者天顶、天底的大圆，如图 1-2-1 的 $\overline{P_N z P_S \eta}$ ，称为测者子午圈。测者子午圈亦即是扩展测者地球经度线平面与天球相交所成的大圆。

测者子午圈被天轴分为两个半圆，包含天顶的半圆 ($\overline{P_N z P_S}$)，称为测者午圈 (upper branch of observer's meridian)；包含天底的半圆 ($\overline{P_N \eta P_S}$)，称为测者子圈 (lower branch of observer's meridian)。

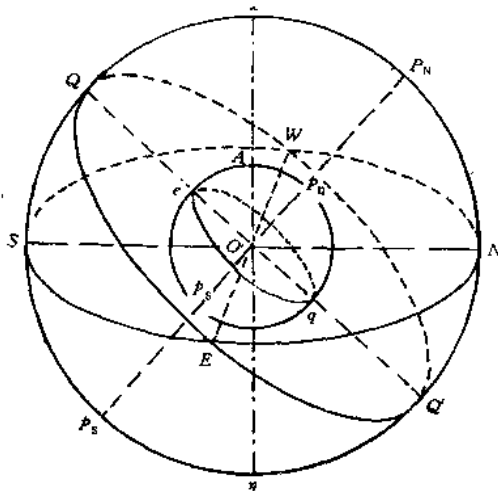


图 1-2-1 天球上的基本点、线、圆

* 在天文航海上为便于研究问题，把地球看作圆球体，测者垂线通过地心。

在天球上从天赤道沿测者午圈到测者天顶的弧距 (\widehat{Qz}) 同样等于测者的纬度。

(4) 测者真地平圈 (observer's horizon) —— 垂直于测者垂线的大圆, 称为测者的真地平圈 (\widehat{SENW})。测者真地平圈的平面通过天球中心, 从测者真地平圈到测者天顶、天底的弧距均等于 90° (如 \widehat{Sz} 、 $\widehat{S\eta}$ 、 \widehat{Nz} 、 $\widehat{N\eta}$ ……均等于 90°)。

方向是在真地平圈上划分的。真地平圈与子午圈相交于两点, 靠近北天极的一点 (N) 为正北点, 靠近南天极的一点 (S) 为正南点; 真地平圈与天赤道相交于 E 、 W 两点, 测者面向北, 在右边的一点 (E) 为正东点, 在左边的一点 (W) 为正西点。因为天赤道平面及真地平圈平面均垂直于子午圈平面, 即其交线 \widehat{EOW} 为子午圈的轴线, 所以 \widehat{NE} 、 \widehat{SE} 、 \widehat{NW} 、 \widehat{SW} 均等于 90° 。由于方向是在地平上划分的, 不论天体是在地平之上什么位置, 它的方向都是按它在地平上的投影来计算的。

可以看出, 上述天球上的点、线和圆, 都是从地球上相应的点、线和圆投影到天球上面得来的。其中与测者相联系的点、线和圆将随测者位置的变动而变动, 测者在不同的地理位置上, 都有与其相对应的天顶、天底、子午圈和真地平圈。

3. 与天体相联系的点、线和圆

(1) 天体时圈 (hour circle) —— 通过南、北天极及天体的半个大圆, 称为天体时圈。如图 1-2-2 中的 $\widehat{P_NBP_S}$ 为天体 B 的时圈。在天球上的天体时圈与地球上的目标经线具有相互投影的关系。天体在天球上的位置不同, 它们的时圈也各不相同。所有的时圈都垂直于天赤道, 从天赤道沿天体时圈到南、北天极的弧距各等于 90° 。

(2) 天体方位圈 (vertical circle) —— 通过天顶、天底和天体的半个大圆, 称为天体方位圈。如图 1-2-2 中的 $\widehat{zB\eta}$ 为天体 B 的方位圈。当测者或天体的位置不同, 天体方位圈也就不同。所有天体方位圈都垂直于测者真地平圈。从测者真地平圈沿天体方位圈到测者天顶或天底的弧距各为 90° 。

4. 天球半球的划分

为了便于讨论问题, 将天球按不同基准分成不同的半球。

(1) 南天半球和北天半球 —— 以天赤道为基准等分天球为两个半球, 包含天北极的半球称为北天半球 (north celestial hemisphere); 包含天南极的半球称为南天半球 (south celestial hemisphere)。

(2) 东天半球和西天半球 —— 以测者子午圈为基准, 等分天球为两个半球, 包含正东点的半球称为东天半球 (east celestial hemisphere); 包含正西点的半球称为西天半球 (west celestial hemisphere)。

(3) 上天半球和下天半球 —— 以测者真地平圈为基准, 等分天球为两个半球, 包含天顶点的半球称为上天半球 (upper celestial hemisphere); 包含天底点的半球称为下天半球 (lower celestial hemisphere)。

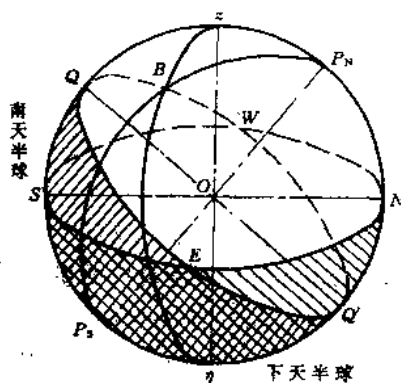


图 1-2-2 天球半球的划分

二、赤道坐标系

我们知道, 在地球上是用地理坐标 (经度和纬度) 来确定物标位置的 (图 1-2-3)。地理坐标的基标大圆是赤道和格林经度线, 物标 x 的坐标经度 (λ) 和纬度 (φ) 是在赤道或经线上所夹的一段弧距, 或者是它们所对的球心角或球面角。

在天球上用天球坐标来确定天体位置的方法和在地球上用地理坐标的方法是一致的, 区别主要在于它们所采用的基准不同。

赤道坐标系的基准大圆是天赤道和测者子午圈的午圈或格林尼治子午圈的午圈, 其坐标为天体时角和赤纬 (图 1-2-4)。分述如下:

(一) 天体时角 (hour angle, t) 子午圈的午圈与天体时圈在天赤道上所夹的弧距, 或在天极上所夹的球面角, 称为天体时角 (t), 如图 1-2-4 中的 \widehat{QM} 或 $\angle QP_N M$ 为天体 B 的时角。

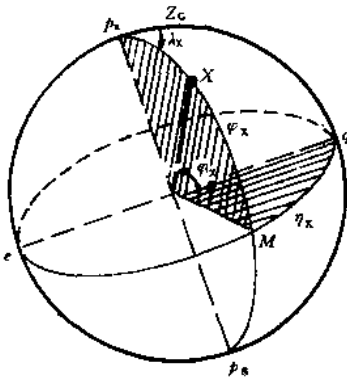


图 1-2-3 地理坐标系

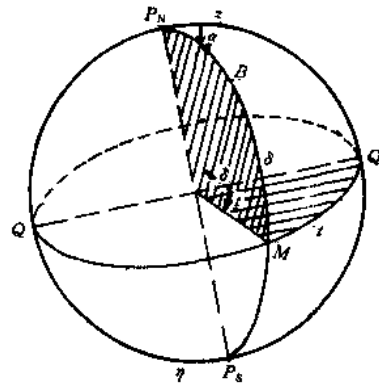


图 1-2-4 赤道坐标系

1. 天体地方时角和格林时角 天体时角根据起算的基准不同, 可分地方时角和格林时角。

(1) 地方时角 (local hour angle) —— 测者午圈和天体时圈在天赤道上所夹的弧距或在天极上所夹的球面角, 称为天体地方时角, 代号 (t) 或 (LHA)。

(2) 格林时角 (Greenwich hour angle) —— 格林尼治午圈和天体时圈在天赤道上所夹的弧距或在天极上所夹的球面角, 称为天体格林时角, 代号 (t_G) 或 (GHA)。

2. 天体时角的量法和命名: 天体时角以子午圈午半圈为起点, 量取它与天体时圈在天赤道上所夹的弧距或在天极上所夹的球面角。按度量的方向不同, 同一个天体时角有两种量法。

(1) 西行时角 —— 从午半圈起, 一律向西量到天体时圈止。范围从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。并在度数后加方向命名西 (W)。

如图 1-2-5 所示: 天体 B 的西行时角 $t_B = \widehat{Q'M} = 60^\circ W$ 。天体 C 的西行时角 $t_C = \widehat{Q'QD} = 230^\circ W$ 。

可以看出, 当天体的西行时角小于 180° 时, 天体位于西天半球, 如图 1-2-5 中的天体 B; 当天体的西行时角大于 180° 时, 如图 1-2-5 中的天体 C, 这时的天体是位于东天半球。

(2) 应用时角 (半圆时角) —— 从午半圈算起, 向西或向东量到小时圈止, 范围不超过 180° , 并在度数后面注明方向命名西 (W) 或东 (E)。(图 1-2-6) 这就是说, 当天体在西天半球时, 天体的应用时角和西行时角都是从午半圈起算向西量到天体时圈, 两者是完全一致的, 如图 1-2-5 中的天体 B, 应用时角和西行时角均为 $t_B = \widehat{Q'M} = 60^\circ W$ 。

当天体位于东天半球时, 它的应用时角应从午半圈向东量到天体时圈, 并命名为东 (E), 也就是说, 如图 1-2-5 或图 1-2-6 所示, 天体 C 的应用时角 $t_C = \widehat{QED}$ (或所对球面角 $\angle QP_N D = 360^\circ - \widehat{QQ'D} = 360^\circ - 230^\circ W = 130^\circ E$ 。

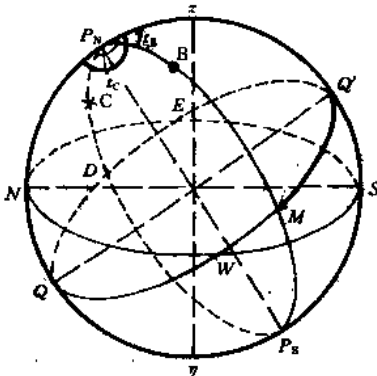


图 1-2-5 天体西行时角

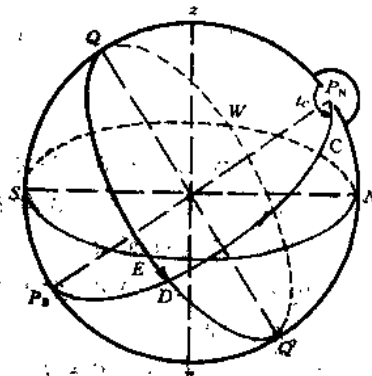


图 1-2-6 天体应用时角

在天文定位中，天体西行时角和应用时角都要经常用到，并且常需进行西行时角为应用时角的换算。综合上述，天体应用时角和西行时角的关系是：

当天体西行时角小于 $180^\circ W$ 时，天体位于西天半球，这时的西行时角也就是应用时角。

当天体西行时角大于 $180^\circ W$ 时，天体位于东天半球，这时的应用时角等于 360° 减西行时角，方向命名改为东 (E)。

(二) **天体赤纬**(declination, δ) 在天体时圈上，从天赤道到天体中心的弧距，称为天体赤纬(δ)。

天体赤纬的计量方法是：以天赤道为起算基准，沿天体时圈量到天体中心，范围从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。当天体在北天半球时，从天赤道向北量取，赤纬命名为北 (N)；当天体在南天半球时，从天赤道向南量取，赤纬命名为南 (S)。如图 1-2-7。

$$\text{天体 C 的赤纬 } \delta_c = \widehat{HC} = 50^\circ N$$

$$\text{天体 D 的赤纬 } \delta_d = \widehat{FD} = 10^\circ S$$

根据上述可知，天体的坐标时角和赤纬中，赤纬只随天体位置的变化而改变，与测者的位置无关，但时角则不同，它不仅要随天体的位置而且要随测者子午圈的变动而变动。在供天文工作使用的恒星视位置表、星图、星球仪等之内，需要建立不随测者位置的变动而变动的，专为表示天体在天球上的位置及其相互关系的坐标系，也称为第二赤道坐标系，其坐标除天体赤纬外，另一个叫天体赤经(或用其共轭赤经)。

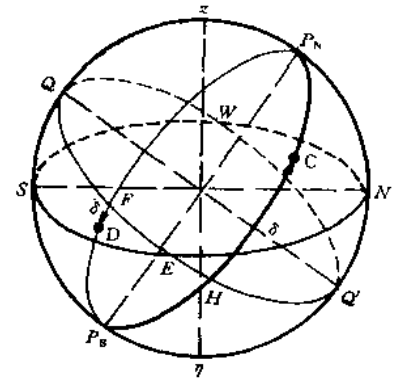


图 1-2-7 天体赤纬

(三) **天体赤经**(right ascension, α) 人们在天赤道上选定一个基准点，名叫春分点，如图 1-2-8 中的 (γ^0)。

在天赤道上从春分点开始，向东到天体时圈所夹的弧距，称为天体赤经(α)。天体赤经一律从春分点向东计算(从天北极俯视为反时针方向)，所以不用加方向命名，范围从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。如图 1-2-8。

$$\text{天体 B 的赤经 } \alpha_B = \widehat{\gamma^0 D} = 105^\circ$$

$$\text{天体 C 的赤经 } \alpha_C = \widehat{\gamma^0 Q' F} = 210^\circ$$

共轭赤经(sidereal hour angle, τ)——在天赤道上从春分点向西量到天体时圈的弧距，称为天体共轭赤经(τ) (亦称为赤经共轭量)。即

$$\text{赤经 } (\alpha) + \text{共轭赤经 } (\tau) = 360^\circ$$

$$\text{共轭赤经 } (\tau) = 360^\circ - \text{赤经 } (\alpha),$$

如上例(图 1-2-8)

$$\tau_B = 360^\circ - \alpha_B = 360^\circ - 105^\circ = 255^\circ$$

$$\tau_C = 360^\circ - \alpha_C = 360^\circ - 210^\circ = 150^\circ.$$

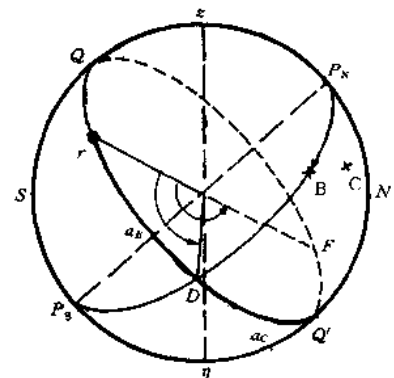


图 1-2-8 天体赤经

三、地平坐标系

在天文定位工作中，除了要用坐标来确定天体在天球上的位置外，还要用坐标来确定天体与测者位置之间的关系，因此，有了赤道坐标系还需要再建立一个以测者的点、线、圆为基准，随着测者位置的变动而变动的坐标系，即地平坐标系。

地平坐标系的基准大圆是测者的子午圈和真地平圈，辅助圆是天体的方位圈。如图 1-2-9，天体 B 的位置，以在真地平圈上的弧距 \widehat{ND} 和在天体方位圈上的弧距 \widehat{DB} (或其所对的球心角或球面角)，即天体方位和天体高度来确定。

(一) **天体方位**(Azimuth, A) 测者子午圈和天体方位圈在测者真地平圈上所夹的弧距或在天顶处所夹的球面角，称为天体方位 (A)。如图 1-2-9，天体 B 的方位 A_B 为 \widehat{ND} 或 $\angle NzD$ 。

天体方位的计量方法有两种：

1. 圆周方位 在测者真地平圈上，一律以北为起算基准，顺时针方向度量到天体方位圈止，范围从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。这种算法的方位和海图、罗经盘上的完全一致，称圆周方位。因为圆周方位的计量起点和方向都是相同的，所以在数字前后无须用方向字母命名。如图 1-2-10。

$$\text{天体 C 的圆周方位 } A_c = \widehat{NF} = 75^\circ$$

$$\text{天体 B 的圆周方位 } A_B = \widehat{NESD} = 260^\circ$$

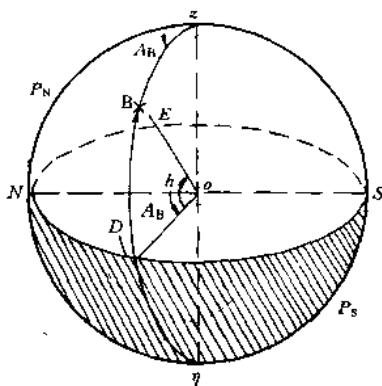


图 1-2-9 地平坐标系

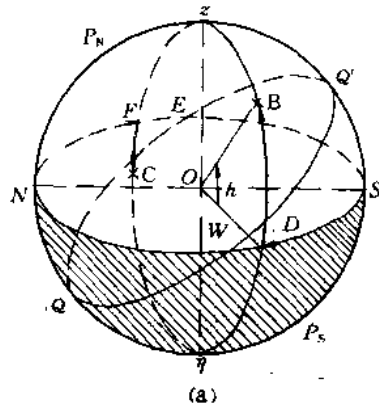
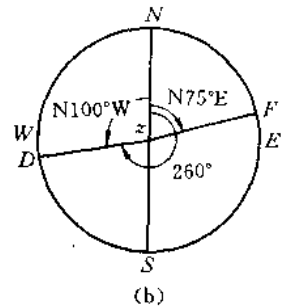


图 1-2-10



2. 半圆方位 在测者真地平圈上，以与测者纬度同名的方向为起算基准，向东或向西量到天体时圈，范围从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。半圆方位须有两个方向字母命名，第一方向字母表示方位的计量起点，即测者在北纬时，命名为北 (N)，测者在南纬时，命名为南 (S)，写在方位数值的前面；第二方向字母表示方位的计量方向，天体在东半球时，命名为东 (E)，在西半球时，命名为西 (W)，也就是与天体的应用时角同名，写在方位数值的后面。如图 1-2-10。

$$\text{天体 B 的方位 } A_B = \widehat{NWD} = N100^\circ W$$

$$\text{天体 C 的方位 } A_c = \widehat{NF} = N75^\circ E$$

在天文航海中，常需要将一种计量方法的方位换算为另一种计算方法的方位。根据上述可知，对于在北纬的测者，当天体在东半球，即半圆方位为 N~E，或圆周方位小于 180° 时，这时的圆周方位与半圆方位是相同的；当天体在西半球，半圆方位为 N~W，或圆周方位大于 180° 时，这时的半圆方位与圆周方位是共轭关系，即圆周方位等于 360° 减半圆方位或反之。如图 1-2-10。

$$\text{天体 B 的圆周方位: } A_B = \widehat{NESD} = 360^\circ - \widehat{ND} = 360^\circ - 100^\circ = 260^\circ$$

(二) 天体高度 (altitude, h) 测者真地平圈和天体中心在天体方位圈上所夹的弧距，或它所对的球心角，称为天体高度 (h)。如图 1-2-10，天体 B 的高度 h_B 为 \widehat{DB} 或 $\angle DOB$ 。

天体高度的计量方法是，从测者真地平圈算起，沿天体方位圈算到天体中心止，范围从 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，当天体在上天半球，即在真地平圈以上时，高度为正 (+)，天体在下天半球，即在真地平圈以下时，高度为负 (-)。如图 1-2-10，天体 B 的高度 $h_B = \widehat{DB} = 40^\circ$ 。天体 C 的高度 $h_C = \widehat{FC} = -10^\circ$ 。

(三) 天体顶距 (zenith distance, z) 在天体方位圈上，从测者天顶到天体中心的弧距，称为天体顶距 (z)。天体顶距一律从测者天顶点开始计量，沿着天体方位圈到天体中心为止，范围从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。顶距超过 90° 的天体是在测者真地平之下。

天体顶距与天体高度的关系是：

$$h + z = 90^\circ$$

或

$$z = 90^\circ - h$$

如图 1-2-10，上例天体 B 的顶距 $z_B = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$ ；天体 C 的顶距 $z_C = 90^\circ - (-10^\circ) = 100^\circ$ 。

四、极高与测者纬度的关系

在上天半球的天极叫极高，下天半球的天极称低极。如测者在北纬，天北极是极高；天南极是低极。测者在南纬，天南极是极高。极高的方位圈与测者子午圈总是重合的，因此可以说，在测者子午圈上，从真地平圈到极高的弧距，如图 1-2-11 中的 \widehat{NP}_N ，叫极高高度，简称极高。

从图 1-2-11 看出：

$$\widehat{QZ} + \widehat{ZP}_N = 90^\circ$$

$$\widehat{NP}_N + \widehat{ZP}_N = 90^\circ$$

所以

$$\widehat{NP}_N = \widehat{QZ}$$

$$h_p = \varphi$$

即极高高度等于测者纬度。这也说明：如能求得极高的高度，也就求得了测者的纬度。

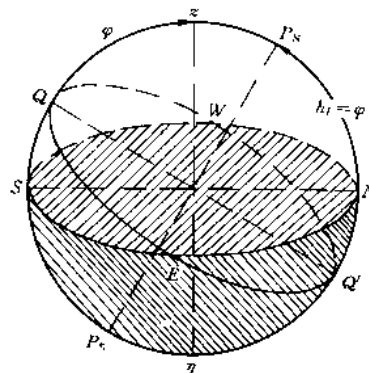


图 1-2-11 极高与测者纬度的关系

五、天球作图

天球作图就是用作图的方法根据天体的已知坐标，标绘出天体在天球上的位置，同时概略地求出其余的坐标值。在天文定位工作中天体坐标固然不是用这种粗略的方法去求得的，但在实际工作中往往需要用天球图来研究分析问题，所以掌握天球作图的方法，一方面是为了进一步确立天球坐标概念，弄清楚各坐标间的相互关系，同时也为了提高用直观的图形来研究分析问题的能力。

天球图通常有三种图式：子午圈透视图，天赤道投影图和真地平投影图。较常用的是子午圈透视图。本章所用的天球图便是子午圈透视图，它的外圈为测者子午圈，将有关的点、线、圆和天体坐标在子午圈平面上透视出来，通常将天顶点放在正上方，地平圈在正当中，如天体在东天半球，须将北天极放在图右侧，以便东天半球在图正面，反之，如天体在西天半球，须将北天极放在左侧，让西天半球朝外。

例 1. 已知测者纬度 $\varphi = 30^\circ\text{N}$ ，天体的地方时角 $t = 50^\circ\text{W}$ ，赤纬 $\delta = 55^\circ\text{N}$ ，作天球坐标图并求出它的地平坐标 A 和 h 。

作图步骤方法：如图 1-2-12 所示。

1. 作测者子午圈及真地平圈：取适当半径作圆代表测者子午圈，将测者天顶 (z) 及天底 (η) 标在圈的正上、下方，作垂直于测者垂线 ($z\eta$) 的大圆为测者的真地平圈，按偏上透视形如椭圆，图背面用虚线表示。

2. 划天极及天赤道：根据时角 $t = 50^\circ\text{W}$ ，知天体在西天半球，须将北天极及正北标在图的左侧。根据极高高度等于测者纬度的原理，在地平圈左侧沿子午圈向上量取高度等于 30° 标出北天极 (P_N)，接着划出天轴及南天极 (P_S)，然后作垂直于天轴的大圆 $\widehat{QQ'}$ 代表天赤道。天赤道被透视成类似真地圈的椭圆。在地平圈上标明方向基点 N 、 E 、 S 、 W 。

3. 标划已知坐标及天体：根据已知时角 $t = 50^\circ\text{W}$ 作时圈，在时圈上根据已知赤纬 $\delta = 55^\circ\text{N}$ 定出天体 B 的位置。

4. 求天体的未知坐标：为求出地平坐标方位及高度，须先作出天体方位圈 $\widehat{zBD\eta}$ ，然后量取（估算）方位 A （即 \widehat{ND} ）的值和高度 h （即 \widehat{DB} ）的值，如图 1-2-12。

$$A = \text{N}60^\circ\text{W}$$

$$h = 55^\circ$$

例 2，已知测者纬度 $\varphi = 25^\circ\text{N}$ ，天体地平坐标 $A = \text{N}40^\circ\text{E}$ ， $h = 50^\circ$ 求时角 t 及赤纬 δ 。

解：本题天体方位为 $\text{N}40^\circ\text{E}$ ，说明天体在东天半球，作图时应将北天极及正北点放在图的右侧，其余步骤方法与上例同，作图如图 1-2-13。求得

$$t = 50^\circ E$$

$$\delta = 60^\circ N$$

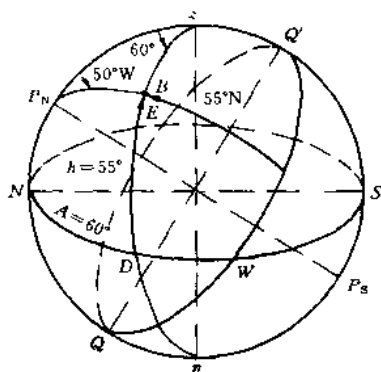


图 1-2-12 子午圈透视图

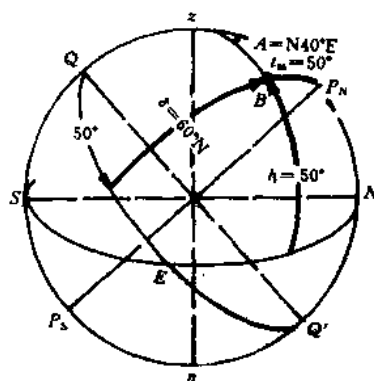


图 1-2-13 子午圈透视图

天赤道投影图和真地平投影图是以天赤道或真地平圈作外圈，把天球点线圈投影到天赤道平面或真地平平面，这时北天极或天顶点处在圆的中心，天体时圈或天体方位圈成为从圆心放射出的直线，时角或方位成了圆心角，这种天球图比较简单明了。上述例 1，分别作图如图 1-2-14 及图 1-2-15。

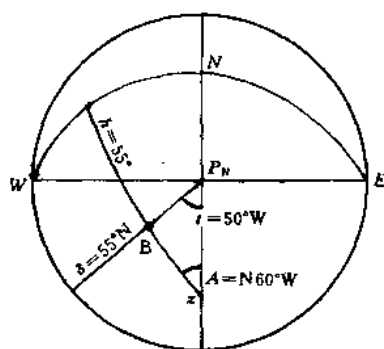


图 1-2-14 天赤道投影图

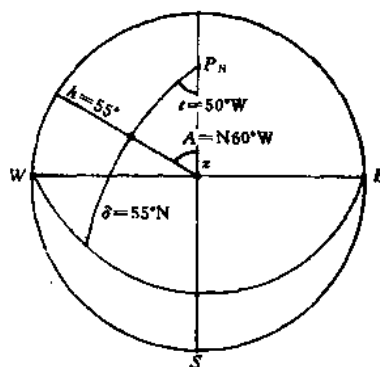


图 1-2-15 真地平圈投影图

第 3 节 天文三角形

一、天文三角形

在天球面上，由测者午圈、天体时圈及天体方位圈所构成的球面三角形，叫做天文三角形 (Astronomical triangle)。如图 1-3-1，三角形 $zP_N B$ 。

天文三角形的三个角顶是天极 (P_N 天极) 天顶 (z) 和天体 (B)。

天文三角形的三边为：

$$\widehat{zP_N} = 90^\circ - \varphi, \quad \varphi \text{——测者纬度}$$

$$\widehat{P_N B} = 90^\circ - \delta, \quad \delta \text{——天体赤纬}$$

$$\widehat{zB} = 90^\circ - h, \quad h \text{——天体高度}$$

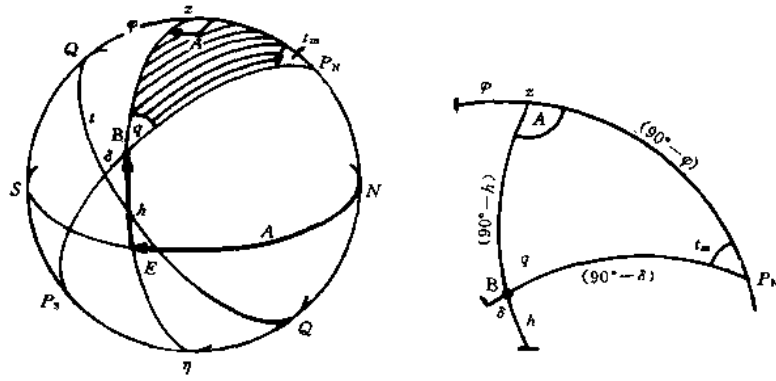


图 1-3-1 天文三角形

当天体赤纬与测者纬度异名时， δ 为一， $\widehat{P_N B} = (90 - \delta)$ 的代数和（如图 1-3-2）。

天文三角形的三个角为：

$\angle P_N z B = A$ ， A ——天体半圆方位

$\angle z P_N B = t$ t ——天体地方应用时角

$\angle z B P_N = q$ q ——天体位置角

天文三角形的边角关系，反映了天体赤道坐标、地平坐标及测者地理坐标三者之间的相互联系。换句话说，天文三角形确定了天极（高极）、天体及测者天顶三者位置的相互关系。在天文航海中，主要就是通过解算天文三角形的边角元素来进行定位的。

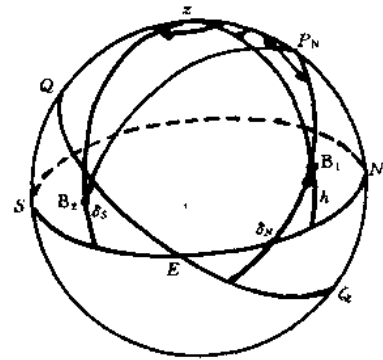


图 1-3-2 天体赤纬与边长 $\widehat{P_N B}$ 的关系

二、解天文三角形的基本公式

天文三角形是一个球面三角形，只要将天文三角形的已知项代入球面三角形的有关公式，便可解算出其未知项。由于在天文航海中，已知项和需求算的未知项通常都是天文三角形各边的余值，即纬度、赤纬及高度等，为了使用方便，将球面三角形的公式进行变换，求得解天文三角形的基本公式。

（一）求天体高度的公式 如图 1-3 (b) 所示，若已知测者纬度 (φ)，天体的地方时角 (t) 和赤纬 (δ)，即已知天文三角形的两个边 $(90^\circ - \varphi)$ 、 $(90^\circ - \delta)$ 和它们的夹角 (t)，便可根据球面三角边的余弦公式求出第三边 $(90^\circ - h)$ ，即：一边的余弦等于其余二边余弦之积，加上其余二边的正弦及其夹角余弦的乘积。我们有：

$$\cos (90^\circ - h) = \cos (90^\circ - \varphi) (\cos 90^\circ - \delta) + (\sin 90^\circ - \varphi) (\sin 90^\circ - \delta) \cos t$$

整理后得求天体高度的公式为：

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (1.1)$$

（二）求天体方位的公式 在天文三角形中， A 与 $(90^\circ - \varphi)$ 、 t 和 $(90^\circ - \delta)$ 为相邻四元素，根据球三角相邻四元素公式，即余切公式：端角余切与中角正弦之积，等于端边余切与中边正弦之积，减去中边余弦与中角余弦之积。即：

$$\text{ctg } A \sin t = \text{ctg} (90^\circ - \delta) \sin (90^\circ - \varphi) - \cos (90^\circ - \varphi) \cos t$$

整理后得：

$$\operatorname{ctg} A \sin t = \operatorname{tg} \delta \cos \varphi - \sin \varphi \cos t$$

两边各除以 $\sin t$, 得天体方位公式为:

$$\operatorname{ctg} A = \operatorname{tg} \delta \cos \varphi \operatorname{csc} t - \sin \varphi \operatorname{ctg} t \quad (1.2)$$

如果在天文三角形中, 利用所求得的高度 (h), 加上原先已知的 $(90^\circ - \varphi)$ 、 $(90^\circ - \delta)$ 和 t , 可利用球三角的余弦或正弦公式求得 A 。

1. 利用余弦公式求 A

$$\cos (90^\circ - \delta) = \cos (90^\circ - h) \cos (90^\circ - \varphi) + \sin (90^\circ - h) \sin (90^\circ - \varphi) \cos A$$

整理后得:

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos h \cos \varphi} - \operatorname{tg} h \operatorname{tg} \varphi \quad (1.3)$$

2. 利用正弦公式求 A

根据球三角正弦公式: 各边的正弦与其对角的正弦成正比。代入可得:

$$\frac{\sin A}{\sin (90^\circ - \delta)} = \frac{\sin t}{\sin (90^\circ - h)}$$

整理后得求 A 的另一公式:

$$\sin A = \sin t \cos \delta \sec h \quad (1.4)$$

三、解天文三角形求天体高度和方位的方法

在天文航海中, 为了测定船位, 需解天文三角形求天体高度和方位, 通常方法有三种:

1. 用三角函数对数解算 即根据天文三角形求高度 (h) 及方位 (A) 的公式, 变换成对数形式进行运算, 例如求 h , 公式 (1.1):

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

设 $\lg I = \lg \sin \varphi + \lg \sin \delta$

$\lg II = \lg \cos \varphi + \lg \cos \delta + \lg \cos t$

则

$$\sin h = I + II$$

$$h = \sin^{-1} (I + II)$$

2. 用计算器计算 使用具有三角函数、反三角函数及四则运算功能的计算器来解算天文三角形的问题是比较方便的。由于计算器种类繁多, 功能各异, 具体操作方法亦不尽相同, 用时应先熟悉使用说明书。在主要操作程序上可用下列流程图表示, 以求高度 (h) 为例, 根据公式 (1.2):

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

计算器操作流程为:

$$(\varphi) \boxed{\sin} \boxed{\times} (\delta) \boxed{\sin} \boxed{+} (\varphi) \boxed{\cos} \boxed{\times} (\delta) \boxed{\cos} \boxed{\times} (t) \boxed{\cos} \boxed{=} \boxed{2^{\text{nd}}} \boxed{\sin} \Rightarrow h$$

流程图中:

括号 () —— 表示应输入的角的度和分

方框 $\boxed{\quad}$ —— 表示应按的计算器键钮

键 $\boxed{2^{\text{nd}}}$ —— 为计算器的第二功能键, 按在三角函数之前, 即为反三角函数, 要求显示对应的角度值。

有的计算器用 $\boxed{\text{arc}}$ 键或 $\boxed{\text{inv}}$ 键表示本功能。

3. 用表册法解算——为了简化运算手续, 事先按不同的纬度、时角及赤纬代入天文三角形有关公式进行演算, 最后将引数及结果编成表册, 如我国出版的《天体高度方位表》, 书号为《B-105》, 供使用时直接查取对应的天体高度和方位。具体使用方法将在以后有关章节中介绍。

第4节 天体的视运动及其坐标值的变化

船舶在海上利用目标测定船位, 必须掌握目标的准确位置, 否则所测到的船位就不可能准确。在陆

标定位中，陆标的地理坐标都是固定和已知的，天文定位的情况却不相同，我们每天看到的天体都是东升西没，在东边时高度逐渐上升，在西边时高度逐渐下降，在夏季时太阳的出没方位偏北，在冬季时则偏南，这一切都说明所有天体都在运动着，也就是所有天体的座标都是随时间在变化着的。由于天体的运动及其坐标的不断变化，从而产生了利用天体测定船位工作中一系列较复杂的问题，因此，掌握天体运动的有关知识及了解天体坐标变化的一般规律，将有助于对以后课程内容的学习和掌握，也便于对天文定位测算工作有关问题的分析研究。

一、天体的周日视运动及其坐标值的变化

由于地球绕地轴不停地自西向东作匀速自转，每日一周，但生活在地球上的人们，并不觉得地球在转动，只相对地感觉到天球带着所有天体都绕天轴自东向西地转动，周期亦为一日，这如同乘坐在火车上的人们不觉得列车在前进，却相对地感到道旁的物体都在向后移动的情况一样。天体的这种运动，被称为天体的周日视运动。这就是说，天体的周日视运动只是由于地球自转而产生的相对运动，它的运动方向与地球自转的方向相反，角速度与周期与地球自转的相同。

既然天体的周日视运动是由于地球自转而产生的相对运动，所以在周日视运动时，在天球上所有天体的相互位置及各天体与天赤道的关系位置都不会改变。天球带着所有天体围绕天轴自东向西地运动一周，各天体运行的轨迹是平行于天赤道的小圆，这个小圆便是该天体的赤纬圈，也可以说，天体是沿着自己的赤纬圈作周日视运动的。如图 1-4-1，天体 B 沿赤纬圈 $\widehat{Bbb'}$ 运动。天体赤纬圈至天赤道的弧距等于该天体的赤纬。

因为在天体作周日视运动时，地球是被看作不动的，所以在地球上的测者，他的子午圈和真地平圈都不会随天体的周日视运动而变动。

(一) 天体在周日视运动中的出没情况 如图 1-4-1，天体沿赤纬圈自东向西作周日视运动，当天体由下天半球到上天半球经过地平圈时，叫升起；当天体由上天半球到下天半球经过地平圈时，叫降落。天体的升起和降落现象发生在天体的赤纬圈和真地平圈的交点上，只有赤纬圈和真地平圈能够相交的天体，才有出没现象，如图 1-4-1 中的天体 A 和天体 B。如赤纬圈和真地平圈不相交的天体，便没有出没现象，在上天半球的就永不降落，如图中的天体 F；在下天半球的就永不升起，如图中的天体 G。

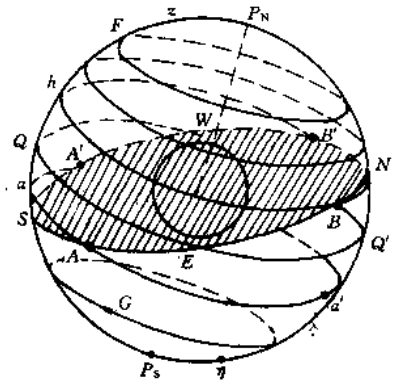


图 1-4-1 天体周日视运动

从图 1-4-1 可看出，天体赤纬只有小于 \widehat{SQ} 或 $\widehat{Q'N}$ 的情况下，赤纬圈才可能与真地平圈相交，才可能有出没现象。如果天体赤纬大于 \widehat{SQ} 或 $\widehat{Q'N}$ ，则赤纬圈不与真地平圈相交，该天体便无出没现象。

由于 $\widehat{Q'N} = \widehat{SQ} = (90^\circ - \widehat{Qz})$
 $\widehat{Qz} = 90^\circ - \varphi$

所以当天体赤纬 $\delta < (90^\circ - \varphi)$ 时，该天体即有出没现象。若赤纬与纬度同名（同为 N 或 S），如图中的天体 B，赤纬为北纬度亦为北时，天体在上天半球的时间较长，如夏天太阳赤纬为北，对北纬测者则白天较长。若赤纬与纬度异名，如图中天体 A，赤纬为南而纬度为北时，天体在上天半球的时间则较短，如冬季太阳赤纬为南，对北纬测者则白天较短。

当天体赤纬 $\delta < (90^\circ - \varphi)$ 时，天体无出没现象。若 δ 与 φ 同名，天体始终在上天半球旋转，在东天半球时高度逐渐升高，在西天半球时高度逐渐下降，到最低点时仍然在地平之上，永不降落，如图中天体 F。若 δ 与 φ 异名，情况恰好相反，天体始终在下天半球旋转，永不升起，如图中天体 G。由此可知当赤纬 (δ) 与纬度 (φ) 异各时，在一定纬度的海区，只能看见 $\delta \leq (90^\circ - \varphi)$ 的天体，例如在 $\varphi = 40^\circ N$ 的海区，只能看见 $\delta \leq 50^\circ S$ 的天体，对于 $\delta > 50^\circ S$ 的天体，如波江座 α ($\delta = 62^\circ S$)、半人马座 α ($\delta = 60^\circ S$) 等天体，便终年看不见。

在一定的纬度上，根据上述公式：

$$\delta > (90^\circ - \varphi)$$

即纬度 $\varphi > (90^\circ - \delta)$ 时，在当地便看不到该天体的出或没。例如夏天当太阳赤纬 $\delta = 23^\circ\text{N}$ 时，在纬度 $\varphi > 67^\circ\text{N}$ 的地区，太阳将成天在上空旋转，不没入地平，反之，当冬天太阳赤纬 $\delta = 23^\circ\text{S}$ 时，在纬度 $\varphi > 67^\circ\text{N}$ 的地区，太阳便终日不见升起。

(二) 天体在周日视运动中所经过的方位象限 如图 1-4-2，将天球按方位分成 NE、SE、SW 及 NW 四个象限，由图可看出：

$\delta = 0$ 的天体，出于正东，没于正西，在上天半球只经过 SE 及 SW 两象限，如图中天体 B。

δ 与 φ 同名，且 $\delta \geq \varphi$ 的天体，在上天半球只经过 NE 及 NW 两象限，如图中天体 C 和 D。

δ 与 φ 同名，且 $\delta < \varphi$ 的天体，出于 NE 象限，没于 NW 象限，在上天半球经过 NE、SE、SW、NW 四象限，如图中天体 F。

δ 与 φ 异名且有出没的天体，出于 SE 象限，没于 SW 象限，在上天半球只经过上述两象限，如图中天体 G。

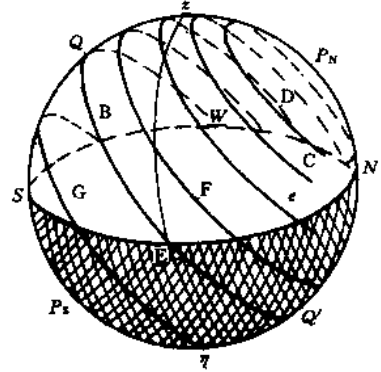


图 1-4-2 天体周日视运动所经过的方位象限

(三) 天体在周日视运动中坐标的变化情况

1. 天体赤纬不变 在周日视运动中，天体沿着自己的赤纬圈运动，赤纬圈是平行于天赤道的小圆，所以天体的赤纬是不变的。

2. 天体赤经不变 因为春分点是天球上的一个定点，它和所有天体一样随着天球作周日视运动，春分点和天体之间的相对位置不因周日视运动而改变，所以天体赤经是不变的。

3. 西行时角等速增加 在天体的周日视运动中，测者的子午圈是不动的，所有天体则是自东向西匀速地转动，所以天体的西行时角是从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 等速增加的。或者说，当天体在东天半球时，向东计算的应用时角则是等速减少的。

4. 天体高度的变化情况 天体在周日视运动中，高度的变化是不等速的，有时增加，有时减少，有时较快，有时较慢。如图 1-4-2，天体沿着各自的赤纬圈进行周日视运动，当天体在东天半球时，高度是渐增的，在到达测者午圈时，这时称作天体的上中天，天体上中天时的高度最大，这时的高度专称子午高。天体在上中天经过测者午圈后，进入西天半球，高度逐渐下降。

天体高度的变化速度是不均匀的。如图 1-4-3 为地平投影图，外圈是真地平圈，中心是测者天顶， bcd 为在体赤纬圈。

天体在单位时间间隔里将在赤纬圈上走过相等的弧段，即 $\widehat{bb_1}$ 、 $\widehat{b_1b_2}$ 、 $\widehat{b_2b_3}$ …… $\widehat{c_1c_2}$ 、 $\widehat{c_2c_3}$ ……均相等。从图可看出，在相等时间内，天体在赤纬圈运行了相等的弧距，但产生高度的各变化量是不一样的，如图 Δh_1 、 $\Delta h_2 > \Delta h'$ 、 $\Delta h''$ ，即在东西附近高度变化快，在中天附近高度变化慢。

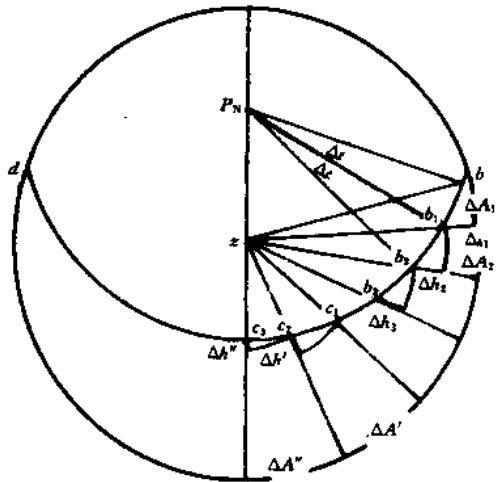


图 1-4-3 天体高度和方位的变化速度

5. 天体方位的变化 从图 1-4-3 同样可看出，天体在单位时间间隔里，在赤纬圈走过相等的弧段，但所引起方位变化的大小也是不一样的，在东西附近方位变化慢，在中天附近方位变化快。如图 $\Delta A'$ 、 $\Delta A'' > \Delta A_1$ 、 ΔA_2 。

关于天体高度和方位的变化速度，还可以用数学分析的方法予以证明，下面以分析高度的变化速度

为例。

根据天文三角形高度公式

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

由于时间的变化相应于时角的变化,在考虑高度随时间而变化的情况时,上式 φ 和 δ 可作为常数,因此,高度(h)只是时角(t)的函数,取高度(h)对时角(t)的一阶导数得:

$$\cos h \frac{dh}{dt} = -\cos \varphi \cos \delta \sin t$$

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{\cos \varphi \cos \delta \sin t}{\cos h}$$

在天文三角形中根据正弦公式可得:

$$\frac{\sin A}{\cos \delta} = \frac{\sin t}{\cos h}$$

$$\sin t = \frac{\sin A \cos h}{\cos \delta}$$

代入上式得

$$\frac{dh}{dt} = -\cos \varphi \sin A \quad (1.5)$$

式(1.5)是高度对时角的一阶导数即高度对时间的一阶导数公式,也就是高度的变化速度公式。

从公式看出,当纬度为一定时,天体高度只随天体方位(A)的改变而改变,当天体方位 $A=0^\circ$ 或 180° 时,即天体在中天时,高度的变化速度 $\frac{dh}{dt}=0$,也就是处在从渐增到渐减的拐点上,高度变化为0,在其附近的高度变化亦是很慢的。当天体方位 $=90^\circ$ 或 270° 时,即天体在东、西方位时,这时 $\sin A=1$,高度变化最快。对于不经过东西圈的天体,它靠近于东西方位时的高度变化也是最快的。

二、太阳的周年视运动及太阳赤经赤纬的变化

从对天体的周日视运动的讨论中知道,天体赤纬和赤经是不因周日视运动而改变的。如果某一天体的赤纬不变,则这个天体每天的出没方位、出没时间、在上天半球所经历时间的长短以及中天时的高度也就不变,如图1-4-4的天体B,每天都应沿着赤纬圈从B点升出在B'点降没。可是从日常生活中可以知道,太阳在一年中的出没方位、出没时间、白昼长短及中天高度等都是变化的,在北半球,夏天太阳出没方位偏北,白昼较长,中天高度较大,冬天太阳的出没方位偏南,白昼较短,中天高度较低。由此可见,太阳的赤纬是变化的。再一方面,如果太阳的赤经不变,就是说太阳和春分点以及和所有恒星的横向关系是固定的,那样人们每天晚上都只能看见同样的星体,但其实不然,人们夜里看见的星空却是随季节变化的,这表明太阳的赤经也是变动的。

太阳赤经赤纬的变化,说明太阳除了有周日视运动外,还有其它的运动,即太阳的周年视运动。

(一) 太阳的周年视运动 我们知道,地球除了自转以外,还围绕太阳公转。地球绕太阳公转的轨道为椭圆形,太阳位于椭圆的一焦点上。地球公转的方向是自西向东,周期为一年,公转轨道面与赤道而的交角为 $23^\circ 27'$,如图1-4-5所示。

人们在地球上并不感到地球的公转,只相对地察觉到太阳在天球上的位置不断变化,如图1-4-6,当地球在位置I时,由地球看到太阳是在天球上的 φ 处,当地球公转到位置II时,便感觉到太阳由 φ 处运

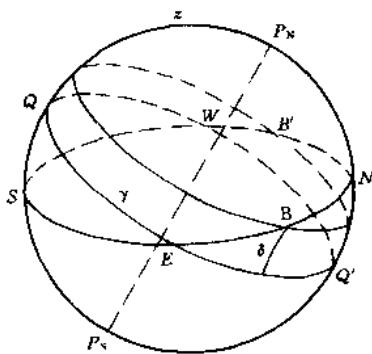


图 1-4-4 天体沿赤纬圈作周日视运动

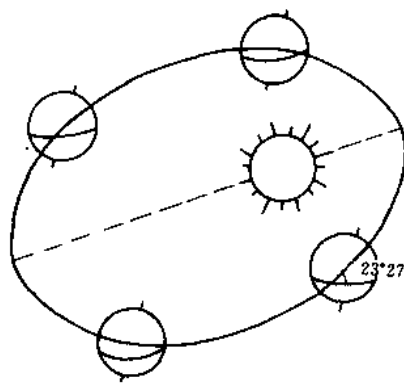


图 1-4-5 地球绕太阳公转图

动到 δ 处，这样，当地球沿着自己的轨道 I II III IV 公转一周，在地球上便相对地看到太阳在天球上沿着它的视运动轨道 $\gamma \delta \triangle \beta$ 运动了一周。我们把由于地球公转而产生的太阳在天球上的视运动，称为太阳的周年视运动。

太阳周年视运动的方向、速度与周期均与地球公转相同。太阳在天球上作周年视运动的轨道 $\gamma \delta \triangle \beta$ 称为黄道。黄道与地球公转轨道 I II III IV 是在同一平面上，所以黄道与天赤道的交角亦为 $23^{\circ}27'$ 。

黄道与天赤道有两个交点，太阳从南天半球进入北天半球经过的一点叫春分点(γ)，太阳从北天半球进入南天半球经过的一点叫秋分点(δ)，在黄道上春分点和秋分点之间的两个中点，在北天半球的 δ 点叫夏至点，在南天半球的 β 点叫冬至点。古时候人们注意到黄道上春分、夏至、秋分、冬至各点的位置，分别是在白羊座、巨蟹座、天秤座和摩羯座上，所以各点亦采用了该星座的符号，即 γ 、 δ 、 \triangle 和 β 。但经过若干年，现在太阳各点的位置已有变动，符号仍沿用至今。

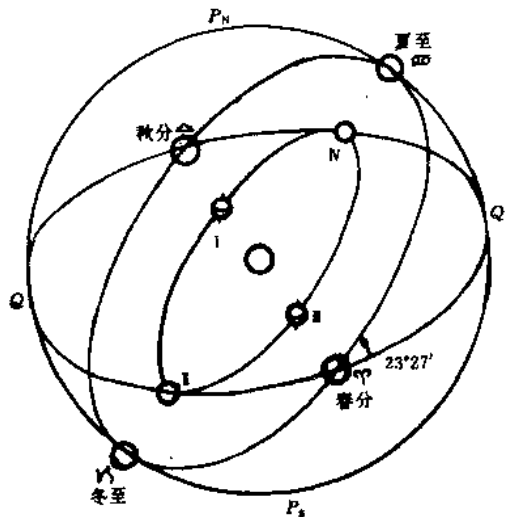


图 1-4-6 太阳周年视运动图

太阳在黄道上自西向东运行，一年一周。每年约在 3 月 21 日过春分点，由南天半球进入北天半球；6 月 22 日到夏至点，9 月 23 日过秋分点，由北天半球进入南天半球；12 月 22 日到冬至点，到翌年 3 月 21 日又回到春分点。

由于黄道与赤道有 $23^{\circ}27'$ 的交角，太阳在黄道上运行引起了地球上的季节变化。人们按太阳在黄道上的位置每隔 15° 划分为一个节气，一年共 24 个节气。我国位于北半球中纬地区，季节的划分是以分点和至点为各季的中点，以立春（约阳历 2 月 4 日）、立夏（约 5 月 6 日）、立秋（约 8 月 8 日）和立冬（约 11 月 8 日），分别为春、夏、秋、冬各季的开始。

(二) 太阳在周年视运动中赤经赤纬的变化 太阳沿黄道作周年视运动，由于黄赤有一倾角，所以在一年中不同时期的太阳赤经赤纬也就不同，太阳在春分点时，赤经为 0° ，赤纬亦为 0° ，这时太阳在天赤道上作周日视运动，出没方位为正东正西，经历上天半球和下天半球的时间相等。太阳过春分点后，太阳北赤纬逐渐增加，出没方位逐渐偏北，北半球白昼时间渐长，在北半球纬度大于太阳赤纬的地区，中天高度逐渐增大，到太阳过夏至点时，中天高度最大，白昼时间最长，这时太阳的北赤纬最大，为 $23^{\circ}27'N$ ，赤经为 90° 。太阳过夏至点后，北赤纬逐渐减小，到达秋分点时赤纬再次为 0° ，赤经为 180° 。这时太阳又

回到天赤道上作周日视运动，出没与昼夜情况和春分时一样，即所谓“春分秋分，昼夜平分”。当太阳过秋分点后进入南天半球，太阳南赤纬逐渐增加，出没方位逐渐偏南。北半球白昼渐短，中天高度逐渐降低，太阳到达冬至点时，中天高度最低，白昼最短，这时太阳的南赤纬最大，为 $23^{\circ}27'S$ ，赤经为 270° 。

在太阳的周年视运动中，南半球地区所见情况，恰好和北半球地区所见的相反（见表）。

表 1-2 太阳周年视运动赤经赤纬的变化表

相隔 d	日期	黄道点	赤纬 δ	赤经 α	日变化	
					$\Delta\delta$	$\Delta\alpha$
	3-21	春分	0°	0°	0.4°	0.9°
93	6-22	夏至	$23^{\circ}27'N$	90°	0°	1°
93	9-23	秋分	0°	180°	0.4°	0.9°
90	12-22	冬至	$23^{\circ}27'S$	270°	0°	1.1°
89	3-21	春分	0°	0°	0.4°	0.9°

从上表看出，太阳周年视运动一周，赤经变化的范围是由 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ ，赤纬变化的范围是由 $23^{\circ}27'N\sim 23^{\circ}27'S$ 。但从它们的日变量及季节的相隔天数可看出，太阳赤经赤纬的变化是不均匀的，其主要原因是：

1. 太阳在黄道上运行不等速 因为地球绕太阳公转的轨道是个椭圆，太阳位于该椭圆的一个焦点上。根据克卜勒第二定律；行星的向径在相等的时间内扫过的面积相等，如图 1-4-7，在相等时间内，面 E_1E_2S 与 E_3E_4S 相等，因此 $\widehat{E_1E_2}$ 将大于 $\widehat{E_3E_4}$ ，可见地球的公转运动是不等速的，距太阳近时快，远时慢。因为太阳的周年视运动只是地球公转的相对反映，所以太阳在黄道上的视运动也是不等速的。

2. 由于黄道对赤道有 $23^{\circ}27'$ 的倾角 即使太阳在黄道上匀速运行，每日运行 $\Delta\lambda$ ，而投影成为赤经赤纬的每日变化量 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\delta$ 也是各不相等的，如图 1-4-8，设 $\Delta\lambda$ 为太阳在黄道上运行每日相等的变化量，从图可看出，至点附近的 $\Delta\alpha_2$ 大于分点附近的 $\Delta\alpha_1$ ；分点附近的 $\Delta\delta_1$ ，大于至点附近的 $\Delta\delta_2$ 。

太阳周年视运动中赤经赤纬不匀速的日变化，是上述二种原因的综合结果。

太阳赤经赤纬的变化也可以通过数学推导进行分析。如图 1-4-9，S 为太阳， λ 为太阳在黄道上从春分点起走过的弧段， δ 、 α 分别为太阳的赤纬及赤经， ϵ 为黄道倾角。当太阳在单位时间在黄道上走过 $\Delta\lambda$ 的距离，它的赤经和赤纬便相应变化了 $\Delta\alpha$ 和 $\Delta\delta$ 。

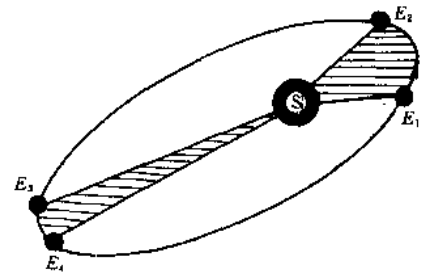


图 1-4-7 行星向径在相等时间扫过的面积相等

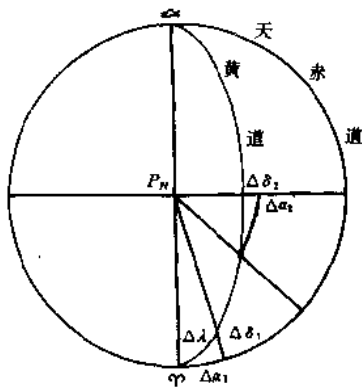


图 1-4-8 太阳赤经、赤纬的变化速度图解

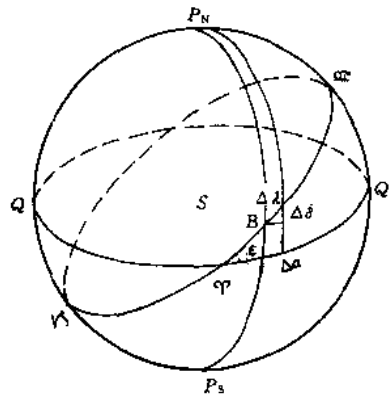


图 1-4-9 太阳赤经、赤纬变化速度的数学分析

在球面直角三角形 $90^\circ MS$ 中, 根据余切公式:

$$\operatorname{ctg} \lambda \sin \alpha = \operatorname{ctg} 90^\circ \sin \epsilon + \cos \alpha \cos \epsilon$$

移项整理得:

$$\operatorname{tg} \alpha = \cos \epsilon \operatorname{tg} \lambda \quad (1.6)$$

在同一三角形中根据余弦公式:

$$\cos \lambda = \cos \alpha \cos \delta + \sin \alpha \sin \delta \cos 90^\circ$$

即:

$$\cos \lambda = \cos \alpha \cos \delta \quad (1.7)$$

再根据正弦公式:

$$\frac{\sin \lambda}{\sin 90^\circ} = \frac{\sin \delta}{\sin \epsilon}$$

得:

$$\sin \lambda \sin \epsilon = \sin \delta \quad (1.8)$$

微分 (1.6) 式, 式中 ϵ 为常数, 得:

$$d \operatorname{tg} \alpha = d \cos \epsilon \operatorname{tg} \lambda$$

$$\frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha} = \cos \epsilon \frac{d\lambda}{\cos^2 \lambda}$$

以 (1.7) 式代入

$$\frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha} = \cos \epsilon \frac{d\lambda}{\cos^2 \alpha \cos^2 \delta}$$

$$d\alpha = \frac{\cos \epsilon}{\cos^2 \delta} d\lambda$$

换为增量公式, 我们有:

$$\Delta \alpha = \frac{\cos \epsilon}{\cos^2 \delta} \Delta \lambda \quad (1.9)$$

微分 (1.8) 式, 式中 ϵ 作为常数

$$d \sin \delta = d \sin \lambda \sin \epsilon$$

$$\cos \delta d\delta = \sin \epsilon \cos \lambda d\lambda$$

以 (1.7) 式代入, 得:

$$\cos \delta d\delta = \sin \epsilon \cos \alpha \cos \delta d\lambda$$

$$d\delta = \sin \epsilon \cos \alpha d\lambda$$

换为增量公式:

$$\Delta \delta = \sin \epsilon \cos \alpha \Delta \lambda \quad (1.10)$$

公式 (1.9) 和 (1.10) 是太阳赤经赤纬的增量公式, 设太阳每日在黄道上运行 $\Delta \lambda \approx 1^\circ$, 则在分点时:

$$\Delta \alpha = \frac{\cos 23^\circ 27'}{\cos^2 0^\circ} 60' \approx 55'$$

$$\Delta \delta = \sin 23^\circ 27' \cdot \cos 0^\circ (180^\circ) \cdot 60' \approx \pm 24'$$

在至点时:

$$\Delta \alpha = \frac{\cos 23^\circ 27'}{\cos^2 23^\circ 27'} 60' = \sec 23^\circ 27' \cdot 60'$$

$$\approx 65.4'$$

$$\Delta \delta = \sin 23^\circ 27' \cdot \cos 90^\circ (270^\circ) \cdot 60'$$

$$\approx 0$$

通过数学分析与图解同样得出, 太阳赤经在分点附近变化慢 (约 0.9°), 在至点附近变化快 (约 1.1°), 太阳赤纬在分点附近变化快 (约 0.4°), 在至点附近变化慢 (0及附近)。

三、月亮、行星、恒星赤经赤纬的变化

(一) 月亮的运动及其赤经赤纬的变化

1. 月亮的运动 月亮除了和其他天体一样,随着天球作周日视运动外,它本身还围绕地球公转,月亮绕地球公转的轨道投影于天球称白道(moon's path),月亮沿白道自西向东作视运动,方向与太阳周年视运动相同,白道与黄道的交角,称黄白交角,符号(ω),平均值为 $5^{\circ}09'$ 。如图1-4-10。白道与黄道相交于二点,月亮从黄道以南进入黄道以北的一点,称为升交点;从黄道以北进入黄道以南的一点,称为降交点。由于月亮的运动除了受到地球的引力作用外,同时还受到太阳和行星的影响,由此引起升、降交点每年沿着黄道向西缓慢移动,约18.6年旋转一周。

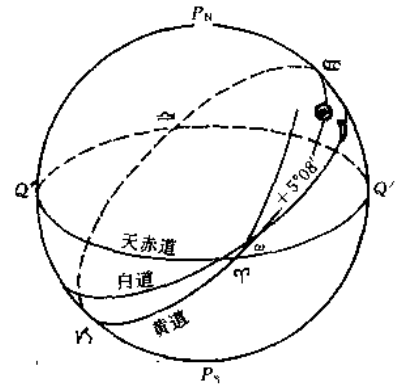


图 1-4-10 白道与黄道

月亮绕地球视运动一周的周期,称为一月。若以恒星为参照基准,如图1-4-11,月亮绕地球公转,从恒星、地球方向连线上开始,运行一周再次到达该方向连线上时,称为一恒星月。一恒星月为27.3d。若以太阳为参照基准,月亮从太阳、地球方向连线上运行一周的时间,称为一朔望月。由于太阳有周年视运动,方向也是自西向东,所以当月亮对恒星绕地球运行一周即27.3d后,太阳在天球上原来位置已向东移动了约 26.8° ,月亮需继续运行2.2天才能到达太阳、地球方向连线上,这时才完成了以太阳为参照基准绕地球运行的一周,所以一朔望月为29.53d。月相是以朔望月为周期变化的。

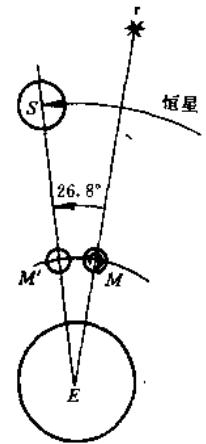


图 1-4-11 恒星月与朔望月

2. 月亮赤经赤纬的变化 因为白道与黄道平均有 $5^{\circ}09'$ 的交角,但白道与黄道的两个交点并不固定在黄赤相交的春分点和秋分点上,而是每年缓慢地向西移动的。如图1-4-12所示,当升交点与春分点重合时,赤道与白道的交角等于 $23^{\circ}27' + 5^{\circ}09' = 28^{\circ}36'$,即该月的月亮赤纬将在 $28^{\circ}36'N$ 到 $28^{\circ}36'S$ 的范围内变化。如图1-4-13所示,当降交点与春分点重合时,赤道与白道的交角为 $23^{\circ}27' - 5^{\circ}09' = 18^{\circ}28'$,在这种情况下,月亮该月的赤纬将在 $18^{\circ}28'N$ 到 $18^{\circ}28'S$ 的范围内变动。

月亮沿白道运行,周期为27.3天,月亮运行一周,它的赤经变化为 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$,平均每日变化为 13.2° ,方向也是自西向东。

从上节知道,太阳周年视运动一周,赤经变化 360° ,平均每日约增加 1° ,方向与月亮的相同。因此,月亮每天比太阳向东多走了 $13.2^{\circ} - 1^{\circ} \approx 12.2^{\circ}$,如图1-4-14,设某日太阳和月亮同时上中天,一昼夜后,当太阳重新上中天时,亦即地球对太阳自西向东自转一周时,这时的月亮是在太阳的东面 12.2° ,地球需再向东转 $12.2^{\circ} \times 4min$,大约49min左右,月亮才能重新上中天(图1-4-14)。

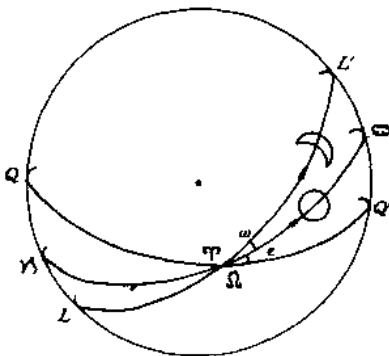


图 1-4-12 月亮升交点与春分点重合
月亮赤纬在 $28^{\circ}36'N$ 变化

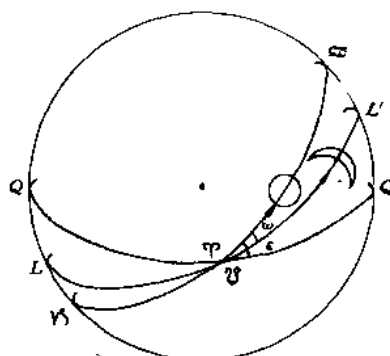


图 1-4-13 月亮降交点与春分点重合
月亮赤纬在 $18^{\circ}28'S$ 变化



图 1-4-14 月亮中天每日
延后约49min

从上述讨论可知，由于月亮的运动及其赤经赤纬的变化情况，使得月亮每日的出没方位，出没时间及中天高度等也是不相同的。在上弦月或下弦月附近，白天可能也有月亮，可与太阳一起供观测。

(二) 行星赤经赤纬的变化 航海常用行星有金星、木星、火星及土星，由于它们都按各自的轨道绕太阳公转，所以从地球看去，它们的赤经赤纬都在变化，而且变化是不规则的。对于行星的赤纬，因为它们的公转轨道与黄道的交角都很小，其中以金星的轨道与黄道的交角最大，也只有 $3^{\circ}24'$ ，所以行星总在黄道附近移动，它们的赤纬最大约在 $23^{\circ}27' + 3^{\circ}24' \approx 27^{\circ}$ (N-S) 范围内变化。至于行星的赤经，由于地球和行星各按其公转轨道绕太阳运行，所以从地球看行星在天球上的运行路径是一条不规则的曲线，行星赤经有时增加，有时减少，变化速度是不均匀的。

(三) 恒星赤经赤纬的变化 宇宙间所有天体都是运动着的，每一颗恒星在宇宙空间都是以极高的速度运行着。恒星在空间的运行投影到天球上的位移，称作恒星自行。因为恒星离地球太遥远，短期内恒星自行可认为对赤道坐标的变化无实际影响。

但是，每年恒星的赤经赤纬也是有变化的，它变化的主要原因，不是由于恒星的自行，而是由于作为赤道坐标系基准的春分点 (0°) 及天赤道的移动。当然，这种移动对其它天体也同样产生影响。现概略说明如下：

1. 岁差的概念 在研究天体坐标的时候，我们把春分点 (0°) 作为天球上的一个固定点。实际上春分点在天球上不是恒定不动的。经天文学家研究发现，春分点沿着黄道向太阳周年视运动相反的方向，即向西，每年移动约 $50.2''$ 。这种现象称为岁差 (precession)。产生岁差的原因是由于月亮、太阳、行星及其它天体对地球所施引力的结果，其中主要是月亮的作用，现以月亮为例进行分析。

如图 1-4-15, O 为地心, $P_N P_S$ 为地轴, eq 为赤道面, OL 为黄道面, MM' 为黄道轴, L 为月亮, OL 可作为月亮运动的平均轨道面。地球是一个两极扁平而赤道带隆起的扁球体, 为便于说明问题, 可将地球当成由一正球体及在赤道带隆起的环形部分组成, T_1 和 T_2 是这个环形部分的质量中心。

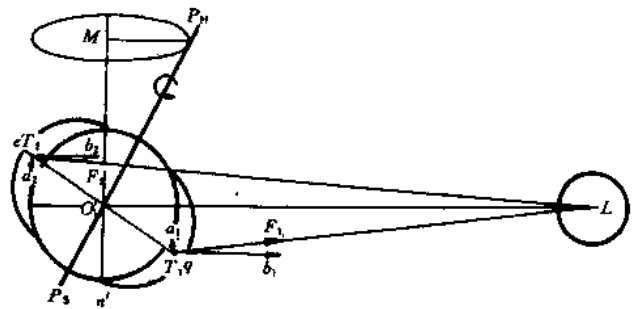


图 1-4-15 岁差的产生

根据万有引力定律可知，月亮对正球体的引力作用在它的中心 O ，产生使地球沿 OL 方向趋向月亮的力，但不致使地轴偏转。月亮对赤道环形部分质量中心 T_1 、 T_2 的引力 F_1 、 F_2 ，

可以分别分解为垂直和平行于黄道面的两个分力： a_1 、 b_1 和 a_2 、 b_2 。由图看出，垂直分力 a_1 、 a_2 产生一力偶，要使赤道面与黄道面重合；又由于 T_1 距离月亮近于 T_2 ，所以 b_1 稍大于 b_2 ，其结果也要使赤道面与黄道面重合，即要使地轴与黄道轴重合，但因为地球有自转，根据力学进动原理，地轴并不向黄道轴靠拢，而是向依地球自转方向与作用力相去 90° ，即垂直于图面的方向向外产生进动。由于月亮绕地球公转，黄道面可视为它公转的平均轨道面，月亮在公转轨道上不断运行，对地球的引力作用使地轴持续地发生进动，其结果便在天球上绕黄极 M 为中心，以 $23^{\circ}27'$ 为半径划成一个小圆。

随着地轴的进动使赤道面在天球上产生位移，如图 1-4-16，当天极 P_N 进动至 P'_N 时，天赤道亦由 QQ' 移至 $Q_1 Q'_1$ ，春分点随之由 0° 向西移至 0° 。根据计算，春分点每年在黄道上向西移约 $50.2''$ ，约需 26000 a 绕黄道一周。

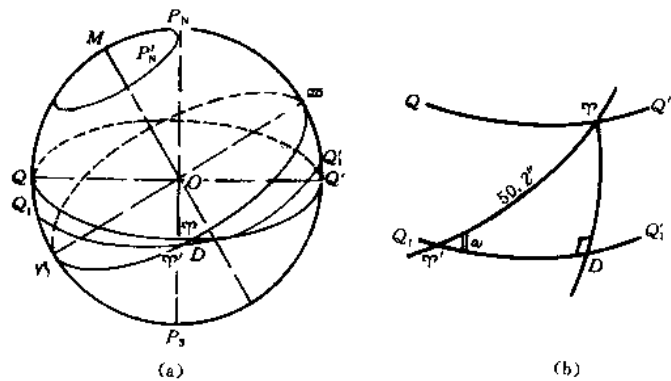


图 1-4-16 天赤道及春分点因岁差位移

由于岁差使天赤道及春分点产生位移，使得天体的赤经赤纬发生变化，不过数值很小。以春分点自身的变化为例，图 1-4-16 中的三角形 $\varphi' D \varphi''$ 很小，可视为平面三角形，赤经年变量 $\widehat{\varphi' D}$ 为 $50.2'' \cos \epsilon \approx 46''$ ，赤纬年变量 $\widehat{\varphi' D}$ 为 $50.2'' \sin \epsilon \approx 20''$ 。至于在天球其它部位的天体，岁差引起赤经赤纬的变化同样是很小的。

由上述可知，因为岁差使天北极在天球的位置缓慢移动，所以经过若干年，北极星也是会更换的。

2. 章动的概念 在岁差问题上，我们是以黄道面作为月亮的平均轨道面来讨论的。但因为月亮轨道及月地距离是变化的，所以引起地轴进动的作用力的方向及大小亦随之有些变化，使天极绕黄极运动的路线并不是一个平滑的小圆，而是呈波曲状，如图 1-4-17，天极的这种波动，称为章动。章动使天极绕岁差平均轨道呈椭圆形曲线向前运动，周期和月亮白道与黄道两交点的移动周期相同，为 18.6a。椭圆的长半轴为 $9.2''$ ，短半轴为 $6.9''$ 。

综合上述，由于岁差和章动的原因，使天体的赤经赤纬发生变化，但这种变化速度缓慢，数量甚微。

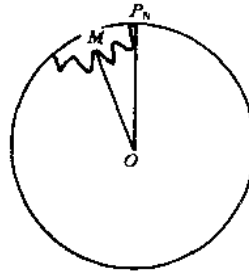


图 1-4-17 章动

第2章 天文定位原理

在第1章里主要介绍了有关球面天文学的基础知识，初步建立起天球坐标的概念，重点解决了天体坐标及其变化的主要问题。本章的中心内容是要说明测者位置与天体之间的相对关系并根据这一关系来确定船位的基本原理，因此，本章是天文定位方法的理论基础，今后各章内容将根据本章要求而具体展开。

第1节 天文船位原理

从地文航海中知道，如果测到一个目标的距离，就可以在海图上以该目标为中心，以测到的距离为半径画出一个位置圆，船位必定在这个圆的某一点上，若同时观测两个目标，得到两个位置圆，其靠近推算船位 C 的一个交点 $TF\odot$ ，就是船位。如图 2-1-1。

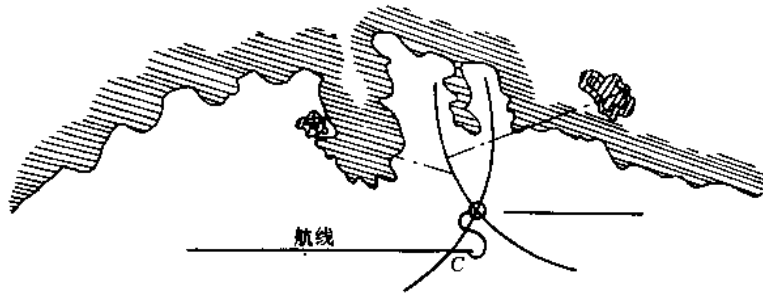


图 2-1-1 地文两标距离定位

天文船位的基本原理和地文两标距离定位的原理相类同，但由于地文两标距离定位所观测的目标是与测者同在地球上的，而天文定位所观测的天体却是在天球上，所以天、地文两者的船位原理还有若干具体的差别。本节的中心内容，就是根据天体与测者分别在天球和地球上的这一特点，说明为什么可以利用天体来测定船位的问题。

由于天体在天上而测者是在地球上，要说明天文定位的可能性，需通过天、地球相互投影的关系，把它们投影到同一球面上来进行分析。

一、测者天顶位置圆

根据上一章知道，测者天顶就是测者地理位置在天球上的投影，因此，为要确定测者的地理位置，可以首先讨论测者天顶在天球上的位置。

如图 2-1-2，里圈代表地球，外圈代表天球， $\widehat{QQ'}$ 为天赤道， $\widehat{P_N Z_G P_S}$ 为格林午圈。设有一天体 B ， $\widehat{P_N B D}$ 是它的时圈，天体 B 在天球上的位置是已知的，赤纬 $\delta_B = \widehat{DB}$ ，格林时角 $t_G = \angle Z_G P_N B$ ， δ_B 和 t_G 的具体数值可以根据时间在航海天文年历中查得。这时测者的地理坐标及其天顶位置是未知的，如果测者对天体 B 进行高度观测，用六分仪测得天体 B 的高度为 h_B ，并以 $90^\circ - h_B$ 得出顶距为 z 。因为顶距

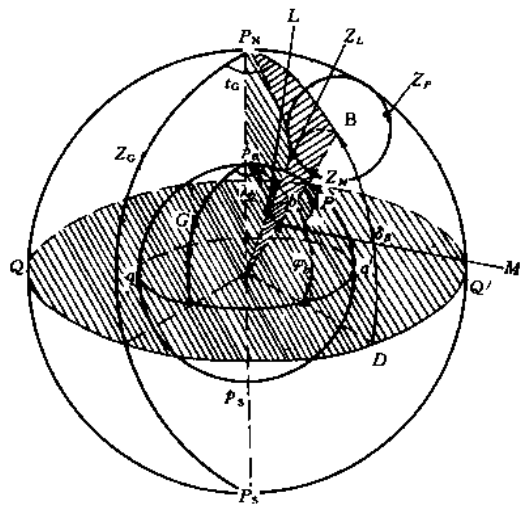


图 2-1-2 测者天顶位置圆和天文船位圆

就是从天体到测者天顶的弧距,所以,在天球上以天体 B 为中心,以测得的顶距 z 为半径便可得一小圆 $\widehat{Z_L Z_M Z_P}$, 测者的天顶就一定在这个小圆上。这个小圆称为测者的天顶位置圆。

二、天文船位圆

既然测者天顶是测者地理位置在天球上的投影,反过来,测者天顶点在地球上的投影也便是测者的地理位置。因此,测者天顶位置圆在地球上的投影,即小圆 \widehat{LMP} , 这时的测者位置必定在这个小圆上,这个小圆便是天文船位圆。

从图 2-1-2 可看出,天文船位圆的圆心是天体 B 在地球面上的投影点 b , 其地理坐标为:

$$\text{纬度 } \varphi_b = \delta_B$$

$$\text{经度 } \lambda_b = t_C \text{ (格林应用时角)}$$

这是因为 φ_b 与 δ_B 及 λ_b 与 t_C 都是对同一个球心角。同理,天文船位圆的半径 bL 与天顶位置圆半径 $\widehat{BZ_L}$ 也是对同一个球心角,即天文船位圆半径=天顶位置圆半径=顶距 z 。

虽然地球是一个不规则的椭圆球体,其扁率约为 $1/298$,但在天文航海中,把地球作为正圆球体来处理,其准确度已能满足海上天文定位的需要。在地球面上,大圆弧 $1' = 1n \text{ mile}$ 。所以只要把所测得天体顶距的度数化为角分,便是天文船位圆半径的海里数。

根据上述可以得出:在地球面上以天体投影点为中心,以测得的顶距为半径作一圆,便是天文船位圆,测者位置必定在这个圆上。

三、天文船位

按上述方法,如果同时观测两个天体 (A、B),得两个天体高度并分别换算为顶距 (z),然后在地球面上以两天体各自的投影点为中心,以其顶距 z_A 、 z_B 为半径便可得两个天文船位圆,如图 2-1-3,与地文两标距离定位一样,两船位圆通常有两个交点,其中靠近推算船位 C 的一个交点 AF,就是天文船位 (astronomical fix),用符号表示。

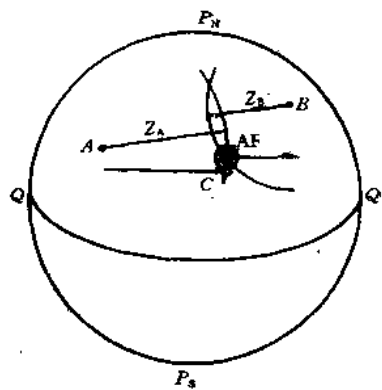


图 2-1-3 天文船位

综合本节所述,天文船位原理可以归纳为:观测一天体的高度,以 90° 减高度得其顶距,在天球上以天体为中心,以测得的顶距为半径,可得一天顶位置圆,测者天顶一定在此圆上;根据天、地球点线圆相互投影的关系,以天体在地球上的投影点为中心,以顶距为半径便得一天文船位圆,测者船位必定在此圆上。若同时观测两个天体,得两个船位圆,其靠近推算船位的交点,便是天文船位。

第 2 节 用高度差法求船位线的原理

从上节知道,观测了一个天体的高度 h ,以 $(90^\circ - h)$ 可得其顶距 z ,在地球上以天体投影点为中心,以顶距 Z 为半径便可确定一个天文船位圆。可是在天文航海的实际工作中,这个圆是不能用中心半径以几何作图的方法直接画出来的。这是因为天文船位圆的半径太大,在通常情况下,天体高度约为 $20^\circ \sim 70^\circ$,地球大圆弧一分等于一海里,也就是说,船位圆的半径为 $4200 \sim 1200n \text{ mile}$ 。要用这样大的半径作圆,在常用海图上是无法解决的,因为地球面上半径这么大的一个小圆,投影在墨卡托海图上已不可能仍然是一个圆,它会随着天体投影点的纬度和圆半径的不同而变成各种复杂的图形,这样的图形在实际工作中,既难以画出,也难以保证精度。如果设想把船位圆画在专制的地球仪上,为要保证精确度,例如每海里的长度不少于 1 mm ,则地球仪的直径将有 7 m 以上,这样大的地球仪,要配备在船上也是不可能的。这就是说,虽然天文船位原理已经掌握,天文船位圆的概念亦已建立,只要观测了一个天体的高度,在理

论上便确定了一个船位圆，但由于圆的半径太大，用中心半径作圆的办法，实际上行不通。这是利用天文定位所遇到的又一个特殊的矛盾。因此，须要在上述天文船位原理的基础上，进一步解决在实际工作中如何把这船位圆画出来的问题。

一、高度差法原理

高度差法 (altitude-difference method)，也称截距法 (intercept method)，是近代通常用来求天文船位线的方法。它的主要特点就是以推算船位为作图基准而不是以天体投影点为基准来画船位线。用这一方法可以解决由于顶距 (船位圆半径) 过大所产生的问题。现说明如下：

如图 2-2-1，设在地球上， b' 为天体投影点，根据观测所得顶距假定为 z ，这时的天文船位圆应该在 $\widehat{PP'}$ 位置上。但因顶距太大，在海图上不能直接画出来。

船舶在海上，航海人员总能知道本船是在那个海区，能有一个推算船位，如图中的 C 。推算船位固然不是真船位 (真船位是在船位圆上)，但真船位与推算船位两者相差总不会是很远的，一般只几海里，多者不过几十海里。这就是说，船位必定是在船位圆靠近推算船位的一小段圆弧上，如图中的 $\widehat{PP'}$ ，只要能把这一小段圆弧画出来，便可以满足定船位的要求，而不需要去画出整个船位圆。

如图 2-2-1， CB' 为连接推算船位 C 至天体投影点 B' 的方位线， K 为方位线与船位圆的交点，可看出， $\angle NCB'$ 即从推算船位 C 看天体投影点 B' 的真方位 (TB)， CK 是从推算船位到船位圆弧 $\widehat{PP'}$ 的距离。由于天文船位圆的范围很大，所需划出的一段圆弧又很短，在不影响实用的情况下，这小段圆弧便可以用通过 K 点的切线 LL 来代替。就是说，通过 K 点作 CK 的垂直线 LL 便是所需要的天文船位线。由此可见，用高度差法求天文船位线的问题，关键在于求出从推算船位 C 到 K 点的方位和距离，如果能求到这个方位和距离，即可以通过 K 点作方位线的垂直线便是天文船位线。

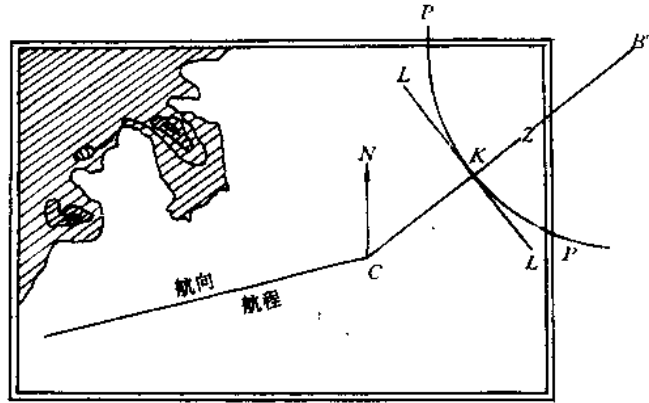


图 2-2-1 高度差法原理 (一)

如图 2-2-2，在地球上， C 为推算船位， B' 为天体投影点， $\widehat{p_n C}$ 与 $\widehat{p_n B'}$ 分别为 C 点与 B' 点的经线，方位角 TB 及距离 CK 如图所示。根据天、地球点线圆相互投影的关系， B' 投影回到天球上为天体 B ， Z_c 为推算船位 C 的天顶， $P_n Z_c$ 为推算船位 C 点的午圈， $P_n B$ 为天体时圈， $Z_c B$ 为推算船位对天体 B 的方位圈，由图可看出，在地球上的三角形 $\Delta p_n C B'$ 投影到天球上为天文三角形 $\Delta p_n Z_c B$ ，在地球上的方位角 $\angle p_n C K$ (TB) 等于天球上的 $\angle p_n Z_c B$ ，(因为它们是一个二面角)， $\angle P_n Z_c B$ 是推算船位子午圈与天体方位圈之间的夹角，称为天体的计算方位 (computed azimuth) 符号 (A_c)。

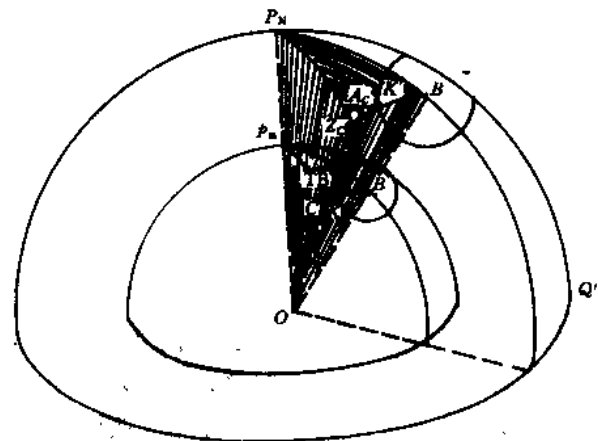


图 2-2-2 高度差法原理 (二)

如图：

$$TB = A_c$$

推算船位 C 到 K 的距离 \widehat{CK} 与天球上 $\widehat{Z_c K'}$ 所对的球心角相同，即：

$$\widehat{CK} = \widehat{Z_c K'}$$

如图：

$$\widehat{Z_c K'} = \widehat{Z_c B} - \widehat{K' B}$$

$\widehat{Z_c B}$ 是推算船位天顶到天体的顶距，称计算顶距 (z_c)； $\widehat{K' B}$ 是天体 B 的真顶距 (z_0) 即：

$$\widehat{Z_c K'} = z_c - z_0$$

在实际工作中，观测天体直接得到的是天体高度 h_0 。为了工作简便，将上式顶距换为以高度表示可得：

$$\begin{aligned} \widehat{CK} &= (90^\circ - h_c) - (90^\circ - h_0) \\ &= h_0 - h_c \end{aligned}$$

即从推算船位 C 点至 K 点的距离等于真高度 h_0 与计算高度 h_c 之差。所以，以推算船位 C 为作图基准，根据计算方位 A_c 及真高度与计算高度之差 ($h_0 - h_c$) 就可以作出天文船位线。

A_c 和 ($h_0 - h_c$) 合称为天文船位线两要素。其中天体其高度 h_0 是用六分仪观测天体高度并经修正后得出，计算方位 A_c 和计算高度 h_c 是通过解天文三角形 $\Delta P_N Z_c B$ 求出来的，以后各章内容将分别讨论求 A_c 及 ($h_0 - h_c$) 的具体问题。

二、高度差法的作图规则

由于推算船位不是真船位，它是靠推算得来的，在实际工作中，推算船位便可能在船位圆的外面、里面或刚好在船位圆上，反映在高度差 ($h_0 - h_c$) 上就有正值、负值和等于零三种情况，因此，作图时应遵循下列规则。

(一) 当 ($h_0 - h_c$) 为正值，即 $h_0 > h_c$ 时，说明 $z_0 < z_c$ ，如图 2-2-3 甲所示，推算船位 C 是在船位圆之外，作图时应从推算船位朝向天体的方向，在方位线上截取 K 点，然后过 K 点作方位线的垂直线，便是天文船位线。

(二) 当 ($h_0 - h_c$) 为负值，即 $h_0 < h_c$ 时，说明 $z_0 > z_c$ ，如图 2-2-3 乙所示，推算船位 C 是在船位圆之内，作图时应从推算船位背向天体方向，即在方位线反方向的延长线上截取 K 点，然后过 K 点作方位线的垂直线，便是天文船位线。

(三) 当 ($h_0 - h_c$) 等于 0，即 $h_0 = h_c$ 时，说明 $z_0 = z_c$ ，如图 2-2-3 丙所示，这时的推算

船位正好在船位圆上， C 点与 K 点重合，但此点并非船位，作图时应过 C (K) 点作方位线的垂直线，得出天文船位线。

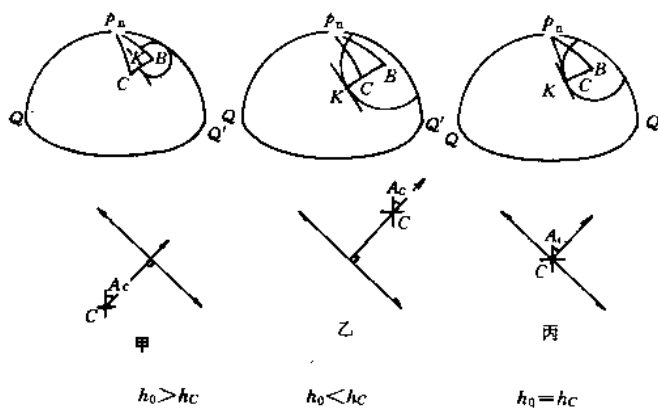


图 2-2-3 高度差法作图规则

三、用高度差法作图求船位

(一) 在海图上作图 在比例尺较大的海图上，可根据船位线两要素按高度差法作图规则直接在海图上作图求天文船位。

例：推算船位为 C (λ_c, φ_c)，观测两天体各得船位线要素为：

$$\text{I} \begin{cases} (h_0 - h_c) = +2.5' \\ A_c = N62^\circ E \end{cases} \quad \text{II} \begin{cases} (h_0 - h_c) = -3.2' \\ A_c = N40^\circ W \end{cases}$$

作图求船位。

解：如图 2-2-4

1. 在海图上从 $C(\lambda_c, \varphi_c)$ 按 $A_{C1} = N62^\circ E$; $A_{C2} = N40^\circ W$ 作天体方位线，因船位线 I 的高度差为负，方位线 A_{C2} 应向它的反方向延长。

2. 高度差 $1'$ 即大圆弧 $1'$ ，在地球面上等于 $1n \text{ mile}$ 。根据船位线 I 的高度差为 $+2.5'$ ，在 A_{C1} 方位线上从 C 朝向天体的方向截取 K_1 点；根据船位线 I 的高度差为 $-3.2'$ ，应在 A_{C2} 方位线反方向的延长线上截取 K_2 点。

3. 通过 K_1 、 K_2 两点分别作方位线的垂直线 I—I 和 I—I 即船位线，其交点 AF 便是船位。

4. 在海图上直接量出船位 AF 的经、纬度 (λ_0, φ_0)

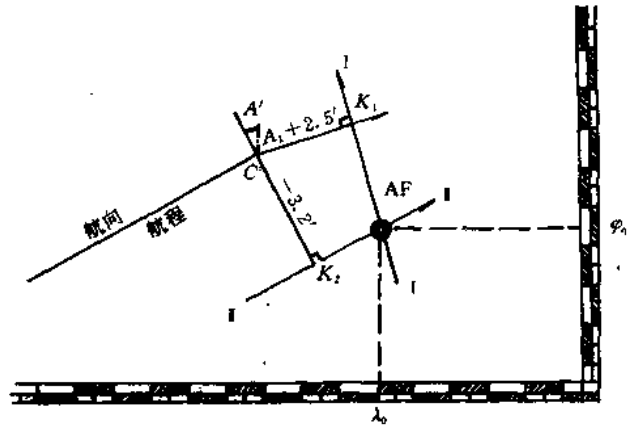


图 2-2-4 在海图上作图求船位

(二) 在方格纸或白纸上作图 为避免因海图比例尺太小而产生作图误差，并为工作方便起见，往往先在方格纸或白纸上作图求出船位，然后按船位的经纬度再标在海图上。

在方格纸或白纸上作图与在海图上的主要不同点，就是需要我们自行设定经纬度比例尺，并根据设定的比例尺量取船位的经纬度。

例：某船在黄海北部， $\varphi_c = 36^\circ 30' N$, $\lambda_c = 122^\circ 10' E$ ，测得两天文船位线要素为：

$$I \begin{cases} (h_0 - h_c) = +2.5' \\ A_c = N75^\circ E \end{cases} \quad I \begin{cases} (h_0 - h_c) = -1.2' \\ A_c = N168^\circ E \end{cases}$$

解：如图 2-2-5

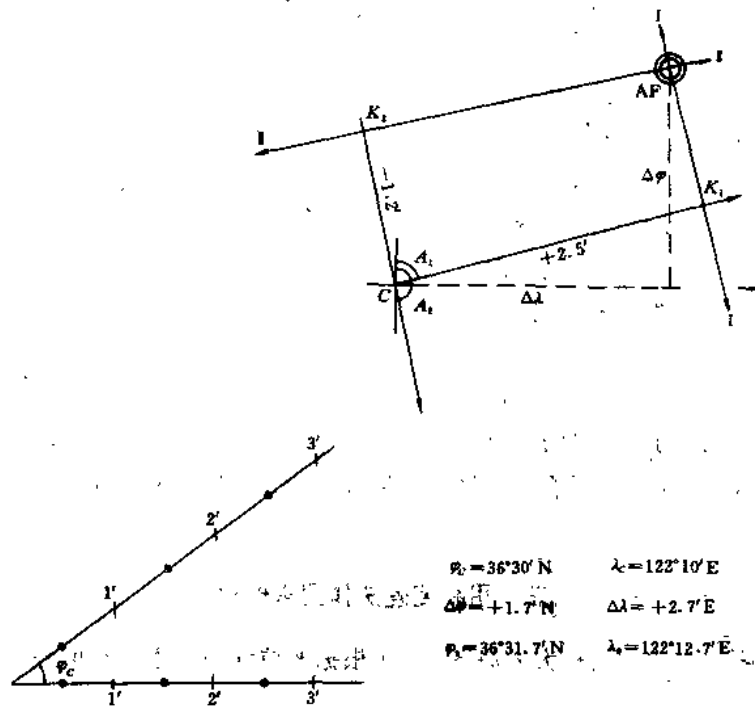


图 2-2-5 在方格(白)纸上作图定船位

1. 在图纸左下角作经纬度比例尺 根据墨卡托海图

$$\cos \varphi = \frac{\text{经度 } 1' \text{ 之长}}{\text{纬度 } 1' \text{ 之长}}$$

的关系，作一个等于 φ_c 的角，在角的底边以适当大小分划作为经度比例尺。在经度比例尺的分划点上作垂直线相交于斜边的各点，斜边便作为纬度及距离比例尺。如图 2-2-6。

2. 作图定船位，以图纸的中心点作为推算船位 C ，从 C 按计算方位 A_{c1} 及 A_{c2} 划出两条方位线。在距离比例尺上量取高度差，并在各自的方位线上截取 K 点，然后过 K 点作方位线的垂直线即为天文船位线，两船位线的交点 (AF) 便是天文船位。

3. 量取船位经纬度 以推算船位 C 为基准，量出推算船位 C 至船位 (AF) 的经差 $\Delta\lambda$ 和纬差 $\Delta\varphi$ ，注意经差值要在经度比例尺上计量，纬差值要在纬度及距离比例尺上计量，最后将推算船位的经、纬度分别修订经差和纬差便是船位点的经纬度。

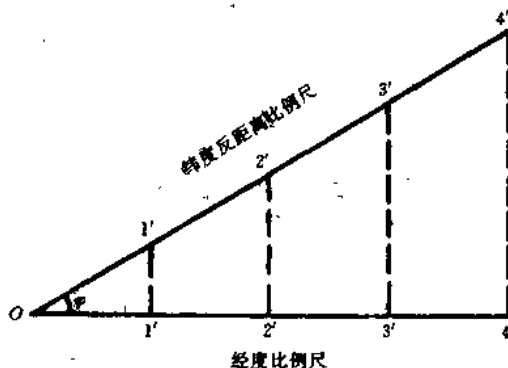


图 2-2-6 在方格纸上画经、纬度比例尺

$$\varphi_0 = \varphi_c + \Delta\varphi$$

$$\lambda_0 = \lambda_c + \Delta\lambda$$

计算时要注意 $\Delta\varphi$ 和 $\Delta\lambda$ 的正负号， φ_c 与 $\Delta\varphi$ 或 λ_c 与 $\Delta\lambda$ 同向时为正，异向时为负。如图 2-2-5，作图求得天文船位

$$\varphi_0 = 36^\circ 31.7' \text{ N}$$

$$\lambda_0 = 122^\circ 12.7' \text{ E}$$

第 3 节 高度差法的准确性分析

根据天文船位原理，船位应在两船位圆的交点上，但采用高度差法作图求船位，由于以推算船位为作图基准，以直线代替船位圆弧以及以直线代替大圆方位线等原因，使高度差法只适用于一定的范围，超过范围对所求得船位的准确性将受影响，现分析如下：

一、推算船位的影响

天文船位线的位置，是由天体位置和观测所得的真高度来确定的。高度差法是利用真船位附近的推算船位 C 为基准，根据求得的天体方位 A_c 及推算船位至船位圆的距离 \widehat{CK} 来划船位线的方法。由于推算和实际的差异，推算船位可能散布在真船位的四面八方，距离远近不定，对所求得船位准确性的影响可分两种情况：

(一) 如推算船位离真船位不太远 (例如 20~30n mile 以内)，如图 2-3-1 的 $C, C_1, C_2 \dots$ ，分别以 C, C_1, C_2 为基准求出的 $\widehat{CK}, \widehat{C_1K_1}, \widehat{C_2K_2}$ 虽各不相等，但 K, K_1, K_2 必定都在船位圆上，同时由于顶距很大 (一般为 2000~3000n mile) 而推算船位与真船位相距不远，所求得的天体方位 A_c, A_{c1}, A_{c2} 近似相等，或两方位线的微小差异在作图中无实际影响，所以，求得的都是同一条船位线 LL 。

由此可见，用高度差法求船位线，作为基准的推算船位或它附近的任何一点，如距真船位一般不超 30 海里对所求得船位的准确性是没有实际影响的。

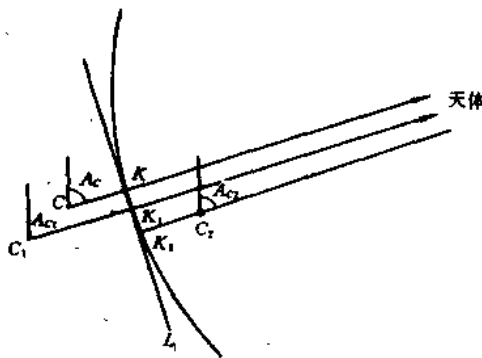


图 2-3-1

(二) 如果推算船位或所选基准点距真船位很远, 则算出的天体方位与准确的方位将有明显差异, 使船位线产生方向误差。如下页图 2-3-2 所示, 若以船位附近的 C 为基准, 求得正确的船位线为 LL , 与另一准确船位线 PP 相交得船位 AF 。但如选择远离船位的 C_1 点为基准计算, 求得的船位线为 L_1L_1 , 产生船位线差角, 即方位差角为 α 。 L_1L_1 与 PP 相交于 AF_1 , 即船位产生误差 AF_1AF 。

按一般情况, 船位圆半径 (顶距) 在 $30\sim 60^\circ$, 而推算船位距真船位不超过 $20\sim 30$ n mile 时, 所产生的方位误差约在 0.5° 以内, 在实用上不会有什么影响。

二、用直线代替船位圆弧

天文船位线原本是以天体投影点为中心, 以顶距为半径所成的一小段圆弧 \widehat{aa} 与另一船位线 \widehat{bb} 相交于 AF 。在实际工作中为了方便把它画成直线 LL 。如图 2-3-3 所示。当测得的船位 AF 离 K 点较远, 而船位圆的半径又较小时, 直线与圆弧明显分离, 所测船位将产生误差, 船位将从 AF 移到 AF_1 。

这种误差的大小取决于:

(一) 船位圆半径的大小, 半径愈小, (即天体高度愈大), 误差愈大。

(二) K 点至船位 AF 的距离, \widehat{KAF} 愈大, 误差愈大。

根据计算, 当船位圆半径大于 25° , 即天体高度小于 65° , \widehat{KAF} 小于 30 n mile 时, 船位线偏离真船位的误差将小于 $\pm 0.3'$, 在实际工作中可忽略不计。

三、用直线代替方位圆

天体方位圆是一个大圆, 投影在墨卡托海图上, 除了与经线和赤道重合者外, 其余都是一条曲线。高度差法把方位线划成直线, 由于推算船位至 K 点的距离很短, 一般不超过 30 n mile, 由此而产生的误差可以忽略不计。

四、绘图误差

在海图或方格纸 (白纸) 上作图时, 往往由于使用的仪器工具不完善, 图上比例尺大小及注意力不集中等原因, 也会产生绘图误差, 影响船位的准确性。

五、提高船位准确性的措施

通过上述分析可知, 为要保证用高度差法作图的准确性能满足实用的需要, 在实际工作中应:

1. 推算船位或所选择的作图基准点应在真船位附近, 一般不要超过 $20\sim 30$ n mile, 以减少船位线的方向误差和因 \widehat{KAF} 或 CK 过长而引起的曲率误差或方位误差。
2. 选择高度小于 $60^\circ\sim 70^\circ$ 的天体, 以减小用直线代替船位圆弧所产生的曲率误差。
3. 用准确的作图工具, 大的比例尺, 集中注意力小心作图。
4. 当作图定出船位后, 如发现高度差 C 、 K 或 \widehat{KAF} 大于 $20\sim 30'$ 时, 先检查观测和计算, 如无错误, 可判定这是由于推算船位距真船位太远所致, 如图 2-3-4, 说明这时观测船位 AF 的误差将较大, 解决的办法, 可以将所求得的船位 AF 仍作为推算船位, 用它的经纬度再求一次船位线 I_0-I_0 和 I_0-I_0 , 便

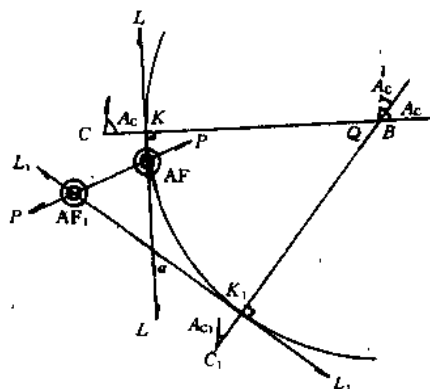


图 2-3-2 推算船位对观测船位准确性的影响

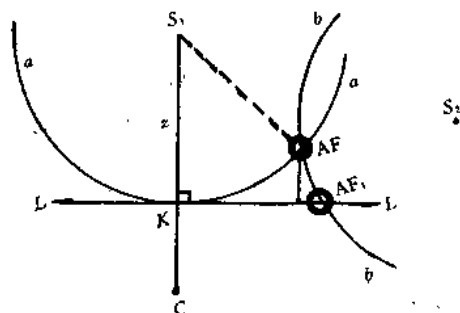


图 2-3-3 用直线代替船位圆弧产生的影响

可以相交出较准确的船位 AF_0 。

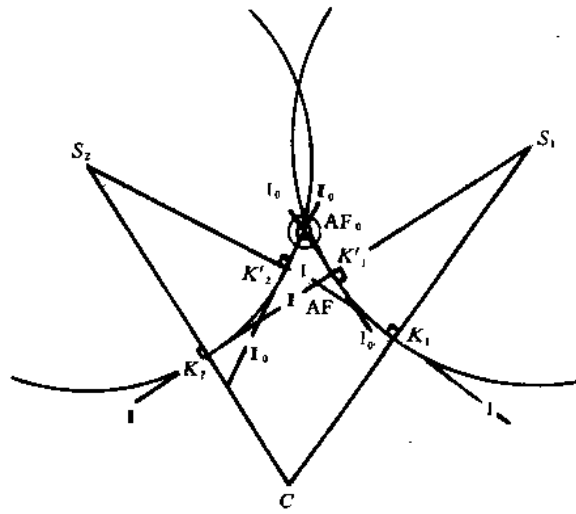


图 2-3-4 推算船位距真船位太远时的作图方法

第3章 求天体的计算高度及方位

根据高度差法原理,求天文船位线需要求出天体真高度(h_0)和计算高度(h_c)及计算方位(A_c)。求真高度的具体方法将在下一章介绍,本章的主要内容是讨论求计算高度(h_c)及计算方位(A_c)的问题。

如图1-3-1,天文三角形为 $\Delta Z_c P_N B$, Z_c 为推算船位C的天顶, P_N 为天北极, B为天体,计算高度 h_c 及计算方位 A_c 可以通过公式(1.1), (1.2)解天文三角形 $\Delta Z_c P_N B$ 求得。即:

$$\sin h_c = \sin \varphi_c \sin \delta + \cos \varphi_c \cos \delta \cos t \quad (1.1)$$

$$\text{ctg} A_c = \text{tg} \delta \cos \varphi_c \text{csc} t - \sin \varphi_c \text{ctg} t \quad (1.2)$$

式中 φ_c 为推算船位C的纬度可直接在海图上量取。 t 及 δ 为天体在C点的地方时角和赤纬,需从天文年历中查算出来。

由于天体的运动,天体坐标是随时间不断变化的,为了求得观测瞬间的天体时角和赤纬,必须具备有关时间的知识。

本章须依次解决:①有关时间的知识;②求天体的地方时角和赤纬;③求天体的计算高度及方位。

第1节 时 间

世界是物质的。一切物质都是在运动着的。时间是物质的存在和运动的基本形式之一,任何事物出现的先后,变化的快慢,存在的久暂都要有时间来表示。天体在运动,船舶在航行,没有确定的时间就不能有确定的位置。有关时间的基本知识,是学习天文定位的一个不可忽略的内容。

和宇宙空间一样,时间也是无限的,它即没有开端,也没有尽头,但对某一具体事物的发生和发展过程来说则是有限的,是可以度量的。可以采用某一物质运动的周期作为度量时间的单位。

因为地球自转可认为是匀速的。地球每日自西向东自转,相对产生了天体自东向西的周日视运动。以地球自转一周,即天体视运动一周的周期作为度量时间的单位,称为一日。

一、恒星日、恒星时

(一) **恒星日** (sidereal day) 以春分点作为基准,地球对春分点自转一周,即春分点绕地球视运动一周的时间,称为一恒星日。一恒星日从春分点过午半圈(上中天)时开始。

(二) **恒星时** (sidereal time) 春分点过上中天以后所经历的时间段,称为恒星时,用 S 表示。

恒星日、恒星时只在专门天文工作中才用到,在天文航海中可不作深入讨论。

二、视太阳日、视太阳时

(一) **视太阳日** (solar day) 因为太阳的周日视运动产生昼夜现象,直接关系到人们的生活,很久以来人们便已采用以太阳为基准来测量时间。

太阳绕地球视运动一周(即地球对太阳自转一周)的时间,称为一视太阳日。在太阳下中天、即太阳过子半圈时为一视太阳日的开始。

(二) **视太阳时** (apparent time) 在视太阳过子半圈以后的时间段,称为视太阳时,简称视时。符号 T° 。

因为视时从子圈起算,太阳时角从午圈起算,两者正好相差 180° ,如图3-1-1。

$$T^\circ = t_\odot \pm 180^\circ \quad (3.1)$$

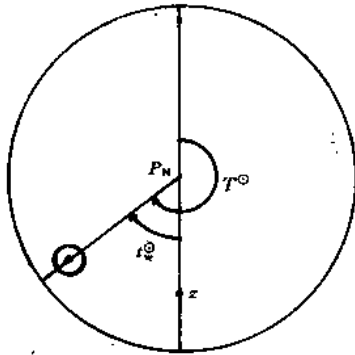


图 3-1-1 时间与时角关系

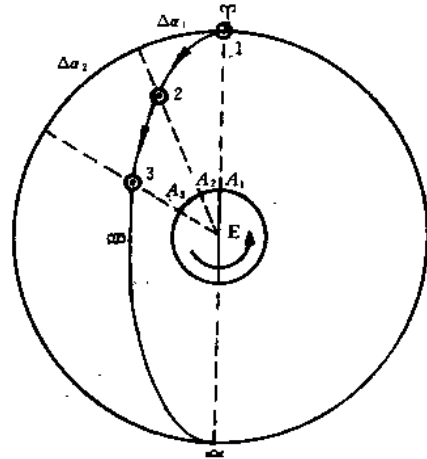


图 3-1-2 视太阳日长短不一

式中 t^{\odot} 为视太阳时角。

(三) 视太阳日长短不一, 作为时间单位不妥当 从第 1 章有关天体的视运动一节中已知, 太阳除了有周日视运动外, 还沿黄道有周年视运动, 由于太阳在黄道上的运动不等速而且黄道与赤道有 $23^{\circ}27'$ 的交角, 使得太阳每日的赤经变化不相等, 一年中的视太阳日便长短不一。如图 3-1-2。

设太阳先在 \odot_1 点, 地球 A 点正对太阳 (A_1), 在地球自转的同时, 太阳亦沿黄道运行, 当太阳到达 \odot_2 而 A 点又正对太阳时 (A_2), 为一太阳日。然后继续运行, 当太阳到达 \odot_3 而地球自转一周后 A 点再正对太阳 (A_3) 时, 又是一日。从图 3-1-2 可看出, 一太阳日相当于地球对着天球上的固定点转 360° 加 $\Delta\alpha$, 即

$$\begin{aligned} \text{一太阳日} &= 360^{\circ} + \Delta\alpha_i \\ &= \text{一恒星日} + \Delta\alpha_i \quad i=1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

因为太阳每日赤经的变化是不均匀的, 即图上 $\Delta\alpha_1, \Delta\alpha_2, \dots$ 不相等, 从而使一年中视太阳日长短不一, 最长与最短的太阳日相差约近一分钟。可见, 如果完全以视太阳日来作为度量时间的单位, 那是不妥当的。

三、平太阳日、平太阳时

为了克服视太阳日长短不一的缺点, 人们采用平太阳日作为度量时间的单位。

(一) 平太阳日 (mean solar day) 一平太阳日等于一年中太阳日的平均值。

为了便于讨论问题, 假设有一理想的太阳, 称为平太阳。平太阳在天赤道上匀速运动, 它的运行方向与视太阳相同, 它周年视运动的周期与视太阳的相等, 它绕地球视运动一周的时间等于一年中视太阳日的平均值, 一平太阳日也可以定义为平太阳连续两次下中天的时间间隔。一平太阳日从平太阳下中天时开始。

为了度量时间方便, 将一平太阳日等分为 24 小时 (24 h), 一小时等分为 60 分钟 (60 min), 一分钟等分为 60 秒钟 (60s)。

(二) 平太阳时 (mean time, mean solar time, T) 平太阳下中天后所经历的时间间隔称为当天的平太阳时, 简称平时。以小时 (h), 分 (min), 秒 (s) 来表示。

日常所用时间即属于平太阳时系统。

(三) 时、度关系 因为平太阳绕地球一周为 360° , 为 24 h, 所以平太阳所经历的时间和度数有以下固定的关系 (见表)。

表 3-1 平太阳时一度关系

时间	24 h	1 h	4 min	1 min	4 s	1 s
度数	360°	15°	1°	15′	1′	15″

在天文航海工作中,有时需要进行时、度换算。计算时可直接按上述关系演算,也可以从航海表(表 N-3)或其它表册中查得。

例: 将 $125^{\circ}34.6'$ 换为时间表示

$125^{\circ} \rightarrow 8 \text{ h} 20 \text{ min}$ (查航海表 N-3a)

$34' \rightarrow 2 \text{ min} 16 \text{ s}$ (查表 N-3b)

$0.6' \rightarrow 2.4 \text{ s}$ (表 N-3c)

$125^{\circ}34.6' \rightarrow 8 \text{ h} 22 \text{ min} 18.4 \text{ s}$

(四) 时差 (equation of time, η) 如前所述,视太阳在黄道上运行,它在天球上视运动的速度是不均匀的,它每日的赤经变化并不相等。现用的时间是以平太阳为基准,平太阳是以视太阳的平均速度在天赤道上运行的。因此,一年中视太阳便有时走在平太阳之前,有时落在平太阳之后,它们的时圈经常不能重合在一起。如图 3-1-3,在同一瞬间,视太阳时与平太阳时,或视太阳时角与平太阳时角之差,称为时差 (η)。时差有正、负。根据我国规定:

$$\text{时差 } (\eta) = \text{视太阳时 } (T^{\odot}) - \text{平太阳时 } (T^{\oplus}) \quad (3.2)$$

或 $\text{时差 } (\eta) = \text{视太阳时角 } (t_{\odot}^{\oplus}) - \text{平太阳时角 } (t_{\oplus}^{\oplus}) \quad (3.3)$

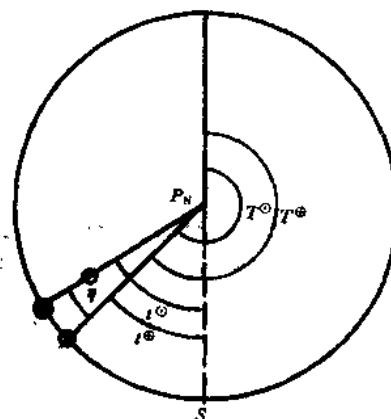


图 3-1-3 时差

时差值可以用时分表示,也可以用角分表示。一年中的时差值有四次为零,两次极大和两次极小。极大极小的绝对值不超过 17 min。图 3-1-4 为 1992 年时差曲线图,图中横坐标表示日期,纵坐标表示时差值,单位分钟。各年时差的变化情况虽不完全相同,但相差甚微。每日的时差值刊载在当年的航海天文历内。

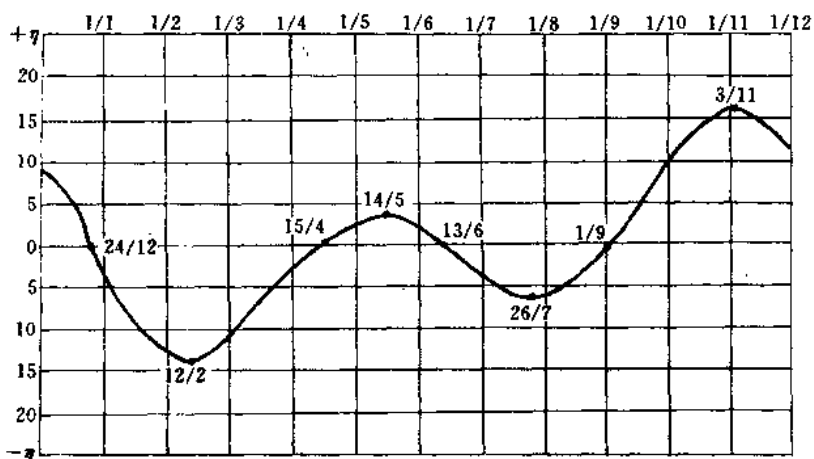


图 3-1-4 1992 年时差图

通过上述讨论可知,因为有时差的缘故,太阳每日过测者午圈即太阳上中天的时间,一般都不恰好是在平太阳时 1200,而是在 1200 前后相差最大不超过 17 min 的范围之内。即太阳中天的平太阳时 $T^{\oplus} =$

视太阳时 12 h - 时差。

例：1992 年 11 月 7 日时差为 +16 min 18 s，求当日太阳中天的平太阳时。

$$\begin{array}{r}
 11-07 \quad T^{\odot} = 12 \quad 00 \quad 00 \\
 \quad \quad \quad \eta = - \quad 16 \quad 18 \\
 \hline
 11-07 \quad T^{\odot} = 11 \quad 43 \quad 42
 \end{array}$$

还应知道，在天文定位或测定罗经差时解天文三角形需要的太阳时角，因为有时差，不能直接用平时按 $1h=15^{\circ}$ 的关系换算为太阳时角，而应该修订时差得出视太阳时后，才能换算成太阳时角。在实际工作中的具体方法将在本章第 4 节介绍。

第 2 节 不同经度线上的时间及其换算

从上节知道，一平太阳日是从平太阳在测者下中天时开始，即平太阳时是以测者的子圈为基准起算的。但子圈随测者所在经度而变，不同经度的测者就有不同的子圈，不同的时间起算基准，这就是说，在同一瞬间在不同的经度上，便有不同的平太阳时间。在天文航海工作中常需进行不同经度线上时间的换算。

一、有关名词

(一) 地方时 (local mean time, T) 以某地子圈为基准起算的时间，称为该地的地方平时，简称地方时。地方时应注明所在地或经度。如图 3-2-1, Z_A 为测者 A 的天顶, $\widehat{P_N a}$ 为测者 A 的子圈, T_A 便是测者 A 的地方时。同理, T_B 为测者 B 的地方时。

(二) 世界时 (universal time, UT) 以格林尼治经线 ($\lambda=0^{\circ}$) 的子圈为基准起算的时间，称为世界时 (UT)，又称格林尼治平时，简称格林时 (greenwich mean time, T_G , GMT) 如图 3-2-1, Z_G 为格林尼治天顶, $P_N g$ 为其子圈, T_G 即世界时。

世界时亦即格林尼治地方时。

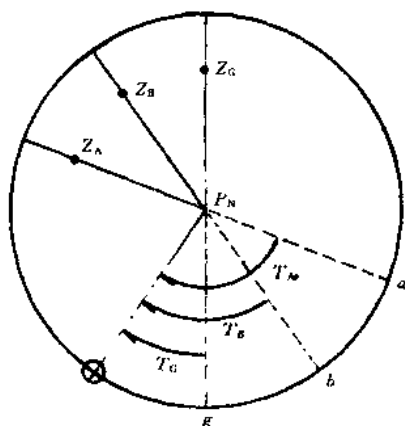


图 3-2-1 地方时与世界时

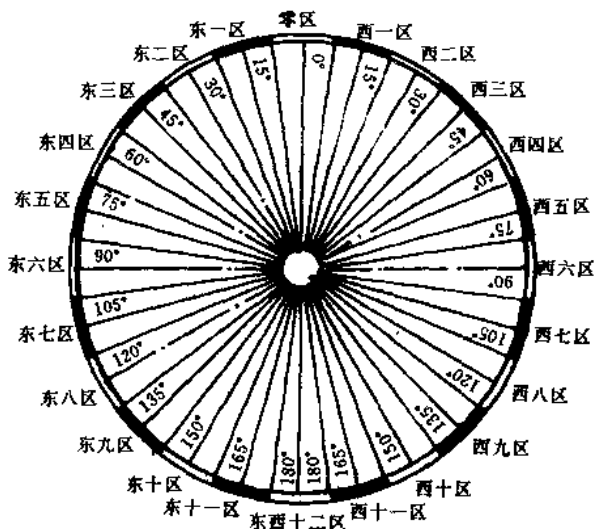


图 3-2-2 时区图

(三) 区时 (zone time, ZT) 因为地方时是以各地的子圈为基准起算的，所以在不同的经度上，在同一瞬间就有各不相同的地方时。可是在社会实际生活中，人们是无法使用各不相同并随本人的行动而变更的地方时的。为了便利人们社会生活上的联系，将地球按经度每隔 15° 划分为一时区，以各时区中间

经度线的地方时作为该时区共同使用的时间，并称之为区时。

时区的划分是以 0° 经度线为基准，向东（西）每隔 15° 的经度线 [即 $\lambda=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ \dots \dots$ E (W)] 依次作为 0 及东（西）1, 2, 3, 4... 时区的中央经线，从各中央经线东西各 7.5° 的范围划入该时区。在经度 180° 的东西各 7.5° 则分为东 12 区及西 12 区，两者都使用 180° 的地方时为区时。如图 3-2-2 所示。

两相邻时区中线的经差为 15° ，即两相邻时区的区时相差为 1h。各时区的号数 (ZD) 正好是该时区时与世界时相差的小时数。我国所用的北京时，是中线为 $\lambda=120^\circ\text{E}$ 的东八区区时，与世界时相差 8h。

有些国家根据本国的地理、经济和政治等情况，对时区时的使用作了些具体的规定，如我国幅员辽阔，领土从东经 73°E 至东经 135°E ，横跨从东五区至东九区的五个时区，为了方便统一，规定全国各地都共同使用东八区区时。世界各地时区时的使用范围，详见书末世界时区图（即图 3-2-3）。

二、不同经度线上时间的换算

如上所述，由于起算基准的不同，在同一时间，可以用不同经度线上的地方时或世界时、区时等来表示。在天文航海工作中经常需要进行对地方时、世界时和区时的换算。它们之间有如下简单但非常重要的关系。如图 3-2-4。

地球上 A、B 两地，如 A 在东边 B 在西边，这样每天 A 地要比 B 地先见太阳，即 A 地的时间比 B 地的开始得早，数值比 B 地的大。反过来说，B 地在 A 地的西边，B 地的时间就比 A 地的起算得晚，数值要比 A 地的小。概括起来记忆便是“东早西晚”或“东大西小”。从图还可看出，两地时间之差正好等于它们的经度差。即

$$\begin{aligned} T_A &= T_B + \Delta\lambda_E \\ T_B &= T_A - \Delta\lambda_W \end{aligned} \quad (3.4)$$

因为世界时即 $\lambda=0^\circ$ 的地方时，而时区时也就是该时区中线的地方时。与上述同理，我们可得：

$$T = T_C \pm \Delta\lambda_W \quad (3.5)$$

$$T_C = ZT + ZD \quad (3.6)$$

式中 ZD 为时区号数，东半球的为 (-)，西半球的为 (+)。

$$ZT = T \pm \Delta\lambda_W \quad (3.7)$$

式中 $\Delta\lambda$ 为地方经度至时区中线的经差。

(一) 已知区时求世界时

例 1, 9 月 6 日在渤海湾，东八区区时 (北京时) $ZT=1828$ ，求近似世界时 (因为区时只读到分，所以求出的世界时是近似值)。

$$\begin{array}{r} 09-06 \quad ZT = 18 \quad 28 \\ \quad \quad \quad ZD = - \quad 8 \\ \hline \end{array}$$

$$09-06 \quad T_C \approx 10 \quad 28$$

例 2, 4 月 7 日在东海早晨观测， $ZT=0730$ ，求 T_C 。

$$\begin{array}{r} 04-07 \quad ZT = 07 \quad 30 \\ \quad \quad \quad ZD = - \quad 8 \\ \hline \end{array}$$

$$04-06 \quad T_C \approx 23 \quad 30$$

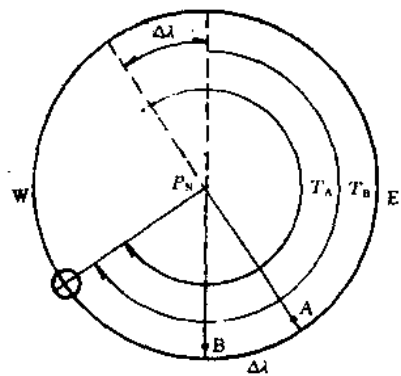


图 3-2-4 不同经度线上时间的关系

因为时间是连续的, 7 日的 0730, 亦即是从 6 日起算的 $2400+0730=3130$, 减去时区号数 (-8) 后, 得出格林尼治 6 日的时间。

(二) 已知地方时求时区时 例 1, 在 $\lambda=122^{\circ}12' E$, 已知当日太阳中天的地方时 $T=114605$, 求太阳中天的北京时。

解: 北京时即东八区时, 亦即 $\lambda=120^{\circ}E$ 的地方时, $122^{\circ}12' E$ 至 $120^{\circ}E$ 的经差 $\Delta\lambda=2^{\circ}12' W$, 根据公式 (3.7)

$$\begin{array}{r} T = \quad 11 \quad 46 \quad 05 \\ \Delta\lambda = - \quad 8 \quad 48 \quad (\text{将 } 2^{\circ}12' \text{ 换为时间表示; 中线在西}) \\ \hline ZT = \quad 11 \quad 37 \quad 17 \end{array}$$

例 2, 在 $\lambda=116^{\circ}30' E$, $\varphi=20^{\circ}N$ 已知当日日出的地方时为 $T=0637$, 求日出的北京时。

解:

$$\begin{array}{r} T = \quad 06 \quad 37 \\ \Delta\lambda = + \quad \quad 14 \\ \hline ZT = \quad 06 \quad 51 \end{array}$$

[$116^{\circ}30' E$ 至时区中线 $120^{\circ}E$ 的经差为 $3^{\circ}30' E$, 换为时间表示为 14min。中线在测者之东, 故为 (+)]

(三) 已知区时求地方时 例 1, 已知北京时为 093425, 求 $\lambda=123^{\circ}45' E$ 的地方时。

解: $\lambda=123^{\circ}45' E$ 与北京时区中线 $\lambda=120^{\circ}E$ 的经差为 $3^{\circ}45'$, 地方经度在中线之东, 经差为 (+)。 $3^{\circ}45'$ 换为时间等于 15min。

$$\begin{array}{r} ZT = \quad 09 \quad 34 \quad 25 \\ \Delta \lambda = + \quad 15 \\ \hline T = \quad 09 \quad 49 \quad 25 \end{array}$$

例 2, 已知北京时为 112340, 求 $\lambda=117^{\circ}24' E$ 的地方时。

$$\begin{array}{r} Z T = \quad 11 \quad 23 \quad 40 \\ \Delta \lambda = - \quad \quad 10 \quad 24 \\ \hline T = \quad 11 \quad 13 \quad 16 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{将 } \Delta\lambda = 120^{\circ} - 117^{\circ}24' \\ \text{并换算为时间。地方经线} \\ \text{在时区中线之西。} \end{array} \right.$$

三、日界线

根据时区的划分及其与世界时的关系, 东十二区的区时比世界时大 12h, 西十二区的区时比世界时小 12h。设 5 月 1 日世界时为 $T_G=0000$, 则在东、西十二区的区时分别为:

$$\begin{array}{r} 05-01 \quad T_G = \quad 00 \quad 00 \\ \quad \quad \quad ZD_E = + \quad 12 \\ \hline 05-01 \quad Z T = \quad 12 \quad 00 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 05-01 \quad T_G = \quad 00 \quad 00 \\ \quad \quad \quad ZD_W = - \quad 12 \\ \hline 04-03 \quad Z T = \quad 12 \quad 00 \end{array}$$

由此可知, 东、西第十二时区的区时相同, 但日期恰好相差一天。人们把东西第十二时区的分界线, 即 180° 经线, 称为国际日期变更线, 简称日界线 (date line)。因为 180° 经线在太平洋有些地方越过岛屿和地角, 为了照顾附近居民生活的方便, 日界线避开了这些岛屿和陆地, 变成基本按照 180° 经度线划出的一条折线, 具体分划情况可查阅世界时区图或世界地图。

船舶通过日界线时, 船上钟表时间不变, 但日期应修正一天。如图 3-2-6, 从东十二区进入西十二区, 日期应减一天; 从西十二区进入东十二区, 日期应加一天。

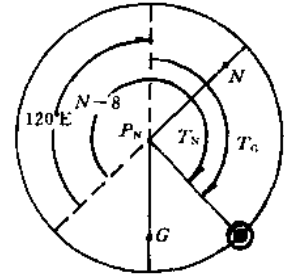


图 3-2-5 东八区时与世界时的关系

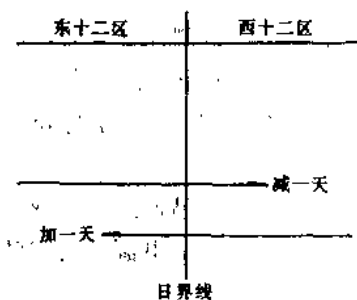


图 3-2-6 日界线

第3节 求观测时的世界时

一、天文钟 (chronometer)

在天文定位工作中, 须根据观测时的世界时去求出天体的地方时角和赤纬, 然后才能解天文三角形求出天体的计算高度和方位。天文钟就是用来指示世界时的钟表, 是天文航海的重要仪器之一。

天文钟与普通钟表不同的主要特点, 是构造比较精细, 行走比较准确稳定。目前天文钟有机械天文钟和石英天文钟, 由于后者比前者性能优越, 使用携带方便而且价格便宜, 所以, 渔船上都将使用石英天文钟。

(一) 石英天文钟 石英天文钟是通过用石英晶体的振荡和晶体管控制电路而构成的具有较高精度的计时仪器。由于它靠电力行走, 不需要上发条, 在正常情况下, 准确性较高, 并且便于携带和保管, 所以在船上它将逐步取代机械天文钟。

目前我国已自行设计制造了多种型号的石英天文钟。它们的原理、构造和使用都大致相同。这里介绍渔轮上较普遍配备的SY-2型石英天文钟。

SY-2型石英天文钟外形如图3-3-1所示。

其使用保管事项如下:

1. 装电池 用螺丝刀打开钟壳底部的电池盖板, 装上两节一号电池 (最好用全封闭电池), 装时注意极性! 电池装好后钟面电压表指针应指示在“蓝区”。

2. 起动 装上电池后钟还不会自动行走, 需要将钟左侧的“螺塞”打开, 用钟盒内配备的专用钥匙推动里面按钮, 并快速放开, 这时秒针开始走动。

3. 拨针

拨分、时针: 打开钟右侧“螺塞”, 用盒内的专用钥匙将拨针柄推进然后旋转, 拨到所需位置。注意分针要和当时秒针的位置相对应。

拨秒针: 在钟面的右下方, 有两个按钮, 分

别标以“+”、“-”。按下“+”按钮, 秒针将加快; 按下“-”按钮, 秒针将减慢。

欲使秒针停住, 类似“起动”时工作, 将钟左侧“螺塞”打开, 用专用钥匙抵住里面按钮, 秒针即停。

4. 维护保管

(1) 当钟面电压指针指在“红区”时, 表示电压低于2.2V, 这时应更换新电池。长期不用的钟, 应将电池取出, 以防损及机件。

(2) 钟应放在干燥和没有腐蚀物的环境中。防止剧烈震荡和撞击。钟在行走时的搬运携带应正拿正放, 不要从左右侧竖拿竖放, 从左右方向的骤然冲击可能使电池夹断路而使钟停走。

(3) 机芯要每年清洗上油一次。经长期使用的钟, 晶体可能老化, 如发现钟的精度低于技术指标时, 可进行频率微调, 方法是打开钟壳底部的频率微调孔“螺塞”, 用小螺丝刀进行微调, 顺时针调减慢, 逆时针调加快。

(4) 不要輕易拆卸, 发现故障又不具备修理条件的, 应送厂修理。

(5) 对于外接电源的天文钟, 应注意外接电源的电压和极性, 不要弄错。

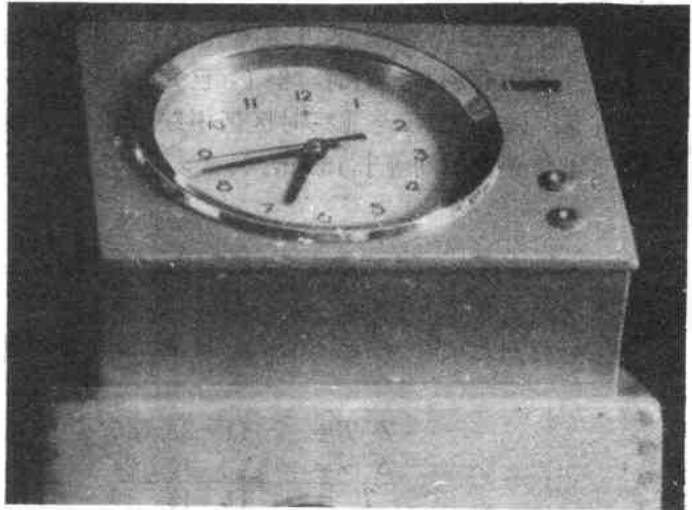


图 3-3-1 SY-2型石英天文钟

二、天文钟钟差

天文钟的质量虽然较普通钟表好，但由于制造上的原因和外界因素的影响，它所指示的时间和准确的世界时往往还有微小的差异。

在同一时刻，天文钟钟时与世界时之差，称为天文钟钟差 (chronometer error)，简称钟差，代号 (CE)。

$$\text{钟差 (CE)} = \text{世界时 (T}_G\text{)} - \text{钟时 (CT)}$$

即

$$\text{世界时 (T}_G\text{)} = \text{钟时 (CT)} + \text{钟差 (CE)}$$

当天文钟时比世界时慢，钟差为 (+)；天文钟时比世界时快，钟差为 (-)。

(一) 用无线电对时求钟差 世界各国设有专门的授时台，每天按规定时间播送时号，使用部门接收到授时台的无线电时号，与天文钟比对，便知钟差。

世界各国无线电授时台的地点和发播无线电时号的时间、频率、样式与程序，详载于《航海天文历》附表 5 中，使用时可查看。

各地授时台发播的时号分世界时与协调世界时两种时间系统。如前所述，世界时是建立在以地球相对于平太阳自转为基准，并以 0° 经度线为基准起算的时间系统。随着生产的发展和科学技术的进步，对时间精确度的要求越来越高，现代科学发现地球的自转速度也不是绝对均匀稳定的，虽然这种变动甚微，每日最大相差不过几微秒，但对时间精度要求甚高的某些事业，将感觉到不足。近数十年来，人们发现原子内部的运动比地球自转的稳定性高得多，于是在 1955 年利用铯原子制成了原子钟，原子钟所指示的时间便称为原子时，国际度量衡会议规定，1958 年 1 月 1 日世界时 00h00min00s 为原子时的起算点。可以理解，自此以后在同一时刻原子时与世界时将有差异，而且随着时间的推移，两者相差会越来越来大。为了要保持世界时显示昼夜交替并与人们社会生活密切相关的特性，又要吸收原子时精确稳定的优点，1970 年国际天文协会决定在世界时和原子时之间进行协调，便出现了协调世界时，并决定于 1972 年 1 月 1 日世界时 000000 开始实施。

协调世界时 (coordinated universal time, UTC) 是以原子时秒作为时间的计量单位，在时刻上受世界时控制，要求与世界时相差保持在 $\pm 0.9s$ 之内，倘若超过，则采取跳 (闰) 秒 (增加或减少一秒) 的办法予以调整，这种时间系统便称为协调世界时，它跳秒调整的具体日期由国际时间局根据天文测时的情况作出决定，并进行预告。

在航海上只需收听世界时时号求天文钟钟差，其精确度已满足要求。

我国的授时工作，现由陕西天文台担任，它的授时样式和发播程序如下：

1. 时号样式 陕西天文台发播 BPM 时号，样式为平时式，即每秒发一短点，每分钟发 59 个短点然后一个长划，长划的开始为整分。

2. 发播程序 发播频率为 2.5MHz, 5MHz, 10MHz 和 15MHz 交替播放，同时有二个以上频率在工作。

发播时间为每半小时循环一次，全天播放。每小时的

00min~10min, 15min~25min, 30min~40min, 45min~55min 发播协调世界时时号 (UT₂ 时号)；
25min~29min, 55min~59min 发播世界时时号 (UT₁ 时号)。

59min~60min, 29min~30min 发播 BPM 呼号，呼号中前 40s 为 BPM 莫尔斯电码，后 20s 为语言呼号。

用无线电对电工作应注意以下几点：

(1) 应在对时前几分钟就做好收信机的准备工作。

(2) 要注意天文钟秒针，记钟时应先看秒，后看分和小时。

(3) 最少要用两组以上时号校对，以防差错。注意不要将协调世界时误作世界时。

(4) 对时后应填写天文钟簿，记下对时日期、时间及钟差。

如果渔轮上没有电台或因故不能收到天文台的授时信号，在国内也可以改用北京或上海的人民广播

电台或电视台的时号来对时，它们播送的时号都有天文台监听，其准确度可以满足渔轮定位的需要。

$$\text{世界时} = \text{北京时} - 8 \text{ h}$$

$$\text{钟 差} = \text{世界时} - \text{钟时}$$

(二) 求观测时的钟差 渔轮在海上进行天文观测时，可能与上次对时的时间相隔过久，钟差已发生变化，需要求出观测时的新钟差。

观测时的钟差可根据前二次对时的钟差变动量及二次对时的时间间隔，求出钟差每日的变动量，然后乘以观测时与最后一次对时所隔的天数即得。

例 1, 4-12 世界时 0200 用无线电对时求得钟差为 +20 s, 4-17 世界时 1000 又对时求得钟差为 +28 s, 求 04-19 世界时 1000 的钟差。

解:

$$\begin{aligned} \text{钟差每日变化为} & \quad \frac{04-17T_G1000 - 04-12T_G0200}{5.33 \text{ d}} = \frac{28 \text{ s} - 20 \text{ s}}{5.33 \text{ d}} \\ & \approx +1.5 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{观测时钟差} & = 1.5 \text{ s} \times (4-19T_G1000 - 04-17T_G1000) \\ & = 1.5 \text{ s} \times 2 = +3 \text{ s} \end{aligned}$$

对时或推算求得的钟差要求准确到 ±0.5 s, 即最后四舍五入凑成整数秒即可。

三、求观测时的世界时

根据公式 (3.8), 世界时 (T_G) = 钟时 (CT) + 钟差 (CE), 但由于天文钟钟面读数只有 12 h, 在远离 0° 经度线的海区观测, 从天文钟钟面上不能直接显示出是格林尼治上午还是下午的时间, 也不便确定世界时的日期。为了避免弄错, 通常需要根据公式 (3.6) 用船时 (区时) 求出近似世界时作为参照。

例 1, 09-27, $\lambda = 118^\circ 45' \text{ E}$, 北京时 (东八区区时) $ZT = 1525$, 天文钟钟时 $CT = 072212$, 钟差 $CE = +3 \text{ min} 06 \text{ s}$, 求世界时。

解:

$$\begin{array}{rcl} 09-27 \text{ ZT} & = & 15 \quad 25 \\ \text{ZD} & = & - \quad 8 \\ \hline 09-27 T_G & \approx & 07 \quad 25 \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} \text{CT} & = & 07 \quad 22 \quad 12 \\ \text{CE} & = & + \quad \quad 3 \quad 06 \\ \hline 09-27 T_G & = & 07 \quad 25 \quad 18 \end{array}$$

求出的世界时与近似世界时二者日期应一致, 时间相差应在分钟以内。

例 2, 06-15, $\lambda = 125^\circ 43' \text{ E}$, 北京时 $ZT = 0712$, 天文钟钟时 $CT = 111305$, 钟差 $CE = -43 \text{ s}$, 求世界时。

解:

$$\begin{array}{rcl} 06-15 \text{ ZT} & = & 07 \quad 12 \\ \text{ZD} & = & - \quad 8 \\ \hline 06-14 T_G & \approx & 23 \quad 12 \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} \text{CT} & = & 11 \quad 13 \quad 05 \\ \text{CE} & = & - \quad \quad 43 \\ \hline 06-14 T_G & = & 23 \quad 12 \quad 22 \end{array}$$

参照求得的近似世界时为 06-14 晚上 2300, 所以天文钟钟面读数应加 12 h, 日期应减一天, 为 06-14。

如果渔轮离开我国海区到远洋生产, 为了避免差错, 亦应按上述方法用当地区时求得近似世界时进行校验。

船上的天文钟安置在海图室内, 机械天文钟是不能随便搬动的, 石英天文钟虽可以搬动, 亦应小心注意, 避免剧烈碰撞。在船上天文观测也可以通过用测天表、秒表或准确的手表记时, 但须与天文钟比对求出表的修正量, 以免使世界时产生误差。

目前很多石英手表的准确性也很高, 如果船上暂时没有天文钟, 也可以临时用较准确的手表记时, 但

应在最靠近观测的整数小时和授时台或中央台对时以求出它的表差。因为时间长了，求得的表差就更不准确了。

$$\text{世界时} = \text{表时} \pm \text{表差} \pm \text{时区号数} \begin{pmatrix} \text{E} - \\ \text{W} + \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

第4节 求天体的地方时角和赤纬

天体的地方时角和赤纬是根据观测时的世界时，通过对航海天文年历的查算并修订经度后得出来的。中国科学院紫金山天文台和海军航海保证部每年编印出版航海天文历，供航海人员使用。在航海天文历的天体位置表中，载有根据世界时列出的天体格林时角和赤纬，如果测者在其它经线上，可以先根据观测时的世界时查年历得出天体的格林时角和赤纬，再将格林时角加（减）经度便得地方时角。因为赤纬不随经度变化，所以无须订正。如图 3-4-1。

$$t = t_G \pm \lambda_W^E \quad (3.10)$$

综合上述，求天体的地方时角和赤纬的主要步骤可以归纳为：

1. 求出观测时的世界时 ($T_G = CT + CE$)；
2. 用 T_G 查年历求出天体的格林时角和赤纬；
3. 将格林时角 ± 经度 $\frac{E}{W}$ ，得地方时角。

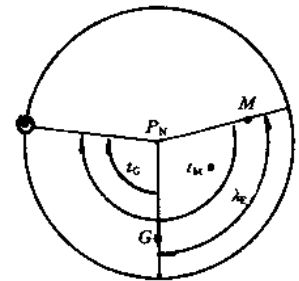


图 3-4-1 格林时角和地方时角

一、求太阳的地方时角和赤纬

在航海天文历天体位置表中按日期和世界时列出了太阳以及行星和月亮的格林时角和赤纬，因限于篇幅，只给出了整数小时的时角和赤纬值。在整数小时外剩余分、秒的时角、赤纬变动量，可以从年历附表 1 “时角、赤纬内插表”中查出。

由于太阳在周年视运动中太阳赤经的日变量 $\Delta\alpha_{\odot}$ 不相等，使得太阳每小时的时角变量也不相等，约在 $14^{\circ}59.7' \sim 15^{\circ}00.2'$ 之间变化。各行星情况与之类似。为了制表及使用方便，在航海天文历附表 1 中，先以它们每小时的最小变动量 $14^{\circ}59'$ 编算成太阳、行星时角基本变量表，然后以太阳或行星时角每小时的实际变动量超过 $14^{\circ}59'$ 之数，称为超差 (Δ)，列在年历天体位置表每日的格林时角栏下。超差恒为正值。根据每小时的时角超差和小时外剩余的分秒时间进行内插比例，便可求得时角的补充订正值。为了方便，在年历附表 1 的右侧编有内插表可供使用。

求太阳赤纬的步骤方法和求时角的基本一致，也是先按观测的日期和世界时的小时数从《航海天文历》中查得整数小时的太阳赤纬，然后用载于每日赤纬栏下方的太阳赤纬每小时变化量 (Δ) 及剩余的分钟数从附表 1 中查得整数小时外剩余分钟的太阳赤纬订正值。注意变量 (Δ) 有正有负，订正值的符号与 (Δ) 的相同。加（减）订正值后便得观测时的太阳赤纬。

例 1，1992 年 7 月 6 日，北京时 $ZT = 0915$ ，经度 (λ) = $119^{\circ}45' E$ ，钟时 = 011550，钟差 = $-10s$ ，求太阳的地方时角 t^{\odot} 和赤纬 δ^{\odot} 。

解算步骤和方法：

1. 求观测时的世界时

07-06	ZT =	09 15		钟时 (CT) =	01 15 50
	ZD = -	8		钟差 (CE) = -	10
07-06	$T_G \approx$	01 15		07-06	$T_G =$ 01 15 40

2. 查年历求格林时角

查年历 06-07, $T_G = 0100$ 的太阳格林时角

(记下超差 $\bar{\Delta}=0.9'$) $t'_G = 193^\circ 49.7'$
 从附表 1 查 15min40s 的太阳时角基本变量 $\Delta t = 3^\circ 54.7'$

从附表 1 在 15min 基本变量表的右侧以超差 $\bar{\Delta}=0.9'$ 为引数, 查出时角补充订正值 $\Delta t' = 0.2'$

三项相加得 07-06 $T_G=011540$ 的太阳格林时角 $t_G^\odot = 197^\circ 44.6'$

3. 求地方时角

加推算船位经度 $\lambda = 119^\circ 45' E$

得太阳地方时角 (西行) $t^\odot = 317^\circ 29.6' W$

西行时角超过 180° 时, 用 360°

减得应用 (半圆) 时角,

改向东。 $t^\odot = 42^\circ 30.4' E$

归纳求太阳地方时角的运算公式为:

$$t^\odot = t'_G + \Delta t + \Delta t' \pm \lambda \begin{matrix} E \\ W \end{matrix} \quad (3.11)$$

式中 t'_G —— 年历天体位置栏内表列整小时的太阳时角;

Δt —— 以小时外剩余分、秒在附表 1 查得的太阳时角基本变量。(该表按每小时太阳时角变化 $14^\circ 59'$ 制成);

$\Delta t'$ —— 为时角的超差订正, 即太阳时角每小时实际变动量超过 $14^\circ 59'$ 的订正值。用时角超差 $\bar{\Delta}$ 在附表 1 基本变量表右侧查取, 恒为正值。

4. 求太阳赤纬 在年历中用整小时数查格林时角时, 可一起查出当时太阳赤纬和载于每日赤纬栏下的每小时赤纬变量 (Δ), (Δ) 有正有负。同样在附表 1 查时角变量时, 可用每小时赤纬变量 (Δ) 同时查出剩时间的赤纬订正值 ($\Delta\delta$)。它的 (+)、(-) 号与每小时变量 (Δ) 相同。

接上例:

在年历天体位置栏 07-06 $T_G=0100$ 的太阳赤纬变量 $\Delta = -0.3'$

太阳赤纬 $\delta' = 22^\circ 40.9' N$

在附表 1 的 15min 一栏以 $\Delta = -0.3'$ 查得

赤纬订正值 $\Delta\delta = -0.1'$

得 太阳赤纬 $\delta^\odot = 22^\circ 40.8' N$

求太阳赤纬可归纳为下列公式表示:

$$\delta^\odot = \delta' + \Delta\delta \quad (3.12)$$

式中 δ' —— 为年历天体位置栏给出的整小时太阳赤纬值;

$\Delta\delta$ —— 为小时外剩余分的赤纬订正值。用每小时赤纬变量 (Δ) 在附表 1 查得, 正负号与 (Δ) 相同。

例 2, 1992-06-08, $\lambda = 121^\circ 39.0' E$, 北京时 $ZT = 1552$, 天文钟时 (CT) = 074920, 钟差 (CE) = +2 min32 s, 求太阳地方时角和赤纬。

06-08 ZT =	15 52		CT =	07 49 20
ZD = -	8		CE = +	2 32
06-08 $T_G \approx$		07 52	06=08	$T_G =$ 07 51 52

$$\bar{\Delta} = 0.9'$$

$$t'_G = 285^\circ 14.7'$$

$$\begin{aligned} \Delta t &= 12^{\circ}57.1' \\ \Delta t' &= +0.8' \\ t_G &= 298^{\circ}12.6' \quad \text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= +0.2' \\ \delta' &= 22^{\circ}52.5' \quad \text{N} \\ \Delta\delta &= +0.2' \\ \delta^{\odot} &= 22^{\circ}52.7' \quad \text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_E &= 121^{\circ}39.0' \\ t^{\odot} &= 419^{\circ}51.6' \quad \text{W} \\ &= 59^{\circ}51.6' \quad \text{W} \end{aligned}$$

二、求行星、月亮的地方时角和赤纬

求行星、月亮的地方时角和赤纬，方法步骤和求太阳的完全一致。在航海天文历天体位置表中，航用四大行星与月亮的数据和太阳一起分栏列出，用时不要查错。月亮时角每小时最小值 $14^{\circ}19'$ 制成基本变量表。时角超差 ($\bar{\Delta}$) 和赤纬变量 (Δ)，分别与时角赤纬并列，每小时给一次，注意时角超差恒为正，赤纬变量 (Δ) 有正有负。有未标明正负号的，表示其符号与前者相同。

例 1, 1992-05-04, $\lambda = 123^{\circ}35' \text{ E}$, 北京时 (ZT) = 1845, 天文钟时 (CT) = 104218, 钟差 (CE) = +2 min 08 s, 求木星的地方时角和赤纬。

(1) 求观测时的世界时:

$$\begin{array}{rcl} 05-04 & \text{ZT} = & 18 \quad 45 \\ & \text{ZD} = - & 8 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} & \text{CT} = & 10 \quad 42 \quad 18 \\ & \text{CE} = + & 2 \quad 08 \end{array}$$

$$05-04 \quad T_G \approx 10 \quad 45$$

$$05-04 \quad T_G = 10 \quad 44 \quad 26$$

(2) 求地方时角:

$$\begin{array}{rcl} & & \bar{\Delta} = 3.4' \\ \text{年历 } 05-04, T_G = 1000 \text{ 木星} & \dots\dots\dots & t'_G = 215^{\circ}33.4' \\ \text{附表 1, 4426, 行星栏} & \dots\dots\dots & \Delta t = 11^{\circ}05.8' \\ \text{超差 } \bar{\Delta} = 3.4', \text{订正值} & \dots\dots\dots & \Delta t' = 2.5' \\ \text{木星格林时角} & \dots\dots\dots & t_G = 226^{\circ}41.7' \text{ W} \\ \text{经度} & \dots\dots\dots & \lambda_E = 123^{\circ}35' \\ \text{木星地方时角} & \dots\dots\dots & t_{\text{木}} = 350^{\circ}16.7' \text{ W} \\ t_{\text{W}} > 180^{\circ}, \text{用 } 360^{\circ} \text{减得} & \dots\dots\dots & = 9^{\circ}43.3' \text{ E} \end{array}$$

3. 求赤纬:

$$\begin{array}{rcl} & & \Delta = 0.0' \\ \text{查年历 } 05-04, T_G = 1000, \text{木星,} & \dots\dots\dots & \delta' = 10^{\circ}59.7' \text{ N} \\ \text{查附表 1, 引数为 } 44 \text{ min 及变量 } \Delta = 0 & \dots\dots\dots & \Delta\delta = 0.0' \\ & & \delta = 10^{\circ}59.7' \text{ N} \end{array}$$

例 2, 1992-11-10, $\lambda_C = 125^{\circ}30' \text{ E}$, 北京时 (ZT) = 1855, 钟时 (CT) = 105418, 钟差 CE = -12s, 求月亮的地方时角和赤纬。

$$\begin{array}{rcl} 11-10 & \text{ZT} = & 18 \quad 55 \\ & \text{ZD} = - & 8 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} & \text{CT} = & 10 \quad 54 \quad 18 \\ & \text{CE} = - & 12 \end{array}$$

$$11-10 \quad T_G \approx 10 \quad 55$$

$$11-10 \quad T_G = 10 \quad 54 \quad 06$$

$$\begin{array}{rcl} & & \bar{\Delta} = 9.4' \\ \text{年历 } 11-10, T_G = 1000, \text{月亮} & \dots\dots\dots & t'_G = 154^{\circ}30.5' \\ \text{附表 1, 5406 月亮时角基本变量} & \dots\dots\dots & \Delta t = 12^{\circ}54.5' \\ \text{超差订正值 } (\bar{\Delta} = 9.4') & \dots\dots\dots & \Delta t' = 8.5' \\ \text{观测时间的格林时角} & \dots\dots\dots & t_G = 167^{\circ}33.5' \text{ W} \\ \text{经度} & \dots\dots\dots & \lambda_E = 125^{\circ}30.0' \end{array}$$

观测时的地方时角	$t_D = 293^\circ 03.5' W$
换为应用时角	$= 66^\circ 56.5' E$
	$\Delta = +6.7'$
年历 11-10, $T_G = 1000$, 月亮赤纬	$\delta' = 20^\circ 05.6' N$
附表 1, 5400, $\Delta = +6.7'$ 赤纬订正	$\frac{\Delta\delta = +}{\delta_D} = \frac{6.1'}{20^\circ 11.7' N}$

三、求恒星的地方时角和赤纬

求恒星地方时角和赤纬的方法步骤与求太阳系行星的基本相同，主要步骤也是先根据观测时的世界时查年历求得恒星的格林时角，然后加（减）经度得恒星的地方时角。因为恒星的数量很多，在天文年历里不能象太阳系行星、月亮那样将它们的时角和赤纬都一一列出，同时还因为地球上恒星之间的相互关系比较稳定，恒星的赤经赤纬在短时间内基本不变，因此，恒星时角可以通过春分点的关系去求得，不需要将各恒星一一罗列出来。

如图 3-4-2 为天赤道投影图， $\widehat{P_N S}$ 和 $\widehat{P_N \gamma}$ 分别为恒星 S 和春分点 (γ) 的时圈， $\widehat{P_N E}$ 和 $\widehat{P_N Z}$ 分别为格林尼治和测者的午圈。 τ^* 为恒星 S 的共轭赤经，地球在周日视运动时， τ^* 是保持不变的。 t_G^* 为观测时间的春分点格林时角，它随观测时间的变动而变动。从图 3-4-2 中可看出：

$$\begin{aligned} \text{恒星地方时角 } t_m^* &= \text{恒星格林时角 } t_G^* \pm \lambda_m^* \\ &= \text{恒星共轭赤经 } \tau^* + \text{春分点格林时角 } t_G^* \pm \lambda_m^* \end{aligned} \quad (3.13)$$

上式随时间变化快的只有春分点格林时角 (t_G^*)，并且它适用于求所有的恒星时角，所以它可以与太阳行星月亮同样方式，将每小时的数值编列在航海天文历每日天体位置表中。不足一小时的时角变动量也编在附表 1，由于春分点时角的变化是匀速的，该表用春分点时角每小时的实际变量 $15^\circ 02.46'$ 制成，故没有超差和附加订正值。求春分点格林时角的步骤方法，除了没有超差订正外，其余的和求太阳格林时角的完全一样。

恒星的共轭赤经 (τ^*) 和赤纬 (δ^*)，列在《航海天文历》恒星视位置表中，由于变化很小，按月给出月中的一个数值，一般可直接查取。如果在相邻两月的数值相差 $0.2'$ 以上，视情况可作简单内插。该表共列出 159 颗三等以上航用恒星，按各恒星的赤经和星号的顺序排列。为了方便使用，将航海常用恒星印成活页，附在年历内。

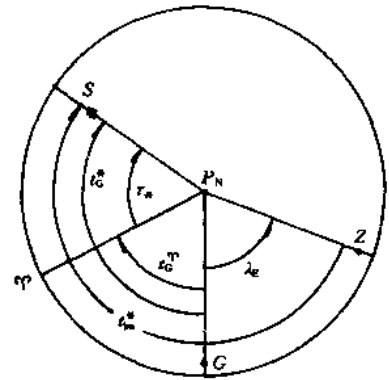


图 3-4-2 恒星地方时角、格林时角与共轭赤经的关系

例 1, 1992-02-28, $\lambda = 118^\circ 18.5' E$, 北京时 (ZT) = 1830, 天文钟时 (CT) = 103116, 钟差 (CE) = -1 min 38S, 求大犬座 α (#46, 天狼星) 的地方时角和赤纬。

解：

02-28 ZT = 18 30	CT = 10 31 16
ZD = - 8	CE = - 1 38
<hr/>	<hr/>
02-28 $T_G \approx 10 30$	02-28 $T_G = 10 29 38$

查年历天体位置表, 02-28, $T_G = 1000$, 春分点格林时角	$t_G^* = 307^\circ 29.3'$
附表 1, 2938, 春分点时角变量	$\Delta t = 7^\circ 25.7'$
相加得 102938 春分点格林时角	$t_G^* = 314^\circ 55.0'$
查恒星视位置位表 2 月大犬 α	$\tau = 258^\circ 47.5'$
相加得恒星格林时角	$t_G^* = 573^\circ 42.5'$
加东经	$\lambda_E = 118^\circ 18.5'$

得恒星地方时角 $t^* = 692^{\circ}01.0' W$
 略去 360° $= 332^{\circ}01.0' W$
 换为应用(半圆)时角 $= 27^{\circ}59.0' E$
 查年历恒星视位置表 02-28 日大犬 α 赤纬 $\delta = 16^{\circ}42.5' S$

例 2 1992-08-05, $\lambda_c = 123^{\circ}42' E$, 北京时 1915, 钟时 $CT = 111325$, 钟差 $CE = +1\text{min}43\text{s}$, 求天琴 α (α 139, 织女一)的地方时角和赤纬。

08-05	ZT =	19 15		CT =	11 13 25
	ZD = -	8		CE = +	1 43

08-05	$T_G \approx$	11 15		08-05	$T_G =$ 11 15 08

天体位置表 08-05, $T_G = +10011\text{h}$, $t_G^* = 119^{\circ}14.9'$
 附表 1, 1508 变量 $\Delta t = 3^{\circ}47.6'$
 春分点格林时角 $t_G^* = 123^{\circ}02.5' W$
 08-05 天琴 α 共轭赤经 $\tau^* = 80^{\circ}49.2'$

恒星格林时角 $t_G^* = 203^{\circ}51.7' W$
 经度 $\lambda_E = 123^{\circ}42'$
 恒星地方时角 $t^* = 327^{\circ}33.7' W$
 换为应用时角 $= 32^{\circ}26.3' E$
 恒星视位置表, 天琴 α , 08-05 $\delta = 38^{\circ}46.8' N$

第 5 节 求天体的计算高度及方位

根据观测时的世界时从航海天文历中查算出天体的地方时角和赤纬后, 再从海图上量出推算船位的经纬度, 便可以根据天文三角形基本公式 (1. 1)、(1. 2) 或 (1. 3) 解算出天体的计算高度 h_c 及方位 A_c 。

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

$$\text{ctg } A = \text{tg } \delta \cos \varphi \text{cse } t - \sin \varphi \text{ctg } t$$

或

$$\sin A = \sin z \cos \delta \text{sec } h$$

在实际工作中, 如果每次天文观测后都要按照上述公式用数学演算方法去求出天体的计算高度及方位, 那是比较麻烦的, 同时也不能适应船舶在海上安全航行的需要。自从 19 世纪中叶在航海上开始使用高度差法求天文船位线以来, 在大约一百年的时间里, 无数航海人员为谋求简化计算高度和方位的运算手续, 在计算机出现以前曾作过很大的努力, 提出过很多的改良方案, 有的将基本公式转换成适合于对数运算的较简便的公式, 也有的将天文三角形分解成两个直角三角形, 使运算公式和手续简化, 第二次世界大战后期, 美国最先进一步将不同的时角、赤纬和纬度代入公式事先编印成高度、方位表, 使用时可直接查取。这一类型的表册尔后各国编制了很多, 基本上大同小异。我国海军航保部印制的《B105》天体高度方位表是其中较为简便的一种。我国农业部在 70 年代末曾编制出版了《太阳船位线表和恒星船位线表》, 该表系将航海天文历和高度方位表结合编成, 使用简便、迅速, 但有地区局限性, 不能用于远洋渔业。目前《B105》天体高度方位表在我国船舶上使用最为普遍, 现介绍如下:

一、《B105》天体高度方位表的构造

本表是根据天文三角形的基本公式, 按不同的纬度、时角和赤纬预先解算出相应的天体高度和方位而编制成的。船舶在海上进行天文定位时, 只需根据已知的推算纬度、天体时角和赤纬查表, 便可查得

对应的天体高度和方位，无需用公式计算，较为简便。

本表按纬度每 10° 装订成一册

- 第 1 册 纬度 0~9°
- 第 2 册 纬度 10~19°
- 第 3 册 纬度 20~29°
- 第 4 册 纬度 30~39°

其余类推。

每册中又按纬度每 1° 合编成一小叠，并根据纬度与赤纬同向或异向分左右两页。左页为同向，右页为异向。如表 3-2，表 3-3。有时赤纬与纬度同向的在左页排不下，就接在右页的下方。

查表引数为纬度 (φ)、时角 (t) 和赤纬 (δ)。纬度值印在表的左(右)上角；时角是应用(半圆)时角，其值列在左(右)两侧。纬度和时角都是整度值。赤纬列在表的上方，对小于 29° 的赤纬，每隔 30' 给一次，对大于 29° 的赤纬，则根据航用恒星的分布情况，间隔 1 度或数度不等。

表列的天体高度 (h) 值准确到 0.1'；方位 (A) 值准确到 0.1°。方位为半圆方位，即第一方向字母与纬度同向，第二方向字母与时角同向。

表列天体高度最低给至 +5°，低于 +5° 的不列入。

表 3-2 赤纬与纬度同向

纬度 36°	20°00'				---	23°30'				时角		
	时角	高度		方位	---	高度		方位				
	°	'	Δd	Δt	°	'	Δd	Δt	°			
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
50	43	36.4	52	80	96.2	---	45	20.3	47	81	91.9	50
1	42	48.1	52	81	95.5	---	44	31.8	47	81	91.3	1
2	41	59.8	51	81	94.9	---	43	43.3	47	81	90.7	2
3	41	11.4	51	81	94.2	---	42	54.7	47	81	90.1	3
4	40	22.9	51	81	93.6	---	42	06.2	47	81	89.6	4
55	39	34.5	51	81	93.0	---	41	17.6	47	81	89.0	55
6	38	46.0	51	81	92.4	---	40	29.1	47	81	88.4	6

表 3-3 赤纬与纬度异向

时角	12°00'				12°30'				时角	纬度 31°		
	高度			方位	高度			方位				
	°	'	Δd	Δt	°	'	Δd	Δt			°	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
35	35	25.9	80	60	136.5	35	01.9	80	59	136.9	---	35
6	34	50.1	79	61	135.5	34	26.4	79	60	135.9	---	6
7	34	13.8	78	62	134.6	33	50.3	78	61	135.0	---	7
8	33	36.9	77	62	133.7	33	13.7	78	62	134.1	---	8
9	32	59.4	77	63	132.8	32	36.4	77	63	133.2	---	9
40	32	21.4	76	64	131.9	31	58.7	76	64	132.3	---	40
1	31	42.9	75	65	131.0	31	20.4	75	65	131.4	---	1

表中 Δt 及 Δd 二行小字，分别为时角和赤纬变动一分时引起高度的变动量，单位为 0.01'。供实际时角和赤纬与表列时角和赤纬不一致时，对表列高度值进行订正之用。在《天体高度方位表》中， Δd 有红字或黑字，红字表示正值，黑字表示负值（在本教材里没分色）。正值表示赤纬增加时，高度亦增加；负值表示赤纬增加时，高度减少。例如表 3-2， $\Delta d=51$ （原表为红字）即赤纬比表值增加 1' 时，高度相应增加 0.51'；表 3-3， $\Delta d=80$ （原表为黑字）表示赤纬增加 1' 时，高度相应减少 0.80'。表中 Δt 均为黑字，即恒为负值。因为时角是从午半圈起算的，时角为 0 时高度最大，应用（半圆）时角无论向东或向

西增加，高度都是减少的。

二、《B105》天体高度方位表的使用

查表引数为纬度 (φ)、时角 (t) 和赤纬 (δ)。

查表顺序为先找纬度，然后找赤纬，最后找时角。

例 1， $\varphi_c = 36^\circ\text{N}$ ， $\delta = 23^\circ 30'\text{N}$ ， $t = 54^\circ\text{E}$ ，查表求 h_c 及 A_c 。

解：先查纬度 36° ，然后根据纬度与赤纬是同向，在左页上方找到赤纬值为 $23^\circ 30'$ 一栏，(天体高度方位表第 4 册第 168 页，本教材表 3-2)，最后从两侧时角引数为 54° 处查得：

$$\text{高度}(h) = 42^\circ 06.2'$$

$$\text{方位}(A) = \text{N}89.6\text{E}(\text{根据纬度及时角给予方向命名})$$

例 2， $\varphi_c = 31^\circ\text{N}$ ， $\delta = 12^\circ 30'\text{S}$ ， $t = 39^\circ\text{W}$ 查表求 h_c 及 A_c 。

解：步骤同上例，因纬度与赤纬为异向，所以应查表的右页。(天体高度方法表第 4 册第 35 页。本教材表 3-3)，查得

$$\text{高度}(h) = 32^\circ 59.4'$$

$$\text{方位}(A) = \text{N}132.8\text{W}(\text{第一方向同纬度,第二方向同时角})$$

由于《天体高度方位表》上的查表引数纬度和时角都是整度的，赤纬最少也是相隔 $30'$ 一个，但在实际工作中，已知的纬度、时角和赤纬常常不刚好是表上的整数值。所以，为了求得实际纬度 (φ_c)、时角 (t) 和赤纬 (δ) 所对应的计算高度 (h_c) 和方位 (A_c) 的值，就需要先用最接近于实际度数 (φ_c 、 t 和 δ) 的表列引数查表得出近似的高度和方位，然后按实际纬度、时角和赤纬与表列引数之差对高度、方位进行订正。计算公式如下：

$$h_c = h'_c + \Delta h_\delta + \Delta h_t + \Delta h_\varphi \quad (3.14)$$

式中：

h'_c —— 为用最接近于实际度数 φ_c 、 t 和 δ 的表列引数 φ' 、 t' 和 δ' 查表所得的近似计算高度。

Δh_δ —— 为实际赤纬与查表赤纬之差 ($\delta - \delta'$) 对高度的修正值。

Δh_t —— 为实际时角与查表时角之差 ($t - t'$) 对高度的修正值。

Δh_φ —— 为实际纬度与查表纬度之差 ($\varphi_c - \varphi'$) 对高度的修正值。

从理论上说，方位亦应进行同样的修正，但由于画船位线时，对方位准确性的要求较低，一般来说，用接近于实际度数的表列引数从表上查得的方位，其精确度已能满足画船位线的需要，不必再作修正。如果在高度较大而时角又很小的情况下，方位变化较快，这时可根据情况作简单的内插订正，一般只要求准确到 $\pm 0.5^\circ$ 就够了。

下面举例具体说明使用《天体高度方位表》的步骤和方法。

例 1， $\varphi = 35^\circ 7.4'\text{N}$ ， $\delta = 13^\circ 57'\text{N}$ ， $t = 31^\circ 28.1'\text{W}$ ，求 h_c 及 A_c 。

计算格式：

原度数	查表度数	差数				h'_c	55°05.4'
$\delta = 13^\circ 57'\text{N}$	$\delta' = 14^\circ$	$(\delta - \delta')$	-3'	$\Delta\delta$	+68	Δh_δ	-2.0'
$t = 31^\circ 28.1'\text{W}$	$t' = 31^\circ$	$(t - t')$	+28.1'	Δt	-72	Δh_t	-20.3'
$\varphi = 35^\circ 7.4'\text{N}$	$\varphi' = 35^\circ$	$(\varphi - \varphi')$	+7.4'			Δh_φ	-3.6'
$A_c = \text{N}119.2^\circ\text{W}$						h_c	54°39.5'

步骤方法：

1. 按设定的表格计算可以减少差错。第一步先填入原度数，然后确定最接近的查表度数。注意时角、纬度表列值都是整度，赤纬在 29° 以前是每隔 $30'$ 的， 29° 以后间隔不定。本例最接近实际度数的查表度数应确定为 $\delta' = 14^\circ$ ， $t' = 31^\circ$ ， $\varphi' = 35^\circ$ 。

2. 计算原度数与查表度数之间的差值。本题原赤纬与查表赤纬之差 $(\delta - \delta') = -3'$ ；原时角与查

表时角之差 $(t-t') = +28.1'$ ；原纬度与查表纬度之差 $(\varphi-\varphi') = +7.4'$ ，并按格式填入。

3. 按所确定的查表度数查《天体高度方位表》。本例题按 $\varphi' = 35^\circ, \delta' = 14^\circ, t' = 31^\circ$ 查表(第4册,第138页),得计算高度的概值 $h'_c = 55^\circ 05.4'$, 方位(A_c)为 119.2° , 并按纬度与时角确定方位为 N—W。

4. 原度数与查表度数之差所产生对高度的修正量须分别求出, 现说明如下:

(1) 求赤纬差对高度的修正量 Δh_δ 。在表中高度和方位之间印有两列数字为 Δd 和 Δt 的值, 其中 Δd 是赤纬变化 $1'$ 所引起的高度变动量, 单位为 $0.01'$, 本例 $\Delta d = 68$, 表示实际赤纬与表列赤纬相差 $1'$ 时, 其高度变动量为 $0.68'$, 如果当赤纬增大时, 高度亦随之增大, 则 Δd 为正 (+), 在表内用红字表示; 反之, 如赤纬增大而高度随之减少时, 则 Δd 为负 (-), 在表内用黑字表示。由此得:

$$\Delta h_\delta = (\delta - \delta') \cdot \Delta d / 100 \quad (3.15)$$

为了简便, 可用原赤纬与查表赤纬之差 $(\delta - \delta')$ 及 Δd 为引数查表末乘积表。 Δh_δ 的正负号就是 $(\delta - \delta')$ 与 Δd 的代数积的符号, 即 $(\delta - \delta')$ 与 Δd 同号时为正 (+), 异号时为负 (-)。

本例以 $(\delta - \delta') = -3'$ 及 $\Delta d = +68$ 查乘积表得 Δh_δ 为 $-2.0'$ 。

(2) 求时角差对高度的修正量 Δh_t 。表中小字 Δt 是时角变化 $1'$, 所引起的高度变动量, 单位也是 $0.01'$ 。对于原时角与查表时角之差所引起的高度修正量 Δh_t , 可按式求得:

$$\Delta h_t = (t - t') \cdot \Delta t / 100 \quad (3.16)$$

Δh_t 的值同样可以 $(t - t')$ 及 Δt 为引数在表末乘积表中查得。因为查表用的都是应用时角, 它是从午半圈开始向东或向西计算的, 因此, 当应用时角增大时, 高度总是减少的, 所以, Δt 恒为负 (-) 值, 结果使 Δh_t 的正负号总与时角差 $(t - t')$ 的符号相反。

本例以 $(t - t') = +28.1'$ 及 $\Delta t = -72$ 查乘积表, (小数点以后的部分在乘积表右侧查取) 得 $\Delta h_t = -20.3'$

(3) 求纬度差对高度的修正量 Δh_φ 。如图 3-5-1, S 是天体, φ_c 是原来的推算纬度, Z_c 是它的天顶距, φ'_c 是查表用的纬度, (推算经度是共同的), Z'_c 是对应查表纬度的顶距; 设 $Z_c = \widehat{DS}$, 由图看出, 由于两个纬度之差 $(\varphi_c - \varphi'_c)$ 引起两个顶距相差 $\widehat{\varphi'_c D}$, 而两个顶距之差也等于两个高度之差, 因为

$$\begin{aligned} \widehat{\varphi'_c D} &= (Z'_c - Z_c) \\ &= (90^\circ - h'_c) - (90^\circ - h_c) \\ &= h_c - h'_c \quad (\text{即原来高度} - \text{查表高度}) \end{aligned}$$

所以, 纬度差对高度的修正量 $\Delta h_\varphi = h_c - h'_c = \widehat{\varphi'_c D}$ 。

因为 $\Delta \varphi_c D \varphi'_c$ 很小, 可当作平面直角三角形对待。

$\angle \varphi_c \varphi'_c D$ 为查表得出的天体方位 (A_c)。由图可看出:

$$\Delta h_\varphi = \widehat{\varphi'_c D} = (\varphi_c - \varphi'_c) \cdot \cos A_c \quad (3.17)$$

Δh_φ 的正负号取决于 $(\varphi_c - \varphi'_c)$ 与 $\cos A_c$ 的代数积, 从上式看出:

当 $A_c < 90^\circ$ 时, $\cos A_c$ 为正值, Δh_φ 的符号与 $(\varphi_c - \varphi'_c)$ 的相同;

当 $A_c > 90^\circ$ 时, $\cos A_c$ 为负值, Δh_φ 的符号与 $(\varphi_c - \varphi'_c)$ 的相反。

Δh_φ 的值可用 $(\varphi_c - \varphi'_c)$ 和 A_c 为引数在表末第二页《纬度差的高度修正表》中查出。表中对纬度差的小数部分对高度的修正值列在表的右侧, 在同行中查取。如果要查相邻两个表列两个方位之间的高度修正值, 视情况需要时可作简单内插。

本例题以 $A_c = 119.2^\circ$ 及 $(\varphi_c - \varphi'_c) = +7.4'$ 为引数查表得 $\Delta h_\varphi = -3.6'$

最后求得计算高度 $h_c = h'_c + \Delta h_\delta + \Delta h_t + \Delta h_\varphi$

本例求得计算高度 $h_c = 54^\circ 39.5'$ 。计算格式如上表。

例 2, $\varphi_c = 38^\circ 23.5' \text{ N}$ $\delta = 5^\circ 25.1' \text{ S}$ $t = 27^\circ 18.6' \text{ E}$, 求 h_c 及 A_c 。

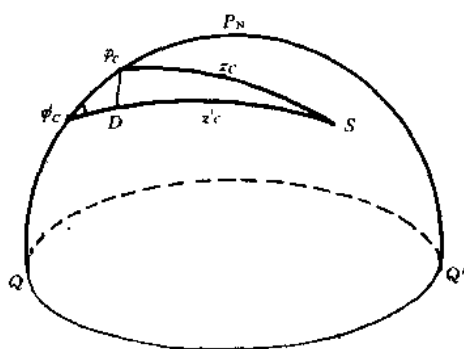


图 3-5-1 纬度差对高度的修正量

解算如下:

原度数	查表度数	差数				h'_c	39°47.0'
$\delta=5^{\circ}25.1' S$	5°30'	$(\delta-\delta')$	-4.9'	Δd	-89	Δh_d	+4.4'
$t=27^{\circ}18.6' E$	27°	$(t-t')$	+18.6'	Δt	-47	Δh_t	-8.8'
$\varphi=38^{\circ}23.5' N$	38°	$(\varphi-\varphi')$	+23.5'			Δh_φ	-19.0'
$A_c=N144.0^{\circ}E$						h_c	39°23.6'

例 3, 综合题:

1992年5月7日在东海, 推算船位 $\lambda_c=123^{\circ}35' E$, $\varphi_c=33^{\circ}7.5' N$, 北京时 $ZT=1030$, 观测太阳, 天文钟时 $CT=-02412$, 钟差 $=+4 \text{ min } 53\text{s}$, 设求得太阳的真高度 $h_0=66^{\circ}45.5'$, 要求作船位线。

$$\begin{array}{rcl} 05-07 & ZT = 10 & 30 \\ & ZD = -8 & \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} CT = & 02 & 24 & 12 \\ CE = + & & 4 & 53 \end{array}$$

$$05-07 \quad T_G \approx 02 \quad 30 \qquad 05-07 \quad T_C = 02 \quad 29 \quad 05$$

$$\begin{array}{rcl} \bar{\Delta} = & 1.0' & \\ t'_G = & 210^{\circ}52.0' & \\ \Delta t = & 7^{\circ}15.8' & \\ \Delta t' = & 0.5' & \\ t_G = & 218^{\circ}08.3' W & \\ \lambda_c = & 123^{\circ}35.0' E & \\ t = & 341^{\circ}43.3' W & \\ & = 18^{\circ}16.7' E & \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} \Delta = + & 0.7' & \\ \delta' = & 16^{\circ}50.9' N & \\ \Delta \delta = & +0.3' & \\ \delta = & 16^{\circ}51.2' N & \end{array}$$

原度数	查表度数	差数				h'_c	67°13.3'
$\delta=16^{\circ}51.2' N$	$\delta' = 17^{\circ}$	$(\delta-\delta')$	-8.8'	Δd	+74	Δh_d	-6.5'
$t=18^{\circ}16.7' E$	$t=18^{\circ}$	$(t-t')$	+16.7'	Δt	-65	Δh_t	-10.9'
$\varphi=33^{\circ}7.5' N$	$\varphi=33^{\circ}$	$(\varphi-\varphi')$	+7.5'			Δh_φ	-4.8'
$A_c=N130.2^{\circ}E$						h_c	66°51.1'

$$\begin{array}{rcl} h_0 = & 66^{\circ}45.5' & \\ h_c = & 66^{\circ}51.1' & \\ \hline h_0 - h_c = & -5.6' & \end{array}$$

船位线作图如图 3-5-2。

三、使用《天体高度方位表》的有关问题

(一) 用经、纬度凑整的方法求 h_c 及 A_c 用《天体高度方位表》求计算高度及方位, 除上述用推算船位的经、纬度计算之外, 还可以用另外的较为简单的方法, 即用经、纬度凑整的方法去求 h_c 及 A_c 。

由于直接用推算船位去计算 h_c 及 A_c , 实际度数和查表度数通常都存在有差数, 于是还要分别将赤纬差数、时角差数和纬度差数对高度进行订正, 计算是比较繁琐的。我们在第二章《用高度差法求船位线的原理》一节中已讨论过, 推算船位只是作为求船位线的一个带有随意性的基点, 只要与真船位相差不超过

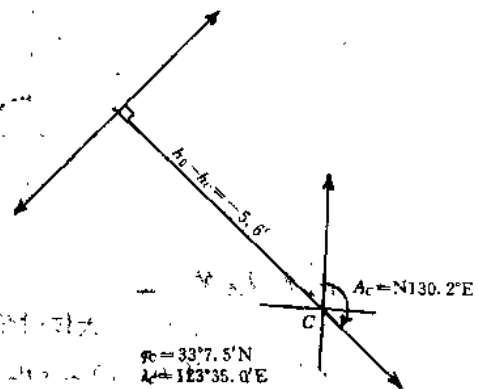


图 3-5-2

30 n mile, 所求得的都是同一条船位线。根据这一原理, 我们便可以将推算船位附近的整度纬度和附近可以使时角凑成整度的经度作为基准点来计算和作图, 这样便可省去查算 Δh_p 和 Δh_t 的步骤。

例 同上例 3 (综合题): 1992 年 5 月 7 日在东海, 推算船位 $\lambda_c = 123^\circ 35' E$, $\varphi_c = 33^\circ 7.5' N$, 北京时 ZT = 10 30, 观测太阳, 天文钟时 CT = 022412, 钟差 = +4 min 53s, 设求得太阳的真高度 $h_0 = 66^\circ 45.5'$, 要求作船位线。

$$\begin{array}{rcl} 05-07 & ZT = & 10 \quad 30 \\ & ZD = - & 8 \\ \hline 05-07 & T_G \approx & 02 \quad 30 \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} & CT = & 02 \cdot 24 \quad 12 \\ & CE = + & 4 \quad 53 \\ \hline 05-07 & T_G = & 02 \quad 29 \quad 05 \end{array}$$

$$\bar{\Delta} = 1.0'$$

$$\begin{array}{rcl} t'_G & = & 210^\circ 52.0' \\ \Delta t & = & 7^\circ 15.8' \\ \Delta t_1 & = & 0.5' \\ \hline t_G & = & 218^\circ 08.3' \quad W \\ \lambda_c & = & 123^\circ 51.7' \quad E \\ t & = & 342^\circ 00.0' \quad W \\ & = & 18^\circ E \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} \Delta & = & + 0.7 \\ \delta' & = & 16^\circ 50.9' \quad N \\ \Delta \delta & = & + 0.3' \\ \hline \delta & = & 16^\circ 51.2' \quad N \end{array}$$

(在推算经度附近, 选择使时角凑成整度的经度)

原度数	查表度数	差数			h_c	$67^\circ 13.3'$	
$\delta = 16^\circ 51.2' N$	17°	$(\delta - \delta')$	$-8.8'$	Δd	$+74$	Δh_δ	$-6.5'$
$t = 18^\circ E$	18°	$(t - t')$	0	Δt		Δh_t	
$\varphi = 33^\circ N$	33°	$(\varphi - \varphi')$	0			Δh_φ	
				$A_c = N130.2^\circ E$		h_c	$67^\circ 06.8'$

$$h_0 = 66^\circ 45.5'$$

$$h_c = 67^\circ 06.8'$$

$$h_0 - h_c = -21.3'$$

作图, 如图 3-5-3, 作图基准点为所选择的经、纬度, $\varphi_c = 33^\circ N$, $\lambda_c = 123^\circ 51.7' E$ (与例 3 比较如附图)

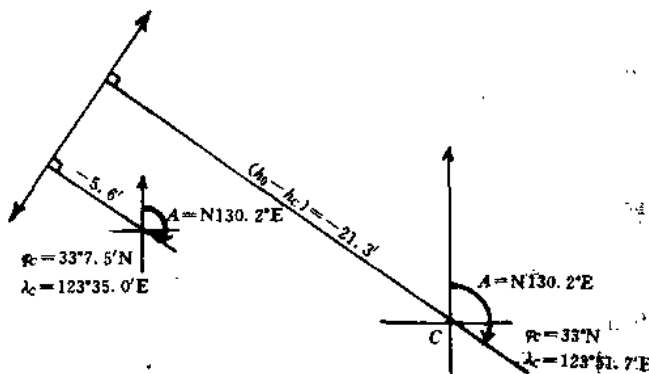


图 3-5-3

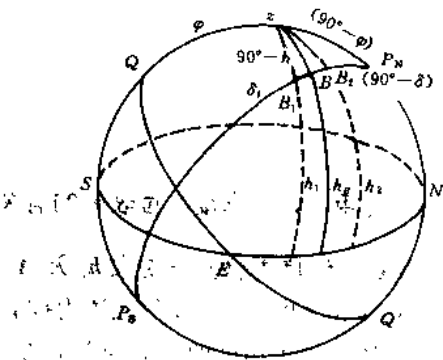


图 3-5-4 临界赤纬

(二) 赤纬临界误差的修正

1. 临界赤纬 在测者纬度和天体时角为一定的情况下, 如图 3-5-4, 天体高度随赤纬变化, 当天体在某点 B , 在 B 点之前, 如 B_1 , 高度是随赤纬的增加而增加的, 在 B 点之后, 如 B_2 , 高度则随赤纬的增加而减少, 高度在 B 点时为最大, 该点便称为赤纬临界点, 该点的赤纬称为临界赤纬。

临界赤纬只有在赤纬与纬度同名而且 $\delta > \varphi$ 的情况下才有可能出现。赤纬临界点的天体位置角 (或称

视差角 Q ，即天文三角形内在天体的夹角) 为 90° 。

在《B105》表中，当看到在同一时角相邻两个赤纬的 Δd 值发生变号（一红一黑，一正一负）时，就表示当中存有临界赤纬。例如，《B105》表第 4 分册，第 226 页。

表 3-4 赤纬与纬度同向

纬度 38°

时角	赤纬	$40^\circ 00'$	赤纬	$42^\circ 00'$
	高度	Δd	高度	Δd
25°	$70^\circ 32.0'$	$+0.4'$ (红)	$70^\circ 30.6'$	$-0.6'$ (黑)

从表上可看出，赤纬在 $40^\circ 00' \sim 42^\circ 00'$ 之间有临界值。赤纬临界值可按下式求得：

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \varphi \cdot \sec t \quad (3.18)$$

此式是按天文三角形当 $Q=90^\circ$ 时导出。除非特殊需要，通常航海工作不需具体求算赤纬临界值。

2. 赤纬临界误差 赤纬临界误差是由于在临界赤纬附近，将赤纬差对高度的修正量 (Δh_s) 只作简单的线性内插而引起的一种内插误差。

如图 3-5-5，当纬度和时角为一定，高度随赤纬而变。设纵坐标为高度，横坐标为赤纬，天体在临界点上的高度最大。随着赤纬的增加，天体高度在临界点前为递增，在临界点后为递减， Δd 符号由正到负。

由图看出，若以赤纬 δ_1 为基准，当赤纬增加 $\Delta \delta_1$ 时，按 B105 表所作的线性内插，它对高度的修正量 Δh_s 为 \widehat{ca} ，但实际增加量只有 \widehat{cb} ，同理，当赤纬增加量为 $\Delta \delta_2$ ，按 B105 表所作的线性内插，所得高度修正量 Δh_s 为 \widehat{fd} ，但实际增值只有 \widehat{fe} ，两者分别比实际变量多修正了 \widehat{ba} 和 \widehat{ed} ，这差值就称为赤纬临界误差。

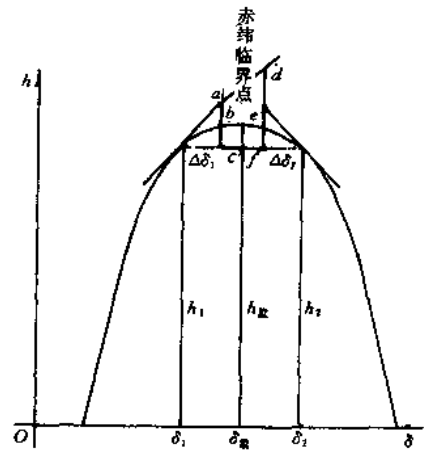


图 3-5-5 赤纬临界误差

3. 赤纬临界误差的修正 由上述可知，在查 105 表时，当发现实际赤纬在两个表列赤纬之间，而两个表列赤纬的 Δd 恰好是一正一负（一红一黑）的时候，即说明是在临界赤纬附近，这时如按 B105 表作简单线性内插所求得的高度修正量 Δh_s ，总会大于实际的高度变动量，所以还需进行附加订正，附加订正的符号总是负（-）的。

赤纬临界误差的附加订正量可以从 B105 表前的《赤纬临界点附近高度附加订正量图》中求得，该列线图如图 3-5-6。

列线图左侧为天体高度，右侧为实际赤纬与查表赤纬之差 ($\Delta \delta$)。使用时用直尺在列线图上连接天体高 h 和赤纬差数 $\Delta \delta$ ，直尺在图中央直线的交点所刻划的数字便是附加订正量 (Δ)，单位为角分，须从计算高度 h_c 中减去。

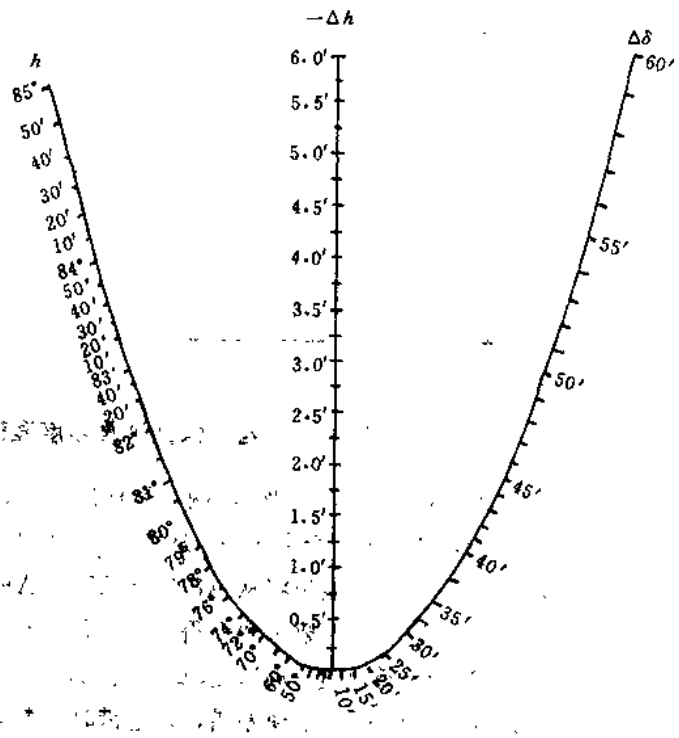


图 3-5-6 赤纬临界点附近高度附加订正量图

例 1, $\varphi_c = 39^\circ\text{N}$, $t = 18^\circ\text{E}$, $\delta = 40^\circ 56'$ N 求英仙座 β 的计算高度 (h_c)。

解: 从 B105 表中查得相邻两赤纬的表列值摘录如下:

纬度 39°

表 3-5 赤纬与纬度同向

时 角	40°00'		42°00'		时 角
	高度	Δd	高度	Δd	
18°	76°05.9'	+03 (红)	76°01.0'	-11 (黑)	18°

按通常步骤计算

$$h_c = 76^\circ 05.9'$$

$$\frac{\Delta h_s}{h_c} = + \frac{1.7'}{76^\circ 07.6'} \quad (\delta - \delta' = 56', \Delta d = +03 \text{ 查内插表})$$

附加订正 = $-\frac{1.8'}{76^\circ 05.8'}$ 查列线图, 以 $h = 76^\circ$, $\Delta d = 56'$ 两者连线在图中央线上读出。

在临界赤纬附近赤纬变量对高度的附加订正值也可以从下表中直接查出。附加订正值的计算公式为:

$$\Delta h_s = \frac{\Delta \delta^2}{2} \operatorname{arcl}' \operatorname{tgh} \quad (3.19)$$

表 3-6 赤纬临界误差改正量表 (恒为负)

$\frac{\Delta \delta}{h}$	10'	20'	25'	30'	35'	40'	44'	48'	50'	52'	54'	56'	58'	60'
30	-0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
40	-0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
50	-0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
60	-0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9
65	-0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1
70	-0.0	0.2	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4
73	-0.0	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.8	1.6	1.7
76	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.0
78	-0.1	0.3	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.3	2.3
80	-0.1	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
81	-0.1	0.4	0.6	0.8	1.1	1.5	1.8	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3
82	-0.1	0.4	0.6	0.9	1.3	1.7	2.0	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.5	3.7
84	-0.1	0.6	0.9	1.2	1.7	2.2	2.8	3.1	3.5	3.7	4.0	4.3	4.7	5.0
85	-0.2	0.7	1.0	1.5	2.0	2.7	3.2	3.8	4.1	4.5	4.8	5.2	5.6	6.0

四、保证计算高度准确性的措施

天文船位线是根据 ($h_0 - h_c$) 及 A_c 两要素作出来的。如果计算高度 h_c 有误差, 船位线将产生位移, 使船位线的交点即船位也随之产生误差。从图 3-5-7 可看出, 只要有一个 h_c 误差 Δh , 船位线从 $L_1 - L_1$, 位移至 $L_1' - L_1'$, 设为 $1'$, 则船位将从 AF 移至 AF' , $AFAF'$ 通常都大于 Δh , 即超过 1 n mile。

计算高度 h_c 是通过三个主要步骤求得的, 一是记时; 二是从年历中查取地方时角 (t) 和赤纬 (δ); 三是用 B105 表计算出计算高度 (h_c), 以及方位 (A_c)。对于初做航海工作的人员, 往往由于疏忽大意或工作不熟练等原因, 在求 h_c 时出现差错, 如记错时、查错表, 加减运算和画图错误等等。这种误差统称为过失误差或粗差。这种误差对船位准确性及航行安全的影响是无法估计的。在一切技术工作中, 粗差

都应绝对避免。

为了防止粗差，保证计算高度的准确性，航海人员首先要有高度的责任心，对工作要做到极端的负责任，时刻意识到自己的工作关系着全船生命财产的安全。在求 h_c 的具体工作中，下列经验可以帮助我们避免粗差。

1. 要认真准确地记录观测时间。平日要保管好天文钟，及时更换电池或按规定上发条，定期对时。须知道，如果时间误差 1s，船位线误差最大可达 0.25'。

2. 凡查表及抄录过来的数字，应该随着复看一遍，看有无差错，然后再做第二步。

3. 应按格式计算，最好在印好的表格上填写，数字要写得整齐清晰，凡是要进行加减的数字，必须把位数上下对齐，即把时、分、秒、度、分、秒及个、十、百……等单位对齐，否则容易算错，且不便检查。

4. 对 B105 表的使用规则，如纬度与赤纬同名或异名，各修正量符号的决定，方位的命名及高度差的正负等较容易弄错的地方应特别注意。

5. 算后分段检查。最好是在求得 (1) 世界时，(2) 时角和赤纬，(3) 计算高度及方位便依次分段复查，以免造成大量返工浪费。

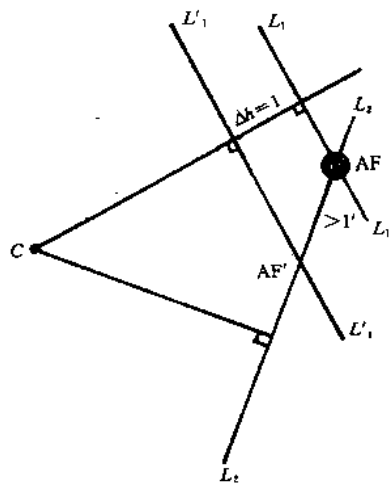


图 3-5-7

第4章 求天体的真高度

根据高度差法原理,求天文船位线必须求得高度差($h-h_c$)及方位 A_c ,有关求计算高度 h_c 及方位 A_c 的问题,已在第3章里介绍过,本章主要介绍求天体真高度的问题。

天体真高度是用六分仪观测并经修正后得出的。天文船位线的准确性在很大程度上取决于观测高度的准确性,航海人员一定要正确熟练地使用六分仪。

第1节 六分仪及其使用

一、六分仪的构造及测角原理

1. 六分仪 (sextant) 的构造 六分仪,如图 4-1-1,它的各主要部件的名称及作用如下:

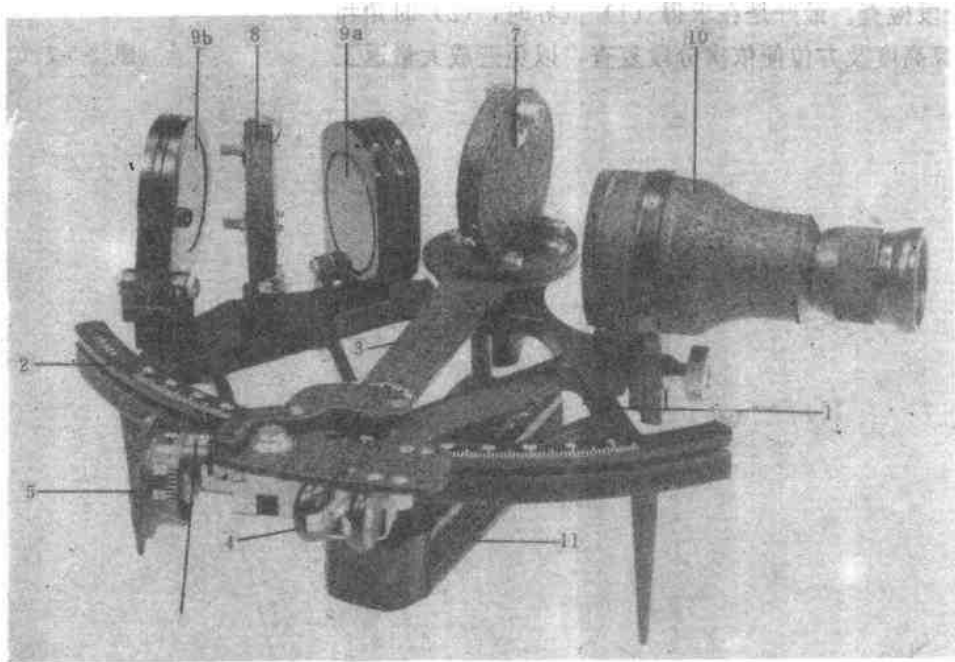


图 4-1-1 六分仪

①架体 ②分度弧 ③指标杆 ④松紧夹 ⑤鼓轮 ⑥游标尺 ⑦动镜
⑧定镜 ⑨a动镜滤光片 ⑨b定镜滤光片 ⑩望远镜 ⑪把手

(1) 架体 (frame) 六分仪各主要部件都安装在架体上。架体使各部件严格保持一定的相互关系;

(2) 分度弧 (arc) 位于架体下端的圆弧。弧上刻有均匀的度数,每小格代表 1° 。 0° 的位置在分度弧的右边,由 0° 向左刻划到 140° 为正角度,称为主弧,由 0° 向右还有 5° 为负角度,叫余弧。

(3) 指标杆 (index bar) 分度弧可移动的杆状半径。上端旋转中心与分度弧圆心重合,下端可沿分度弧自由移动,在与分度接触处有一标线 (index),用以指示分度弧的整度数。

(4) 松紧夹 (clip) 是指标杆的制动装置,必须捏住松紧夹才能移动指标杆。

(5) 鼓轮 (drum) 上面刻有 60 格,每格代表 $1'$ 。鼓轮转动一周,指标杆在分度弧平面上移动 1° 。当指标杆标线指在两个刻度之间时,就从鼓轮上读取分的数值。

(6) 游标尺 (vernier) 在鼓轮的右侧,不随鼓轮转动,上面刻有 5 格或 6 格分划,每格分别代表 $0.2'$

或 $10''$ ，用来读取分以下的数值。

(7) 动镜 (index mirror) 装在指标杆的上端，随着指标杆左右转动。动镜和指标杆的转轴通过分度弧中心，并且垂直于分度弧平面。动镜是一个涂有水银的反射镜。镜背后有一调整螺丝，检查调整动镜是否垂直时用。

(8) 定镜 (horizontal glass) 固定安装于动镜前下方的架体上，定镜一半是涂有水银的反射镜，用来反射从动镜反射来的目标影像，另一半是透明玻璃，可以透视前方目标。定镜和分度弧平面是垂直的，如果不垂直，它背后有二颗螺丝供检查校正时用。

(9) 滤光片 (shade glasses) 在动镜和定镜前面各装有一组深浅不一的有色玻璃片，称滤光片，用以遮挡物标强光，使之既不耀眼又轮廓清晰。

(10) 望远镜 (telescope) 用于观测和放大目标倍数。其一为短筒望远镜，放大倍率为 3.5 倍，视野较广，是正像；另一为长筒望远镜，倍率较高但视野小，且是倒像，一般在精密观测时使用。

(11) 把手 (handle) 观测时用右手握把手。把手内装有照明用电池和照明调节开关。

2. 六分仪的测角原理 六分仪是用来测量两物标夹角的仪器。如图 4-1-2，当测量两物标 R 和 S 的夹角 θ 时，测者视线从望远镜通过定镜 E 正对物标 S，然后移动指标杆使物标 R 的光线经过动镜 A 反射到定镜 E，当物标 R 的反射影像和物标 S 的直接影像在定镜 E 处重合时，指标杆便在分度弧上指出了夹角 θ 的度数。

六分仪的测角原理，如图 4-1-3，物标 R 的光线 RA 由动镜 A 反射至定镜 E，由于光线的入射角等于反射角，所以入射光线 RA 和反射光线 AE 与动镜平面的交角相等，设为 α ；同理，入射光线 AE 与反射光线 EM 与定镜平面的交角亦相等，设为 β 。设两镜的延长线相交于 D，交角为 ω 。在两镜平行时，指标杆指处为 O，则 $\omega = \angle CAO = \widehat{CO}$ 。

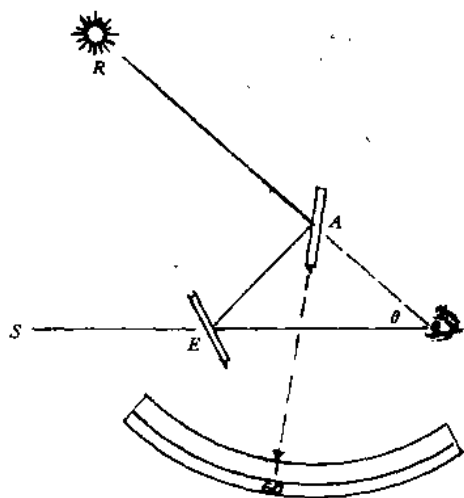


图 4-1-2 六分仪的测角示意图

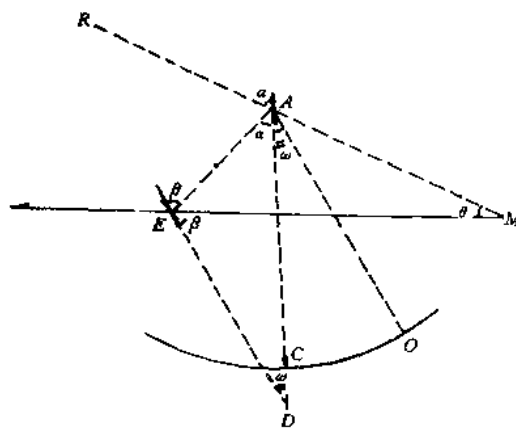


图 4-1-3 六分仪的测角原理

在 $\triangle AEM$ 中，

$$2\beta = 2\alpha + \theta \quad (\text{外角等于不相邻两内角之和})$$

$$\theta = 2(\beta - \alpha)$$

(4.1)

在 $\triangle AED$ 中，

$$\beta = \alpha + \omega$$

$$\omega = \beta - \alpha$$

(4.2)

代入 (4.1) 式

$$\theta = 2\omega = 2\widehat{OC}$$

由此可见，用六分仪观测两物标的夹角 θ ，即当测者在定镜看到一物标的真像和另一物标从动镜反射

来的影像重合时，两物标的夹角 θ 恰好等于两镜夹角 ω 的二倍，即分度弧上 \widehat{OC} 的二倍，因此，六分仪在制造时，将两镜平行时指标杆所指处刻为 0 度，自 0 度开始把圆心角 ω 所对分度弧 \widehat{OC} 的实际度刻大一倍，这样指标杆所指的刻度便是测角 θ 的实际度数。

根据上述原理可知，物标的直射和反射光线都在一平面上，这一平面必须与分度弧的平面相平行，或者说，动镜和定镜必须与分度平面相垂直，而且两镜平行时指标杆所指应为分度弧的 0 刻度，不然的话，指标杆所指的刻度就不是测角的实际度数。

3. 六分仪的测角读数 根据六分仪的构造，在分度弧上的刻划单位为度，在鼓形轮上的刻划单位为分，分以下的小数刻划在游标尺上。因此，一个完整的测角读数，需要依次从三处读取，即

(1) 在分度弧上，按指标杆标线所指，读取整度的数值；

(2) 在鼓形轮上，按游标尺上的标线所指，读取整分的数值；

(3) 在游标尺上，按鼓轮和游标尺两者的刻划能连成一线之处，读取分以下小数或秒数。(有的六分仪在游标尺上共分五格，每格为 $0.2'$ ，也有分为六格的，每格为 $10''$ ，但最后还应将秒数化为分的小数，以便以后的计算)

例：读取图 4-1-4 所示的测角度数

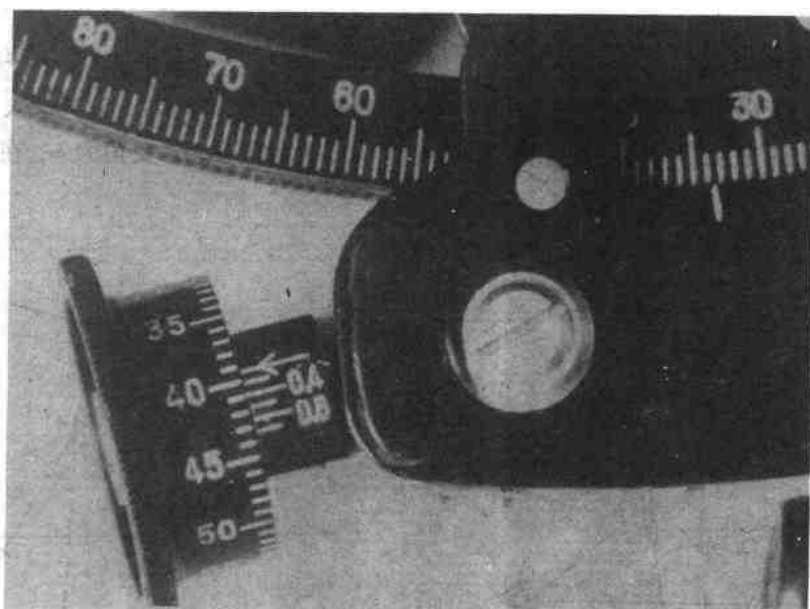


图 4-1-4 六分仪测角度数

从分度弧上读得的整数度为	33°
从鼓轮上读得的整分数为	39'
从游标尺上读得的分以下小数为	<u>0.4'</u>
测角读数为	33°39.4'

二、六分仪的检查校正及维护保养

六分仪是船上的重要航海仪器。如果六分仪存有误差将直接影响到所测船位的准确性。检查校正和维护保养好六分仪，是船上航海人员经常性的重要任务。

1. 六分仪的检查和校正 根据六分仪的测角原理，若要在分度弧上正确表示出测角度数，则所测物标的人射及反射光线都必须平行于分度弧平面，否则测角读数就会产生误差。

要求入射和反射光线平行于分度弧平面，即要求动镜、定镜及滤光片都必须垂直于分度弧平面，望远镜光

轴也必须与分度弧平面平行。由于望远镜光轴位置及滤光片位置在制造时已被固定了,如有误差,需送厂修理。六分仪的检查校正工作,主要是检查动镜和定镜是否垂直于分度弧平面,如不垂直则须进行校正。

(1) 动镜的检查及校正 主要是检查动镜是否垂直于分度弧平面,如果不垂直将产生动镜差,便须校正。检查及校正方法:

① 将指标杆放在分度弧的中央部分,约在 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 位置,左手持六分仪,使仪面朝上,动镜朝着测者,然后斜看动镜内外,如图 4-1-5,一看动镜内分度弧右端的影像,同时看动镜旁边分度弧的真像。

② 如果动镜内外两段分度弧是上下错开不能连成一线的,如图 4-1-6,就说明动镜与分度弧平面不垂直,这时就需要用六分仪盒内配备的专用校正钥匙,转动动镜背面的调整螺丝,直至看到影弧和真弧相互衔接连成一线为止,如图 4-1-7 所示。

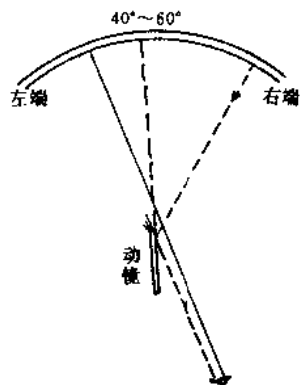


图 4-1-5 动镜的检查方法

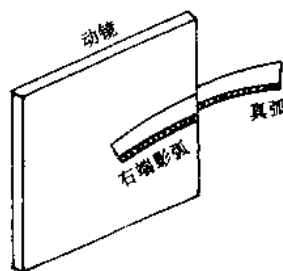


图 4-1-6 动镜与分度弧平面不垂直

(2) 定镜的检查及校正 定镜如果与分度弧平面不垂直,将产生定镜差,便需校正,检查校正方法:

① 当检查校正好动镜后,把指标杆放在 0 位置,白天观测太阳(选择适当滤光片),夜间观测一颗不太闪耀的星,然后轻微转动鼓轮,使目标的反射影像在真像的上下移动。

② 如果影像在上下移动过程中,有机会能够与真像完全重合而不左右偏,如图 4-1-8,影像与真像在 b 位置时完全重合,这表明动镜是完全垂直分度弧平面的,无需校正。如果影像上下移动时总是不能和真像重合而是左右错开的,如图 4-1-9,影像与真像虽同在一水平线上但左右错开,就表明定镜与分度弧平面不垂直,需要调整定镜背后离架体较远的一颗螺丝,直至两像重合不左右错开为止。

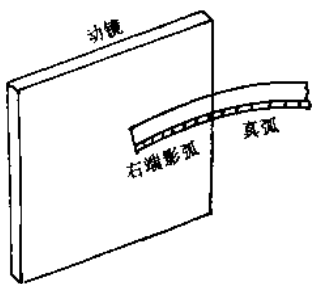


图 4-1-7 动镜与分度弧平面垂直

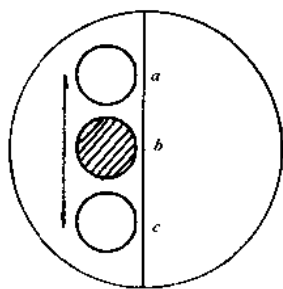


图 4-1-8 固定镜垂直分度弧平面

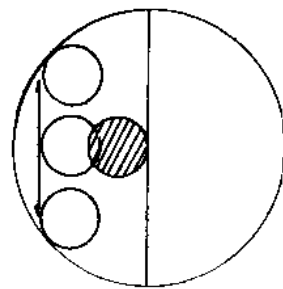


图 4-1-9 固定镜不垂直分度弧平面

2. 六分仪的修正量 六分仪经过对动镜和定镜的检查校正之后,在六分仪的测角读数上仍会存有误差,它包括器差和指标差,在六分仪测角读数上应进行修正。

(1) 器差 (sextant error),用 γ 表示,是由于六分仪在制造工艺上的不完善和材料质量的原因而产生的、测者无法调整和校正的仪器误差。主要如动镜、定镜及滤光片等玻璃的两面不平行,产生异常折射;指标杆旋转中心与分度弧中心不重合,以及分度弧刻度不准确和背后是螺纹螺杆啮合不好等产生的误差。

六分仪器差在仪器出厂前,由工厂专门检查测定,按不同测角列成器差表,附在六分仪盒里,供观

测时使用。样式如表 4-1。

表 4-1 六分仪器差表

测角/ $^{\circ}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
器差 $s/''$	0	+10	+15	+5	-10	-5	+3	+12	+20	+30	+25

有的器差表用分的小数来表示。六分仪器差的数值越小，表示该六分仪的制造质量越高，在天文观测中，一般不采用器差超过 $40''$ 或 $0.7'$ 以上的六分仪，这类六分仪可供地文观测使用。

须要指出，六分仪的器差不是永久不变的，如保管不慎，活动部分受磨损和受外界影响等都会使器差发生变化，所以平日应小心谨慎保管好六分仪。

(2) 指标差及其测定方法

① 指标差 (index error)，用 i 表示。

从六分仪测角原理中知道，当动镜和固定镜平行时，指标杆所指位置便是 0 位置，所有测角都应从这位置开始计算，如果在六分仪分度弧上的 0 刻度与两镜平行时所指 0 位置不重合，假设其间相差为 i ，则从分度弧上读取的所有测角都存在一个等于 i 的误差，这就是指标差。

换句话说，指标差即六分仪上的 0 刻度与两镜平行时指标所指真 0 位置之差。

指标差有正负之分，如图 4-1-10，如果两镜平行时指标所指 0 位置是在分度弧之右，则任何测角的真值都要比在分度弧上读取的数值要大，所以这时的指标差修正量 (i) 是正 (+) 的，即

$$\text{实际测角 } \alpha = \text{读数 } \beta + i$$

反之，如图 4-1-11，如果两镜平行时指标所指 0 位置在分度弧 0 刻度之左，则指标差修正量是负 (-) 的，即

$$\text{实际测角 } \alpha = \text{读数 } \beta - i$$

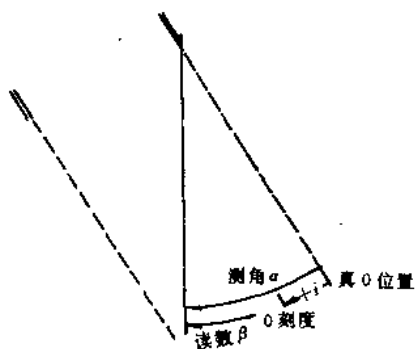


图 4-1-10 正指标差

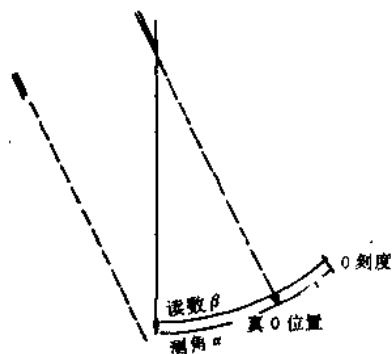


图 4-1-11 负指标差

② 指标差的测定方法 测定指标差的方法可以有多种，它们的基本共同点是观测一个远距离目标，使真像与影像重合，表明当中没有夹角，动镜和定镜处于平行位置，然后求出指标杆所指真 0 与 0 刻度之间的差值。

之所以要选择一远距离的目标观测，是因为六分仪动镜和定镜有一定垂直间距 (约 5.5 mm)，观看一近距离目标的影像和真像重合时，两镜并不平行，经计算对距离大于 1 n mile 的目标观测其差值才能小于 $0.1'$ 。所以在天文航海中，夜间常用星体，白天则用太阳来测定指标差。

1) 利用星体测定指标差 夜间可选择一颗不耀眼的星，使星的轮廓能清晰看见。观测前先将六分仪指标放在 0 附近，然后正对目标，转动鼓轮，使目标的真像和影像重合，这时指标所指即真 0 位置，然后读取真 0 位置与 0 刻度之差，即得指标差。

因为六分仪的刻度是从右至左顺刻的，如果真 0 位置在 0 刻度之左，在鼓轮上直接读出的度数便是指标差，符号为负 (-)；如果真 0 位置在 0 刻度之右，则在鼓轮上读出的数值需用 $60'$ 减，或直接反读，

才是指标差，符号为正（+）。例如，设指标指在 0 刻度右，鼓轮上读数为 56.8'，指标差应为 +3.2'（60' - 56.8'）。如图 4-1-12。

2) 利用太阳测定指标差 利用太阳测定指标差是最常用和最准确的方法。由于太阳是个圆面，不易看准影像和真像的中心重合，在实作中采用反射影像与真像的上下边沿各相切一次，然后取其中间值的办法，这便得到两像中心重合时指标所指的真 0 位置，即可得到指标差。如图 4-1-13 所示。

$$\text{指标差 } (i) = \frac{0 \text{ 左读数 } I + 0 \text{ 右读数 } I}{2} \quad (4.3)$$

操作步骤、方法：

将指标杆放在 0° 附近，选配好动镜及定镜前的滤光片，调好望远镜焦距。

观测太阳，在望远镜视野中可见太阳的直射影像和反射影像，然后转动鼓轮，使两影像上下边沿各相切一次，各记下读数，例如，第一次相切读数（I）在 0 刻度左，为 -30.2'；第二次相切读数（I）在 0 刻度右，鼓轮读数为 25.6'，应用 60' 减或直接反读为 34.4'。

取两次相切读数的代数和除以 2 便得指标差。

本例：

$$\text{指标差 } (i) = \frac{-30.2' + 34.4'}{2} = +2.1'$$

指标差测定后，可以用当天的太阳半径值进行检验。由图 4-1-13 看出，太阳真像和影像上下边沿各相切一次的读数间隔，即（I - I）的绝对值应等于四倍太阳半径 R_{\odot} 。在航海天文历天体位置表的左上方载有每日太阳半径的实际值。将实测的太阳半径和航海天文年历所载的相比较，如果相差在 $\pm 0.2'$ 之内，说明指标差的观测准确可用，如果相差大于 $\pm 0.2'$ ，说明观测误差较大，应予重测。

如上例

$$\begin{aligned} R_{\odot} &= \left| \frac{1}{4} (I - I) \right| \\ &= \left| \frac{1}{4} (-30.2' - 34.4') \right| \\ &= 16.15' \end{aligned}$$

设本例观测日期为 3 月 10 日，查航海天文年历天体位置表得太阳实际半径 $R_{\odot} = 16.1'$ ，两者相差小于 0.1'，说明指标差观测准确可靠。

如果观测的半径比实际半径大，说明观测时两影像边沿之间尚留有空隙，应予靠拢。如果观测的半径比实际的小，说明观测时两影像边沿已有部分重叠，应予拉开。初学天文观测时，还可以用这种方法去锻炼自己对于相切的掌握。

③ 减少指标差的方法 在天文观测中，指标差值不论其大小，总是要进行测定并要订正到六分仪的测角读数中去的，它对天体的观测高度并无实际影响。但是，如果指标差过大，亦会感到使用不便，特

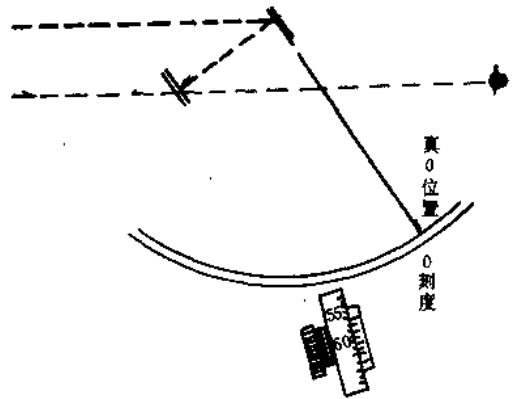


图 4-1-12 真 0 在 0 刻度右，指标差应反读为（+）

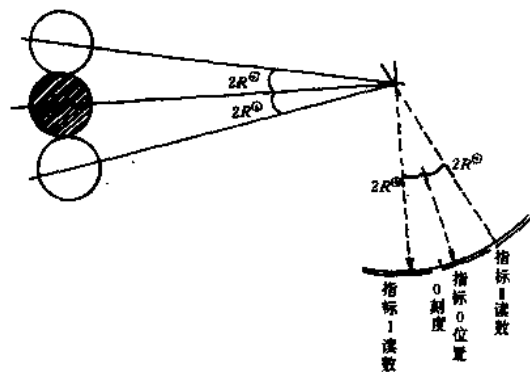


图 4-1-13 利用太阳测定指标差示意图

别是在一般的地文观测时，由于对测角精度要求不高，通常在指标差值较小时便可以忽略不计。因此，为了使用方便，可将大的指标差调小，步骤方法如下：

1) 在检查校正好动镜和定镜后，如发现测得的指标差过大，需要调小时，将指标杆放在0度0分位置。

2) 观测一远距离目标（如太阳、星体、水天线或轮廓清晰的远岸标），将目标放在望远镜视野中央，这时可见目标的真像和影像是上下错开不重合的，如图4-1-14所示。

3) 调整定镜背后离架体较近的一颗螺丝，使影像上（下）移动，直至两像上下取齐为止。

4) 当调整到两像上下取齐时，它们可能左右又有些偏开，这时需要再调整定镜离架体较远的螺丝，使两像取齐不左右偏。

5) 最后，重新测定调整后的指标差。

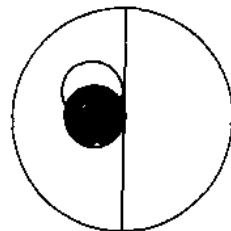


图 4-1-14 缩小指标差

3. 六分仪的维护保养 六分仪是精密的航海光学仪器，它的精确度直接影响着船位的准确性，关系到生产及航行的安全。航海人员必须精心爱护，妥善保管。在日常可从下列几方面加以注意：

(1) “拿”。拿取和使用六分仪时，都只应该拿架体、拿把手。在打开六分仪盒盖后，应先用左手从正面抓住六分仪架体取出六分仪，然后用右手拿住把手进行观测。不可用手触摸玻璃镜面，不要抓住除架体、把手以外的其它部件（特别如玻璃镜片、望远镜、指标杆等）提动六分仪。

六分仪应连同盒子拿到观测地点然后取出使用，以免中途因船舶摇摆不小心被碰坏。

提六分仪盒时应先检查盒盖是否已扣好，提取时还应将食指附着盒盖，以防仪器滑出。

(2) “放”。六分仪不使用时，必须放回盒内，切不可随便乱放，在船上环境随便放，最容易被碰撞或摔坏。

六分仪放回盒内时，各部件应恢复原先的位置（注意不同厂家出产的六分仪放法不尽相同），然后小心盖上盒盖并扣好。遇有阻碍应检查原因，不要勉强盖上。

六分仪盒应正放，即盒盖朝上或提手朝上，不可反放。

(3) “防”。防碰撞，防潮湿，防曝晒。六分仪不能受撞击或剧烈震动，不然将产生误差甚至损坏。六分仪受潮最易使镜片涂银部分变质，平时要放在干燥的地方。在船上观测遇到浪花飞溅时，用后一定要用柔软清洁的干布擦拭干净。六分仪长久曝晒在烈日之下会使仪器部件产生不正常膨胀而增大误差。

(4) “用”。在观测时要轻拉轻旋，一定要捏紧松紧夹来拉动指标杆，避免螺纹撞击磨损面产生的震动误差。应按与其转轴相垂直的方向轻轻地扳动滤光片，尽量避免产生歪斜分力。如果滤光片之间不平行或不垂直于架体，观测时会出现几个影像并影响准确性。

三、用六分仪观测天体高度的方法

1. 观测前的准备工作

利用天文方法测定船位，在观测天体高度前，应做好下列准备工作：

(1) 准备好六分仪 检查六分仪各部件是否清洁、正常，如发现光学玻璃部分有灰尘或水汽，应及时清除，以免影响观测。根据测者视力调整好望远镜焦距，如观测太阳，应选配适当滤光片，要使目标及水天线轮廓清晰，亮度适中。调整校正好动镜及定镜，测下指标差。

(2) 准备好天文钟和表 观测前求出天文钟钟差或表差，如用秒表观测，应记下启动秒表时的天文钟钟时。

(3) 如准备观测星体高度，还应事先查算好适宜于观测的星体和时间，具体内容将在第5章中详细介绍。

2. 观测天体高度的方法

天体高度是在天体方位圈上从测者真地平圈至天体中心的弧距。由于测者真地平圈是看不见的，所

以在实际上是先观测水天线与天体之间的夹角，然后再进行修正。

开始观测时，先将六分仪指标杆放在 0 位置，面向天体，垂直拿六分仪，通过望远镜观看天体。如观测太阳，选配适当滤光片。在看到天体的影像后，左手捏住松紧夹缓缓向前推，配合右手用腕力慢慢地向下旋转六分仪，注意要把天体影像始终保持在望远镜视野之内，直至看到天体影像到达水天线附近为止。如系观测太阳，这时应调整定镜前的滤光片，使水天线清晰可见。

在白天观测太阳也可以先选配好动镜前的滤光片，然后垂直拿六分仪正对水天线上太阳方向，左手捏住松紧夹将指标杆在太阳高度附近稍为滑动，便可在望远镜视野中同时看见太阳影像和水天线。

在水天线附近看见被拉下来的天体影像后，应用右腕的力量将六分仪围绕望远镜光轴左右摇摆，这时可见天体影像沿弧线滑动，如图 4-1-15，注意摇摆六分仪逐渐稳定在滑动弧线的最低点上，一面调整六分仪指标杆上的微动螺旋，当太阳下边沿或星体中心与水天线在望远镜中央的弧线最低点处相切时，所测到的便是太阳下边沿或星体中心的六分仪高度。

因为天体方位圈是垂直于真地平圈也垂直于水天线的，所以摇摆六分仪的目的是要找出垂直切点，开始时先以大的幅度摆动，以便找到垂直切点的位置。如在大摆时发现摆动弧线的最低点偏落在望远镜一侧甚至在望远镜视野之外，如图 4-1-16，就说明未对正天体，六分仪与天体方位圈不在同一平面上，需要稍微转动身体方向，使弧线最低点位于视野的中央(如图 4-1-15 所示)，即天体影像在弧线的最低点时，应在固定镜透镜的右侧部分，靠近反射镜左侧，要使天体影像与水天线的垂直切点处能清晰可见。

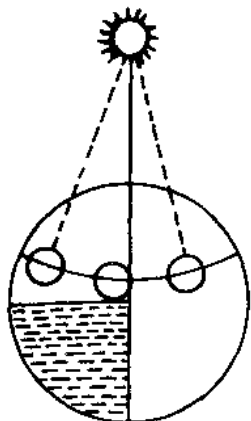


图 4-1-15 天体下边沿与水天线垂直相切

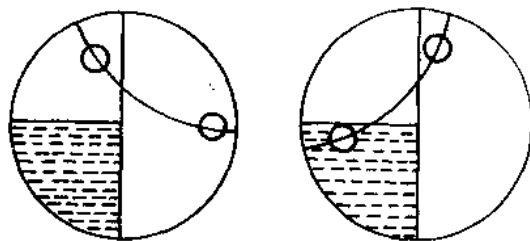
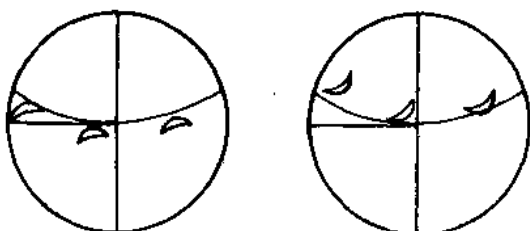


图 4-1-16 六分仪未对正天体摇摆所见影像

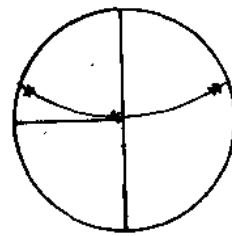
为了掌握好相切的时机，白天观测太阳，通常在太阳上升时，可先让太阳下边沿与水天线有微小重叠，重叠部分看起来像个亮点；反之，在太阳下降时，则可让太阳下边沿与水天线留有微小间隙，间隙处看去像段黑线，然后轻微摇摆六分仪，待太阳继续上升或下降，在亮点消失或黑线断开的瞬间，便是准确相切的时间。当太阳在中天附近，高度变化很慢，则不宜采用等待相切的办法。应采用一般的，在小摆六分仪的同时微调鼓轮，让影像与水天线在切点上准确相切的办法。



月上边相切

月下边相切

图 4-1-17 观测月亮上(下)边沿



星中心重叠

图 4-1-18 观测星体中心与水天线重合

用六分仪观测天体高度的要领可归纳为：“大摆寻找切点，小摆垂直相切”。

在小摆快要相切时，观测者应发“预备”口令，记时员复诵“预备”口令并注视钟表，在准确相切时，观测员喊“到”，然后依次记下观测的时间和高度读数，时间应先读秒、后读分、时。如无记时员，测者一人可用秒表计时。

对于太阳观测，一般应观测下边沿与水天线相切；对月亮则应根据它的盈亏情况决定观测其上或下边沿，如图 4-1-17，对星体则应观测其中心与水天线重合，如图 4-1-18 所示，不是观测它的边沿与水天线相切，特别是在观测视半径较大的行星时尤须注意。

第 2 节 求天体的真高度

如前所述，天体的真高度是从真地平到天体中心在方位圈上的弧距或在地球中心的张角。测者在船上用六分仪观测了天体与水天线的垂直夹角，经过修正器差 (i) 及指标差 (s) 后，所得高度称为天体观测高度。观测高度还不是真高度，因为其中尚存有多种因素的影响，例如测者站在船上离海面有一定高度，所看见的水天线并不是真地平；有的天体只测它的边沿与水天线相切，而不是测它的中心，以及天体光线经过大气层的折射并非走直线等。所以对观测高度还要进行修正，才能得出真高度，现分别说明如下：

一、天体观测高度的修正量

1. 蒙气差 (refraction, ρ) 在生活中常看到这样的现象，一根杆子插入水中，产生了杆子被折弯了的影像。由物理学上知道，光线在通过密度不同的介质时，将产生折射。光线由高密度介质进入低密度介质时，产生远离法线的方向折射；反之，光线由低密度介质进入高密度介质时，则产生靠近法线的方向折射。地球外表包围着不同的大气层，离地愈近，密度愈大，离地愈远，密度愈小，于是天体光线通过密度逐渐增大的大气层便产生了靠近法线的方向，即趋向地心的方向折射，使测者所见的天体方向，并不是它的真方向，如图 4-2-1。

天体 S 的光线，如果没有大气折光，将沿着 SA 的方向射向测者 A，但因为有大气的存在，天体 S 的光线经过密度不同的大气层，相继产生了向地心方向折射，因此，天体光线不是沿 SA 方向，而是沿折线 $SabcA$ 最后进入测者眼睛，测者在 A 点便把天体 S 看成是在 AS' 的方向，即天体光线被折射成的弧线最后进入测者眼睛时的切线方向。视方向 AS' 总是比真方向抬高了一个角度 (ρ)，这就是蒙气差又称折光差 (ρ)。符号恒为负 (-)。

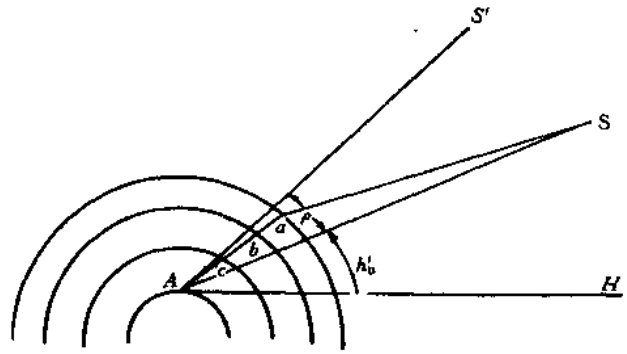


图 4-2-1 蒙气差图

蒙气差随天体高度不同而变化。高度等于 90° 时，蒙气差为 0，高度愈低，蒙气差愈大，当高度等于 0° 时，蒙气差最大，称为地平蒙气 (折光) 差，约等于 $34.5'$ 。

蒙气差还随大气密度不同而变，在气温高，气压低时，大气密度小，蒙气差也小；反之，气温低，气压高，大气密度大，则蒙气差也大。在大气平均状态 [气温 $+10^\circ\text{C}$ ，气压 1013.25 hPa (760 mm) 时]，蒙气差的计算公式为：

$$\rho_0 = 1.00145' \text{ctg} h'_D - 0.00111' \text{ctg}^3 h'_D \quad (4.4)$$

式中 h'_D 为天体地平视高度，如图 4-2-1 中的 $\angle S'AH$ 。

根据公式 (4.4) 编制成航海表，表 I-2a，即平均蒙气差 (折光差) 表。表 I-2b 和表 I-2c 分别为平均蒙气差温度改正表和气压改正表，当天体高度大于 30° 时，温度和气压对平均蒙气差的改正值甚微，可以省略不计。

2. 眼高差 (dip, d) 由于测者眼睛距海平面有一定高度, 所见水天线的方向并不是地平方向, 如图 4-2-2 所示。

设测者在 E 点观测天体 S 的高度, 测者眼睛距海平面的高度为 $EA=e$, 即测者眼高为 e , 测者的地平方向为 EH 。因为有眼高 e , 测者所见的水天线将在地平方向的下方, 如果没有地面气层折光的影响, 从测者 E 至地球表面切线 ED 的方向, 便是测者看见的水天线方向, 但由于地面气层折光的影响, 使测者从 E 能看见的水天线在 B , 即光线从 B 处经折射沿曲线 BE 射向测者, 因此, 测者实际看见的水天线方向, 就是该曲线进入测者眼睛时的切线方向 EB' 。

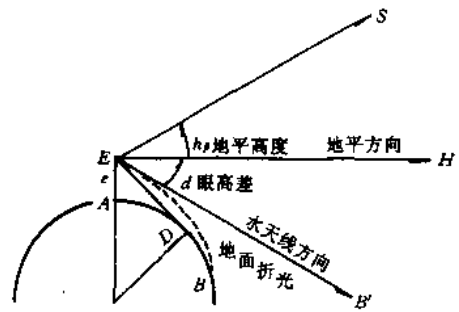


图 4-2-2 眼高差图

测者地平方向与水天线方向之间的夹角, 便称为眼高差 (d)。如图 4-2-2 中的 $\angle HEB'$ 。

图中 $\angle HES$ 称为天体地平高度 (h_0)。从图看出, 用六分仪观测天体与水天线的夹角得到的观测高度 (h), 由于有眼高 e , 测者所见水天线方向总在地平方向之下, 即天体观测高度总比地平高度多出一个眼高差 (d), 为了求得天体地平高度, 就须从观测高度中减去眼高差, 所以眼高差的符号恒为负 (-)。

眼高差的大小取决于测者眼高及地面折光状况。当眼高为 0 时, 眼高差亦为 0, 眼高愈大, 眼高差也愈大。此外, 地面折光愈大, 水天线被抬得越高, 则眼高差愈小。

在平均地面折光状况下, 眼高差的计算公式为

$$d' = 1.765 \sqrt{e} \quad (4.5)$$

式中 眼高 e 的单位为 m , 眼高差 d' 的单位为 “'”。

在航海表 I-1b 中以及在《B105》表封面内, 载有按公式 (4.5) 编算出的在平均地面折光状况下的眼高差表。

3. 半径差 (semi-diameter SD) 天体的真高度应计算到天体的中心, 但为了便于观测, 对太阳和月亮都是测它的上下边沿和水天线相切。这样, 所测的天体高度与它的中心高度相差了一个半径的张角, 称为半径差 (SD), 如图 4-2-3 所示。

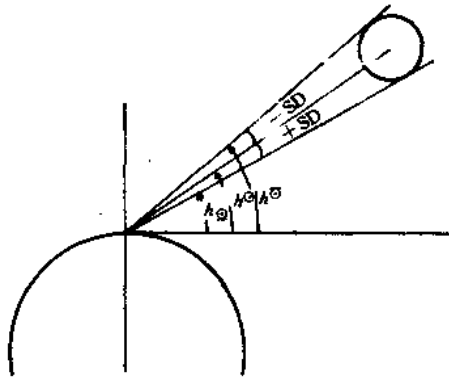


图 4-2-3 半径差图

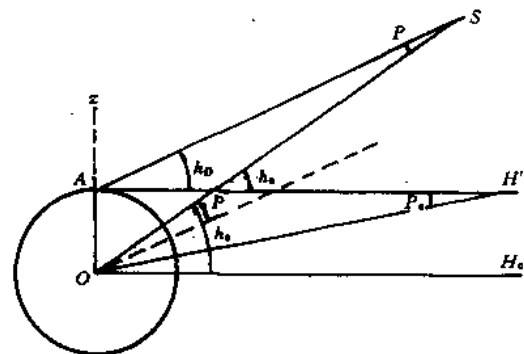


图 4-2-4 天体视差图

从图看出, 观测太阳、月亮的下边沿高度时, 应加上半径差 (SD) 才得中心高度, 所以半径差的符号为正 (+), 反之, 如观测它的上边沿高度, 则应减去半径差 (SD) 才能得中心高度, 所以半径差的符号为负 (-)。即

$$\text{天体中心高度 } h = h_{\ominus}^{\odot} \mp SD \quad (4.6)$$

式中 h_{\ominus}^{\odot} 为观测天体的上边沿高度。

太阳或月亮的半径差,随着它距地球的远近而变化。一年中太阳的半径差从 15.8'~16.3',在冬季较大而夏季较小。月亮的半径差从 14.7'~16.8'。

在《航海天文历》内,太阳半径每三天列一值,排在太阳栏表首。在天体位置栏的右下方载有每天世界时 0000 和 1200 的月亮半径值,月亮的视半径因为变化较快,需根据观测时间进行内插计算。

对星体是直接观测其中心点与水天线重合,所以不存在半径差的问题。

4. 天体视差 (parallax, P) 在天文定位里所要求的天体真高度 (h_0),是以地心为基准计算的地心真高度。如图 4-2-4 中的 $\angle H_0OS$ 。测者在地面上观测,在修正了蒙气差、眼高差和半径差后,所得的高度为地平真高度 (h_D),如图中 $\angle SAH'$ 。从图看出,由于受地球半径的影响,天体的地平真高度 (h_D) 与地心真高度 (h_0) 之间有一差角,即天体视差角 (P)。也可以说,天体视差相当于从天体看测者与地心连线的张角。因为地平真高度总是要加上视差才能等于地心真高度,所以视差的符号恒为正 (+)。

天体视差的大小随天体的高度而变。当高度等于 90°时,视差为 0;高度减小,视差增大,当天体地平高度为 0 时,视差最大,称为地平视差 (P_0),

天体视差的计算公式为

$$P = P_0 \cos h_D \quad (4.7)$$

天体视差还随天体距地球的远近而变化。距地球近,视差大;距地球远,视差小。月亮的地平视差约为 53.9'~61.5';太阳约等于 0.15',金星、火星的地平视差最大可达 0.5' 左右。其它星体因距地球太远,视差趋近于 0,可忽略不计。

在《航海天文历》天体位置栏的右下方,载有太阳及行星的地平视差,每三天一次,以及月亮每日世界时 0000 和 1200 的地平视差。因月亮的地平视差变化较快,使用时应根据观测时间进行内插计算。

通过上述讨论,天体观测高度的修正量可综合归纳如图 4-2-5。

求天体真高度的计算公式如 (4.8)、(4.9)。

$$h' = h_s + (i + s)$$

式中 h' ——天体观测高度

h_s ——天体六分仪高度

$(i + s)$ ——六分仪指标差与器差之和

$$\text{太阳真高度 } h^\odot = h' - d - \rho \mp SD_\odot + P \quad (4.8)$$

$$\text{星体真高度 } h^* = h' - d - \rho$$

$$(\text{金星、火星} + P) \quad (4.9)$$

求月亮真高度的计算公式同 (4.8)。

二、天体观测高度的修正方法

天体的观测高度需要经过蒙气差、眼高差、半径差及视差的修正才能得出真高度。具体方法可以

采用分别修正或综合修正。海军航保部出版的《航海表》内表 I-4a、b、c,分别为太阳、星体、月亮高度总改正表,是目前被广泛使用和较为简便的一种综合修正用表,现将使用方法介绍如下:

1. 修正太阳的观测高度求真高度。

根据公式 (4.8)

$$h^\odot = h' - d - \rho \mp SD_\odot + P$$

在《航海表》表 I-4a “太阳高度总改正表”中,表内数值是太阳下边观测高度化为真高度的总改正值。为上式 $(-d - \rho + SD_\odot + P)$ 的代数数和。其中蒙气差 ρ 是在气温 10°C 气压 1013.2 hPa (760 mm) 状况下的数值,半径差 SD 采用平均值 16', 视差数值是用太阳地平视差等于 0.15', 即 $P = 0.15' \cos h_D$ 计算出来的。查表引数为测者眼高 (m) 及观测高度。总修正量的正负号在表上有注明。

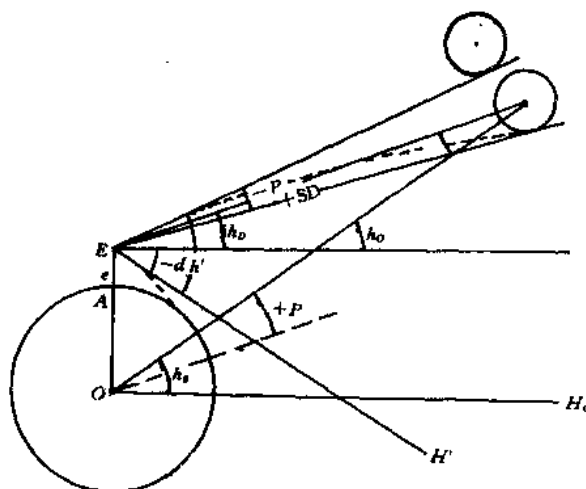


图 4-2-5 天体观测高度的修正

因为太阳半径在一年中有周期性的变化，对于在观测日期太阳半径不等于 $16'$ 的差值，需要另行订正。表 I-4a₁ 和表 I-4a₂，分别为观测太阳下（上）边高度时，太阳半径差不等于 $+16'$ 的补充订正。

利用《航海表》从太阳观测高度求太阳真高度的计算程序可归纳为：

$$h_{\odot} = h' + (\text{表 I-4a}) + [\text{表 I-a}_{1(2)}]$$

例 1，9 月 5 日在黄海，观测太阳下边沿六分仪高度 $h_s^{\odot} = 41^{\circ}31'$ ，六分仪修正量 $(i+s) = -1'$ 眼高 $e = 6 \text{ m}$ ，求太阳真高度。

解：

$$\text{六分仪高度 } h_s^{\odot} = 41^{\circ}31'$$

$$\text{仪器修正量 } (i+s) = -1'$$

$$\text{观测高度 } h^{\odot} = 41^{\circ}30'$$

$$\text{总修正 } \Delta h = +10.7' \text{ (航海表 78 页, 表 I-4a, 眼高 6 m)}$$

$$\text{补充订正 } \Delta h' = -0.1' \text{ (表 I-4a}_1, 09-05)$$

$$\text{真高度 } h^{\odot} = 41^{\circ}40.6'$$

如观测高度或眼高的数值处在表列引数之间时，视情况需要时应进行内插。

例 2，3 月 1 日在东海，观测太阳下边沿六分仪高度 $h_s^{\odot} = 21^{\circ}15'$ ，六分仪修正量 $(i+s) = +3.8'$ ，眼高 5.5 m ，求太阳真高度。

解：

$$\text{六分仪高度 } h_s^{\odot} = 21^{\circ}15'$$

$$\text{仪器修正量 } (i+s) = +3.8'$$

$$\text{观测高度 } h^{\odot} = 21^{\circ}18.8'$$

$$\text{总修正 } \Delta h = +9.5'$$

$$\text{补充订正 } \Delta h' = +0.2'$$

$$\text{真高度 } h^{\odot} = 21^{\circ}28.5'$$

2. 修正星体的观测高度求真高度。

一般星体观测高度的修正量只有眼高差和蒙气差。

$$h_0^* = h' - d - \rho$$

航海表 I-4b 就是根据不同的观测高度和眼高编算出星体高度总改正值表，其值等于眼高差及在平均大气状况下蒙气差的总和，因为眼高差和蒙气差都是负的，所以总修正量的符号恒为负（-）。

例 1，10 月 15 日在东海，测得北极星六分仪高度 $h_s^* = 31^{\circ}15.5'$ ，仪器修正量 $= +1.5'$ ，眼高 4 m ，求北极星真高度。

解：

$$\text{六分仪高度 } h_s^* = 31^{\circ}15.5'$$

$$\text{仪器修正量 } (i+s) = +1.5'$$

$$\text{观测高度 } h' = 31^{\circ}17.0'$$

$$\text{总修正 } \Delta h' = -5.2' \text{ (航海表 I-4b)}$$

$$\text{真高度 } h_0^* = 31^{\circ}11.8'$$

行星中的金星和火星，因离地球较近，有视差，所以还须用表 I-4b₁，进行对视差的补充订正。该表查表引数为高度和地平视差，高度可直接用观测高度，地平视差可按日期在航海天文历天体位置栏的右下侧查得。

例 2，1992 年 10 月 5 日昏影时间在东海南部观测金星，六分仪高度 $h_s^* = 34^{\circ}25.7'$ ，仪器修正量 $= -2.3'$ ，眼高 $e = 5 \text{ m}$ ，求真高度。

解:

$$\text{六分仪高度 } h_s = 34^\circ 25.7'$$

$$\text{仪器修正量}(i+s) = -2.3'$$

$$\text{观测高度 } h' = 34^\circ 23.4'$$

$$\text{总修正 } \Delta h = -5.4' \text{ (表 I-4b)}$$

$$\text{补充订正 } \Delta h_1 = +0.1' \text{ (查年历 5/10 金星地平视差 } P_0, \text{ 用 } P_0 \text{ 及 } h' \text{ 查表 I-4b}_1)$$

$$\text{真高度 } h^* = 34^\circ 18.1'$$

3. 修正月亮的观测高度求真高度

根据公式 (4.8)

$$h_0^b = h' - d - \rho \mp SD \frac{1}{2} + P$$

由于月亮的半径差及视差变化较大,不宜像太阳那样,取SD及P的平均值来制表。在月亮观测高度的修正量中,眼高差e只随眼高而变,与高度无关;蒙气差ρ、半径差SD及视差P的值可通过地平高度(h_D)及地平视差(P₀^b)导出[见公式(4.4)及(4.7)],另外,月亮半径差SD的计算公式经证明为SD=0.273P₀^b]。因此,月亮观测高度的修正可分二步进行,即先以眼高为引数从表I-1b中查得眼高差(d)对观测高进行修正得地平高度[h_D^b=(h'-d)],然后以所得的地平高度h_D^b和在航海天文历中以日期和观测的世界时为引数查得的月亮地平视差P₀为引数,在航海表表I-4c中查出其余的修正量,其值为(-ρ±SD¹/₂+P)的代数和,它的符号只有在观测月亮上边沿且高度较大时是负(-)的,其余均为正(+)值,正负号表上有注明。

例,1992年5月14日,北京时18h30min,在渤海湾观测月亮下边沿高度,六分仪高度h_s^b=56°45.8',仪器修正量(i+s)=+1.7',眼高e=6.5m,求月亮真高度。

解:

$$\text{六分仪高度 } h_s^b = 56^\circ 45.8'$$

$$\text{仪器修正量}(i+s) = +1.7'$$

$$\text{观测高度 } h^b = 56^\circ 47.5'$$

$$\text{眼高差 } d = -4.5' \text{ (表 I-1b)}$$

$$\text{地平高度 } h_D^b = 56^\circ 43.0'$$

$$\text{总修正 } \Delta h = +46.9' \text{ (表 I-4c}_1, \text{ 引数为 } h_D \text{ 及地平}$$

视差P₀。P₀根据05-14T_G=1030

$$\text{真高度 } h_0 = 57^\circ 29'.4' \text{ 从年历查得为 } 57.9', \text{ (注)}$$

(注:渔轮在中国海区,如在晨光时间观测可从年历直接查取世界时0时的月亮视差值,如在昏影时间观测,可直接查取世界时12时的月亮视差值,并以此为引数在航海表表I-4c查取高度修正量。但如在世界其它海区或其它时间,则仍应根据观测的世界时进行内插计算)

4. 用《B105》表修正天体观测高度求真高度

修正天体的观测高度求真高度,除了采用如上述《航海表》的方法外,还有许多种方法。在我国渔船上天文定位都用《B105》表,天体观测高度也可以用《B105》表进行修正。

《B105》表修正天体观测高度的方法与《航海表》的主要不同点是它对各天体都一律先修正眼高差,然后再进行综合修正。各天体的观测高度修正表印在《B105》表封面的内页,其计算程序如下:

求太阳真高度:

$$h^\circ = h' + (\text{眼高差}) + (\text{太阳综合修正}) + (\text{半径附加订正})$$

求星体真高度:

$$h^* = h' + (\text{眼高差}) + (\text{星体综合修正}) + (\text{金星、火星视差补充订正})$$

求月亮真高度的步骤方法与《航海表》的相同,即:

$$h_D = h' + (\text{眼高差}) + (\text{月亮综合修正})$$

查月亮综合修正值时的引数月亮地平视差需要根据观测时间从航海天文历中查得。

例1 (同本节太阳例1), 9月5日在黄海, 观测太阳下边沿六分仪高度 $h_s^{\odot} = 41^{\circ}31'$, 六分仪修正量 $(i+s) = -1'$, 眼高 $e = 6\text{ m}$, 求太阳真高度。

六分仪高度 h_s^{\odot}	=	$41^{\circ}31'$	
仪器修正量 $(i+s)$	=	$-1'$	
观测高度 h'	=	$41^{\circ}30'$	
眼高差 e	=	$-4.3'$	
		$= 41^{\circ}25.7'$	地平高度 h_D
总改正 Δh	=	$+15.0'$	
补充订正 $\Delta h'$	=	$-0.1'$	
真高度 h	=	$41^{\circ}40.6'$	

因为《航海表》或《B105》表的“观测高度修正量表”都是按照平均大气状况下气温 10°C , 气压 1013.2hPa (760mm) 的蒙气差值编制的, 如果观测时的气温、气压与制表的平均气温、气压有较大差异, 而天体高度又低于 30°C 时, 表列的修正量将含有误差, 这时可查航海表表 I-2b 及表 I-2c 进行改正。

第3节 保证真高度准确性的措施

天文船位线的精确度, 主要取决于计算高度和真高度。由于在海上天文观测的条件比较困难, 观测的高度最容易产生误差, 须知观测高度差 $1'$ 则船位线误差为 1 n mile , 所引起的船位误差将要更大。而且, 通常对观测产生的误差在当时是不容易发现和纠正的, 因此要求航海人员必须熟练掌握观测要领, 加强练习, 积累经验, 以保证所求真高度的准确。下面介绍保证真高度准确性的注意事项和措施。

一、观测天体高度的注意事项

1. 要正确使用六分仪 首先, 要按照要求, 正确维护保管好六分仪, 使六分仪各部件随时处在良好状态。在每次观测之前都要进行例行检查和重新测定指标差。观测前须根据本人视力调好望远镜焦距, 根据天体亮度及水天线反光情况, 选择合适的滤光片, 使光线柔和, 轮廓清晰。

2. 要保证垂直相切 如前所述, 观测天体高度时, 必须使分度弧平面与天体方位圈的平面重合, 即六分仪必须在真地平的垂直平面上, 否则将产生误差。如果相切时六分仪拿偏了, 不是保持垂直, 则测得的高度必定比实际高度大, 这是初学观测的人最易犯的毛病。如图

4-3-1。

保证垂直相切的办法是摇摆六分仪, 先大摆后小摆, 找到与水天线 HH' 的垂直线 SA 附近, 并继续转动鼓轮到相切或等待相切。

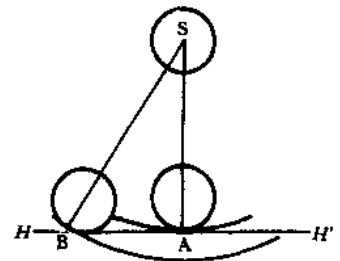


图 4-3-1 垂直相切

3. 要看清水天线 往往由于水天线方向的强烈反光, 或海面上有云影、薄雾和水蒸气, 以及天边有条状低云等原因, 容易将水天线的位置看错, 在观测时应注意分辨。辨别真假水天线的办法, 可以先环视周围, 参照左右附近清晰水天线的位置来帮助确定观测方向水天线的位置, 必要时也可用高倍率望远镜来帮助辨别。在天气不良, 水天线模糊时, 可以连续观测几个高度, 取其时间及高度的平均值来计算。

4. 选择适当的观测位置 在视距不良, 海面有薄雾或水气时, 在较低的位置观测能使水天线看得清楚一些; 海面浪大, 水天线呈锯齿状, 在较高的位置所看见的水天线较为平滑, 在风浪大时, 尽量选择避风和受震动较少的位置观测。

5. 要保证高度修正量的准确 主要是要避免实际蒙气差与眼高差和表列的修正量不相符。应尽量避免观测 10° 以下的天体。因为高度低，蒙气差的影响大，并且随各气层气温气压和海水温度的不同而迅速变化，表上的高度修正值即使经过补充订正，难免还会有剩余误差。尤其是春夏间在海湾（如渤海湾）或近岸，水温和水面气温或岸上温度相差较大，有时会出现异常折光，如果高度低，眼高大，则所受的影响也大。此外，如果由于船舶装载吃水及观测位置等原因，使眼高发生变化时，应根据实际眼高查表修正。

二、提高观测高度准确性的措施

所测定的天文船位是否准确，主要取决于计算和观测两方面。计算虽然繁琐，但要求计算不出差错还是容易做到的，而且算错了还可以检查出来。至于观测则不同，观测精度要求高，难度大，有误差还不易于发现。所以，提高观测高度的准确性，是保证船位准确性的关键环节。航海人员应经常对观测准确性进行锻炼检查和总结提高。下面介绍几种常用的方法：

1. 用定点观测检查 在岸边，选择一个能在海图上量出其准确位置的地点，或在有准确锚位的船上进行观测，根据观测点的经纬度和当时眼高，计算出船位线的高度差。因为计算高度用的是准确位置和经纬度，所以，如果观测没有误差，则高度差 $(h-h_s)$ 应为 0，船位线应通过观测点，如图 4-3-2。如果高度差不为 0，则高度差 $(h-h_c)$ 的值就是观测的误差值。当高度差为正（+）时，说明观测高度测大了，通常是由于六分仪拿偏了，没找到垂直切点，或者是天体边沿叠入水天线之下等原因；当高度差为负（-）时，说明观测高度测小了，通常是由于天体影象飘离水面，天体与水天线之间留有空隙，这可能因为滤光片及望远镜焦距没调好，天体和水天线轮廓不清晰，也可能是测者视力的错觉。测者应分析产生观测误差的原因，有针对性地检查、纠正，不断总结提高。一般地说，用这次种方法进行五到十次的锻炼和校正，对太阳的观测误差约可稳定在 $\pm 0.5'$ 左右，测星可稳定在 $\pm 0.7'$ 左右，便可以达到一个称职航海人员的要求。

2. 与有经验测者进行比对 以一位观测水平较高的测者为标准，和其他测者同时进行观测比对。观测时，各人将天体影像拉到水天线上找好垂直切点，并转动微动螺使天体与水天线持续保持相切状态，由一人发口令“预备”，“到”，各人根据六分仪同时观测到的读数修正指标差及器差后得出的观测高度，然后与作为标准测者所测的高度比对，看是测大了还是测小了。这种方法用来帮助初学者检查纠正较大的观测误差，掌握观测要领，收效较快。

3. 用邻近的卫导船位或陆测船位比对 这种方法基本上与“用定点观测检查”相同，区别在于所用基准是陆测船位或卫导船位并且要与天文观测推算到同一时间，所以它的可靠性要比用定点检查的方法差些。

4. 用等间隔观测检查 当天体不是在中天附近，天体高度的变化在短时间内基本是匀速的。因此，可以连续用等间隔（高度每隔 $5'$ 或 $3'$ ）观测一组天体高度，同时记下每次观测的时间，然后观察每相邻二次观测的时间是否一致，或基本一致，同时查《航海表》表 I-5，看所观测的高度变化速度与表列数值是否相符。如果实际观测的变化速度与表列速度相差较小，且每相邻二次的时间间隔基本相等，说明测者的观测水平较好而且较稳定。反之，如发现变化不规律、相差较大或出现跳动，就说明测者观测不够稳定和熟练。

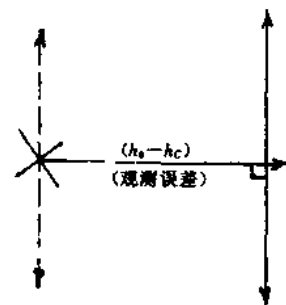


图 4-3-2 定点观测校正

第5章 船位测定

船位测定是天文航海学研究的主要对象，也是渔业船舶驾驶人员应当掌握的基本方法。

根据天文船位原理，观测一个天体可以而且只能得到一条天文船位线，而要测定船位必须观测两个或两个以上的天体，得到两条或两条以上夹角合适并对应于同一地点（即同一天顶）的天文船位线。然而，在使用普通航海六分仪进行观测的条件下，这不是随时都可以做到的。因为在白天，虽水天线清晰、适于观测的时间较长，但除有时可以同时看到太阳和月亮或金星外，通常只能观测到太阳；在夜晚，虽可供观测的星体较多，但除偶尔可以在明亮月光下看清水天线外，观测时机通常被局限在晨光昏影中一段较短的时间内。这些基本特点，决定了观测太阳定船位和观测星体定船位具有不同的具体方法和工作步骤。

第1节 观测太阳定船位

一、太阳移线定船位的原理和方法

(一) 移线定位 第一次观测太阳后，必须等待一段时间（一般1~2h），使太阳方位变化适当角度，再进行第二次观测。船舶在航行中，这样异时观测求得的两条天文船位线不属于同一天顶，需要用移线的方法，将它们转化为相当于同一天顶测得的两条天文船位线，其交点才是观测船位（observed position）。在实际工作中，通常将第一条船位线转移，使之相当于第二次观测时所测的船位线，而与第二条船位线相交，求得第二次观测时的船位。

如图5-1-1，设在船时 T_{S1} ，推算船位为 EP_1 ，测得船位线 $I-I$ ；在船时 T_{S2} ，推算船位为 EP_2 ，测得船位线 $I'-I'$ 。在第一次观测时，船位在 $I-I$ 上，到第二次观测时，船位自然就不在 $I-I$ 上，而是在 $I'-I'$ 上了。设第一次观测时，船位在 $I-I$ 的 a 点，则第二次观测时，船位应在自 a 点，按两次观测间的航迹向 CG 和实际航程 s_C 推算出的 a' 点。同理，若第一次观测时，船位在 $I-I$ 的 b 、 c 或 K_1 点，则第二次观测时，船位应在依此推算出的 b' 、 c' 或 K_1' 点。显然，

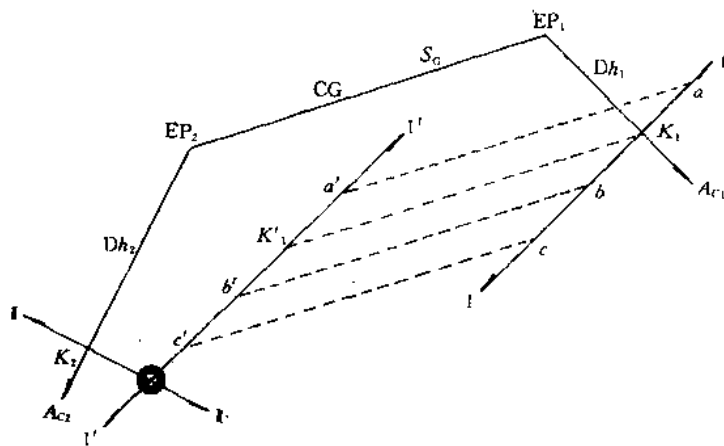


图 5-1-1 观测太阳移线定船位原理

不论第一次观测时，船位在 $I-I$ 的那一点，到第二次观测时，必定在 a' 、 b' 、 c' 和 K_1' 点的连线，即把 $I-I$ 按两次观测间的航迹推算平移得的 $I'-I'$ 上。因为，这时船位又同时在 $I'-I'$ 上，所以， $I'-I'$ 与 $I-I$ 的交点便是船位。这种定位方法，称为移线定位（running fix）。

(二) 两种移线定位方法

1. 直接移线法 如图5-1-2，第一次观测后，即在海图上画出船位线 $I-I$ 。待得到船位线 $I'-I'$ 后，便在 $I-I$ 上任取一点，比如 K_1 点，并自该点按两次观测间的航迹向 CG 和实际航程 s_C 推算出 K_1' 点。然后，将 $I-I$ 平移到 K_1' 点，即为移线（transferred position line） $I'-I'$ ，使之与 $I'-I'$ 相交，定出船位。

如图 5-1-3, 若 I—I 与航迹线相交于 a 点, 则可在航迹线上, 按 $aa' = s_G$, 截取 a' 点, 作出移线 I'—I', 与 I—I 相交, 定出船位。

2. 间接移线法 如图 5-1-4, 因为 $EP_1EP_2K_1K_1'$ 为一平行四边形, EP_2K_1' 与 EP_1K_1 平行且相等, 即 EP_2K_1' 的方位与 A_1 相同, 长度与 Dh_1 相等, 所以, 以 EP_2 为基准, 按 A_1 和 Dh_1 , 作船位线, 与先在 EP_1 作船位线再移线的效果相同: 画出的就是 I—I 的移线 I'—I'。它与 I—I 的交点, 即所求之第二次观测时的船位。

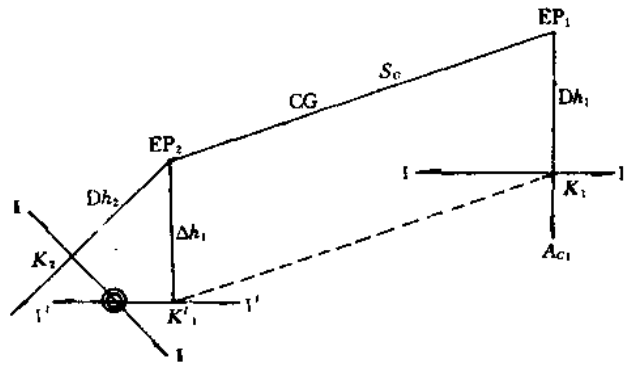


图 5-1-2 在海图上直接移线定位

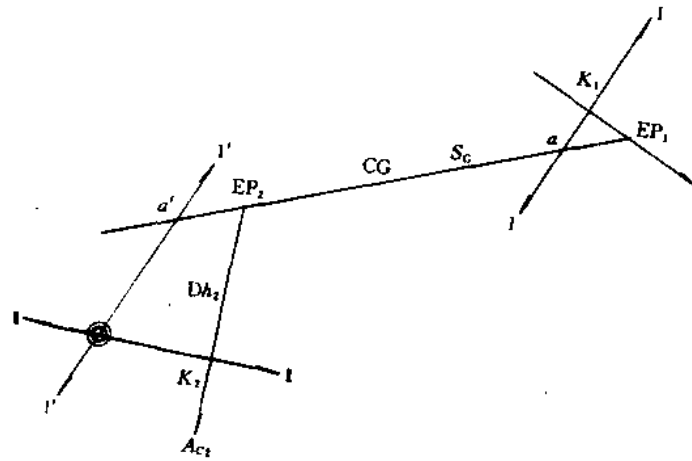


图 5-1-3 在海图上自船位线与航迹线的交点移线定位

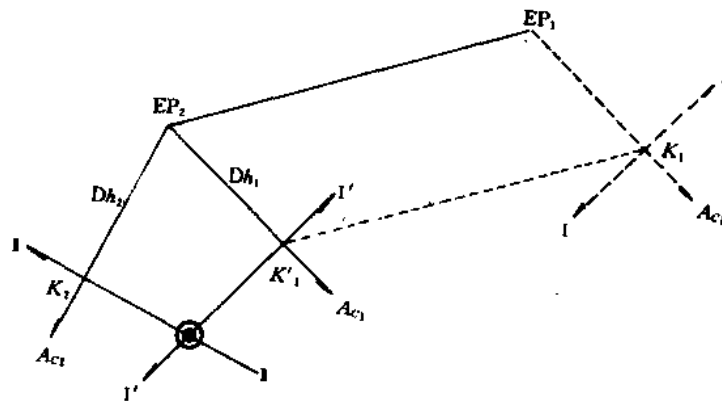


图 5-1-4 一点作图移线定位

这种方法, 是较简便和常用的作图法。它既适用于在海图上, 也适用于在方格纸或白纸上作业。

二、观测太阳定船位的工作步骤

(一) 准备

1. 推算观测时的天文钟钟(表)差。

1992年5月10日

纬度 $\varphi = 35^{\circ}43.0'N$
经度 $\lambda_c = 122^{\circ}15.0'E$

航向 $H = 75^{\circ}$
航速 $v = 14 \text{ kn}$

眼高 $e = 5 \text{ m}$

气温 $t =$
气压 $p =$

		I 船位线	II 船位线	III 船位线	北极星			I 船位线	II 船位线	III 船位线	
天体	\odot	\odot			I	船时 T_c		0715	1013		
六分仪读数	27°41.6'	62°33.6'			II	时区 $N \frac{E}{W} \frac{-}{+}$		-8	-8		
$t+s$	-2.5'	-2.3'			Σ	近似世界时		2315	0213		
观测高度 h'	27°39.1'	62°31.3'			h	日期		5-9	5-10		
改正量	+10.4'	+11.6'			φ	I 船位线 作图点 $\varphi_c =$ $\lambda_c =$					
	-0.1'	-0.1'				原来度数	查表度数			h'_c 27°45.7'	
真高度 h	27°49.4'	62°42.8'			$\delta = 17^{\circ}37.4'N$	$\delta' = 17^{\circ}30'$	$\Delta\delta$	+7.4'	Δd +53	Δh_{δ} +3.9'	
异顶差 Δh_s					$t = 68^{\circ}02.0'E$	$t' = 68^{\circ}$	$\Delta t'$	+2.0'	Δt -81	Δh_t -1.6'	
同顶高 h	15'30"	12'55"			$\varphi = 35^{\circ}43.0'N$	$\varphi_c = 36^{\circ}$	$\Delta\varphi_c$	-17.0'		Δh_{φ_c} -0.7'	
钟时	1100	0200			$h = 27^{\circ}49.4'$				h_c 27°47.3'		
表时					$h_c = 27^{\circ}47.3'$						
钟差	-15s	-15s			$h - h_c = +2.1'$				A_c 87.8°NE		
世界时	231515	021240			真航向	航程	表 I-1		表 I-2		
恒星 \odot, μ 行星	$(\bar{\Delta} = 1.0')$	$(\bar{\Delta} = 1.0')$	$(\bar{\Delta} =)$		度数	象限	N	S	E	W	$\varphi_m =$
	整点格林时角	165°54.2'	210°54.3'								
基本变量	3°48.5'	3°09.8'									
赤经 Δ 共重量订正值	0.3'	0.2'			Σ						
格林时角	169°43.0'	214°04.3'			纬差 =	总东西距 =		经差 =			
经度	122°15.0'	123°04.3'			$\varphi_1 =$			$\lambda_1 =$			
地方时角 (t_w)	291°58.0'	337°08.6'			$\varphi_2 =$			$\lambda_2 =$			
					I 船位线 作图点: $\varphi_c =$ $\lambda_c =$						
t_E	68°02.0'	22°51.4'			原来度数	查表度数				h'_c 62°29.8'	
赤纬差数 (Δ)	(+0.7')	(+0.6')	()		$\delta = 17^{\circ}39.3'N$	$\delta' = 17^{\circ}30'$	$\Delta\delta$	+9.3'	Δd +73	Δh_{δ} +6.8'	
整点赤纬	17°37.2'N	17°39.2'N			$t = 22^{\circ}51.4'E$	$t' = 23^{\circ}$	$\Delta t'$	-8.1'	Δt -65	Δh_t +5.6'	
Δ 订正值	+0.2'	+0.1'			$\varphi_c = 35^{\circ}53.7'N$	$\varphi'_c = 36^{\circ}$	$\Delta\varphi_c$	-6.3'		Δh_{φ_c} +3.7'	
赤纬 (δ)	17°37.4'N	17°39.3'N			$h = 62^{\circ}42.8'$				h_c 62°45.9'		
					$h_c = 62^{\circ}45.9'$						
异顶差 (Δh_s)					$h - h_c = -3.1'$				A_c 126.2°NE		
方位角 (A)			子午高		II 船位线 作图点: $\varphi_c =$ $\lambda_c =$						
航向 (TC)			子午顶距 (z)		原来度数	查表度数				h'_c	
(A-TC)			赤纬 (δ)		$\delta =$	$\delta' =$	$\Delta\delta$		Δd	Δh_{δ}	
一分钟的 Δh			纬度 (φ)		$t =$	$t' =$	Δt		Δt	Δh_t	
($T_2 - T_1$)			注: z, δ { 同名相加 异名相减		$\varphi_c =$	$\varphi'_c =$	$\Delta\varphi_c$			Δh_{φ_c}	
Δh_s					$h =$				h_c		
					$h_c =$						
					$h - h_c =$				A_c		

注: Δh_{φ_c} (+)(-) 确定; $A_c < 90^{\circ}$ 和纬度差同号
 $A_c > 90^{\circ}$ 和纬度差异号
 A_c 命名确定; 第一命名和纬度同名; 第二命名与应用时角同名。

计算者 _____

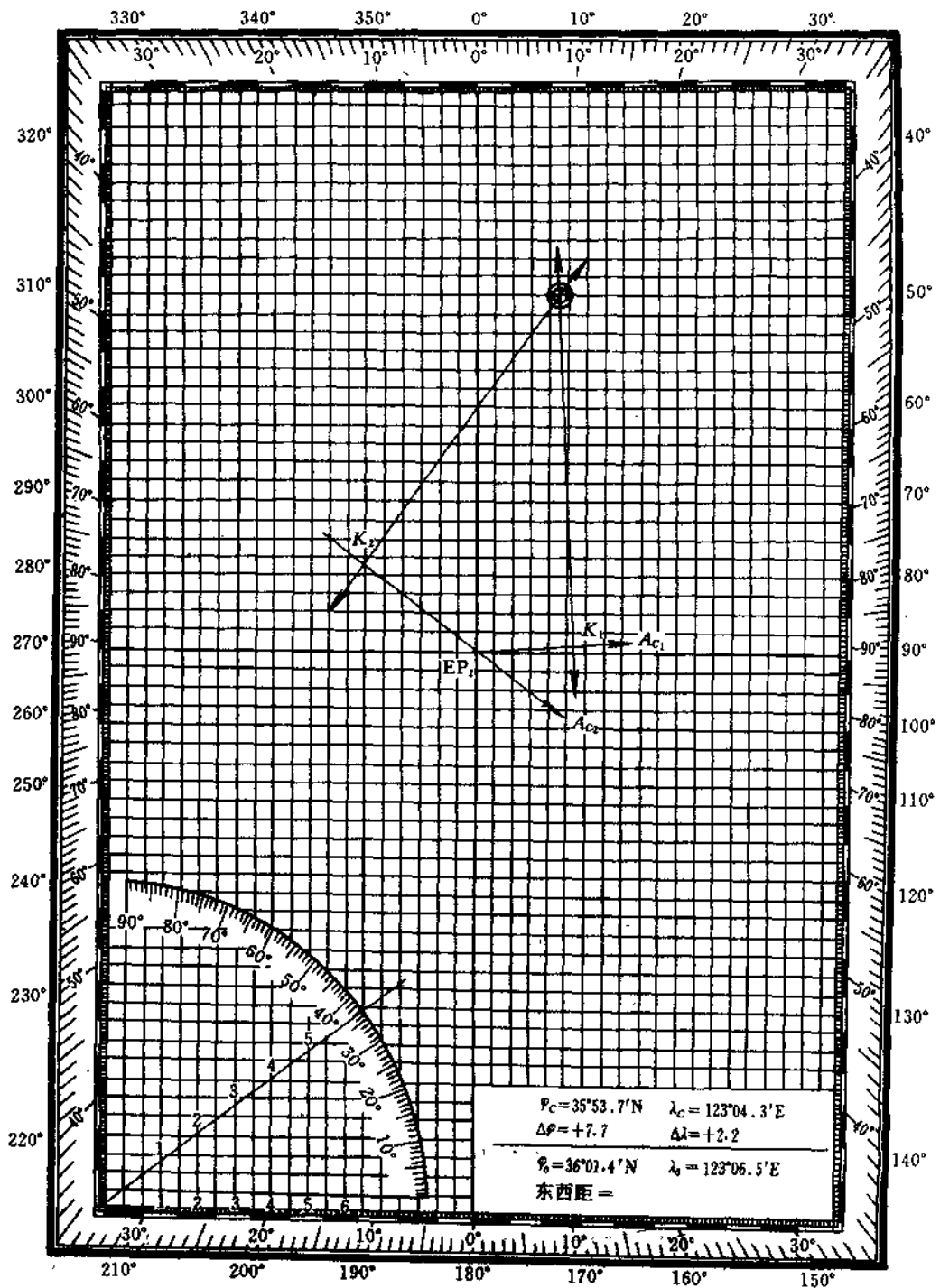


图 5-1-5

2. 进行六分仪例行检查, 测定指标差。

(二) 观测和计算第一条船位线

1. 观测太阳一组高度, 记下相应的表时;
2. 记下观测时的船时、计程仪读数、航向、航速、眼高和六分仪器差;
3. 量取推算船位经度和纬度;
4. 计算船位线要素。

(三) 观测和计算第二条船位线

1. 待太阳方位变化一定角度后, 依上述(二)之1和2, 进行第二次观测;
2. 量取第二个推算船位经度和纬度;
3. 计算第二条船位线要素。

(四) 定位

1. 使用大比例尺海图航行时, 可采用直接移线法在海图上作图定船位;
2. 使用小比例尺海图航行时, 可采用间接移线法在方格纸上作图定船位。

(五) 填写航海日志

1. 求出第一条船位线要素后, 填写船时、计程仪读数、天体名称、计算方位和高度差。
2. 求出船位后, 除按上述填写第二条船位线有关项目外, 并填写观测船位的经度和纬度及对其准确程度的评语。

例, 1992年5月10日, $T_s=07\ 15$ $\varphi_c=35^\circ 43.0' N$, $\lambda_c=122^\circ 15.0' E$, 观测太阳得:

$$h_{\odot}^{\circ}=27^\circ 41.6' \quad \text{天文钟时}=11\ 15\ 30$$

$$i+s=-2.5'$$

$T_1=1013$, $\varphi_c=35^\circ 53.7' N$, $\lambda_c=123^\circ 04.3' E$, 又观测太阳得:

$$h_{\odot}^{\circ}=62^\circ 36.6' \quad \text{天文钟时}=02\ 12\ 55$$

$$i+s=-2.3'$$

眼高 $e=5\ m$, 钟差 $=-00\ min\ 15\ s$, 两次观测之间的航迹向 075° , 航速 $14\ kn$ 。求第二次观测时的观测船位。

解: 求解结果如 75 页表及图 5-1-5。

四、提高太阳移线船位准确性的措施

(一) 减小航迹推算的误差 两次观测间的航迹向和航程推算不准, 虽对船位线 I—I 没有影响, 但对移线船位线会产生误差, 从而使移线船位产生误差。如图 5-1-6, 设 EP_2 为准确的推算船位 (相对 EP_1 而言), 则移线船位线为 I'—I'。如推算不准, 得 EP_2' , 则移线船位线为 I"—I", 使移线船位沿船位线 I—I 偏离其应有位置。为了减少这种误差, 应该:

1. 经常检查罗经差、计程仪改正率和航速的可靠性;
2. 提高操舵技能, 减小操舵偏荡;
3. 掌握可靠的风流资料, 提高航迹绘算的精度。

(二) 选择适当的太阳方位差角 航迹推算误差与两次观测的时间间隔成比例。为了减少推算误差对移线船位的影响, 时间间隔愈短愈好。但是, 在一般情况下, 时间间隔短了, 太阳方位差角, 即两条船位线交角不大, 会增大船位线误差 (主要指高度差误差) 对观测船位准确性的影响。两条船位线的交角愈小, 这种影响愈大。为了兼顾这两方面的需要, 通常以太阳方位变化 $30^\circ\sim 60^\circ$ 比较适当。

(三) 掌握有利的定位时机 太阳在上中天及其附近时, 方位变化速度最快, 在较短的时间内可以有较大的方位变化。这样, 既可减少航迹推算误差及其对移线船位的影响, 又可减少船位线误差对观测船位的影响。因此, 太阳上中天前后的一段时间, 是观测太阳移线定船位的有利时机。

此外, 在航迹向准确而航程有误差时, 太阳在正横方向或其附近时进行第一次观测; 在航程准确而航迹向有误差时, 太阳在船首尾方向或其附近时进行第一次观测, 都可以提高太阳移线船位的准确性。在

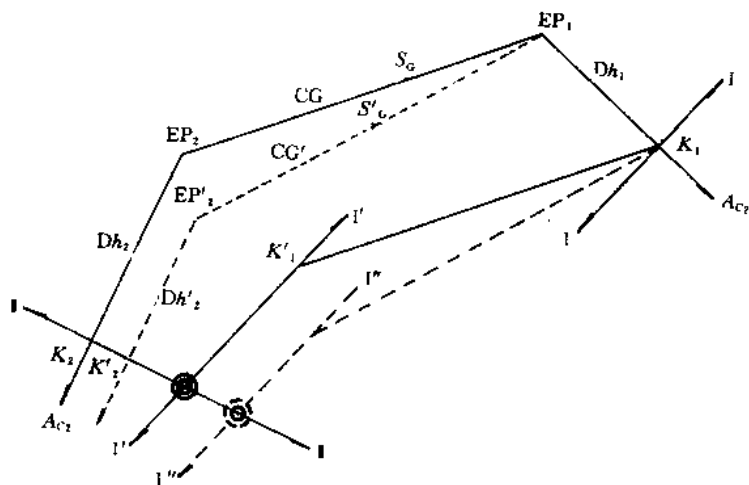


图 5-1-6 航迹推算误差对移线船位的影响

条件允许的情况下，应该利用这样的有利时机。

第 2 节 观测星体定船位

一、修正异顶差定船位的原理和方法

(一) **修正异顶差 (altitude correction for zeuth difference) 定船位的原理** 在晨光昏影时间，适于观测的星体较多，可以连续观测两个或两个以上的星体，并用同一个推算船位来计算和作图，在较短的时间内得到两条或两条以上的天文船位线。因为星体总是要逐个进行观测的，由于船舶航行，使每次观测都不在同一地点，即观测过程中测者的天顶位置发生了变化。为了准确地测定船位，必须把不同天顶（即地点）观测的船位线归化到同一天顶。

如图 5-2-1，按照移线定位原理，要求得后一次观测时的船位，可以自 K_1 点，按两次观测间的航迹向 CG 和实际航程 S_G 向前截取 P 点，并将船位线 $I-I$ 平移至该点，得到船位线 $I'-I'$ ，与船位线 $I-I$ 相交。

从图看出，不用移线作图方法，只要把高度差由 EPK_1 修正为 EPK_1' ，同样可以求得船位线 $I'-I'$ 。因为船位线 $I-I$ 对应于前一次观测时的天顶，船位线 $I'-I'$ 对应于后一次观测时的天顶，所以它们的高度差之差 K_1K_1' ，称为异顶差，以 Δh_z 表示，则

$$\begin{aligned} \Delta h_z &= K_1K_1' \\ &= EPK_1' - EPK_1 \\ &= (h_1' - h_c) - (h_1 - h_c) \\ &= h_1' - h_1 \end{aligned}$$

从而得：

$$h_1' = h_1 + \Delta h_z \quad (5.1)$$

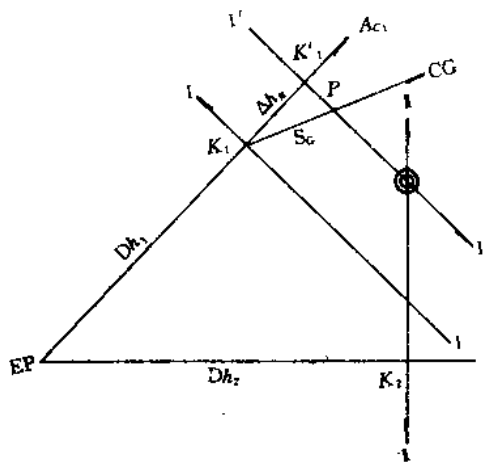


图 5-2-1 修正异顶差定船位

因为在同一时刻，同一天体对不同天顶的高度不同，所以，修正异顶差 Δh_z ，实质上是把这一天体对应于前一次观测时天顶的高度 h_1 ，订正为对应于后一次观测时天顶的高度 h_1' 。也就是说，修正异顶差求得的高度 h_1' 与后一次观测的天体高度 h_2 ，是属于同一天顶的。因此，又把 h_1' 称为同顶高。

设 Dh_1' 为船位线 $I'-I'$ 的高度差，则 $Dh_1' = h_1' - h_c$ 。以 EP 为基准，按 Dh_1' 可直接画出所求之船位线。显然，和移线作图方法相比，采用修正异顶差的方法会简便一些，是海上测星定位常用的方法。

(二) 修正异顶差的方法 由图看出，在直角三角形 $K_1K_1'P$ 中， K_1P 为两次观测间的实际航程 s_G ， $\angle K_1'K_1P = A_c \sim CG$ 即天体的舷角，故得异顶差公式为：

$$\Delta h_z = s_G \cdot \cos (A_c \sim CG) \quad (5.2)$$

因为 $s_G = \frac{v}{60} \cdot (T_2 - T_1)$ ，所以有：

$$\Delta h_z = \frac{v}{60} \cdot \cos (A_c \sim CG) \cdot (T_2 - T_1) \quad (5.3)$$

式中 航速 v 以节 (kn) 为单位；两次观测间的时间间隔 $(T_2 - T_1)$ 以分钟 (min) 为单位；天体方位 A_c 为圆周方位。

设 δh_z 为一分钟的异顶差，即

$$\delta h_z = \frac{v}{60} \cdot \cos (A_c \sim CG) \quad (5.4)$$

则得

$$\Delta h_z = \delta h_z \cdot (T_2 - T_1) \quad (5.5)$$

《航海表》中载有一分钟异顶差表 (表 I-6)。查表引数为航速 v 和天体的舷角 ($A_c \sim CG$)。在航速 v 一定的条件下，表列值的大小随天体舷角 ($A_c \sim CG$) 的不同而变化。当 $A_c \sim CG = 0^\circ$ 或 180° ，即天体在船首尾方向时，最大；当 $A_c \sim CG = 90^\circ$ 或 270° ，即天体在船正横方向时，为 0。表列值的符号只与天体舷角 ($A_c \sim CG$) 所在象限有关。当 $A_c \sim CG$ 在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 或 $270^\circ \sim 360^\circ$ 范围内，即向着天体航行时，为正 (+)；当 $A_c \sim CG$ 在 $90^\circ \sim 180^\circ \sim 270^\circ$ 范围内，即背着天体航行时，为负 (-)。

例，某渔轮 $CG = 290^\circ$ ， $v = 12\text{kn}$ ，观测双星定船位，在 $T_{G1} = 204842$ 时观测一星，其 $h_1 = 25^\circ 48.0'$ ， $A_{c1} = 45.5^\circ \text{NW}$ ，在 $T_{G2} = 205106$ 时，又观测一星。求所观测的前一颗星的同顶高 h_1' 。

解：求解结果如表 5-1。

表 5-1 用双星定船位

天体方位 A_c	314.5°
航向 CG	290.0°
天体方位~航向 $A_c \sim CG$	24.5°
一分钟的异顶差 δh_z	+0.18'
时间间隔 $T_2 - T_1$	2.4 min
异顶差 Δh_z	+0.4'
真高度 h_0	25°48.0'
同顶高 h_0'	25°48.4'

二、观测星体定船位的工作步骤

(一) 准备

1. 计算观测星体的晨光或昏影船时；
2. 选择适于观测的星组；
3. 推算观测时的天文钟钟差，准备秒表；
4. 进行六分仪例行检查，测定指标差（昏影时，则应先观测星体高度，后测定指标差）。

(二) 观测

1. 按照选定的星组，逐颗观测一组高度，记下相应的表时；
2. 观测后，记下船时、计程仪读数、航向、航速、眼高和六分仪器差。

(三) 计算

1. 量取推算船位经度和纬度；
2. 用同一推算船位经纬度（或选用经纬度）计算各星体的计算方位和计算高度；
3. 作高度修正求各星体的真高度；
4. 修正异顶差，求同顶高和各星体的高度差。

(四) 作图

1. 按照计算各星体计算方位和计算高度时使用的经纬度，定出各条船位线的作图点（用同一推算船位经纬度计算时，该经纬度为各条船位线的共同作图点）；
2. 按各条船位线要素，以其作图点为基准，分别画出各条船位线，并定出观测船位。

(五) 填写航海日志

例，1992年5月10日， $T_s=0455$ ， $\varphi_c=32^{\circ}03.5'N$ ， $\lambda_c=130^{\circ}45.0'E$ ，航向 $=200^{\circ}$ ，航速 $=14\text{ kn}$ ，钟差 $=-12\text{ s}$ ， $i+s=-1.4'$ ， $e=6\text{ m}$ ，测得：

	土 星	心 宿 二
钟时	075232	075438
h_s	$36^{\circ}39.3'$	$14^{\circ}43.5'$

求观测船位。

解：求解结果如下表及图 5-2-2。

1992年5月10日

纬度 $\varphi_c = 32^\circ 03.5' N$
经度 $\lambda_c = 130^\circ 45.0' E$

航向 $H = 200^\circ$
航速 $v = 14 \text{ kn}$

眼高 $e = 6 \text{ m}$

气温 $t =$
气压 $p =$

		I 船位线	II 船位线	III 船位线	北 极 星			I 船位线	II 船位线	III 船位线		
天 体	土 星	心宿二			I							
六分仪读数	36°39.3'	14°43.5'			I		船时 T_c	0455				
$i+s$	-1.4'	-1.4'			II		时区 $NO \frac{E-W}{+}$	-9				
观测高度 h'	36°37.9'	14°42.1'			Σ		近似世界时	1955				
改 正 量		-5.7'	-8.1'		h		日 期	5-9				
					φ							
		I 船位线		作图点		$\varphi_c =$	$\lambda_c =$					
真高度 h	36°32.2'	14°34.0'			原来度数	查表度数			h'_c	36		
异顶差 Δh_s	+0.3'				$\delta = 16^\circ 08.5'$	$\delta' = 16^\circ$	$\Delta \delta$	+8.5'	Δd	-90		
同顶高 h	36°32.5'				$t = 24^\circ 11.3'$	$t' = 24^\circ$	$\Delta t'$	+11.3'	Δt	-42		
钟 时	07	07			$\varphi_c = 32^\circ 03.5'$	$\varphi_c = 32^\circ$	$\Delta \varphi_c$	+3.5'		Δh_{φ_c}		
表 时					$h = 36^\circ 32.5'$					h_c		
钟 差	-12s	-12s			$h_c = 36^\circ 31.0'$					A_c		
世界时	195220	195426			$h - h_c = +1.5'$					150.8		
恒星 行星	$(\bar{\Delta} = 3.4')$	$(\bar{\Delta} =)$	$(\bar{\Delta} =)$	真 航 向	航 程 (s)	表 I-1				表 I-2		
						度 数	象 限	纬 差	东 西 距	$\varphi_m =$		
整点格林时角	191°56.6'	152°50.3'				N	S	E	W	东 西 距	经 差	
基本变量	13°04.1'	13°38.7'										
赤 经 共 轭 量	Δ 订 正 值	3.0'	112°45.3'									
格林时角	205°03.7'	279°14.3'			Σ							
经 度	130°45.0'	130°45.0'			纬 差 =	总 东 西 距 =				经 差 =		
地方时角 (t_w)	335°48.7'	49°59.3'			$\varphi_1 =$					$\lambda_1 =$		
					$\varphi_2 =$					$\lambda_2 =$		
					I 船位线		作图点:		$\varphi_c =$	$\lambda_c =$		
t_E	24°11.3'				原来度数	查表度数				h'_c	14°33.6'	
赤纬差数 (Δ)	()	()	()		$\delta = 26^\circ 25.0'$	$\delta' = 26^\circ 30'$	$\Delta \delta$	-5.0'	Δd	-74	Δh_δ	+3.7'
整点赤纬					$t = 49^\circ 59.3'$	$t' = 50^\circ$	$\Delta t'$	-0.7'	Δt	-60	Δh_t	+0.4'
Δ 订正值					$\varphi_c = 32^\circ 03.5'$	$\varphi_c =$	$\Delta \varphi_c$	+3.5'			Δh_{φ_c}	-2.5'
赤纬 (δ)	16°08.5'	26°25.0'			$h = 14^\circ 34.0'$						h_c	14°35.2'
异 顶 差 (Δh_s)		子 午 高 求 纬 度			$h_c = 14^\circ 35.2'$							
方位角 (A)	150.8°				$h - h_c = -1.2'$						A_c	134.9°
航向 (TC)	200°				II 船位线		作图点:		$\varphi_c =$	$\lambda_c =$		
(A-TC)	49.2°				原来度数	查表度数					h'_c	
一分钟的 Δh	0.15				$\delta =$	$\delta' =$	$\Delta \delta$		Δd		Δh_δ	
($T_2 - T_1$)	2.1				$t =$	$t' =$	$\Delta t'$		Δt		Δh_t	
Δh_s	+0.3'				$\varphi_c =$	$\varphi_c =$	$\Delta \varphi_c$				Δh_{φ_c}	
					$h =$						h_c	
					$h_c =$							
					$h - h_c =$						A_c	

注: Δh_s (+)(-) 确定, $A_c < 90^\circ$ 和纬度差同号
 $A_c > 90^\circ$ 和纬度差异号
 A_c 命名确定, 第一命名和纬度同名, 第二命名与应用时角同名。

计 算 者

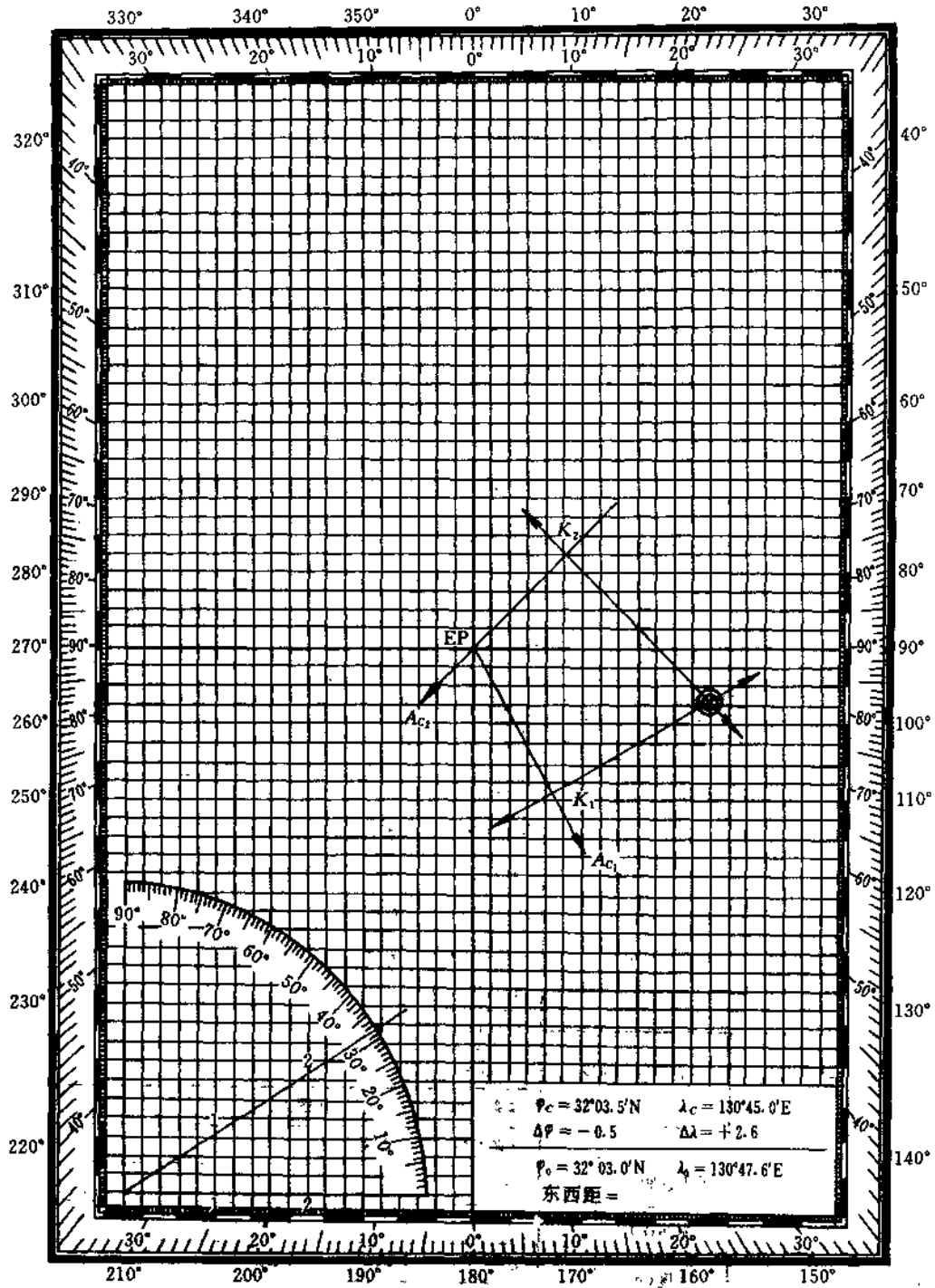


图 5-2-2

第3节 晨光昏影时间计算

一、晨光昏影的概念

在日出前和日落后，有一段时间天空呈现微光，这种现象通常称为黎明和黄昏，在天文上叫做晨光 (morning twilight) 和昏影 (evening twilight)。

这里所称日出和日落，是指在周日视运动中太阳上边缘与水天线相切的现象，称为日视出 (apparent sunrise) 和日视没 (apparent sunset)。如图 5-3-1。日视出和日视没的时刻，分别为晨光终了和昏影开始的时刻。这时，太阳上边缘观测高度 $h_{\odot} = 0$ ，根据高度改正公式，太阳真高度为：

$$h_0 = 0 - d - \rho - SD + P$$

设眼高 $e = 6.1 \text{ m}$ ，且取 $SD = 16.0'$ ， $P = 0.2'$ ，则

$$\begin{aligned} h_0 &= 0 - 4.4' - 35.5' - 16.0' + 0.2' \\ &= -55.7' \end{aligned}$$

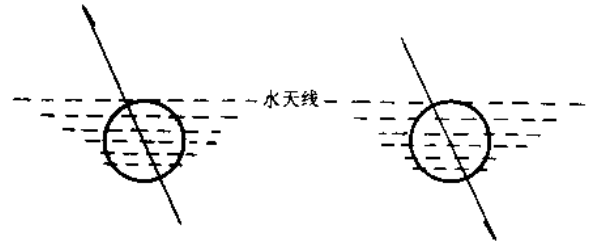


图 5-3-1 日视出和日视没

我国《航海天文历》所用的求日出和日落的太阳真高度为 $-50'$ ，这是因为只假设折光差 (ρ) 为 $34'$ ，太阳半径 SD 为 $16'$ ，而未计眼高差 (d) 和视差 (P)。

在周日视运动中，太阳真高度达到 -18° 时，标志着曙光初露或暮色消失。这一时刻，分别为晨光开始和昏影终了的时刻。

晨光昏影由地球大气散射太阳光所引起，其持续时间的长短，依日期和测者纬度不同而异。晨光昏影中海上能见度不断变化。如图 5-3-2，为了使用方便，依照太阳真高度的不同，晨光昏影分为民用、航海和天文晨光昏影等三种。

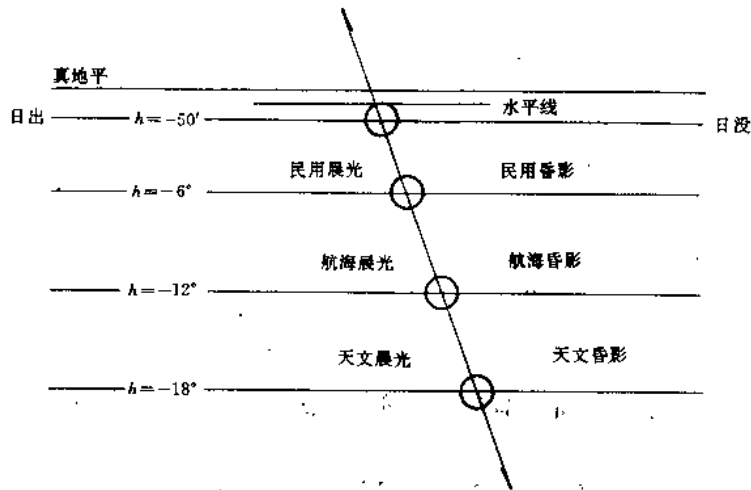


图 5-3-2 晨光昏影及其区分

1. 民用晨光昏影 (civil twilight) 指太阳真高度为 $-50' \sim -6'$ 的一段时间。在这段时间内，天空明亮，可清晰辨别周围的景色和水天线，也可看到明亮的恒星和航用行星。当太阳真高度为 $-6'$ 的时刻，称为民用晨光始或民用昏影终。

2. 航海晨光昏影 (nautical twilight) 指太阳真高度为 $-6' \sim -12'$ 的一段时间。在这段时间内，周围的物体和水天线的可辨程度变化较快；较暗的星体陆续消失或出现。当太阳真高度为 $-12'$ 的时刻，称

为航海晨光始或航海昏影终。

3. 天文晨光昏影 (astronomical twilight) 指太阳真高度为 $-18^\circ \sim -12^\circ$ 的一段时间。在这段时间内, 虽可见满天星斗, 但水天线模糊不清, 不适于海上天文观测。

二、晨光昏影时间计算

《航海天文历》“天体位置表”中, 载有 0° 经度线上从南纬 56° 到北纬 70° 地方的日出、日没、航海和民用晨光始、民用和航海昏影终的地方平时 (T_{L_0})。日出、日没时刻每天一载。晨光始、昏影终时刻三天共用一值。查表引数为日期和纬度。

求某日某地的日出或日没时刻, 可见按给定日期, 从“天体位置表”中, 查出最接近并小于给予纬度的日出或日没时刻 (T_{L_0}), 然后进行纬度内插和经度改正, 即可求得所求的日出或日没时刻的地方平时 (T_L):

$$T_L = T_{L_0} + \Delta T_\varphi + \Delta T_\lambda \quad (5.6)$$

式中 ΔT_φ ——纬度差数的日出或日没时刻内插值, 可使用《航海天文历》“附表”表 2 (甲) 计算; ΔT_λ ——日出或日没时刻的经度改正值, 它等于:

$$\frac{\Delta}{360^\circ} \times \lambda$$

式中 Δ 为相邻两天的日出或日没时间差, 其求法是: 测者在东经, 用前一天的日出或日没时间减去当天的日出或日没时间; 测者在西经, 用后一天的日出或日没时间减去当天的日出或日没时间。求得时间差 (Δ) 后, 也按上式计算 ΔT_λ , 也可使用《航海天文历》“附表”表 2 (乙) 查出。在中国沿海, 日出或日没时刻的经度改正值, 不超过 2min, 可不予改正。这样求得的是测者所在经度的地方平时 (T_L)。最后, 应将其换算为船时 (T_s)。

例 1, 1992 年 2 月 29 日, $\varphi = 55^\circ 30.0' N$, $\lambda = 165^\circ 45.0' E$, 求日出、日没船时。

解:

	日出	日没
T_{L_0}	0605	1736
ΔT_φ	+ 3	- 3
ΔT_λ	+ 1	- 1
T_L	0654	1732
$-\lambda + ZD$	- 3	- 3
T_s	0651	1729

求某日某地的民用或航海晨光始、昏影终时刻的方法和求日出、日没时刻相同, 只是通常不作经度改正。

例 2, 1992 年 8 月 5 日, $\varphi = 28^\circ 30.0' N$, $\lambda = 124^\circ 30.0' E$, 预定晨光测星定位, 求航海晨光始和日出的船时。

解:

	航海晨光始	日出
T_{L_0}	0446	0537
ΔT_φ	- 18	- 14

T_L	0428		0523
$-\lambda + ZD$	-	18	-
	-	18	
T_s	0410		0505

第 4 节 选星和认星

一、用星球仪选星和认星

(一) **星球仪的结构** 星球仪 (celestial globe) 是一个天球模型。如图 5-4-1, 它由天球、子午环、真地平圈、方位环和底座等部分组成。

天球上印有星座、四等星以上的恒星、天赤道、时圈、赤纬圈和黄道。天赤道上标有度数和小时数, 用以计算天体赤经和春分点西行时角。黄道上标有日期, 用以指示某日太阳在天球上的位置。天球与子午环的连接点为天极。子午环一侧刻有度数, 用以确定和表示高极高度即测者纬度。真地平圈上有方位刻度。方位环上有高度刻度。各方位环的交点为测者天顶点。



图 5-4-1 星球仪

(二) **在星球仪上画行星** 由于行星位置不断变动而且轨迹复杂, 不能把它们印在天球上。所以, 在选星或认星时, 需要把观测时可见行星临时画在天球上。其方法是:

1. 查看《航海天文历》“四星纪要表”, 找出观测时的可见行星;
2. 从《航海天文历》“天体位置表”中, 查出观测时可见行星的赤经和赤纬值;

3. 按赤经、赤纬值在天球上用彩色蜡笔画出可见行星的位置。

(三) **在星球仪上定星空** 由于测者纬度和观测时间不同, 所见的星空也不同。因此, 无论选星或认星, 都必须在星球仪上确定测者纬度和观测时间, 使星球仪上呈现的星空与观测时测者实际所见的星空相一致。这即所谓定星空 (fixed starry sky)。其方法是:

1. **定纬度** 转动子午环, 使高极高度等于测者纬度。测者在北纬时, 应将天北极置于正北方的真地平圈之上; 测者在南纬时, 应将天南极置于正南方的真地平圈之上。子午环上显现的刻度数应与测者纬度值相等。

2. **定时间** 根据观测时的船时和推算经度算出春分点地方西行时角 (t_{sp})。然后, 转动天球, 使天赤道上和 t_{sp} 值相等的度数对准子午环带刻度的一侧。定晨光昏影的星空, 也可采用如下简便方法定时间: 根据观测日期, 在黄道上标出太阳位置。然后, 转动天球, 晨光时向东转; 昏影时向西转, 将太阳位置置于真地平圈下大约 6° 处。

(四) **用星球仪选星** 由于晨光昏影中适于观测的时间有限, 弄不好会失去测星的有利时机, 而且所测星体的亮度、高度和分位分布状况不同, 对观测船位的准确性具有直接影响。因此, 为了缩短观测的持续时间和提高船位测定的准确性, 应当预先选定一组或几组适于观测的星体, 列出它们的概略方位和

高度，以利于有计划、有步骤地实施观测。

选星 (selection of stars) 的基本要求是：

1. 选行星和明亮的恒星 它们在晨光中隐没晚，在昏影中出现早，可以在水天线清晰的条件下进行观测，有利于提高观测的准确性。

2. 选高度在 $15\sim 70^\circ$ 之间 如果高度过低，常由于表列蒙气差偏离实际蒙气差而引起较大的高度改正误差；而若高度过高，则又可能使天文船位线产生较大的曲率误差。

3. 方位差角，两星以 $60\sim 70^\circ$ 为宜；三星以互差 120° 最好。在天文船位线存在误差的条件下，观测船位的误差，随船位线夹角的大小而变化。一般地说，方位差角符合所列要求，观测船位的准确性较高。

选星的工作步骤是：

1. 根据日期和时间，在星球仪上画出观测时可见行星的位置；

2. 根据测者纬度和时间，在星球仪上定出观测时的可见星空；

3. 根据选星要求，结合星空实际，选择适于观测的星组，记下所选星体的名字及其概略方位和高度。

例 1 1992 年 8 月 6 日，预定 $T_s=051200$ 前后， $\varphi_s=32^\circ 03.5'N$ ， $\lambda_s=145^\circ 15.0'E$ ，测星定位，选择适于观测的星组。

解：

1. 由“四星纪要表”知，观测时可见火星，从“天体位置表”查得其赤经 64.5° ，赤纬 $20.7^\circ N$ ，并按此值将火星位置画在天球仪上。

2. 计算：

$$\begin{array}{rcl}
 08-06 T_s = & 0512 & \\
 ZD = & -10 & \\
 \hline
 08-05 T_G \approx & 1912 & \\
 & & t_G^{\circ} = 239^{\circ} 34.6' \\
 & & \Delta t = 3^{\circ} 00.5' \\
 & & \hline
 & & t_G^{\circ} = 242^{\circ} 35.1' \\
 & & \lambda = 145^{\circ} 15.0'E \\
 & & \hline
 & & t^{\circ} = 27^{\circ} 50.1'W
 \end{array}$$

3. 根据给定纬度和求得的 t° ，在星球仪上定出观测时的可见星空。

4. 根据选星要求选星。

表 5-2 用星球仪选星

组 别	星 名	高 度	方 位	方位差角
1	北河三 (双子 β)	16°	66°	134°
	土司空 (鲸鱼 β)	37°	200°	107°
	天津四 (天鹅 α)	30°	307°	119°
2	天津四 (天鹅 α)	30°	307°	53°
	北极星 (小熊 α)	32°	000°	
3	北极星 (小熊 α)	32°	000°	66°
	北河三 (双子 β)	16°	66°	
4	五单二 (御夫 α)	49°	55°	65°
	参宿七 (猎户 α)	26°	120°	

(五) 用星球仪认星 有时受气象条件限制未能测得预先选定的星体，而观测了不知星名的星体。在测定该星的高度后，应用罗经瞄测一下它的方位，即可利用星球仪辨认出其星名。这叫做认星 (identification)。

tion of stars).

认星的方法是:

1. 根据测者纬度和时间, 在星球仪上定出观测时的星空;
2. 根据所测星体的方位和高度, 确定其星名。
3. 如果天球上无明亮的恒星与该方位和高度值相对应, 则所测星体可能为行星。这时, 应补画行星, 加以确认。

例, 1992年5月9日, $T_s = 185600$, $\varphi_c = 25^\circ 10.0' N$, $\lambda_c = 120^\circ 30.0' E$, 在云缝中测得一星 $h_s = 32^\circ 45.0'$, 罗方位 $= 80^\circ$, 罗经差 $= +2.5^\circ$, 用星球仪定星名。

解:

1. 计算:

		$t''_G = 17^\circ 28.2'$
05-09 $T_s =$	1856	$\Delta t = 14^\circ 02.3'$
ZD = -	8	$t''_G = 31^\circ 30.5'$
05-09 $T_c \approx$	1056	$\lambda = 120^\circ 30.0' E$
		$t'' = 152^\circ 00.5' W$

2. 根据给定纬度和求得的 t'' , 在星球仪上定出观测时的星空。
3. 求出所测星体的真方位 $= 80^\circ + 2.5^\circ = 82.5^\circ$, 将方位环带刻度的一侧转到该方位值上, 再把指星标定到高度 32.7° 的刻度上。这时指星标所指星体, 即为所测的星: 大角。

二、用索星卡选星和认星

(一) 索星卡的结构 索星卡 (star finder) 由星图底板和地平坐标图网片两部分组成。

星图底板有两块。一块以天北极为中心, 另一块以天南极为中心, 分别以 N 或 S 作标志。如图 5-4-2, 每块星图底板上印有 60 余颗航海常用恒星、天赤道和黄道。黄道上标有日期, 用以指示某日太阳的位置。底板周围、外围刻度为日期, 用以表示某日平太阳的位置; 内圈刻度为度数, 用以表示春分点地方西行时角和星体赤经。

地平坐标图网片是透明的。按纬度, 每 5° 一片, 自 0° 到 60° , 共 13 片。如图 5-4-3, 坐标网的中心“+”, 表示测者的天顶。径向辐射曲线为方位曲线, 每 10° 标一方位度。横向环形曲线为高度曲线, 每 10° 标一高度度。为使用方便, 在 0° 高度曲线外, 还印有 -6° 和 -12° 的高度曲线, 用以确定民用和航海晨光始或昏影终时刻的星空。每一网片的两面均印有这些曲线, 一面用于北纬, 一面用于南纬。网片中心有一小孔, 表示高极的位置。连接高极和测者天顶“+”的直线, 为测者子午圈。在子半圆上开有长方形缺口, 两侧标有南北 30° 的赤纬刻度, 用以标画行星的位置。网片外圈上印有时间刻度, 用以表示地方平时。

(二) 用索星卡选星

1. 选取底板和网片 根据测者纬度选取一块中心标志与其同名的星图底板和一张最接近其度数的透明网片, 并将网片与底板同名的一面朝上, 套在底板的中心轴上。

2. 在底板上画行星 根据观测时间从《航海天文历》查得观测时可见行星的赤经和赤纬值后, 转动网片, 使其外圈的 0 时刻线对准底板边缘内圈的行星赤经读数, 再在长方形缺口内, 按行星赤纬值, 用彩色蜡笔标定, 即为该行星的位置。

3. 在索星卡上定星空 根据观测日期在底板的黄道上找到当天的太阳位置, 用蜡笔标定。然后, 转动网片, 晨光时向东转, 昏影时向西转, 使 -6° 的高度曲线通过太阳的位置。这时, 地平圈内的星图, 就是民用晨光始或昏影终时刻的可见星空。

也可以根据观测时间, 求得春分点地方西行时角, 转动网片, 使其外圈 12 时刻线 (有箭头处) 对准底板边缘内圈的春分点西行时角读数, 从而定出观测时的可见星空。

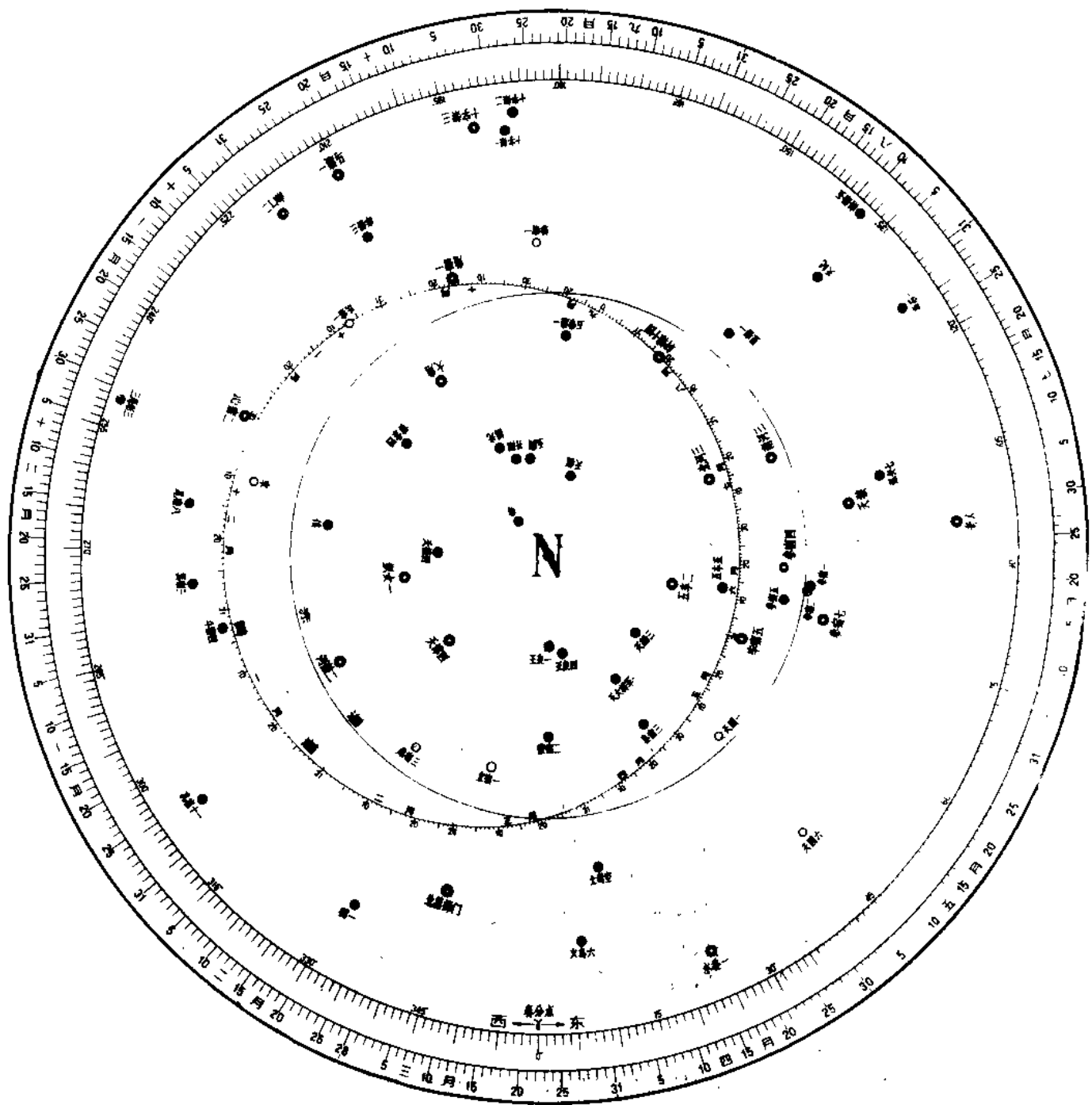


图 5-4-2 家星卡星图底板

4. 根据选星要求选择适于观测的星组。

例, 1992年2月27日, 预定昏影测星定位, $\varphi_c = 36^{\circ}50.0'N$, $\lambda_c = 123^{\circ}15.0'E$, 选择适于观测的星组。

解:

1. 选取天北极为中心的星图底板, 并在黄道上标出2月29日的太阳位置。
2. 选取纬度 35° 的透明网片, 取N面朝上, 套在星图底板上。

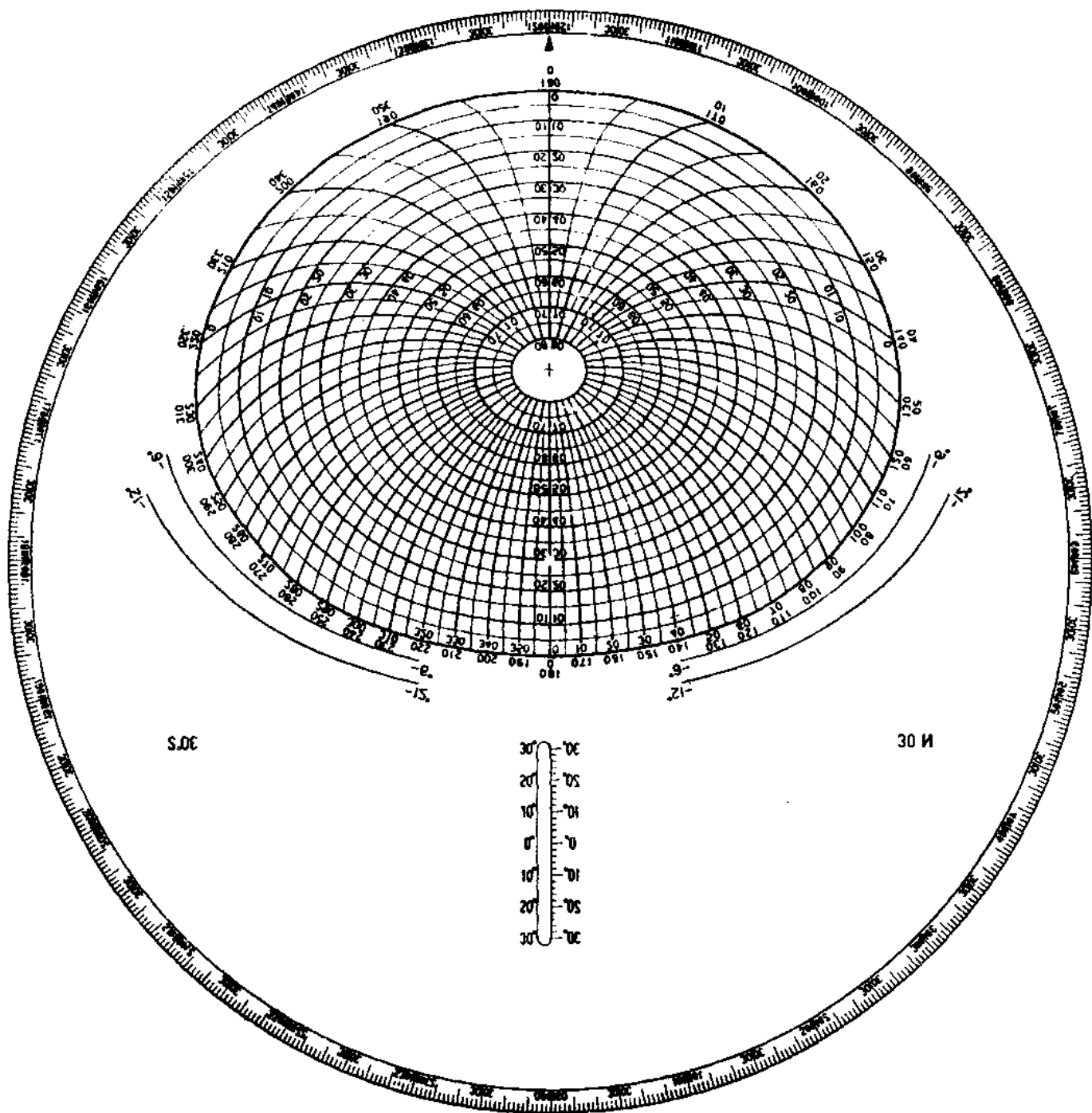


图 5-4-3 索星卡地平坐标网片

3. 由《航海天文历》知，观测时可见木星。查得其赤经 161.4° ，赤纬 9.1°N ，并将其位置画在星图底板上。

4. 转动网片，使西侧的 -6° 高度曲线通过星图底板上的太阳位置。这时，地平圈内显示的，就是当天民用昏影终时刻的可见星空。

5. 透过网片从星图底板上选星，并按方位、高度曲线标示的度数，读出所选星体的概略方位和高度。

表 5-3 用索星卡星图底板选星

组 别	星 名	高 度	方 位	方 位 差 角
1	北河三 (双子 α)	51°	88°	58°
	天狼 (大犬 α)	31°	146°	
2	南河三 (小犬 α)	40°	117°	53°
	参宿七 (猎户 β)	46°	170°	
3	参宿七 (猎户 β)	46°	170°	82°
	北河三 (双子 α)	51°	88°	

(三) 用索星卡认星

1. 根据测者纬度，选取星图底板和透明网片。
2. 根据观测时间，求出春分点地方时角，并据此定出星空。
3. 根据所测得的方位和高度值，透过网片，在底板上认出星名。

例，1992年8月4日， $T_s=0615$ ， $\varphi_c=21^\circ05.0'S$ ， $\lambda_c=104^\circ30.0'W$ ，测得一星 $h_s=33^\circ02.0'$ ，罗方位 $=250^\circ$ ，罗经差 $=-2^\circ$ ，定星名。

解：

1. 选取中心标志 S 的星图底板和纬度 20° 的透明网片，将其 S 面朝上，套在底板中心轴上。
2. 计算：

$$\begin{array}{rcl}
 08-04T_s = & 06 & 15 \\
 \text{ZD} = + & 7 & \\
 \hline
 05-09T_c \approx & 13 & 15
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{rcl}
 t_c^m = & 148^\circ20.7' \\
 \Delta t = & 3^\circ45.6' \\
 \hline
 t_c^g = & 152^\circ06.3' \\
 \lambda = & 104^\circ30.0'W \\
 \hline
 t^r = & 47^\circ36.3'W
 \end{array}$$

3. 转动网片，按所求得的 t^r 定出星空。

4. 求所测星体真方位 $=250^\circ - 2^\circ = 248^\circ$ ，按此值和 $h_s=33^\circ$ 值在网片上找出对应点，透过网片在底板上所指之星，即为所求星名：北落师门。

第 5 节 观测太阳和月亮或金星定船位

一、同时观测太阳和月亮或金星的时机

观测太阳移线定船位，通常费时长，受航迹推算误差影响大。因此，如果白天能看到月亮或金星，且其与太阳的配合又符合定位条件时，则应同时观测太阳和月亮或金星定船位。

在一个朔望月中，有 20 多天可以在白天看到月亮。但是，适于观测和定位的天数并不多。只有在上

弦月（农历初七、初八）前后几天的下午和下弦月（农历二十二、二十三）前后几天的上午，太阳和月亮的高度及其方位差角，才有可能符合定位的要求。

金星是除太阳、月亮外最亮的天体，其星等为 $-3.3 \sim -4.4$ 。它是地内行星，故有时为晨星，有时为昏星。只要不接近太阳，在白天都有可能看到。它离太阳的角距，最大约在 $45^\circ \sim 48^\circ$ 之间，这时叫做大距（Elongation）。大距前后，星等为 $-4.0 \sim -4.4$ ，是观测金星的最好时机。只要其高度不低于 15° ，就可同时观测太阳和金星，比较迅速和准确地得出观测船位。

二、观测太阳和月亮或金星定船位的特点

观测太阳和月亮或金星定船位的方法、步骤与观测两星定船位基本相同，只是在准备工作中和观测方法上有所差别，形成其特点。这主要是指：

（一）判断当天观测月亮或金星的可能性 《航海天文历》“天象纪要”中载有上弦月和下弦月的日期，有的年份还载有金星大距的日期。“四星纪要”中载有金星的星等及其“接近太阳，不能观测”的时间。根据上述确定观测时机的原则，查看《航海天文历》有关资料，即可判断当天能否观测月亮或金星。

（二）确定观测金星的最佳位置 判定能观测后，可利用星球仪或索星卡确定观测金星的最佳位置。在星球仪上的操作方法是：

1. 从《航海天文历》中查取当天金星的赤经、赤纬，并在天球上画出它的位置；同时，在黄道上标出当天太阳的位置；

2. 转动子午环，确定测者纬度；

3. 转动天球，在满足金星和太阳的高度在 $15^\circ \sim 70^\circ$ 之间、方位差角大于 30° 的基本条件的范围内，确定最佳观测位置，使它们得到最有利的匹配，并记下金星的概略高度和方位；

4. 记下这个观测位置的太阳近似方位和时角，以判断观测时间的开始。

至于月亮，由于它不难发现，故可采用目测方法确定其观测时机。

（三）掌握特定的观测方法和要领

1. 一般先观测月亮或金星，后观测太阳；

2. 目测月亮到达合适位置，即进行观测。观测方法与观测太阳相同，但应根据月相的具体情况决定是观测下边缘还是上边缘；

3. 在情况允许的条件下，待太阳变化到预定方位时开始观测金星。在按常规方法不易把金星拉到水天线时，可先将用星球仪求得的金星高度，预置于六分仪上，把六分仪望远镜对准金星所在方位的水天线，上下左右仔细寻找，就能较易发现金星影像，并连续观测其几个高度。

例1 1992年8月4日， $T_s = 151600$ ， $\varphi_c = 36^\circ 02.7' N$ ， $\lambda_c = 124^\circ 34.5' E$ ，航向 $= 135^\circ$ ，航速 $= 12 \text{ kn}$ ，钟差 $= +00 \text{ min } 20 \text{ s}$ ， $i+s = +1.2'$ ， $e = 5 \text{ m}$ ，测得：

	月亮☾	太阳☉
h_s	$35^\circ 16.3'$	$40^\circ 17.7'$
钟时	071250	071522

求观测船位。

解2 求解结果如下表及图5-5-1。

例，1992年2月27日， $T_s = 1014$ ， $\varphi_c = 25^\circ 55.0' N$ ， $\lambda_c = 123^\circ 45.0' E$ ，航向 320° ，航速 $= 12 \text{ kn}$ ，钟差 $= +01 \text{ min } 05 \text{ s}$ ， $i+s = -0.8'$ ， $e = 5.5 \text{ m}$ ，测得：

	金星	太阳☉
h_s	$46^\circ 04.0'$	$46^\circ 56.6'$
钟时	021100	021305

求观测船位。

解：求解结果如下表及图5-5-2。

1992年8月4日

纬度 $\varphi_c = 36^\circ 02.7' N$
 经度 $\lambda_c = 124^\circ 34.5' E$

航向 $H = 135^\circ$
 航速 $v = 12 \text{kn}$

眼高 $e = 5 \text{m}$

气温 $t =$
 气压 $p =$

		I 船位线	II 船位线	III 船位线	北 极 星			I 船位线	II 船位线	III 船位线			
天 体					I	船时 T_c		1516					
六分仪读数	35°16.3'	40°17.7'			II	时区 $N \begin{matrix} E- \\ W+ \end{matrix}$		-8					
$t+s$	+1.2'	+1.2'			III	近似世界时		0716					
观测高度 h'	35°17.5'	40°18.9'			Σ	日 期		08-4					
改正量	d	-4.0'			h	I 船位线 作图点 $\varphi_c = 36^\circ N$ $\lambda_c = 124^\circ 37.1' E$							
		+62.1'	+11.0'		φ	原来度数	查表度数			h'_c 36°14.0'			
真高度 h	36°15.6'	40°29.7'			$\delta = 14^\circ 55.2' S$	$\delta' = 15^\circ$	$\Delta\delta$	-4.8'	Δd	-95 Δh_s +4.6'			
异顶差 Δh_x	+0.5'				$t = 18^\circ E$	$t' = 18^\circ$	$\Delta t'$		Δt	Δh_t			
同顶高 h	36°16.1'				$\varphi_c = 36^\circ 02.7' N$	$\varphi_c' = 36^\circ$	$\Delta\varphi_c$			Δh_{φ_c}			
钟 时	071250	071500			$h = 36^\circ 16.1'$				h_c	36°18.6'			
表 时					$h_c = 36^\circ 18.6'$								
钟 差	+20s	+20s			$h - h_c = -2.5'$				A_c	158.3°NE			
世界时	071310	071542			真 航 向	航 程	表 I-1		表 I-2				
恒星	$(\bar{\Delta} = 9.9')$	$(\bar{\Delta} = 1.6')$	$(\bar{\Delta} =)$		度 数	象 限	(s)	纬 差		东 西 距		$\varphi_n =$	
								N	S	E	W	东 西 距	经 差
整点格林时角	214°12.1'	283°29.3'											
基本变量	3°08.5'	3°55.2'											
赤 经 Δ 共 视 量 订 正 值	2.2'	0.3'			Σ								
格林时角	217°22.9'	287°24.8'			纬差 =		总东西距 =		经差 =				
经 度	124°37.1'	124°35.2'			$\varphi_1 =$				$\lambda_1 =$				
地方时角 (t_w)	342°	52°			$\varphi_2 =$				$\lambda_2 =$				
					I 船位线 作图点: $\varphi_c = 36^\circ N$ $\lambda_c = 124^\circ 35.2' E$								
t_E	18°				原来度数	查表度数				h'_c	40°24.2'		
赤纬差数 (Δ)	(+11.1)'	(-0.7)'	()		$\delta = 17^\circ 09.0' N$	$\delta' = 17^\circ$	$\Delta\delta$	+9.0	Δd	+55 Δh_s	+5.0'		
整点赤纬	14°52.7'S	17°09.2'N			$t = 52' W$	$t' = 52'$	$\Delta t'$		Δt	Δh_t			
Δ 订正值	+2.5	-0.2			$\varphi_c = 36^\circ 02.7'$	$\varphi_c' = 36^\circ$	$\Delta\varphi_c$			Δh_{φ_c}			
赤纬 (δ)	14°55.2'S	17°09.0'N			$h = 40^\circ 29.7'$				h_c	40°29.2'			
					$h_c = 40^\circ 29.2'$								
异 顶 差 (Δh_x)					$h - h_c = +0.5'$				A_c	98.3°NW			
方位角 (A)	158.3°				II 船位线 作图点: $\varphi_c =$ $\lambda_c =$					h'_c			
航向 (TC)	135°				原来度数	查表度数				Δh_s			
$(A-TC)$	23.3°				$\delta =$	$\delta' =$	$\Delta\delta$		Δd	Δh_t			
一分钟的 Δh	+0.18'				$t =$	$t' =$	$\Delta t'$		Δt	Δh_{φ_c}			
$(T_2 - T_1)$	2.53				$\varphi_c =$	$\varphi_c' =$	$\Delta\varphi_c$			h_c			
Δh_x	+0.5'				$h =$					A_c			
					$h_c =$								
					$h - h_c =$								

注: Δh_{φ_c} (+)(-) 确定; $A_c < 90^\circ$ 和纬度差同号

$A_c > 90^\circ$ 和纬度差异号

A_c 命名确定; 第一命名和纬度同名; 第二命名与应用时角同名。

计 算 者 _____

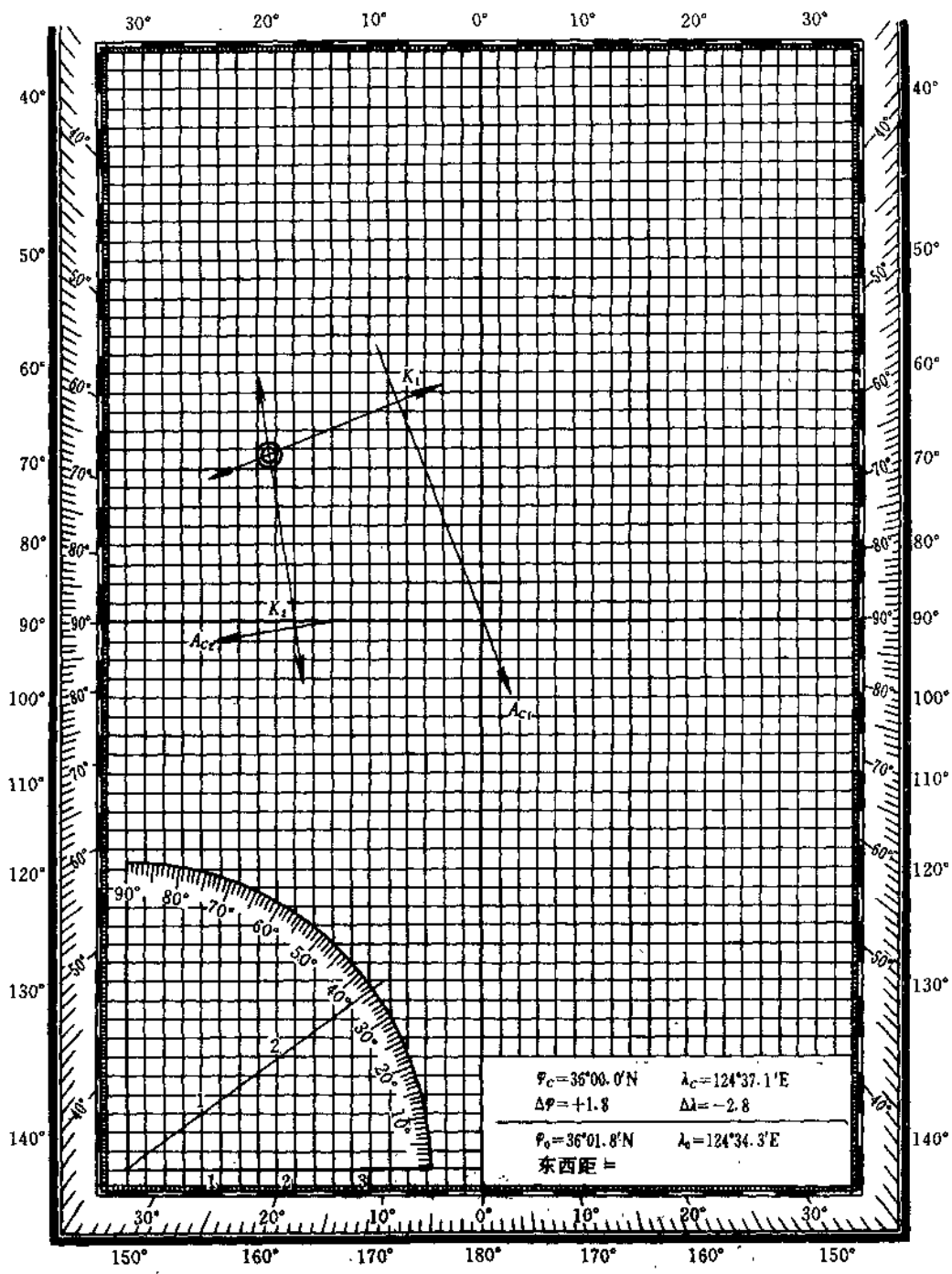


图 5-5-1

1992年2月27日

纬度 $\varphi = 25^{\circ}55.0'N$
经度 $\lambda = 123^{\circ}45.0'E$

航向 $H = 320^{\circ}$
航速 $v = 12kn$

眼高 $e = 5m$

气温 $t =$
气压 $p =$

	I 船位线	I 船位线	II 船位线	北 极 星		I 船位线	I 船位线	II 船位线
天 体	金星	☉		I	船时 T_c	1014		
六分仪读数	46°04.0'	46°56.6'		II	时区 $N \frac{E-}{W+}$	-8		
$i+s$	-0.8'	-0.8'		III	近似世界时	0214		
观测高度 h'	46°03.2'	46°55.8'		Σ	日 期	02-27		
改 正 量	-5.1'	+11.0'		h	I 船位线 作图点 $\varphi_c = 26^{\circ}N$ $\lambda_c = 123^{\circ}43.8'E$			
	+0.1'	+0.2'		φ	原来度数	查表度数		h'_c 46°00.0'
真高度 h	45°58.2'	47°07.0'		$\delta = 18^{\circ}04.2'S$	$\delta' = 18^{\circ}$	$\Delta\delta$ +4.2'	Δd -1.0	Δh_s -4.2'
异顶差 Δh_x	-0.3'			$i = 0^{\circ}E$	$i' = 0^{\circ}$	$\Delta i'$	Δi	Δh_c
同顶高 h	45°57.9'			$\varphi = 25^{\circ}55.0'N$	$\varphi_c = 26^{\circ}$	$\Delta\varphi$		Δh_{φ_c}
钟 时	021100	021305		$h = 45^{\circ}57.9'$			h_c	45°55.8'
表 时				$h_c = 45^{\circ}55.8'$				
钟 差	+01min05s	+01min05s		$h - h_c = +2.1'$			A_c	180°NE
世界时	021205	021410		真 航 向	航 程	表 I-1		表 I-2
恒星 行 星	($\bar{\Delta} = 0.3'$)	($\bar{\Delta} = 1.1'$)	($\bar{\Delta} =$)	度 数	象 限	纬 差	东 西 距	$\varphi_m =$
						N S E W	东 西 距	经 差
整点格林时角	233°15.1'	206°46.1'						
基本变量	3°01.0'	3°32.3'						
赤 经 共 轭 量	Δ 订正值	0.1'	0.3'					
格林时角	236°16.2'	210°18.7'		纬 差 =	总 东 西 距 =	经 差 =		
经 度	123°43.8'	123°41.3'		$\varphi_1 =$		$\lambda_1 =$		
地方时角 (t_w)	0°	334°		$\varphi_2 =$		$\lambda_2 =$		
				I 船位线 作图点: $\varphi_c = 26^{\circ}N$ $\lambda_c = 123^{\circ}41.3'$				
t_E		26°		原来度数	查表度数			h'_c 47°14.2'
赤纬差数 (Δ)	(-0.7')	(-0.9')	()	$\delta = 8^{\circ}40.1'S$	$\delta' = 8^{\circ}30'$	$\Delta\delta$ +10.1	Δd -8.1	Δh_s -8.2'
整点赤纬	18°04.3'S	8°40.3'S		$i = 26^{\circ}E$	$i' = 26^{\circ}$	$\Delta i'$	Δi	Δh_i
Δ 订正值	-0.1	-0.2		$\varphi = 25^{\circ}55.0'N$	$\varphi_c = 26^{\circ}$	$\Delta\varphi$		Δh_{φ_c}
赤纬 (δ)	18°04.2'S	8°40.1'S		$h = 47^{\circ}07.0'$			h_c	47°96.0'
异 顶 差 (Δh_x)			子午高求纬度	$h_c = 47^{\circ}06.0'$				
			子午高	$h - h_c = +1.0'$			A_c	140.3°NE
方位角 (A)	180°		子午顶距 (z)	II 船位线 作图点: $\varphi_c =$ $\lambda_c =$				
航向 (TC)	320°		赤纬 (δ)	原来度数	查表度数			h'_c
(A-TC)	140°		纬度 (φ)	$\delta =$	$\delta' =$	$\Delta\delta$	Δd	Δh_s
一分钟的 Δh	-0.15'		注: z, δ 同名相加 异名相减	$i =$	$i' =$	Δi	Δi	Δh_i
($T_2 - T_1$)	2.1			$\varphi =$	$\varphi_c =$	$\Delta\varphi$		Δh_{φ_c}
Δh_x	-0.3'			$h =$			h_c	
				$h_c =$				
				$h - h_c =$			A_c	

注: Δh_c (+)(-) 确定, $A_c < 90^{\circ}$ 和纬度差同号
 $A_c > 90^{\circ}$ 和纬度差异号
 A_c 命名确定, 第一命名和纬度同名, 第二命名与应用时角同名。

计 算 者 _____

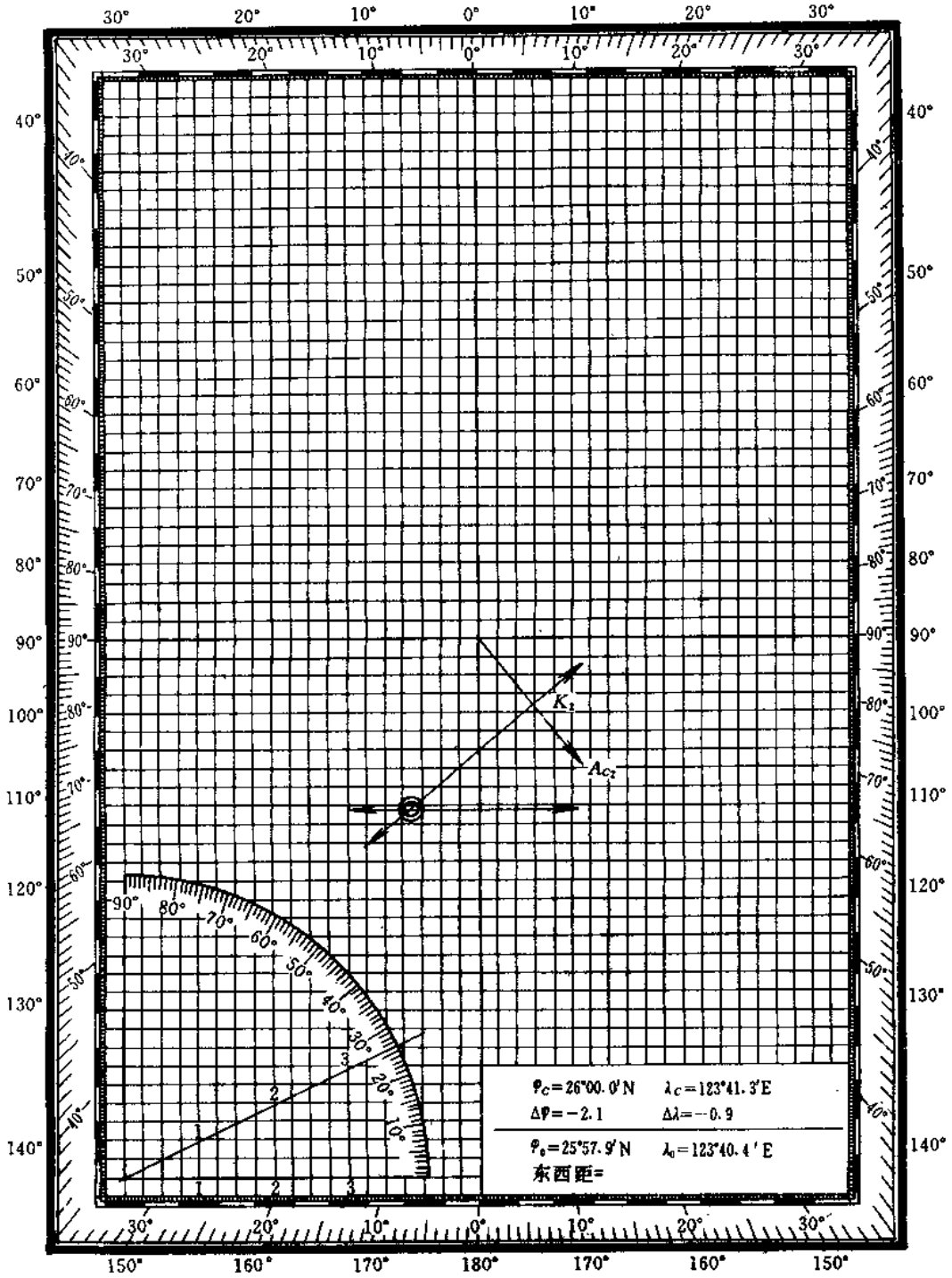


图 5-5-2

第 6 节 纬度测定

一、观测太阳中天高度求纬度

(一) **中天高度和中天顶距** 在周日视运动中, 天体经过测者子午圈的时候称为中天。这时的高度和顶距, 称为中天高度 (altitude of meridian passage) 和中天顶距 (zenith distance of meridian passage), 分别以 H 和 Z 代表, 其代数和等于 90° , 即

$$H + Z = 90^\circ \quad (5.7)$$

中天高度有方向命名, 用以表示天体中天时的方向。由于天体中天时的方位不是正南就是正北, 所以当天体中天时的方位为南时, 中天高度命名为南 (S); 方位为北时, 中天高度命名为北 (N)。为了计算上的方便, 规定中天顶距的命名与中天高度相反, 即当中天高度命名为南时, 中天顶距命名为北; 中天高度命名为北时, 中天顶距命名为南。如图 5-6-1:

	H	Z
天体 B	25°S	65°N;
天体 C	65°S	25°N;
天体 D	68°N	22°S.

(二) **观测太阳中天高度求纬度的原理** 中天包括上中天和下中天两种。本节所称太阳中天高度, 是指太阳上中天高度。如图 5-6-2, B 、 C 、 D 分别为 δ 与 φ 异名、 $\delta < \varphi$ 同名和 $\delta > \varphi$ 同名等三种情况下太阳上中天的位置。由图可见, 不论太阳上中天时在那个位置上, 其中天顶距 (Z)、赤纬 (δ) 和测者纬度 (φ) 之间都存在着一一定的关系。

太阳在 B 时: $\varphi_N = \widehat{QZ} = \widehat{ZB} - \widehat{QB} = Z_N - \delta_s$;

太阳在 C 时: $\varphi_N = \widehat{QZ} = \widehat{ZC} + \widehat{QC} = Z_N + \delta_N$;

太阳在 D 时: $\varphi_N = \widehat{QZ} = \widehat{QD} - \widehat{ZD} = \delta_N - Z_s$ 。

这三个关系式可归纳为: 当太阳中天顶距与赤纬同名时, 相加得测者纬度; 异名时, 相减得测者纬度, 用大项减小项, 纬度的命名与大项的相同。总之, 测者纬度等于太阳中天顶距与其赤纬的代数和, 即

$$\varphi = Z + \delta \quad (5.8)$$

显然, 测得太阳中天高度后, 只要将其换算为中天顶距, 求出太阳赤纬, 便可按上式求得测者纬度, 并在墨卡托海图上画出一条东西向的船位线 (即纬度线)。

观测太阳中天高度求纬度, 与用高度差法求船位线相比, 无需解算天文三角形, 计算简便。因此, 它是海上天文定位最常用的方法之一。

(三) **求太阳上中天的船时** 为了不失时机地观测太阳上中天高度, 事先应知道当天太阳上中天的船时。

《航海天文历》“天体位置表”中, 载有太阳在表列三天中间那天在 0° 经度线上中天的地方平时 (GMT)。由于相邻两天的上中天时刻相差不大 (不超过 30S), 所以, 不论三天中的前一天或后一天, 也不论测者经度如何, 都不必进行日期内插和经度改正, 可直接把表列时刻作为当天太阳在测者经度线上中天的地方平时 (LMT)。以其换算为船时, 符合精度要求。

求太阳上中天船时的步骤是:

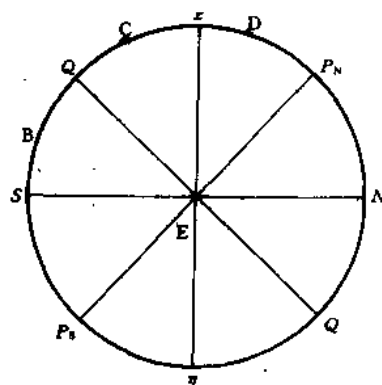


图 5-6-1 中天高度和中天顶距

1. 按日期从“天体位置表”中查取太阳中天时刻，即得当天太阳在测者经度线上中天的地方平时 (LMT)；

2. 估计太阳上中天的大概船时 (也可直接用 12h00min)，并从海图上量取相应的推算船位经度；

3. 按公式 $T_s = LMT \mp \lambda \pm ZD_w^E$ ，把太阳上中天的地方平时换算为船时。

例，1992 年 2 月 28 日， $T_s = 1100$ ， $\varphi_c = 21^\circ 48.0' N$ ， $\lambda_c = 120^\circ 04.3' E$ ，航向 = 045° ，航速 = 14 kn ，求太阳上中天船时。

解：

1. 由“天体位置表”查得 $LMT = 121300$ ；

2. 由航迹推算得 $T_s = 1200$ 的 $\lambda_c = 120^\circ 15.0' E$ ；

3. 求船时：

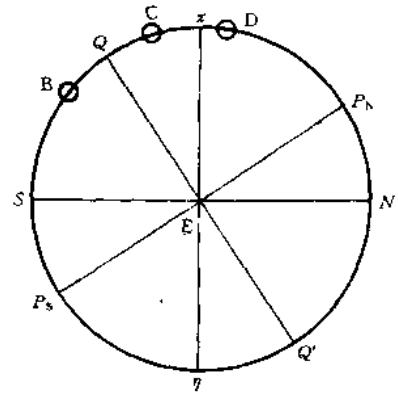


图 5-6-2 太阳中天高度求纬度原理

$$\begin{array}{r}
 02-28 \quad LMT = \quad 12 \quad 13 \\
 \quad \quad \quad -\lambda + ZD = \quad \quad \quad 1 \\
 \hline
 02-28 \quad T_s \approx \quad 12 \quad 12
 \end{array}$$

(四) 观测太阳中天高度求纬度的工作步骤

1. 准备

- (1) 求太阳上中天的船时；
- (2) 进行六分仪例行检查，测定指标差。

2. 观测

- (1) 在太阳上中天前 3~5 min 始，连续观测，记下每次的六分仪高度；
- (2) 记下观测时的计程仪读数、航向、航速、眼高、六分仪器差和太阳方位 (必要时，可用罗经瞄测)。

3. 计算

- (1) 选取观测列中的最大读数作为太阳中天的六分仪高度，进行高度修正，求得中天高度 (H) 和中天顶距 (Z)；
- (2) 按太阳上中天船时求出近似世界时，并查取太阳赤纬 (δ)；
- (3) 按公式 $\varphi = Z + \delta$ 求出测者观测纬度 (φ_0)。

4. 作图

在海图上，可按观测纬度直接画出纬线。在方格纸或海图上，也可以上中天时的推算船位 EP 为基准来画纬线。如图 5-6-3，在推算船位 EP 的经线上，按观测纬度 (φ_0) 与推算纬度 (φ_c) 的差值截取 K 点，过 K 点作经线的垂线，即为观测纬线。

5. 填写航海日志

例，1992 年 2 月 28 日， $T_s = 121200$ ， $\varphi_c = 21^\circ 59.9' N$ ， $\lambda_c = 120^\circ 17.1' E$ ，航向 = 045° ，航速 = 14 kn ， $e = 6 \text{ m}$ ， $i + s = +1.0'$ ，观测太阳一列高度，取其最大读数 $H_s^{\odot} =$

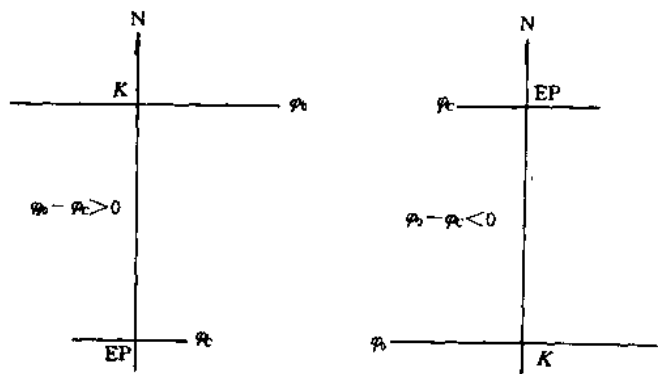


图 5-6-3 以推算船位为基准画纬线
测者在北纬

59°29.5'S, 求中天时的观测纬度 (φ)。

解:

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">02-28</td> <td style="width: 15%;">$T_s =$</td> <td style="width: 15%;">12</td> <td style="width: 15%;">12</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ZD =</td> <td>--</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>02-28</td> <td>$T_G \approx$</td> <td>04</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\delta' =$</td> <td colspan="2">8°15.9'S ($\Delta = -0.9'$)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\Delta\delta =$</td> <td>--</td> <td>0.2'</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\delta =$</td> <td colspan="2">8°15.7'S</td> </tr> </table>	02-28	$T_s =$	12	12		ZD =	--	8					02-28	$T_G \approx$	04	12		$\delta' =$	8°15.9'S ($\Delta = -0.9'$)			$\Delta\delta =$	--	0.2'						$\delta =$	8°15.7'S		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">$H_{\odot}^{\circ} =$</td> <td style="width: 50%;">59°29.5'S</td> </tr> <tr> <td>$i+s = +$</td> <td>1.0'</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>$H'_{\odot} =$</td> <td>59°30.5'S</td> </tr> <tr> <td>总改正 = +</td> <td>11.2'</td> </tr> <tr> <td>附加改正 = +</td> <td>0.2'</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>$H_{\odot} =$</td> <td>59°41.9'S</td> </tr> <tr> <td>Z =</td> <td>30°18.1'N</td> </tr> <tr> <td>$\delta =$</td> <td>8°15.7'S</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>$\varphi =$</td> <td>22°02.4'N</td> </tr> </table>	$H_{\odot}^{\circ} =$	59°29.5'S	$i+s = +$	1.0'			$H'_{\odot} =$	59°30.5'S	总改正 = +	11.2'	附加改正 = +	0.2'			$H_{\odot} =$	59°41.9'S	Z =	30°18.1'N	$\delta =$	8°15.7'S			$\varphi =$	22°02.4'N
02-28	$T_s =$	12	12																																																						
	ZD =	--	8																																																						
02-28	$T_G \approx$	04	12																																																						
	$\delta' =$	8°15.9'S ($\Delta = -0.9'$)																																																							
	$\Delta\delta =$	--	0.2'																																																						
	$\delta =$	8°15.7'S																																																							
$H_{\odot}^{\circ} =$	59°29.5'S																																																								
$i+s = +$	1.0'																																																								
$H'_{\odot} =$	59°30.5'S																																																								
总改正 = +	11.2'																																																								
附加改正 = +	0.2'																																																								
$H_{\odot} =$	59°41.9'S																																																								
Z =	30°18.1'N																																																								
$\delta =$	8°15.7'S																																																								
$\varphi =$	22°02.4'N																																																								

例, 续上例, $T_s = 1414$, $\varphi_c = 22^{\circ}20.0'N$, $\lambda_c = 120^{\circ}38.8'E$, 航向 = 045°, 航速 = 14 kn, 天文钟钟时 = 061356, 钟差 = -12 s, $e = 6$ m, $i+s = +1.0'$, 观测太阳得 $h_s^{\circ} = 46^{\circ}44.5'$, 用所求纬线与这条太阳船位线联合定船位。

解:

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">02-28</td> <td style="width: 15%;">$T_s =$</td> <td style="width: 15%;">14</td> <td style="width: 15%;">14</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ZD =</td> <td>-</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>02-28</td> <td>$T_G \approx$</td> <td>06</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td></td> <td>钟时 =</td> <td>06</td> <td>13 56</td> </tr> <tr> <td></td> <td>钟差 =</td> <td>-</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>$T_G =$</td> <td>06</td> <td>13 44</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$t'_G =$</td> <td colspan="2">266°49.1' ($\bar{\Delta} = 1.1$)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\Delta t =$</td> <td colspan="2">3°25.8'</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\Delta t' =$</td> <td colspan="2">0.2'</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>$t_G =$</td> <td colspan="2">270°15.1'</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\lambda_c =$</td> <td colspan="2">120°38.8'</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>$t =$</td> <td colspan="2">30°53.9'W</td> </tr> </table>	02-28	$T_s =$	14	14		ZD =	-	8					02-28	$T_G \approx$	06	14		钟时 =	06	13 56		钟差 =	-	12						$T_G =$	06	13 44		$t'_G =$	266°49.1' ($\bar{\Delta} = 1.1$)			$\Delta t =$	3°25.8'			$\Delta t' =$	0.2'							$t_G =$	270°15.1'			$\lambda_c =$	120°38.8'							$t =$	30°53.9'W		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">$H_s^{\circ} =$</td> <td style="width: 50%;">46°44.5'</td> </tr> <tr> <td>$i+s = +$</td> <td>1.0'</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>$H' =$</td> <td>46°45.5'</td> </tr> <tr> <td>总改正 = +</td> <td>10.8'</td> </tr> <tr> <td>附加改正 = +</td> <td>0.2'</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>$h_0 =$</td> <td>46°56.5'</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>$\delta' =$</td> <td>8°14.0'S ($\Delta = -0.9'$)</td> </tr> <tr> <td>$\Delta\delta =$</td> <td>-- 0.2'</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>$\delta =$</td> <td>8°13.8'S</td> </tr> </table>	$H_s^{\circ} =$	46°44.5'	$i+s = +$	1.0'			$H' =$	46°45.5'	总改正 = +	10.8'	附加改正 = +	0.2'			$h_0 =$	46°56.5'			$\delta' =$	8°14.0'S ($\Delta = -0.9'$)	$\Delta\delta =$	-- 0.2'			$\delta =$	8°13.8'S
02-28	$T_s =$	14	14																																																																																								
	ZD =	-	8																																																																																								
02-28	$T_G \approx$	06	14																																																																																								
	钟时 =	06	13 56																																																																																								
	钟差 =	-	12																																																																																								
	$T_G =$	06	13 44																																																																																								
	$t'_G =$	266°49.1' ($\bar{\Delta} = 1.1$)																																																																																									
	$\Delta t =$	3°25.8'																																																																																									
	$\Delta t' =$	0.2'																																																																																									
	$t_G =$	270°15.1'																																																																																									
	$\lambda_c =$	120°38.8'																																																																																									
	$t =$	30°53.9'W																																																																																									
$H_s^{\circ} =$	46°44.5'																																																																																										
$i+s = +$	1.0'																																																																																										
$H' =$	46°45.5'																																																																																										
总改正 = +	10.8'																																																																																										
附加改正 = +	0.2'																																																																																										
$h_0 =$	46°56.5'																																																																																										
$\delta' =$	8°14.0'S ($\Delta = -0.9'$)																																																																																										
$\Delta\delta =$	-- 0.2'																																																																																										
$\delta =$	8°13.8'S																																																																																										

$\delta' = 8^{\circ}S$	$\delta - \delta' = +13.8'$	$\Delta d = -71$	$h'_c = 47^{\circ}17.8'$
$t' = 31^{\circ}W$	$t - t' = -6.1'$	$\Delta t = -69$	$\Delta h_s = -9.8'$
$\phi = 22^{\circ}N$	$\phi - \phi = +20.0'$		$\Delta h_t = +4.2'$
			$\Delta h_p = -13.2'$

$h_0 = 46^{\circ}56.5'$	$h_c = 46^{\circ}59.0'$
$h_c = 46^{\circ}59.0'$	$A_c = 131.2^{\circ}NW$

$Dh = -2.5'$

由上例，纬度线要素为： $\varphi_0 - \varphi_c = +2.5'$ ，向北截取 K 点。

如图 5-6-4，以 EP_2 为基准画纬线和第二条太阳船位线，得到 $T_s = 141400$ 的移线船位 \odot 。

$$\varphi_0 = 22^\circ 22.5' N;$$

$$\lambda_c = 120^\circ 40.0' E.$$

二、观测北极星高度求纬度

(一) **北极星** 北极星 (polaris) 是小熊座 α 星，星等为 2.1，1992 年的坐标为： $\tau \approx 36^\circ 02'$ ， $\delta \approx 89^\circ 14' N$ ，是现今距天北极最近的亮星。由于其极距 Δ 不足 1° ，所以，在周日视运动中，它的方位和高度的变化，都十分缓慢。在北半球中低纬度，它是天文导航的重要星体。

(二) **观测北极星高度求纬度的原理** 根据高级高度等于测者纬度的关系，对于北纬测者，天北极的高度等于测者纬度，只要能测算出天北极的高度，便可求得测者的纬度。可是天北极是看不见的，不能用六分仪测出它的高度来。然而，由于北极星的高度与天北极的高度相差很小，因此，在测算得北极星的高度后，若能求得北极星与天北极的高度之差，便可得到天北极的高度，也就求得了测者的纬度。

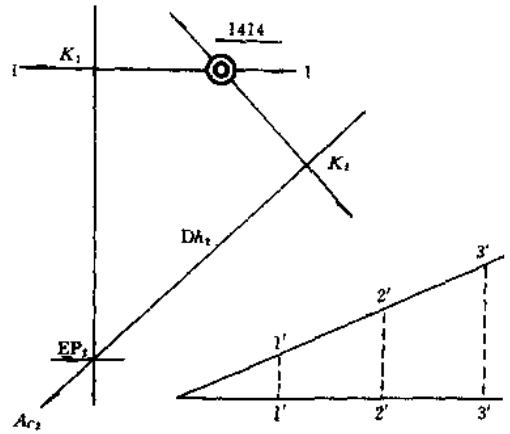


图 5-6-4 纬线与太阳船位线联合定船位

如图 5-6-5，设北极星沿赤道圈 $P_1P_2P_3$ 作周日视运动，当其位于 P 时，测算得它的高度 $h = MP$ ，则 \widehat{APb} 为该高度的高度圈。因为

$$\begin{aligned} \text{天北极高度 } \widehat{NP_N} &= \varphi_0 \\ \text{北极星高度 } h &= MP = NA; \end{aligned}$$

北极星高度与天北极高度之间的差值 $\widehat{P_NA} = x$ ，由此得到测者纬度和北极星高度的关系为：

$$\varphi = h + x \quad (5.9)$$

x 称为北极星高度求纬度改正值，其大小和符号随观测时北极星的位置而定。由图可见，当北极星位于 P_1 时， $x = -\Delta$ ；位于 P_2 时， $x = 0$ ；位于 P_3 时， $x = +\Delta$ 。

(二) **改正值 x 的求法** 在图 5-6-5， $\triangle P_NA P$ 为一小直角三角形，其 $\angle AP_NP = 180^\circ - t$ ， $\widehat{P_NP} = \Delta$ ， $\widehat{P_NA} = x$ 。若将此三角形当作平面的，则得

$$x = -\Delta \cos t,$$

实际上它是球面上的，按平面的处理，自然会产生误差，应予以订正。根据证明，该订正值公式为

$$\frac{\Delta^2}{2} \sin^2 t \cdot \operatorname{tg} h.$$

由此得

$$x = -\Delta \cos t + \frac{\Delta^2}{2} \sin^2 t \operatorname{tg} h.$$

令 x 、 Δ 以分 ($'$) 为单位，且取 $t = t_0 + \tau$ ，则得

$$x = -\Delta \cos (t_0 + \tau) + \frac{\Delta^2}{2} \sin^2 (t_0 + \tau) \cdot \operatorname{tg} h \cdot \operatorname{arcl}' \quad (5.10)$$

取北极星极距和共轭赤经的年平均值 Δ_0 、 τ_0 代替式中的 Δ 、 τ ，并对第二项产生的误差忽略不计，最后得到：

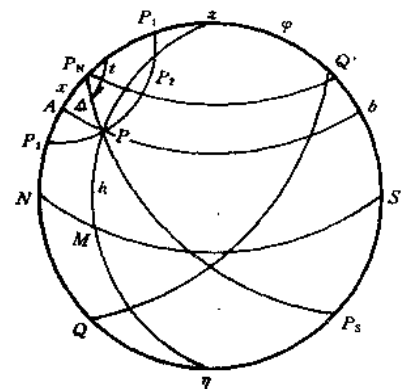


图 5-6-5 观测北极星高度求纬度原理

$$x = -\Delta_0 \cos(t_{\varphi} + \tau_0) + \frac{\Delta_0^2}{2} \sin(t_{\varphi} + \tau_0) \cdot \operatorname{tg} h \cdot \operatorname{arcl}' + [\Delta_0 \cos(t_{\varphi} + \tau_0) - \Delta \cos(t_{\varphi} + \tau)] \quad (5.11)$$

《航海天文历》“北极星高度求纬度表”把改正值 x 分为三部分，即

$$x = \text{I} + \text{II} + \text{III} \quad (5.12)$$

式中 第一改正值 $\text{I} = -\Delta_0 \cos(t_{\varphi} + \tau_0)$ ，查表引数为春分点地方西行时角；

第二改正值 $\text{II} = \frac{\Delta_0^2}{2} \cdot \sin^2(t_{\varphi} + \tau_0) \cdot \operatorname{tg} h \cdot \operatorname{arcl}'$ ，查表引数为春分点地方西行时角和北极星高度；

第三改正值 $\text{III} = \Delta_0 \cos(t_{\varphi} + \tau_0) - \Delta \cos(t_{\varphi} + \tau)$ ，查表引数为春分点地方西行时角和日期。

这样，观测北极星高度求纬度的公式 (5.9) 可表示为：

$$\varphi = h + \text{I} + \text{II} + \text{III} \quad (5.13)$$

(三) 观测北极星高度求纬度的工作步骤 与观测星体定船位的工作步骤基本相同，但应注意：

1. 由于北极星是二等星，使用常规方法不好测，可先将六分仪指标杆预置于与推算纬度相等的刻度上，然后把六分仪望远镜对准正北方向的水天线，上下左右仔细寻找，就可找到北极星影像。

2. 同时观测其他星体时，一般在晨光时先测北极星，昏影时后测北极星。

3. 进行高度修正求出北极星真高度后，不须解天文三角形，只要计算观测时的春分点地方西行时角，并从“北极星高度求纬度表”查出改正值 I 、 II 和 III ，与北极星真高度相加，便可得到观测纬度 φ_0 。

4. 当先测北极星后测其他星体定位时，应将北极星真高度修正异顶差化为同顶高后再求观测纬度。

例，1992年2月29日， $T_s = 051300$ ($ZD = 0$)， $\varphi_c = 30^\circ 15.0' N$ ， $\lambda_c = 10^\circ 15.0' W$ ，航向 = 200° ，航速 = 15 kn ，天文钟钟时 = 051240 钟差 = $+5s$ ，北极星 $h_0 = 30^\circ 59.2'$ ， $e = 6.5 \text{ m}$ ， $i + s = +2.1'$ ，求观测纬度。

解：

	$H_s =$	29°37.1'
02-29 $T_s =$	05 13	$i + s = +$ 2.1'
ZD =	0	<hr style="width: 100%;"/>
02-29 $T_c \approx$	05 13	$h' =$ 29°39.2'
钟时 =	05 12 40	总改正 = - 6.3'
钟差 = +	05s	<hr style="width: 100%;"/>
02-29 $T_c \approx$	05 12 45	$h_0 =$ 29°32.9'
$t_c^x =$	233°16.2'	$\text{I} = +$ 45.3'
$\Delta t =$	3°11.8'	$\text{II} =$ 0.0'
$t_c^z =$	236°28.0'	$\text{III} = -$ 0.2'
$\lambda_c =$	10°15.0' W	<hr style="width: 100%;"/>
$t_{\varphi} =$	226°13.0'	$\varphi_0 =$ 30°18.0' N

例，续上例， $T_s = 051600$ ，钟时 = 051451 ，观测织女一 (139) 得 $h_s = 46^\circ 48.3'$ ，用所求纬线与这条星船位线联合定船位。

解:

02-29 T_s =	05	16	
ZD =	0		
<hr/>			
02-29 $T_c \approx$	05	16	
钟时 =	05	14	57
钟差 = +			05
<hr/>			
02-29 $T_c \approx$	05	15	56
t_c^* =			233°16.2'
Δt =			3°59.7'
<hr/>			
t_c^* =			237°15.9'
τ =			80°49.8'
<hr/>			
t_c =			318°05.7'
λ_c =			10°15.0' W
<hr/>			
t =			52°09.3' E

	h_s =	46°48.3'	
	$i+s$ = +	2.1'	
	<hr/>		
	h' =	46°50.4'	
总改正 = -		5.4'	
	<hr/>		
	h_o =	46°45.0'	
	δ =	38°46.3' N	
	h'_c =	46°45.8'	

$\delta' = 38°30' N$	$\delta - \delta' = +16.3'$	$\Delta d = +09$	$\Delta h'_s = +1.5'$
$t' = 52° E$	$t - t' = +9.3'$	$\Delta t = -78$	$\Delta h_t = -7.3'$
$\phi = 30° N$	$\phi - \phi' = +15.0'$		$\Delta h_\phi = +6.5'$

$h_o = 46°45.0'$	$h_c = 46°46.5'$
$h_c = 46°46.5'$	$A_c = 64.2° NE$

$Dh = -1.5'$

由上例:

$A = 0^\circ$
 $CG = 200^\circ$
 $A - CG = 200^\circ$
 $\delta h_z = -0.23'$
 $T_2 - T_3 = 3.2$
 $\Delta h_z = -0.7'$
 向北截取 K 点

	h_o =	29°32.9'	
	$\Delta h_z = -$	0.7'	
	<hr/>		
同顶高 h'_o =		29°32.2'	
x = +		45.1'	
	<hr/>		
ϕ_o =		30°17.3' N	
ϕ_c =		30°15.0' N	
	<hr/>		
$\phi_o - \phi_c$ = +		2.3'	

如图 5-6-6, 以 EP 为基准画纬线和星船位线, 得到 $T_1 = 0516$ 的观测船位⊙, 其

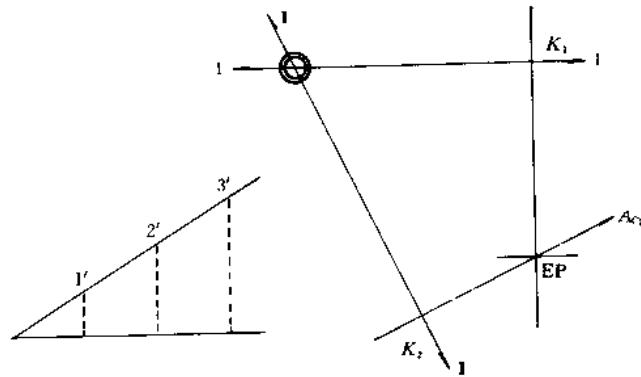


图 5-6-6 纬线与星船位线联合定船位

$$\varphi_0 = 30^{\circ}17.3'N;$$

$$\lambda_0 = 10^{\circ}18.2'W.$$

第 7 节 观测太阳特大高度定船位

一、观测太阳特大高度定船位的原理

根据天文船位圆原理，天文船位圆圆心是天体的地理位置，其地理坐标为：

$$\varphi = \delta;$$

$$\lambda = t_G \text{ (半圆时角)}$$

且 φ 与 δ 和 λ 与 t_G 均分别同名。天文船位圆半径为天体顶距 $z = 90^{\circ} - h$ 。在通常情况下，因 z 太大，在墨卡托海图上画船位圆行不通。但是，在低纬度海区，在太阳赤纬与测者纬度之差在 2° 以内且同名的日子里，太阳上中天前后接近测者天顶，高度可达 88° 以上。这时，由于顶距小于 $120'$ ，太阳地理位置与观测船位往往能在同一海图上；而且，在低纬度，墨卡托海图纬度渐长引起的船位圆变形很小，可不考虑它的影响。所以，可直接在海图上按圆心和半径画出船位圆。

当然，在实际工作中，并不需要画出整个船位圆，只需画出推算船位附近的一小段船位圆的圆弧。用两个或三个船位圆弧段相交求船位即可。

船舶在航行中，这样得到的两个或三个船位圆弧段，不是同一地点的，应该用移线的方法把它们转化为同一地点。如图 5-7-1，求第二次观测时的船位，要把船位圆弧段 I—I 按两次观测间的航迹向和航程，平移到 I'—I'，与船位圆弧段 I—I 相交。但是，平移弧段不方便，若将圆心 O_1 按航迹向、航程移到 O_2 ，所得的结果与平移弧段一样。

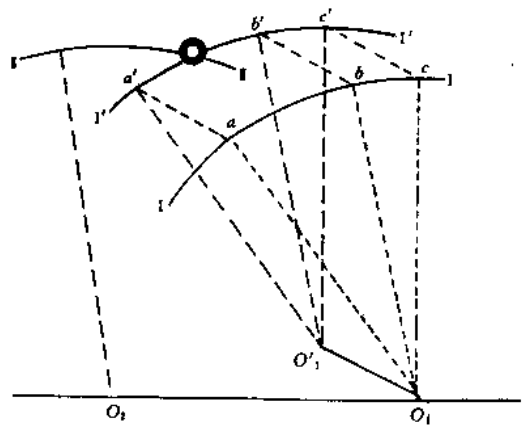


图 5-7-1 观测太阳特大高度移线定船位原理

二、观测太阳特大高度定船位的特点

(一) 太阳上中天前后方位变化很快，可以在较短时间内定出船位 在周日视运动中，天体方位变化速度，不仅与测者纬度有关，还与天体的方位和高度有关。在时角变化量为 Δt 时，方位变化量 ΔA 的公式为：

$$\Delta A = (\cos \varphi \operatorname{tg} h \cos A - \sin \varphi) \Delta t \quad (5.14)$$

当太阳上中天时, $A=180^\circ$ 或 0° 。取 $A=180^\circ$, Δt 为一分钟的时角变化量, 则得太阳上中天时每分钟方位变化量 δA 的公式为:

$$|\delta A| = 0.25^\circ (\cos \varphi \operatorname{tg} h + \sin \varphi) \quad (5.15)$$

按上式可计算编成下表。

表 5-4 太阳上中天时 (取 $A=180^\circ$) 每分钟方位变化量表

$h \backslash \varphi$	0°	5°	10°	15°	20°	25°
88°	7.2	7.2	7.1	7.0	6.8	6.6
89°	14.3	14.3	14.1	13.9	13.5	—
$89^\circ 30'$	28.6	28.6	28.3	27.7	27.0	—
$89^\circ 40'$	43.0	42.8	42.4	41.6	40.5	—
$89^\circ 50'$	85.9	85.6	84.7	83.1	80.5	—

从表中看出, 太阳高度越高, 方位变化越快。当太阳 $h > 88^\circ$ 时, 只需几分钟, 太阳方位就可以变化几十度, 在几分钟或十几分钟内, 便可测得两、三个方位差角较为合适的船位圆, 定出船位。

(二) 观测特大高度比较困难, 应采取相应的措施 当太阳 $h > 88^\circ$ 时, 由于高度太大, 观测中摇摆六分仪, 在望远镜视野中看到的太阳影像的摆动弧线几乎与水天线平行, 不易找准切点。同时, 由于方位变化很快, 也难以使六分仪平面与太阳方位圈平面保持重合。这都能引起观测误差。为了克服这种困难, 可预先求出太阳上中天船时, 估计各次观测开始的太阳概略方位; 观测时, 借助罗经对准太阳方向进行观测, 并注意测者的朝向要随着太阳方位的不断变化面变, 同时要注意保持六分仪的垂直。

三、观测太阳特大高度定船位的工作步骤

(一) 准备

1. 求太阳上中天的船时、上中天时的推算纬度和太阳近似赤纬, 判断是否可观测太阳特大高度;
2. 判定可观测后, 估计各次观测开始时的太阳概略方位;
3. 进行六分仪、钟表的准备。

(二) 观测

1. 一般太阳上中天前 3~5 min 进行第一次观测, 上中天时进行第二次观测, 可能的话在上中天后 3~5 min 进行第三次观测, 并记下每次观测的高度和时间;
2. 观测后, 用罗经或其他方法确定太阳的方向, 是在天顶之南还是北;
3. 记下船时、计程仪读数、航向、航速等有关资料。

(三) 计算

1. 进行高度修正, 求出每次观测的真高度并换算出顶距 z ;
2. 按第二次观测的世界时查取太阳格林时角 t_{G_2} (应换算为半圆时角) 和赤纬 δ ;
3. 求各次观测的时间差, 若观测三次, 则求 $\Delta T' = T_2 - T_1$ 、 $\Delta T'' = T_3 - T_2$, 并把单位换算成弧分;
4. 按航速和时间间隔 $\Delta T'$ 、 $\Delta T''$, 分别求出各观测间的实际航程 (s_G)。

(四) 作图

1. 按 $\varphi = \delta$ 、 $\lambda_2 = t_{G_2}$, 在海图上标出第二次观测时的太阳地理位置 S_2 ;
2. 在 $\varphi = \delta$ 的纬度线上, 以 S_2 为基准, 按 $\Delta \lambda' = \Delta T'$ 、 $\Delta \lambda'' = \Delta T''$ 向东、向西分别标出第一次和第三次观测时的太阳地理位置 S_1 和 S_3 。这是因为整个的观测时间不长, 太阳赤纬变化又很慢, 因此, 可将所求的 δ 作为三次观测的太阳地理位置的共同纬度;

3. 按航迹向和所求出的航程, 分别将 S_1 (向前) 和 S_3 (向后) 转移到 S'_1 和 S'_3 ;
4. 以 S'_1 、 S'_2 、 S'_3 为圆心、以 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 为半径, 分别在推算船位附近画出船位圆弧段, 即若观测时太阳方位为南, 应在圆心以北画船位圆弧段; 反之, 则应向南画船位圆弧段;
5. 求出观测船位后, 量取其经度和纬度。

(五) 填写航海日志

例, 1992年5月10日, $T_s=115600$, $\varphi=17^{\circ}01.0'N$, $\lambda_c=119^{\circ}46.0'E$, 航向= 45° , 航速= 15 kn , 钟差= $+25\text{ s}$, $e=6\text{ m}$, $i+s=+1.5'$, 太阳在北, 进行三次观测, 得:

	I	II	III
h_s^{\odot}	88°30.7'	89°04.9'	88°56.9'
表时	035203	035515	030855

求第二次观测时 ($T_s=115600$) 的观测船位。

解:

1. 求第二次观测的船位圆圆心坐标

05-10 T_s = 11 56	钟时 = 03 55 15
ZD = - 8h	钟差 = + 25s
05-10 T_G \approx 03 56	05-10 T_G = 03 55 40
$t'_G \approx 225^{\circ}54.3'$ ($\bar{\Delta}=1.0'$)	$\Delta\delta' = 17^{\circ}39.8'N$ ($\Delta=+0.6'$)
$\Delta t = 13^{\circ}54.1'$	$\Delta\delta = +0.6'$
$\Delta t' = 0.9'$	$\delta = 17^{\circ}40.4' N$
$t_G = 239^{\circ}49.3' W$	$\varphi = 17^{\circ}40.4' N$
$\lambda_2 = 120^{\circ}10.7' E$	

2. 求第一、三次观测的船位圆圆心与第二次观测的船位圆圆心的经差

$T_2 = 04 15$	$T_3 = 07 55$
$T_1 = 01 03$	$T_2 = 04 15$
$\Delta T' = 03 12$	$\Delta T'' = 03 40$
$\Delta\lambda' = 48.0'$	$\Delta\lambda'' = 55.0'$

3. 求各次观测的船位圆半径

	I	II	III
h_s^{\odot}	88°30.7'	89°04.9'	88°56.9'
$i+s$	+ 1.5'	+ 1.5'	+ 1.5'
h'	88°32.2'	89°06.4'	88°58.4'
总改正	+ 11.7'	+ 11.7'	+ 11.7'
附加改正	- 0.1'	- 0.1'	- 0.1'
h	88°43.8'	89°18.0'	89°10.0'
z	76.2'	42.0'	50.0'

4. 求移线航程

$$v = \frac{15'}{60} \qquad v = \frac{15'}{60}$$

$$\frac{\Delta T' = 3.2'}{S'_c = 0.8'} \qquad \frac{\Delta T' = 3.7'}{S'_c = 0.9'}$$

5. 作图

求得 $T_1 = 115600$ 的观测船位 \odot .

$$\varphi_0 = 17^\circ 03.5' N;$$

$$\lambda_0 = 119^\circ 49.5' E$$

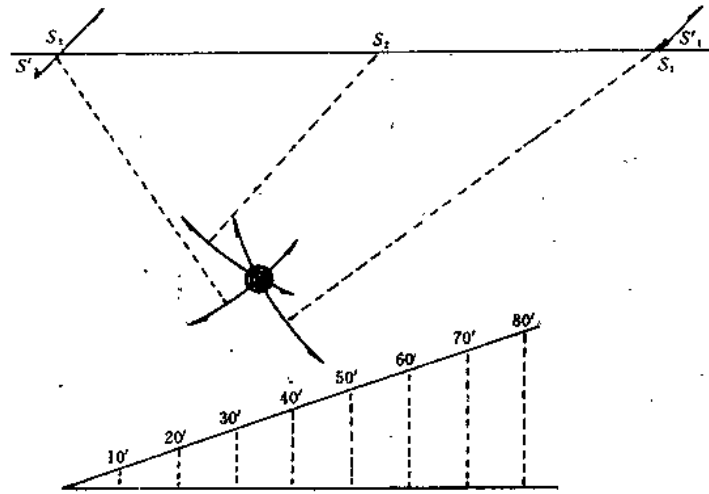


图 5-7-2 太阳特大高度定位

第6章 天文船位准确性的分析

准确地观测船位是航行安全的基本保证条件之一。但是，观测船位通常是不准确的。天文船位和其他观测船位一样，不可避免地含有一定的误差。因此，驾驶人员不仅应掌握天文船位原理和各种定位方法，还必须研究天文船位误差的来源、性质、规律，减少船位误差和提高观测船位准确性的措施，以及对观测船位的准确性进行分析的方法。这不只是一个技术问题，还是驾驶人员面临的一项职责性任务，应该认真对待。

第1节 误差的基础知识

一、误差及其分类

任何一次观测和近似计算均存在误差 (error)。所谓误差，是指观测和近似计算的结果与真值 (true value) 之差。

每一误差都可能包含下述三种性质不同的部分，即粗差、系统误差和随机误差。

(一) **粗差** (mistake) 这是由测者的粗心大意引起的，又称为过失误差。粗差造成的后果难以估计，严重的甚至导致航海事故。但是，只要加强工作责任心，熟练测算技术，这种误差是完全可以避免的。因此，在研究船位误差理论时，通常假定不存在此类误差。

(二) **系统误差** (systematic error) (ϵ)

这是在一定条件下，进行多次观测或近似计算，其大小和符号保持不变或按一定规律变化的误差。它主要是由仪器缺陷、计算模式不当、环境条件变化、测者感官的不完善引起的。这类误差，有的可通过检查、调整或校正加以消除；有的可用测定改正量的方法予以改正；有的则属一时难以掌握和测定的未定系统误差 (unknown systematic error)。

(三) **随机误差** (random error) (δ)

这是在大体相同的条件下，进行一系列观测和计算产生的大小和符号随机变化的误差。它是由工作过程中主客观方面的各种相互独立的偶然因素的综合作用引起的，又称为偶然误差 (accidental error)。

任意一次观测或计算的随机误差的大小和符号不可预计，也不能消除或改正，因而是不可避免的。但是，如能正确保管、维护仪器，提高测算技术水平和测者素质，这类误差又是可以减小的。

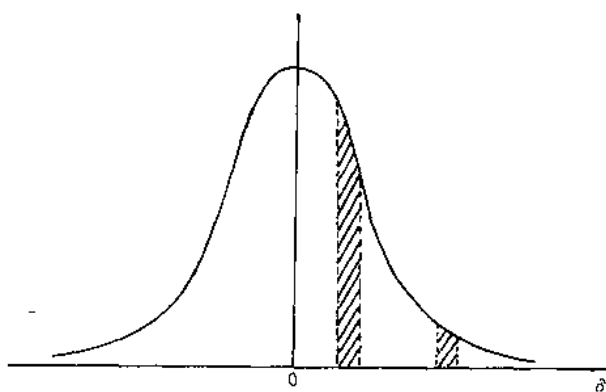


图 6-1-1 随机误差正态分布

二、随机误差的特性

任意一个具体的随机误差通常是无法确定的。但是，一系列随机误差的出现，又具有一定的规律性。天文定位中的随机误差，多属于连续型的正态分布范畴。如图 6-1-1，横轴表示随机误差 (δ) 的大小，纵轴表示随机误差出现的概率密度 (probability density)。

由图看出，服从正态分布规律的随机误差，具有下列三个特性：

(一) 在大体相同的条件下，随机误差的绝对值不会超过一定的范围。

(二) 在一列随机误差中, 绝对值小的比绝对值大的, 出现的概率 (probability) 高。

(三) 在一列随机误差中, 绝对值相等的正误差和负误差, 出现的概率相等。

这一特性表明, 在一列随机误差中, 有可能正负误差互相抵消。因此, 当观测次数无限增大时, 随机误差的算术平均值 (arithmetic mean) 趋近于零。即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n}{n} = 0$$

式中 n ——观测次数; δ ——每次观测的随机误差的真值, 称为真误差 (true error)。在不存在粗差和系统误差的条件下, 它等于观测量的真值 (true value) (X) 减观测值 (observed value) (x)。

以括号 [] 表示总和, 则上式可写成:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\delta]}{n} = 0 \quad (6.1)$$

三、观测值的算术平均值

设 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, 为某一观测量的 n 次观测值, 则诸观测值的算术平均值 (\bar{x}) 为:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (6.2)$$

即

$$\bar{x} = \frac{[x]}{n} \quad (6.3)$$

因为

$$\delta_1 = X - x_1$$

$$\delta_2 = X - x_2$$

$$\delta_3 = X - x_3$$

.....

$$\delta_n = X - x_n$$

取总和, 可得:

$$[\delta] = nX - [x]$$

以 n 除之, 得:

$$\frac{[\delta]}{n} = X - \frac{[x]}{n}$$

即

$$\frac{[x]}{n} = X - \frac{[\delta]}{n}$$

式中 $\frac{[x]}{n}$ 为观测值的算术平均值 (\bar{x});

$\frac{[\delta]}{n}$ ——观测值真误差的算术平均值, 由公式 (6.1) 知道, 当观测次数 n 无限增大时, 它趋近于零。

因此得到:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[x]}{n} = X \quad (6.4)$$

此式表明, 当观测次数 n 无限增大时, 观测值的算术平均值 (\bar{x}), 趋近于观测量的真值 (X)。但是, 实际上, 不可能也不必要作无限次观测。自然, 有限次观测值的算术平均值不等于其真值。但从总体上说, 算术平均值比单个观测值更接近于真值。所以, 通常把它作为观测量的最或然值 (most probable value)。

四、观测值的均方误差

(一) 均方误差的定义 所谓观测值的均方误差 (root mean square error) (σ), 是指一系列等精度 (equal precision) 观测值的真误差 (δ) 的平方和除以观测次数 (n) 的平方根。用公式表示即为:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{n}} \quad (6.5)$$

或

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n}} \quad (6.6)$$

用上式求得的均方误差, 称为单个观测值的均方误差。如图 6-1-2, 观测值的真误差出现在一倍均方误差范围内的概率为 68.3%, 出现在二倍均方误差范围内的概率为 95.5%, 出现在三倍均方误差范围内的概率为 99.7%。可见, 均方误差能表明观测值的精确度。均方误差愈小, 表示观测的质量愈高。

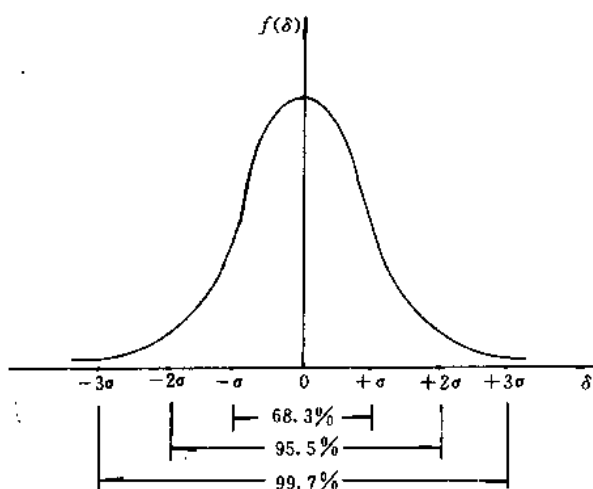


图 6-1-2 真误差出现的概率

(二) 均方误差的近似计算公式 在不知道观测值的真误差 (δ) 的情况下, 不能用上式计算均方误差, 但可用下列近似公式求得:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[yy]}{n-1}} \quad (6.7)$$

式中 y ——观测值的最或然误差 (most probable error), 等于观测值的算术平均值 (\bar{x}) 减观测值 (x), 即

$$y = \bar{x} - x \quad (6.8)$$

例, 对某一观测量的观测值为: $35^\circ 35.0'$, $35^\circ 36.0'$, $35^\circ 35.5'$, $35^\circ 36.2'$, $35^\circ 34.8'$, $35^\circ 36.1'$, $35^\circ 35.6'$, 求单个观测值的均方误差。

解: 求解过程和结果见表 6-1。

表 6-1 求观测值的均方误差

次 序	x	y	yy	σ
1	$35^\circ 35.0'$	$+0.6'$	0.36	$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1.78}{6}} = \pm 0.54'$
2	$36.0'$	$-0.4'$	0.16	
3	$35.5'$	$+0.1'$	0.01	
4	$36.2'$	$-0.6'$	0.36	
5	$34.8'$	$+0.8'$	0.64	
6	$36.1'$	$-0.5'$	0.25	
7	$35^\circ 35.6'$	0	0	
\bar{x}	$35^\circ 35.6'$	$[yy]$	1.78	

五、观测值函数的均方误差

(一) 和差函数的均方误差

设有函数

$$z = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n$$

式中 x_1, x_2, \dots, x_n , 为独立的观测值。它们存在随机误差时, 必定会传递给函数 z 。已知各观测值的均方误差为 $\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2}, \dots, \sigma_{x_n}$, 根据证明, 则函数的均方误差 σ_z^2 为:

$$\sigma_z^2 = \sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 + \dots + \sigma_{x_n}^2 \quad (6.9)$$

即 n 个独立观测值的和或差的均方误差平方, 等于 n 个独立观测值均方误差的平方和。

(二) 线性函数的均方误差

设有函数

$$z = k_1 x_1 \pm k_2 x_2 \pm \dots \pm k_n x_n$$

式中 k_1, k_2, \dots, k_n 为常数。则函数的均方误差 σ_z^2 为:

$$\sigma_z^2 = k_1^2 \sigma_{x_1}^2 + k_2^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + k_n^2 \sigma_{x_n}^2 \quad (6.10)$$

即常数与观测值乘积的代数和的均方误差平方, 等于各常数与其对应观测值均方误差乘积的平方和。

(三) 算术平均值的均方误差

由公式 (6.2), 观测值的算术平均值 \bar{x} 为:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

展开之, 即

$$\bar{x} = \frac{1}{n} x_1 + \frac{1}{n} x_2 + \dots + \frac{1}{n} x_n$$

根据线性函数均方误差公式 (6.10), 算术平均值的均方误差 E , 可由下式求得:

$$E^2 = \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2$$

因为观测值 x_1, x_2, \dots, x_n 是等精度的, 它们的均方误差相等, 即 $\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = \dots = \sigma_{x_n} = \sigma$, 故有

$$E^2 = \left(\frac{1}{n}\right)^2 n \sigma^2 = \frac{\sigma^2}{n}$$

即

$$E = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6.11)$$

上式表明, 算术平均值的均方误差 E , 比单个观测值的均方误差 σ 小 \sqrt{n} 倍。在一定条件下, 观测次数愈多, 算术平均值的均方误差愈小。

第 2 节 天文船位线的随机误差

一、观测天体真高度的随机误差

天体真高度 h_0 依下式求得:

$$h_0 = h_s + i + s + c$$

式中 h_s 为六分仪观测高度; $(i+s)$ 为仪器修正量; c 为高度总改正量。由于观测和计算过程均存在随机误差, 必然使天体真高度产生随机误差。以均方误差表示其关系, 由公式 (6.9) 则有:

$$\sigma_{h_0} = \pm \sqrt{\sigma_{h_s}^2 + \sigma_i^2 + \sigma_s^2 + \sigma_c^2} \quad (6.12)$$

通常, σ_i 、 σ_s 和 σ_c 都很小, 可忽略不计, 故得:

$$\sigma_{h_0} = \sigma_{h_s} \quad (6.13)$$

此式表明, 天体真高度的随机误差主要来源于观测天体高度的随机误差, 而后者的主要产生原因是:

1. 人的误差 人眼对角度的分辨能力一般为 $1'$ 。使用放大倍数为 $3.5 \sim 5$ 的望远镜的六分仪观测天体高度, 当天体影像和水天线之间的距角小于 $0.3' \sim 0.2'$ 时, 就分辨不出它们是否相切或重合了。再者, 在观测过程中天体方位不断变化, 测者很难做到随时移动六分仪分度弧平面, 使之与天体方位圈保持准确重合。这都可能使六分仪高度产生某种随机的观测误差 (error of observation)。

2. 外界条件的影响 涌浪、云层、光线等，常常使测者观测时辨认水天线发生困难，加之，船体摇摆、振动以及测者观测位置及其避风程度的不同，也都可能产生观测误差。

上述误差都是互相独立的，它们综合作用的结果，构成了观测高度的随机误差。这种随机误差的大小，在一定条件下，与测者的观测经验和技术水平有关。测者的技术水平愈高，经验愈丰富，误差就愈小。对于经过训练，具有一定经验和水平的测者来说，在正常观测条件下，单个观测高度的均方误差 σ_{h_c} 为：

观测太阳：±0.3' ~ ±1.0'，平均为 ±0.7'；

晨昏测星：±0.5' ~ ±2.0'，平均为 ±1.2'。

二、天体计算高度的随机误差

天体计算高度 h_c ，是根据观测时间，使用《航海天文历》和《B105表》，经过多次查表、内插、凑整求得的。每一环节，都可能产生小量误差，而引起计算高度的随机误差。根据证明，使用《B105表》求计算高度的均方误差 σ_{h_c} ，如表（6-2），其值依高度的不同而不同。

表 6-2 使用《B105表》计算高度的均方误差

h_c	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
σ_{h_c}	0.17'	0.18'	0.20'	0.22'	0.26'	0.34'	0.50'	0.98'

上表只反映了查《航海天文历》和《B105表》误差的影响，而未顾及记时误差的作用。所以，实际上，使用《B105表》求计算高度的均方误差比表列数值要大。

三、天文船位线的随机误差

天文船位线是由天体计算方位 A_c 和高度差 $Dh = h_0 - h_c$ 两要素决定的。 A_c 虽有少许误差，但一般均可满足定位精度的要求。所以，天文船位线的随机误差，主要来源于 Dh 即 h_0 和 h_c 的随机误差。以均方误差表示之，则有：

$$\sigma_{Dh}^2 = \sigma_{h_0}^2 + \sigma_{h_c}^2$$

即

$$\sigma_{Dh} = \pm \sqrt{\sigma_{h_0}^2 + \sigma_{h_c}^2} \quad (6.14)$$

将公式（1.13）代入上式，得：

$$\sigma_{Dh} = \pm \sqrt{\sigma_{h_s}^2 + \sigma_{h_c}^2} \quad (6.15)$$

如果所用的六分仪高度是 n 个高度的算术平均值的话，那么，上式中的单个观测高度均方误差 σ_{h_s} ，应用平均高度的均方误差 E_{h_s} 代替，因此有：

$$\sigma_{Dh} = \pm \sqrt{E_{h_s}^2 + \sigma_{h_c}^2} \quad (6.16)$$

依公式（6.11），可写成：

$$\sigma_{Dh} = \pm \sqrt{\frac{\sigma_{h_s}^2}{n} + \sigma_{h_c}^2} \quad (6.17)$$

设 $\sigma_{h_s} = 1.0'$ ，用《B105表》计算 h_c ， $n=1$ 或 3，5，则天文船位线均方误差值，如下表：

表 6-3 天文船位线均方误差表

$n \backslash h_c$	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
1	1.01'	1.02'	1.02'	1.02'	1.03'	1.06'	1.12'	1.40'
3	0.60'	0.61'	0.61'	0.62'	0.64'	0.67'	0.76'	1.14'
5	0.48'	0.48'	0.49'	0.50'	0.52'	0.56'	0.67'	1.08'

第3节 观测高度均方误差的求法

一、计算公式及其使用条件

不同的测者或同一测者在不同的观测条件下, 单个观测高度的均方误差 σ_h 是不同的。每个测者应该经常地在不同的观测条件下, 测定自己的观测高度的均方误差。

在海上, 观测天体高度, 不知其真值, 无法按公式 (6.6), 而只能依公式 (6.7) 来计算观测高度均方误差 σ_h , 即

$$\sigma_h = \pm \sqrt{\frac{[yy]}{n-1}}$$

式中 y 为观测高度的最或然误差, 等于观测高度的平均值与单个观测高度之差。

按照均方误差概念, 上式中的观测高度最或然误差 y , 必须符合在观测条件不变的情况下, 对同一个天体高度进行 n 次观测的条件, 才能使用上式计算。但是, 实际上, 在观测过程中, 由于天体周日视运动和船舶航行, 使得天体高度不断变化。换言之, 所测得的一组高度不是同一天体高度的观测值。因此, 必须把它们转化为相当于天体和测者均不动的情况下所测的一组高度, 即修正到同一时刻和同一天顶。

二、测定观测高度均方误差的步骤和方法

(一) 观测天体高度 一般连续观测 5~7 次, 记下每个高度的表时, 并记下船时、航向、航速、海区、推算经纬度、天体方位以及天气、海面和水天线状况。

(二) 将观测高度修正到同一时刻和同一天顶 通常修正到最后一次观测的时刻和天顶。其方法是:

1. 计算由天体周日视运动引起的天体高度一分钟变动量 δh_m 由公式 (1.5) 知:

$$\delta h_m = 15' \cos \varphi \sin A$$

根据推算纬度 φ 和天体方位 A (象限算法), 可从《航海表》表 I-5a “天体高度每分钟变动量表” 中查出 δh 值。其符号随天体高度变化趋势而定; 高度上升, δh 为正, 反之, 为负。

2. 计算因船舶航行引起的天体高度一分钟变动量即异顶差 δh_z 由公式 (5.4) 知:

$$\delta h_z = \frac{v}{60} \cos (A \sim CG)$$

根据天体的舷角 $A \sim CG$ 和航速 V , 可从《航海表》表 I-6 “异顶差表” 中查出 δh_z 值及其符号。

3. 计算天体高度一分钟的总变动量 δh

$$\delta h = \delta h_m + \delta h_z \quad (6.18)$$

4. 计算各次观测的时间差 ΔT_i 用最后一次观测的表时 T_n , 分别减去各次观测的表时 T_i , 并将其化为以分钟为单位。

5. 计算各个观测高度的修正量 Δh_i

$$\Delta h_i = \delta h \cdot \Delta T_i \quad (6.19)$$

6. 计算同一时刻和同一天顶的高度 h'_i 将各个观测高度 h_{Si} , 分别加上其修正量 Δh_i , 即

$$h'_{Si} = h_{Si} + \Delta h_i \quad (6.20)$$

(三) 求观测高度均方误差

1. 计算同一时刻、同一天顶高度 h'_i 的算术平均值, 即

$$\text{平均高度} = \frac{h'_{S1} + h'_{S2} + \dots + h'_{Sn}}{n}$$

2. 计算各个高度 h_s 的最或然误差 y

$$y_i = \text{平均高度} - h_{s_i}$$

3. 根据公式

$$\delta h_s = \pm \sqrt{\frac{[y_i y_i]}{n-1}}$$

求得观测高度均方误差 δh_s 。

例, 1992年5月9日, $T_s=0904$, 在东海, $\varphi_c=27^\circ 50.0' N$, $\lambda_c=123^\circ 05.0' E$, 观测一组太阳高度:

h_s	T
$51^\circ 07.9'$	010049
13.9	0125
19.4	0148
28.7	0231
37.6	0310
41.5	0327
$51^\circ 48.2'$	010358

$CG=302^\circ$, $v=14 \text{ kn}$, $A=97^\circ$; 晴, 东南风3级, 浪2级; 水平线清晰。

求观测高度均方误差 δh_s 。

解:

如下表:

表 6-4 观测高度准确性计算表

1992年5月9日,	$T_s=0904$, $A=97^\circ$	$\delta h_m = +13.16'$
航行海区	$CG=302^\circ$ $v=14 \text{ kn}$	$\delta h_s = -0.21'$
$\varphi_c=27^\circ 50.0' N$	天气情况晴, 风SE-3级	$\delta h = +12.95'$
$\lambda_c=123^\circ 05.0' E$	海面情况浪2级	

次序	表时 (T)	时间差 ($\Delta T_i = T_s - T_i$)		修正量 ($\Delta h_i = \delta h \cdot \Delta T_i$)	六分仪高度 (h_s)	同一时刻 同一天顶 高度	y_i	$y_i y_i$
		min s	min					
1	010049	3 09	3.15	+40.8'	$51^\circ 07.9'$	$51^\circ 48.7'$	-0.84'	0.71
2	0125	2 32	2.55	+33.0'	13.9'	46.9'	+0.96'	0.92
3	0148	2 10	2.17	+28.1'	19.4'	47.5'	+0.36'	0.13
4	0231	1 27	1.45	+18.8'	28.7'	47.5'	+0.36'	0.13
5	0310	0 48	0.80	+10.4'	37.6'	48.0'	-0.14'	0.02
6	0327	0 31	0.52	+6.7'	41.5'	48.2'	-0.34'	0.12
7	010358				$51^\circ 48.2'$	$51^\circ 48.2'$	0.34'	0.12
平均高度						$51^\circ 47.86'$	$[y_i y_i]$	2.15

$$\sigma_{h_s} = \pm \sqrt{\frac{[y_i y_i]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{2.15}{6}} = \pm 0.60'$$

第4节 随机误差对天文船位线和两线船位的影响

一、随机误差对天文船位线的影响

如图 6-4-1, I—I 为观测的天文船位线。如其高度差没有误差, 它就是真船位线。若有在随机误差, 且均方误差 σ_{DA} 为 $K_1 K'_1 = K_1 K''_1$ 时, 则它通常不是真船位线。真船位线将散布在它的两侧, 在一倍均方误差范围内的概率, 为 68.3%; 二倍均方误差范围内的概率为 95.5%。可见, 随机误差对船位线的影响, 是使真船位线在一定概率下, 散布在以观测船位线为中间线的船位带内。

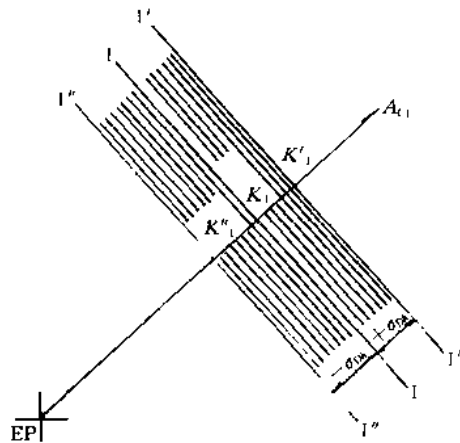


图 6-4-1 随机误差对船位线的影响

二、随机误差对线船位的影响

在船位线存在随机误差的情况下, 真船位通常不在两条船位线的交点——观测船位上, 而将散布在其周围。虽然, 无法肯定真船位的具体位置, 但可根据船位线均方误差及天体方位差角的大小, 估计出它散布的范围, 并以一定的几何图形来表示, 借以表明观测船位准确性的好坏。

(一) 均方误差四边形 如图 6-4-2, AF 为观测船位, 两条船位线的均方误差分别为 σ_{DA_1} 和 σ_{DA_2} 。以两条船位线为基准, 分别按其均方误差值向两侧画出船位带, 相交成一个平行四边形 $abcd$, 称为均方误差四边形 (error parallelogram)。

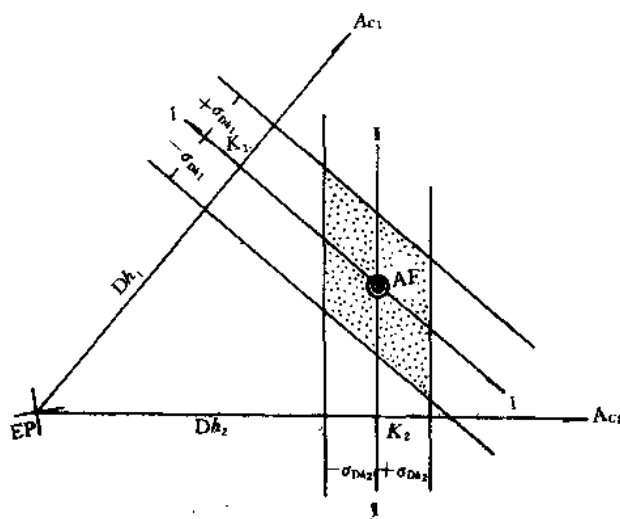


图 6-4-2 船位均方误差四边形

真船位散布任一一倍均方误差船位带内的概率为 68.3%, 散布在均方误差四边形内的概率则为 46.6%。

(二) 均方误差圆 以 σ_{AF} 表示观测船位均方误差, 根据证明:

$$\sigma_{AF} = \pm \frac{\sqrt{\sigma_{DA_1}^2 + \sigma_{DA_2}^2}}{\sin(A_2 - A_1)} \quad (6.21)$$

式中 σ_{DA_1} 、 σ_{DA_2} ——船位线 I—I 和 I'-I' 的均方误差;

$A_2 - A_1$ ——两天体的方位差角。

在晨光昏影观测星体时, 由于观测的间隔时间不长, 观测条件基本相同, 可以认为两条船位线是等

精度的，即 $\sigma_{DA_1} = \sigma_{DA_2} = \sigma_{DA}$ ，故有：

$$\sigma_{AF} = \pm \frac{\sqrt{2} \sigma_{DA}}{\sin(A_2 - A_1)} \quad (6.22)$$

设 $\sigma_{DA} = 1.0'$ ，在不同 $A_2 - A_1$ 下，双星船位均方误差 σ_{AF} 值，如下表：

表 6-5 双星船位均方误差表

$A_2 - A_1$	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
σ_{AF}	8.1'	4.1'	2.8'	2.2'	1.8'	1.6'	1.5'	1.4'	1.4'
$A_2 - A_1$	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°

如图 6-4-3，以观测船位 AF 为圆心，船位均方误差 σ_{AF} 为半径作圆，称为船位均方误差圆 (error circle)，真船位散布在其中的概率为 63.2%~68.3%。以二倍船位均方误差 $2\sigma_{AF}$ 为半径作圆，真船位散布在其中的概率为 95.4%~98.2%，因而通常取其作为极限误差圆 (limiting error circle)。

三、提高两线船位准确性的措施

船位均方误差四边形和均方误差圆面积的大小，表示着真船位在一定概率下散布的范围。显然，面积愈小，观测船位的准确性愈高。根据证明，均方误差四边形的面积 S 为：

$$S = \frac{4\sigma_{DA_1} \cdot \sigma_{DA_2}}{\sin(A_2 - A_1)} \quad (6.23)$$

而均方误差圆的面积则与其半径 σ_{AF} 成正比。从公式 (6.21)、(6.22) 和 (6.23) 可以看出，为了减小误差图形面积即提高观测船位准确性，首先要尽量减小船位线均方误差 σ_{DA} ，为此，应该：

1. 按观测要领准确地观测天体高度；
2. 最好连续观测 3~5 次高度，取其平均值；
3. 尽量选择中高度 (30~60°) 的天体，避免观测高度小于 10°、大于 70° 的天体。

其次，单从随机误差的角度考虑，在船位线均方误差 σ_{DA} 一定的条件下，天体方位差角 $A_2 - A_1$ 选择 70~110° 为宜，而以 90° 为最好。

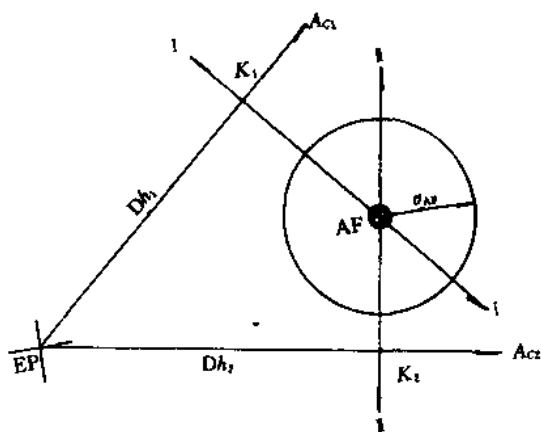


图 6-4-3 船位均方误差图

第 5 节 系统误差对天文船位线和两线船位的影响

一、天文船位线的系统误差

天文船位线除了不可避免地存在随机误差外，通常还存在系统误差。在计算高度中，一般不会有较大的系统误差，它主要产生于天体真高度中。其主要来源有：

1. 人的习惯性误差 观测时，有的测者习惯于把天体影像置于水天线上方或下方一定距离便认为已相切或重合，或者习惯于将天体影像偏于望远镜视野中央的左侧或右侧一些。这样产生的测角误差，是由测者癖癖造成的，带有固定的性质，称为人的习惯性误差 (personal error)。

2. 仪器的误差 六分仪动镜和固定镜规正得不完全，指标差测定得不准确，由于部件磨损或保管不善使得表列器差与实际情况不符 (有时可达 2'~3' 或更多)，或者使得正切螺螺纹和分度弧弧齿之间有了空隙等，都会引起观测高度的系统误差。

3. 眼高差的误差 眼高差带有地方性和季节性，在一些近海海域或气温与水温有较大差别时，实际眼高差常与表列眼高差不符，有时可达 3'~5' 之多。另外，如果所用的眼高不准，也会造成眼高差的误差。

4. 蒙气差的误差 蒙气差和大气状况密切相关, 尤其天体高度小于 30° 时更为显著, 观测时, 如果气温、气压与标准状况相差较大, 实际蒙气差就可能明显偏离表列蒙气差, 如不加改正, 这一误差自然被带入天体真高度之中。

二、系统误差对天文船位线的影响

根据上述可知, 天文船位线的系统误差主要产生于观测求得的真高度中, 并直接反映于船位线的高度差 (Dh) 上。如图 6-5-1, $I-I$ 为观测所得船位线, 假设有一系统误差的 $+\epsilon_{DA}$ 或 $-\epsilon_{DA}$, 则 $I'-I'$ 或 $I''-I''$ 才是消除了系统误差的准确船位线。换句话说, 系统误差将使船位线沿天体方位线的方向产生平行位移。当 ϵ_{DA} 为正 (+) 时, 船位线向着天体方向平移, 当 ϵ_{DA} 为负 (-) 时, 背着天体方向平移, 其移动距离等于 ϵ_{DA} 。

三、系统误差对两线船位的影响

观测两星定位, 两条船位线中的系统误差, 可以认为是相等的, 即 $\epsilon_{DA_1} = \epsilon_{DA_2}$, 而对于观测太阳移线定位来说, 由于二条船位线相隔时间较长, 观测环境、条件发生变化, 加上航迹推算误差的影响, 因而, 通常 ϵ_{DA_1} 不等于 ϵ_{DA_2} 。在这里, 我们只讨论两船位线系统误差相等的情况。

如图 6-5-2, AF 为观测船位, 两条船位线均有一个正的系统误差 $+\epsilon_{DA}$ 。这时, 将两条船位线, 分别向着其天体方向平移一段和 ϵ_{DA} 等长的距离, 则得真船位线 $I'-I'$ 和 $I''-I''$ 和真船位 AF' 。 $\overline{AFAF'}$ 即为观测船位的系统误差 ϵ_{AF} 。

(一) 船位系统误差的大小 过 AF 分别作 $I'-I'$ 和 $I''-I''$ 的垂线, 交于 D 、 E 点。显然:

$$\begin{aligned} AFD &= AFE = \epsilon_{DA} \\ \triangle AFDAF' &= AF EAF' \\ \angle DAFE &= \angle K_1 EPK_2 = A_2 - A_1 \end{aligned}$$

因此, 可得:

$$\epsilon_{AF} = \epsilon_{DA} \sec \frac{A_2 - A_1}{2} \quad (6.24)$$

根据上式, 将双星船位系统误差 ϵ_{AF} 值列表如下:

表 6-6 双星船位系统误差表

ϵ_{DA} \ $A_2 - A_1$	30°	60°	90°	120°	150°
1'	1.0'	1.2'	1.4'	2.0'	3.8'
2'	2.1	2.3	2.8	4.0	7.7
3'	3.1	3.5	4.2	6.0	11.6'

(二) 船位偏移的方向 由上图看出, 真船位相对观测船位的偏移方向 B_{AF} 为 $\angle NAFAF'$ 。因为 $\angle NAFAF' = \angle NAFD + \angle DAFAF'$

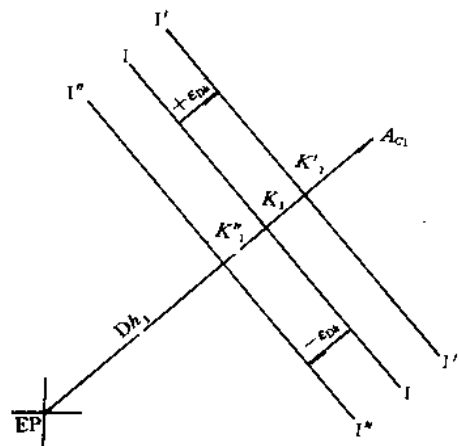


图 6-5-1 系统误差对船位线的影响

所以

$$B_{AF'} = A_1 + \frac{A_2 - A_1}{2}$$

即

$$B_{AF'} = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (6.25)$$

上式表明，真船位偏移的方向，为过观测船位作的两天体的平均方位的方向。

在双星定位中，通常不知道船位线系统误差的大小和符号，无法消除其影响求得真船位。但是，根据上述可以肯定：真船位必定在过观测船位作的两天体的平均方位线上。

四、提高观测船位准确性的措施

公式(6.24)和表(6-4)表明，船位线系统误差愈大，船位系统误差愈大；天体方位差角愈大，船位系统误差也愈大。因此，为了提高观测船位的准确性，首先要尽量防止和减小船位线系统误差，为此，应该：

1. 平时保管、维护好六分仪，定期校正器差表；
2. 准确地检查、规正动镜、定镜和测定指标差；
3. 尽量避免观测低高度的天体，不得已测了高度小于 30° 的天体时，应进行蒙气差的气温、气压改正；
4. 随着船舶装载的变化，确定观测时的实际眼高，并注意积累眼高差随水温与气温变化的资料，总结眼高差改正经验。

其次要适当选择天体的方位差角。在船位线系统误差一定的条件下：天体的方位差角愈小愈好。但从随机误差的角度说，方位差角则以 90° 为最好。考虑到船位线往往同时含有随机误差和系统误差，为了减小它们的综合影响，观测双星定位，方位差角以 $60^\circ \sim 70^\circ$ 为宜；观测太阳移线定位，方位差角以 $30^\circ \sim 60^\circ$ 较为有利。

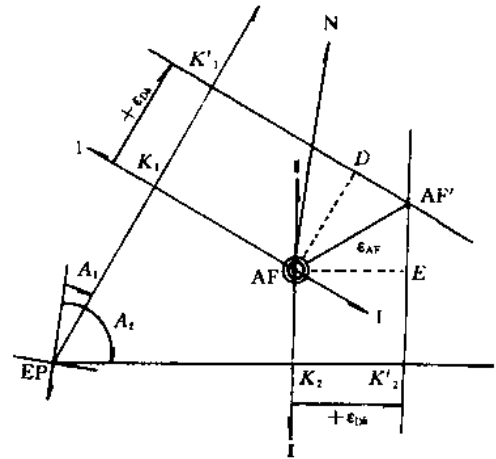


图 6-5-2 系统误差对双星船位的影响

第 6 节 船位误差三角形的处理和消除

一、船位误差三角形的概念

观测三条船位线一般比两条船位线求得的船位准确。但是，由于船位线存在误差，三条船位线通常不相交于一点，而形成三角形，称为船位误差三角形 (error triangle)。

由船位线随机误差形成的三角形，称为船位随机误差三角形 (random error triangle)。由船位线系统误差形成的三角形，称为船位系统误差三角形 (systematic error triangle)。

在一般情况下，船位线的随机误差不大，由其形成的三角形每边不超过 $2'$ 。因此，出现误差三角形时，如其每边小于 $2'$ ，则可以认为属于随机性质的；如三角形较大，且确信无粗差影响，则可以认为属于系统性质的。

二、随机误差三角形的处理

根据证明，在三条船位线均方误差相同的条件下，最或然船位 (most probable fix) 在三角形内，且到三角形各边的距离，与各边的边长成正比。如图 6-6-1，以 a 、 b 、 c 代表三角形各边长， d_1 、 d_2 、 d_3 代表由最或然船位 P 到相应各边的垂直距离，则有：

$$\frac{d_1}{a} = \frac{d_2}{b} = \frac{d_3}{c} \quad (6.26)$$

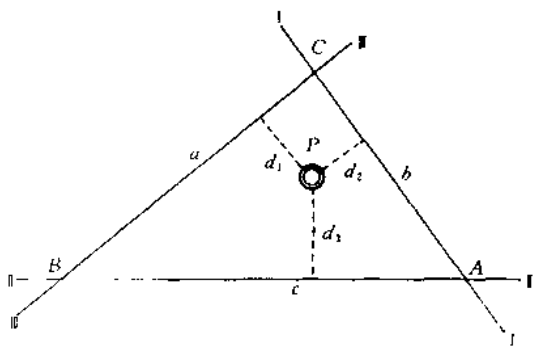


图 6-6-1 随机误差三角形的处理原理

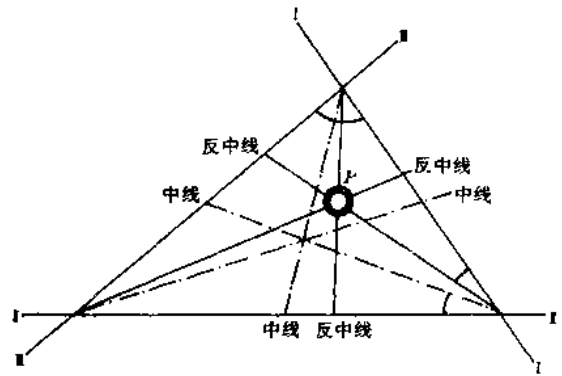


图 6-6-2 用作反中线法求最或然船位

又据证明，随机误差三角形的三条反中线的交点，正好可满足公式 (6.26) 的要求。如图 6-6-2，所谓反中线，是指以三角形内角平分线为对称轴，与中线对称的线。作这样三条反中线，其交点就是所求的随机误差的最或然船位。

实际工作中，也可直接用目测方法估计定位。如图 6-6-3，只要所定之点，基本符合公式 (6.26) 规定的条件即可。

在船位随机误差三角形中，当三边近于相等时，最或然船位可定在三角形中心 (图中 a)；当三边不等时，最或然船位应靠近短边，船位至各边距离与边长成正比 (图中 b、c)。

三、系统误差三角形的消除

观测三星，由于观测条件基本相同，可以认为三条船位线的系统误差相等。前已得出结论：在两条船位线系统误差相等的条件下，真船位必定在过观测船位作的两天体的平均方位线上。显然，如果把系统误差三角形的顶点 A、B、C，视为三个“观测船位”，并分别过它们作两相应天体的平均方位线，那么，这三条平均方位线的交点，就是所求的消除了系统误差的船位 AF，如图 6-6-4。

由于三天体的方位分布不同，两相应天体的平均方位线，可能是三角形的内角平分线，也可能是其外角平分线。为了避免画错，如上图，可在各顶点，分别标出两相应船位线的方位箭头： A_1 和 A_2 ， A_2 和 A_3 ， A_3 和 A_1 。然后，过各顶点，分别作两方位箭头之间的角平分线，其交点即所求之船位。

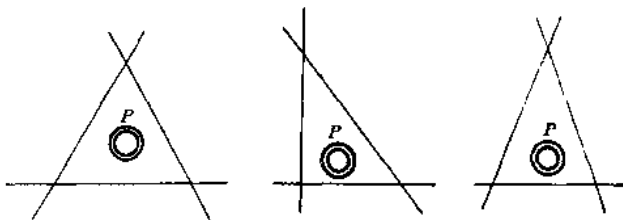


图 6-6-3 用目测法求最或然船位

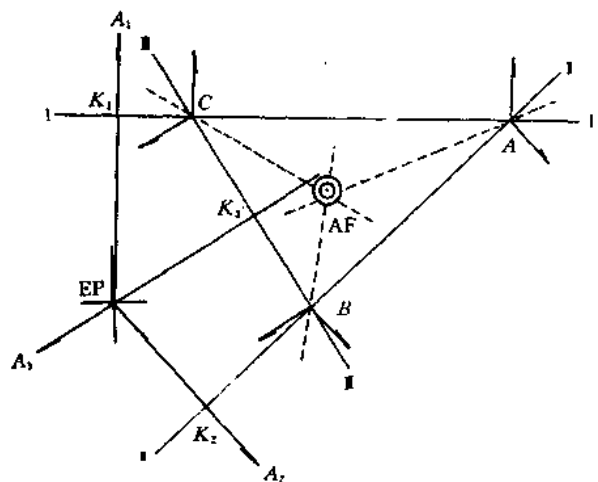


图 6-6-4 系统误差三角形的消除

消除系统误差三角形求得的船位分布，具有一定规律。如图 6-6-5，当三天体方位分布大于 180° 范围

(即以其中任一天体的方位线为基准, 其余二方位线均分布于基准方位线的两侧) 时, 船位在三角形内, 位于三角形内切圆圆心上。

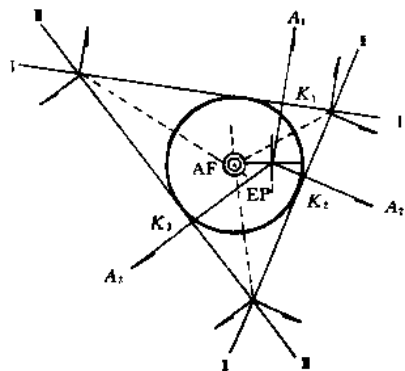


图 6-6-5 三天体方位分布大于 180° 时的船位分布

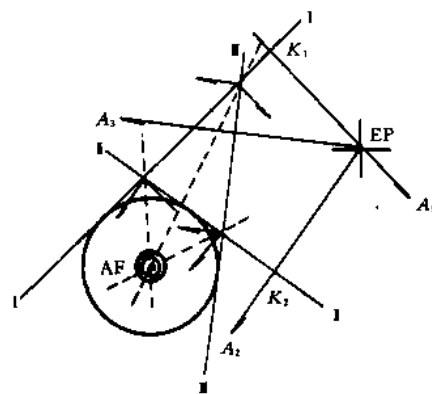


图 6-6-6 三天体方位分布在 180° 范围内时的船位分布

如图 6-6-6, 当三天体方位分布在 180° 范围内 (即其中任两个天体的方位线可能出现在第三方位线的同一侧,) 时, 船位在三角形外, 位于中间一条船位线外侧的旁切圆圆心上。

四、提高三星船位准确性的措施

消除系统误差三角形后的船位并不是真船位, 而是观测船位, 因为还存在着随机误差的影响。而处理随机误差三角形求得的船位, 即使不考虑系统误差的影响, 也不是真船位, 而是最或然船位。因此, 对三星船位来说, 同样有一个如何提高准确性的问题。

为了提高三星船位的准确性, 除了要努力减小船位线的随机误差和系统误差外, 重要的是选择三天体的方位差角。这是因为:

1. 当三天体方位分布在 180° 范围内时, 按随机误差处理, 所得船位在三角形内, 而按系统误差对待, 所得船位在三角形外, 一旦弄错误差三角形性质, 有可能使所得船位产生较大误差。
2. 当三天体方位分布大于 180° 范围时, 不论按随机误差或系统误差对待, 所得船位都在三角形内, 相对比较可靠。
3. 当三天体方位互差 120° 时, 误差三角形为一正三角形, 按两种方法处理的结果, 为同一点, 准确性最好。

第7章 用天文方法测定罗经差

罗经是船舶的主要导航仪器之一。船舶在海上航行必须知道准确的罗经差。否则,将直接影响航向、航迹推算和陆标方位定位的准确性,对航行安全不利。因此,在航行中应当尽可能地利用各种机会测定罗经差。罗经差除可用地文方法测定外,还可用天文方法来测定。利用天文方法测定罗经差,可以不受海域条件的限制,不论白天或黑夜,只要有可供观测的适当天体就行。而且,当船舶看不见岸上目标,无法利用地文方法时,它就成为唯一可用的方法。

第1节 观测低高度天体方位求罗经差

一、天测罗经差的原理

罗经差 [compass error (ΔC)] 是真北线与罗北线之间的夹角,等于目标真方位 (TB) 与其罗方位 (CB) 之差,即

$$\Delta C = TB - CB$$

对于天体来说,等于天体真方位 (A) 与天体罗方位 (CA) 之差,即

$$\Delta C = A - CA \quad (7.1)$$

式中 天体真方位 (A) 和天体罗方位 (CA), 均应为圆周方位。若 $A > CA$, 则 ΔC 为正 (+), 表示罗北线偏在真北线以东; 反之, 则 ΔC 为负 (-), 表示罗北线偏在真北线以西。

显然, 在用罗经观测天体罗方位后, 求出观测时该天体的真方位, 即可由上式得到罗经差。

二、观测天体罗方位

求磁罗经差, 可通过方位圈的瞄向孔、瞄物线瞄测天体罗方位。观测太阳, 也可利用方位圈的黑色反光镜, 通过瞄向孔、瞄物线瞄测黑色反光镜上的太阳影像得到罗方位; 还可转动方位圈, 将凹面反射镜对准太阳并转动镜面, 使太阳光线反射到三棱镜前盖板狭缝中, 再经折射到罗经刻度盘上, 这时太阳光线照示的度数, 即为太阳罗方位。

求陀螺罗经的分罗经差, 可通过光学方位仪的瞄向孔、瞄准器瞄测天体罗方位。观测太阳, 通常利用方位仪的天体反射镜, 通过望远镜视野中的照准线瞄测天体反射镜上的太阳影像得到罗方位。

观测后, 应记下天体罗方位读数、船时、计程仪读数、罗航向, 并从海图上量取观测时船位的经纬度。

三、计算天体真方位

天体真方位 (A), 可按观测时的天体赤纬 (δ)、地方时角 (t) 和测者纬度 (φ), 利用天文三角形的余切公式

$$\text{ctg} A = \text{tg} \delta \cos \varphi \text{csc} t - \sin \varphi \text{ctg} t$$

计算, 也可利用《天体高度方位表》(B105表)查得。

用《B105表》求天体真方位, 在按表列赤纬 δ' 、地方时角 t' 和纬度 φ 查得表列方位 A' 后, 还须进行赤纬、时角和纬度内插, 即

$$A = A' + \Delta A_s + \Delta A_t + \Delta A_\varphi \quad (7.2)$$

式中, ΔA_s 和 ΔA_t , 可分别按相邻两赤纬、时角的方位差, 与赤纬差数 ($\delta - \delta'$)、时角差数 ($t - t'$) 内插求得; ΔA_φ 亦可内插求得, 但求相邻两纬度的方位差, 需翻两次表。为了简便, 可依下式

$$\Delta A_p = \text{tg} h \sin A (\varphi - \phi) \quad (7.3)$$

编成“纬度差1°的方位改正值 (δA_p) 表”，如表 (7-1)，先按从《B105 表》中查得的表列方位和表列高度，从该表中查出 δA_p ，然后乘以度为单位的纬度差数 ($\varphi - \phi$)，即可得到 ΔA_p 的值，其符号与 ($\varphi - \phi$) 的相同。

表 7-1 纬度差 1° 的方位改正值 (δA_p)

δA_p h		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
A											
0°	180°	0.0°	0.0°	0.0°	0.0°	0.0°	0.0°	0.0°	0.0°	0.0°	0.0°
10°	170°	0.0°	0.0°	0.0°	0.1°	0.1°	0.1°	0.1°	0.1°	0.2°	0.2°
20°	160°	0.0°	0.1°	0.1°	0.1°	0.2°	0.2°	0.2°	0.3°	0.3°	0.4°
30°	150°	0.0°	0.1°	0.1°	0.2°	0.2°	0.3°	0.4°	0.5°	0.5°	0.6°
40°	140°	0.1°	0.1°	0.2°	0.2°	0.3°	0.4°	0.4°	0.5°	0.6°	0.8°
50°	130°	0.1°	0.1°	0.2°	0.3°	0.4°	0.4°	0.5°	0.6°	0.8°	0.9°
60°	120°	0.1°	0.2°	0.2°	0.3°	0.4°	0.5°	0.6°	0.7°	0.9°	1.0°
70°	110°	0.1°	0.2°	0.2°	0.3°	0.4°	0.5°	0.7°	0.8°	0.9°	1.1°
80°	100°	0.1°	0.2°	0.3°	0.4°	0.5°	0.6°	0.7°	0.8°	1.0°	1.2°
90°	90°	0.1°	0.2°	0.3°	0.4°	0.5°	0.6°	0.7°	0.8°	1.0°	1.2°

求太阳真方位，还可使用《太阳方位表》(B508 表)。此表按纬度分为两册。 $\varphi = 0^\circ \sim 30^\circ$ ，为第 1 分册； $\varphi = 30^\circ \sim 64^\circ$ ，为第 2 分册。在每册中，前半部为 δ 与 φ 同名；后半部为 δ 与 φ 异名。查表引数为 φ 、 δ 和地方视时 (T^\odot)。 φ 以 1° 为一单元，列于每页的左或右上角。 δ 的间隔为 1°，列于每页上端。 T^\odot 的间隔，在“同名”表中太阳上中天前后 1 小时内为 2 min，其余均为 4 min，按上午、下午分别列于每页的左、右侧。表列方位为半圆方位，其第一命名字母与 φ 同名；第二命名字母，上午为 E，下午为 W。表中画有“梯形临界线”。线上面的，为太阳高度大于 30° 的方位值；线下方的，为太阳高度小于 30° 的方位值。

地方视时 (T^\odot)，可按下式求得：

$$T^\odot = T_s \mp ZD \pm \lambda \pm \eta \quad (7.4)$$

式中 η 为时差 (equation of time)。 η 和 δ ，不用查《航海天文历》，可按日期和近似世界时，从该表的附表“时差表”和“太阳赤纬表”中求得。

在按表列纬度 ϕ 、 δ' 和 T^\odot 查得表列方位 A' 后，同样须进行纬度、赤纬和地方视时内插，但纬度内插，不能按“纬度差 1° 的方位改正值”计算，而需前后翻表。

例，1992 年 4 月 20 日， $T_s = 06\ 32$ ， $\varphi = 28^\circ 12.0' N$ ， $\lambda = 122^\circ 15.0' E$ ，用《太阳方位表》求太阳真方位。

解：

04-20 $T_s = 06\ 32$
 $ZD = -8$

04-19 $T_c \approx 22\ 32$
 $\lambda = 08\ 09E$

04-20 $T = 06\ 41$
 $\eta = +\ 1$

04-20 $T^\odot = 06\ 42$

由“时差表”和“太阳赤纬表”查得：

$\eta = +1\text{min}$ ， $\delta = 11^\circ 31' N$

又从 $\delta' = 12^\circ N$ $T^\odot = 0640$ $\delta' = -28^\circ N$

查得 A' $A' = 83.9^\circ$

并得 $\delta - \delta' = -29'$ $\delta A_s = -0.9^\circ$ $\Delta A_s = -0.4^\circ$

$T^\odot - T^\odot' = +2\text{min}$ $\delta A_T = +0.1^\circ$ $\Delta A_T = +0.2^\circ$

$\varphi - \phi = +12'$ $\delta A_p = +0.2^\circ$ $\Delta A_p = 0$
 $A = 84.5^\circ NE$

四、提高天测罗经差准确性的措施

(一) 尽量保持罗经盆水平, 提高观测的准确性 由于仪器缺陷、外界条件的影响和测者主观因素的作用, 经常使天体罗方位 (CA) 产生误差。其中, 由于罗经盆倾斜引起的误差, 一般比较显著。

如图 (7-1-1), 罗经盆水平时, 其对应的天顶为 Z , 测得天体 B 的罗方位为 \widehat{NF} 。当罗经盆倾斜了一个角度 α 后, 其对应的天顶移到了 Z' , 这时天体 B 的罗方位被测为 $\widehat{N'F'}$, 所产生的误差为 $\widehat{FF'}$, 以 ΔCA 表示。

在球面三角形 $Z'BF$ 中, $\angle BZ'F = \Delta CA$, $\angle Z'FB = \alpha$, $F'B' = h$, $Z'B \approx 90^\circ - h$, 根据正弦公式得:

$$\frac{\sin \Delta CA}{\sin h} = \frac{\sin \alpha}{\sin (90^\circ - h)}$$

$$\sin \Delta CA = \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} h'$$

因 ΔCA 、 α 为小角度, 可以

$$\sin \Delta CA = \Delta CA^\circ \operatorname{arc} 1^\circ$$

$$\sin \alpha = \alpha^\circ \operatorname{arc} 1^\circ$$

代替, 故有:

$$\Delta CA^\circ = \alpha^\circ \operatorname{tg} h \quad (7.5)$$

按上式编成罗经盆倾斜产生的方位误差表如下。

表 7-2 罗经盆倾斜产生的方位误差表

$\alpha \backslash h$	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	45°	55°	65°
0.25°	0.02°	0.04°	0.07°	0.09°	0.12°	0.14°	0.18°	0.25°	0.36°	0.54°
1°	0.09°	0.18°	0.27°	0.36°	0.47°	0.58°	0.70°	1.00°	1.43°	2.14°
2°	0.17°	0.35°	0.53°	0.73°	0.93°	1.15°	1.40°	2.00°	2.86°	4.29°
3°	0.26°	0.53°	0.80°	1.09°	1.40°	1.73°	2.10°	3.00°	4.28°	6.43°

从上表可看出, 罗经盆倾斜产生的方位误差, 不容忽视, 为了防止或减少这种误差, 提高观测的准确性, 在观测时应该:

1. 尽量保持罗经盆的水平。
2. 连续观测三次罗方位, 取其平均值。
3. 瞄测天体的中心, 即测星时使星体和瞄物线或照准线重叠; 测太阳时使瞄物线或照准线将太阳圆面平分。

此外,平时要注意保管、维护方位圈或方位仪,并对其定期进行检查、调试。

(二) 使用尽可能准确的经纬度,减少计算误差 按理,不论用公式计算或表册计算,都应当使用观测时真船位的经纬度(φ_0, λ_0),才能求得天体真方位(A)。实际上,通常只能以按观测时推算船位的经纬度(φ_c, λ_c)求得的天体计算方位(A_c)来代替真方位。用 ΔA 表示由于纬度差数($\varphi_0 - \varphi_c$)和经度差数($\lambda_0 - \lambda_c$)而引起的天体真方位的误差,根据天文三角形基本公式我们可以导出:

$$\Delta A = \operatorname{tg} h \sin A (\varphi_0 - \varphi) + (\operatorname{tg} h \cos A \cos \varphi - \sin \varphi) \cdot (\lambda_0 - \lambda_c) \quad (7.6)$$

由此可见,由于经纬度不准确引起的真方位误差,在 h, A, φ 一定的条件下,随 $(\varphi_0 - \varphi_c)$ 和 $(\lambda_0 - \lambda_c)$ 的增大而增大。当 $h=30^\circ, A=90^\circ$ 时,若纬度相差 $10'$,可使方位相差 0.1° ;当 $h=30^\circ, A=180^\circ, \varphi=45^\circ$ 时,若经度相差 $5'$,可使方位相差 0.1° 。因此,为了使天体真方位的精度达到 0.1° ,在计算时应该:

1. 仔细进行航迹推算,使用尽可能准确的推算船位的经纬度。
2. 用B105表计算,不能忽视内插比例。
3. 防止、减少计算过程中的其他人为误差。

(三) 选测低高度的天体 从公式(7.5)和(7.6)可知,不论罗经盆倾斜产生的罗方位误差,还是经纬度不准确引起的真方位误差,都与天体高度有关。在其他有关因素一定的情况下,高度越高,误差越大;高度越低,误差越小。因此,为了提高天测罗经差的准确性,应该利用低高度的天体求罗经差。所谓低高度,一般指低于 30° ,最好低于 15° ,但除观测太阳出没方位求罗经差外,一般不宜低于 5° 。

例1. 1992年8月7日, $T_s=06\ 54$, 天文钟钟时=10 53 50, 钟差=-10s, $\varphi_c=38^\circ 20' N$, $\lambda=122^\circ 15' E$, 观测太阳罗方位 $CA=84.0^\circ$, 罗航向= 298.0° , 求罗经差 ΔC 。

解:

08-07 $T_s=06\ 54$		
ZD=-8		钟时=10 53 50
08-06 $T_c \approx 22\ 54$		钟差=-10s
08-06 $T_c=22\ 53\ 40$		
$t'_c=148^\circ 33.5'$	$(\bar{\Delta}=1.1)$	$\delta'=16^\circ 26.1' N (\Delta=-0.7')$
$\Delta t=13^\circ 24.1'$		$\Delta \delta=-0.6'$
$\Delta t'=1.0'$		$\delta=16^\circ 25.5' N$
$t_c=161^\circ 58.6'$		
$\lambda=122^\circ 15'.0'E$		
$t=284^\circ 13.6' W$		
$=75^\circ 46'.4'E$		$A'=85.0^\circ$
$\delta'=16^\circ 30' N$	$\delta - \delta' = -4.5'$	$\delta A_s = -0.5^\circ \Delta A_s = +0.1^\circ$
$t'=76^\circ E$	$t - t' = -13.6'$	$\delta A_e = -0.6' \Delta A_e = +0.1^\circ$
$\phi=38^\circ N$	$\varphi - \phi = +20.0'$	$\Delta A_p = +0.4^\circ \Delta A_p = +0.1^\circ$
$h'=20^\circ 57.3'$		$A_c=85.3^\circ NE$
		$CA=84.0^\circ$
		$\Delta C = +1.3^\circ$

例2. 1992年5月11日, $T_s=1753$, $\varphi_c=28^\circ 35'.0'S$, $\lambda_c=76^\circ 30'.0'W$, 天文钟钟时=10 52 45, 钟差

= +12s, 观测毕宿五 (24) 罗方位 CA=298.0°, 罗航向 147.5°, 求罗经差 ΔC。

解:

05-11 $T_s=17\ 53$ 钟时=105245
ZD=+5

05-11 $T_G \approx 22\ 53$ 钟差=+12s

05-11 $T_G=22\ 52\ 57$

$$t'_g=199^\circ 56.0'$$

$$\Delta t=13^\circ 16.4'$$

$$\tau=291^\circ 07.8'$$

$$\delta=16^\circ 29.7'N$$

$$t_c=144^\circ 20.2'$$

$$\lambda_c=76^\circ 30.0'W$$

$$t=67^\circ 50.2'W$$

$$A'=115.4^\circ$$

$$\delta'=16^\circ 30'N$$

$$\delta-\delta'=-0.3$$

$$\delta A_\delta=+0.4^\circ$$

$$\Delta A_\delta=0.0^\circ$$

$$t'=68^\circ W$$

$$t-t'=-9.8'$$

$$\delta A_t=-0.6^\circ$$

$$\Delta A_t=+0.1^\circ$$

$$\phi=29^\circ S$$

$$\phi-\phi'=-25.0'$$

$$\delta A_\phi=+0.2^\circ$$

$$\Delta A_\phi=-0.1^\circ$$

$$h'=10^\circ 09.8'$$

$$A_c=115.4^\circ SW$$

$$=295.4^\circ$$

$$CA=298.0^\circ$$

$$\Delta C=-2.6^\circ$$

第2节 观测太阳出没方位求罗经差

一、太阳的视出没和真出没

太阳出没分为视出没 (true rising and setting of the sun) 和真出没 (apparent rising and setting of the sun) 两种。

在第5章第3节中讲过, 视出没是指太阳上边与水天线相切的现象。这时, 其观测高度 $h^{\odot'}=0$, 真高度 $h^{\odot}=-55.7'$ (按 $e=6.1\text{ m}$ 计算)。

真出没是指太阳中心通过测者真地平圈的现象。这时, 其真高度 $h^{\odot}=0$, 由第4章高度改正公式可知太阳下边观测高度, 为:

$$h^{\odot'}=\rho+d-SD+P$$

取蒙气差 $\rho=30'$, 半径差 $SD=16'$, 视差 P 不计, 则

$$h^{\odot'}=14'+d$$

式中 d 为眼高差, 其值随测者眼高 (e) 的大小而定。如图 7-

2-1, 太阳真出没时, 太阳下边位于水天线之上的距离为 $14'+d$ 。若 $e=6.1\text{ m}$, 则 $d=4.4'$, 这样该段距离, 即

$$h^{\odot'}=18.4'$$

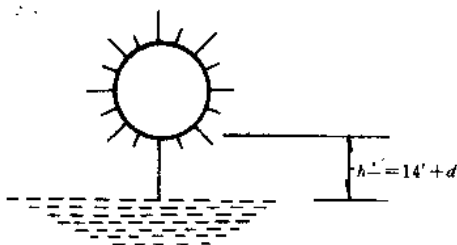


图 7-2-1 太阳真出没时的观测高度

二、观测太阳出没方位求罗经差的特点

太阳出没时，方位变化慢，罗经盆倾斜的影响小，是测定罗经差的有利时机。

求太阳出没的真方位 (A)，不用时角，只需推算纬度 (φ) 和太阳赤纬 (δ)。而且，由于真方位的精度要求为 0.1° ，所以 φ 和 δ 的值都不必很精确。这样，观测时不需记时，就按太阳视出没船时或日出、日没船时径取 06 00 或 18 00 换算为近似世界时 (T_G) 查取 δ 即可。这表明，太阳出没的真方位 (A)，可以比较简便而迅速地求得。

太阳出没的罗方位，不论视出没方位或真出没方位，严格地说，只有一次观测机会。如果错过时机，测到的自然就不是出没方位了。这表明，利用太阳视出没或真出没方位求罗经差，受观测时机的限制。为了不失时机，应该预先求出太阳出没船时，并做好其他必要的准备工作。

由天文三角形基本公式可以导出，太阳出没时一分钟的方位变化量 (δA) 公式为：

$$\delta A = 0.25^\circ \cdot \sin \varphi \quad (7.7)$$

设 $\varphi = 45^\circ$ ，则半分钟太阳方位量为 $0.25^\circ \times \sin 45^\circ \times 0.5 = 0.09''$ 。可见，在中低纬度海区，在太阳视出后或视没前半分钟时，或太阳真出没 ($h_\odot = 14' + d$ 时) 前后半分钟内，进行观测，所得的罗方位 (CA) 都可视为太阳视出没或真出没的罗方位。因此，在实际工作中，为了减少观测误差，对太阳出没罗方位，也可以连续观测几次，取其平均值。

三、求太阳视出没的真方位

如图 7-2-2，在天文三角形 $P_N Z S$ 中，由球面三角形边的余弦公式得

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos A$$

即

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h}{\cos \varphi \cos h} \quad (7.8)$$

以 $\cos A = 1 - 2\sin^2 \frac{A}{2}$ 和 $h \approx -55'$ 代入上式，整理即得

$$\sin^2 \frac{A}{2} = \frac{\cos(\varphi + 55') - \sin \delta}{2\cos \varphi \cos 55'} \quad (7.9)$$

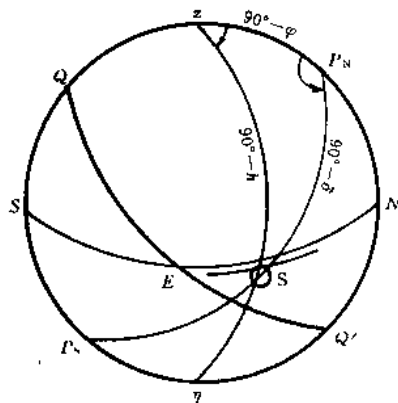


图 7-2-2 太阳视出没时的真方位

《航海表》“表 II-12”，为按上式编成的“太阳上边 (☉) 视出没方位表”。查表引数为测者纬度 (φ) 和太阳赤纬 (δ)。 δ 与 φ 同名时，查前两页； δ 与 φ 异名时，查后两页。表列方位为半圆方位，第一命名字母与 φ 同名，第二命名字母视出为 E、视没为 W。当 φ 与 δ 非整度数时，应进行纬度和赤纬内插，即所求太阳视出没的真方位为：

$$A = A' + \Delta A_\varphi + \Delta A_\delta$$

例，1992 年 5 月 1 日， $T_s = 06 02$ ， $\varphi \approx 18^\circ 10.0' N$ ， $\lambda = 112^\circ 40.0' E$ ，观测太阳视出罗方位 $CA = 78.5^\circ$ ，罗航向 $CC = 165.0^\circ$ ，求罗经差 ΔC 。

解：

05-01 $T_s = 06 00$	$A' = 74.2^\circ$
ZD = -8	$\Delta A_\varphi = -0.3^\circ$

04-30 $T_G \approx 2200$	$\delta A_\delta = -0.1^\circ$
--------------------------	--------------------------------

$\delta = 15^\circ 03.8' N$	$A = 73.8^\circ NE$
	$CA = 78.5^\circ$
	$\Delta C = -4.7^\circ$

四、求太阳真出没的真方位

太阳真出没时, $h_{\odot}^{\circ} = 0$, 由公式 (7.8) 可导出其真方位 (A) 公式为:

$$\cos A = \sin \delta \sec \varphi \quad (7.10)$$

在《太阳方位表》中, 载有太阳真出没时的真方位 (A), 列在每一表列赤纬栏的最下面。查表引数为 φ 和 δ 。 δ 可按日期和近似世界时从“太阳赤纬表”中查得。当 φ 与 δ 为非整度数时亦应作内插改正。所求方位的算法和命名规则, 与“太阳上边 (\odot) 视出没方位表”相同。

在《太阳方位表》中, 还载有太阳真出和真没的地方视时 (T^{\odot})。

例, 1992年10月3日, $T_s = 1730$, $\varphi = 33^{\circ}25.0'N$, $\lambda_c = 122^{\circ}36.0'E$, 观测太阳真没罗方位 $CA = 263.0^{\circ}$, 罗航向 $CC = 358^{\circ}$, 求罗经差 ΔC 。

解:

10-03 $T_s = 1800$	$A' = 94.8^{\circ}$
$ZD = -8$	$\Delta A_p = 0.0^{\circ}$
10-03 $T_c = 1000$	$\Delta A_s = +0.2^{\circ}$
$\delta = 4^{\circ}09'S$	$A = 95.0^{\circ}NW$
	$= 265.0^{\circ}$
	$CA = 263.0^{\circ}$
	$\Delta C = +2.0^{\circ}$

第3节 观测北极星方位求罗经差

一、观测北极星方位求罗经差的特点

北极星距天北极很近, 方位很小且变化很慢, 亮度适中, 全夜可见, 是北半球低纬度测者测定罗经差的好目标。

在低纬度地区, 在一昼夜内, 北极星的方位变化不超过 2° , 即时间相差 20 分或经度改变 5° , 北极星方位才有可能变化 0.1° 。而且, 在低纬度地区, 纬度变化对北极星方位的影响很小, 往往纬度改变 5° 也不能使方位变化 0.1° 。因此, 利用北极星求罗经差, 不必记录准确的观测时间, 也不用量取准确的经纬度, 只按船时和概略经纬度计算, 即可满足真方位的精度要求。

北极星真方位求法简便、可靠。罗经差的准确性主要取决于观测北极星罗方位的准确性。北极星罗方位, 一般只靠直接瞄测。但观测不受时间限制, 可以从容地连续进行几次观测。每次观测, 都应注意保持罗经盆水平, 这是测准罗经差的关键所在。

二、求北极星真方位

如图 7-3-1, P 为北极星, 在天文三角形 $P_N Z P$ 中, 由球面三角形正弦公式得:

$$\frac{\sin A}{\sin \Delta} = \frac{\sin t}{\sin (90^{\circ} - h)}$$

即 $\sin A = \sin \Delta \cdot \sin t \cdot \sec h$

因 A, Δ 为小角度, 且 $h \approx \varphi, t = t_1 - \alpha$, 故有

$$A^{\circ} = \Delta^{\circ} \sin (t_1 - \alpha) \sec \varphi$$

取北极星极距和赤经的年平均值 Δ_0, α_0 代替式中的 Δ, α , 并对所产生的误差忽略不计, 最后得到:

$$A^{\circ} = \Delta_0^{\circ} \sin (t_1 - \alpha_0) \sec \varphi \quad (7.11)$$

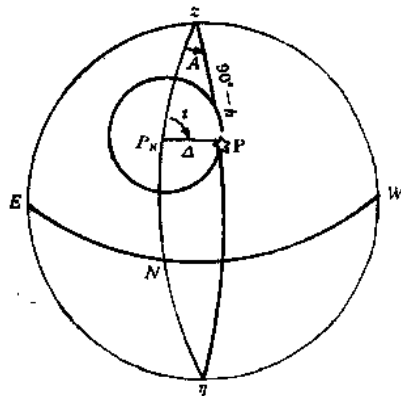


图 7-3-1 北极星真方位

在《航海天文历》中, 载有按上式编成的“北极星方位角表”。查表引数为春分点地方西行时角

(t) 和测者纬度 (φ)。表列方位为半圆方位。用左侧的春分点地方时角查表, 意味着北极星地方西行时角在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内, 即北极星在西天半球, 故方位命名为 NW; 用右侧的春分点地方时角查表, 则表示北极星在东天半球, 方位命名应为 NE。

例 1992 年 9 月 15 日, $T_s = 1930$, $\varphi = 17^\circ 42.0' N$, $\lambda_c = 123^\circ 30.0' E$, 观测北极星罗方位 $CA = 356.5^\circ$, 罗航向 $CC = 306^\circ$, 求罗经差 ΔC 。

解:

$$\begin{array}{ll} 09-15 & T_s = 1930 & A = 0.8^\circ NE \\ & \underline{ZD = -8} & \underline{CA = 356.5^\circ} \\ 09-15 & T_c \approx 1130 & \Delta C = +4.3^\circ \\ & t'_\varphi = 159^\circ 39.6' \\ & \underline{\Delta t = 7^\circ 31.2'} \\ & t_c = 167^\circ 10.8' \\ & \underline{\lambda = 123^\circ 30.0'} \\ & t_\varphi = 290^\circ 40.8' W \end{array}$$

第 4 节 太阳磁方位表的编制

一、太阳磁方位表的作用

为使磁罗经差准确, 除应经常测定外, 必要时, 还应校正罗经, 即消除自差和测定剩余自差。

利用太阳校正磁罗经, 不依赖岸上目标或设施, 在任何宽阔海域均可进行, 而且, 在每一航向上航行的持续时间和观测次数不受限制, 观测方便, 精度高, 所以是船舶校正罗经经常采用的一种方法。

磁罗经自差 (δ) 是磁北线与罗北线之间的夹角, 等于目标磁方位 (MB) 与其罗方位 (CB) 之差, 即

$$\delta = MB - CB$$

对于太阳来说, 等于太阳磁方位 (MA) 与太阳罗方位 (CA) 之差, 即

$$\delta = MA - CA$$

可见, 利用太阳消除和测定磁罗经自差 (δ), 在每次测得太阳罗方位 (CA) 后, 必须求出当时的太阳磁方位 (MA)。为了方便, 可预先编制一个适用的太阳磁方位表。届时, 只按观测的船时, 即可从表中查出所需的磁方位值。显然, 这不仅有利于减少现场计算, 集中精力于校正, 而且有利于缩短校正持续的时间, 提高效率。

二、编制太阳磁方位表的基本方法

太阳磁方位 (MA) 等于太阳真方位 (A) 减磁差 (V_m), 即

$$MA = A - V_m$$

磁差 (V_m) 可由海图上的磁差资料求得。所以, 编制太阳磁方位表的主要工作是计算校正时间内一系列的太阳真方位值。

太阳磁方位表以船时为引数, 一般每 4 分钟给一个磁方位值。为此, 须从预定开始校正时间起, 求出每隔 4min 一个的太阳真方位值, 直至预定结束校正时间止, 然后逐个减去磁差, 得到相应的太阳磁方位值。

三、用《天体高度方位表》(B105 表) 编制太阳磁方位表

其工作步骤是:

(一) 按给定开始的船时或中间船时, 用《航海天文历》求太阳地方时角 (t) 和赤纬 (δ)。

(二) 将太阳地方时角 (t) 凑成整数, 并相应地把所用的船时提前或推后 1~3min, 作为制表的基准船时。

(三) 按凑整的 t 和 δ 、 φ ，用《天体高度方位表》查出表列方位 (A')，并求出其赤纬和纬度的内插改正值，即 $\Delta A_\delta + \Delta A_\varphi = \Delta A$ 。

(四) 从凑整的 t 起，抄下时角每 1° 即船时每差 4min 的表列方位 (A')。按开始船时计算时，上午按时角减小的方向抄；下午按时角增大的方向抄。按中间船时计算时，不论上午或下午，均需向两个方向抄。

(五) 将抄得的表列方位 (A')，改正 ΔA ，求得相应的真方位 (A)，并将其由半圆方位换算为圆周方位。

(六) 将所求真方位 (A) 逐个减去磁差 (V_m)，即可编成太阳磁方位表。

例，1992年5月15日，预定 $T_s = 1600 \sim 1800$ ，在 $\varphi = 38^\circ 32.0' N$ ， $\lambda = 121^\circ 35.0' E$ 附近海域，校正磁罗经。已知该海域磁差 $V_m = 6.6^\circ W$ ，编制太阳磁方位表。

解：

$$\begin{array}{rcl}
 05-15 & T_s = 1600 & t_G = 300^\circ 55.3' \quad \delta = 18^\circ 57.2' N \\
 & ZD = -8 & \lambda = 121^\circ 35.0' E \\
 05-15 & T_G \approx 0800 & t = 62^\circ 30.3' W \\
 & \Delta T = -02 & \Delta t = -30.3' \\
 & T_s = 1558 & t = 62^\circ W \\
 & & A' = 91.8^\circ \\
 \delta = 19^\circ N & \delta - \delta' = -2.8' & \delta A_\delta = -0.5^\circ & \Delta A_\delta = 0.0^\circ \\
 \varphi = 39^\circ N & \varphi - \varphi' = -28.0' & \delta A_\varphi = +0.7^\circ & \Delta A_\varphi = -0.3^\circ \\
 t' = 62^\circ W & t - t' = 0.0' & & \\
 \hline
 & h' = 33^\circ 21.4' & & A = 91.5^\circ N W
 \end{array}$$

表 7-3 编制太阳磁方位表例 1

$\frac{T_s}{h \quad min}$	A'	ΔA	A	A (圆周方位)	V_m	MA
15 58	91.8°NW	-0.3°	91.5°NW	268.5°	6.6°W	275.1°
16 02	91.2°	-0.3°	90.9°	269.1°	6.6°	275.7°
16 06	90.5°	-0.3°	90.2°	269.8°	6.6°	276.4°
16 10	89.9°	-0.3°	89.6°	270.4°	6.6°	277.0°
16 14	89.3°	-0.3°	89.0°	271.0°	6.6°	277.6°
16 18	88.6°	-0.3°	88.3°	271.7°	6.6°	278.3°
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
17 42	76.2°	-0.3°	75.9°	284.1°	6.6°	290.7°
17 46	75.6°	-0.3°	75.3°	284.7°	6.6°	291.3°
17 50	75.0°	-0.3°	74.7°	285.3°	6.6°	291.9°
17 50	74.4°	-0.3°	74.1°	285.9°	6.6°	292.5°
17 58	73.8°	-0.3°	73.5°	286.5°	6.6°	293.1°
18 02	73.3°	-0.3°	73.0°	287.0°	6.6°	293.6°

四、用《太阳方位表》编制磁方位表

其工作步骤是：

(一) 按日期和由开始或中间船时求得的近似世界时，从《太阳方位表》附表中查得太阳赤纬 (δ) 和时差 (η) 值。

(二) 按开始或中间船时，依公式 (7.4) 求出对应的地方视时 (T^\odot)。

(三) 把地方视时提前或推后 1~3 min，使之与表列视时一致，并相应地改变船时分数，作为制表的基准船时。

(四) 按 φ 、 δ 和改变后的 T^\odot ，从《太阳方位表》查出表列方位 (A') 及其赤纬、纬度内插改正值，即

$$\Delta A_s + \Delta A_p = \Delta A.$$

(五) 后续步骤, 与用《天体高度方位表》的相同。

例, 1992年11月5日, 预定 $T_s = 0630 \sim 0810$, 在 $\varphi = 28^\circ 10.0' N$, $\lambda = 122^\circ 24.0' E$ 附近海域, 校正磁罗经。已知该海域磁差 $V_m = 4.5^\circ W$, 编制太阳磁方位表。

解: $11-05 \quad T_s = 0720$ 由“时差表”和“太阳赤纬表”查得:
 $ZD = -8$
 $11-04 \quad T_G \approx 2320 \quad \eta = +1625$
 $11-05 \quad \lambda = 080936E \quad \delta = 15^\circ 41' S$
 $T = 072936$
 $\eta = +1625$
 $T^\odot = 074601 \rightarrow T_s = 0720$
 $T^\odot = 0744 \rightarrow T_s = 0718$

$$\begin{aligned} \delta' &= 16^\circ S & \delta - \delta' &= -19' & \delta A_s &= +0.9^\circ & A' &= 117.1^\circ \\ T'^\odot &= 0744 & T^\odot - T'^\odot &= 0 & & & \Delta A_s &= -0.3^\circ \\ \phi &= 28^\circ N & \phi - \phi' &= +10' & \delta A_p &= +0.2^\circ & \Delta A_p &= 0.0 \end{aligned}$$

$$A = 116.8^\circ NE$$

表 7-4 编制太阳磁方位表例 2

$\frac{T_s}{h \text{ min}}$	A'	ΔA	A	A (圆周方位)	V_m	MA
08 10	125.2°NE	-0.3°		124.9°	4.5°W	129.4°
08 06	124.5°	-0.3°		124.2°	4.5°	128.7°
08 02	123.9°	-0.3°		123.6°	4.5°	128.1°
07 58	123.2°	-0.3°		122.9°	4.5°	127.4°
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
07 30	118.8°	-0.3°		118.5°	4.5°	123.0°
07 26	118.2°	-0.3°		117.9°	4.5°	122.4°
07 22	117.7°	-0.3°		117.4°	4.5°	121.9°
07 18	117.1°	-0.3°		116.8°	4.5°	121.3°
07 14	116.5°	-0.3°		116.2°	4.5°	120.7°
07 10	115.9°	-0.3°		115.6°	4.5°	120.1°
07 06	115.4°	-0.3°		115.1°	4.5°	119.6°
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
06 46	112.7°	-0.3°		112.4°	4.5°	116.9°
06 42	112.2°	-0.3°		111.9°	4.5°	116.4°
06 38	111.7°	-0.3°		111.4°	4.5°	115.9°
06 34	111.2°	-0.3°		110.9°	4.5°	115.4°
06 30	110.7°	-0.3°		110.4°	4.5°	114.9°

第 8 章 新技术在天文航海中的应用

天文航海技术伴随着人类远洋航海事业的兴起而产生,并随着科学技术的发展而不断改进。数百年来天文航海技术一直是船舶导航的一种重要手段。及至近数十年,随着无线电导航技术的迅速发展,如雷达、测向、罗兰、奥米伽以及惯性导航、卫星导航等技术的应用,使天文航海技术在船舶导航中的地位发生了变化。但是,所有导航技术均具有各自的优点和缺点。由于天文定位具备的独特优点——诸如所利用的目标是自然界为数众多的天体,这些目标既无需人工设置,也无人可以毁坏;它只需要一架六分仪和一个钟表,设备简单,不需依赖于外部的设施和信息等,足以弥补其它导航方法的缺陷。因此,在导航技术发达的今天,天文航海仍然是不可缺少的基本导航技术。

但是,天文定位方法也存在非常显著的缺点。一是计算步骤过于繁复,花费时间和精力太多;二是观测时机的局限性很大,它需要同时看到水天线和天体才能观测,缺一不可,再是,在定位精度上,它低于卫导和罗兰 C(地波),仅高于测向和奥米伽等,尚不能满足某些有特殊任务船舶的需要。

显然,研究和促进天文航海技术的发展,或把新的科学技术应用到天文航海上来,就是要克服它存在的缺点,解决它面临的问题。具体地说,就是要简化运算手续;扩展观测时机和提高定位精度。本章就搜集到的资料,对国内外在这方面的主要成果和动态作简要介绍。

第 1 节 计算机在天文航海中的应用

为了简化天文航海十分繁杂的数学运算工作,在过去相当长的年代里,世界各国的航海人员,苦心钻研,曾先后采取过许多改革方法,如变换运算公式,简化运算过程,编制专门的航海对数表册或器具,以及将结果数据编制成各种天体高度方位表,或专为某些海区、某些天体编制的专用天文船位线表等。但这些方法受到当时社会技术水平的限制,前进的步履是有限的。当电子计算机问世以后,特别是大规模集成电路模块的应用,给长期未能解决的天文航海在计算上的困难,开辟了一条带根本性解决问题的新途径。

70 年代中期,日、美、联邦德国等国相继研制出一批袖珍型的数字导航计算机(器)。这些计算机(器)有的是为航海专门设计使用的,如日本的“NC-77”导航专用计算器,联邦德国的“涅韦康(VAVI COMP)”导航专用计算器;有的是多用途带有可编程序并配有专供航海用的导航程序模块的袖珍计算机,如美国的“TI-58/59 型可编程序计算机”。这些微型计算机的导航定位功能和使用的繁简程度是不尽相同的,有的包含全部航海工作的运算功能,有的只适用部分常用天体的定位计算;有的能自动给出所测天体的坐标,但也有的需要测者输入航海天文历的数据。可以相信,随着计算机技术的迅猛发展,天文定位的计算技术也会迅速完善。

我国自改革开放以来,导航计算技术的研究开发已有了长足的进展,1980 年我国海军和交通大学研制成功了第一台“JD-3301 型航海微型计算机”,它在天文航海上的主要功能,就是可以迅速简便地代替原来解天文三角形和绘图定位方面的工作,虽然与当时国外同类型计算机的性能与功能相比较,还存在某些差距,但这是我国在这方面有积极意义的开端。随后,大连海运学院、大连海军舰艇学院和水产学院等单位在这方面都获得了可喜的成绩。先是研制成功了适用于普通微机或有可编程序的袖珍机的各种导航软件包,接着如舰艇学院研制成功性能良好及功能齐全的导航专用机,90 年代初期,大连海事大学研究成功电子海图并和导航计算机配合;大连水产学院研制成功渔船航海电脑,这些成果不仅解决了航海绘算工作自动化的问题,而且更进一步提高到形象化的地步。现正在渔业船舶中逐渐推广使用。

对于计算机的天文航海软件,由于机型各异,所采取的数学模型亦不尽相同,在此不一一具体介绍,

现将天文定位的计算机程序及使用步骤摘要归纳说明如下：

一、天文定位计算机程序的编制概要*

以太阳及恒星航位为例：

1. 编入计算太阳、恒星赤经、赤纬的数学模型，求观测时间的赤经、赤纬。

(1) 通过有关太阳的轨道根数，主要如太阳平黄经、平近地点角、偏心率、黄赤交角、升交点黄经、行星摄动及从制表年年首至观测时的相隔天数等，视所需精度进行取舍，计算出观测时的太阳黄经。

(2) 根据太阳黄经和黄赤交角求出观测时太阳的赤经、赤纬。

(3) 根据制表年年首的恒星赤经、赤纬，订正岁差、章动和光行差，计算出恒星观测时间的赤经、赤纬。

2. 求太阳、恒星的地方时角

(1) 根据黄赤交角、升交点及从制表年年首至观测时间的相隔天数，求算出观测时间的春分点格林时角。

(2) 以春分点格林时角减赤经求出天体的格林时角。

(3) 天体格林时角修订经度，得天体的地方时角。(太阳第二次观测的推算经、纬度，需按航向航程移线)

3. 根据天体地方时角、赤纬及推算纬度解天文三角形，求出天体计算高度及方位。

4. 以测得的六分仪高度，修正器差、指标差、眼高差、蒙气差、半径差及天体视差等，计算出天体真高度。

5. 计算出高度差。

6. 根据推算船位(作图点)及二船位线的高度差，解二天文船位线的联立方程，求出观测船位的经、纬度。

二、天文定位计算机操作主要步骤

1. 键盘输入观测日期、推算船位经、纬度。

2. 确定观测天体：太阳或星体。

3. 键盘输入航向、航速、眼高、六分仪器差和眼高差。

4. 键盘输入观测时间及六分仪高度。如系观测星体，须输入该星代码。

5. 经计算机运算后，输出船位经、纬度。

第2节 观测仪器的改进**

利用天体来测定船位，必须同时看见天体和水天线。即使在晴朗的夜晚，虽然繁星点点，由于看不见水天线，也不能进行天文观测。或者在白天或晨光昏影时间，水天线处霾雾弥漫，天文观测亦无法进行。这是天文航海技术长期以来存在的缺陷。人们为了弥补这一缺陷，扩展可以利用天文观测的时间范围，曾经在改进观测仪器方面做了很多的努力，并已在一定范围内获得不同程度的效果，现分别简要介绍如下：

* 有关计算机天文定位程序的具体数学公式和编算方法，读者如有兴趣或需要，可参考下列文献资料：

① 《中国太阳船位线表》的编制和使用 文于(《中国近海简易天文定位法》《中国航海》1980, 1期)

② 《计算机辅助船舶驾驶》 方祥麟、郭洪贵等著(大连海运学院出版社)

③ 《天文航海》附录 陈颖毅等(海军大连舰艇学院)

④ 天文历算资料 南京紫金山天文台、上海天文台。

** 第2节内容除参考各有关导航计算机技术材料及第1节所列文献资料外，还参考自下列各文献：

许少华：《发挥天文导航的优势》；王泽和：《舰船天文导航国外发展概况》；孙成禄：《航海六分仪的研制概况和发展趋势》；李义时、赵伟：《微光夜视六分仪的研制经过及其精度测定》。

一、人工水平六分仪

为了解决在看不见水天线的时候观测天体高度的问题，不少国家研制了人工水平六分仪，这类六分仪大体可分两种：一种是气泡式人工水平六分仪，这种六分仪多数是在普通六分仪上增加一个气泡装置，如英国和联邦德国生产的六分仪，它主要由一块与望远镜光路成 45° 角的光学玻璃，一个气泡室、气泡调节器和压力补偿容器构成。当夜间或水天线模糊不清时，在普通六分仪上装上气泡装置，当六分仪保持水平，通过望远镜可见气泡在视野中央，调整测角读数，直至把天体影像套在气泡中央时为止，所测到的便是天体的地平高度（没有眼高差）。气泡的大小可根据太阳或星体的大小调整，调整到比天体影像略大一圈为宜。还有如原苏联 IIACIM 型航空人工水平六分仪也是采用气泡作为人工地平的，但这种六分仪只能利用人工地平而不能在观测自然水天线时使用。因在船体颠簸时，气泡式六分仪的气泡和天体影像在望远镜视场内同时晃动，要准确地套在一起是比较困难的，所以观测误差一般都较大。

还有一种为非气泡式人工水平六分仪，如原苏联的 ПИМС₂ 和 ПИМС₃ 型陀螺积分航海六分仪，它使用了具有两个自由度的物理摆型陀螺仪，转速约 600r/min，用陀螺稳定平行光管，以平行光管光栅的影像作为测量的水平基准。根据资料，这种六分仪的重量约为普通六分仪的三倍，比较笨重，所以研制成后未见发展。

二、微光夜视六分仪

近些年来，红外线夜视望远镜已经比较普遍地用于军事。在 60 年代末和 70 年代初，美国为了使舰船在 24 小时内均可以进行天文观测，便着手研究在六分仪上安装像增强夜用望远镜的问题，作用是将大自然残留的微弱红外线光增强放大，夜间通过红外线夜视望远镜能看清数海里外的水天线，美国最初制成配在六分仪上的夜视望远镜长 30cm (12 英寸)，重 1.36kg (3 磅)，太大太笨重，使测者很快疲劳。

我国交通部上海船舶运输研究所在 1973 年试制成了国产微光夜视六分仪，其中微光夜视望远镜整机重为 0.91kg，连六分仪全重为 1.94kg，约相当于气泡六分仪重量。电池盒可放在测者衣袋内。像增强管的增益为 3300~10000 倍，分辨力为 15~22.5 对线。经实船初步检验的结果表明，只要在夜间人眼感觉水与天有微弱的光射差别，就可以使用该仪器进行测天定位，观测高度的均方误差约为 $\pm 3'$ 。如果测者用惯了，精度还可以提高。该仪器的主要问题是，如在全黑的夜里，人眼看水天线上下一片漆黑，毫无差异时，在该望远镜里看到的亦只是一片亮光，很难分辨出水天线位置。所以，微光夜视六分仪的问题，主要是要提高它在黑夜里对水天线的分辨能力。

三、射电六分仪

当在海上受天气影响，看不到天体时，便不能测天定位。为了解决这一问题，近数十年来，一直有人探讨利用接收天体发出的能穿透云、雾、雨、雪的无线电辐射来测定本船的位置。1948 年以后至 50 年代初，美国先后研制成了几种无线电六分仪（亦称射电六分仪）的样机，并在海军舰船上作实船试验。但是由于当时还没有大规模集成电路元件，这种仪器体积太大，耗资昂贵，所以未曾投产使用。射电六分仪只有在体积和造价方面有重大的突破时，才可以在普通舰船上装备使用。那时天文定位技术将可以发展为 24 小时全天候使用，它不但具有卫星导航的类似优越性，而且还具有自主导航的特点。

四、其它天文导航仪器

天文观测除了普通六分仪外，对于有特殊任务和要求的舰船，目前许多国家装备有专门的天体跟踪器，无论白天黑夜，跟踪天体，测定船位。我国自己研制成的天体跟踪器，又叫“天文定位支系统”，它与船上设置的惯性导航仪或同时和卫星导航仪构成组合导航系统。天体跟踪器跟踪的天体，所需的推算位置和水平基准，来自惯导。跟踪器得到的航向和船位的信息，又用于校正惯导的航向和位置。国产天体跟踪器的定位精度达到 $\pm 0.4'$ ，定向精度达到 $\pm 27''$ 。

70 年代后期，美国海军研制成了“昼夜遥控微光电视六分仪”，它主要由遥控六分仪，微光夜视摄像

机、数字显示装置、导航计算机和稳定平台组成。遥控六分仪和微光电视摄像机头装在稳定平台上。测者可以不在甲板上进行遥控操作，当显像管监视器上出现星体与水天线重合时，便同时显示天体的高度和时间的数字，这些数据再输送到导航计算机中，自动算出船位。

上述观测仪器，除了在普通六分仪基础上改进的之外，其它如射电六分仪，天体跟踪器、昼夜遥控微光电视六分仪等，由于它们都是设备庞大，造价昂贵，对一般船舶特别是渔船来说，近期是不可能普及装备的。对于普通船舶特别是渔船来说，天文航海技术在近期内的发展趋向，无疑仍将是一方面发展微型或袖珍型导航计算机，或导航计算机与电子海图的结合，从简化运算手续直至到实现定位绘算的自动化；另一方面，将进一步改进普通六分仪，采用人工地平或微光夜视方式，逐步扩大观测时间范围，并且在仪器改革中同时考虑提高观测精度。也许在相当长的时期以后，当电子技术、光技术、计算机技术和制造工艺达到相当的水平，天文定位能够广泛采用射电六分仪或微光电视六分仪，到时候将可以实现天文定位的全部自动化。

第二篇 无线电导航

第9章 雷达定位及导航

概 述

雷达 (radar) 全称为 radio detection and ranging, 是一种以“无线电波探测和测量”为目的的装置。它利用本身所发射的脉冲电磁波遇到目标后产生反射回波的原理测量目标的方位和距离。

雷达的种类很多, 用途十分广泛。按用途可分为: 军用雷达、民用雷达和科研用雷达。其中有: 制导、截击、对空搜索、海面警戒、导航、气象、测地以及研究天文学的雷达, 此外, 雷达可以跟踪卫星, 协助卫星通信, 监视汽车、火车车速, 防止车辆碰撞, 还可以测量宇宙飞船的位置等。

这里介绍的是民用雷达中的导航雷达。这种雷达在航海上应用了近五十年, 经过不断的改进, 证明它是一种非常重要的导航仪器。与其它导航仪器不同的是: 雷达不像罗兰系统、奥米伽和卫导等系统, 需要利用岸上或空中专用的发射系统发射电磁波, 而是利用本身的发射机发射电磁波, 利用本身的接收机接收目标的反射回波信号, 可以自由进行定位和导航; 同时还能较直观地把海面上的情况通过荧光屏显示出来, 不需要发射台等一些岸上辅助设施, 这是雷达最大的特点。但雷达也像其它仪器一样, 不意味着有了雷达就一定能保证船舶的航行安全, 如雷达受海浪、雨雪和其它杂波的干扰也会减弱目标的回波, 甚至在荧光屏上失去目标的影像; 或者使荧光屏上出现与实际情况不符的影像, 致使人们产生判断上的错误。为充分发挥雷达的助航作用, 必须充分了解雷达的原理、技术特点, 以便正确地使用。

第1节 雷达工作原理

一、导航雷达的基本组成与功能

雷达的基本组成如图 9-1 所示。

(一) 电源设备 雷达需要稳定可靠的电源, 所以雷达都有专用的电源设备, 以便将船电变成雷达所需的电源, 同时也防止其它高频用电设备和低频电源的干扰。

(二) 触发电路 触发电路一般装在收发机内, 它是雷达的指挥部, 收发机和显示器都受它指挥。其作用是产生触发脉冲, 然后分成四路控制雷达。第一路通知发射机向外发射; 第二路送至方波产生器, 产生正负方波, 正方波加给阴极射线管控制栅极, 负方波分为两部分: 一通知扫描电路开始扫描, 二送至固定距标电路; 第三路送至活动距标电路; 第四路送至海浪抑制电路。

(三) 收发机 收发机由发射机、接收机和收发开关组成。

1. 发射机: 是在触发脉冲的控制下, 由发射机内的主要部件磁控管振荡器产生雷达脉冲。
2. 接收机: 将目标的反射回波信号进行变频、放大、检波变成视频脉冲信号, 然后经过视频放大后

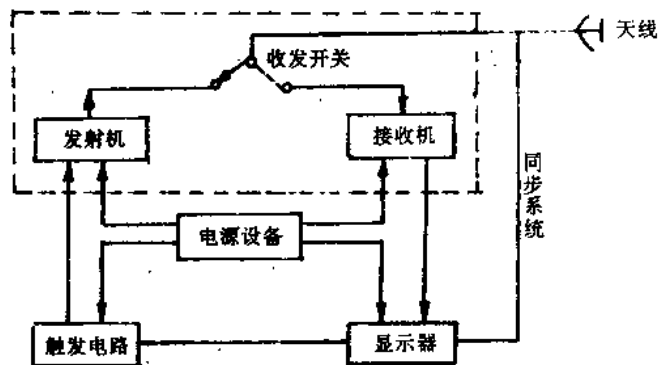


图 9-1 雷达的基本组成

送至显示器。

3. 收发开关：用来自动转换收发通路，使发射机和接收机合用一个天线。

(四) 天线 天线将发射机发射的脉冲信号以极高的定向性，辐射到空间，并接收该方向的反射信号传至接收机。

(五) 显示器 显示器根据接收机送来的回波信号及天线送来的方位信号，将目标回波按其距离和方位显示在荧光屏上，可随时测量目标的距离和方位。

二、雷达的测距原理

雷达发射的超高频电磁波，在空间传播时基本上是等速直线传播，而且遇到目标后，产生反射回波，若能测量出电波往返于天线与目标之间的时间 t ，即可根据下式求出目标距天线的距离 D 。

$$D = \frac{c \cdot t}{2} \quad (9.1)$$

式中 c ：电磁波传播速度，为 3×10^8 km/s

电磁波从天线发射出去到被目标反射回到天线这段往返时间 t ，是以 μs 计量的，显然用机械的方法是很难测定的。因此雷达测距设备广泛应用了阴极射线管来测量时间间隔，使之转化为距离。在雷达发射脉冲的瞬间，显示器立即开始扫描，待脉冲电磁波由目标反射回来被天线接收时，该回波脉冲便立即显示在扫描线上，使荧光屏上出现目标的影像。然而扫描线是荧光屏上的一个亮点按一定速度移动而形成的。这是因为雷达显示器内的阴极在向荧光屏发射电子束的过程中，由于在偏转线圈所产生的偏离中心力的作用下，使得荧光屏中心的亮点匀速向边缘移动，因移动很快，而且荧光屏又有余辉，所以看到的是一条亮线，即扫描线。其总长度代表一定的时间，只要量取扫描线起点到脉冲回波间的长度，即代表雷达脉冲往返的时间 t ，可以自动换算出目标到天线的距离 D ，并在显示器上直接读出。

三、雷达的测向原理

雷达采用的是定向天线，它集中地向某一方向发射，也只能接收该方向上目标的反射回波。在天线旋转的同时，同步系统使荧光屏上的扫描线跟随天线同步旋转。当目标产生回波后，经显示器显示在荧光屏的某一相应的位置上，只要根据扫描线的方向（即天线的方向），就可以判断被测目标的方位。

第 2 节 雷达的技术性能

一、雷达波的特征

(一) 工作频率 (operating frequencies) 船用雷达的工作频率一般在微波的范围。主要有 S 波段（波长 10cm，2000~4000 MHz），C 波段（波长 5 cm，4000~8200 MHz），X 波段（波长 3 cm，8200~12400 MHz），K 波段（波长 8 mm，26500~40000 MHz）。

ME-315X I A 型雷达采用的是 3cm 的电磁波。

雷达利用微波波段的无线电波，具有较强的反射特点，很少有绕射等现象。在天线尺寸一定的情况下，波长愈短，天线的集束能力愈强，雷达发现远处弱目标的能力愈强，并且越有利于提高距离分辨力 (range resolution) 和方位分辨力 (bearing resolution)。但是，波长太短时，如短于 3cm 时，天气对电磁波的衰减以及云、雨对电磁波的反射和衰减将大大增加。

(二) 脉冲宽度 (pulse width) 雷达发射的是脉冲电磁波，脉冲持续的时间即为脉冲宽度，一般用 τ 表示。脉冲宽度愈宽、发射脉冲的能量愈大，雷达的作用距离愈远。而脉冲宽度窄，雷达的距离分辨力就好，最小作用距离小，杂波和雨雪回波干扰也小。为两者兼顾，雷达通常采用 2~3 种脉冲宽度，并随量程作相应变换。脉冲宽度一般在 0.05~1.2 μs 之间。

ME-315X I A₇ 型雷达有二种脉冲宽度：一是 0.08 μs (0.5~3 n mile)，二是 1.2 μs (6~7 n mile)。

二、波束角

波束角分水平波束角和垂直波束角。

(一) **水平波束角** (HBW—Horizontal beamwidth) 图 9-2-1 为极坐标表示的方向特性图。从图中可以看出天线的定向性, 能量主要集中在主波瓣上, 旁瓣只占很小的一部分。形似丝瓜形的辐射功率的主方向 OO_1 与天线轴线方向是一致的。

在水平方向的特性图中, 找出主轴两侧辐射功率值的 1/2 点 (半功率点), 将该两点在中心所夹的角定义为水平波束角。

水平波束角愈小, 方位精度和方位分辨力愈好, 同时天线增益提高, 最大作用距离增加。但水平波束角与天线尺寸成反比。因此, 天线长度将相应增大, 这样, 就增大了天线的受风面积, 从而要求增大天线旋转马达的功率。此外, 如水平波束角太小, 在雷达荧光屏上将会遗失较小目标的影像。

一般雷达的水平波束角为 $0.5 \sim 2.5^\circ$ 之间, ME-315X I A₇ 型雷达的水平波束角为 1.5° (-3dB)。

(二) **垂直波束角** (VBW—Vertical beamwidth) 在垂直方向特性图中, 两个半功率点在中心所夹的角为垂直波束角。

为了保证最小作用距离和防止船舶摇摆而丢失目标, 垂直波束角不能太小, 一般在 $15 \sim 30^\circ$ 之间。

ME-315X I A₇ 型雷达的垂直波束角为 24° 。

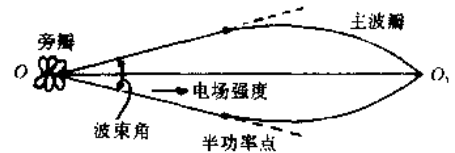


图 9-2-1 雷达波束的方向特性图

三、分辨力

(一) **距离分辨力** (range resolution) 雷达对于两个或多个位于同一方位, 彼此相距很近的目标的区分能力, 称距离分辨力。它主要与脉冲宽度 (τ) 和光点直径 (d) 的大小有关。

首先分析一下脉冲宽度的影响。图 9-2-2 中的两目标 C 和 D 相距 150 m, 假设脉冲宽度 τ 为 $1 \mu\text{s}$, 那么 $1 \mu\text{s}$ 内电磁波在空间行进的距离为 300 m, 从图中可以看出, C 和 D 被分开的距离要大于电磁波在 τ 的时间里所走距离的一半, 即

$$\text{目标分开距离} > \frac{300\tau}{2} (\text{m})$$

其次, 是光点直径的影响。通常雷达光点直径约为 $0.6 \sim 1.0 \text{ mm}$

$$\text{有 } s = \frac{2Rd}{D} \quad (9.2)$$

式中 s : 光点直径所代表的实际长度;

R : 雷达量程;

d : 光点直径;

D : 荧光屏直径。

从公式中看出: s 与 R 成正比, 量程不同, s 值也不同。用近距离档时, 一般 s 比脉冲宽度的一半在空间行进的长度要小; 在 20 n mile 以上的距离档时, s 往往比半个脉冲宽度在空间行进的长度要大。

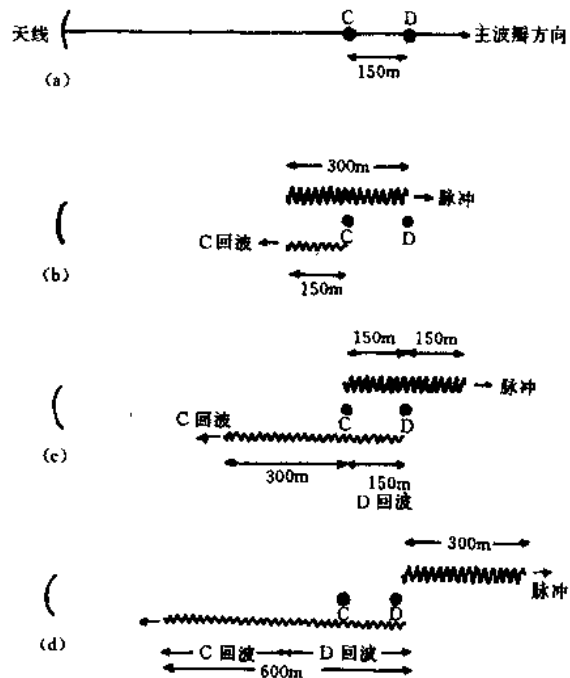


图 9-2-2 脉冲宽度对距离分辨力的影响

从上面的分析可以得出雷达的距离分辨力的计算公式为：

$$\Delta R_{\min} = \frac{300\tau}{2} + \frac{2Rd}{D} \quad (9.3)$$

ME-315X I A₇ 型雷达的距离分辨力：远量程小于 20 m，近量程小于 15 m。

(二) **方位分辨力** (bearing resolution) 雷达对距离相同而方位邻近的两个目标的区分能力，称为方位分辨力。它主要与水平波束角和光点直径有关。

先考虑水平波束角的影响，图 9-2-3 所示为距天线距离为 R 的两个目标 x 和 y ，从图中看出两个目标与天线所对的角度 φ 小于水平波束角 θ_H ，因此两个目标在荧光屏上将形成一个影像，若想区分两个目标，必须 $\varphi > \theta_H$ 。

若再考虑到光点直径的影响，最后可用下式来表示雷达的方位分辨力 (θ)，即：

$$\theta = 57.3 \frac{2Rd}{R_T D} + \theta_H \quad (9.4)$$

式中 R_T ：目标距荧光屏中心的距离。

可以得出，水平波束角愈小，光点直径愈小，方位分辨力愈好。

此外，若目标距船的距离愈近，方位分辨力也愈好。如图 9-2-4。图中设有三对目标，各对目标的间距均相等，但各对目标离船的距离不等。在 A 处两目标夹角大于 θ_H ，处于雷达水平波束角之外，两目标完全分隔开，在荧光屏上两目标方位分辨清楚；在 B 处两目标夹角等于 θ_H ，所以在荧光屏上恰好粘连；在 C 处，两目标夹角小于 θ_H ，则在荧光屏上两回波将成为一个无法分辨的回波。

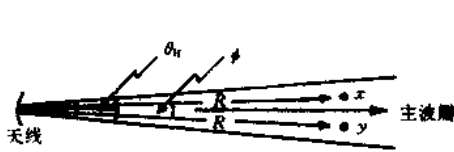


图 9-2-3 水平波束角对方位分辨力的影响

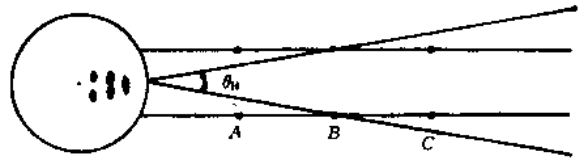


图 9-2-4 目标与船的距离对方位分辨力的影响

四、最小作用距离 (minimum range)

雷达荧光屏能显示目标回波的最短距离，称雷达的最小作用距离。在最小作用距离以内的区域称为雷达的“盲区”，在盲区范围内的目标，雷达观测不到。显然，盲区愈大、愈不利于监视本船周围的近区海面，愈不利于狭水边或进出港航行。

雷达最小作用距离与脉冲宽度 (τ)，收发开关的恢复时间 (t_1) 及天线和目标的高度有关。

图 9-2-5 显示的是：假设脉冲宽度为 $1\mu s$ 时，电磁波在空间持续的距离为 300m。若目标距天线为 150m 时，当目标回波返回天线的时刻，雷达还处于发射状态，这时接收机还无法接收回波信号，所以在荧光屏上不能显示，只有距离大于 150m 时，目标才有可能显示出来。

另外，前面已经说过，收发开关的作用是转换收发通路的。我们知道：发射机和接收机共用一个天线，当发射机向外发射电磁波时，一部分也可能进入接收机，由于能量很强，易将接收机烧毁，收发开关就是在此时自动关闭接收机通路，从而保护接收机。当回波信号返回时，它又能自动打开，让回波进入接收机。但收发开关闭合后不能马上打开，要有一定的恢复时间，因此在这段时间内回波信号仍不能进入接收机。

由于上述两种因素的影响，雷达的最小作用距离可用下式表示：

$$R_{\min} = \frac{1}{2} c(\tau + t_1) \quad (9.5)$$

式中 R_{\min} ：最小作用距离；

τ ：脉冲宽度；

t_1 ：使接收机灵敏度恢复到能接收并显示回波所需的时间。

最小作用距离与天线和目标高度的关系如图 9-2-6 所示。

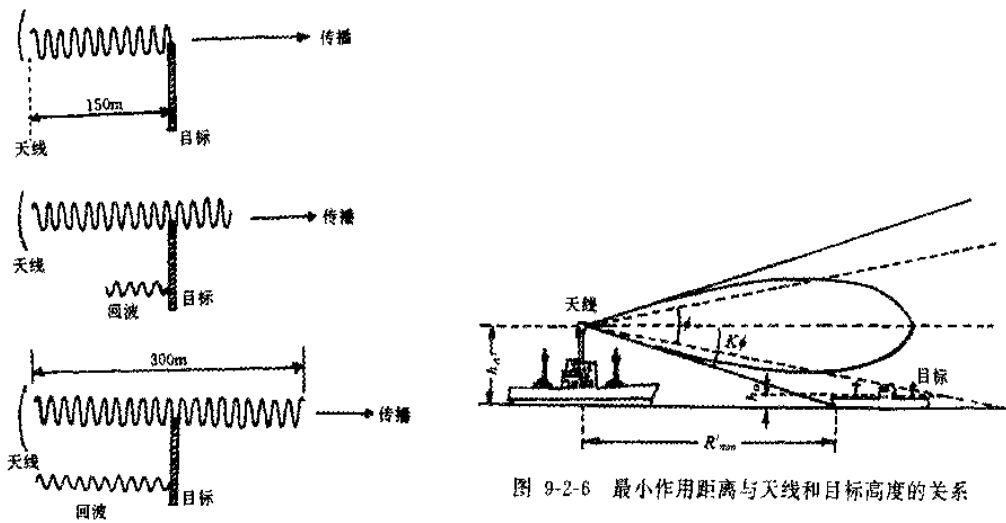


图 9-2-5 脉冲宽度对最小作用距离的影响

图 9-2-6 最小作用距离与天线和目标高度的关系

当目标移近时，会进入雷达波束覆盖不到的地方，即雷达的“盲区”，在这种情况下，最小作用距离可用盲区半径来表示，即：

$$R'_{min} = (h_A - h_o) \text{ctg}(k\varphi) \quad (9.6)$$

- 式中 h_A ：天线高度；
- h_o ：目标高度；
- φ ：天线垂直波束角；
- R'_{min} ：盲区半径；

k ：决定于天线垂直方向性能和目标反射性能大小的系数。估算时，对反射性能很弱的低目标，可取 $k \approx 0.5 \sim 1$ ，对于反射性能较强的低目标，可取 $k \approx 1 \sim 2$ 。

很明显： R_{min} 和 R'_{min} 是不等的，我们将两者中较大者定为雷达最小作用距离。应注意的是，实际测得的与计算的往往不相符，应以实测值为准。

实际测量时，令小艇由船首驶离测定船，开始时荧光屏上没有回波，当小艇驶到一定的距离，在荧光屏上刚刚出现小艇的回波时，把小艇与测定船的距离记下来，这就是盲区半径。相反，小艇可以由远处驶向测定船进行测定。由于天线在水面上的高度与吃水有关，在测定盲区半径时，应注意记录本船的吃水。

第 3 节 雷达的最大作用距离

所谓发现目标的最大作用距离 (maximum range) 是指雷达荧光屏上能清楚显示回波的最远距离。它与雷达本身的一些技术性能，目标的反射性能，天线和目标的高度，以及气象条件有关。

一、雷达性能对发现距离的影响

从下面的公式可以看出最大作用距离与雷达性能的关系：

$$R_{max} = \left[\frac{P_o G_o A_r A_t}{(4\pi)^2 P_{min}} \right]^{1/4} \quad (9.7)$$

- 式中 R_{max} ：雷达最大作用距离；
- G_o ：天线增益；

- A_t : 目标的有效反射面积 (m^2);
- A_e : 雷达天线的有效接收面积 (m^2);
- P_o : 雷达发射机的输出功率 (W);
- P_{rmin} : 能探测到目标的最小接收信号的功率 (W)。

应该强调的是, 上面的公式是假定在自由空间的状态下使用的。不考虑地球表面的影响, 以及电磁波在大气中的折射和吸收。(若考虑这些因素, 最大作用距离较上式中得到值要小。) 假设天线的有效面积不变, 并根据

$$G_a = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$$

代入上式则有

$$R_{max} = \left[\frac{P_o A_e^2 A_t}{4\pi \lambda^2 P_{rmin}} \right]^{1/4} \quad (9.8)$$

此式给出:

- (1) R_{max} 与 $\sqrt[4]{\frac{P_o}{P_{rmin}}}$ 成比例关系;
- (2) R_{max} 与 $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$ 成比例关系;
- (3) R_{max} 与 $\sqrt{A_e}$ 成比例关系。

上面说明: 其它因素不变时, 要使作用距离增加 1 倍, P_o 值要为原来的 16 倍 (假设是可能的); 或者, P_{rmin} 要减小 16 倍。但实际上接收灵敏度受可接收信噪比的极大限制。若降低 λ , 加大天线长度, 将增大作用距离, 而且较明显。

二、目标条件对发现距离的影响

雷达天线辐射出去的电磁波碰到目标反射时, 其反射波的强度依目标的种类、形状、大小和方向等而有明显变化。反射波的强度大, 作用距离就远。如大型目标比小型的反射波强; 形状陡峭的目标比平坦的目标回波强; 导电率高的目标比低的回波强, 所以钢壳船比木壳船反射强。另外目标的表面光滑度愈好, 反射波也愈强。

三、雷达视距和目标能见距

雷达波在海面上的地理能见距称雷达视距。雷达波的传播与光波相似, 基本上是直线传播, 同时也有被大气中的氧气、水蒸气分子吸收、散射和折射等现象, 只是雷达波的折射系数较光波稍大, 雷达视距也较远, 其视距可用下式表示:

$$D_s = 2.23 \sqrt{h} \quad (9.9)$$

式中 h : 为雷达天线的高度 (m);

D_s : 雷达视距 (n mile)。

若对高度为 H (m) 的目标, 雷达的目标能见距如下式:

$$D_o = 2.23(\sqrt{h} + \sqrt{H}) \quad (9.10)$$

此公式表示的是在标准气象条件下, 雷达探测目标的最大范围, 它是雷达最大作用距离的极限值。也就是说, 不管雷达的发射功率多强, 接收机的灵敏度和天线增益多高, 雷达的最大作用距离不可能超出这个极限值, 因此不能指望过分提高这些技术参数来大幅度地增加雷达的最大作用距离。

雷达对一些目标的最大探测距离的标准值如下表。

表 9-1 一些目标的最大探测距离标准值

<p>[I] 使用 30 n mile 距离档在 15 n mile 以上所显现的目标:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 沿岸大城市 — 25 n mile 以上; (2) 60 m 以上的山丘、断崖 — 25 n mile 以上; (3) 15~30 m 左右的山丘、断崖 — 15~20 n mile 左右; (4) 大型船 — 15~20 n mile, 往往为 16~17 n mile; (5) 暴雨 — 可达 30 n mile 左右 <p>[II] 使用 15 n mile 距离档在 6 n mile 以上显现的目标, 在 15 n mile 以上显现的是罕见的目标:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 大部分岛屿和海岸线在这种距离上显现, 平坦的海岸线则很少显现; (2) 岛上的灯塔 — 10~15 n mile; (3) 灯船 — 9~12 n mile; (4) 拖船 — 7~10 n mile; (5) 装有雷达反射器的大型浮标 — 8~10 n mile; (6) 防波堤 — 6~8 n mile; (7) 较强的暴风雨; 	<p>(8) 飞机 — 6~8 n mile</p> <p>[III] 6 n mile 距离档所显现的目标:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 雾钟浮标 (大型浮标) — 4~6 n mile; (2) 圆筒形或纺锤型浮标 — 2~3 n mile; (3) 小型游艇及钓鱼船 — 3~5 n mile; (4) 桥; (5) 水面上数米高的礁石及低的土地 <p>[IV] 1 n mile 或 2 n mile 左右的距离档所显现的目标:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 摇橹船等; (2) 棒状浮标; (3) 水鸟群; (4) 牡蛎养殖场和养鱼池的棒桩; (5) 在水面上空的电线类; (6) 海上漂浮的箱子、木材等物; (7) 用绳串起来的浮子
--	---

四、气象条件对雷达发现距离的影响

前面提到雷达的目标能见距公式, 是在标准的气象条件下才适用, 其标准的气象条件为:
 海平面气压 1013 hPa, 每升高 1 km 降低 36 hPa;
 海平面温度 15°C, 每升高 1 km 降低 2°C;
 相对湿度 60%, 不随高度变化。

当上述气象条件发生变化时, 将会出现次折射和超折射的异常传播现象, 使雷达的探测距离发生变化。

(一) **次折射 (sub-refraction)** 在冬季, 当气温与水温相差很大 (20°C 以上), 气温的下降率随高度的上升面急剧增大, 或者大气中相对湿度增大, 都能使折射系数减小, 即雷达的波束趋于向上弯曲, 如图 9-3-1 (a) 所示。这样就减小了雷达的探测距离, 对小目标的发现距离有时会缩短 30%~40% 以上。

这种现象一般发生在极区或较寒冷的大陆附近。在我国的黄渤海地区, 当西伯利亚寒流经过时, 也有可能产生这种次折射现象。

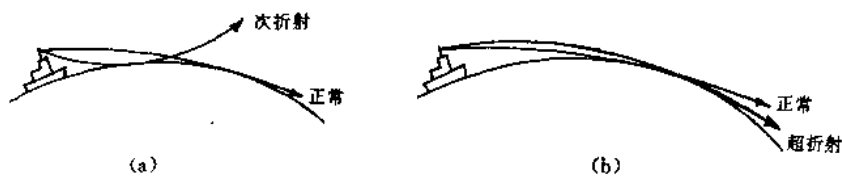


图 9-3-1 雷达波的异常传播

(二) **超折射 (super refraction)** 在夏季, 当有干燥暖空气移到水温较气温为低的海面上时, 气温的下降率随高度的增加面减小或反向增加, 或者相对湿度随高度而减小时, 都能使折射系数增大, 即雷达的波束趋于向下弯曲, 而延伸到更远的地方, 如图 9-3-1 (b) 所示。雷达的探测距离将增大。

超折射现象一般出现在温带或热带的沿海海面, 在温带这种现象易出现于夏季。如红海、地中海、英吉利海峡以及亚丁湾等地时常发生这种现象。

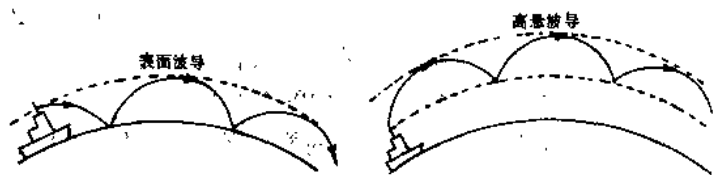


图 9-3-2 大气波导

过强的超折射会出现如图 9-3-2 所示的现象,即形成大气波导,雷达波在大气与海面之间或地球表面上方的反射层中不断的折射、反射。这时荧光屏往往能探测到明显的远方目标。

第 4 节 目标的影像特点和回波识别

一、目标影像失真现象

雷达影像只是周围目标的平面图像,与目标的真实形状相比会有一定程度的失真。

(一) 影像的大小失真

1. 展宽:由于雷达波束具有一定的宽度 (θ_H),当水平波束角的一侧边与目标 (P) 接触时,便有目标回波产生,并在波束的轴线,即扫描线的 (OA) 方向开始显示出来,随着天线的旋转,回波也随之而展宽。当波束的另一侧边与目标脱离接触时,回波在新的轴线方向 (OB) 终止。如图 9-4-1 所示, $\angle AOB = \theta_H + r$,在荧光屏上,原来的目标变成了弧形的展宽回波,回波影像实际上每一侧各展宽了 $\theta_H/2$ 和半个光点直径所对应的夹角。

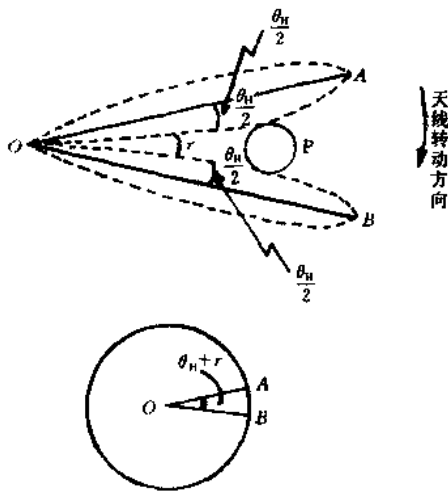


图 9-4-1 影像的展宽

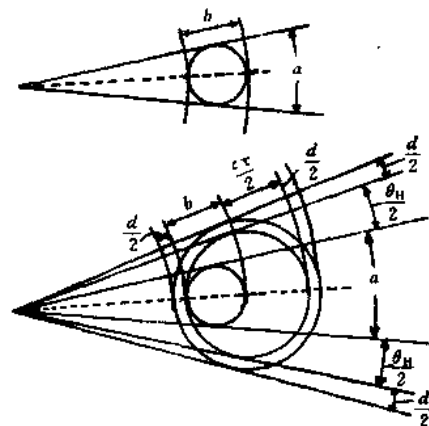


图 9-4-2 回波的综合变形

2. 伸长:雷达脉冲具有一定的宽度 (τ),当脉冲的前沿与目标接触时,在荧光屏上便开始产生回波,随着光点沿半径方向向外侧扫描,回波亦随之而向外侧延伸,在此期间雷达波实际传播了 τ 时间或 $c\tau$ 的距离,但荧光屏上显示的是单程距离,所以回波影像将伸长 $c\tau/2$,此外,还要加一倍光点直径 (d) 所对应的长度。如图 9-4-2 所示。

3. 回波的综合变形与粘连 由于雷达荧光屏的目标影像存在着展宽和伸长的现象,对于任一目标 ($a \times b$) 将显示按比例大得多的回波影像。如图 9-4-2 所示。

若有另一目标距该目标近到一定的程度,两目标回波就会粘连成一个较大的影像,而不能分辨。

展宽和伸长共存于一个目标的回波影像之中,它们各自的影响也随着距离的不同面有所差异。一般来说,近距离小量程时,伸长比展宽明显;远距离时,展宽比伸长明显。

(二) 影像的形状失真

1. 由于地球曲率的原因,致使雷达波不能到达丘陵地带及海岸线的低洼部分,而只能到达目标的某些较高部分,使荧光屏上所呈现的海岸线影像与海图上所绘出的岸线形状不同,如图 9-4-3 所示。

2. 由于高大目标的遮蔽,致使在高大目标后面的低矮目标在荧光屏上显示不出来,若后面是低平的海岸,则可能出现岸线中断现象。如图 9-4-4 所示。

3. 由于陡峭的陆标反射雷达波的能力强,低平的沙滩反射能力很弱,面在荧光屏上难以显示出图像,因此,荧光屏上的影像并不是实际的海岸线,面是岸线后方较高的部分,这时雷达影像至荧光屏中心的距离将超过船到海岸线的实际距离。如图 9-4-5 所示。

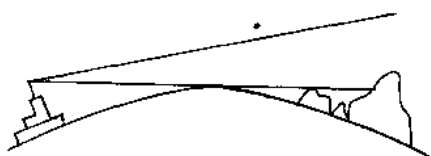


图 9-4-3 地球曲率造成的影像失真

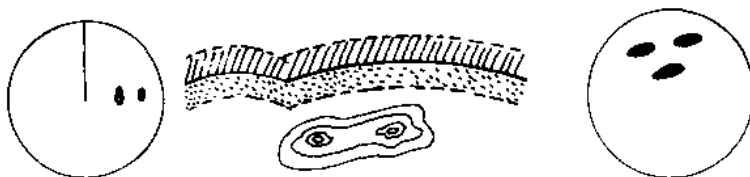


图 9-4-4 高大目标遮蔽作用造成的影像失真

$$\Delta D = D_1 - D_2$$

式中 D_1 : 雷达影像的距离;

D_2 : 船舶到岸线实际距离。

4. 由于彼此相近的目标可能连成一片而分辨不出来, 例如离岸线很近的小岛可能和海岸的回波影像融合在一起, 从而使海岸线与目标小岛真正的细微特征在荧光屏上无法分辨。

从上面的分析可以看出, 目标的回波影像会出现大小和形状的失真, 也就是说, 雷达荧光屏显示的影像与真实的目标并不完全相同, 不能表示出某些目标和地形的实际特点, 因此在使用雷达定位或导航时, 驾驶员应考虑到上述影像失真的特点去识别雷达影像。如对影像所表示的目标有怀疑时, 应先用雷达迅速测出影像几个突出部分的方位和距离, 然后根据陆标船位或推算船位在海图上进行对照识别。

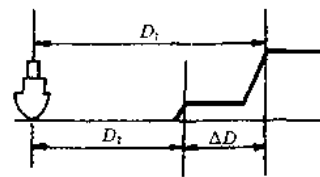


图 9-4-5 海岸线的失真现象

二、影响目标雷达回波影像的因素

(一) 距离 回波的强度与距离的关系如下式

$$S_r = \frac{G_r P_o A_t}{(4\pi)^2} \cdot \frac{1}{r^4} \quad (9.11)$$

式中 S_r : 反射波的接收电力密度 (W/cm^2);

G_r : 天线增益;

P_o : 发射输出功率;

A_t : 目标有效反射面积;

r : 目标与天线的距离。

从式 (9.11) 中可知: 回波强度与距离的四次方成反比。所以, 目标愈近, 探测到的可能性愈大, 影像的清晰度愈强, 而远距离上的目标就差些。

(二) 反射面积 回波的强度与目标的反射面积成正比, 其比值的上限可达到波束的垂直断面积。

(三) 脉冲宽度 (duration of pulse) 增大脉冲宽度使发射功率增加, 探测距离也增大, 但距离分辨力会降低; 在近距离为使影像大而清晰, 以使用短脉冲宽度为佳。

(四) 方向性 目标的反射面与发射电磁波所成的角度, 为决定反射波的方向, 如果反射波不按来的方向反射, 就不能被天线接收。

(五) 折射 电磁波的路径因蒙气差的存在而被折射, 蒙气差的值又随着所处高度的气温和相对湿度的变化而不同, 会出现次折射和超折射, 将使雷达的作用距离随之发生变化。

(六) 材料构成 电磁波的反射性能是依构成目标的材料而定, 导电性能高的物体是好的反射体。

(七) 高度 我们已经知道雷达最大探测距离与天线高度 (h_1) 和目标高度 (h_2) 的关系式为

$$D = 2.23(\sqrt{h} + \sqrt{H}) \quad (9.12)$$

此外, 对接近海面的矮小目标, 因天线直接射到的电磁波和海面反射回来的电磁波互相干扰而难以探测, 而且小目标隐没在波浪回波之间, 还容易引起探测错误, 所以具有一定高度和连续长度的物体才便于探测。

(八) 障碍物 船上的上层建筑、暴雨、暴风雪等都会遮挡雷达波对目标的探测。

(九) 效率 利用雷达能否获得良好的结果, 往往与雷达的技术状态和使用者的能力有关。

(十) 表面 表面光滑的目标有较强的反射能力, 粗糙的物标表面使回波向着许多方向反射, 从而减弱了雷达天线所能接收到的回波能量。

三、各种回波的特点

(一) 船舶 船舶的回波因船舶的种类、船型大小、航海状况等而有所不同。就同一条船来说, 其方向也有影响, 正横方向接收的电磁波远比首尾方向接收的电磁波强; 空载时的回波大于满载时的回波。下面是一些船舶的最大探测距离数据参考表:

表 9-2 一些船舶的最大探测距离参考数据

小木船 0.5~4 n mile	1000 t 船 6~10 n mile
救生艇 远到 2 n mile	10000 t 船 10~16 n mile
流网船 3~5 n mile	50000 t 船 16~20 n mile
拖轮驳船 远到 7 n mile	

船舶一般在荧光屏上呈现有明显亮度且又清晰而稳定的影像, 有时可显示出船的轮廓。航行的船舶, 这些亮点将做相对运动。

(二) 浮标 航海用浮标多为高度低、体积小, 一般又为球形、圆柱形、圆锥形等不良反射体; 并且浮标易受波浪摆动而改变雷达波的反射方向, 或者由于电磁波互相干扰致使接收电磁波的合成强度因距离而发生变化, 使探测距离受到影响, 一般为 0.5~6 n mile 不等。

浮标的影像一般呈现为单独的块状回波光点, 小浮标是小块状光点, 不移动, 在风浪中时隐时现, 只有在近距离才呈现比较稳定的光点。装有雷达反射器的浮标, 则呈显明显的块状或条状回波, 而且使探测距离增大。大型浮标设有反射器, 可在 8~10 n mile 上被探测到。

(三) 冰山 冰山是一种比较差的雷达目标, 它的回波强度和探测距离与其大小、形状及视角有关。一般冰山的探测距离为 8~10 n mile。

一些刚离体的冰山, 由于四面几乎是垂直面, 所以反射性能好, 在 15~30 n mile 上就能被发现, 而有些相当大的冰山, 眼睛虽可明显看到, 由于冰山的倾斜光滑面使电磁波向着与天线不同的方向反射, 雷达往往探测不到; 还有些小的冰山, 反射波很弱, 面在水面下的体积足以撞破船舶。这时, 不能只依赖雷达导航, 必须谨慎驾驶。

(四) 山或丘陵 山或丘陵的回波强度与其高度、坡度及表面形态有关。一般来说, 高度愈高、探测距离愈远、坡度愈陡、回波愈强。在荧光屏上的影像常常是大块的斑点。

(五) 岸线 岸线在荧光屏上以陆地回波的边沿出现。只有当海岸较陡或距离较近时, 才显示与海图基本一致的形状。否则, 其形状和位置都会有出入, 如果是沙咀或平坦宽敞的沙滩, 在 1~2 n mile 以外通常不能显示在荧光屏上; 泥滩与沼泽地对雷达波的反射性能略强于沙咀, 当低潮时, 能收到弱回波, 显示为一条细弱的岸线。

(六) 岛屿 岛屿一般较陡, 能返回较强的回波, 而且纵伸不大, 显示与实际大致相似的影像, 是测距、测向的较好目标。

(七) 海浪 海浪能在荧光屏中心附近形成椭圆形的点状回波。一般海浪可显示 2~4 n mile, 在大风浪时, 往往可达 6 n mile 以上。这些波浪的回波会使荧光屏中心附近出现一片时隐时现的光点, 一般波峰前较波峰后的反射回波为强。如图 9-4-6 所示, 因此在多数情况下, 海浪回波出现在上风的方向。

海浪回波妨碍了雷达发现近距离的小目标, 为了减小它的影响, 可降低近距离的接收增益, 即降低接收机在显示器中心部分的灵敏度, 这种控制称为海浪抑制。

(八) 雨、雪 出现雨、雪时, 由于雷达波的一部分能量被



图 9-4-6 海浪的反射特点

大气中的水分所吸收，使到达目标而被反射回来的电磁波减弱。另一方面，大气中这些无数的回波，也足以在荧光屏上形成光点，呈现为疏松的一片棉絮状。

这种回波影响了雷达的正常观测，可通过“雨雪开关”来调整，以减少其影响。

四、回波识别要点

在雷达荧光屏上正确的辨别各种目标的回波，是一项比较困难的工作，前面已经说过，荧光屏上的影像与实际情况有很大差别，不像我们用眼睛直接观看目标那样直观。尤其是在珊瑚岛礁区、狭水道以及目标较多的海域，若没有较突出的目标，很难具体分清各个目标，而易造成判断上的错误。要想做到正确辨认，必须掌握各种目标的回波特点，经常观测各种目标在不同情况下显示回波的差异，逐步积累这方面的经验，只有这样，我们才能发挥雷达的特殊作用，为航海服务。

当船进入较复杂的海域时，要根据海图、资料等仔细研究船位附近海陆各种目标的特点，如高度、地形、地貌、视角及传播途径、状况，再结合本船雷达的性能，当时的气象状况等分析各种目标回波在雷达荧光屏上可能出现的各种变形，然后找出特点明显，不会造成混淆的目标（如：孤立的岛屿、岸角、灯塔等）作为参考点，按照它们的相对位置逐一加以辨认，并再三核实后再予确认。特别是在缺少位置可靠的目标，而本身船位又不准确的情况下，草率判定目标并据以定位、导航，是十分危险的。

第5节 假回波与干扰杂波

一、假回波 (false echo)

(一) 间接回波 (indirect echo) 由船上的大桅及烟囱等建筑物将天线发射波予以反射，反射波就像镜子反光那样，改变方向按天线所对的不同方向传播，碰到该方向的物标，按相反路径反射回来，再被船体建筑物反射，而在天线上作为回波被接收下来，如图 9-5-1 所示。

这样，一个目标在雷达上将有两个影像，一个是雷达电磁波直接扫到目标，产生反射回波，被天线接收，其为真回波。另一个是由船上的建筑物反射雷达波后，碰到目标产生反射回波，其为假回波，这种假回波的距离为建筑物离目标的距离与离天线的距离之和。另外，当船舶在狭水道航行时，两侧航行的船舶及岸上反射性能较强的高大建筑物，都有可能产生这种间接回波。

由于大桅和烟囱等船上建筑物离天线很近，反射也很强，而因其反射点不同将沿各种方向前进，碰到各自路径上存在的目标就返回来，因此，有造成许多假回波的可能，但是这些假回波的影像将出现于大桅或烟囱所形成的阴影扇形里，其供辐射的能量被大桅等障碍物所分散，在近距离如果不是反射强度相当强的目标，就形成不了可被认出影像的回波，所以很少出现许多假回波并列的现象。

此外，从假回波的移动来看，船舶正前方来的他船回波，碰到天线后面的烟囱这个反射体表面反射时，会使假回波显示在船尾方向上，由于两船逐渐接近，看来好像是追越船，但是由于假回波比实际回波强度弱，而且其轮廓通常也是模糊的，如果降低增益往往便会使其消失。

(二) 多次反射波 (multiple reflection echo) 在本船正横附近的近距离处，若有其它强反射体，例如有一艘大型船舶与本船并行时，电磁波在两船间多次反复反射，每次的反射波都被天线接收，并在荧光屏上显示出来，这叫多次反射假回波。如图 9-5-2 所示。

多次反射波的回波特点是与真回波所处荧光屏的方位相同，形状相似，距离则成倍增加，影像将逐渐减弱。这种现象随着两船的位置关系而发生变化，所以出现多次反射现象的时间是比较短暂的。

此外，当船与岸壁成平行时，也能出现多次反射现象，只是显示的假回波在岸上，对船舶没有影响。

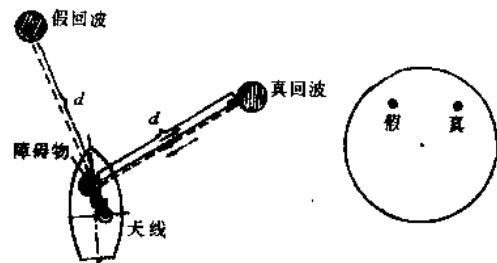


图 9-5-1 间接回波

(三) **旁瓣效应** (sidelobe echo effect) 由雷达波束中的旁瓣扫到目标而产生的假回波, 称旁瓣效应。如图 9-5-3 所示。M 为主瓣, A、B、C、D 为旁瓣, 它们与天线主轴方向成左右对称, 能量较主瓣弱, 一般不会产生影响。但若目标很近, 旁瓣能扫到目标的回波又足以使天线接收, 在荧光屏上就会出现假回波。这种假回波的特点是与真回波距荧光屏中心的距离相同, 并对称地排列在真回波的两侧。由于假回波较弱, 可通过调节增益和海面回波抑制加以消除。

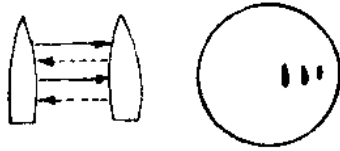


图 9-5-2 多次反射假回波

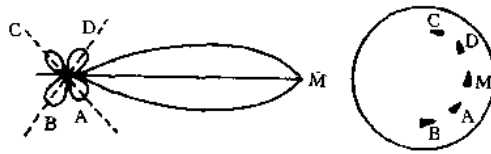


图 9-5-3 旁瓣效应

(四) **第二次行程回波** (second trace echo) 雷达在发射脉冲电磁波时, 遇到距离极远的目标产生的反射回波, 不是在本扫描周期内, 而是在下一个扫描周期内被接收。这样的目标回波称第二次行程回波。同理, 也可能出现第三次第四次行程回波。

在正常情况下, 出现第二次行程回波的距离范围为: $\frac{c \cdot T}{2} \sim \frac{c \cdot T}{2} + R$ 。其中, c 为电磁波波速; T 为脉冲重复周期; R 为量程。从中可知, 脉冲重复周期不同, 量程不同, 出现第二次行程回波的距离范围也不同。

这种回波的特点是: 回波影像与实际形状不符, 发生了变形; 回波的方位与目标其方位相同, 回波的距离是实际距离减去 $\frac{cT}{2}$ 的差。

第二次行程回波一般很少出现, 但在波斯湾和红海等海域, 当出现超折射的异常传播时, 有时可能会出现。如果怀疑某一回波可能是第二次行程回波, 只要变换一下量程, 这种影像就会发生移位, 变形或消失。

二、干扰杂波

雷达在工作时, 不仅能接收本船发射电磁波的回波, 而且如有相同频率的电磁波时, 也能一并接收, 并在荧光屏上显示出来, 而影响雷达的正常显示。

(一) 他船雷达的干扰

1. 当两船距离很近时, 两船的雷达天线方向相对, 才能接收他船的电磁波。但因天线有水平定向性, 所以在他船方向为中心的某一方位宽度中, 可出现点线状的影像, 如图 9-5-4 所示。另外, 他船的电磁波碰到大桅等船体建筑物的反射而被接收时, 在这些建筑物的方向上, 也可出现同样的影像。

2. 当两船距离很近时, 他船旁瓣引起的电磁波也以有效的强度到达本船天线, 由天线旁瓣将其接收下来, 致使两船的天线不论方向如何都相互干扰, 而在旁瓣的全部方向都出现点线状影像。在渔场附近, 船舶较多, 因此在任何方向都可能出现他船雷达的干扰波。

雷达间的干扰依两雷达发射脉冲的重复频率不同, 而在荧光屏上的影像也有所不同。

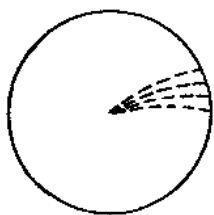


图 9-5-4 一定方位宽度的点线状影像

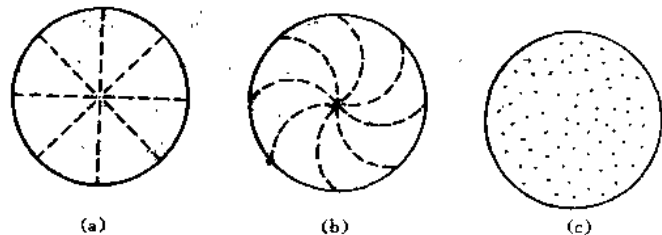


图 9-5-5 不同脉冲重复频率的干扰影像

(1) 当脉冲重复频率相同时，干扰影像呈辐射状小点。如图 9-5-5 (a)

(2) 当脉冲重复频率相差不大时，荧光屏上呈显出螺旋状的小点。如图 9-5-5 (b) 所示。

(3) 当脉冲重复频率相差很大时，则干扰影像呈散乱的光点。如图 9-5-5 (c) 所示。

为了消除雷达的这种同频干扰，在雷达面板上都有抗干扰开关，启用这个开关，便可抑制这种影响；另外换近量程档，也可减小这种影响。

(二) **电火花干扰** 雷达荧光屏上出现的电火花干扰有多种，有的是在固定范围内出现的不规则径向亮线，这一般是偏转线圈电刷和滑环接触不良引起的。有的是位置不定的径向亮线，这可能是机内电源、发射机、接收机等有关器件跳火形成的，这属故障现象，应立即检查，排除后才能继续使用。

第 6 节 雷达操作使用

一、各种开关旋钮的功能

船用雷达的类型及型号很多，常见的不下四、五十种之多。但不管哪一种类型的雷达，其开关及控制旋钮基本上大同小异。由于雷达的种类繁多，并且随着雷达的国际通用化；目前，许多雷达面板图上的各种开关是根据 IMO (国际海事组织) A-278 决议规定的符号来表示的。操作者只要熟悉这些符号即可使用雷达。

下面，我们以目前渔船上较普遍使用的 ME-315X 型雷达的面板各旋钮符号及作用介绍如下：

(一) ME-315X 型雷达的面板图

如图 9-6-1 所示

(二) 各开关旋钮的作用及符号

如表 9-2

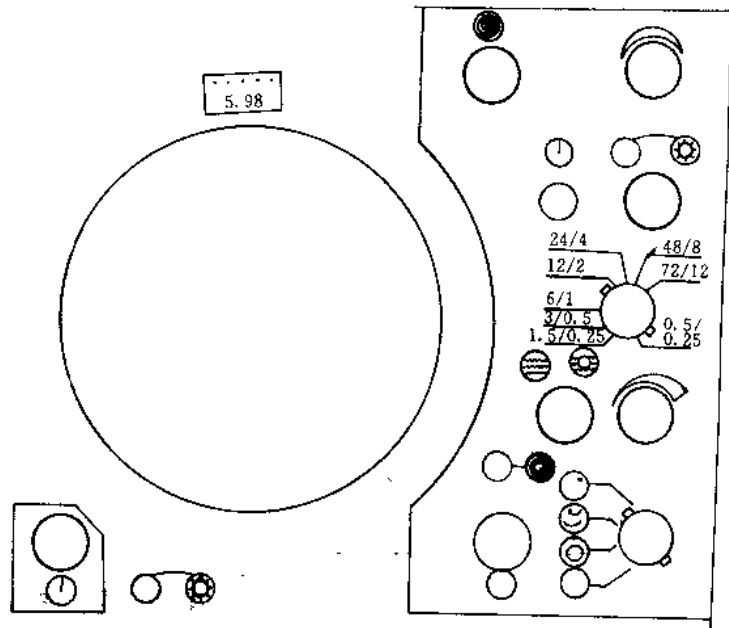
















图 9-6-1 ME-315X 型雷达面板图

表 9-2 开关旋钮的符号和意义

开关旋钮符号	意 义	开关旋钮符号	意 义
	工作开关： a. 断开，雷达停止工作 b. 等待，电源接通预热，3 分钟后红指示灯亮，雷达可以工作。 c. 接通天线，显像管屏幕调亮 d. 抑制雨雪干扰。		亮度调整 调整荧光屏画面亮度，顺时针方向旋转是增加亮度
			调谐 调谐：调节本机振荡的频率，控制回波的出现和亮度

(续)

开关旋钮符号	意 义	开关旋钮符号	意 义
 刻度照明	调节刻度盘的亮度	 距离量程 选择开关 符号	距离量程开关： 有 0.5, 1.5, 3, 6, 12, 24, 48, 72 共 9 档 (有一空档) 根据探测距离范围来选择观看物标的距离档数。数字表示量程和距离环间的海里数。
 船首显示	船首线亮度消除按钮： 用手按住“按钮”，船首线消失；松手，船首线再现		
 距标圈 亮 度	固定距标： 对固定距标进行“开”“关”用来测量目标距离，一按距环马上显现出来，再一按即消失。		
 增 益	增益：调节接收机对中频信号的放大倍数，控制回波与杂波的强弱	 方位刻度	进行左右 360° 的旋转，在相对运动显示的情况下，把刻度盘的 0 度与船首线重合，读出物标的舷角。
 抗海浪干 扰 最 小	海浪抑制： 减少海浪干扰波的影响，右旋抑制海面反射	 活动距标	把活动距标与物标重合，这时表示的数值就是目标距离。
 抗海浪干 扰 最 大		 抗雷达 干 扰	把这个“开关”扳到右侧接通抗干扰装置回路，即可抑制雷达干扰。
 抗雨雪 干 扰	抗雨雪干扰的影响，右旋抑制雨雪干扰	 正北显示	方位正北显示
 方位标志	转动这个旋钮，使游标箭头线与目标重合，读出相对方位。	 航向标志 调 整	船首线调整

二、操作使用步骤

正确的操作和使用雷达，不仅可以迅速、准确的在荧光屏上显示清晰的影像，以便于辨认和测量，较好的发挥雷达在航海上的特殊用途，而且还可以延长雷达的使用寿命，防止意外事故的发生。

(一) 雷达的开机步骤

1. 开机前应检查天线附近是否有人在工作，或者有其它障碍物存在；如绳索、渔网等。
2. 检查“亮度”和“增益”旋钮是否放在最小位置。因启动电流较大，若亮度和增益过大，会对阴极射线管有损伤。
3. 将电源开关置于“等待”预热位置，一般需要 3 min，这样可以将发射机中的磁控管（雷达的重要部件）的灯丝充分预热，然后再加特高压。否则，会损伤磁控管，应特别注意。
4. 接通天线开关（即给磁控管加特高压）。这时雷达开始工作，荧光屏出现扫描。
5. 根据需要量程开关置于适当位置。
6. 调节亮度旋钮，使荧光屏上刚刚出现扫描线为宜，不可亮度过大，以免荧光屏受损。
7. 顺时针调节增益旋钮，使荧光屏上出现噪音（杂波），但不要过大。
8. 调节调谐旋钮，使荧光屏上的影像最佳。
9. 根据需要，选择“抗雨雪干扰”、“抗海浪干扰”、“抗雷达干扰”开关，和亮度调整。
10. 可根据当时的情况，测量回波的距离和方位，进行定位、导航。

(二) 雷达的关机步骤

1. 将雷达开关置于“等待”位置。

2. 将“亮度”和“增益”旋钮反时针旋转到底。
3. 其它旋钮放到适当的位置。
4. 将工作开关断开，此时雷达完全处于停机状态，而后再将船用电源切断。

第7节 雷达定位及其精度

一、雷达的定位方法

由于雷达有与其它导航仪器不同的特点，其定位方法也有所不同。其基本方法是通过测量雷达荧光屏上回波影像的距离和方位，来确定船舶的位置。具体的定位方法要根据船舶当时所处海域中目标的具体情形而定，选择较佳的定位方法。现将实际上常用的几种定位方法介绍如下。

(一) 雷达距离定位 如果条件允许，目标又可供选择，可以选择两个或两个以上的目标，若目标的影像失真小，距离和交角位置合适，同时测定它们的距离，然后在海图上以观测影像的目标为圆心，以雷达测得的距离为半径，画出船位线，几条船位线的交点，即为船位。

利用雷达距离定位时，最好选择容易辨认和影像清晰的点状目标，以活动距标切于影像的前沿，测海岸、岬角时，应选择较明显的部分，以免因岸线失真，而引起测距不准。

若目标的影像失真小，距离和交角位置合适，在相同的条件下，在雷达的定位方法中，这种定位的精度是最高的。

如果没有更多的点状目标供选择，只有一个点状目标和一段平直的海岸线，在用距离定位时，可同时测量点状目标和与岸线相垂直的距离，在海图作业时，应先自点状目标绘出圆弧船位线，然后以测量船舶到岸线的距离为半径，在圆弧线上滑动找出一一点为圆心，如果自该点作弧能与岸线相切，则该点即为船位。如图 9-7-1 所示。 D_1 、 D_2 为至点状目标和岸线的距离，M 为雷达船位。

(二) 单目标雷达距离、方位定位 对于在荧光屏上只有一个点状、孤立的单目标，可同时测量它的距离和方位来测定船位。

在海图上画出该目标的逆方位线，并在其上量取目标到船舶的距离，其交点即为船位。

在测定雷达的目标方位时，应注意水平波束角对目标影像产生变形的影响，对于孤立的点状目标，应测其中心。如测其突出端的方位时，必须改正水平波束角所引起的方位误差，其误差值为水平波束角的一半。而突出端的延伸方向永远是突向海的一方。如图 9-7-2 所示。将测得的方位加上或减去半个水平波束角（加或减依据船与突出端方向的位置关系而定），才是近似的目标真方位。

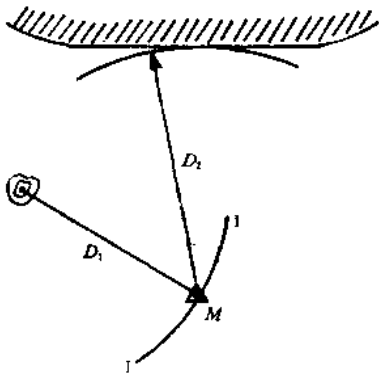


图 9-7-1 用点状目标和岸线进行距离定位
这种定位方法的特点是简单、快速。

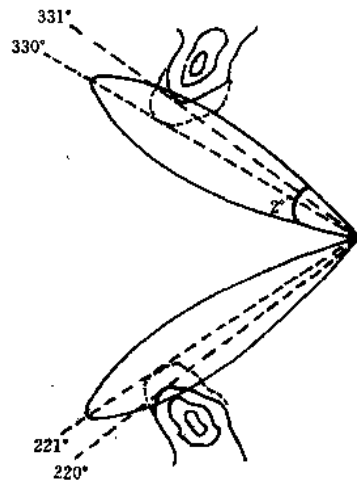


图 9-7-2 水平波束角引起的方位误差

(三) 两个或两个以上的目标方位定位 同时测量几个目标的方位，其定位方法如同陆标方法定位一

样。由于影响方位精度的因素很多，但最主要的是水平波束角引起的误差，要进行修正后再定位。

此种定位方法作图方便、迅速，目标容易辨认。可选此法用以辨认目标，然后再用距离定位以得到正确船位。

(四) 混合定位 可用两目标方位加一目标距离；或两目标距离加一目标方位定位。

该方法一方面可提高船位精度，也可用来校核目标辨认的正确性。

此外，用电罗经测目标的方位，用雷达同时测其距离定位，可得到较好的精度，但要注意不要搞错目标。

二、雷达测距精度分析

(一) 影响雷达测距精度的因素 造成测距误差的原因很多，不同原因引起不同性质的误差，但不外乎系统误差和偶然误差两种。系统误差可以进行修正，而偶然误差是不能修正的。在分析测距精度时，不仅要看到误差的绝对值，也要看到数值的不稳定性。

在脉冲测距系统中，测距公式为 (9.1)

$$D = \frac{1}{2}ct$$

将此式微分并以增量形式表示为

$$\Delta D = \frac{D}{c}\Delta c + \frac{c}{2}\Delta t \quad (9.13)$$

式中 Δc 是电磁波传播速度平均值的误差； Δt 是时间间隔 t 的误差。

从上式看出：测距精度由电波传播速度实际数值和测量时间间隔 t 的误差所决定。

1. 电波传播速度不稳定的影响。

在设备为理想条件下和没有干扰时， $\Delta t=0$ ，则上式可表示为 $\frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta c}{c}$ 。即最大相对测距精度等于电波传播速度平均值的相对精度。

在近似计算时，一般将 c 视为常数 ($3 \times 10^8 \text{m/s}$)，实际上电波在物理性质不同介质中传播，其速度 c 就不同。用现代方法可测出电磁波传播速度的精度达 10^{-5} 。显然在一般使用条件下，测距精度要低于这个数值。由于气温，气压及水汽压的昼夜变化，使电波传播速度变化约为 10^{-4} ，所以限制了脉冲测距精度的提高。

2. 设备测量误差 若电波速度为已知，则测量出时间间隔 t ，可求出目标距离，这段时间由扫描线在荧光屏上的长度来表示，即

$$l = \frac{mc}{2}t$$

式中 $mc/2$ 是时间刻度尺。

影响其长度的有：

(1) 扫描线的非直线性：如果偏转线圈所用锯齿波的波形，不是完整的直线，就将产生距离误差，该误差一般较小。然而在显示器中心附近，扫描线的开始容易产生误差，所以在近距离时误差的比率大。

(2) 荧光屏表面曲率引起的误差：因荧光屏成球面形状，所以屏面逐渐向外缘倾斜，相对于视点半径方向的视距离有所压缩，如图 9-7-3 所示。在用固定距离圈中间部分进行比例内插时，则产生误差。用活动距标圈读取距离值不受这种曲率影响。

(3) 调整误差：如增益、辉度、调谐、聚焦等调整不良时，影像及距离圈模糊不清，使误差变大。

3. 读数误差 读数误差是指读取扫描线上回波前沿的实际位置不精确，而产生的误差。

(1) 光点直径引起的误差，从图 9-4-2 中已经知道，由于光点直

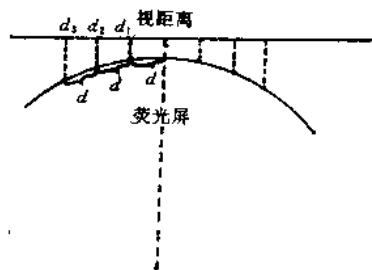


图 9-7-3 荧光屏曲率引起的距离误差

径的影响,使目标回波前后各在径向方向延伸了半个光点直径的长度,在用活动距标测影像的前沿所得到的距离就有误差,当然这种误差较小。

另外,由于目标回波在径向方向总的延伸为 $ct/2$ + 光点直径的长度,若两个目标的间距小于这个长度,则两目标将完全成为一个影像,并且,由于抓不住后方目标的前沿,而容易弄错测点。

(2) 固定距标圈误差:一般固定距标圈的误差为所测定距离的 1% 以内。但是若影像在距离圈的中间时,用目测内插估计其距离时,其误差约有测定距离的 5%。

因固定距标圈很少变动,所以在停泊中利用已知位置的目标,将雷达距离和海图上的距离进行比较,可以掌握各固定距标圈的距离误差大小。过分增加固定距标圈的亮度,会妨碍荧光屏上的观测,不用时可关掉,或将亮度放在最小位置。

(3) 活动距标圈的误差:活动距标比固定距标的误差大,一般在距离的 2% 以内,由于它容易变动,可经常和固定距标加以对比,以检查它的误差。在知道正确船位时,也可以将该点所测的目标距离和海图上的距离加以比较,以便求得活动距标的误差。

(二) 测定距离的注意事项 前面概要地叙述了雷达距离误差问题,现归纳正确的测定距离方法如下:

1. 应选择包含目标的最小量程。
2. 测远距离目标时,海岸线在视距外,不要误将内陆较高部分的回波误认为海岸回波。
3. 应使用活动距标与回波的前沿相切。不应测量回波的后沿,因为后沿误差大,而且更主要的是难于在海图上找出对应点。
4. 潮汐的影响会使岸线发生变化,在测定距离时,应计算当地的潮高,以便得到准确的距离。
5. 不应用回波的余辉测量距离。
6. 显示器各旋钮应正确调整,使回波饱满、清晰,否则会增大测距误差。
7. 测量的先后次序应是先正横后首尾。

(三) 雷达的测距精度 从上面分析知道,影响雷达测距精度的因素很多,但主要误差是活动距标误差和影像的测点误差。只要正确地操作雷达,掌握各种目标的回波特点,所测定的距离会是较好的。

在通常的测定状态下,误差范围可为距离的 2%~3%。

三、雷达测向精度的分析

(一) 影响测向误差的因素

1. 水平波束宽度的影响:由于目标的回波影像在水平波束角的影响下,向两侧各展宽了半个水平波束角,因此,在测量目标影像的方位时,就引起了 $1/2$ 水平波束角的误差。

2. 中心偏移误差:如果扫描中心没有正确调到荧光屏的几何中心,用机械方位标尺测量方位,就会产生扫描中心偏移误差。如图 9-7-4 所示。

为了减少因中心偏移而引起的误差,应调好中心位置。在测定时,使用适当量程,将回波置于荧光屏的边缘,可减少由此产生的方位误差。

3. 船首标志误差:船首标志在相对方位指示方式中,应是 0° 方向,而在真方位指示方式中,应当与真航向一致,如果船首线与上述情况不符,就将产生较大的方位误差,因此,应将其对准。

4. 视差:因方位标尺与荧光屏之间有一定的间隙,因此在测方位时,视点必须正确置于荧光屏的中心线上方,否则因荧光屏表面有曲率,使四周间隙逐渐扩大,易产生更大的视差。

5. 同步误差:扫描线与天线的主轴方向不一致,则产生相当于该差角的方位误差。这种情况主要是同步系统不良而引起的,应加以调整。

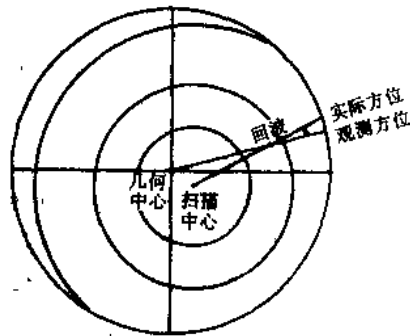


图 9-7-4 中心偏移误差

6. 倾斜误差：船舶在风浪中，使船体倾斜，同时天线的旋转面也随之倾斜，因而会产生方位误差。在船舶横摇 30° 的情况下，船首方位为 45° 及 135° 时，产生最大为 4° 的误差；纵摇的情况与之大致相同，为减小误差纵摇时应测船首尾方向的目标方位，而横摇时应测正横方向目标方位。但有纵摇和横摇同时影响时，误差变化就比较复杂，而出现最大误差的方向也是靠近船首尾方向。

实际上船体摇摆极为复杂，对它所产生的方位误差也不能简单地地下结论。因此，在船体激烈摇摆时，用雷达测方位应尽可能在船体成水平的瞬间测定。

7. 偏荡引起的误差：用相对方位指示方式时，测定方位的同时，必须正确读取船首向。因为测相对方位时，影像因偏荡而摆动，结果影像既不清晰，测定误差又常常变大。因此，在测方位时，要在扫描线通过目标致使影像发亮的瞬间，读取船首向，同时应迅速将方位标尺与影像重合去进行测定。

(二) 测定方位的注意事项

1. 选择包含目标的最小量程。
2. 要使扫描中心和方位标尺中心一致。
3. 测方位的先后次序应是先首尾方向后正横方向。
4. 减少视差的影响。
5. 相对方位指示方式受偏荡影响较大，若有可能，最好利用真方位指示方式。
6. 适当降低增益，以减小水平波束角引起的方位扩大效应。
7. 切点选择：测量点目标时，标尺线应与回波中点相切，测量横向岬角、突堤时，应测其边缘，然后除去因波束角及光点直径引起的畸变部分。
8. 应避免船体横倾时测量方位，要选择平稳的瞬间测量。

(三) 雷达测向精度 以上分析了影响雷达测向精度的一些因素，在正确地掌握了测向的方法后，一般的导航雷达，正常测方位误差约为 $\pm 2^\circ$ ，在航状态下，方位误差约为 $\pm 3^\circ$ 。

第 8 节 雷达导航

使用雷达可以在全天候条件下探测目标和测定方位、距离，它是确保船舶安全的一种极好的助航仪器。然而由于其性能尚不完善，所以在对机器的性能充分了解的基础上，要认真地去进行雷达观测，积累经验，同时还必须按照雷达的具体情况及应用的目的采取最适当的导航方法。

一、雷达航标

在航海上，雷达尽管起到了非常重要的作用，但目前它还不能完全像人眼那样将船舶的周围看得更加直观、清晰，在实际情况中常常受到许多因素的限制。如在开阔水域用雷达辨别浮标标志进行导航时，往往发生重要的航标淹没在海浪杂波中，或混杂于很多其它小目标回标（小船等）之中，难以识别出来；又如在某些海岸一片平坦或一般陡峭，雷达荧光屏上无特殊形状可辨等。

为了使在雷达荧光屏上能易于快速、准确地辨别出航行标志和各种目标，往往在主要航道附近的海岸、灯塔、灯船及浮标上加设一种对雷达波有较强反射能力的装置，即雷达航标，给雷达定位和导航带来了很大方便。下面是几种常用的雷达航标。

(一) 雷达反射器 雷达反射器有多种，但基本组成单元都是角反射器。角反射器是由三块相互垂直的金属平板组成，这些平板可以是三角形、方形或圆直角扇形。但是考虑到摇摆等各种因素，用直角三角形为好。

角反射器的特点是在某些倾斜限度内进入角内的射线将以一个完全相反的反向反射出来，如图 9-8-1 所示。为了增加各方向的反射能力，可以将几个反射器拼成八



图 9-8-1 角反射器的反射特点

面体反射器或五角反射器，如图 9-8-2 所示。

角反射器在海图上的符号，如图 9-8-3 所示。

角反射器的作用是十分明显的，边长为 0.5~1m 的雷达反射器具有相当于 3000~4000t 船舶的反射能力。雷达发现一般浮标的距离为 4~5n mile，但对加装雷达反射器的浮标，发现距离可达 7~10n mile。

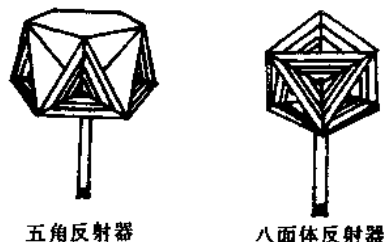


图 9-8-2 两种反射器



图 9-8-3 海图上的角反射器符号

角反射器虽然可设置在浮标上以标示航道，但雷达不能根据其回波进行识别，因其回波易与其它目标的回波相混淆，这是角反射器的缺点。

(二) 雷达应答器 (racon) 雷达应答器 (或称雷康) 是一种被动雷达信标，它在接收到雷达脉冲 (询问) 后，即以最短暂的延时 (约 $0.5\mu\text{s}$) 发回经编码的回波脉冲信号，所以有时也叫“二次雷达”。当雷达接收到编码应答信号后，便在雷达的荧光屏上显示出来，这样，既可以测量它的方位，也可以测量它的距离。如图 9-8-4 所示为雷达应答器信号的图像。所以雷达应答器是一种与船用雷达配合使用的无线电定位设备。

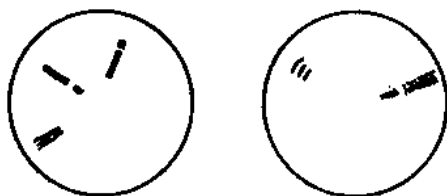


图 9-8-4 雷达应答器的图像

雷达应答器在整个船用雷达波段 (一般是 x 波段) 内接收雷达脉冲，但它发射的频率却是变化的，并缓慢地扫过整个雷达波段，这样，它可以接收所有工作在 x 波段内的雷达脉冲，而它的应答脉冲也可被所有工作在 x 波段的雷达所接收。大多数雷达应答器发射是间断的，工作几分钟，然后停几分钟，因此，在雷达荧光屏上不是每次扫描均能收到雷达应答器信号，要隔一会儿才能收到一次。

一般雷达应答器能被探测到的距离是十几海里以内，若处于一个较好位置的船用雷达可以在 17~30n mile 上探测到一个好的雷达应答器信号。

1. 雷达应答器的作用

(1) 识别目标：如果在航标上加装雷达应答器，它就可以在雷达荧光屏上显示特定的信号标志，如两长划、三长划或两长一短等，从而在荧光屏上清晰地将航标与其它目标区分开来。

(2) 辨认航道：船舶在能见度不良情况下，或在夜间，雷达就很难辨认航道左右两侧红黑色的浮标。如果在红、黑浮标上分别安装两种不同编码的雷达应答器，那就可在雷达荧光屏上显示出不同的标志，以区分红黑两浮标，使船舶在其间正确通过。

(3) 特殊物标的识别，在暗礁、带有危险的船舶、海上油井及航道转向点处设置各种不同的特定信号标志的雷达应答器，供来往船舶识别。雷达应答器信号的形式较多，它的编码方法也不同，常用的是把雷康脉冲变成莫尔斯码，如 A·—，B—···，K—·—等。这样就可区分开各种物标。这些资料可在英版《无线电信号表》第二册中查取。

(4) 不显著岸线上的位置识别：如在不显著特点的岸边设置雷达应答器，即可借以进行定位与导航。

(5) 增大雷达探测距离：据实测，装有雷达应答器浮标，其探测距离可提高 2 倍。

(6) 确定中心渔场，在渔业探捕船安装雷达应答器，当找到中心渔场时，就可供其他渔船辨认、测向、交换信息，迅速地转到中心渔场进行围捕。

(7) 海事救助，在救生圈或救生艇上安装有呼救标志的雷达应答器，当发生海难事故时，它将会自动工作，救助船只要通过雷达就可以在较远的地方准确发现遇难人员。

2. 使用雷达应答器注意事项

(1) 当使用雷达观测雷达应答器信号时, 千万不可同时施加雨雪抑制, 否则容易失去信号的本来面目, 在荧光屏上就看不出点、划等特定的编码信号。

(2) 对于远距离的雷达应答器, 切不可安装在离航道太近的位置, 一般要求离开航道约 0.5n mile。如靠得太近, 将造成雷达荧光屏上杂波干扰, 掩盖了真实目标。

对于雷达应答器来说, 当附近有很多船舶使用它并触发它的时候, 当回答某一船发射的脉冲时, 如果另一些船用雷达天线正好对准该雷达应答器, 这时就会收到该回答脉冲, 但这些信号在荧光屏上所示的距离是各不相同的, 因而容易造成假信号。同时, 如果许多船对一个雷达应答器发射询问信号, 由于其容量有限, 这样, 回波信号与本船的扫描不能同步, 距离等资料也不能显示出来。

(三) **雷达指向标 (ramark)** 雷达指向标是一种主动的雷达信号标志, 它的工作不受雷达控制, 它本身具有发射设备, 并按照规定的时间间隔, 连续不断地发射具有一定频率的信号, 船上雷达接收到这种信号后, 在荧光屏上显示一条径向亮线或一个狭窄 ($1\sim 3^\circ$ 宽度) 扇形的点线或虚线, 以指示指向标的方位。如图 9-8-5 所示。

雷达指向标只能供雷达测量方位, 不能测定距离, 因此在确定船位时, 必须有两个雷达指向标, 从而以两标方位测定船位。

雷达指向标有两种类型: 一种是扫描式的; 一种是固定频率式的。

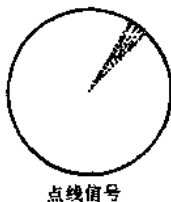
(一) **扫描式指向标** 扫描式指向标的发射频率是变化的, 而且变化范围较大, 它包括整个船用雷达使用频率波段, 以供所有雷达使用。它按照一定间隔发射一次 (如每隔 15s 发射一次)。所以雷达荧光屏上不是每次扫描都能扫到它的信号。这种指向标在日本、英国等海区用得较多。

(二) **固定频率式指向标** 其发射频率在船用雷达工作频率波段以外, 雷达需要另外配备一套接收设备来接收其信号, 再送入显示器显示。这种指向标主要在美洲实验使用。

雷达指向标在海图上的符号如图 9-8-6 所示。

雷达指向标的作用距离一般可达 $20\sim 30$ n mile, 它适用于以下场合:

1. 在海岸线后面广阔范围内的平坦低地上, 在用雷达不能捕捉低地图像时, 可用它作为识别标志。
2. 在岬角、岛屿及其它目标密集地区, 以及海岸线平坦难以分辨的地区, 用作识别标志。



点线信号



虚线信号

图 9-8-5 雷达指向标的影像

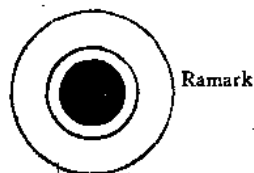


图 9-8-6 海图上的雷达指向标符号

3. 作为港湾、狭水道的引导标志。

二、狭水道导航

(一) **利用明显物标导航** 在接近航门时, 可根据其特点在进口附近选择一个孤立或较突出的物标, 在海图允许的条件下, 根据航门在该标的左面或右面, 转向把船首显示线置于该标的左面或右面, 向航门进口处驶近, 在接近过程中, 不断注意荧光屏上岸形显影的变化, 随着距离的接近, 岸形显影会逐渐清晰, 对照海图识别航门。

(二) **利用浮标导航** 在狭水道航行时, 雷达在利用浮标引导船舶时, 要逐个识别清楚, 严防遗漏或看错。由于在狭水道中, 船离岸很近, 事先要有充分的准备, 并且要降低船速。在经过浮标时, 尽可能靠近浮标, 以便在较近的距离上用视力辨别浮标, 但当船舶靠近浮标时, 会因进入雷达的盲区以内而回波消失, 对此应加注意。

(三) **利用雷达叠标导航** 在有些狭水道中, 安装了雷达航标, 有的设置成叠标, 船舶利用这些雷达

航标可比较方便、可靠地通过狭水道。利用雷达叠标方法通过狭水道，有距离叠标和方位叠标两种。

1. 雷达距离叠标：如图 9-8-7 所示，M、N 为立标或浮标，其上装有雷达反射器，在雷达荧光屏上用活动距标圈测量叠标回波影像的距离。若船在航道中间航行，回波影像都在图中。如图 9-8-7 (B) 所示。若偏离中央航道，两回波影像的距离不等，使一回波影像在距离圈内，如图 9-8-7 (A) (C) 所示，说明船舶已向该回波影像偏离，船应向另一方向修正，直到两回波影像都与距标相切，使船舶保持在中央航道航行。

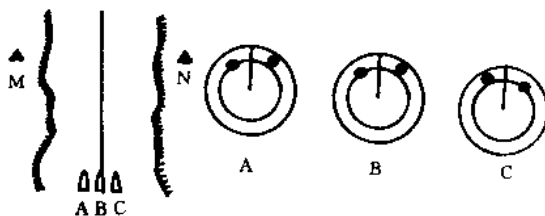


图 9-8-7 雷达距离叠标的使用方法

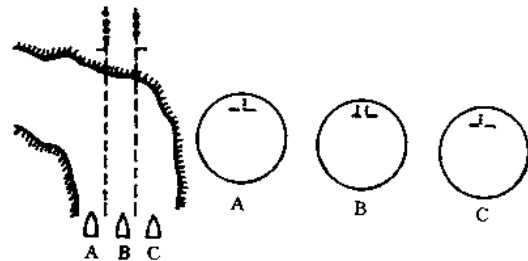


图 9-8-8 雷达方位叠标的使用方法

2. 雷达方位叠标：如图 9-8-8 所示，为一组雷达方位叠标。叠标是由相隔一定距离并装有雷达反射器的两列标志组成。当船在中央航道航行时，如图 9-8-8 (B) 所示，雷达荧光屏上显示叠标完整的影像。当船偏向航道左侧时，左列叠标后面的影像被遮蔽，如图 9-8-8 (A) 所示。偏向航道右侧时，右列叠标后面的影像被遮蔽，如图 9-8-8 (C) 所示。这时应改变航向，使荧光屏上保持图 B 的影像，即船舶始终处于航道中央航行。

三、港口雷达导航

目前已有许多港口为保证在能见度不良的情况下，船舶正常进出港口和靠离码头，设置了专用船舶导航用的港口雷达。港口雷达比船用雷达具有更高的技术性能（其距离分辨率可达 15m 左右；方位分辨率可达 0.5° ），一般都有几个荧光屏，其天线安设在适当的位置上，使几个荧光屏能以不同的比例显示港口全貌的影像。若狭水道很长，可由几部雷达构成港口雷达站，每一部雷达的作用范围，都包括相邻雷达的一部分工作区域，以保证能够连续导航。港口雷达一般可同时引导几条船，它们之间用无线电话联系，船上采用携带式雷达识别机，使港口雷达能在其荧光屏上对为导航船舶所识别。

港口雷达导航的基本方法就是向被引导船舶通告船位、船舶航行中相对于助航标志、航道边缘和航道轴线的位置关系，以及预先通知有关相遇船和前方障碍物的情况等。船上航海人员根据港口雷达所提供的资料自行确定航行措施，港口雷达导航员对被导航的船舶航行安全不负直接责任。

另外，也有少数港口采用雷达站通过无线电传送相应口令的方法，直接操纵被导航船舶，以期更有效地发挥港口雷达的导航作用。

有些港口已经开始将具有很高技术性能的港口雷达同电视发送设备结合起来使用。电视发送设备将港口雷达荧光屏上的影像转发到船上，重现在电视接收机的荧光屏上。在这种情况下，不必借助于港口雷达导航员的帮助，航海人员自己就可以从电视机荧光屏上观察到本船的运动情况。

四、雷达避险

沿岸航行中，为了避开航路附近的浅滩、险礁以及其它危险区域而能安全航行，常用航路附近显著目标的特定位置线将危险水域和安全水域区分开来，只要观测该目标就能很方便地了解本船是否在安全一侧，有此作用的位置线称为避险线（clearing line）。

现将几种常用的避险方法介绍如下：

(一) 距离避险线 当避险物标和障碍物的连线与航向线近于直角相交时，为了避开航线正前方向上的障碍物，应用距离避险线最为有利。

如图 9-8-9 所示,当船舶在比较平坦的海岸线航行时,根据海图求得本船与海岸的避险距离,并以此距离在荧光屏上设置活动距标。图中虚线为雷达的距离避险线,只要船舶在航行中保持与避险物标(这里为海岸线)的距离大于危险距离,即为安全地避开障碍物。

(二)方位避险线 当避险物标与障碍物的连线与航线近于平行时,为了避开航线前后方向上的障碍物,应用方位避险线较为有利,如图 9-8-10 所示。

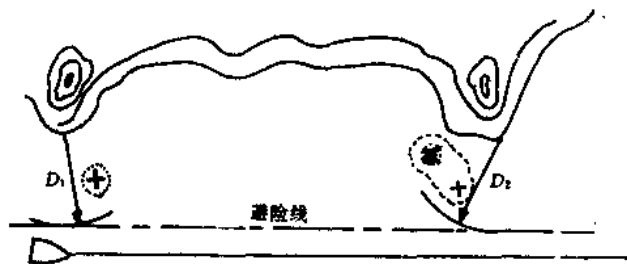


图 9-8-9 距离避险线

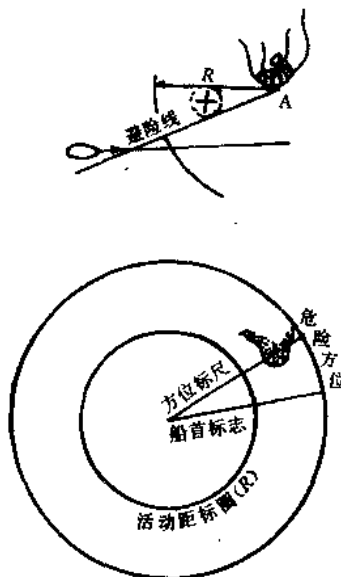


图 9-8-10 方位避险线

首先在海图上求得物标的危险方位,然后将显示器上的方位标尺置于该方位上。航行中应将船首标志始终操纵在避险方位线所指的安全一侧,且与避险物标的距离大于危险距离,即可安全地避开障碍物。实际操作中可将活动距标置于距离避险线上,以便观测与避险物标的距离。

(三)平行方位标尺(parallel index)避险 在方位标尺盘上,按一定间隔刻有与基线平行的直线刻度,叫做平行方位标尺。具有平行方位标尺的雷达,则可利用该平行线进行避险。

如图 9-8-11 所示,若想以 d n mile 距离通过前方某岛,先将活动距标置于 d n mile,再转动方位标尺,并相切于平行标线,与该岛的影像相切,这时方位标尺的方位即为危险航向,如果本船的船首标志线在方位标尺方位的安全一侧,并保持船、岛间的距离大于 d n mile,就可安全通过此岛。

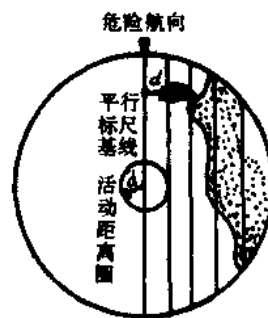


图 9-8-11 平行方位标尺避险

但需要注意的是,在有风流压差的影响时,即使最初保持避险航向航行,而实际的航迹有时还是靠近了物标,所以要不断地注视显示器,发现情况危险时,要及时进行修正,或者根据本船所受的风流压,在显示器上显示为物标的平行方位标尺的偏移,必须推算该偏移情况引起的风流压差的大小,从而修正航向。

第 10 章 罗兰系统

罗兰系统是一种较早建成的中频双曲线导航系统。1942 年正式投入使用,与当时的测向系统相比较,它具有更远的作用距离,所以命名为远程导航系统(Long Range Navigation),并取英文字头命名为 LORAN(罗兰),是属脉冲双曲线导航系统。目前航海上使用的罗兰系统有罗兰 A、罗兰 C 两种。罗兰 A 一般由一个主台与两个副台组成两个台对,导航台发射 1750~1950kHz 的脉冲波,船上用接收机测量台对信号的时差进行定位。白天,地波作用距离达 700n mile;夜间,天波作用距离可达 1400n mile;不受天气的影响,操作简单,其精度能满足一般航海的要求。目前罗兰 A 是我国沿海渔船普遍使用的一种导航系统。

罗兰 C 是 60 年代后期发展起来的一种远程导航系统,它比罗兰 A 定位精度高,作用距离远,自动化程度高,因而逐渐替代罗兰 A 系统。

第 1 节 罗兰 A 系统工作原理

一、位置线——时差双曲线

(一) 双曲线船位线 从解析几何原理中可知,距两定点的距离差为一定值的点的轨迹,是以该两点为焦点的两条对称的双曲线。

在图 10-1-1 中 M 、 S 两点代表岸上两个导航台; M 点是主台(master station), S 点是副台(slave station), P 是船的位置。设 P 点到 M 和 S 两点的距离分别为 D_M 和 D_S , P 点到 M 和 S 两点的距离差为 ΔD 。设 $\Delta D = D_S - D_M$,则 ΔD 有正负,即 P 点靠近 M 时, $D_S > D_M$, ΔD 为正; P 点靠近 S 时, ΔD 为负。

导航台 M 和 S 两点的连线,称为基线(baseline)。基线的垂直平分线,称为中线(centerline)。中线上各点到 M 、 S 两点间的距离相等,所以距离 $\Delta D = 0$,中线是一条特殊的双曲线。基线两侧的延长线,称为基线延长线(baseline extension)。这也是特殊的双曲线,在基线延长线上的各点到 M 、 S 两点的距离差值最大,其绝对值等于基线的长度。

如图,如果船上罗兰 A 接收机测得 M 台、 S 台的距离差为 60 km,那么船必定在双曲线 $b'b'$ 上,这条双曲线就确定了距离差船位线。

(二) 以时间差表示距离差 由于无线电波的传播速度是一个恒定值,在罗兰 A 系统中,为了方便起见,用时差代替距离差。电波速度以 μs 为单位,即电波的速度为 $300 \text{ m}/\mu\text{s}$,如果船上用罗兰 A 接收机测量出分别从主台和副台的信号到达船上的时差,就可以求得船舶到 M 台和 S 台的距离差。例如测得的时差为 $400 \mu\text{s}$,则距离差 $= 400 \mu\text{s} \times 300 \text{ m}/\mu\text{s}$,即距离差为 120 km。在实际应用过程中,没有必要把测得的时差换成距离差,因为罗兰海图已是经过换算直接用时差标注,所以只要测得时差,即可直接在罗兰海图上找到船位线。

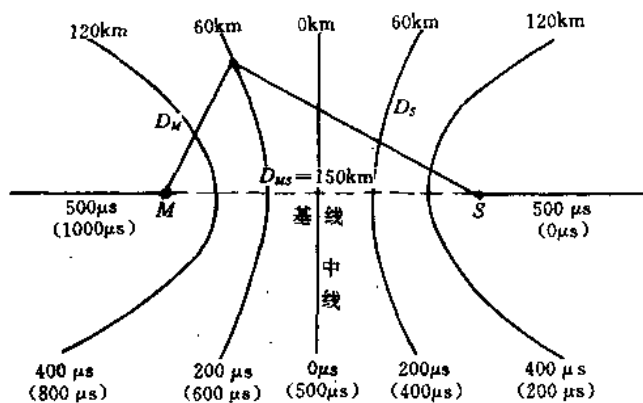


图 10-1-1 用时差标注罗兰位置线

二、双值性问题的解决

从脉冲测距差原理中知道,测量两个发射台发射的脉冲到达的时差,须同时以中线为对称轴的两侧

存在对应同一时差值的两条双曲线。为了避免这种双值性，实际上采用导航台不同时发射信号的办法，即由主台发射信号触发副台，副台再发射信号，这样副台的发射就比主台延迟一段时间。

副台在接收主台发射的脉冲信号以后，再加一定的延迟，才发射相同的脉冲信号，副台相对主台发射脉冲的时间，包括以下三个部分，如图 10-1-2。

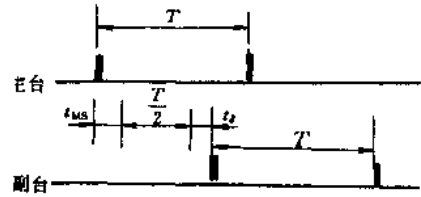


图 10-1-2 副台延时图

1. 基线延迟 t_{MS} 。主台脉冲信号沿基线传播到副台所需的时间。如图 10-1-1，设基线长为 150 km，则传播时间为 $500 \mu s$ 。

2. 工作延迟 $\frac{T}{2}$ 。副台在接收到主台脉冲后，再延迟 $\frac{T}{2}$ 时间。 T 是该台对发射脉冲的重复周期。

3. 编码延迟 t_b ，也叫保密延迟。

假设 t_0 时主台发射信号，经 t_M 时间传播到船上，副台则经过 $t_{MS} + \frac{T}{2} + t_b$ 延迟才发射信号，并又经 t_S 时间到达船上。因此信号从 t_0 时算起，要经过 $t_{MS} + \frac{T}{2} + t_b + t_S$ 时间才能到达船上，这样测者接收主、副信号的时差 Δt ，可用下式表示：

$$\Delta t = (t_{MS} + \frac{T}{2} + t_b + t_S) - t_{MS} \quad (10.1)$$

本来中线距主、副台距离相等，若两台同时发射信号，则 $\Delta t = 0$ 。由于经过了副台延迟发射的安排后，在中线上测者收到主、副台信号到达的时差不为 0，而等于 $t_{MS} + \frac{T}{2} + t_b$ ，而在副台基线延长线上，时差值最小，为 $\frac{T}{2} + t_b$ ；在主台基线延长线上时，时差值最大，为 $2t_{MS} + \frac{T}{2} + t_b$ 。这样自副台到主台，时差值依次由小到大，从而消除了双值性。

至于半个脉冲重复周期 $\frac{T}{2}$ 的存在，完全是为了识别主、副台脉冲信号，而在接收机的时差计数器读数中和罗兰海图、罗兰表中都没有包括 $\frac{T}{2}$ 在内。对此将在以后的章节中详述。

三、发射信号和台对识别

利用罗兰 A 定位，必须获得两个以上相交的罗兰 A 船位线，这样就须同时测得几个台组的时差。

为满足这样的要求必须建立两组主台和副台，一般是建立一个主台带二个副台，共用三个罗兰发射台组成两个台组工作。发射台设置在岸上，两个发射台组成一个台对，一个为主台，一个为副台，每个台对用相同的频率和相同的脉冲重复周期发射脉冲信号。脉冲的包络呈钟形。

为了识别各导航台的台对，采用不同的射频频率和不同的脉冲重复周期。

1. 射频频率的划分 国际上规定，可用四个频率，用数字代表

- “1” —— 射频频率为 1950 kHz；
- “2” —— 射频频率为 1850 kHz；
- “3” —— 射频频率为 1990 kHz；
- “4” —— 射频频率为 1750 kHz。

2. 脉冲重复周期 T 的划分 每个导航台发射脉冲的间隔时间，称为脉冲重复周期，用 T 表示。每分钟发射脉冲的次数，称为脉冲重复频率，用 F 表示。

脉冲重复周期用两个字符表示。第一个字符用字母 S、L、H，表示基本重复周期，第二个字符用 0~7 数字表示，称为特殊重复周期。这样可供使用的有 24 个重复周期，如表 10-1。

根据以上规定，每个台对都用三个字符表示，如 1L0、1L1，这样用射频频率、基本重复周期、特殊重复周期来确定是哪一个台对。测定一个台对的时差，只能得到一条罗兰位置线，还不能定出船位。为

表 10-1 罗兰脉冲重复周期

特殊值	S		L		H	
	重复频率 F (Hz)	重复周期 T (μ s)	重复频率 F (Hz)	重复周期 T (μ s)	重复频率 F (Hz)	重复周期 T (μ s)
0	20	50000	25	40000	33 3/9	30000
1	20 1/25	49900	25 1/16	39900	33 4/9	29900
2	20 2/25	49800	25 2/16	39800	33 5/9	29800
3	20 3/25	49700	25 3/16	39700	33 6/9	29700
4	20 4/25	49600	25 4/16	39600	33 7/9	29600
5	20 5/25	49500	25 5/16	39500	33 8/9	29500
6	20 6/25	49400	25 6/16	39400	34	29400
7	20 7/25	49300	25 7/16	39300	34 1/9	29300

了确定船位，在一个区域内至少要有两个台对组成的一个台链，每个台链都采用相同的射频频率和相同的基本重复周期，而用不同的特殊重复周期来区别台链中的各台对。例如在我国的渤海湾和黄海沿岸用：1L0、1L1 和 1L4、1L5 等。

罗兰 A 主台和副台的识别

为了便于识别主、副台，并保证各发射台的脉冲信号不致于相互干扰和重迭，如前所述在罗兰 A 系统中，主、副台的发射总是主台首先发射脉冲信号，经过 t_{MS} 时间间隔到达副台，副台收到主台信号后又经过固定的工作编码延迟 t_a 和 $\frac{T}{2}$ ，才发射脉冲信号。为此副台总的延时为 $t_{MS} + t_a + \frac{T}{2}$ ，如图 10-1-

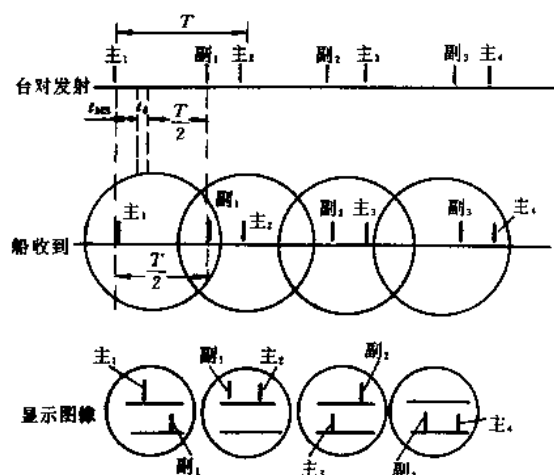


图 10-1-3 主、副台脉冲信号间的时间关系

3, 罗兰 A 接收机，在“慢扫”时，荧光屏上有上下两条扫描线，组成一个重复周期；由于副台总的延时大于 $\frac{T}{2}$ ，因而接收机收到同一台对的主、副台信号，其中主台信号在上扫描线上，副台信号则一定在下扫描线上，而且在主台信号的右下方。如前所述，副台延时中的 $\frac{T}{2}$ ，就是为了识别主、副台信号而设置的，而在测量计数中 $\frac{T}{2}$ 未包括在内。

第 2 节 罗兰 A 接收机及其操作

一、罗兰 A 接收机的基本组成

1. 天线与天线耦合器 罗兰 A 接收机的天线是鞭状天线，用来接收发射台发射的脉冲信号。天线耦合器是用来使接收的脉冲信号处在最佳状态，天线耦合器内部有感应线圈，旋动粗调和细调两个旋钮收到信号的幅值最强。

2. 接收机指示器 主要由接收、控制、分频、显示等部分组成。其中显示部分有时差计数器，在接收机的面板上有电源开关和其它旋钮。

3. 变流机 其作用是将船电转换成本机所需要的 110V/220 50Hz 的交流电。

二、测定时差的方法

(一) 时差测量原理 罗兰 A 定位仪测量时差的原理, 是以扫描线作为时间基线, 以主台座前沿作为计时零点, 以与计数器系统同步的副台座前沿作为游标, 测取主、副台信号在扫描线上的间隔时间, 从而求得主、副台信号的时差值, 如图 10-2-1 所示。图中 M 是主台信号在主台座的前沿, S 是副台信号在副台座的前沿, ΔT 是主、副台座前沿之间的距离, 测量时只要测出主、副台前沿在扫描线上的间隔 (副台延时 $\frac{T}{2}$ 自动消除), 即为主、副台信号的时差。

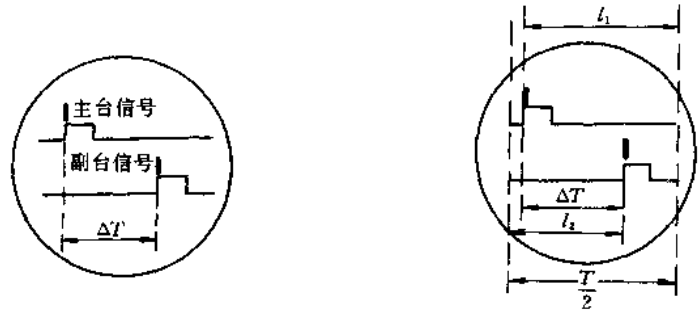


图 10-2-1 主、副台时差

(二) 测量时差的方法

1. 选台: 根据船舶所在的位置将接收机面板上电台选择旋钮转到所需的射频频率“1”“2”“3”或“4”; 将需要的“基本重复周期”和“特殊重复周期”旋钮旋到需要的位置上。

2. 慢扫: 将“工作”开关放在“1”的位置上, 荧光屏上会显示带有主、副台座的上下两条扫描线, 如图 10-2-2 (a), 识别稳定主、副台信号后, 扳动信号移动旋钮, 使主台信号上主台座的左边沿; 再移动“副台座移动”旋钮, 使副台座移动到副台信号在副台座的左边沿, 此时计数器显示的时差数, 即为粗测的时差。

3. 中扫: 将“工作”开关旋到“2”的位置上, 扫描的速度加快, 为 $1500\mu\text{s}$ 。此时在荧光屏上的上下两条扫描线如图 10-2-2 (b) 所示。扳动副台座移动旋钮, 使上下扫描线的两个“钟”形波对齐, 即完成了中扫任务。

4. 快速扫描: 将“工作”开关旋到“3”的位置上, 此时扫描速度加快, 使两条扫描线变成一条, 而扫描线上的主台、副台信号的“钟”波在同一条扫描线上, 此时拨动“副台座移动”微调旋钮使两个“钟”形波前沿重合, 即完成了精测任务, 如图 10-2-2 (c)。计数器上的时差值就是所求的对应当时船位的观测时差值。至此即完成了一条船位线的测量, 重复上述的步骤, 再测第二条船位线, 即可标定出船位。

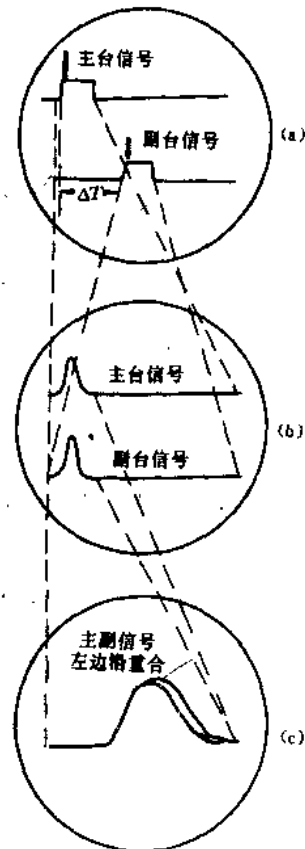


图 10-2-2 时差测定

第 3 节 罗兰 A 定位

一、利用罗兰 A 海图定位

当测得罗兰 A 两对台组的时差后，即可在罗兰 A 海图上找到相应台对的两条位置线，其交点即为罗兰 A 船位。

罗兰 A 海图是将罗兰 A 时差双曲线加印在墨卡托海图上。在图上分别用绿、黄、紫、兰等不同颜色表示不同罗兰台对的双曲线位置线。在各条位置线上标有对应于罗兰台对的识别符号和时差值。此位置线时差值都是等时差间隔的，一般为 20 或 40 μs ，一张罗兰 A 海图上至少应画出两个以上台对罗兰位置线。如果所测得的时差在图上不能直接得到相应的时差双曲线，这就需要通过内插的方法求得与所测得的时差值相应的罗兰 A 位置线。

内插法有两种：

1. 用等分刻度尺内插。例如测得发射台 2H5 的时差为 2046 μs ，但在罗兰 A 图上只绘有 2040 μs 和 2060 μs 的时差位置线，而要求得 2046 μs 的时差位置线，先在推算船位附近找到 2H5 的 2040 μs 和 2060 μs 两条时差位置线，其间隔为 20 μs ，用等分刻度尺的刻度 0 对准较小的时差数 (2040) 的时差位置线上，而刻度 20 处对准较大读数 2060 μs 时差位置线上，在刻度 6 (2046) 处得出一一点 A，通过 A 点在推算船位附近画与 2040 μs 和 2060 μs 相平行的一小段直线。这条直线就是时差为 2046 μs 的罗兰位置线。如图 10-2-3

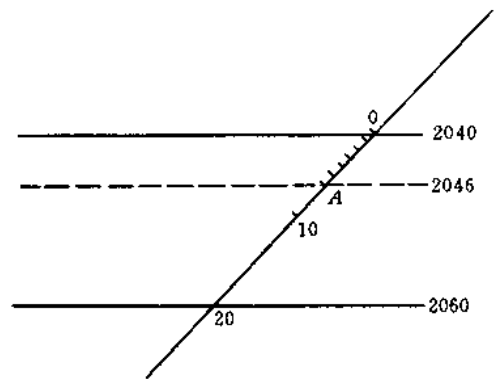


图 10-2-3 等分刻度尺内插法

2. 用内插尺 (不等分刻度尺) 内插法 在罗兰 A 海图上均附有内插尺，现以测得 1L4-5346 为例，用法如下：在推算船位附近，过 5320、5360 两双曲线，作一垂直线交两双曲线于 A、B 两点，用分规量取 AB 的长度，在内插上平行移动，待 AB 长正等于 0~40 μs 的某纵线的长度时，此线用于比例度量。设纵线与上边线交点为 A'，相当于 5320；与下边线交点为 B'，相当于 5360；再按比例在此纵线上找到一点 C'，即相当于 5346，如图量取 B'C' 并移至 AB 线上，由 B 点截得 C 点，过 C 点作该两双曲线的近似平行线即为所求。

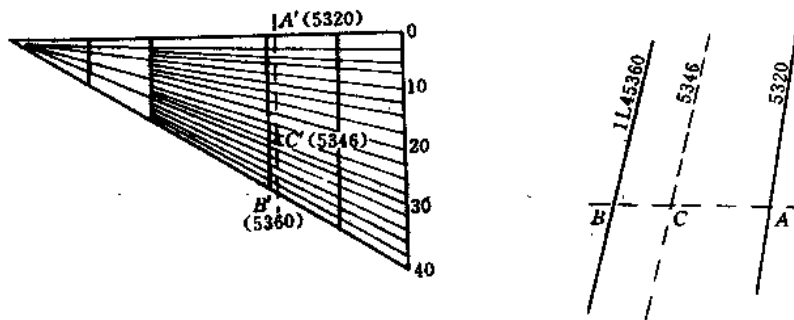


图 10-2-4 不等分刻度尺内插法

二、利用“无线电导航表”定位

利用“无线电导航表”，可以直接在航用海图上标绘船位，其精度比用罗兰海图定位高。罗兰表一般是以每一对发射台建立一册，其格式如表 10-2：

表 10-2 罗兰位置线表 (1L5 台对)

时 差	5370			5380			5390			时 差
	东 经	东 经	差 值 Δ	东 经	东 经	差 值 Δ	东 经	东 经	差 值 Δ	
34 00	121 18.7		-15	121 17.2		-15	121 15.8		-15	
34 15	121 26.9		17	121 25.3		16	121 23.7		17	
34 30	121 33.8		18	121 32.0		19	121 30.1		19	

表的使用方法:

1. 根据台对名称、所测的时差值和推算船位的经纬度, 找到该台对的表册, 根据时差值翻到表中需要的页数。
2. 以所测的时差值和推算船位相邻的两个纬度 (或经度) 为引数, 从表上可查得相应的两个经度 (或纬度);
3. 根据所求得的经纬度可在航行图上标出两个点的位置, 连接这两个点的线就是对应所测时差值的船位线。
4. 当所测得的时差值与表中作为引数的时差数值不完全相同时, 则用表中的差值 “Δ” 进行内插计算。这个差值 “Δ” 的含义是, 时差每增加 100μs 时所引起的经纬度的变化量, 以 “分” 为单位。例如 Δ = -15 引起经、纬度的变化量为: $\frac{-15}{100} = -0.15$, 查得 “Δ” 后, 即可内插计算, 将测得的时差值减去表中所列的时差值, 再乘以 Δ% 即可求得经 (纬) 度的改正量。

$$\lambda = \lambda_{表} + (\Delta T_{测} - \Delta T_{表}) \times (\pm \Delta \%)$$

$$\varphi = \varphi_{表} + (\Delta T_{测} - \Delta T_{表}) \times (\pm \Delta \%)$$

用 “无线电导航表” 求出的两条船位线在航用海图上的交点即为所测得的船位。

第 4 节 天地波识别及天波修正

一、天波的产生及其特点

罗兰台发射的无线电信号, 经过不同的路径传播到船上, 如图 10-4-1, 其中沿地面传播的电波叫地波, 经电离层反射到船上的电波叫天波。

地球大气层中不带电的气体分子、原子受太阳辐射分裂为阳离子和电子, 形成若干电离层, 电离层对电磁波有吸收作用以及折射和反射作用。日照愈强, 吸收愈多, 因而白天天波很弱, 主要靠地波传播。白天在海上罗兰 A 传播距离达 700 n mile, 夜间电离层吸收降低, 天波增强, 天波传播距离可达 1400 n mile, 地波作用距离因干扰增大而减至 450 n mile。

天波随电离层高度不同和反射的次数不同又分为 E₁、E₂、F₁、F₂ 等波, 从图 10-4-1 中各波传播路线的长短可知: 由于地波传播的距离最短, 最先到达船上, 而后依次为 E₁、E₂、F₁、F₂, 因而在荧光屏上各波也将自左向右依次显示如图 10-4-2。在罗兰 A 系统中只用 E₁ 波, 其他天波可靠性很差, 一般不用来定位。

二、天地波的识别

(一) 根据接收距离不同来判断。白天电离层活动强, 大量吸收电磁波, 所以在距发射台 700 n mile 之内, 接收的是地波信号, 白天几乎不易收到天波。夜间在 450 n mile 内是地波, 450 n mile 以上, 最大约在 1400 n mile 以内收到的是天波信号。根据上述作用距离, 结合当时的推算船位, 再结合其它因素, 即可区分天、地波信号。

(二) 根据信号波形的稳定程度识别。地波的波形一般是平滑稳定的。由于电离层是经常变化的, 因

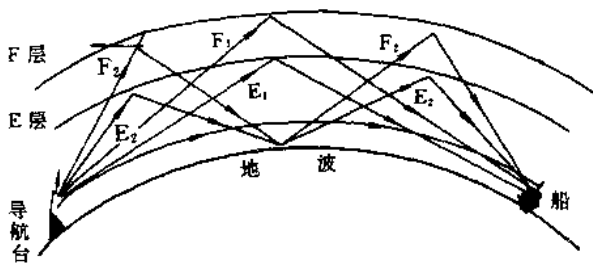


图 10-4-1 电离层对电波的反射



图 10-4-2 天地波的图形

而天波信号就形成不稳定和经常发生周期性变化的信号，即由稳定—波峰分裂—衰减—回升—正常，如图 10-4-3 所示，变化的周期一般很长，有时可达数分钟。

(三) 根据地波、天波到达的时间不同加以识别。由于天波是由电离层反射回来的信号，因而接收机首先接收到的是地波信号，而后才是 E_1 波、 E_2 波。地波与天波 E_1 波的延时间隔约为 $150\mu s$ 左右，由此可识别天波与地波。根据实践，在日出前后，由于电离层的变化较激烈，接收的信号干扰较大，因此一般不在这时测定时差进行定位。



图 10-4-3 天波图形的变化规律

三、天波改正

由于天地波传播路径不同，因此利用罗兰主、副台测得的地波时差和利用罗兰主、副台测得的天波时差是不相等的，而罗兰定位所用的罗兰海图和“无线电导航表”上所标准的时差值是以地波时差值为准的。如果所测的是天波时差值 T_S ，就必须将其改正为地波时差 T_C 再去标定船位。某一导航台天波落后于地波到达接收点的延迟时间，称为天波改正值 ΔS 。天波改正值主要决定于测者至导航台的距离，距导航台愈近，天地波路径差愈大，该值愈大；距导航台愈远，该值愈小。实践证明，当距离 800n mile 以上时该值趋近于一个定值。

按罗兰 A 系统天波改正的计算规则：天波时差 T_S 加上台对的天波改正量 ΔS 等于地波时差 T_C 加上台对的天波改正量 ΔS 等于地波时差 T_C ，即

$$T_C = T_S + \Delta S$$

或 $\Delta S = T_C - T_S$

$$= (t_{C副} - t_{C主}) - (t_{S副} - t_{S主})$$

$$= (t_{C副} - t_{S副}) - (t_{C主} - t_{S主})$$

$$= \Delta S_{副} - \Delta S_{主}$$

式中 $\Delta S_{副}$ 、 $\Delta S_{主}$ 本身都是负值。当 $|\Delta S_{副}| < |\Delta S_{主}|$ ，即主台近、副台远时， ΔS 为正值，反之为负值，参看图 10-4-4。台对的天波改正值 ΔS 已经算好列于罗兰 A 导航图表中，可根据当时的推算船位的经纬度查找。

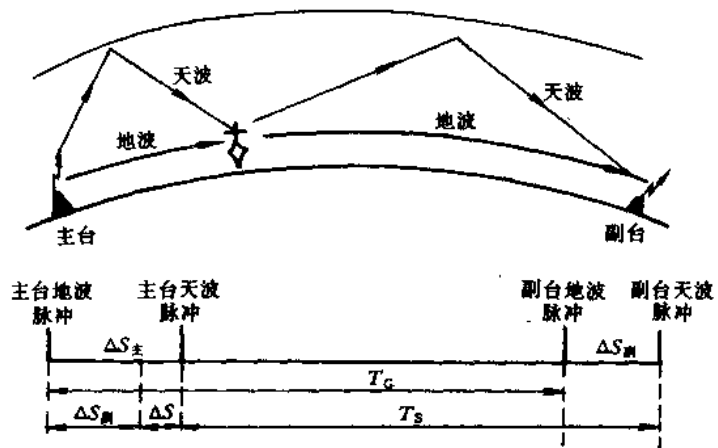


图 10-4-4 天波修正量

第 5 节 罗兰 A 系统定位精度

罗兰 A 系统的定位精度主要取决罗兰 A 位置线的精度，而罗兰 A 位置线的精度主要与测定时差的

准确性，罗兰 A 海图和表册的计数与作图误差，以及船与导航台组的相对位置有关。

一、观测综合均方误差

1. 发射台的时间同步误差。在一组罗兰台对中，如副台不能以预定的延迟时间发射信号，这时便产生时间同步误差。一般罗兰 A 系统的基线长度为 400 n mile 以内时，其时间同步误差平均在 $2\mu\text{s}$ 以内。若超过该值，导航台就要发出故障信号。

2. 接收机的零位剩余误差及测者观测时差的误差。一般可以认为零位误差可以正确消除，而当测时差时，主、副台脉冲信号前沿的重合与测定时差值会因每个测者而定。

3. 天波修正误差。罗兰海图和罗兰 A 导航表中的天波改正量是根据天波的平均延迟曲线求得的。电离层距地而的高度经常变化，使天波改正量与实际情况不一致，可能产生 $5\sim 20\mu\text{s}$ 的误差。使用罗兰 A 天波测定时差时，有 90% 的误差小于 $\pm 5\mu\text{s}$ ，有 50% 的误差小于 $\pm 2\mu\text{s}$ ，一般平均误差 $3\sim 5\mu\text{s}$ 。由于以上各种原因产生的误差均影响定位的精度。总的可以认为对于零位误差已经正确地消除，在主要工作区内，观测综合均方误差 $\sigma_{\Delta D} = 2\sim 3\mu\text{s}$

二、距离差位置线均方误差

已知距离差位置线均方误差表达式为：

$$E = \frac{\sigma_{\Delta D}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

式中 α 为台对夹角， $\sigma_{\Delta D}$ 以 μs 为单位。如化为长度单位，按 $1\mu\text{s}$ 相当于 $300\text{m} \approx 1.6\text{cab}$ 。

换算得：

$$E_{\Delta D} (\text{cab}) = \frac{0.8 \sigma_{\Delta D} (\mu\text{s})}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

由上式可见， $E_{\Delta D}$ 与 σ 成正比，与 $\sin \frac{\alpha}{2}$ 成反比。当 $\alpha = 180^\circ$ ，即船位在台对基线上时， $E_{\Delta D}$ 最小；当 $\alpha \rightarrow 0^\circ$ ，即船位线在基线延长线附近时， $E_{\Delta D} \rightarrow \infty$ 。即 α 愈大（最大 180° ）位置线误差愈小。

三、距离差船位均方误差

为了便于分析，可将两位置线看成是相互独立的，则距离差船位均方误差用下式表示：

$$M_{\Delta D} = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{E_{\Delta D_1}^2 + E_{\Delta D_2}^2}$$

式中 θ 为位置线夹角。

位置线梯度理论已经证明：某台对的距离差位置线可用该台对夹角 α 的角平分线表示。如图 10-5-1，当三台成一组，由图中可看出，

$$\theta = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\alpha}$$

为使船位均方误差 $m_{\Delta D}$ 小，应使 $\theta \rightarrow 90^\circ$ 。当三台一组时， $\theta = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2$ ，所以 α_1, α_2 也应接近 90° 为好。但从位置线均方误差 $E_{\Delta D}$ 的角度来考虑， α 又以接近 180° 为好。综合两方面的要求，由数学证明：三台一组构成两位置线时，台对夹角 α 以接近 120° 为最好。当 $\alpha_1 = \alpha_2 = 120^\circ$ 时船位均方误差 $M_{\Delta D}$ 最小。为了便于估计船位误差，按 $E_{\Delta D} (\text{cab}) = \frac{0.8 \sigma_{\Delta D} (\mu\text{s})}{\sin \frac{\alpha}{2}}$ ； $M_{\Delta D} = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{E_{\Delta D_1}^2 + E_{\Delta D_2}^2}$ 计算得以下简表，

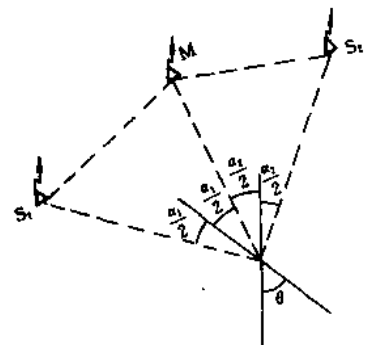


图 10-5-1 台对夹角

使用参考。

表 10-3 $E_{\Delta D}$ 和 $M_{\Delta D}$ 值 (三台一组 $\sigma_{\Delta D_1} \approx \sigma_{\Delta D_2} \approx 1 \mu s$ 时)

$\alpha_1 \approx \alpha_2$	180°	150°	120°	90°	60°	40°	30°	20°	10°
$E_{\Delta D}$ (cab)	0.8	0.8	0.9	1.1	1.6	2.3	3.1	4.6	9.2
$M_{\Delta D}$ (cab)	∞	2.3	1.5	1.6	2.6	5.1	8.7	19.0	74.8

当 $\sigma_{\Delta D} \approx 1 \mu s$ 时, 可将求得的 $E_{\Delta D}$ 、 $M_{\Delta D}$ 乘以相应的倍数。

第 6 节 罗兰 C 系统的特点及组成

罗兰 C 是在罗兰 A 基础上发展起来的一种脉冲相位差双曲线无线电导航系统, 罗兰 C 于 1959 年正式投入使用, 现在全世界使用的罗兰 C 台有 40 余个。

一、罗兰 C 的特点

1. 增大了有效的作用距离。该系统所有台均用相同的 100kHz 低频载波, 并且加大发射功率, 加长基线, 采用先进技术, 使地波作用距离增大到 1200n mile, 天波的作用距离可达 2300n mile, 所以罗兰 C 是一种远程高精度的导航系统。

2. 提高了定位精度。该系统是利用脉冲包络重合进行粗测, 用载波相位重合进行精测。测定载波相位差的精度要比测定脉冲时间差高 10 倍, 读数可精确到 0.1 μs 。

3. 容易识别主、副台信号。罗兰 C 主台连续发射 9 个脉冲, 副台连续发射 8 个脉冲, 所以容易识别接收的主、副台信号。

4. 操作简便。该系统由一个主台, 2~4 个副台组成一个台链。在同一台链中, 不仅载波频率相同, 而且脉冲群重复周期亦相同。这样, 所有台的脉冲信号会同时出现在荧光屏上, 选择一个开关, 按顺序就可以测得几条船位线而标定出船位。尤其是全自动罗兰 C 接收机还能直接显示观测船位的经纬度, 并能自动跟踪, 连续定位。

二、系统组成

罗兰 C 系统每个台链均由四个部分组成: 地面发射台、地面监测站、地面控制中心和用户接收机。地面发射台分主台和副台, 其主要功能是按一定的格式发射正确的信号。地面监测站的作用是通过监测主、副台的同步和各台包络周差和功率是否保持在规定的容差范围内。控制中心是调整各台发射机的工作状态, 从而保证系统实现规定的技术性能。控制中心一般不单独建立, 而是与监测站和某个发射台合并在一起建立, 其任务是显示、记录和处理来自监测站监测的某些基线或位置线的时差值。指定台的包络周差、信号幅值以及监测接收机的状态和来自发射台的状态, 并向各地面发射台和监测站发出执行告警和调整工作状态的指令。罗兰 C 导航仪接收机是用来接收信号, 进行定位和导航。现在各国生产的型号种类很多, 但基本功能都是相似的。

第 7 节 罗兰 C 系统工作原理

一、位置线——相位差双曲线

设主台 M 电波经过 t_{\pm} 时间传到船上, 共传播了若干个周波, 相位变化了 φ_{\pm} (φ 可大于 2π)。同理, 副台 S 电波经过 t_{\mp} 时间传到船上, 相位变化了 φ_{\mp} 。如图 10-7-1, 若射频周期用 T_F 表示, 可得:

$$t_{\pm} = \frac{\varphi_{\pm}}{2\pi} \cdot T_F \quad t_{\mp} = \frac{\varphi_{\mp}}{2\pi} \cdot T_F$$

则

$$t_{副} - t_{主} = \frac{\varphi_{副} - \varphi_{主}}{2\pi} \cdot T_F$$

设

$$t_{副} - t_{主} = T \quad \text{即时间差}$$

$$\varphi_{副} - \varphi_{主} = \varphi \quad \text{即相位差}$$

故得

$$T = \varphi \frac{T_F}{2\pi}$$

$$\text{及 } \Delta D = vT = \varphi \frac{\lambda}{2\pi} \quad (\lambda \text{ 为波长})$$

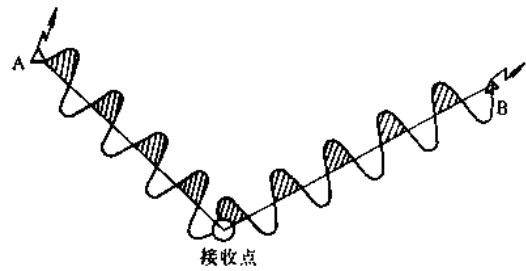


图 10-7-1 相位差

罗兰 C 接收机测得的是主、副台的相位差，但显示出来的仍是时间差。相位差和时间差都可以转换为距离差，因此，相位差位置线也是双曲线。在罗兰 C 台链中各副台都按固定程序依次延迟发射，观测时差与实测时差和罗兰 A 系统相似，也相差 $t_B + \delta_0$ 。但是在接收机和专用图表中已经做了相应的安排，实际使用时无须考虑。

二、罗兰 C 台链的组成及配置

(一) 罗兰 C 台链一般由一个主台和 2~5 个副台组成，但至少要有两个副台。其主台和副台的符号及其配置如图 10-7-2 所示。

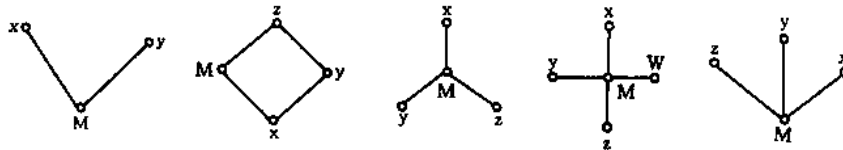


图 10-7-2 罗兰 C 发射台配置图

由三个发射台组成一个台链时，这三个台的顺序是 M、X、Y。由四个发射台组成一个台链时，顺序是 M、X、Y、Z。由五个发射台组成台链的顺序是 M、W、X、Y、Z。根据目前了解的资料，世界有 17 个台链。我国沿海处在 SS₃-9970 及 SH₃-5970 两个台链的覆盖范围之内。

三、罗兰 C 脉冲发射形式与台链的识别

如前所述，罗兰 C 系统在每个重复周期中发射一组脉冲，称为脉冲群。主台脉冲群由 9 个脉冲组成，前 8 个之间间隔为 1000 μ s，第 8 个与第 9 个之间的间隔为 2000 μ s，这样就容易识别主、副台的信号。为了识别主台和各个不同副台，并保证各射台的脉冲信号不致相互重迭和干扰，在罗兰 C 系统中，主、副台信号的发射时间是这样规定的：主台总是首先发射脉冲群信号，经过 t_1 时间间隔后，到达某一副台，副台收到主台信号后，又经过固定的编码延迟 t_2 发射副台脉冲群信号，即副台滞后于主台 ($t_1 + t_2$) 的时间再发射脉冲群信号。如有两个或两个以上副台，则第二个副台应在第一个副台发射完毕后作相应延迟再发射，第三个和第四个副台依次类推。主台在最后一个副台发射完毕后，又重新发射。因此接收机在接收主、副台信号时，总是按该台链中主、副台顺序先后收到，即使船与某一副台近，而远离主台，其按顺序仍不变。

罗兰 C 系统的基本重复频率除了与罗兰 A 相同的 S、L 和 H 外，还增加 SS、SL 和 SH。这三者都等于罗兰 A 中的基本重复频率 S、L 和 H 的 $\frac{1}{2}$ 。特殊重复频率与罗兰 A 一样分为 0~7，分别接在基本重复频率 SS、SL 和 SH、S、L 和 H 之后。罗兰 C 各个台链使用的不同重复周期如下表。

表 10-4 罗兰 C 的重复周期

代号	S	SH	SL	SS
基本重复周期	50000 (μs)	60000 (μs)	80000 (μs)	100000 (μs)
特殊重复周期				
0	50000	60000	80000	100000
1	49900	59900	79900	99900
2	49800	59800	79800	99800
3	49700	59700	79700	99700
4	49600	59600	79600	99600
5	49500	59500	79500	99500
6	49400	59400	79400	99400
7	49300	59300	79300	99300

第 8 节 罗兰 C 接收机及其主要功能

一、罗兰 C 接收机

罗兰 C 接收机是接收罗兰 C 台链发射的各脉冲群信号并测量主、副台信号的包络时差和包络内载频的相位差, 以获得精确的时差读数的接收机。目前罗兰 C 接收机已实现数字化和自动化, 均采用数字电路, 能自动搜索, 自动识别天、地波, 自动跟踪, 连续测定与显示时差及经纬度。

罗兰 C 接收机有多种型号, 早期使用的有 A-C 联机, 如 LR-747, LR-777; 现在多使用的全自动罗兰 C 接收机 TL-888、L-999、LC-90 等, 各种型号的接收机的使用技术与功能都基本相似。

二、全自动罗兰 C 接收机的特性及主要功能

1. 显示船舶的位置。接收机能选择可供使用的全部台链。一般只需 3~5 min, 就能正确地获得信号, 选择台链, 并获得正确的罗兰 C 位置线, 而且以时差或经纬度等两种形式显示当时的船位, 其时差精确到 0.1 μs , 经纬度精确到 ± 0.1 。

2. 接收机内设置 90 个转向点, 同时将每个转向点以经纬度的形式输入, 存储在机内。在计算航程中确定各个转向点, 进行自动导航, 还能编制出较完整的航行计划。

3. 显示平均的航向和航速。根据自动跟踪获得船位点后, 接收机不需输入任何附加数据, 能显示真航向和现在船对地的平均速度。

4. 计算与显示导航数据。当输入所需要的转向点作为目的后, 接收机就会计算出下列各种导航数据:

① 选择点到下一个转向点或目的地的航程

② 到下一个转向点的真方位和磁方位

③ 显示采取的真航向或操舵航向, 航行时间, 以及以当时的平均航速到达下一个转向点或终点应航行的时间。

④ 显示航向偏差, 以便驾驶人员及时进行修正。

⑤ 显示船当时航行的平均速度。

5. 航行报警, 接收机遇到下列情况中的任何一种情况即发出嘟嘟的报警声与闪烁信号, 使驾驶员在听到或看到报警后能及时处。报警的内容有:

① 到达时区报警。当船舶进入预先确定的时区内, 即发出报警。

② 危险距离报警。当船舶进入预定的危险区域内, 接收机报警信号提醒驾驶员迅速转向离开。

- ③ 移位报警。
- ④ 偏移航线报警。当船舶的航线偏差超出预先确定的计划航线时，即发出报警。
- 6. 显示时间。接收机内装有计时器，能显示当时的年、月、日、分、秒以及总的的时间。
- 7. 协调转换。接收机能将时差转换为经纬度或将经纬度转换为时差。
- 8. 进行定位质量分析。接收机会在信号噪声及包络周波偏差中，对接收到的罗兰 C 信号进行分析，并显示分析结果。
- 9. 具有排除干扰和衰减功能。
- 10. 具有对 ASF 附加第二相位因子修正功能。

第 9 节 罗兰 C 定位

一、L-999 型罗兰 C 接收机使用技术

(一) 面板上各功能键的名称及用途 面板各符号如图 10-9-1。

1. WPT: 航线基准点、起点、终点、转向点及计划航线上任意指定的点或编号；
2. TD: 时差；
3. LL: 经、纬度；
4. ※: 辅助键；
5. #: 变动功能和注入键；
6. \odot : 时间显示键；
7. ENT: 注入键；
8. CLR: 改正键；
9. CHG: 转换键；
10. M: 主台、S₁ 副台 1, S₂ 副台 2；
11. MR-: 变号键；
12. 0~9: 数字键；
13. ON/OFF: 开关

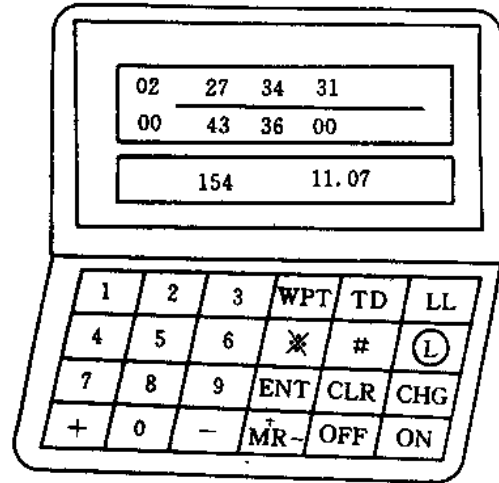


图 10-9-1 罗兰 C 定位仪面板图

(二) 技术操作

1. 开机: 按 ON 键，荧光屏上显示如图 10-9-2，表示各键盘功能正常，可以进行定位或导航

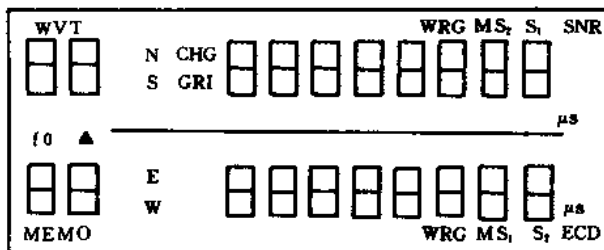


图 10-9-2 键盘功能显示

- WRG: 传送器差错信号；
- SNR: 信噪比
- ECD: 包络周期偏差；
- FO: 振荡偏差；
- GRI: 主台编码；
- WPT: 转向点；

2. 选台 如在我国沿海，选择接近我国的北太平洋链，即 SS₃-9970 台；副台用 x 与 y；副台代码分别为 3, 5。也可用 5970 台，副台选用 x、y；副台代码用 2, 4。

选台时，按 TD、※，接着按：9970ENT35ENT。选好台后，接收机就自动进行搜索台链信号在机内跟踪计算。

3. 显示现在的位置 按 TD，显示器上的时差值将逐渐增大到代表现在船位的时差数据，这段时间

根据信号的质量而定, 约 3~5 min, 当显示器面板 M、S₁、S₂、SNR、ECD 等故障标记消失以后, 再按 LL, 将显示现在的经纬度。

```

WPT  N31°18'.16
O1
▲
OO  E212°32'.53
    
```

4. 航向与航速 当接收机获得合适的台链后, 经过计算, 显示器除显示现在船位外, 不需要注入任何数据, 接收机能连续进行定位, 并在第二幅屏幕上显示现在的航迹向和对地的平均速度。

例如 CRC 285° SPD 9.3kn

CRC 表示现在的航迹向 285°

SPD 表示现在平均船速 9.3kn

5. 日期与时间

按 L 键, 在第一、二屏幕上将显示:

```

WPT
O1  13:17:25
▲
OO  92 02 10
    
```

表示世界协调时是 92 年 2 月 10 日 13h17min25s。如希望改换成当地的标准时间, 可按 #, 用数字键输入当地的时间及年、月、日。接收机内的运行时间装置由一个机内电池供电, 可连续工作 6 年, 对闰年日期会自动调整。

6. 导航 接收机可以输入 0.1~99 个转向点的经纬度数据, 能自动计算各个转向点之间的航程、航向与航行时间。

罗兰 C 导航方式有两种: 一是驾驶员可随时把罗兰 C 所显示的位置存贮在机内, 需要时再调出来, 用于寻找原锚位、物标或渔场等。

另一种形式是将航行计划中各转向点数据通过面板输入, 求得各个航段的有关数据, 根据驾驶员的需要, 这些导航数据可随时调出, 显示在第三屏幕上。

例 1, 已知下列 5 个转向点的位置, 试求各转向点之间的真航向、航程, 并编制航行计划表。

1. $\varphi=29^{\circ}00'N$ $\lambda=120^{\circ}00.00'E$
2. $\varphi=30^{\circ}00.00'N$ $\lambda=121^{\circ}00.00'E$
3. $\varphi=31^{\circ}00.00'N$ $\lambda=119^{\circ}00.00'E$
4. $\varphi=32^{\circ}00.00'N$ $\lambda=122^{\circ}00.00'E$
5. $\varphi=29^{\circ}30.00'N$ $\lambda=123^{\circ}00.00'E$

(1) 实操程序

表 10-5 例 1 操作程序表

1. LL WPT MR 50 ENT		第 1 转向点定为 50 号
2. 290000 ENT		输入 50 号转向点经、纬度
1200000 ENT		
3. LL WPT MR 51 ENT		第 2 转向点定为 51 号
4. 3000000 ENT		输入 51 号转向点的经、纬度
1210000 ENT		
5. LL WPT MR 52 ENT		第 3 个转向点定为 52 号

(续)

6.	310000 1190000	ENT ENT	输入 52 号转向点的经、纬度
7.	LL WPT MR 53 ENT		第 4 个转向点定为 53 号
8.	320000 1220000	ENT ENT	输入 53 号转向点经、纬度
9.	LL WPT MR 54	ENT	第 5 个转向点定为 54 号
10.	293000 1230000	ENT ENT	输入 54 号转向点经、纬度
11.	WPT # 50 51 MR	ENT	指令作 50~51 号转向点的航行计划
12.	WPT.....		表示 50~51 号转向点的航行计划
13.	WPT # 51 52 MR	ENT	指令作 51~52 号转向点的航行计划
14.	WPT.....		显示 51~52 号转向点的真航向与航程
15.	WPT # 52 53 MR	ENT	指令作 52~53 号的航行计划
16.	WPT.....		显示 52~53 号转向点的真航向与航程
17.	WPT # 53 54 MR	ENT	指令 53~54 号的航行计划
18.	WPT.....		显示 53~54 号转向点的真航向与航程
19.	WPT # 50 54 MR	ENT	显示 50~54 号转向点的真航向与航程
20.	LL.....		显示现在的位置~52 号转向点的真方位与航程
21.	WPT MR 52 * LL		显示现在的位置

(2) 编制航行计划表

表 10-6 例 1 航行计划表

编号	转向点位置	真航向	航程
50	$\varphi 29^{\circ}00'N$ $\lambda 120^{\circ}00'E$	041	79.38'
51	$\varphi 20^{\circ}00'N$ $\lambda 121^{\circ}00'E$	301	119.4'
52	$\varphi 31^{\circ}00'N$ $\lambda 119^{\circ}00'E$	068	164.8'
53	$\varphi 32^{\circ}00'N$ $\lambda 122^{\circ}00'E$	161	158.0'
54	$\varphi 29^{\circ}30'N$ $\lambda 123^{\circ}00'E$	—	—

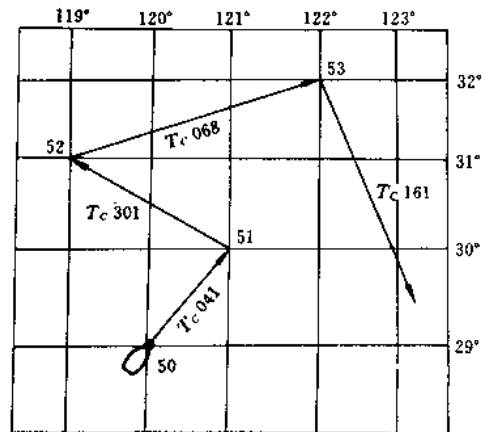


图 10-9-3 航行计划表航向图

例 2 某船在 $\varphi = 31^{\circ}15.30'N$; $\lambda_c = 122^{\circ}56.30'E$ 失控, 你船接到电报后前去施救, 试问从你船用罗兰 C 测定的现在位置到失控船应驶什么罗航向 (罗经差 $5^{\circ}W$), 航程和航行时间为多少?

表 10-7 例 2 实操程序表

1. LL WPT MR 40	ENT	把失控船位置定为 40 号
2. 31 45 30	ENT	输入失控船的纬度
3. 122 56 30	ENT	输入失控船的经度
4. WPT MR 40*LL		把失控船作为目的地
5. WPT #0040	ENT	指令现在船位到失控船
6. LL *# 5	ENT	输入罗经差
7. LL *		显示到失控船的罗方位 ERG 及距离 (航程) DST
8. **		显示到失控船的航行时间 TTG

7. 报警 这个功能对船舶安全航行, 及时转向, 当值锚更或防止进入禁渔区域, 都是有用的。罗兰 C 接收机有三种报警功能:

到达预定区域报警;

走锚报警;

偏离距离报警。

驾驶员根据具体情况预先将接近某基准点的限制距离输入接收机之后, 当船驶近这一预先置入的限制距离时, 即发出报警。

如图 10-9-4, 要求罗兰 C 在渔船 2 号点 0.5n mile 的禁渔区内报警, 只要调动报警功能, 将 2 号点的位置与距离 0.5n mile 数据输入, 当船到达禁渔区边沿时, 接收机即发出报警信号, 直到离开区界边缘时, 才停止报警。

例 1: 已知余山位置 $\varphi=31^{\circ}25.5'N$, $\lambda=122^{\circ}14.4'E$ 要求在离余山 1n mile 的安全距离范围内发出报警。

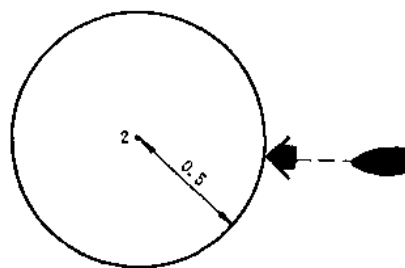


图 10-9-4 报警距离

表 10-8 安全距离报警实操程序表

1. LL WPT MR 10	ENT	把余山当作 10 号转向点
31 25 50	ENT	输入其位置点的经、纬度
122 14 40	ENT	
WPT MR 10*LL		
WPT # 0010	ENT	把现在位置作为 00 号 00 号→10 号
WPT		检验余山位置
WPT #		检验现在船位
5. LL *#.....		显示航向 CRS, 航速 SPD
7. LL *ENT 100	ENT	输入报警范围 1n mile

例 2, 某船抛锚, 为防止走锚, 要求罗兰 C 所显示位置在 0.1n mile 的范围内, 如果出现走锚即发出报警。

表 10-9 走锚报警实操程序表

1. LL WPT MR 30*MR		把现在位置编号为 30, 当作目的地贮存
2. LL *#	ENT	显示 SPD 并闪动
3. 0.1	ENT	输入 0.1n mile 范围内

当值锚更人员听到报警后, 报告船长采取措施。

8. 信号质量 罗兰 C 接收机收到信号后可进行质量分析, 根据分析的结果来决定信号情况是否良好, 进而判断船位是否可靠。

信号质量的好坏主要从信噪比 (SNR), 包络周期偏差 (ECD) 及振荡偏差 (f_0) 来决定。每个台链的 SNR、ECD 及 f_0 可通过按键 JD※、※、※, 进行数字显示如:

	WRG	M	S ₁	S ₂	SNS
f_0		95	96	85	
		30	52	42	
48	WRG	M	S ₁	S ₂	ECD

显示框中, 内容是信噪比 SNR: 主台 M=95、副台1=96、副台2=85; 包络周期偏差 ECD: 主台 M=30、副台1=52、副台2=42; 台链的振荡偏差 $f_0=48$ 。各因素数据对信号质量好坏的评估指标可见下表:

表 10-10 信号质量评估指标

	SNR	ECD	f_0
信号质量好	70~90	01~50	48左右
信号质量一般	40~69	50~98	(48±20) 范围
信号读数差 (慎用)	10~30	99	<28或>68
信号质量坏 (无法使用)	00~09	00	; ;

9. ASF 附加第二相因子修正 在实际应用过程中, 如果已获得正确的位置, 可以利用罗兰 C 内贮存的转换功能, 求得该海区的 ASF 修正值。

例: 某船用卫星定位, 测得该时间的船位 $\varphi=31^{\circ}18.55'N$ $\lambda_c=121^{\circ}31.76'E$, 同时用罗兰 C 测得 GR1 9970 时差: $S_1=37569.5 \mu s$ 、 $S_2=55315.7 \mu s$, 用相对比较法求该地区 ASF 误差修正量。

表 10-11 求 ASF 修正量的操作程序

1. CHG #		打开转换功能
2. MR		选台 9970
3. CHG		转换复原
4. ※ 311855	ENT	输入纬度
5. 1213176	ENT	输入经度
6. ※		屏幕显示时差 37566.9 μs 53314.9 μs
7. 计算 ASF 修正量		
$S_1=37569.5-37566.9=\pm 2.6 \mu s$		
$S_2=55315.7-55314.9=\pm 0.8 \mu s$		
8. TD ※※※		打开机内 ASF 修正功能
9. 26	ENT	输入 S ₁ 台 ASF 修正量 (贮存)
08	ENT	贮存 S ₂ 台 ASF 修正量

附录: L-990型罗兰C 程序记忆汇编表

程 序 代 码	显 示 意 义
LL	经纬度
LL *	转向点方位与距离
LL **	经过时间与偏离距离
LL ***	航迹向与实际航速
LL * #	真航向改罗航向
LL # ENT	安全距离报警
LL * # ENT	移锚或偏离中心渔场范围报警
LL * * # ENT	偏离计划航线距离报警
LL ⁺ MR 3 ENT	现在船位点, 代号03贮存
LL ⁺ MR ENT	从代号03, 开始逐1递增
LL WPT 10 NET	输入代号为10的转向点位置
LL #ENT 0 ENT	报警功能截止
LL * # 0 ENT	回到原航向
TD	时差
TD * ENT	选择主副台座
TD **	信号质量检查
TD ***	ASF 时差修正量
TD ****	ASF 经纬度修正量
TD *** 0 OFF	消除 ASF 修正量
TD S ₁ —	S ₁ 时差减10 μ s
TD S ₂ ⁺ MR ⁺ MR	S ₂ 时差加20 μ s
L	日期和时间
L #	改变日期、时间
L **	航行经过时间
L ⁺ MR 88 # OFF	消除输入程序
—	向右移动, 变南纬, 西经, 东罗经差重复按, CKI 递增出现
⁺ MR	向左移动变北纬, 东经, 西罗经差重复按, CKI 递增出现
⁺ MR #	时差—经纬度转换
CHG #	闪动可注入、脱机, 希望转换 GRI
WPT	转向点编号
WPT #—	还原现在位置
WPT ⁺ MR 4	召回4号转向点位置
WPT ⁺ MR 1 # ⁺ RM 1 # ⁺ MR	返回原锚地位置
WPT ⁺ MR 4 * LL	4号转向点被指定为目的地
WPT # 0 0 0 4 ENT	现在位置到4号目的地。

第 11 章 卫星导航

卫星导航是近20年来迅速发展的一项新技术。首先由美国海军研究建立起海军导航卫星系统(NNSS; navy navigation satellite system), 简称 NAVSAT, 通常称为“子午仪”(Transit)系统, 于1964年进入使用阶段, 1967年向民用开放。

卫星导航系统具有全球性、全天候、定位精度高和自动化程度高等优点, 但不能连续定位和随时定位。目前又发展了全球定位系统(GPS; Global Positioning System), 又称“导航星”(NAVSTAR)系统, 1992年投入使用。

第 1 节 子午仪卫星导航系统

一、子午仪卫星导航系统的特点

1. 卫星导航具有全球性、全天候性和定位准确、自动化程度高、体积小、使用方便等优点。
2. 能综合利用, 把通信、导航、交通管制、气象服务、海难救助等综合于一个卫星完成。
3. 适用于大洋航行, 制订航路和进行航路设计, 为保障船舶安全航行和掌握中心渔场起着积极作用。
4. 能自动地显示船位、时间、航向、流向、航速、流速、预定转向点。
5. 当船舶偏离计划航线或接近危险物时, 能自动发示警报。
6. 存在着不能连续定位的缺点。定位间隔在赤道地区可长达十几小时得不到卫星船位, 在中纬度地区一般需间隔1~2 h, 长的要达3~4 h。

二、子午仪卫星导航系统的组成

子午仪卫星导航系统由导航卫星、地面站组、用户设备三部分组成, 如图11-1-1所示。

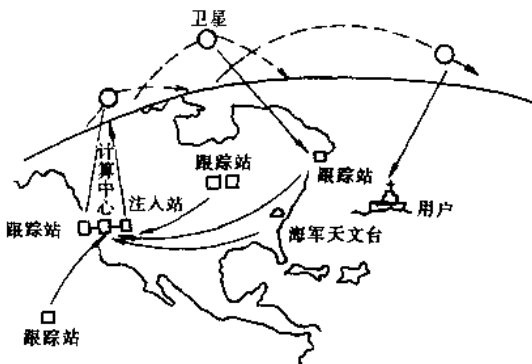


图 11-1-1 子午仪卫星导航系统的组成

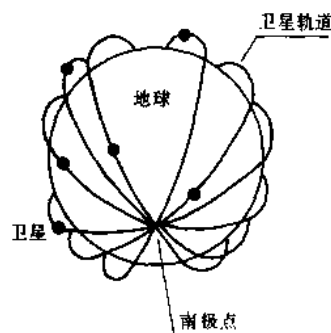


图 11-1-2 卫星轨道

1. 导航卫星 卫星的轨道为离地面约1100km的圆形极轨, 每条轨道上设有1颗卫星。卫星绕地球运行的轨道面和地球赤道间的交角约 90° , 基本上通过地球南北极, 如图11-1-2所示。卫星绕地球一周约需107 min。目前共有5颗卫星还在运转。

卫星内部装有接收机、存储器及高频定向的发射机。用以接收地面注入站发送的精确的卫星轨道参数信息, 并进行译码和存储信息; 同时连续不断地在世界时偶数分钟开始时刻(即0, 2 min……的开始时刻)用399.968 MHz和149.988 MHz两种频率发射一组长两分钟的由地面注入站发送给它的卫星轨道参数电文, 供用户接收到信号后作确定船位用。

2. 地面站组 子午仪卫星导航系统的地面站设施有四个部分组成。

(1) 跟踪站：有四个跟踪站。当卫星出现在跟踪站视界内时，接收卫星发射的信号，测量其多普勒频移，并将数据送到计算中心。

(2) 计算中心：根据跟踪站送来的数据，计算出每颗卫星未来16 h内世界时两分钟的精确轨道参数，并以美国海军天文台送来的标准时间为准，算出每个卫星的时间信号修正值，然后以一定的格式编码送入注入站。

(3) 注入站：将计算中心送来的卫星未来16h的轨道参数及时间信号修正值通过发射台发送给卫星，再由卫星传播给用户。当信号一旦注入卫星，该卫星便按新的信息数据向地面播发。

(4) 时间站：它的任务是校准卫星的钟信号，使卫星、地面跟踪站、计算中心、注入站和用户在时间上完全取得一致。

三、子午仪卫星导航系统定位原理

子午仪卫星导航系统是采用测定多普勒频移的方法定位。

多普勒效应是指当两物体作相对运动时，其中一物体发射固定频率，另一物体接收到的频率会依照两物体相对接近或相对远离而改变。改变的频率和发射固定频率之差称多普勒频移 (Δf)，即

$$\Delta f = f_R - f_T = -\frac{f_T}{c} \cdot \frac{d}{dt} R(t) \quad (11.1)$$

式中 c 为电波的传播速度； f_R 为接收频率； f_T 为卫星发射频率； $R(t)$ 为发射点到接收点的距离。当导航卫星向观测者接近时，接收频率将增加；反之，接收频率将减低。

现以图11-1-3说明根据测量多普勒频移求得距离差。对任一时刻的观测者接收频率 f_R ，都等于卫星发射频率 f_T 加上由于卫星和观测者之间的相对运动而产生的多普勒频移 Δf 。在接收装置中提供400 MHz的地面基准频率 f_G ，它与卫星接收频率产生一个差频 ($f_G - f_R$)。由于 f_G 比 f_T 高32kHz，因此 f_R 不论如何变化总比 f_G 低且向一个方向变化，所以不需判别正、负号。

对某一时间间隔内的差频进行积分，就得出该期间内多普勒计数的周数 N_1

$$\begin{aligned} N_1 &= \int_{t_1 + \frac{R_1}{c}}^{t_2 + \frac{R_2}{c}} (f_G - f_R) \cdot dt \\ &= \int_{t_1 + \frac{R_1}{c}}^{t_2 + \frac{R_2}{c}} f_G \cdot dt - \int_{t_1 + \frac{R_1}{c}}^{t_2 + \frac{R_2}{c}} f_R \cdot dt \\ &= f_G \cdot \left[(t_2 - t_1) + \frac{1}{c} (R_2 - R_1) \right] - \int_{t_1}^{t_2} f_T \cdot dt \end{aligned}$$

由于卫星通过时，卫星发射频率 f_T 是不变的，所以

$$\begin{aligned} N_1 &= f_G \left[(t_2 - t_1) + \frac{1}{c} (R_2 - R_1) \right] - f_T (t_2 - t_1) \\ &= (f_G - f_T) (t_2 - t_1) + \frac{f_G}{c} (R_2 - R_1) \\ &= (f_G - f_T) (t_2 - t_1) + \frac{1}{\lambda_G} (R_2 - R_1) \end{aligned}$$

上式可改写为：

$$(R_2 - R_1)_{\text{测}} = \lambda_G \cdot N_1 - \lambda_G \cdot (f_G - f_T) \cdot (t_2 - t_1) \quad (11.2)$$

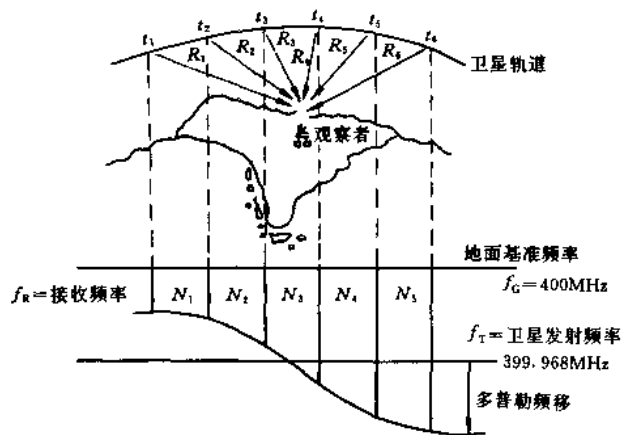


图 11-1-3 用多普勒频移求距离差的示意图

这就是求某一时间间隔卫星到观测者斜距差的公式。由于 $\lambda_{G_1} \cdot (f_G - f_T)$ 及 $(t_2 - t_1)$ 均为常数，所以只要测出 N_1 值，就直接求得两个相邻偶数分钟开始时刻卫星到观测者的距离差。

在卫星一次通过期间，每隔两分钟可接收到卫星发来的信息，可以测得许多个多普勒积分值，从而得到与积分值数目相同条数的双曲线位置线，这些双曲线位置线的交点就确定了观测船位。

四、子午仪卫星导航系统的定位精度

子午仪卫星导航系统的误差有如下几种：

1. 机器误差：它主要取决于本机晶体振荡器的精度。一般误差在几十米以内。
2. 电波传播误差：指卫星发射的电波在通过电离层时发生折射而产生的误差。一般误差在30m左右。
3. 天线高度产生的误差：天线高度误差 Δh 产生的卫星定位误差为

$$\Delta M = \Delta h \operatorname{tg} E_{\max} \quad (11.3)$$

式中 ΔM 为卫星定位误差， E_{\max} 为卫星通过的最大仰角。由于有效通过的最大仰角限制在 $10^\circ \sim 70^\circ$ 之间，因此，天线高度产生的误差可以不考虑。

4. 由于卫星轨道预报值误差所产生的误差：卫星轨道数据是跟踪站测定多普勒频移得出的，当这个数据有误差时，测定船位也产生误差，测定误差有时达到100m左右。

5. 船的航向和航速产生的误差：当船的航向和航速有误差时，卫星定位也会有误差。每一节航速误差会造成约0.25n mile的定位误差。

总之，子午仪卫星导航系统与其它导航系统相比准确性是较高的。

第 2 节 子午仪卫星导航仪的操纵使用

子午仪卫星导航仪的型号较多，现以渔船使用较多的 MX-5102型和 FSN-70型为例说明。

一、MX-5102型卫星导航仪操纵使用

(一) 组成和功能 MX-5102型卫星导航仪有天线、接收机、计算机、电动打字机和显示器所组成。这种导航仪具有下列的功能：

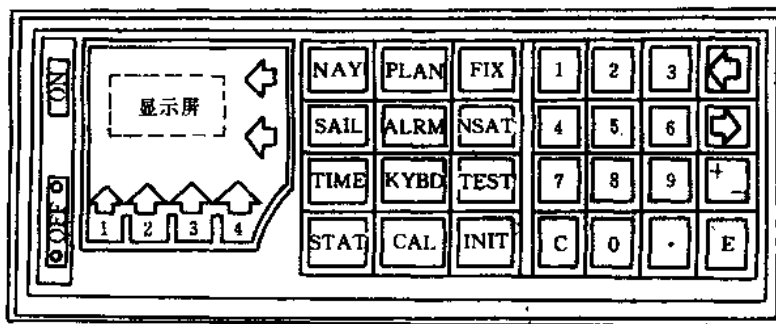


图 11-2-1 MX-5102导航仪面板

1. 能自动选择最佳卫星信号测定船位。
2. 能显示即时的格林时、地方时、协调世界时及时区号数。
3. 绘制大圆航线及有关的数据。
4. 具有“程序跟踪”自动更新船位。
5. 具有自测和校正功能。
6. 具有各种报警功能。

(二) 面板

MX-5102 导航仪面板共有36个键,如图11-2-1所示,可分为5个类别。

1. 电源控制键:按 ON 键接通电源;同时按 OFF 键钮上下两点,才能切断电源。

2. 上下显示选择键:按 $u \leftarrow$ 键,表示接通上行显示器,此时可输入有关数据并进行显示;按 $L \leftarrow$ 键,下行显示键接通,此时可输入有关数据并进行显示。

3. 程序键:共有12个键,除 KYBD (面板键)和 INIT (输入键)与调整起始条件有关及 TEST (测试键)作内测功能外,其余各程序键均与导航和卫星功能有关。当程序键和功能键配合使用,可产生各种与航行有关的功能。

4. 功能键:共有4个,用来调用程序键接通时有关功能的特定功能。

5. 数字键盘:共有16个键。除0~9共十个数字作输入数字数据外, \leftarrow 键(例格键)作修正字符的反向间隙; \rightarrow 键(空格键)用来输入两个字符间的间隙;+/-键(变号键)用来改变数值符号、倒向或交替改换模式;E键(输入键)将键盘的数据输入微机处理,只有按下该键后,显示器上所显示的数据才能被本机所接受,并进行处理,否则无效;·键(小数点键)输入小数点用;C键(清除键)作消除已调用的数据用。

在使用E键时,必须注意两种错误的输入。在数据只输入到显示器而未按E键,MX-5102将不执行下一步操作;输入错误的格式时,显示???符号,这时应按 $u \leftarrow$ 或 $L \rightarrow$ 键,然后即可输入正确数据。

(三) 操作使用

1. 开机 当导航仪接通电源后按 ON KYBD 1键,屏幕上显示出

KYBRD	LOCK	OFF
KYBRD	ON	

 当出现 $\begin{matrix} \text{OFF} \\ \text{ON} \end{matrix}$ 时,说明键盘已解锁,可以输入各种数据。按键时机内发出“嘟嘟”声,表示使用良好。

如果按下 $u \leftarrow$ +/- E 键,将使 OFF 变 ON,显示屏出现 $\begin{matrix} \text{ON} \\ \text{ON} \end{matrix}$,这时数据输不进,按键时无“嘟嘟”声。它适用于船舶停泊或船员休息时,此时卫星定位功能仍在工作。如变换成 $\begin{matrix} \text{OFF} \\ \text{OFF} \end{matrix}$ 时,可以输入数据,但按键时无“嘟嘟”声。

如变换成 $\begin{matrix} \text{ON} \\ \text{OFF} \end{matrix}$ 时,表示键盘上锁,数据输不进,但按键时有“嘟嘟”声。这是防止他人随意输入不合适数据,造成电脑混乱而有意锁上的。

2. 起始值输入 导航仪在定位前必须预先输入各种数据,才能进行运算,这些预输的数据称卫导起始值。先后按次序输入8次,计有:

- 第1次 推测经纬度;
- 第2次 世界时或区时;
- 第3次 时区号数;
- 第4次 计程仪校正与天线高度;
- 第5次 罗经变化方式选择和偏(磁)差的输入;
- 第6次 航速与航向;
- 第7次 风流向和风流速;
- 第8次 罗经自差和罗经差。

每次输入须按 INIT 键,有关数据才能输入机内,以供运算。

例如,输入推算船位 $\varphi = 35^{\circ}46.7'N, \lambda_c = 121^{\circ}27.6'E$ 。可按下列次序输入:INIT $u \leftarrow 35 \rightarrow 46.7'E, L \leftarrow$

$121 \rightarrow 27.6'E$,则显示屏上显示

LAT	N	35°46.7'
LON	E	121°27.6'

如按 INIT 第6次,可输入航速和航向。

例如,要求输入航速10kn,航向48°,则按下列次序输入: $u \leftarrow 10 E$

则显示

M	SPEED	10
M	HEADING	048

显示屏中的 M 表示手动，如果与陀螺罗经和计程仪联机，则显示 A，表示自动。

3. 定船位 卫导仪有几种提供船位的方法。

(1) 推算船位 根据输入航向、航速、流向和流速等数据，经过计算后，随时可调用显示在屏幕上。调用时，换 NAV（导航键），即显示

LAT	SPD	SET	SPDA
LON	HDG	DFT	CRSA
1	2	3	4

按功能键1，显示船舶当时的推算船位。如果船舶处在航行中，且已输入航速和航向，则推算船位将随船舶运动而变化。当航向、航速改变时，用手动方式将新改变的航向与航速输入，卫导仪才能根据新的航向、航速重新计算推算船位。这个推算船位只有在卫星定位获得卫星的更新船位后，才能从新船位点继续进行推算。

按功能键2与3，显示航速、航向与流速、流向。

按功能键4，是调用实际航速和航迹向。

(2) 卫星船位 卫星船位是指卫星经过时卫导仪瞬时测到的位置。使用时按 FIX（卫星定位）键，显示出

---LAST FIX---			
TIM	POS	QUAL	CMD
1	2	3	4

当按下功能键1时，显示屏上显示为

TIME	EL	SAT
0153	24	130OK

显示屏中0153表示卫星中心通过的时间；24表示卫星的仰角（度）；130表示卫星五位数代号中的后三位数；OK表示可用的卫星。

如果这颗卫星不能用作定位时，则OK将被REJ或NF取代。代号REJ表示卫星资料已被接受作计算用，但计算结果不能被接受，原因可用功能键3检查显示；代号NF表示卫星资料不能接受作定位用。

按下功能键2时，显示出瞬间定位的经纬度，即

FX	LAT	N	34°42.4'
FX	LON	E	121°35.7'

它表示卫星船位在 $\varphi=34^{\circ}42.4'N$ ， $\lambda=121^{\circ}35.7'E$ 。

按下功能键3时，显示有关卫星定位的质量资料，评估卫星质量好坏，判断定位精度。例如显示为

DIR	DIST	CT	I
225°	0.5	32	2 OK

这里225°表示由船的推算位置转到新的卫星更新船位的方位；0.5表示船的推算位置转到新的卫星更新船位的距离（n mile）；32表示用于计算中的多普勒数目是32个，一般不得少于10个多普勒数目；2表示用于计算迭代次数，一般迭代次数不能超过6；OK表示接受定位和船舶位置已经更新。若不接受上次卫星定位，OK就被代码R_i中R₁—R₉任一代号所取代。不能接受的9种原因如表11-1所示。

按下功能键4时，可以选择一次强行更新或重新计算定位的功能。此时显示屏上显示

FORCE UPDATE?	NO
RECOMPUTE?	NO

使用此功能时应注意的是：

① FORCE UPDATE 是卫导仪提出“要强行更新吗?”

表 11-1 R_i 代码表

代 号	原 因
R ₁	卫星仰角太低或太高, 不在7°~10°范围内
R ₂	解题要求多于6次迭代
R ₃	从卫星信号中得到少于10个多普勒数目
R ₄	从卫星定位位置到推测位置大于20n mile
R ₅	所收集的资料数对通道中心是非对称的
R ₆	接收的资料太差或来自两个或多个卫星
R ₇	收集到的资料数对通道中心是非对称的而来自多个卫星
R ₈	在卫星通过期间收集到的资料来自一个不再使用的卫星
R ₉	要用手动输入导航数据, 重新计算位置

使用强行更新的前提是上次卫星不能自动更新位置, 则强行更新功能就可以利用上次卫星定位强行更新船的推算位置。

强行更新的精度取决于推测位置的次数和拒绝卫星定位数据的原因。

表 11-2 导航数据输入表

导航参数	调用的程序键	选择的功能键
格林时间	TIME (时间) 键	1 GMT
经、纬度	NAV (导航) 键	1 LAT LON
航速、航向	NAV (导航) 键	2 SPD/HDG
天线高度	GAL (校正) 键	2 ANT/HGT

要求卫星仪进行强行更新, 必须重新输入导航参数, 才能在这些数据的基础上重新设置上次定位。输入数据如表11-2所示。

② RECOMPUTE 是重新计算的询问。如果要求卫导仪重新计算一次, 则按 $u \leftarrow + / - E$ 键, 在显示屏上出现 YES 表示同意, 但重新计算必须在30s 内完成。重新计算不允许一个已经重新计算过的位置再出现计算。

4. 导航 导航功能是通过 SAIL (等角线航行) 和 PLAN (计划航行) 两个程序键来进行。它利用键盘输入的资料来计算航程、航向及航行时间, 编制等角线航行和大圆航行计划。

(1) 等角线航法 (RL) 按 SAIL 键, 显示

RNG	DIST	NXT	WAY
BRG	HTS	ETA	PNT
1	2	3	4

① 按下功能键4, 可以顺次输入各个转向点位置。如航程中第一个转向点1的位置定于 $\varphi=29^{\circ}00.0'N$, $\lambda=122^{\circ}00.0'E$, 则可按以下次序按键: $u \leftarrow 29E$; $L \leftarrow 122E$ 。

再按功能键4, 可输入第2个转向点的位置; 继续按功能键4以同样方法输入第3个转向点位置, 以此类推, 最多可输入9个转向点位置。

② 按功能键1, 就可获得功能键4所确定的各转向点之间的航程和航速。例如查询转向点2—1的航程和航向, 可按以下次序 $u \leftarrow 21E$ 按键, 显示屏将出现

R21	RANGE	65.4
	BEARING	335.2

屏中显示的 R21是指从第2转向点到第1转向点采用直线航行时的航程是65.4n mile, 航向335.2°。其它依此类推。

③ 按功能键2, 可获得所确定的各转向点之间的操舵航向和船偏离计划航向的距离。例如, 显示屏上显示出

DIST	RUN	3.5
STEER	TRWE	332.4

其中 STEER TRWE 332.4表示利用预输的罗经差、风流向和速度等, 经计算应采取的操舵航向为332.4°时可保证船舶在计划航线上航行。而 DIST RUN 3.5表示船舶偏离计划航向3.5n mile 的距离。

④ 按功能键3, 获得估计到达时间。使用时事先给以航速, 就可显示各转向点之间自起航点到终止点的时间。例如, 用12节的航速走完3—2两转向点之间的时间, 可按功能键3, 在显示屏上出现

ETA32	SPEED	12.0
	5.5	HOURS

其中5.5表示需用的小时数。

例: 某渔船在某渔场作业, 产量极佳, 当时测得船位 $\varphi=33^{\circ}N$, $\lambda=123^{\circ}30'E$ 。夜间漂流, 早晨利用卫星测得船位 $\varphi=33^{\circ}10'N$, $\lambda=123^{\circ}40'E$ 。欲返原位放网, 采用什么航向? 若用8kn 航速, 须多少时间到达? 解:

① 调用 SAIL 程序键, 并按功能键4, 输入昨晚的船位点位置, 作第一个转向点, 则显示屏上出现

WLAT	N1	33°00'00"
WLON	E1	123°30'00"

再按功能键4, 输入早晨的卫星船位, 作第二个转向点, 则显示屏上出现

WLAT	N2	33°10'00"
WLON	E2	123°40'00"

② 按功能键2, 再按 $u \leftarrow 21$, 显示屏上将显示

R21	RANGE	13.0
	BEARING	220.1

, 即应采用220.1°航向, 航程为13n mile, 可到达原位进行生产。

③ 按功能键3, 输入航速8kn, 再按 $u \leftarrow 21E8E$, 显示屏上将显示

ETA21	SPEED	8
	1.6025	HOURS

表示用8kn 航速航行, 须1h36min 到达原地。

(2) 大圆航法(GC) 利用 PLAN 程序键设计大圆航线, 此时在显示屏上

ROUTE PLANNING			
ETA	TOT	PLOT	DET
1	2	3	4

显示

按功能键1, ETA 能显示估计到达确定的大圆分点的时间。

按功能键2, TOT 显示总航程及通过各大圆分点之间的时间。

按功能键3, PLOT 绘制大圆航线。

按功能键4, DET 在计划航线上, 输入各个大圆分点之间的速度。

大圆航线的设计是求出各点的经纬度。利用 PLAN 的功能键3, 先把起航点与到达点之间的经差, 近似地分成6—8等分, 作为确定各大圆分点的经度; 并把它们输入到功能键3中, 经2s 时间计算, 屏幕上显示出各分点的纬度。将所求得的分点经纬度划在墨氏海图上, 连接起来, 就是大圆航线。

在远洋航行中,多采用混合航法,如从英国普里茅斯出发横渡大西洋到达纽芬兰的圣约翰斯。已知起航点普里茅斯 $\varphi=50^{\circ}28'N$, $\lambda=4^{\circ}13'W$; 第一个转向点定于 $\varphi=49^{\circ}35'N$, $\lambda=6^{\circ}W$; 到达目的地圣约翰斯 $\varphi=47^{\circ}25'N$, $\lambda=52^{\circ}51'W$ 。起航日期1989年4月4日, GMT=0600。试采用混合航法, 编制航行计划。具体使用的程序为:

- ① 用 NAV 功能键1, 输入起航点的经纬度 $\varphi=50^{\circ}28'N$, $\lambda=4^{\circ}13'W$;
- ② 用 SAIL 功能键4, 输入第一个转向点的经纬度 $\varphi=49^{\circ}35'N$, $\lambda=6^{\circ}W$;
- ③ 按 SAIL 功能键1, 显示以0~1的直线航行的航程和航向;
- ④ 求经差, 将第一个转向点的经度至到达点间的经差近似地分为8等分, 作为各分点, 每分点经差为 $6^{\circ}W$;
- ⑤ 用 PLAN 功能键3, 输入各分点间的经差数 $-6^{\circ}W$ 。按 $u \leftarrow 19E$ 、 $L \leftarrow + / - 6$, 约2s 时间后, 以显示屏上读得该分点的纬度。重复上述步骤, 求得各分点的纬度;
- ⑥ 用 SAIL 功能键4, 输入各分点的经纬度;
- ⑦ 用 SAIL 功能键1, 选择 G1—G2、G2—G3、……, 求得各分点间的大圆航向和航程;
- ⑧ 用 PLAN 功能键输入各分点间的航速。例如选择 G1—G2, 航速18kn, 则按 $u \leftarrow + / - 12E$ 、 $L \leftarrow 18E$;
- ⑨ 按 PLAN 键用功能2, 显示各分点间的航程、航时及总航程;
- ⑩ 用 TIME 功能1, 输入起航日期和时间;
- ⑪ 按 PLAN 功能1, 显示各分点间或到达目的地时间。从显示屏上读得是1989年4月6日7时44分到达目的地圣约翰斯港。

列出混合航法航行计划表, 如表11-3所示。

表 11-3 混合航法航行计划表

1	2	3	4	5	6	7	8	9
航法	分点	φ (N)	λ (W)	真航向	航速 kn	航程 n mile	航行时间 h	到达时间 月/日/时
φ_{RL}	0	$50^{\circ}28'$	$4^{\circ}13'$	232.4°	5'	87	17.4	
φ_{GC}	1	$49^{\circ}35'$	$6^{\circ}00'$	284°	18'	237.2	13.2	4/1 23 24
φ_{GC}	2	$50^{\circ}22.85'$	$12^{\circ}00'$	279.4°	18'	237	12.8	4/2 12 36
φ_{GC}	3	$50^{\circ}51.12'$	$18^{\circ}00'$	274.7°	18'	227.9	12.7	4/3 01 25
φ_{GC}	4	$50^{\circ}00.64'$	$24^{\circ}00'$	270.1°	18'	227.8	12.7	4/3 14 05
φ_{GC}	5	$50^{\circ}51.68'$	$30^{\circ}00'$	265.4°	18'	230.8	12.8	4/4 02 45
φ_{GC}	6	$50^{\circ}23.98'$	$36^{\circ}00'$	260.8°	18'	236.9	13.2	4/4 15 35
φ_{GC}	7	$49^{\circ}36.73'$	$42^{\circ}00'$	256.2°	18'	246.4	13.7	4/5 04 44
φ_{GC}	8	$48^{\circ}28.58'$	$48^{\circ}00'$	251.6°	14'	186.4	13.3	4/5 18 25
φ_{GC}	9	$47^{\circ}25'$	$52^{\circ}21'$	不定		总1911.9	总118.8	4/6 07 44

5. 卫星仪工作状态的判断 按工作状态功能键 STAT, 显示上次卫星定位以来所经过的时间, 并显示各个代码, 以供判断。当截获到卫星信号后, 屏幕上就显示 S—AT—T—ACQ—FIX 或 NFX 等代号, 其中

S 表示卫星仪正在搜索已被程序跟踪的卫星;

AT—T 表示卫导仪已截获到一颗卫星；

ACQ 表示已建立了卫星警报，而且卫导仪截获卫星后正在进行计算；

FIX 表示卫导仪已完成了定位计算。若尚未完成，则由 FIX 由 NFX 代替。

作为卫导仪，它的工作状态的全过程是搜索—跟踪—截获—计算—定位。

6. 报警 卫导仪的报警功能键是 ALAM。MX—5102 卫导仪有 5 种报警系统，即：收到卫星信号报警、卫星定位成功报警、与转向点或障碍物一定的安全距离内报警、到达正横物标或转向点报警和偏离航向界限报警。

报警功能是提供驾驶员在狭水道或岛礁区航行，用作危险距离避险。图 11-2-2 中，C 为灯塔目标，AC 为安全距离，如定于 0.5nmile，并输入到 ALAM 键的功能 2 中。当船舶进入 0.5nmile 安全范围内时，立即发出警报，提供驾驶员注意。当船驶离危险范围内，警报消失。

同样，只要输入一定的距离范围或偏航的左右限度范围，当船与物标正横时或偏离航向限度时，发出警报，提醒驾驶员注意。

7. 卫星预报键 NSAT 它提供卫星的预报资料，这些资料内容有：未来 24h 内各卫星升起的时间、仰角、能否提供良好的定位条件等。驾驶员根据这些资料可掌握时间进行卫星定位。

按 NSAT 键，显示屏将显示

SATELL	ITE	PASSES	
1+2	3+4	5+6	7+16
1	2	3	4

按功能键 1，调用第 1 与第 2 颗将要升起的卫星预报资料；按功能键 2，调第 3 与第 4 颗卫星预报资料；……按功能键 4，调用第 7 至第 16 颗卫星的预报资料。如希望显示第 10 颗未来卫星的预报资料，连续按功能键 4 两次，显示屏上显示

9	1951	57	OK	19
10	2004	3	LO	48

屏中 10 表示卫星号，2004 表示第 10 号卫星经过本船附近的格林时间，3 表示卫星的仰角，LO 表示卫星仰角太低，48 表示卫星编号。

8. 测试 TEST 是自测功能键。按 TEST 键，显示屏上将出现

VCO	SELF		
S/N	TEST	RAM	SPC
1	2	3	4

按功能键 1，显示卫星信号的信噪比，一般在 2—5 范围内，否则是天线脱落或其它原因。

按功能键 2，自我检测，检查各功能是否正常。屏幕上将出现 * * * …… 的图案，上下两列，分两次显示，共 96 个 *，说明共有 96 个功能。每出现一个 *，发出一次“嘟嘟”报警声。如某一图案不显示，就说明某一功能有故障。

9. 校正 校正键 CAL 的功能是供单独进行校正，不必调出起始键 INIT 的功能，直接重新启动导航资料，也可修改功能数据，包括天线高度和 8 个方位的罗经自差。

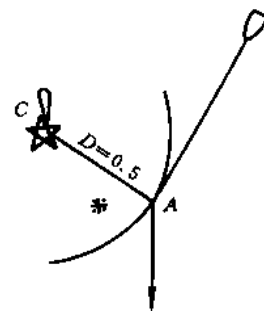


图 11-2-2 MX—5102 卫导仪的安全报警

二、FSN-70 型卫导仪的操纵使用

(一) 面板

1. FSN-70 型卫导仪面板示意图如图 11-2-3 所示。

2. 各键名称及作用 输入控制键有 4 个，即：

EVENT 键 按此键将输入的数字作为数据而存贮起来。

CLEAR 键 消除键。用来消除调用的数据。

NEXT 键 邻近联接功能键。按此键使 → 标志转到下一个输入项次。

ENTER 键 事项贮存键。按此键将现在位置存入事项贮存器中，并能在屏幕上表示该事项的标志。

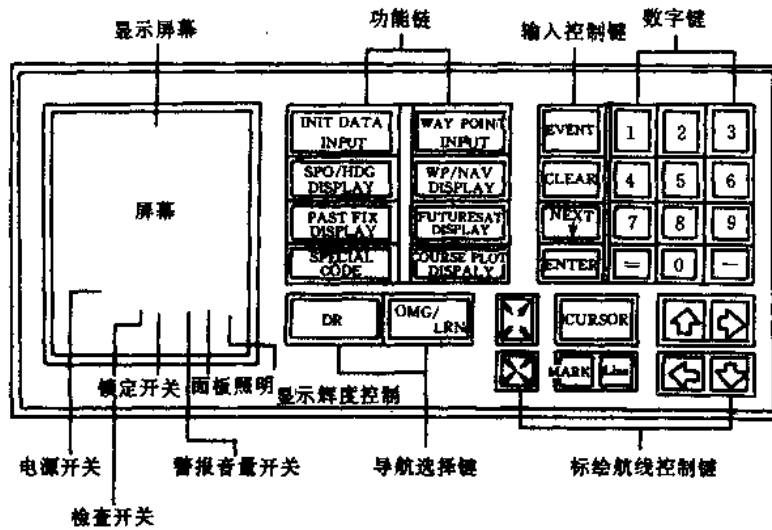


图 11-2-3 FSN-70型卫导仪面板图

数字键有12个，即：

0~9 表示将数字输入线路。

— 变号键。按此键改变+/-，N/S、W/S等相反状态。

= 按此键将数据线路上的数字逐个转换到输入线路上；进行部分数据的改正。

功能键有8个，即：

INIT DATA INPUT (起始数据输入) 键；SPD/HDG DISPLAY (航向/航速功能) 键；PAST FIX DISPLAY (卫星定位功能) 键；SPECIAL CODE (特殊功能) 键；WAY POINT INPUT (中途点或转向点位置功能) 键；WP/NAV DISPLAY (导航功能) 键；FUTURE SAT DISPLAY (卫星预报功能) 键及 COURSE PLOT DISPLAY (航线图解功能) 键。

导航选择键有2个，即：

DR (积算船位) 键和 OMG/LRN (奥米伽/罗兰船位) 键。

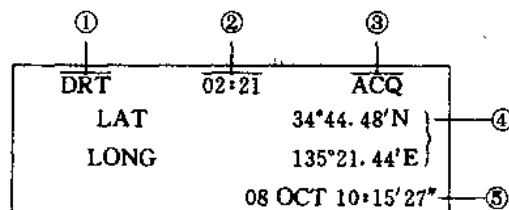
标绘航线控制键有9个，即：

图像扩展键、图像压缩键、CURSOR 光标显示键、MARK 点标志键、LINE 线标志键和四个使光标线上下左右移动的方向键。

(二) 操作过程

1. 开机 初次开机时，须完成“系统组合”及“起始数据输入”程序。当电源切断并位置移动60nmile以上时，首先要完成“起始数据输入”程序，然后进行所需功能的操作。

2. 现在位置的显示 按功能键 PAST FIX DISPLAY，表示上次卫星定位，屏幕上显示：



① 船位：除 FIX 卫星船位外，在没有卫星经过时，可显示 DRT (推算船位)、LRN (罗兰船位)、OMG (奥米伽船位)、LRX (罗兰、卫导联合船位) 和 AUX (补充或辅助船位)。

② 上次卫星定位后的时间间隔 (以 DRT 或 OMG 方式显示)。

③ 导航仪工作状态显示: 有 ACQ (接收到并跟踪着卫星信号)、MES (完成了信号同步)、CAL (正在进行卫星定位计算)、TST (接收器进行自测试)、ERR (测试中发现错误)、ARV (到达目的地报警)、DFT (偏离航向报警) 和 EVT (由事项键所贮存的现在位置) 等几种工作状态。

④ 现在船位 (经、纬度)。

⑤ 现在时间 (格林时间)。

3. 起始数据输入 当电源接通后, 要提供计算所需的一些基本资料, 如经纬度、日期、时间、航向和航速等。此时, 按起始功能键: DR 或 OMG/LRM $\begin{matrix} \text{INIT DATA} \\ \text{INPUT} \end{matrix}$ 输入起始数据, 其内容有:

① 输入目前航向, $\square\square\square$ \square ENTER, 如与陀螺罗经直接相连, 按 \square 键;

② 按 NEXT, 输入航速, $\square\square\square$ ENTER, 如与计程仪相接, 按 \square 键;

③ 按 NEXT, 输入推算纬度, $\square\square$ $\square\square$ ENTER, 如需改变 N/S, 按 \square 键;

④ 按 NEXT, 输入推算经度, $\square\square\square$ $\square\square\square$ ENTER, 如需改变 W/E, 按 \square 键;

⑤ 按 NEXT, 输入日期, 号数、月份和年份, $\square\square\square\square\square$ ENTER;

⑥ 按 NEXT, 输入时间, $\square\square\square\square$ ENTER, 要求精确到15分钟;

⑦ 按 NEXT, 输入预定航程, $\square\square\square\square$ \square ENTER;

⑧ 按 NEXT, 输入其它导航数据或执行其它特殊代码。如执行奥米伽系统导航, 则要输入奥米伽台对代号 $\square\square$ $\square\square$ $\square\square$ ENTER, 这里奥米伽台的代号 A、B……G、H 分别以 1、2……7、8 代替, 如执行罗兰系统导航时, 则要输入罗兰时差修正量和罗兰经纬度修正量, 其程序是 NEXT、罗兰时差修正量 (S₁的 $\square\square\square\square$ 、S₂的 $\square\square$ $\square\square$) ENTER、NEXT、罗兰经纬度修正量、ENTER。

4. 航速、航向显示 按航速/航向 ($\begin{matrix} \text{SPD/HDG} \\ \text{DISPLAY} \end{matrix}$) 功能键, 显示屏上将显示出:

SPD (A)	12.5KTS
HDG (A)	173.4DEG
D-RUN	0.056.3NM
SET/DFT	105.6/0.2

其中 SPD 表示现在航速 (kn), 其后 A 为自动, M 为手动。在使用手动时可以在“起始数据”中不断地改变航速和航向; HDG 表示现在航向; D-RUN 表示航程 (n mile); SET/DFT 表示流向和流速。

5. 卫星船位 按卫星定位功能 ($\begin{matrix} \text{PAST FIX} \\ \text{DISPLAY} \end{matrix}$) 键, 显示屏将显示出:

其中 FIX-1 表示最新卫星船位; 00:23 表示定位时间; LAT 34°44.75' N 和 LONG 135°21.36' E 表示卫星船位的经纬度; 虚线框内数据表示卫星状态, 如 NO480 代表卫星编号, ELU33 代表最大仰角; ITR 表示迭代次数; DOP 表示多普勒次数; DEU6874 表示多普勒频移; OK 表示卫星质量好, 能更新船位。如出现 NG, 表示卫星质量差, 拒绝定位。出现 UP 时表示卫星质量差, 但可强行更新船位。

FIX-1	00:23				
LAT	34°44.75' N				
LONG	135°21.36' E				
NO	ELU	ITR	DOP	DEU	OK
480	33	3	15	6874	

6. 卫星预报显示 按卫星预报功能 ($\begin{matrix} \text{FUTURE SAT} \\ \text{DISPLAY} \end{matrix}$) 键, 显示屏上将显示出:

FUTURE		SAT	
		NO	ELU
1	01:58'	480	36
2	02:38'	130	65
3	04:26'	130	17

其中第1列表示卫星出现的次序; 第2列表示卫星出现的时间; 第3列表示卫星编号; 第4列表示卫星的最

大仰角。每按一次卫星预报功能键，可以顺序在显示屏上出现三个卫星预报的资料。

7. 航线图解显示 按功能键 $\text{COURSE PLOT DISPLAY}$ ，它可以完成下列一些内容：

(1) 改变比例 按 $\left[\begin{array}{c} \times \\ \times \end{array} \right]$ 键图像扩展；按 $\left[\begin{array}{c} \div \\ \div \end{array} \right]$ 键图像压缩。

(2) 移动屏幕 按 CURSOR 键（光标显示器）调入经、纬度方式显示在屏幕上。

按 $\left[\uparrow \right]$ 、 $\left[\downarrow \right]$ 、 $\left[\leftarrow \right]$ 、 $\left[\rightarrow \right]$ 键，屏幕上、下、左、右移动。

(3) 移动光标线 再调用 CURSOR 键，调入以光标显示方式显示的屏幕。按 $\left[\uparrow \right]$ 、 $\left[\downarrow \right]$ 、 $\left[\leftarrow \right]$ 、 $\left[\rightarrow \right]$ 键，进行光标线上、下、左、右移动。

(4) 绘画事项标记

① 按 EVENT 键，如事项贮存已全部占满（最多为10个点），应取消事项标记。如全部各项已上锁，不应再继续事项键的操作，参见 EVENT ME-MRY（特殊代码3）。

② 绘画一般航线的光标方式

按 CURSOR 键，调用光标方式屏幕显示。

运用箭头键将光标移至所需位置。

按 MARK 键或 LINE 键，可获得点标志或线标志，但只限于现在位置点与上一点之间。

③ 消除特定的一般标记线

按 CURSOR 键，调用光标方式屏幕显示。

运用箭头键将光标移至所需位置。

连接 MARK 键，与之相关的点和线即会消除。如消除所有的标记线，参见 course plot preset（预定航线标绘）（特殊代码6）。

(5) 航线图解显示如图11-2-4。图中各数字表示为：①船舶现在位置、②比例（ $\times 1000$ ）、③到中途点的航程/方位、④现在的航速/航向、⑤纬度/经度、⑥航线、⑦现在航位线标记、⑧卫星定位标记（最多5点），其中图号 \blacktriangleleft 表示 OK； \triangleleft 表示不更新（NC）、⑨中途点，转向点标记（最多20个），其中标记 WP01-WP09 显示 1~9；WP10-P20 显示 A-K、⑩到达中途点的指导路线、⑪光标坐标、⑫光标线、⑬事项标志（最多10点）、⑭一般标记线（最大50点）。

8. 导航功能 本功能最多可贮存9个中途点位置，经微机处理后，可调用各中途点间的航向、航程等有关的导航数据。

(1) 输入各中途点或转向点的位置 按 WAY POINT INPUT（中途点位置功能）键，显示屏上将显示出：

按 NEXT 键，移动指向标箭头将所需的中途点经纬度数据逐项输入，如需 N/S 或 W/E 变换，按 $\left[\square \right]$ 键。

再按 NEXT 键，移动指向箭头到“TO—

FROM”，从00~20中了解，00表示现在船位点，01~09为1号中途点（转向点）至9号中途点（转向点）和10~20由航行计划计算中的特殊代码2所需的各点情况。

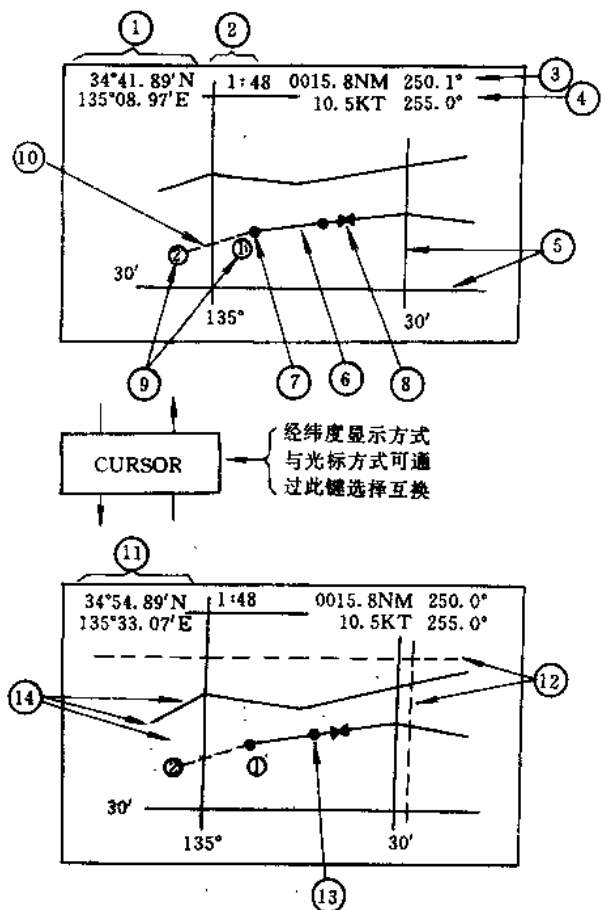


图 11-2-4 航线标绘图解

WAYPOINTS		
→TO←FROM = 02←01		
WP 01	=	34°44.48'N 135°21.28'E
WP 02	=	34°33.38'N 135°06.79'E
WP 03	=	00°00.00'N 000°00.00'E
⋮		⋮
WP 09	=	00°00.00'N 000°00.00'E
TO←FROM = ??←??		

(2) 中途点及导航 在使用中途点导航功能 ($\frac{WP/NAV}{DISPLAY}$) 键前, 先要确定起航点至到达点的编码, 如“TO←FROM”02←01, 即从第1号中途点到第2号中途点。

按导航功能 ($\frac{WP/NAV}{DISPLAY}$) 键, 显示屏上如右显示: 其中 WP 表示中途点的编号; TTG 表示根据“起始数据输入”的航速, 得出两中途点间的航行时间; RL 表示两中途点间按恒向线航行的航程和方位; GC 表示两中途点间大圆航行的航程和方位。

WP	02←01
TTG	03:32/00
RL	0042.8/190.6
GC	0042.7/190.7

再按导航功能键, 显示屏上如右显示: 其中 R/B 表示从现在的船位点至中途点的航向和方位; LEG 表示从现在船位点至中途点的航程和方位; DFT 表示偏离航线差和返回原计划航线应采取的操舵航向, 符号←表示操左舵; →表示操右舵, 这样才能回到计划航线上。

WP	02←01
R/B	0014.1/186.7
LEG	0020.3/186.3
DFT	←007→

9. 特殊代码 ($\frac{SPECIAL}{CODE}$) 的使用

(1) 特殊代码“0” 本功能确定各种导航系统的组合。

按特殊代码 ($\frac{SPECIAL}{CODE}$) 功能键、0、ENTER, 显示屏将如右显示: 其中 LOG PULSE 表示计程仪脉冲率; GYRO RATIO 表示陀螺罗经系数; ANT HEIGHT 表示天线高度; UPDATE CRITERIA 表示最新标准; DATUM L/L 表示经纬度修正数据; OPTIONAL NAV 表示导航选择。

按 NEXT, 输入计程仪脉冲率□□□, ENTER;
 再按 NEXT, 输入陀螺罗经系数□□□, ENTER;

再按 NEXT, 输入海平面天线高度□□.□, ENTER;

再按 NEXT, 选择最新标准□, ENTER。

如输入“0”为高级定位;“1”为标准级;“2”为低级;“3”正常时为高级, 1h 后没定位转为标准级;“4”正常时为高级, 2h 后没定位转为标准级;“5”正常时为标准级, 1h 后没定位转为低级;“6”正常时为标准级, 2h 后没定位转为低级。

再按 NEXT, 输入经纬度修正值□□.□□, □□.□□, ENTER;

再按 NEXT, 选择各种导航仪器□, ENTER。

如输入“0”表示不选择;“1”选用罗兰;“2”选用奥米伽;“3”选用罗兰卫星联合体系;“4”选用辅助仪器。

(2) 特殊代码“1”, 流向/流速自动修正和强行更新 它有两个功能, 一是显示两个卫星有效定位间的航向/航速, 及对该航程中所遇到的流向/流速; 二是选择是否用流向/流速自动修正和强行更新。

(0) SYSTEM	
→LOG PULSE	=200P/NM
GYRO RATIO	=+360×
ANT HEIGHT	=+15.5M
UPDATE CRITERIA	=1
DATUM L/L	=N00.00 W00.00
OPTIONAL NAV	=1
<0:NONE 1:LRN 2:OMG 3:LRX 4:AUX	

强行更新是在卫星拒绝定位时，再指令其强行求得更新船位。它与流向/流速无关。

按特殊代码功能键、→、1、→、ENTER，显示屏上将如右显示：其中 LATEST FIX 表示最新良好的卫星定位时间；PAST FIX 表示过去良好的卫星定位时间；CRS MADE GOOD 表示定位船位间的平均航向；SPD MADE GOOD 表示定位船位间的平均航速；SET 表示流向；DFT 表示流速；FORCE UPDATE 表示需要强行更新吗？如输入“1”表示开（ON），“0”表示关（OFF）。

(1) AUTO COR	
LATEST FIX	=02:38
PAST FIX	=01:58
CRS MADE GOOD	=123.5DEG
SPD MADE GOOD	=10.8KTS
SET	=078.2DEG
DFT	=0.03KTS
→FORCE UPDATE	=0 (1:ON 0:OFF)
AUTO DFT COR	=0 (1:ON 0:OFF)

当再按 NEXT 时，显示出 AUTO DFT COR，表示流向/流速偏离自动修正。如输入“1”表示开（ON），输入“0”表示关（OFF）。

这里要注意几点，即：（1）强行更新只对卫星最新定位才有意义，而且只能更新一次；（2）在下列情况时不能用流向/流速修正功能，即当风、流变化频繁时；当驾驶员在过去定位的船位间改变了航向或航速时；当航速小于8kn 时；（3）上两次定位的间隔少于30min 时，得不到流向/流速资料。

（3）航行计划（航线设计）特殊代码“2” 本功能是一个输入/显示功能，用来计算操舵航向、航程等有关资料，进行大圆航线的设计。

按特殊功能（SPECIAL CODE）键、→、2、→、ENTER，显示屏如图11-2-5所示。按 NEXT，输入航线设计出发点（FROM）的经纬度；再按 NEXT 输入目的地（TO）的经纬度；再按 NEXT，输入中途点的编号；再按 NEXT，显示第一个中途点的结果；如再按 NEXT，显示第二个中途点的结果；依次类推。

显示结果说明：其中 WP 表示中途点的编号；L/L 表示中途点的经纬度位置；R/B 表示从前一个中途点到现在中途点的航程和方位；TTG 表示各分段点的航行时间；TOTAL R 和 TOTAL T 表示从出发点到现在中途点的总航程数和总航时数。

（4）特殊代码“3”，预置航行操作

本功能为输入功能，用来确定偏离航线和到达警报区发出报警声号。

按特殊功能键、→、3、→、ENTER，显示屏上如下显示

(3) MONITOR	
→WP TO←FROM	=12←11
ARRIVAL	=02.0NM
OFF-COURSE	=01.5NM
ALRAM ON/OFF	=0 (1:ON 0:OFF)
WP TO←FROM	=??←??

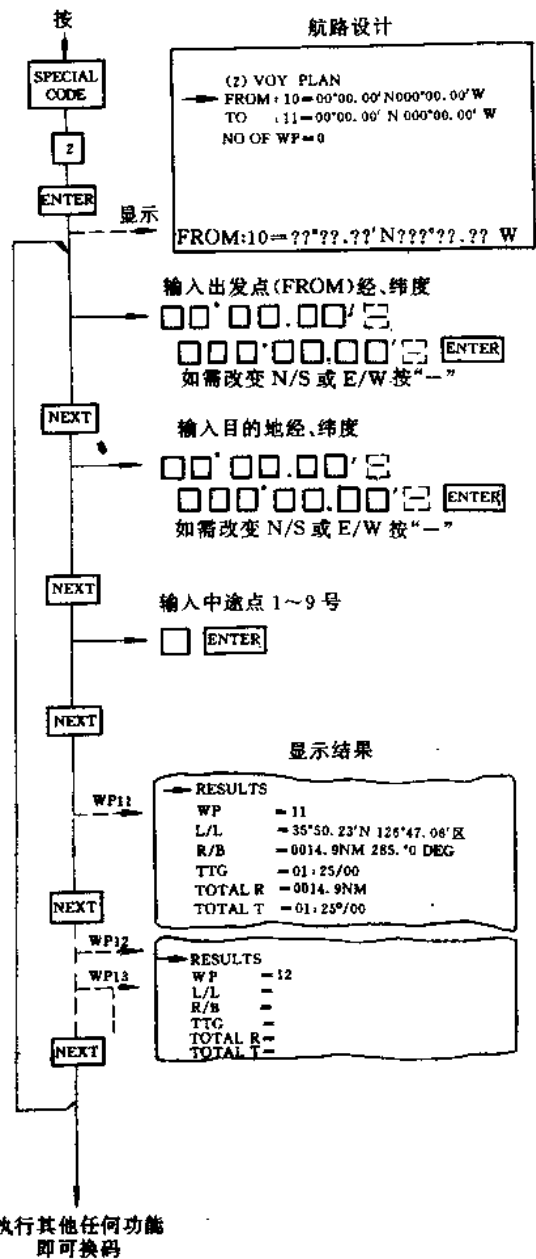


图 11-2-5 航行计划操作及显示

从 TO←FROM 项输入中途点的编号,如11号中途点到12号中途点,则按12←11、ENTER;按 NEXT,输入到达报警距离范围 (ARRIVAL),设为2n mile,则按020、ENTER;再按 NEXT,输入偏离航线范围 (OFF-COURSE),设为1.5n mile,则按015、ENTER;再按 NEXT,输入到达范围区域内报警 (ALARM ON/OFF),如按“1”表示开 (ON);“0”表示关 (OFF)、ENTER。

如果要读出偏离航线值或要求返回原航线应采取的操舵航向,可调用 WP/NAV DISPLAY (导航功能) 键的第二项功能。

(5) 特殊代码“4”, 事项存贮 本功能显示事项存贮内容,如中途点位置、航程/航向、舵时、偏离航线报警等数据的贮存。对所需要的事项贮存,可输入一定的指令上锁,一直保存到只有输入“00……00”指令时,才能解锁,输入新的存贮项目。当输入事项超过10项时,以后事项将自行消除,即输不进。

① 上锁操作 按特殊功能 $\left(\begin{matrix} \text{SPECIAL} \\ \text{CODE} \end{matrix} \right)$ 键→、4--ENTER, 显示屏上将如右所示的显示:

其中 LOCATION 表示使用存贮单元号数,最右边的存贮号数是一个最后事项号; STORED 表示已上锁的存贮单元号数; →EU NO 表示所显示调出存贮单位某号的事项; TIME 表示事项的日期和时间 (格林时); L/L 表示本事项的经、纬度; COMMENT 表示本事项的指号; WP NO 表示本事项位置相应的中途点号数; PRINT 表示如与打印机联接,当触发本功能时,就可打印出所有事项的贮存数据。

(4) EVENT	
LOCATION	=7654321098
STORED	= 4 0 8
→EU NO	=8
TIME	=10FEB 12:35
L/L	=34°44.48'N 135°21.28'E
COMMENT	=0798 65-2111
WP NO	=3
PRINT	=0 (1:ON 0:OFF)
EU NO	=?

在使用中要注意:

a. 按下事项 (EVENT) 键时,会发生三种情况,即将现在船位存入事项存贮器中;或在 COURSE PLOT DISPLAY 航线设计显示上标画事项标记;或执行现在船位与事项的打印任务。

b. 不要把事项号数与中途点号数混淆起来。

② 取消/解锁操作 第二次按特殊功能 $\left(\begin{matrix} \text{SPECIAL} \\ \text{CODE} \end{matrix} \right)$ 键→4--ENTER,显示屏上将如右所示显示。

如要取消事项号数8,按8ENTER,再按 NEXT,然后输入指令,ENTER。

要解除该事项的指令号数,将箭头逐项移到 COMMENT 行,该事项存贮单元解锁,以便以后更新。

③ 存贮转换操作 按功能键 WAY POINT SPECIAL INPUT → CODE →4--ENTER,显示屏将如右所示显示。

输入事项单元号码□ENTER,按 NEXT,将箭头逐项移到“WP NO”行,输入中途点号码□ENTER。接着执行中途点的输入或用 NAV MONITOR (导航操作) 特殊代码3,以进一步进行 R/B、船时或偏离航线及报警的设计。

→EU NO	=8
TIME	=10FEB 12:35
L/L	=34°44.48'N 135°21.23'E
COMMENT	=0798 65-2111
WP NO	=3
PRINT	=0 (1:ON 0:OFF)
EU NO	=?

→EU NO	=8
TIME	=10FEB 12:35
L/L	=34°44.48'N 135°21.23'E
COMMENT	=0798 65-2111
→WP NO	=3
PRINT	=0 (1:ON 0:OFF)

④ 存贮打印操作 按特殊功能 $\left(\begin{matrix} \text{SPECIAL} \\ \text{CODE} \end{matrix} \right)$ 键→4--ENTER,显示出上述的数据,然后按 NEXT 将箭

头逐项移到“PRINT”行，输入“1”ENTER，即执行存贮打印功能。

(6) 柴油消耗显示，特殊代码5 本功能将显示在两个最新卫星定位间以每10n mile 或每小时的燃油消耗量，同时还显示剩余的油量。但必须预置油量的数值，并提供从燃油流量表中传来的脉冲信号。

按特殊功能 (^{SPECIAL}) 键→5→ENTER，显示屏上将如右所示显示。

输入燃油表起始计数□□□□□□、ENTER。

显示中 LATEST FIX 表示最新定位时间；LAST FIX 表示上次卫星定位时间；DISTANCE 表示两次卫星定位位置间的航程；LAPSE 表示两次卫星定位位置间的航时；前个 AUR FUEL 表示每10n mile 的平均耗油量；后个 AUR FUEL 表示每1小时的平均耗油量；前个 CUR FUEL 表示每10n mile 的即时耗油量；后个 CUR FUEL 表示每1小时的即时耗油量；FUEL COUNT 表示现在存油量，即起始量和耗油量之差数。

(5) FUEL	
LATEST FIX	=12:35
LAST FIX	=11:24
DISTANCE	=0014.5NM
LAPSE	=01:11
AUR FUEL	=0055 P/10NM
AUR FUEL	=0116 P/HR
CUR FUEL	=0091 P/10NM
CUR FUEL	=0109 P/HR
→FUEL COUNT	=9908265

(7) 航线设计的预置，特殊代码“6” 本功能用来预置或消除显示屏上的航线绘制，或用来确定航线绘制的时间间隔。

按特殊功能 (^{SPECIAL}) 键→6→ENTER，显示屏上将如右显示。其中 PLOT HOLD 表示同步标绘；PLOT CLEAR 表示清除标绘航线；MARK LINE CLR 表示清除航线标记；PLOT INTERVAL 表示标绘时间间隔。

当输入“1”时，能稳定目前的航线，1、ENTER；

按 NEXT，输入“1”，能清除目前的航线，1、ENTER；

再按 NEXT，输入“1”，能清除一切的标记及线，1 ENTER；

再按 NEXT，按表11-4输入时间间隔，□□□□“ENTER。表中 Entry 表示输入，ACTUAL INTERVAL 表示实际间隔。

(6) PLOT	
PLOT HOLD	=0 (1:ON 0:OFF)
PLOT CLEAR	=0 (1:CLEAR)
MARK LINE CLR	=0 (1:CLEAR)
PLOT INTERVAL	=01'00"
PLOT HOLD	

表 11-4 时间间隔对照表

Entry	Actual Interval
00'01"~00'10"	10
00'11"~00'20"	20
00'21"~00'30"	30
01'XX"	1 min
∴ (XX:any)	∴
∴	∴
99'XX"	99 min

(8) 接收到的数据显示，特殊代码“7” 本功能用来检索接收到的卫星数据，如与罗兰或奥米伽相联机时，还能检索相应的数据，并可控制是否打印卫星数据。

按特殊功能(SPECIAL CODE)键→7→ENTER, 显示屏上将如右显示

其中 SAT DATA PRINT 表示卫星数据打印, 当输入“1”时, 数据打印打开; SAT DATA 表示卫星数据; DOP DATA 表示多普勒数据; SCAN TIME 表示扫描时间; TUNE 表示音调; SIGNAL 表示信号; GEOID HEIGHT 表示大地水准面高度; LORAN LOP-1和 LOP-2 表示罗兰位置线1和2, 重复频率/时差; SNP-1 和 SNP-2表示位置线1和位置线2主台信噪比/副台信噪比; OMEGA LANE 表示奥米伽巷, A—C、C—D 和 E—F 表示台对代号, 后面数值代表巷数; ST/PH/SN 表示奥米伽同步台/相位/信噪比。

(7) RCV DATA	
SAT DATA PRINT	=0 (1:ON 0:OFF)
SAT DATA	=00/00000000
DOP DATA	=00/00000000
SCAN TIME	=000 SEC
TUNE	=15.6 00.0
SIGNAL	=12
GEOID HEIGHT	=+26.3M

LORAN LOP-1	=5970/47455.4
SNR-1	=90/89
LOP-2	=5970/17716.4
SNR-2	=90/67
SAT DATA PRINT	=? (1:ON 0:OFF)

OMEGA LANE	=A—C 0798.2
	=C—D 0900.5
	=E—F 0987.5
ST/PH/SN	=A/03/18
SAT DATA PRINT	=? (1:ON 0:OFF)

第 3 节 导航星全球定位系统

由于子午仪卫星导航系统不能连续定位, 两次定位间隔很长, 为弥补这一缺点, 又研制了新一代的卫星导航系统, 即全球定位系统, 简称 GPS, 又称导航星系统。

一、导航星全球定位系统的组成

如图11-3-1所示, GPS 系统由空间系统、控制系统和用户系统三大部分组成。

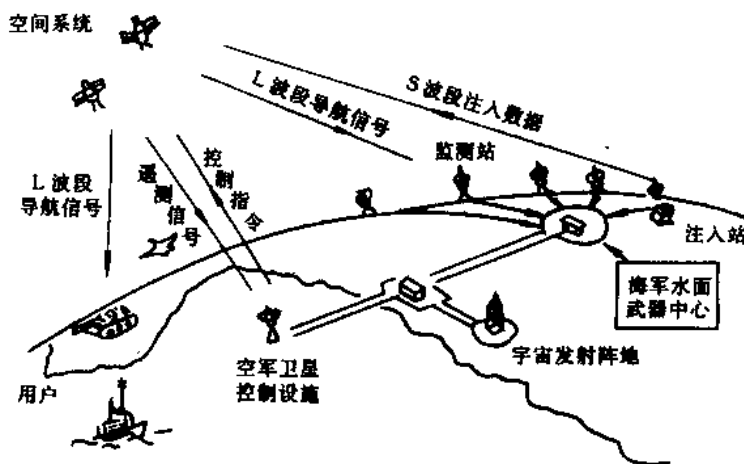


图 11-3-1 导航星全球定位系统组成

1. 空间系统 GPS 由18颗卫星组成宇宙空间卫星导航网, 18颗卫星分布在相隔60°的6个椭圆轨道上, 每个轨道平面上均匀分布3颗卫星, 以便在地球上任何一点、在任何时刻可以至少看到4—5颗卫星。用户就可同时或顺序接收4个卫星发来的信号, 进行定位和测定航速。

2. 控制系统 又称地面控制系统。它由主控站、注入站和监测站组成。

主控站控制整个地面控制系统的工作。它的主要任务是接收监测站来的数据,完成卫星星历和原子钟误差计算,产生向卫星发送更新的导航数据。

监测站的任务是负责跟踪通过上空的所有卫星,接收来自卫星的各种信息,这种信息,包括环境数据在内的气象数据,并将这些数据传送给主控站。

注入站和主控站设在一起。它的任务是将主控站送来的数据变换成导航数据,每天至少一次,分别注入各个卫星。同时还负责监测注入卫星的导航数据是否正确注入。

3. 用户设备 主要包括导航接收机和微型计算机。当接收天线接收卫星发射的导航信号后,从中提取卫星星历、距离及距离变化率、时钟修正参量、大气修正参数等送入计算机,算出用户在空间直角坐标系中的坐标,或将空间直角坐标转换成用户的其它坐标,并在显示屏上显示。

用户设备通常按使用要求如精度、运动速度及抗干扰能力的不同分为3类接收机。对于不要求高精度与运动速度较低的船舶来说,采用第三类“Z”型接收机,它仅能顺序跟踪4颗卫星,仅接收卫星信号中的粗测(C/A)码,故这种接收机较为简单,价格也较低。

二、导航星全球定位系统的定位原理

在一般情况下,确定用户到所选定的三颗卫星的距离,然后对这三个距离求解就可确定三维空间的位置。对于在地球表面的测者,测定两个距离就足以定位。距离的测定是通过测定电波从卫星到测者的传播时间来得到,这意味着接收机的时钟与卫星的时钟要精确地同步。实际上时钟存在着误差,因此所测得的距离称伪距离。此时测得的距离不是用户到卫星的真实距离,它还包括卫星时钟偏差、用户时钟偏差以及信号传播延迟所引起的测距误差。

如图11-3-2所示,用户使用非精密的钟测量到第*i*颗卫星的距离,即伪距离 R_{ip} 为:

$$R_{ip} = R_i + c\Delta t_{A_i} + c(\Delta t_{u_i} - \Delta t_{s_i})$$

($i=1, 2, 3, 4$)

式中 R 表示用户到卫星的真实距离; c 表示光速; Δt_{A_i} 表示传播延迟和其它时间偏差; Δt_{u_i} 表示接收机时钟偏离GPS系统的时间差; Δt_{s_i} 表示卫星时钟偏离GPS系统的时间差。

$$R = \sqrt{(X_u - X_s)^2 + (Y_u - Y_s)^2 + (Z_u - Z_s)^2}$$

其中 X, Y, Z 及 X_s, Y_s, Z_s 分别是用户及卫星在空间直角坐标系中的坐标。可见, R 是 X, Y, Z 的函数,故伪距离可改写为:

$$R_{ip} = R_i(X, Y, Z) + c\Delta t_{u_i} \quad (11.4)$$

可以看出,上式中有4个未知量,即用户的坐标 X, Y, Z 、钟差 Δt_{u_i} 。这样用户通过测量四个卫星的伪距离,建立四个独立的方程式。通过电子计算机的计算,最后把所需的数据在显示屏上显示。

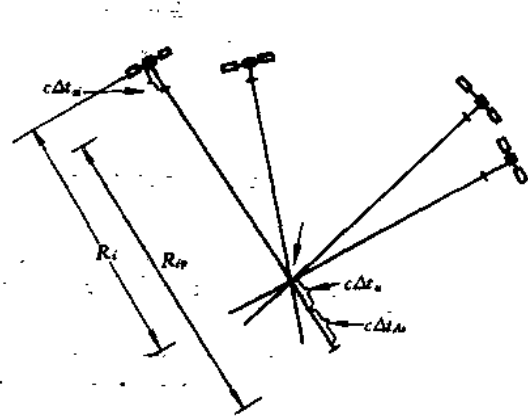


图 11-3-2 卫星信号在不同时间内的传播距离

三、导航星全球定位系统定位误差

导航星全球定位系统的定位误差除卫星本身及时钟误差外,主要是由各种引起测距误差的因素和定位几何因素。

(一) 电波传播误差 由离地面2万 km 的卫星发射的电波必须穿过电离层、对流层才能达到地面。由于电离层和对流层的折射,电波在传播过程中产生了与在真空中传播不同的情况。

1. 电离层的附加延时 主要是电波传播速度变化产生的附加延时。

2. 对流层的附加延时 对流层的附加延时与电波频率无关,其折射随温度、压力、湿度、高度等变化而急剧变化。通过对流层路径越长,对流层参量的变化范围也越大。此外,它对电波有吸收衰减,并把电波能量转化为噪声辐射,使接收机接收信号的信噪比变坏。

(二) 时钟误差 时钟误差直接变成测距误差。它由两种情况引起:

1. 时钟漂移 由热噪声、闪烁噪声、老化起伏及温度、磁场、振动等环境因素引起。

2. 时钟的相对论效应 根据相对论的观点,即使二个全同的时钟,由于它们运动速度不同及所处的重力场位不同,它们的走时也不可能相同。

(三) 星历误差 卫星的轨道参量主要由卫星速度和地球重力场决定。但地球的椭圆形、地球形状的不规则及地球质量分布的不均匀、地球内部的活动等及卫星受太阳、月球重力场作用和太阳光辐射压力作用的不规则性,就产生星历误差。

在导航星系统中星历误差引起的定位误差约为1.5 m。

(四) 设备误差 由于卫星发射设备及用户接收设备的电路延时,如环境因素、电路工作条件、元件老化、在电路中信号和干扰噪声的强弱等因子的变化,将产生固定的及随机的测距误差。

四、导航星全球定位系统卫星仪操纵使用

全球定位系统的卫星仪型号很多,现以 RS-5310型为例说明其操纵使用。

RS-5310型导航仪面板上有15个功能键,有些功能键具有多种功能。每个功能键的功能示在键盘上(图11-3-3)。当一个功能键与红色键组合,就产生特殊的功能作用。

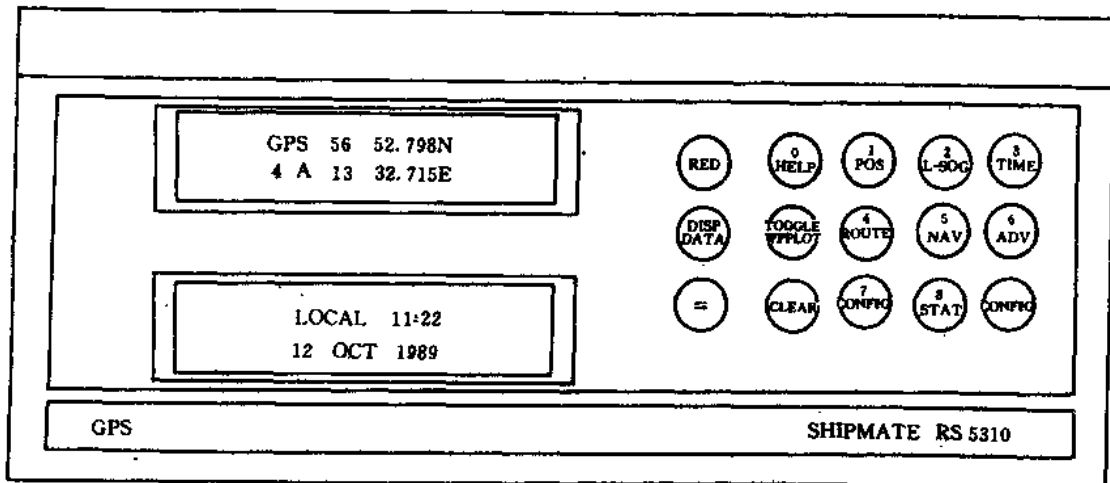


图 11-3-3 RS-5130型导航仪面板图

各功能键的意义表示如下表。

在这些功能键中,必须把有些功能键的作用牢记,以利于操作,如:

HELP (协助键) 在给定位时为用户提供有用的信息。

TOGGLE (转换键) 能有效地进行选择和在接通与断开之间进行转换。

CLEAR (清除键) 清除输入的错误数据,也可从 CONFIG (特殊功能键) 功能中退出。
















LIGHT (面板亮度键) 调节显示屏中数据显示的亮度。

RED、LIGHT 调节显示的反差。

2×CLEAR 按此键能停止显示。

本机有两个显示窗,可显示4行信息。上显示窗称“A”窗是主动显示,其第一行第一个字母下面有一段短线(游标),表示通过面板键输入的数据进入此窗;下显示窗称“P”窗是被动显示,它包括一些固定数据,如 HELP 信息,与“A”窗的数据有关。它们间可通过 RED 和 DISP 键在“A”和“P”窗中相互转换。

表 11-5 RS-5130型导航仪功能键

符 号	名 称	符 号	名 称
	红色键		导航键
	协助键		引航键
	位置键		箭头键
	方位、速度键		清除键
	时间键		特殊功能键
	数据输入键		卫星状态键
	转换键		面板亮度键
	航线键		

(一) 卫导仪的启动 按电源开关(绿色方键),等待几秒钟;

按面板上任何一键,出现面板显示。

如果大于30s后尚未启动,则用自检启动,此时对位置精度有很大影响。因此,要作有效的检查和可靠的校正。

按箭头键,显示船位。检查其精度是否在150km(约80n mile)以内。否则,按 DATA,输入正确的船位,DATA。

按箭头键,显示世界时(UTC)。检查时间精度是否少于30min。否则,按 DATA,输入正确的时间,DATA。

按箭头键,显示天线高度(m)。这很重要,如果不准确,则按 DATA,输入正确的天线高度(海面以上的高度),DATA。

(二) 如何插入新数据 按 DATA、输入新的数据、DATA,就可插入新数据或在卫导仪中编辑现有的数据。

当按 DATA 时,经校正后被接受的正确符号将闪烁。

如果不需要改变全部在显示屏上显示的符号,则按箭头键→移动光标到需要更改的符号下;如果离得较远时,可按 RED←,使反向移动到所需更改的符号下。

如果键插入错误,按 CLEAR 或用←返回,重做插入。

用 TOGGLE 键也可以改变数据,但上述的光标功能这里不能运用。

(三) 一般的定位、航向、航速和时间等测定 本机能利用 CONFIG POS 键连续进行从0~999min 积算船位的长距离导航。当超过积算船位时间及GPS不能覆盖时，可通过外接导航仪如罗兰、台卡、奥米伽等进行连续导航。它由 CONFIG POS 键自动转换。

1. 船位显示 按 POS 键，在显示窗“A”中显示如右所示数据。显示的位置未经修正。在G下面的数字表示导航卫星的数目；S下面的字母表示船位的精度，即A为好、B为较好、C为一般、O为不可使用的。

GPS	56	52.735N
4	A	9 45.438S

--	--	--

2. 航向和对地速度、计程仪 按 C-SOG 键，“A”显示窗将显示如下所示的数据，所示航向和对地速度由卫星直接测定，以度和节表示；M为航速值，可通过 CONFIG 键来改变。当GPS不能覆盖且连续有其它导航仪测定时，数据将由其它导航仪转换显示，如外接有子午仪时，显示屏上如右所示。其中TR表示子午仪，HDG表示航向，WSP表示对水速度。如显示为MAG，则表示由磁罗经转换的航向。

GPS	COG	210 DEG
M	SOG	12.3 KN

--	--	--

EXT	HDG	210 DEG
TR	WSP	12.3 KN

--	--	--

按箭头键，显示屏上将显示出计程仪的对地距离，如右所示。如按两次 DATA 键，显示屏上将显示出最后一次所设置的计程仪数据。

LOG	5472.8NM
2	NOV 1989

--	--

3. 流向和流速，外接导航仪的航向和航速 按 RED、C-SOG 键，显示屏显示如右所示数据，流向和流速以度和节表示，AUT表示自动计算的流向和流速，如手动输入的流向和流速，则以MAN表示。两者可通过 CONFIG 键相互转换。

SET &	DRIFT	AUT
124DEG	4.5KN	

--	--

当外接导航仪航向和航速显示时，可按箭头键执行。

4. 地方时和世界时 按 TIME 键，显示屏上显示地方时和日期。如需要修正时，按 DATA、输入修正的时间和日期、DATA 即可。

UTC	12:50
2	NOV 1989

--	--

按箭头键，显示屏显示世界时，如右所示。如需要修正时，可按 DATA、输入修正的时间和日期、DATA 即可。

5. GPS 导航时间 按 RED、TIME 键，显示屏上如右所示的显示。其中P1前的3表示在第一段时间中有3颗卫星可见。按箭头键，可了解到这段时间中用作导航的卫星一览表。通过 CONFIG 键可建立起在导航时间内可见最少卫星的数量。本机最多能接收9颗卫星，一般能保持3颗卫星。

3P1	11.27	17.23
P2	20.24	23.08

--	--

6. 在台卡巷中显示位置 按 POS、箭头键，当第一次使用本功能时，系统将询问使用台链号数，如为16台链，则按 DATA、1、6、DATA，显示屏上如右显示。其中R、G、P表示红、绿、紫台链；在台链和数字之间的字母表示区的数字；区号后的数字表示巷的数值。

GPS	RA	7.02
GC	38.65	PA 63.28

--	--

如果台卡所测位置与导航仪所测的台卡位置不一致时，应输入位置的偏离值。如已知台卡位置为RA7.25，而导航仪测得的台卡位置为RA7.02，则两者所测位置的偏离值为7.25-7.02=+0.23。同样可计算出G和P副台的偏离值。然后按 CONFIG、POS、箭头键、输入偏离值。在输入偏离值时，应按 DATA、输入R的偏离值、输入G的偏离值、输入P的偏离值、DATA。

如果上述的偏离值为负值时，则按 TOGGLE 键转换符号。

(四) 航线、航途转向点和导航 一条航线由若干转向点组成,本机的贮存器能贮存10条航线,以01~10表示。转向点的最大容量为200个,每条航线的转向点不能多于99个。

1. 航线的设定 按 ROUTE 键,选择航线编号,例如01,按 DATA、01、DATA,则显示屏上将如右显示。在显示器 A 中的上行01表示航线的编号;下行的01表示转向点号码。在显示器中 P 表示航线的功能和能够进行编辑。当按下 CLEAR 键时,数据全部清除。

如何在 01 转向点输入一个位置 (57°34'.000N, 009°42'.000S)。按 DATA、箭头键、5734000、箭头键、0942000、DATA 即可。当转向点位置输入后,显示屏“A”中的 P 将改变为 A。当须使 N/S 和 E/W 相互转换时,使用 TOGGLE 键来完成。

如果需要编辑或不需要改变全部图形时,可用箭头键或 RED、箭头键移动光标来解决。

当第1个转向点输入后,如果要输入第2个转向点时,按箭头键,重复上述步骤。

在选用转向点时,在以前的位置前出现一个字母,这些字母的含义是:

“A”为有效转向点,它是航线的一个部分,能使用于导航;

“P”为无效转向点,它不是航线的一个部分,不能用于导航;

“I”为在这数号上插入一个新的转向点;

“D”为在这数号上将删除转向点。

2. 航线计算 在航行前,如希望知道在航线上各转向点间的距离和时间时,按 RED、ROUTE 键,则显示屏“A”如右所示显示。当按 DATA、输入航线编号、起始点、对地速度、DATA,即可显示出某一转向点的数据。例如航线01,01转向点为起始点,对地速度为15kn,则按 DATA、01、01、15、DATA 即可把转向点01的数据显示在显示屏上。

按箭头键,可得到下一个转向点的时间和距离,如右所示的显示。逐次按箭头键时,就会获得该航线上到达其它各转向点的时间和距离。

如果按 RED、箭头键,就向航线的反方向移动。当消除此功能时,则按 POS 功能键。

3. 导航 导航功能组包括有导航功能、到达转向点的位置、转向点报警、XTE 报警(两转向点间的交叉航迹误差)、锚报警等。它们间可用箭头键或 RED、箭头键进行功能间的转换。

(1) 导航功能 此功能用来帮助寻找两转向点间最短的航程(仅用于大圆航行)和提供连续的操舵资料。

按 NAV 键,输入航线编号、沿航线向前或向后方向航行、起始点。例如航线01、向前方向、01转向点为起始点。则按 DATA、01、箭头键、01、DATA。至于向前(FWD)和向后(REV)方向用 TOGGLE 键转换。此时显示屏将显示出如右所示的资料。其中上行中01F表示在航线1上向前航行;划线表示是否在计划航向上航行;箭头号表示偏离的方向(向左或向右);数字表示偏离计划航向的距离(n mile)。下行中01表示驶向转向点的数号;B和D表示从船到转向点01的航向和距离。

当要了解下一个转向点的位置时,按 ADV 键。为了获得上述的导航数据显示,按 NAV 键。如此反复,直至航行结束为止。

(2) 报警 本导航仪具有转向点报警、XTE 报警和锚报警功能。最大报警距离为9.9n mile。

当要建立报警功能时,按 NAV、箭头键、箭头键。

建立报警距离时,按 DATA、TOGGLE、箭头键、输入报警距离(n mile)、DATA。

有效/无效报警,按 DATA、TOGGLE、DATA。

```
01P * * * * * N
01 * * * * * E
```

```
Route Edit Mode
Exit: CLEAR
```

```
ROUTE * * WP * *
SOG * * * KN
```

```
WP02 TIME 4:35
DIST GC 65NM
```

```
01F-----L0.01
01 B:270 D:1
```

转向点报警圆一般是以转向点为中心的一个圆形区域,如图11-3-4中①所示。在船沿计划航向线接近转向点1时,只要接触转向点的报警圆,即产生报警。而②和③则船不能接触报警圆,它将和计划航向线成一角度相交,由此将产生一条转向点的报警线。这样将按 CLEAR 或 ADV 键重置报警。

XTE 报警是用于欲需在两转向点间按计划航向线所允许的偏离所设置的报警距离时导航。因此,只要航向偏离而触及报警距离巷时,立即报警引起注意。当按 CLEAR 键时,即可重置报警距离。

锚报警用于船舶锚泊时发生锚位漂移超出一定范围时发声报警。一般以船为中心设置一定距离报警区。当锚报警处于 ON 位时,只要船舶移动超出报警圆时,即刻发出报警。同样,它可通过 CLEAR 键重置锚报警距离。

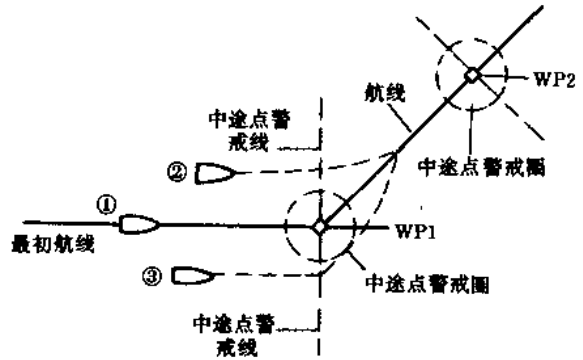


图 11-3-4 转向点报警圆

(3) ETA (估计到达时间) 计算 此功能提供沿航线航行时到达任一转向点的时间,以地方时表示。不过此功能只有在引航功能动作时才有效。

至于速度的计算是以船的对地速度为准。可通过手动方式输入速度。

如果在航线上向转向点2航行,其 ETA 值可按 RED、NAV 键。显示屏上如右显示。如要了解转向点6时的 ETA 时,则可按 DATA、06、DATA。

(4) 巡航速度 此功能是计算从现在船位以一定时间到达航途转向点所需要的速度。必须注意的是在使用此功能时,NAV 键应处在 ON 位。具体使用时,可按 RED、NAV、箭头键,显示屏上如右所示。此时,输入转向点的编号和航行时间,例如,转向点为06,航行时间为8h,则按 DATA、06、008、DATA,显示屏上即显示如右所示的内容。其中 TTG 表示需要航行的时间,ASR 表示所要求的平均速度。

(五) 状态和特殊功能 状态一般有两种表示形式。一种是表示导航仪的状态,它可通过按 STAT 键来获得;另一种是表示卫星系统的状态,它可通过按 RED、STAT 键获得。

1. 导航仪的状态

(1) 使用星历的状况

按 STAT 键,显示屏上将显示有哪些卫星在可视轨道上,并开始跟踪和用于导航。如右所示,将显示出最多有4颗卫星,上项中数字如11、13、14、19表示卫星的序号;其中 P 表示相位同步,如显示为 F 则表示频率同步,C 表示编码同步,D 表示数据解调。下行中 HDOP 表示卫星几何字的质量,其值在1.3到10之间,质量越好其值越低,最大可达20;AIP 表示导航仪可获得约5颗卫星的运动信息。当 AIP 以 3S 或 3D 代号表示时,其中 S 为检查,而 D 为数据解调。

按箭头键,如右所示,显示屏将显示接收卫星信号时的信噪比情况。例如数字13dB 表示第11号卫星信号接收时的信噪比。该数值最小为10dB,最大达15dB。当卫星升起和降落时,该值可暂时低于10dB。但当所

ETA WP02 AUT
16:46 6 OCT
WP * * Available time 000:00
WP 06 TTG 8:00 ASR 15.3 KN
11P 13P 14P 19P HDOP 4.1 AIP**
11 13dB 13 14dB 14 14dB 19 15dB

有卫星的信噪比值都低于10dB时，可能是由于天线安装有误差，需要检查。

再按箭头键，显示屏上如右显示出大于最小仰角时所有可见的卫星。至于最小仰角值，可通过 RED、STAT 或 CONFIG 键输入。其中 NO11 表示卫星是11号编号数；ST 表示卫星的状态。对导航仪来说，只使用一排均为0的卫星，除非最左的一个0为1时，只有唯一的例外。左边第1个0表示没有来自卫星的警告，如有警告时为1。当用 CONFIG 忽略卫星的警告，卫星才能用于导航；第2个0表示在卫星信号中没有信号或数据误差，反之为1；第3个0表示卫星被用户所接受，否则为1；第4个0表示对卫星进行搜索和数据解调，反之为1；第5个0表示导航仪接收机在接收卫星信号中未发现误差，否则为1；IN 表示卫星倾角；BER 表示卫星方位。

继续按箭头键时，就可连续检查其它卫星的状态，直至全部卫星为止。

(2) 不使用星历的状况 按 STAT 键，显示屏上如右显示，它表示不使用星历的情况。AIP 将短暂地显示在这一过程中那个卫星被搜索着。

按箭头键，将显示出被搜索成功的卫星。右侧显示表示无卫星被搜索的情况。

按箭头键，如果已知对某一颗卫星可以使用时，即可把它的编号通过 DATA、插入卫星的编号、DATA 键输入，则显示屏上如右所示。应该指出，了解可见卫星的编号是有用的，这样可减少从星历资料中寻找所耗费的时间。

2. 卫星系统的状态

按 RED、STAT 键，显示屏上如右显示出全部可利用的卫星。其中 TOT 表示在轨道上总的卫星数目；OK 表示可利用的卫星数目；DE 表示有数据误差的卫星数目；SE 表示有信号误差的卫星数目。

按箭头键，在 GPS 系统中哪些卫星可利用，哪些不能使用，在如右的显示屏上显示出来。其中“-”表示该卫星不能使用；“+”表示此卫星可以使用于导航；如出现“0”显示时，表示卫星被导航仪或用户中任何一方所排除。在显示屏中所显示的符号自上行最左端开始顺序排列到下行最右端为止，分别代表各自的卫星，即第1个符号代表第1号卫星……等等，直至最后，最多可表示24颗卫星。

当需要用手动方式消除某一卫星时，按 DATA、用 TOGGLE 键转换到 YES 状态、箭头键、插入卫星的数号、DATA。如果要撤消此功能时，只要置于 NO 状态，功能将全部消除。

按箭头键，显示屏将显示出询问讯号，如右所示。在某些场合，卫星会发射一些警告的信息，对这些警告信息，可以予以承认或希望忽略，如忽略此警告，则所测定的位置是不够正确的。当希望忽略此警告时，按 DATA、用 TOGGLE 转换为 YES、DATA 即可。

```
NO11 ST00000
IN51 BER288
```

```
NO ALMANAC
HDOP** AIP**
```

```
NAVIGATION SATS
NONE
```

```
SEARCH SATELLITE
NO.00 FIRST
```

```
TOT10 OK10
DE0 SE0
```

```
--++--+-++--++
++-+-+--+-----
```

```
NEGLECT SAT
WARNING; NO
```

如果想把仰角小于某一角度的卫星予以删除时，则按箭头键、显示屏上如右所示。此时，在决定仰角的角度条件下，按 DATA、插入角度数、DATA 即可。

按箭头键，显示屏将显示出如右所示的能够设置的最大 HDOP 值，HDOP 值对用户利用卫星进行测距所得的位置误差有影响。此值决定于卫星的布置情况。当卫星布置密集时，HDOP 值较高，效果较差；反之，布置稀疏时，HDOP 值较低，但效果较好。如果 HDOP 值超过插入值时，导航功能即将停止，待该值下降恢复到插入值时，导航功能将继续恢复。HDOP 值可在 6~99 间设定，一般设定该插入值时不超过 20。在需要插入 HDOP 时，可按 DATA、插入 HDOP 值、DATA 即可。

SATELLITE MASK	
ANGLE	5 DEG

--

MAX HDOP 8

--

3. 特殊功能 特殊功能主要用于校试，这些功能包括有：

按 RED、RED、1 显示未进行处理卫星的测量；

按 RED、RED、2 显示时基和偏差，以箭头键传递电离层修正量；

按 RED、RED、3 显示数据解调，以箭头键传递数据解调的结果；

按 RED、RED、4 显示自检，用 DATA、TOGGLE、DATA 进行有效的自检；用箭头键在六个测试位置中转动。当它接通时，始终是以自动形式进行自检，但在一次自检结束后，可以有效地进行手动自检。

按 RED、RED、6 显示导航仪自动监视功能的本身误差。导航仪将自动地处理任何一种可能产生误差的情况。用 DATA、TOGGLE、DATA 可以重复显示。

按 RED、RED、7 显示 RAM 电路的容量。用 DATA 键可选择称呼和数据形式。

按 RED、RED、8 显示 MASTER RESET，而星历等资料全部删除。有关 MASTER RESET 资料在工厂中已输入，只要按 DATA、TOGGLE、DATA 键，这些有用的数据，将在导航仪上全部显示出来。

按 RED、RED、9 显示一个单元软件型号的编号数。

4. 误差代码 当发生误差时，显光屏上将显示出各种误差代码，以便检查之用。代码有下列几种，分别代表误差产生在哪个单元。

代码 A：误差在基带计算机 ROM 中。

B：误差在基带计算机 RAM 中。

C：误差在基带计算机对偶端对 RAM 中。

D：“注入高的”错误值，误差在接收板中。

E：“注入中等”错误值，误差在接收板中。

F：“注入低的”错误值，误差在接收板中。

G：误差在 AGC 中，即误差在接收板中。

H：天线功率值有错误，检查天线的安装。

I：误差在代码发生器板中。

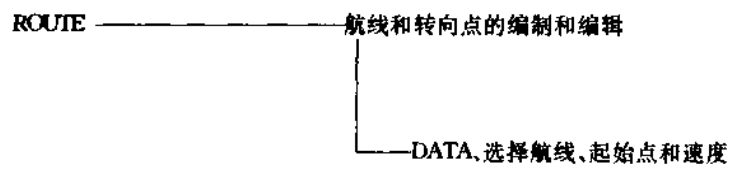
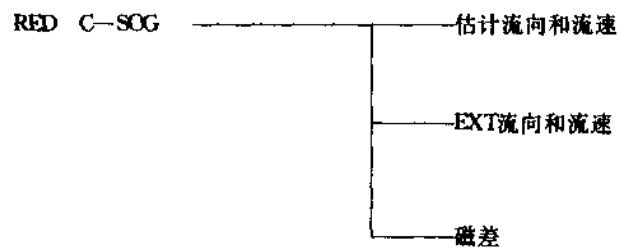
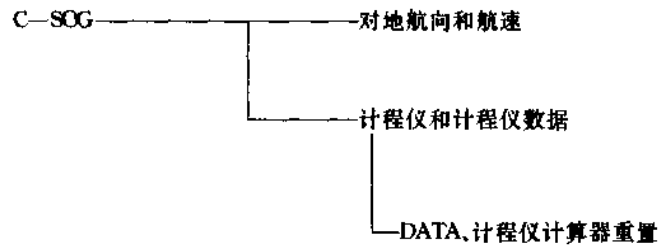
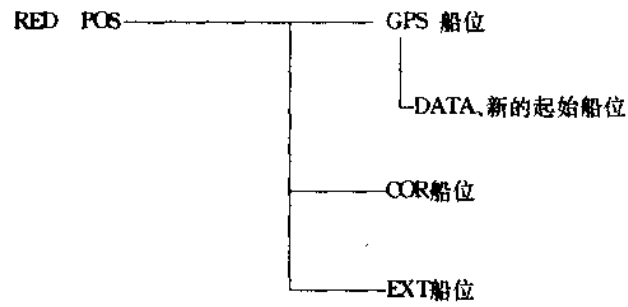
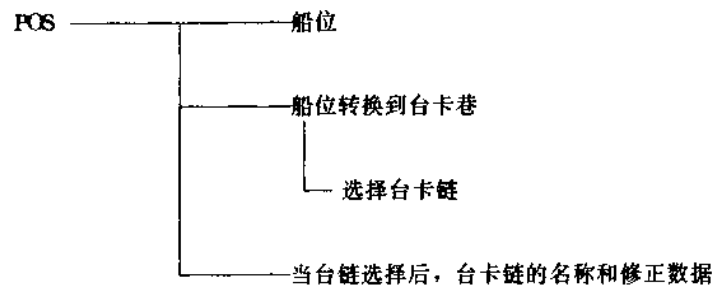
J：内部 5V 电源有错误，误差在电源板中。

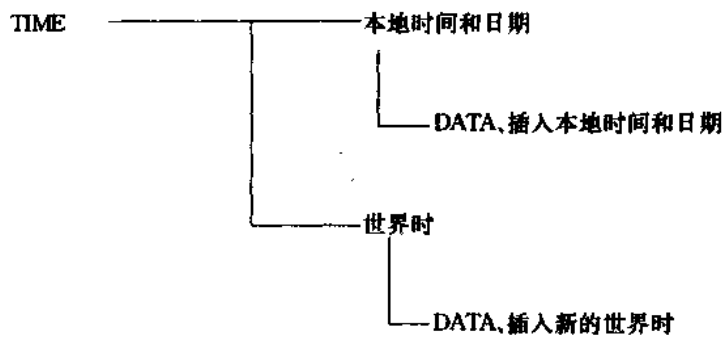
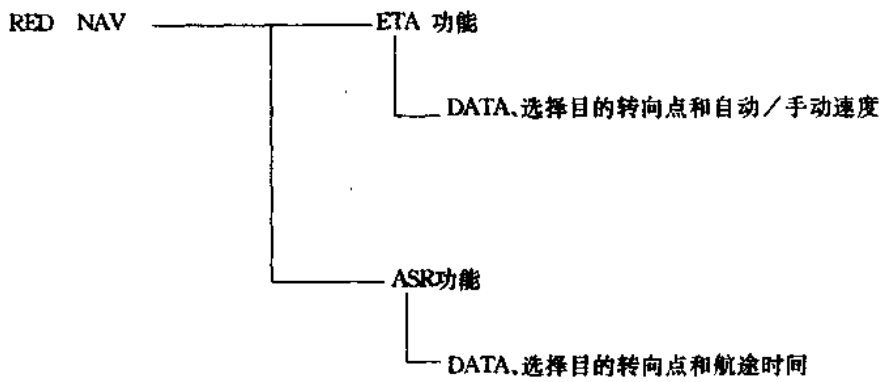
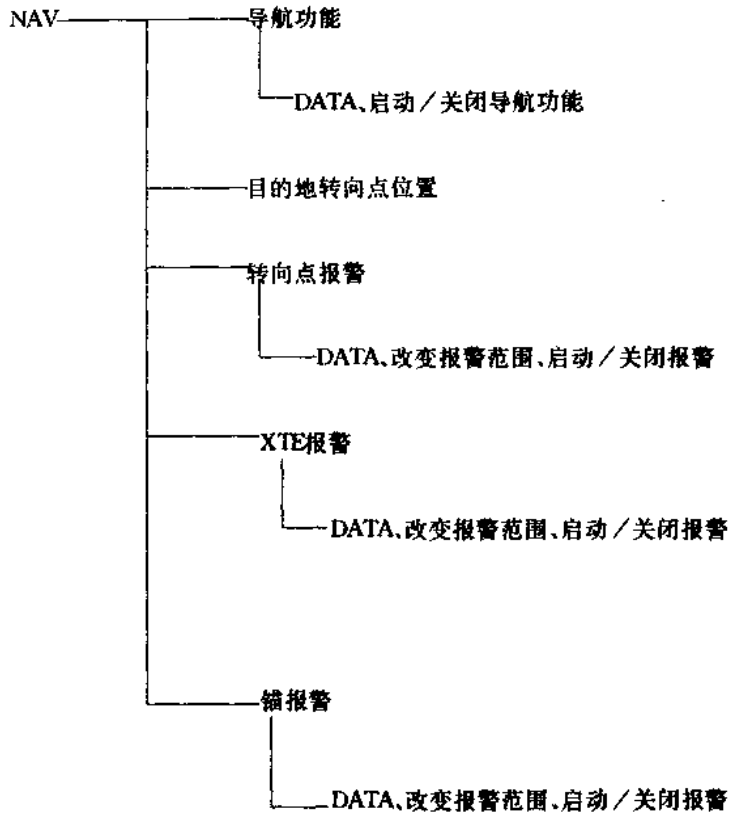
K：内部 12V 电源有错误，误差在电源板中。

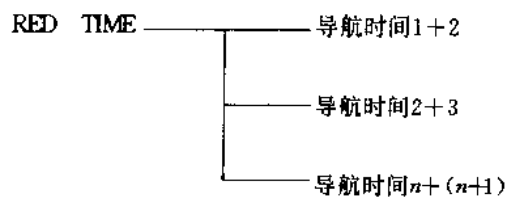
L：误差在导航计算机 ROM 中。

M：误差在导航计算机 RAM 中。

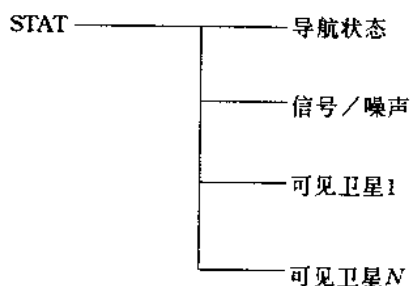
由于导航仪的功能是一个组合的群体，首先在选用具体功能时，要寻找出该功能的群体，然后按下箭头键直到该功能的出现。为了便于使用，将各功能群的作用总述列表如下：



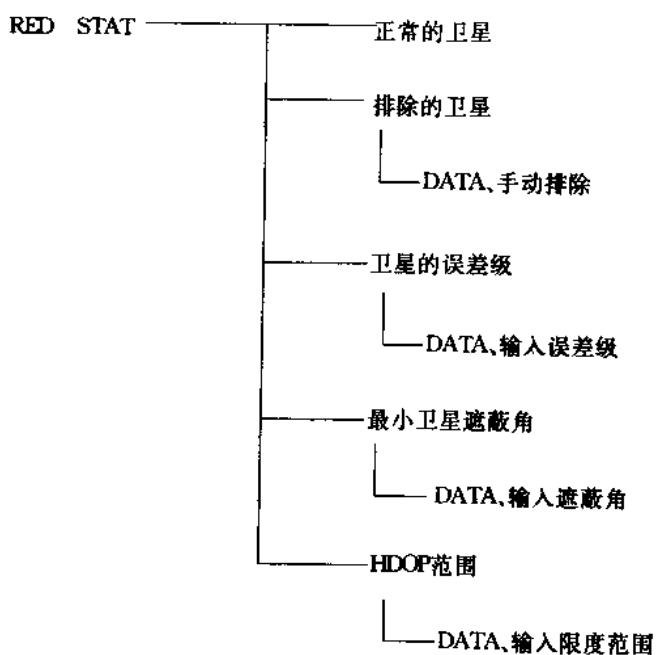
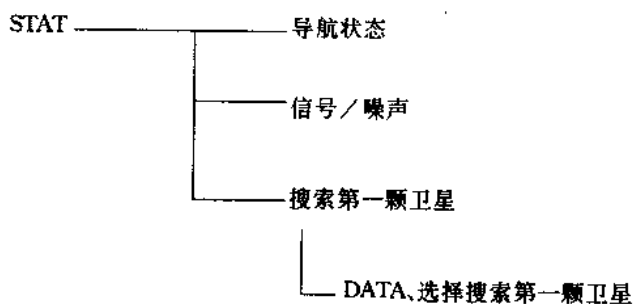




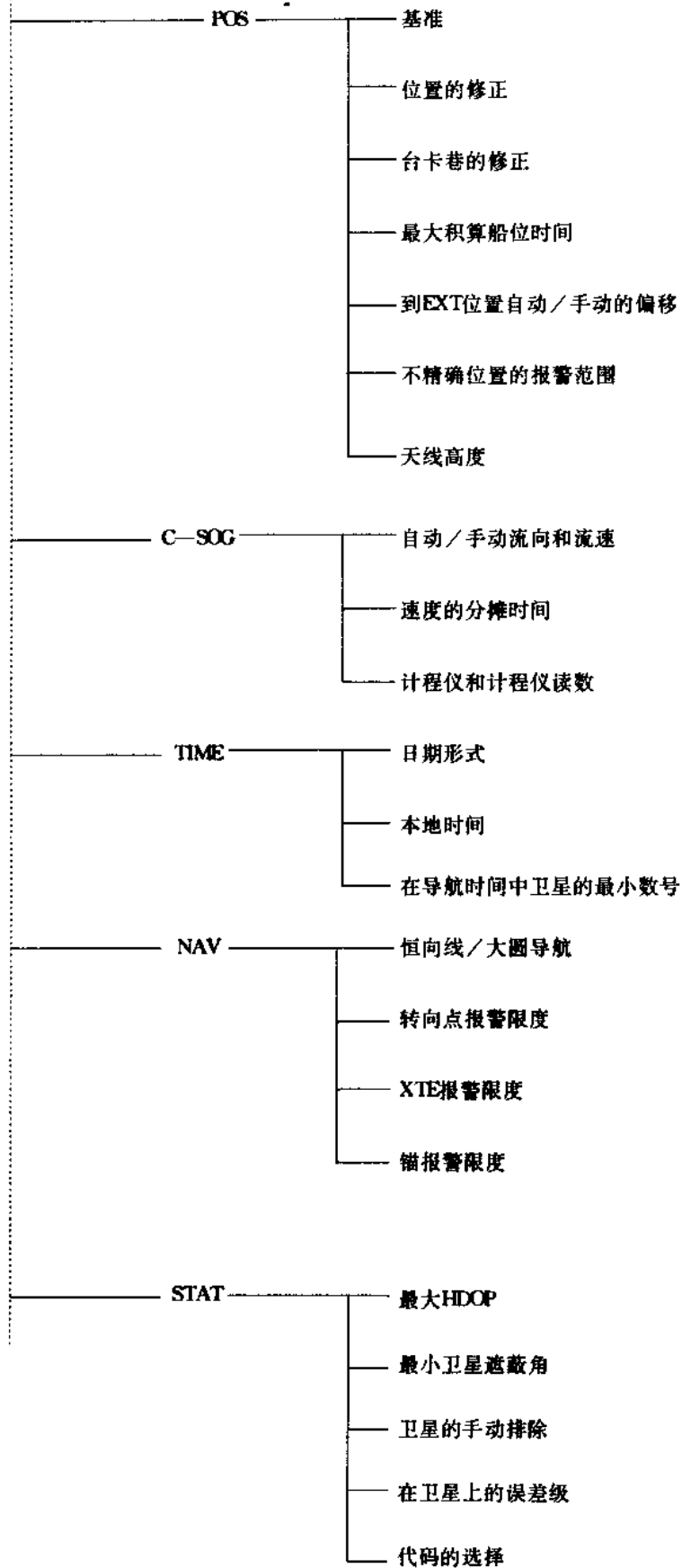
在使用星历情况下启动



在不使用星历情况下启动



CONFIG



所有CONFIG功能将由DATA键应答。

RED CONFIG——选择协定书
 └ 选择句子

ADV——在导航功能中从前一个转向点到下一个转向点

最后，把各功能键及组合功能键的名称和其功能以文字说明形式列表简述如下：

表 11-6 功能键总表

功能键名称	功 能
CONFIG POS	不确切船位的报警限度范围
NAV	锚报警
CONFIG NAV	
CONFIG POS	天线高度
CONFIG C-SOG	速度的分摊时间
RED C-SOG	流向和流速的计算
RED POS	位置修正
C-SOG	对地航向和航速
CONFIG TIME	日期形式
CONFIG POS	基准
CONFIG POS	积算船位时间
POS	台卡链、名称
POS	台卡巷
NAV	目的港转向点
ROUTE	航线的编辑
RED NAV	ETA
CONFIG STAT	卫星的排除
RED C-SOG	其它导航仪测定的航向和航速
RED POS	其它导航仪测定的位置
STAT	搜索第一颗卫星
RED POS	GPS 位置
CONFIG NAV	大圆导航
CONFIG STAT	最大 HDOP
CONFIG STAT	代码的选择
C-SOG	计程仪和计程仪读数
CONFIG C-SOG	
TIME	
CONFIG TIME	本地时间和日期
CONFIG STAT	最小卫星遮蔽角

(续)

功能键名称	功能
RED TIME	导航时间
STAT	导航卫星
STAT	导航状态
ADV	在航行计划中下一个转向点
RED CONFIG	NMEA 设定
CONFIG TIME	在导航时间中卫星的编号数
NAV	导航功能
POS	位置
CONFIG POS	位置偏移
CONFIG NAV	恒位线导航
ROUTE	航线、编制和编辑
RED ROUTE	航线计算
NAV	在航线中直线航行
RED STAT	卫星排除
RED STAT	卫星误差级
STAT	卫星遮蔽角
CONFIG STAT	卫星警告
CONFIG C--SOG	自动/手动流向和流速
STAT	信号/噪声
RED NAV	速度
TIME	UTC (世界时) 时
RED C--SOG	磁差
STAT	可见的卫星
NAV	转向点报警
CONFIG NAV	转向点设置和编辑
ROUTE	转向点设置和编辑
NAV	XTE 报警
CONFIG NAV	XTE 报警

第 12 章 其它无线电导航仪器

无线电导航仪器种类很多,除前述各章的内容外,在船舶定位和导航中还有一些常用的仪器,如无线电测向仪、台卡和奥米伽导航系统。这里作简要的叙述。

第 1 节 无线电测向仪

无线电测向仪 (radio direction finder, 简称 DF) 是测定岸上无线电台的方位以求得一条无线电方位位置线。如果同时测得两个或两个以上的无线电台的方位,就求得两条或两条以上的无线电方位位置线,它们的交点即可以确定观测时刻的船位。在海上,无线电测向仪也可以用来接收遇难船舶的呼救信号,确定遇难船舶的方位。此外,还可以利用陆上一个发射台的电波确定相对于该台方向的航向。

一、无线电测向仪测向原理

无线电测向仪是利用环状天线的方向性来测定无线电台所发射的电波传播到船上的方向。当环状天线平面与电波来向垂直时,无线电波同时到达环状天线的两侧,因此,两侧上感应同样大小的电压。由于这两个电压大小相等方向相反,合成电势为零,所以接收机无信号输出。当环状天线平面与电波平行时,电波到达环状天线两侧的先后时间相差最大,于是接收机输出信号最大。当环状天线平面与电波来向处于不同交角时,则随着交角的不同面产生强弱不同的感应电势。所以环状天线旋转一周时,电波来向和环状天线感应电势的关系在极坐标上表示为“8”字形图。

为了用环状天线求得电波的来向,将环状天线旋转一周,可求得两个信号最强点和两个信号最弱点(哑点)(null point)。实践证明,根据信号最弱点来求得无线电台的方向比较准确。但是,在环状天线旋转一周中将出现两个最强和两个最弱信号点,即存在双值性,它们的方向差 180° ,所以不能确定电波来自哪个方向。

定边 (Sense determination) 或定向就是决定无线电台的方位。在定边时,除了环状天线外,还需要另加一条无方向性的垂直天线。由于垂直天线在各方向上接收信号的感应电势均相等。因此,垂直天线和环状天线所引入的感应电势两者相合后即成心脏形图。这时,当环状天线在一周范围旋转时,将只出现一个哑点,这样就确定了无线电台的方向。

二、无线电测向仪的操作使用

无线电测向仪的种类很多,目前应用较为广泛的是单频道目测式测向仪。现以小型单频道目测式测向仪 KS-321-UA 为例说明各部件的功能及操作使用方法。图 12-1-1 表示整机的连接方式和它的面板布置。

1. KS-321-UA 测向仪各控钮及部件的功能

① 电源开关和电源电压调节开关 当开关置于位“1”时,电源电压为115V;“2”位时,电源电压为100V;“3”位时,电源电压为90V。用电表测量时指示6~6.4V。

① 电压表转换开关 A (~) 灯丝电压6~6.4V; B (+) 直流电压 $4.5 \times 5 (\times 50) V$ 。

② 测向——接收转换开关 正常时开关放在测向 (DF) 位;用作接收机时,开关往下扳。

③ 增益调节旋钮 将“增益”旋钮置于“0”位时,调整示波管上的图形为正圆形;当工作在“测向”时,此旋钮用来调节螺旋桨状图形的大小。

④ 中心调节旋钮 里圈小旋钮调节图形上、下位置;外圈大旋钮调节图形左、右位置。同时调节两个旋钮可使图形居中。

⑤ 图形直径调节旋钮 调节此旋钮可改变圆的大小。

⑦ 波段转换开关 可转换三个波段,即无线电标波段:200~610kHz;中波广播波段:600~1700kHz;中短波波段:1650~4000kHz。

⑧ 调谐旋钮 用来调节频率,接收所需电台的信号,直至示波管上出现最佳的螺旋桨状图形。

⑨ 拍频振荡器开关 在接收等幅波电报信号时,利用拍频振荡器的扬声器可以听到拍频声。

⑩ 示波管 用来显示图形。没有信号时,荧光屏上显示一个圆形图形;接收信号时,显示螺旋桨状图形。

⑪ 方位线手轮旋钮 调节手轮可以将机械方位线调到螺旋桨叶片的中心线上,从而读出无线电台的相对方位。

⑫ 定边按钮 当荧光屏上出现螺旋桨状图形后,按此钮,看图形所在侧的箭头,其指向即为无线电台的方向。

⑬ 航向调节旋钮 转动罗经度盘,将分罗经读数放在红线上,即可测量无线电台的陀螺罗经的方位。

⑭ 罗经度盘 它由航向调节旋钮来调节。

⑮ 机械方位盘 它是一种固定的船首方位刻度盘,是误差校正的基础。平时可用来测无线电台的舷角。

⑯ 音量调节旋钮 用来调节音量。

⑰ 刻度照明开关 用来控制方位刻度和频率刻度的照明,可视周围环境亮度来控制开关的通或断。

⑱ 自动音量控制开关 用来控制自动音量控制电路的接通或断开。

2. KS-321-UA 测向仪的操作使用 开机前的准备工作:接通船电开关;通知报房让出垂直天线,并在测向时暂停使用发报机;接通垂直天线。

开机:将电源开关拨向“开”(ON)位,预热1min后,调节电源开关至“1”、“2”、“3”三档中最接近或符合规定的使用电压;调节图形直径旋钮,使荧光屏上的光点最小;调节中心调节旋钮,使光点准确地位于方位标尺的中心小孔;再调节图形直径旋钮,使图形由光点扩大到刚好充满屏幕,或再缩小1/10左右。

测向:将测向、接收开关置于“测向”位;将波段转换开关转到所需接收的波段位置;缓慢地调节调谐旋钮,寻找所需无线电台的信号。当信号出现后,荧光屏上的图形就发生变化;若接收信号较弱,断开自动音量控制开关。接收信号过强时,则接通自动音量控制开关;调节音量旋钮,使信号有适当的音量;调节增益调节旋钮,使螺旋桨状的图形大小适当、细长尖锐。这需要反复调节增益旋钮、图形直径旋钮和调谐旋钮才能获得较为理想的螺旋桨状的图形;调节航向调节旋钮,将当时的分罗经读数对准方位刻度盘上缘的红色指针;转动方位线手轮,将机械方位线与螺旋桨叶片的中心线吻合;按下定位按钮,看图形所在侧的箭头,其指向即为无线电台的方位。这时,在固定刻度盘上就可读取舷角。

三、无线电测向仪自差的产生及其测定

无线电测向仪是利用环状天线切割无线电台发射的电磁波产生感应电势。但是,在环状天线周围的金属物体如船体、上层钢铁建筑、桅杆、烟囱、船上天线和金属索具等受电磁场的影响而感应了电流,这种电流又在导电物体周围产生二次电磁场。二次电磁场与所观察的无线电台的主电磁场一起对测向天线

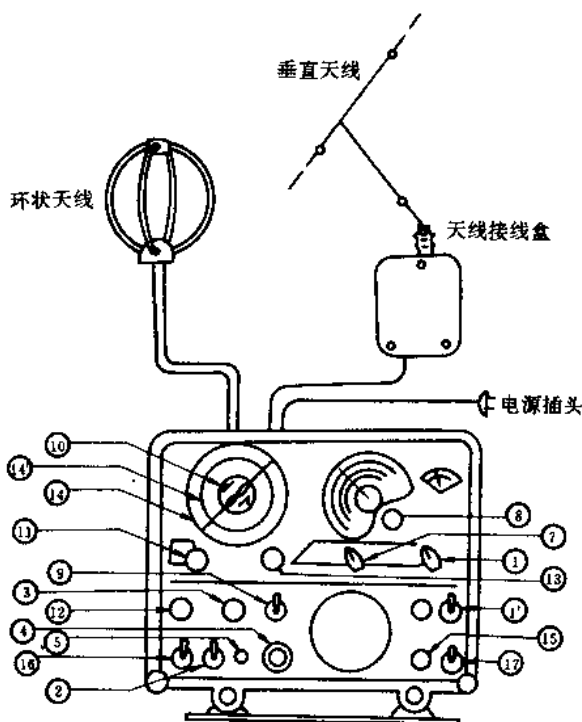


图 12-1-1 KS-321-UA 测向仪的组成及面板

起作用。由于两个电磁场迭加的结果，产生方向特性的变化，导致无线电测向仪在测定指向无线电台的方位时产生偏差，这种偏差叫无线电自差，以 f 表示。假设无线电台的无线电舷角为 Q_w ，无线电测向仪的舷角读数为 Q'_w ，则无线电自差 f 由下式决定，即

$$f = Q_w - Q'_w \quad (12.1)$$

因此，无线电舷角是无线电测向仪的舷角读数和无线电自差的代数和，如图12-1-2所示。

目前尚没有一种装置能防止上述的误差，所以在利用无线电测向仪定位时，必须预先测定无线电自差，作出无线电自差表或无线电自差曲线。当每次测定无线电台的无线电舷角时，必须将无线电测向仪的舷角读数加上无线电自差。

无线电自差 f 是随着被测无线电台的舷角变化而变化，不同的舷角对应着不同的自差值。所以应测定不同舷角时的自差。

测定无线电自差可采用测无线电台或由辅助船携带电台的方法。测定自差的船在电台附近旋转或自船抛锚由辅助船绕测定自差的船转圈。用罗经和无线电测向仪同时测定电台的舷角，用罗经测得的舷角 Q 减去无线电测向仪测定的无线电舷角读数 Q'_w ，便得无线电自差，即

$$f = Q - Q'_w \quad (12.2)$$

通常每隔 $10^\circ \sim 15^\circ$ 电台舷角测定一次无线电自差，这样便可得到电台在不同舷角位置上的无线电自差。为了可靠地测定无线电自差，应进行2~3次回转，取其平均值。当获取各点自差值后编制自差表，供以后航行中使用，如表12-1所示。

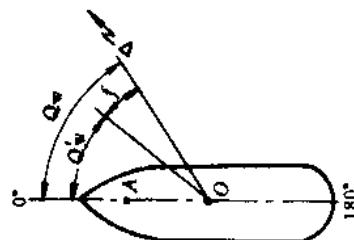


图 12-1-2 无线电自差的测算

表 12-1 无线电自差表

f	Q'_w	Q_w	f
-0.2°	360°	000°	-0.2°
-1.5°	345°	015°	+2.8°
-2.5°	330°	030°	+4.5°
-3.5°	315°	045°	+5.5°
-3.0°	300°	060°	+4.8°
-1.5°	285°	075°	+2.5°
+0.5°	275°	090°	+0.2°
+2.5°	255°	105°	-1.2°
+4.0°	240°	120°	-2.5°
+4.8°	225°	135°	-4.5°
+3.8°	210°	150°	-3.2°
+2.2°	195°	165°	-1.5°
+0.2°	180°	180°	+0.2°

根据自差表的数据，即可画出自差曲线。

船舶安装无线电测向仪后，必须先测定自差才能使用；以后每年修船及船上有关装备有变动时均应另行测定。一般情况下，每年应测定一次。在测定过程中应注意下列事项。

(1) 必须使测向仪处于正常工作状态，即船上所有天线应加以绝缘，船上设备和属具应按正常航行时的要求放置，并加以固定。

(2) 海上天气和能见度良好，船舶摇摆不大于 4° ，船体横倾角不大于 5° 。

(3) 不宜在日出没前后1h内进行测定。

(4) 无线电自差与船舶吃水有关，应分别在空载和满载情况下进行测定。

(5) 本船与被测电台间的距离不要太靠近，一般在1.5 n mile 以上，同时其间不宜有其它船舶或高大建筑物，也不宜在水陆交叉地带进行测定。

(6) 当船上的钢铁设备、金属属具、无线电天线与环状天线相对位置有改变时，或仪器进行过修理时，均应进行自差的校正和重新测定。

四、无线电测向定位

利用无线电测向仪测定位置线有两种方式，即“岸测船”和“船测岸”。由于它们测定方式不同，所得位置线的性质也不同。对船舶来说，船测岸的方式应用广泛，这里只讨论这类方式的位置线及其定位问题。

地面上两点间的最短距离是通过该两点的大圆弧，无线电波就是按大圆弧传播的。因此，在地面上测定的方位都是大圆弧的方位，称大圆方位 (GCB)，即经线与大圆弧切线的夹角。

因为大圆方位线画在墨卡托海图上是一条曲线，在海图上划曲线是困难的，但可以设法用直线来代替。如图12-1-3， M 为被测电台， KM 为测得的大圆方位线，方位角为 GCB。 KM 为恒向线 (rhumb line)，

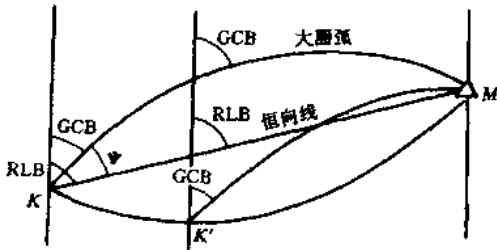


图 12-1-3 大圆改正量的形成

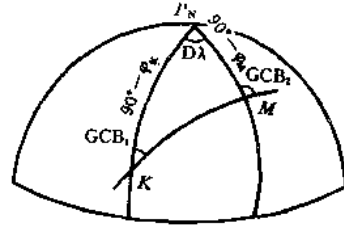


图 12-1-4 子午线收敛差

它与子午线的夹角为 RLB。从图可看出，大圆方位线与恒向线之间有一差角 Ψ ，称为大圆改正量，即：

$$RLB = GCB + \Psi \quad (12.3)$$

大圆改正量是两点之间的大圆方位和恒向线方位之差。可见，如知道目标的大圆方位及其大圆改正量，便可在海图上画出目标方位线。为了求得大圆改正量的数值，如图12-1-4所示，作大圆通过 K 和 M 两定点，并求出两点的经差 $D\lambda$ 。当船舶沿大圆弧航行时，在 K 点的航向为 GCB_1 ，而到达 M 点时其航向为 GCB_2 ，则航向的变动量 $GCB_2 - GCB_1 = r$ 就是 K 、 M 两点的子午线收敛差。根据球面三角形 $KP_N M$ ，由奈比尔公式得：

$$\operatorname{tg} \frac{GCB_1 - (180^\circ - GCB_2)}{2} = \frac{\cos \frac{KP_N - MP_N}{2}}{\cos \frac{KP_N + MP_N}{2}} \cdot \operatorname{ctg} \frac{D\lambda}{2}$$

经化简整理后为

$$\operatorname{ctg} \frac{GCB_2 - GCB_1}{2} = \frac{\cos \frac{\varphi_M - \varphi_K}{2}}{\sin \frac{\varphi_K + \varphi_M}{2}} \cdot \operatorname{ctg} \frac{D\lambda}{2}$$

$$\operatorname{tg} \frac{r}{2} = \frac{\sin \varphi_m}{\cos \frac{D\varphi}{2}} \cdot \operatorname{tg} \frac{D\lambda}{2}$$

式中 $\varphi_m = \frac{1}{2} (\varphi_K + \varphi_M)$ 称平均纬度。当式中 $D\varphi$ 、 $D\lambda$ 和 r 值都很小时，则

$$r = D\lambda \sin \varphi_m \quad (12.4)$$

如图12-1-5所示,在墨卡托海图上,GCB₁和GCB₂分别为K和M的大圆弧切线与其子午线的夹角,恒向线KM与子午线的夹角为RLB,则从图中看出,在K点的大圆改正量 $\Psi = \text{RLB} - \text{GCB}_1$,在M点的大圆改正量 $\Psi = \text{GCB}_2 - \text{RLB}$,于是 $2\Psi = \text{GCB}_2 - \text{GCB}_1 = r$,因此

$$\Psi = \frac{1}{2} D\lambda \sin \varphi_m \quad (12.5)$$

上式是大圆改正量的近似公式,为使用方便,在航海表中列出。根据经差和平均纬度就可查得大圆改正量 Ψ 的值。

由于在墨卡托海图上大圆弧呈现一条凸向近地极的曲线,所以可根据下述规则确定大圆改正量的符号:当测者和无线电信标都在北半球时,无线电信标的无线电真方位在 $000^\circ \sim 180^\circ$ 范围内, Ψ 为正值;无线电信标的无线电真方位在 $180^\circ \sim 360^\circ$ 范围内, Ψ 为负值。当测者和无线电信标都在南半球时符号规则相反。

在无线电方位定位时,由于无线电信标的作用距离大多在150nmile以内,而大圆修正量在一般情况下都是一个较小的值。因此,往往是从无线电信标按恒向线方位的逆方位线作位置线,不致引起很大的误差。由此,无线电测向定位的过程可简述如下:

(1) 将所测定的无线电测向仪的舷角读数换算为无线电舷角,即:

$$Q_w = Q'_w + f$$

(2) 将无线电舷角换算为无线电真方位,即

$$\text{RTB} = \text{TC} + Q_w = \text{CC} + \Delta c + Q'_w + f$$

(3) 将无线电真方位(大圆方位)换算为恒向线方位,即:

$$\text{RLB} = \text{RTB} + \Psi$$

(4) 在墨卡托海图上从无线电信标按恒向线方位的逆方位画出位置线。

如果能同时测得两条或两条以上上述的位置线,其交点即是无线电测向船位。

无线电测向定位的精度受很多因素的影响,如无线电真方位的精度、测者和指向标之间的距离及位置的交角等,前者是主要因素。影响精度的因素有下列几个方面:

1. 测定无线电测向仪的舷角的误差 从无线电测向的原理可知,哑点的大小直接影响无线电测向仪的舷角读数精度,面哑点的大小又取决于接收点的电磁场强度、测向仪的灵敏度和测者的熟练程度等。一般在良好条件下,无线电测向仪的舷角精度在 $\pm 2^\circ$ 以内。

无线电自差的误差也直接影响着无线电测向仪的舷角精度。虽然无线电自差表是根据实际测定后编制的,但真正的无线电自差与表列的无线电自差由于各种原因常常不一致。

2. 夜间效应 这是由于夜间电离层反射来的天波干扰了无线电信标直接传播来的地波,产生衰减现象,致使测向仪的哑点偏移和不清楚,使接收不稳定。

夜间效应的大小与被测台的频率和距离有关。频率越高,夜间效应越大;距离越远,夜间效应也越大。一般情况下方位误差约 $\pm 3^\circ$ 左右。

由于电离层变化最剧烈时在日出和日没前后一小时左右,在此期间,不宜用无线电测向定位。

3. 海岸折射误差 海岸折射误差是指无线电波在传播路程中当与海岸线相交时,由于电磁场相位的变化,使测向产生的误差。

海岸折射误差具有下列特性:

(1) 与当地地形有关。

(2) 误差值的大小与船岸间的距离有关。船岸距离近,海岸折射误差大;反之,折射误差小。当船岸距离大于10倍的波长时,折射误差可以忽略。

(3) 误差值的大小与电波传播的路径和海岸线的交角有关。当交角为 90° 时,折射误差最小;当交角小于 20° 时,折射误差可达 $3^\circ \sim 4^\circ$ 。

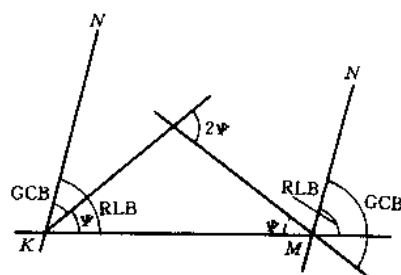


图 12-1-5 大圆改正量的测算

综上所述,无线电方位定位的精度是不高的,尤其当离无线电信标距离较远时,误差更大。由三条无线电方位位置线确定船位时,在出现较大的误差三角形时,可按陆标三方位定位时所出现的误差三角形作同样处理。

第 2 节 台卡导航系统

台卡(Decca)导航系统是无线电定位系统中的一种。它与罗兰同属于无线电导航中测距离差的双曲线导航系统,都是根据两条由距离差所确定的双曲线相交实现导航、定位的。

与罗兰不同的是台卡系统是通过测定两个连续信号之间的相位差而得到距离差,故称相位双曲线系统。台卡系统的精度较高,但它的有效作用距离较短。使用频率在70~130kHz波段。

一、台卡定位原理

台卡的发射系统一般按星形布局,如图12-2-1所示。中心位置设置主台(M),其它三个顶点分别设置红(R)、绿(G)和紫(P)三个副台,组成一个台卡发射台组,称台卡链(Decca chain)。

同一个台卡链中主、副台工作的基波频率相同,它们彼此以不同的发射频率来区别。当基波频率为 f 时,主台、红副台、绿副台和紫副台将分别在 $6f$ 、 $8f$ 、 $9f$ 和 $5f$ 上发射相位严格同步的连续波信号。

当台卡接收机分别接收到频率不同的各台信号后,将主台和各副台的频率倍增至最小公倍数频率,即比较频率,用相同的比较频率测定相位差。

台卡链都以所在地区命名的。为了便于选台,各台卡链除以地区命名外,还有各自的选台编号。选台编号以0~10中的一个数字和A—F中的一个字母

的组合表示。选台编号除为了便于区别各台卡链的名字外,主要是用来表征各台卡链主台发射频率,作为识别不同台卡链的依据。根据上述的组合,除最后数字10这个组例外,只有A、B、C三个分组。在台卡工作频率范围内,共可容纳63个台卡链频率。这63个台卡链频率是以5B链(85kHz)为基准,按一定的规则设置。全部63个台卡链的主台发射频率见表12-2。

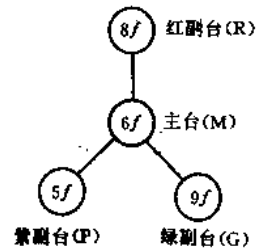


图 12-2-1 台卡发射系统布局图

表 12-2 台卡链主台发射频率表

(单位: kHz)

选台字母编号	A	B	C	D	E	F
0	84.095	84.100	84.105	84.185	84.190	84.195
1	84.275	84.280	84.285	84.365	84.370	84.375
2	84.455	84.460	84.465	84.545	84.550	84.555
3	84.635	84.640	84.645	84.725	84.730	84.735
4	84.815	84.820	84.825	84.905	84.910	84.915
5	84.995	85.000	85.005	85.085	85.090	85.095
6	85.175	85.180	85.185	85.265	85.270	85.275
7	85.355	85.360	85.365	85.445	85.450	85.455
8	85.535	85.540	85.545	85.625	85.630	85.635
9	85.715	85.720	85.725	85.805	85.810	85.815
10	85.895	85.900	85.905	—	—	—

为了易于区别和记述台卡链主台和三个副台组成的三个台对,对台卡链的三个副台分别以红、绿、紫命名,并使台卡接收机中接收这三个台对相位差的台卡表也分别以红、绿、紫三种颜色标示,同样在专用的台卡海图上也以这三种颜色复印出三个台对的台卡位置线图网。

主、副台的命名及代号如表12-3所示。因此，每个台对又都以两个台的代号字母的组合来表示。

表 12-3 主、副台的命名及代号为

名称	主台	红副台	绿副台	紫副台
简称	M	R	G	P
代号	A	B	C	D

台卡是以测定相位差来获得距离差的，因此台卡双曲线不像罗兰那样用距离差或时间差来表示，而是以相位差为零的点的轨迹为一条零相位差的位置线，这是由于相位计不能表示超过 360° 的相位差。由于台卡双曲线簇中有许多表示零相位差的位置线，因而在测定某一个相位差数值时，就产生了位置线的多值性问题。

在台卡系统中，将相邻两条零相位差位置线之间的区域称“巷”(lane)，则相邻两条零相位差位置线之间的距离称“巷宽”(lane width)。把若干巷合并成为一个“区”(zone)，每个台对一般包括有10个区，以字母A—J表示。红台对每个区包括24巷，巷值为0~23；绿台对每个区有18巷，巷值为30~47；紫台对每个区有30巷，巷值为50~79。为了准确地测定相位差，又将一个巷等分为100个“分巷”，分巷值为0~99。

台卡是用台卡计指示相位差的，三个副台各有其相应的台卡计。台卡计如图12-2-2所示，在台卡计中央的下方的显示窗显示区号，长、短两个指针分别指示外圈巷的数值和内圈分巷的数值。分巷指针（短针）旋转一周，巷指针（长针）移动一格，巷指针旋转一周，显示窗内区号字母转动一个字母。因此，读取台卡计上的区、巷、分巷值，就能在台卡海图上得到一条位置线，两条位置线的交点就是船位。如所读巷值与海图上巷值不一致时，在台卡海图上进行内插，方法与罗兰定位相似。

由于台卡位置线的多值性，虽然确定船位所在的区并不困难，但不能确定精确的巷值。为了克服这种困难，台卡由发射的巷识别信号，通过接收装置的另一仪表称巷识别计来读取巷码。巷识别计如图12-2-3所示，它由扇形指针、叉形指针和三个同心圆的刻度盘组成。叉形指针共有6根，呈 60° 角间隔排列；刻度

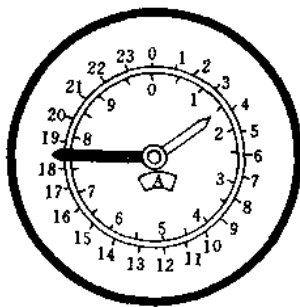


图 12-2-2 台卡计

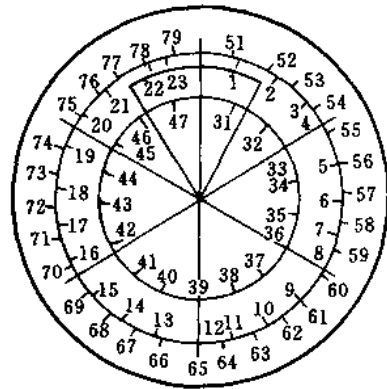


图 12-2-3 巷识别计

盘从内向外，依次为红色、绿色和紫色。巷识别时，只要读取扇形指针内的叉形指针所指示的巷值即可。巷识别计的基本原理与台卡计原理相同。

二、台卡操作使用注意事项

台卡操作使用时应注意下列一些事项：

1. 在接通电源约10 min后才能使用台卡接收机，否则接收机处于不稳定状态。如果用于测定时，必须在每次测定时进行零位调整。
2. 在正常使用台卡时，也应经常按下校正按钮，检查各台卡计的短针是否指示零位。同时按下校正按钮和测试按钮，检查各台卡计的短针是否向反时针方向转动到规定值，红台卡计约0.20巷；绿台卡计约

0.15巷；紫台卡计约0.25巷。

3. 在读取台卡计的指示值时，应按短针、长针和区的符号顺序进行。

4. 在远距离而且又是晚上进行测定时，由于巷的识别比较困难，测定精度往往下降。因此，进行测定时至少连续几次进行巷识别，在弄清巷码后再进行巷的设定。同时也应尽可能地多次进行船位的测定，减少测定中的误差。

5. 在晚上使用台卡接收机进行测定时，发现巷识别计所指示的巷码有误差时，应及时进行修正。修正的方法是每隔1 min 进行3次巷识别，如果3次巷识别的误差在0.5巷以上时，应重新设定台卡计中的长针，使误差在0.5巷以下。在修正好以后，还得再继续进行3次巷识别，以便检查其误差是否在0.5巷以下。

6. 巷识别读数对核对台卡计读数是具有参考价值的。航行中，如有可能，每隔一定时间记录一组巷识别和台卡计读数，并求得其差，作为判定是否应重新调整台卡计巷值的参考。当某个台卡计巷值读数与巷识别读数出现不一致时，不要轻易重调台卡计的巷数值，应该经过一段时间的连续测定比较后，再决定是否应予重调，特别是在夜间天波干扰较为严重的情况下更应这样作。

7. 在恶劣条件下，诸如雷雨等强天电干扰和高噪声干扰时，台卡计指针可能出现暂时的无规律性旋转或反方向转动，巷识别读数也会受到影响。待情况好转后，台卡计和巷识别将恢复正常。但在恢复正常后，应反复核对巷识别顺序和巷识别与台卡计读数是否正常。

三、台卡定位

台卡定位是根据台卡接收机连续测定并显示的台卡位置线的读数在台卡海图上进行定位的。在专用台卡海图上直接作图定位的方法与罗兰定位的方法相似。

1. 台卡海图 台卡海图与罗兰海图的绘制方法相似，它把台卡位置线投影在墨卡托海图上。图上台卡位置线与台卡链的三对台组相对应，分别以红、绿、紫三种颜色表示，每条位置线都标注有该位置线的区号和巷数。当在同一张台卡海图上印有二个或二个以上台链的位置线时，则每隔若干条位置线，标明该位置线所属台卡链的数字编号。台卡位置线一般每隔一巷或若干巷印一条，间隔内的位置线按内插法求取。

台卡海图的图号除保留原航用海图编号外，仅在编号前加印L (DX) 编号代号，如L (D5) 1892，表示该图只有一个台卡链。L 表示位置线图网；D5表示第5组的台卡链，其选台数字编号为5；1892是海图编号。

若在同一张台卡海图上印有一个以上台卡链的位置线图网时，则按下列形式给出台卡海图图号，如L (D1—D2) 1243，表示该图包括有两个台卡链的位置线图网。如果该海图中包括有两个以上台卡链的位置线图网时，则用L (D) (MC) 1408或L (D—MC) 1408表示，其中MC表示多链的意思。

在上述两种台卡海图中，都可能包括有交叉链 (inter chain)。包括有交叉链的台卡海图的缩写代号，以L (D) (IC) 表示。

在使用台卡海图时应注意：虽然台卡海图也属航用海图，但由于上面印有台卡位置线图网，对图上其它航海资料的醒目程度有一定影响，应予以注意。有的台卡海图上包括有两个链以上而比例尺较小，特别是一些多链台卡海图，因此在使用这些海图时，应尽可能选用比例尺较大的图，同时还应注意参阅该海区内有关的大比例尺海图，尤其在接近海岸和危险浅滩航行时，更应如此。

2. 台卡定位 利用台卡定位前，应抽选好所需的台卡海图，按航线先后顺序编号放好，尽可能选用比例尺较大的海图；根据本船概略位置，选定适于定位的台链和台组，并确定台卡定位起始的区和大概的巷，随后操作台卡接收机。如概略位置所确定的巷与实际船位所在巷不一致时，可根据巷识别读数对台卡计的巷数进行重调。待接收机正常工作后，即可根据台卡计读数在台卡海图上连续进行定位。

(1) 单链定位 进行台卡定位时，若不考虑各种可能的误差影响，即可直接按台卡计读数，在台卡海图上画出台卡船位线，两条台卡船位线相交，其交点即为所求的台卡船位。

当台卡计读数与图上图网位置线所标示的数值不一致时，必须在台卡位置线读数相邻的图网位置线

间进行内插，内插的方法与罗兰定位的方法一样。

例如，红巷读数为 $E7.20$ ；绿巷读数为 $H33.60$ ，求台卡船位。

定位时，在相应的台卡海图上，于推算船位附近找出与红巷读数相邻的两条红巷图网位置线，如图 12-2-4 (a) 中的 $E7$ 和 $E8$ 。然后用一个等分刻度比例尺交叉地放置在上述两条位置线间，使比例尺上的 10 等分间隔的两端刻度恰好与 $E7$ 、 $E8$ 两条位置线相交于 M 和 N 。由 $E7$ 与比例尺的交点 M 向 N 算起在第二等分刻度处定出 A 点，过 A 点作与相邻位置线平行的直线，即为 $E7.20$ 位置线。同样，在图 12-2-4 (b) 中求出绿巷 $H33.60$ 船位线。红、绿巷两条台卡船位线相交，如图 12-2-4 (c) 所示，其交点即为所要求的台卡船位。

台卡接收机一经启动后就能连续自动地跟踪船位并显示台卡卡位置线读数，因此利用台卡定位时，一般是每隔一定的时间进行一次定位。

(2) 跨链定位 为了提高台卡定位的精度，获得交角较好的两条台卡位置线，设想在相邻台卡链间，利用分属于不同台链的两个台对的位置线定位，这就是跨链定位。如图 12-2-5 所示，若利用 X 链的红巷位置线 (AB 台对的) 和 Y 链的绿巷位置线 (AC 台对的) 进行跨链定位。由于其交角较好，甚至可能接近 90° ，因此求得的船位准确度较高。

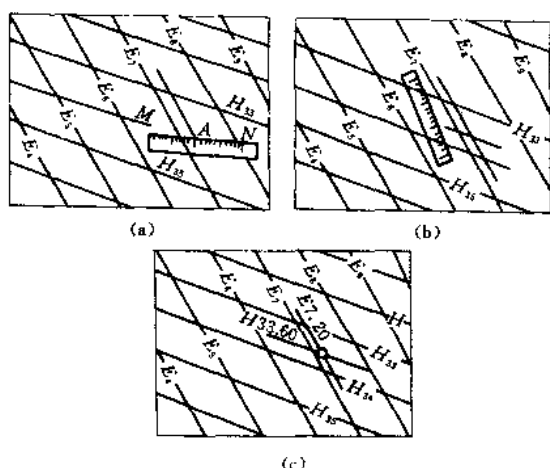


图 12-2-4 台卡单链定位

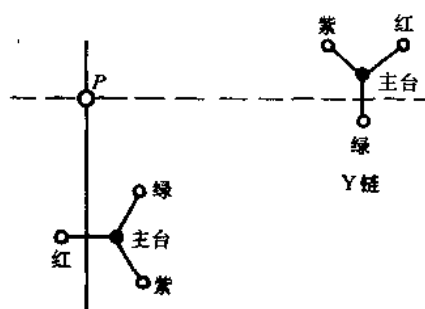


图 12-2-5 台卡跨链定位

应该说明的是跨链定位仅适用于可接收多脉冲发射的接收机。

(3) 台卡导航 由于台卡接收机具有连续工作的特点，因此为导航提供了方便条件。利用台卡导航的方法有下列几种：

1. 利用与航线平行的台卡位置线导航

若所拟定的航线与某个台对的台卡位置线平行时，如图 12-2-6 所示，则可以求得与该航线相一致的台卡位置线数值。假设为红巷 $B13.40$ 航行时，只要把舵保持红台卡计的读数与航线所在的台卡位置线的数值相一致，船即始终沿着拟定的计划航线航行。

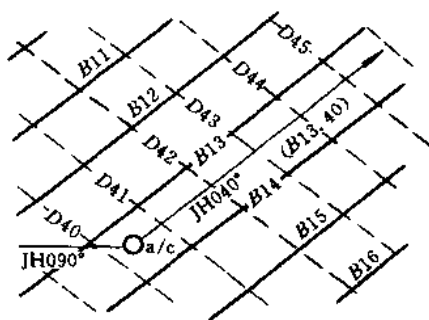


图 12-2-6 利用台卡位置线导航

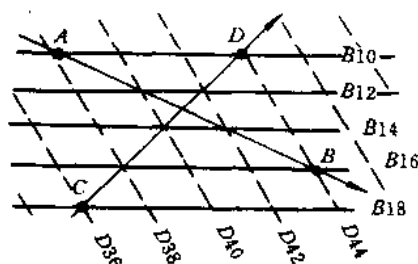


图 12-2-7 利用对角线导航

2. 利用与航线平行的台卡位置线图网的对角线导航 如拟定的航线与某两个台对的台卡位置线图网的对角线平行时, 则沿航线上各点的该两组台卡位置线读数的增大或减小是相等的或成一定比例的。如图12-2-7所示, 若红、绿两组图网位置线的间隔巷值相等, 当船由 A→B 方向航行时, 红、绿台卡计读数应以相等的速度率增大; 而由 C→D 方向航行时, 则红台卡计读数的增大率应等于绿台卡计读数的减小率。如按反方向航行时, 情况正好相反。

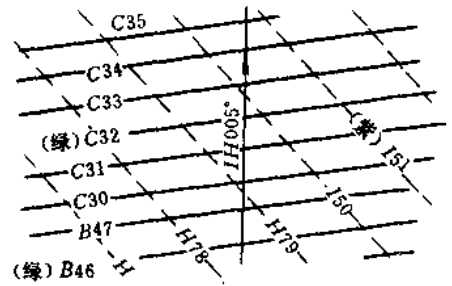


图 12-2-8 差异导航

3. 利用实测与预定台卡计读数的差异导航 这种导航方法是以通过计划航线上一系列选定点的各台对位置线数值

与实测所得相应的台卡计读数之间的差异为导航依据的。如图12-2-8所示, 首先在台卡海图上找到与计划航线交角接近90°的一组台卡位置线, 例如绿台对位置线。然后求出该位置线与航线在适当交角上的另一组台卡位置线的数值, 假定是紫台对位置线, 并事先列好表格作为导航的依据, 如表12-4所列。

表 12-4 预定与实测数值表

1	2	3	4	5
时 间 h min	绿巷数值 (预定)	紫巷数值 (预定)	紫巷数值 (实测)	操 舵 航 向
08 10	B45.0	H78.6	H78.6	005°
08 20	46.0	78.9	79.1	003
08 30	47.0	79.2	79.4	000
08 39	C30.0	79.5	79.6	003
08 48	31.0	79.8	79.8	005
08 58	32.0	150.2	150.1	007
09 07	33.0	50.5	50.5	005

导航前, 表中第2、3项数据应选定和预算好填入, 第1、4、5项是导航时的记录。航行中, 当绿台卡计读数等于第2项表列数值时, 立即读取紫台卡计读数并记录时间, 然后根据预定巷值和实测巷数的差异, 判断船是否航行在计划航线上。按表12-4所示情况, 如实测的紫巷读数较大, 即船位偏右, 应稍向左改变航向, 例如由005°改驶003°; 反之, 应稍向右改航向。这样就保证按计划航线导航。

四、台卡定位的精度分析

影响台卡定位精度的主要因素有:

1. 机器误差 机器误差包括发射台和接收机产生的误差。主要有两种, 即发射台的同步误差和接收机电路形成的相位差误差。

2. 电波传播误差 (propagation error) 这是基于电波传播特性而产生的误差, 有天波影响产生的误差和电波传播速度产生的误差。

当同时接收地波和天波时, 接收机收到的是天波和地波的矢量合成值, 与只接收到地波时的相位发

生变化。台卡海图是根据地波画出的位置线，因此产生误差。

电波在没有障碍物的海上传播与在陆上传播的传播速度不同。如果发射台和接收机间夹有陆地时，则实际上台卡位置线不是规则的双曲线，而是失真的双曲线。由于这种误差对某一接收点是定值，它可通过各定点进行实测求出修正值，并编制成图表供使用。台卡公司的资料中载有地区误差，它的最大值约0.4巷。

3. 台卡海图 与罗兰定位一样，台卡也存在台卡海图本身的误差和作图误差。

4. 本船与发射台相对位置产生的误差

与罗兰定位相类似，在基线上误差最小，基线延长线上的误差最大。台卡位置线的偏位误差可由下式表示

$$\Delta s = \Delta l \omega \cos \frac{\phi}{2} \quad (12.6)$$

式中 Δs 为位置线的偏差误差 (m)； Δl 为台卡计指示值的误差 (巷)； ω 为巷的宽度 (m)； ϕ 为接收点连接主台和副台而构成的张角。

第 3 节 奥米伽导航系统

奥米伽 (omega, Ω) 导航系统是一种远距离双曲线定位系统。是用接收机测定两个地面台所发射的等幅波的相位差来确定船舶与两个地面台之间的距离差，又称相位双曲线导航系统。奥米伽导航系统是由8个工作在甚低频 (10~14kHz) 波段的地面发射台组成的。是一种全球、全天候的导航系统，可供船舶在各海域中进行定位之用。

一、奥米伽系统定位原理

(一) 奥米伽导航系统的特点

1. 采用甚低频电波信号，传播时的相位很稳定，作用距离远，只需8个发射台其有效作用范围就能覆盖全球。

2. 发射台的基线很长 (5000~6000 mile)，双曲线的散度小，且位置线的交角很好，一般在60°以上，因此对测定船位有利。

3. 在地球上任何地点奥米伽接收机至少能收到4个奥米伽发射台的信号。因此，可选择定位条件较好的台组来测定船位。

4. 一对台组的位置线包括的地区很大，所以一旦调整好接收机后，在很长时间航行中能连续显示位置线读数。

5. 奥米伽系统中除发射作定位用的基本频率10.2kHz的电波外，还发射作为巷识别用的频率13.6kHz和11.33kHz电波。因此巷识别容易。

6. 与台卡导航系统相同，存在相位差位置线的多值性问题。因此，在调整接收机时需要识别巷。

7. 由于发射台的基线很长，从发射台发射的电波到接收点，电波传播路径很长。根据测定的地点、时间、季节等条件的不同，电波传播的速度有所差异，必须进行传播修正。此修正不但手续麻烦，而且精度较低。

8. 调整接收机的操作较麻烦。

(二) 奥米伽系统的发射和接收

1. 奥米伽系统的发射设备

奥米伽定位系统在全世界设立8个发射台，8个台依次定名为A、B、C、D、E、F、G和H台。8个奥米伽发射台的台名及其位置列在表12-5中。

奥米伽8个发射台以图12-3-1所示的时间分段顺序关系，每10s为一个重复周期，分别发射10.2kHz、13.6kHz和11.33kHz频率的电波。各信号之间都有0.2s的间隔，因此就防止了同一频率的相互干扰。测

定相位差使用各台的10.2 kHz 频率的电波；13.6 kHz 及11.33 kHz 频率用于识别巷。

表 12-5 奥米伽发射台的台名及位置

台的代号	台 名	位 置 (经纬度)
A	挪 威 (Norway)	66°25'15.00"N 13°09'10.00"E
B	利比里亚 (Liberia)	6°N 11°W
C	夏威夷 (Hawaii)	21°24'16.90"N 157°49'52.70"W
D	北达科他 (North Dakota)	46°21'57.20"N 98°20'08.77"W
E	留尼汪岛 (Reunion)	20°58'26.47"S 55°17'24.25"E
F	阿 根 廷 (Argentina)	43°03'12.53"S 65°11'27.69"W
G	澳大利亚 (Australia)	38°29'S 146°56'E
H	日 本 (Japan)	34°36'53.26"N 129°27'12.49"E

由于各个台都用10.2 kHz 频率发射，在接收信号时需要识别信号是属哪个台的。接收机可根据信号的强弱、信号的持续时间、接收信号与标准时的关系来加以识别。因此，只要能鉴别出 A~H 台中的任一发射台，就能由信号的发射顺序识别出其它台名。

奥米伽双曲线的基本原理与台卡完全相同。每一台组所构成的巷数约有600~800个。对应于这些巷，以中心线为900，分别注出各巷的序号，巷的序号前注有台组的代号。例如 A 台和 C 台所构成的946巷58厘巷的奥米伽双曲线，可写成 AC946·58。

为了进行巷识别，奥米伽系统除了发射10.2 kHz 的电波外，还发射13.6 kHz 和11.33 kHz 两个频率的电波。选择这两个频率的理由是：13.6 kHz 和11.33 kHz 的差频是3.4 kHz，它相当于10.2 kHz 的1/3。对于10.2 kHz 电波来说，基线上的巷宽约为8 n mile，而3.4 kHz 电波的波长是10.2 kHz 波长的3倍。所以3.4 kHz 的电波其基线上的巷宽约为24 n mile。同样，11.33 kHz 和10.2 kHz 的差频是1.13 kHz，它又是3.4 kHz 的1/3，巷宽为24 n mile 的3倍，即72 n mile。这样，就建立了精、中、粗三级位置线格网，其格网比为9:3:1。显然，当测定10.2 kHz 电波得到的一个分巷值时，在72 n mile 的范围内就有9条位置线适应于这一分巷值。当测定13.6 kHz 电波得到一个分巷值时，根据上述的原理可求得对应于3.4 kHz 电波的分巷值，在72 n mile 的范围内将有三条位置线适应于这一分巷值。当又测定11.33 kHz 电波得到一个分巷值时，同样可求得对应于1.13 kHz 电波的分巷值，在72 n mile 的范围内，只有一条位置线适应于这一分巷值。这样便可识别出对应于10.2 kHz 的9个巷中的哪一巷是正确的巷。



图 12-3-1 奥米伽发射台的时间顺序

2. 奥米伽系统的接收设备 奥米伽接收设备由天线、天线耦合器、接收指示器和应急电源组成，并可根据需要设置奥米伽用标准钟及打印机。

(1) 奥米伽信号的接收方式 由于奥米伽各发射台是按照一定的时间顺序发射信号的，因此在测定两台的相位差时，两台的信号不是同时到达接收点的。为了测定两台的相位差，需分别接收各台的信号，然后将其相位数据记忆在存储器中。例如测定 A 台和 C 台的相位差时，先测定 A 台信号与接收机的基准信号间的相位差，并将其测定值记忆在存储器中；然后再测定 C 台与基准信号间的相位差，同样记忆在存储器中。进行运算，将两个相位差相减，即得 A 台与 C 台的相位差。

(2) 段同步 (segment synchronization) 由于奥米伽8个发射台按图12-3-1的时间顺序发射信号的。当接收某个发射台的信号时，必须在该信号到达的短暂时间内进行测定。因此，需要接收机能产生与奥米伽信号的发射格式同步的信号，即接收机的段信号。当接收机产生的段信号与接收信号完全一致时，接收机就在其控制下，按时间分段格式选出要接收的奥米伽信号，并进行测量。这种接收机段信号与发射台各信号在时间上对准，称段同步。

二、全自动奥米伽仪器使用

自动奥米伽接收机就是采用微处理机，只要输入初始船位和时间，就能自动选择最佳的奥米伽信号、自动与奥米伽信号同步、自动进行巷识别、自动进行奥米伽电波传播修正。

典型的全自动奥米伽接收机的面板如图12-3-2所示。面板的左半部是显示部分，右半部由8个按钮开关和12个键的一组键盘。

8个按钮开关分别用于输入数据、显示和进行测试操作，它们是：

POS 用于显示或输入船位的经、纬度。

T/D 用于显示或输入时间和日期。时间和日期都采用格林威治标准时

(GMT)。时间的时、分、秒，每项都用二位数表示，日期按日、月、年的顺序，每项也用二位数表示。

DES 用于显示或输入目的港（或转向点）的经、纬度。

ALM 用于使报警蜂鸣器停止报警。

SP/C 用于每15 min 显示前1h 内速度的平均值（以 kn 表示）和1h 前所对应的航向（以度表示）。

GC 用于显示从现在船位到目的港（或转向点）的大圆距离（以 n mile 为单位）和相对于真北的方位（以度为单位）。

RHB 用于显示从现在船位到目的港（或转向点）的恒向线距离（以 n mile 为单位）和相对于真北的方位（以度为单位）。

TEST 用于进行奥米伽导航接收机内部检测。

面板右半部的键盘用于输入数据。其中数字键0~9用来输入数字。当按下某一数字键时，该数字就会在左半部显示面板上窗孔或下窗孔的最右边显示出来。如果再按下另一个数字键，原有的数字就左移一位。以后，依此类推。

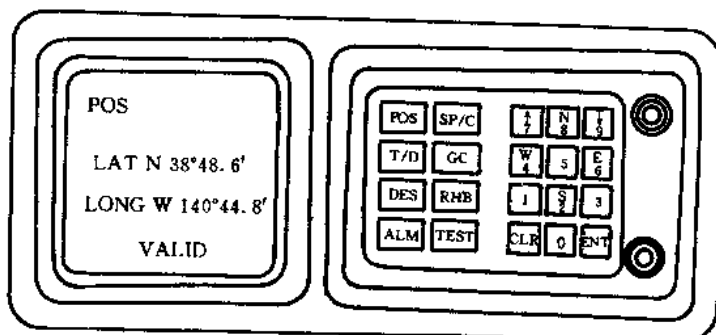








图 12-3-2 全自动奥米伽接收机面板

CLR 用于清洗错误的输入。

ENT 输入键。用于把键输入数据送给存储器。在**ENT**键按下前，计算机对任何键输入都不予接收。在正确的键输入之后按下**ENT**键，这时数据就会从显示面板上暂时消失，然后重新显示出来，这表示该数值被计算机所接受。如果键输入内容是错误的，则显示面板会闪烁数次，然后消失，仍恢复原来显示的内容。

  这两个键除了分别表示数字7、9外，还用于在输入数据前选择显示的上或下窗孔。

  这两个键除了分别表示数字4、6外，还用于选择输入经度是东经还是西经。

  这两个键除了分别表示数字8、2外，还用于选择输入纬度是南纬还是北纬。

面板的左半部是显示面板，直接显示定位的结果和输入数据的内容。

显示面板图12-3-3的上部有一排显示内容指示灯：POS、T/D、DES、SP/C、GC、RHB，表示当时显示面板上、下窗孔所显示的内容。中间有两排显示窗孔，上窗孔规定显示格林时、纬度、船速、大圆距离或恒向线距离等内容，下窗孔规定显示日期、经度、航向、大圆方位或恒向线方位等内容。下部有三个指示灯：ENT、VALID、ALM，由计算机控制。当ENT指示灯发亮时，表示机器还需要更多的输入数据。当输入数据得到满足后就停止发亮。当ENT指示灯闪烁时，说明信号有问题，包括没有接收到信号。VALID指示灯发亮，表示显示面板所显示的船位是可信的。当ALM指示灯以一定间隔闪亮时，表示机器出现故障或信号不可靠。故障的原因，可使用**TEST**按钮进行测试。

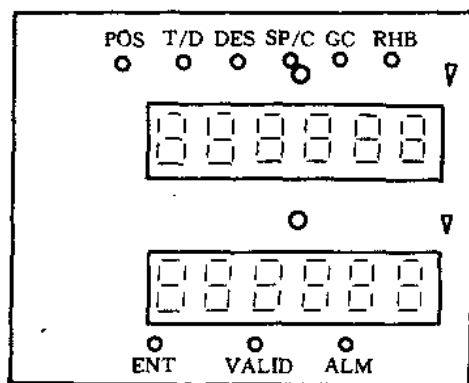





图 12-3-3 奥米伽系统接收机
面板的显示部分




关于全自动奥米伽接收机的操作使用，可按下列步骤进行：

1. 开启前面板右边的“电源”开关 这时蜂鸣器发响，显示面板的指示灯都闪亮。上、下窗孔全部显示数字8。如果要改变面板亮度，可转动位于电源开关上方的“亮度控制”旋钮来调整。显示面板下部的ENT指示灯亮，表示机器正等待着接受输入数据。


一般电源接通约20min后，就可以进行下一步操作。

2. 按下**POS**按钮，准备输入数据 这时显示面板上的POS、LAT、LONG指示灯都发亮。

3. 输入最佳初始船位 先输入纬度。按下键，选择上窗孔，这时N、S指示灯交替闪亮，只有再按下键（纬度是北纬）或（纬度是南纬）后，相应的指示灯发亮，上窗孔显示5个“0”，表示应输入5位数字。当初始船位的纬度通过数字键输入后，按下输入键**ENT**，这些数字暂时消失，然后重新显示出来，表示已被计算机接受。

再输入经度，方法和情况同上，仅改为按下键，选择下窗孔，再按下键（经度是西经）或（经度是东经），这时下窗孔出现6个“0”。当通过数字键输入经度及按下键**ENT**，待数字重新显示后，说明也已被计算机接受。

4. 输入时间和日期 按下**T/D**按钮，这时显示面板上的T/D、GMT、DATE指示灯发亮。

先输入时间。按下键，选择上窗孔。这时上窗孔全部为“0”。按时、分、秒顺序用数字键输入格林时间，允许误差在15min之内，但尽量要求准确。在要求时钟开始工作的瞬时，按下键**ENT**，时钟开始计

时。

再输入日期。按下键 \downarrow ₉，选择下窗孔。下窗孔全部为“0”，上窗孔继续计时。按日、月、年的顺序用数字键输入日期。按下键 \square ENT，数字暂时消失，然后重新出来，表示已被计算机接受。这时 ENT 指示灯停止发亮，表明全自动奥米伽导航接收机根据这些输入数据和接收到的奥米伽信号可以连续自动地计算出奥米伽船位。

综上所述，当1991年8月26日格林时间11h30min左右，在34°59'N、122°28'.0E处，如何启动全自动奥米伽接收机。

开启“电源”

POS							
\uparrow ₇	N	3	W	5	\downarrow ₉	0	ENT
\downarrow ₉	E	1	S	S	S	W	0 ENT
T/D							
\uparrow ₇	1	1	3	0	0	0	ENT
\downarrow ₉	S	E	0	W	\downarrow ₉	1	ENT

这时如果按下 \square POS按钮，就显示当时的船位；如果按下 \square SP/C，就显示出在此之前1小时内的船速和航向。

如果要知道到目的港或转向点的距离和方位，则应该把目的港或转向点的经、纬度像输入初始船位一样进行输入。然后再按下 \square GC按钮，求得大圆距离和方位，或者按下 \square RHB按钮，求得恒向线距离和方位。假设转向点的位置为35°00.2'N，122°25.0'E，则操作程序为：

DES							
\uparrow ₇	N	3	5	0	0	S	ENT
\downarrow ₉	E	1	S	S	S	5	0 ENT
RHB (或 GC)							

三、奥米伽定位

从奥米伽接收机测量出来两对或三对台组的奥米伽位置线读数，经传播修正量修正后，在奥米伽海图上画出相应的奥米伽位置线，它们的交点就是奥米伽船位。也可用奥米伽表进行计算，在航用海图上画出位置线，求得观测船位，其方法与使用罗兰表求观测船位基本相同。

(一) 奥米伽海图 奥米伽海图与罗兰海图一样，采用墨卡托投影，分别使用蓝、绿、紫、棕等颜色绘出各台组的位置线。在奥米伽海图上，两发射台之间有700~800条位置线，以两台间的中心位置线的巷号定为900，其它位置线的巷号相应依次编排，其顺序是越接近第1个台，巷号数越小，越接近第2个台，巷号数越大。考虑到图面清晰等原因，一般是每隔3巷绘印一条位置线。目前出版的奥米伽海图，都是10.2 kHz的，如要用于13.6 kHz或3.4 kHz时，可根据它们之间的比例关系求出。例如10.2 kHz的A-C933位置线，就是13.6 kHz的A-C1244 $\left(933 \times \frac{4}{3}\right)$ 位置线，也是3.4 kHz的A-C311 $\left(933 \times \frac{1}{3}\right)$ 位置线。其余类推。

(二) **奥米伽表** 奥米伽表册实际上分奥米伽表和奥米伽天波修正表(又称奥米伽传播修正表)两类。奥米伽表是奥米伽海图的副本,是将奥米伽海图的数据用列表形式表示出来。它的编排是将全世界分成编号为00~25的26个区域,每个区域中,每对台组构成1本表,所以奥米伽表很多。在每本奥米伽表的封面上印有 H. O. Pub. No. 224 (109) A~D 之类的字母和数字。其中 H. O. 表示海道测量局的缩写, Pub. No. 224 是出版物的编号,括号内的第一个数字表示工作频率,例如:“1”表示该表用于10.2kHz,第二、三个数字表示该表所覆盖的区域,后缀字母 A~D 表示是挪威—北达科他台组。

从赤道到北纬或南纬60°间,以纬度1°或经度1°的间隔列表。北纬或南纬60°~80°之间,是以纬度1°或经度2°的间隔列表。在北纬或南纬80°~90°间,是以纬度1°或经度5°来列表的。

奥米伽传播修正表和奥米伽表一样,也把全世界分成26个区域,在每个区域中每个发射台单独构成一本表。每本表的封面上印有 H. O. Pub. No. 224 (109—C) A 之类的字母和数字。其中,括号内第一个数字表示工作频率。“1”代表10.2kHz,如果是“2”,是表示差频3.4kHz。第二、三个数字表示该表所覆盖的区域,字母 C 表示该表是传播修正表。后缀字母 A 表示该表是针对挪威台的。

奥米伽传播修正表在纬度0°~45°之间是以纬度和经度每隔4°为基准点计算的;在纬度45°~60°之间是每相隔6°为基准点计算的;在纬度60°~80°之间是每相隔8°为基准点计算的。

(三) **奥米伽表册的实际使用** 现举例说明奥米伽表册的实际使用。

例:2月5日 GMT0400推算船位21°36'N、117°38'W,由奥米伽接收机读得 B—D996.00, C—D930.12。求0400GMT 奥米伽船位。

解:由传播修正表(表12-6、表12-7和表12-8)查得

表 12-6 10.2 kHz 的奥米伽传播修正量
(B台) (20.0°N 116.0°W)

日期	G M T			
	03	04	05	06
16~31JAN	-77	-78	-79	-79
1~14FEB	-77	-78	-79	-79
15~28FEB	-77	-78	-79	-79
1~15MAR	-77	-78	-79	-79

表 12-7 10.2 kHz 的奥米伽传播修正表
(C台) (20.0°N 116.0°W)

日期	G M T			
	03	04	05	06
16~31JAN	-33	-46	-51	-53
1~14FEB	-32	-45	-51	-53
15~28FEB	-30	-43	-51	-53
1~15MAR	-29	-42	-50	-53

表 12-8 10.2kHz 的奥米伽传播修正表
(D台) (20.0°N 116.0°W)

日期	G M T			
	03	04	05	06
16~31JAN	-44	-45	-45	-45
1~14FEB	-44	-45	-45	-45
15~28FEB	-43	-45	-45	-45
1~15MAR	-43	-44	-45	-45

B台	SWC	- .78	C台	SWC	- .45
D台	SWC	- .45	D台	SWC	- .45
(-)			(-)		
B-D台组	SWC	- .33	C-D台组	SWC	.00
B-D位置线			C-D位置线		
T_s		996.00	T_s		930.12
SWC		- .33	SWC		.00
(+)			(+)		
T_G		995.67	T_G		930.12

这时可根据 B—D995.67 和 C—D930.12 在奥米伽海图上直接绘出两条位置线，其交点即为 GMT04h00min 的船位。

或者利用奥米伽表按下述步骤求得船位。

表 12-9 C—D 台位置线表

纬 度	C—D 930	C—D931	C—D932	经 度
20°N	116°50.6'W $\overset{\Delta}{-118}$	116°38.7'W $\overset{\Delta}{-119}$	116°26.8'W $\overset{\Delta}{-119}$	
21°N	117°23.5'W $\overset{\Delta}{-117}$	117°11.8'W $\overset{\Delta}{-117}$	117°00.0'W $\overset{\Delta}{-118}$	
22°N	117°56.7'W $\overset{\Delta}{-116}$	117°45.1'W $\overset{\Delta}{-116}$	117°33.4'W $\overset{\Delta}{-117}$	
23°N	118°30.1'W $\overset{\Delta}{-115}$	118°18.5'W $\overset{\Delta}{-115}$	118°07.0'W $\overset{\Delta}{-115}$	
24°N	119°03.7'W $\overset{\Delta}{-114}$	118°52.2'W $\overset{\Delta}{-114}$	118°40.8'W $\overset{\Delta}{-114}$	

表 12-10 B—D 台位置线表

纬 度	B—D995	B—D 996	B—D997	经 度
	20°04.5'N $\overset{\Delta}{182}$	20°22.7'N $\overset{\Delta}{182}$	20°40.9'N $\overset{\Delta}{181}$	120°W
	20°37.6'N 178	20°55.5'N 178	21°13.3'N 178	119°W
	21°10.5'N 175	21°28.0'N 175	21°45.5'N 174	118°W
	21°43.2'N 171	22°00.4'N 171	22°17.5'N 171	117°W
	22°15.8'N 168	22°32.6'N 167	22°49.3'N 167	116°W
	22°48.1'N 164	23°04.5'N 164	23°21.0'N 164	115°W

T_G	995.67	T_G	930.12
T	996.00	T	930.00
(-)		(-)	
$T_G - T$	- .33	$T_G - T$	+ .12

从表12-9和表12-10中查得有关数据（如表中黑框的数据），经计算

表 12-11 纬度修正表

纬 度 修 正 量 ($T_G - T$) × (Δ)	修正后的纬度
$(- .33) \times (+17.1) = -5.64'$	21°54.8'N
$(- .33) \times (17.5) = -5.78'$	21°22.2'N

表 12-12 经度修正表

经 度 修 正 量 ($T_G - T$) × (Δ)	修正后的经度
$(+ .12) \times (-11.7) = -1.40'$	117°22.1'W
$(+ .12) \times (-11.6) = -1.39'$	117°55.3'W

这样根据 21°N 117°22.1'W 22°N 117°55.3'W

21°54.8'N 117°W 21°22.2'N 118°W

四点绘出两条位置线，其交点21°33.8'N 117°40.2'W即为 GMT04h00min 的奥米伽船位。

(四) 奥米伽定位的精度 产生奥米伽位置线的误差原因有以下几项：

1. 发射台的同步误差 8个发射台是按照时间分段顺序分别在规定的时间内，发射一定时间间隔的信号，而且发射时要使得相位同步。若发射失常，则接收的相位差必然含有误差。

2. 段同步不准确而产生的误差 在选台时，接收机所产生的门脉冲信号与接收信号同步，并取出所选择的接收信号。因此，段同步不准确会产生测定误差。

3. 天波修正值的误差 奥米伽位置线是假定10.2kHz 频率的电波传播速度为300574km/s 进行计算求得的，实际的电波传播速度是随季节、时间等条件不同而变化。为了便于进行修正，天波修正值是取其平均值。因此，天波修正值与实际的值相比总是有些误差的，一般有±5~±35分巷的误差。

奥米伽海图和奥米伽的误差及位置线的作图误差。

本船与发射台的相对位置引起的位置线误差。

奥米伽定位的精度实质上取决于奥米伽传播修正量的精度，为了改善和提高奥米伽定位的精度，可以采用差奥米伽和微奥米伽导航的方式来提高奥米伽定位的精度。

差奥米伽是用高频音频调制或数据通信，不断将传播修正量发播出去，在差奥米伽台周围300nmile 范围内航行的船舶，可根据接收到的奥米伽传播修正量，直接去修正奥米伽接收机的读数，不必查阅奥米伽传播修正量表，所以其准确度比一般利用传播修正量表进行修正的读数要提高3~4倍。

微奥米伽是一种自动工作方式的差奥米伽接收机，这样它既能减小无法预测的在传播修正量表中无法表明的相速随机误差，又能减小在差奥米伽中无法修正的快速扰乱误差。所以它的定位精度比差奥米伽还要高。

参 考 文 献

- 《渔船航海技术》，王成伯、文 干等编，农业出版社，1983，6。
- 《航海天文学》，李泽成、沈长治等编，大连海运学院出版社，1989，7，1。
- 《天文航海》，陈颖毅、邵希武合编，海军大连舰艇学院，1991，2。
- Primer of Navigation*, by George w. MixFer, US VNR CO, Sixih Edition 1985.
- Морехоная Астрономия* , Б. И. Красаьцев, Б. И. Хлюстин, Москва "Транспорт", 1960.
- 《球面天文学教程》，苏联，勃拉日哥著，易照华、杨海涛译；高等教育出版社，1954，第1版。
- 《球面三角学》，苏联，Ф. Ф. 巴甫洛夫, В. П. 马希克维奇著，刘亚星译；商务印书馆，1954，再版。
- 《航海驾驶技术》(下册)，农业部渔政渔港监督管理局编，1990，3。
- 《雷达导航》，(日)笠原仓道著，王瑞菊译，刘耳、杨守仁校，人民交通出版社，1984，4
- 《航海雷达》，缪德刚主编，方乃正主审、大连海运学院出版社，1990，6。
- 《船舶导航雷达》(第二册)，张润泽主编，人民交通出版社，1987，6。
- Marine Electronic Navigation*, Second Enlarged Edition, by S. F. Appleyard, R. S. Linford and P. J. Yarward.

附录一 天文航海有关的数学问题

第 1 节 常用数学公式摘录

一、平面三角公式摘录

1. 三角函数的基本公式

$$\sin \alpha = \frac{1}{\csc \alpha}; \cos \alpha = \frac{1}{\sec \alpha};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha}; \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha};$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}; \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1;$$

$$\sec^2 \alpha - \operatorname{tg}^2 \alpha = 1; \csc^2 \alpha - \operatorname{ctg}^2 \alpha = 1.$$

2. 两角和及差的公式

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta;$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta.$$

3. 倍角及半角公式

$$\sin 2\alpha = 2\sin \alpha \cos \alpha;$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2\sin^2 \alpha = 2\cos^2 \alpha - 1;$$

$$\sin \alpha = 2\sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2};$$

$$\cos \alpha = \cos^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 1 - 2\sin^2 \frac{\alpha}{2} = 2\cos^2 \frac{\alpha}{2} - 1;$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}};$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}.$$

4. 和差化积公式

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2\sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta);$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2\cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta);$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2\cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta);$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2\sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta).$$

二、微分公式摘录

1. $dc=0$, c 为常数

2. $d(u+v+w) = du+dv+dw$

3. $d(u \cdot v) = u dv + v du$

4. $d(cu) = cdu$, c 为常数。

$$5. d\left(\frac{u}{v}\right) = \frac{vdu - u dv}{v^2}$$

$$6. d\left(\frac{u}{c}\right) = \frac{1}{c} du, c \text{ 为常数.}$$

$$7. d(u^n) = nu^{n-1} du$$

8. 若 $y=f(u)$, $u=\varphi(x)$, 则:

$$dy = f'(u) du = f'(u) \cdot \varphi'(x)$$

或: $\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{du} \cdot \frac{du}{dx}$

$$9. d(\sin u) = \cos u du$$

$$10. d(\cos u) = -\sin u du$$

$$11. d(\operatorname{tg} u) = \frac{1}{\cos^2 u} du$$

$$12. d(\operatorname{ctg} u) = -\frac{1}{\sin^2 u} du$$

$$13. d(\sec u) = \operatorname{tg} u \sec u du$$

$$14. d(\csc u) = -\operatorname{ctg} u \csc u du$$

15. 偏微分公式

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} f(x \cdot y), \text{ 其中 } y \text{ 为常数.}$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} f(x \cdot y), \text{ 其中 } x \text{ 为常数.}$$

三、角的度量及微角函数

(一) 角的度量 角的大小有两种量法, 根据这两种量法, 定出了两种不同的度量单位。

度——以圆周长的 $1/360$ 所对的圆心角为一度, 所以整个圆周所对的圆心角为 360° 。度以下为分和秒。

弧度——以圆周上的弧长等于圆半径长时所对的圆心角为一弧度, 整个圆周所对的圆心角为 2π 弧度。弧度又称为经。

由此可见, 360° 就等于 2π 弧度, 这样

$$\begin{aligned} 1 \text{ 弧度} &= \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{360^\circ}{2(3.14159)} = 57.29578^\circ \\ &= 3437.747' = 206264.808'' \end{aligned}$$

如果以 x 表示某一角的弧度数, 以 x° 表示同一角的度数, 以 x' 、 x'' 表示分数和秒数, 那么弧度和度、分、秒之间的关系为:

$$x = \frac{x^\circ}{57.29578^\circ} = \frac{x'}{3437.747'} = \frac{x''}{206264.808''}$$

为了书写方便, 以 $\operatorname{arc}1^\circ$ 表示角度 1° 所相当的弧度数; 以 $\operatorname{arc}1'$ 和 $\operatorname{arc}1''$ 分别表示角 $1'$ 或 $1''$ 所相当的弧度数。即:

$$\operatorname{arc}1^\circ = \frac{1}{57.29578^\circ} = 0.01745329 \text{ 弧度}$$

$$\operatorname{arc}1' = \frac{1}{3437.747'} = 0.000291 \text{ 弧度}$$

$$\operatorname{arc}1'' = \frac{1}{206264.808''} \approx 0.00000485 \text{ 弧度}$$

上述关系式可改写为:

$$x = x^\circ \text{arc } 1^\circ = x' \text{arc } 1' = x'' \text{arc } 1''$$

(二) 微角的正弦、余弦和正切公式 将 $\sin x$, $\cos x$ 和 $\text{tg } x$ 等三角函数按级数展开为:

$$\sin x = \frac{x}{1} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots$$

$$\text{tg } x = x + \frac{1}{3}x^3 + \frac{2}{15}x^5 + \frac{17}{315}x^7 + \dots$$

如果 x 为微角, 则计算中可以忽略三次以上的高次项, 上列各式可取

$$\sin x = x;$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2};$$

$$\text{tg } x = x.$$

上述公式中的 x 是以弧度为单位。如果改以度、分为单位来表示, 根据弧度和度分的换算公式可写成:

$$\sin x = x = x^\circ \text{arc } 1^\circ = x' \text{arc } 1';$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2} = 1 - \frac{1}{2}(x^\circ \text{arc } 1^\circ)^2$$

$$= 1 - \frac{1}{2}(x' \text{arc } 1')^2;$$

$$\text{tg } x = x = x^\circ \text{arc } 1^\circ = x \text{arc } 1'.$$

第 2 节 球面几何摘要

一、球

一个圆绕其直径旋转所包围的空间称为球; 这个圆的中心成为球心, 圆周旋转所成的曲面为球面; 球面上任意点与球心的连线称为球的半径; 连接球面上两点并通过球心的直线称为球的直径; 在同一球内的所有半径或所有直径均相等。

二、大圆、小圆

1. 平面与球面相截而成的截痕为一圆; 若平面通过球心, 则其截痕称为大圆 (如图1 $\widehat{AA'}$); 大圆的直径即球直径; 若平面不通过球心, 则其截痕为一小圆 (如图1 $\widehat{aa'}$), 小圆的直径小于球直径。

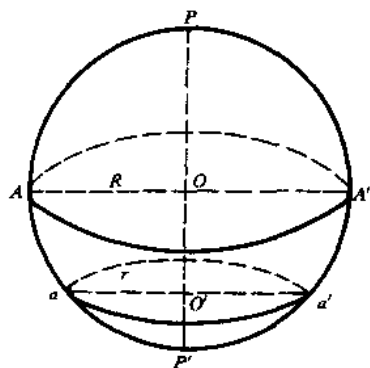


图 1 大圆和小圆

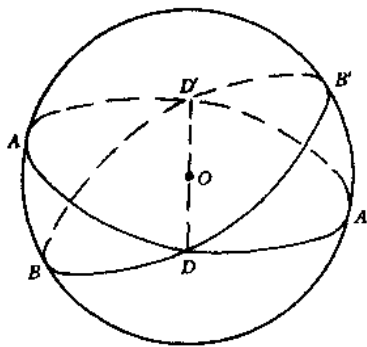


图 2 两大圆互相等分

2. 因为大圆面通过球心, 所以大圆分球和球面为两个相等的部分; 如图1 $\widehat{APA'} = \widehat{AP'A'}$

3. 因为两大圆相交的交线是球的也是大圆的直径，所以两大圆互相等分，如交线 DD' 平分大圆 $\widehat{AA'}$ 及 $\widehat{BB'}$ (图2)。

4. 通过球面上两点 (不在同一直径两端的) 能作而且仅能作一个大圆。

三、轴和极

1. 垂直于已知圆的平面的球直径，称为该已知圆的轴；轴的两端点称为该圆的两极。如图1， PP' 为 $\widehat{AA'}$ 的轴， P 及 P' 为 $\widehat{AA'}$ 的极。

2. 从大圆上任意点到它的极的球面距离均 $=90^\circ$ 。

四、球面角

1. 球面上两个大圆弧所夹的角称为球面角 (如图3 $\angle APB$)。

2. 球面角的度量方法

(1) 用两大圆弧平面所夹的二面角来度量；该二面角可以在球心量如图3 $\angle AOB$ ；该二面角也可以在顶点量，成为二大圆弧在顶点的切线之间的夹角，如图3 $\angle apb$ 。

(2) 用距顶点 90° 的大圆弧 (即 $\angle AOB$ 所对之弧距) 来量。如图3 \widehat{AB} 。

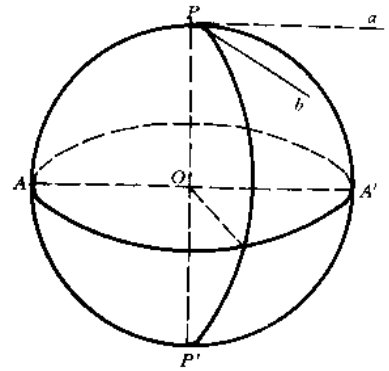


图3 球面角

五、球面三角形

在球面上由三个大圆弧相交所构成的图形，为球面三角形，如图4 $\triangle ABC$ 。

球面三角形由三个角和三个边构成，三个角的值就等于大圆弧平面所夹二面角的值；三个边亦用度数表示，各等于所对的球心张角，如图4， \widehat{AB} 等于 $\angle AOB$ 。

在同一球面三角形中，大边对大角，大角对大边；等边对等角，等角对等边；三个角之和大于 180° ，小于 540° ；三个边之和小于 360° 。

第3节 球面三角摘要

为了解决天文航海上的各种问题，需要用到球面三角的几个有关公式，现分别推导和摘录如下：

一、正弦公式

球面三角形各边正弦与其对角正弦成正比。

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

此公式常用于两边及其对角中已知三项求第四项。

公式证明如下：

因为球面三角形的边等于它所对的球心角；球面三角形的角等于两大圆弧面所夹的二面角，所以，要证出球面三角形的边角关系，可以根据平面三角原理去证出有关的球心角与二面角的关系即可。如图5，球面三角形 ABC ，各边及其所对的球心角 a, b, c 。为要用二面角表示三角形的球面角，自 C 作 CF 垂直平面 OAB ，自 F 作 FQ 及 FP 分别垂直 OB, OA ，联接 CQ, CP 。 CQ, CP 亦分别垂直 OB, OA ， $\angle CQF = \angle B$ ， $\angle CPF = \angle A$ 。

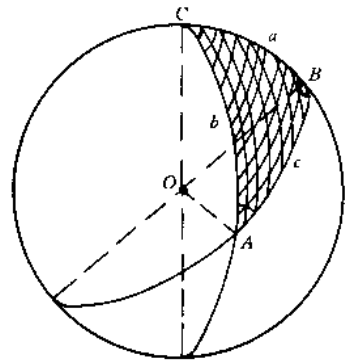


图4 球面三角形

$$\sin a = \frac{CQ}{R} \quad \sin B = \frac{CF}{CQ}$$

$$\sin A = \frac{CF}{CP} \quad \sin b = \frac{CP}{R}$$

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\frac{CQ}{R}}{\frac{CF}{CP}} = \frac{CP \cdot CQ}{R \cdot CF}$$

$$\frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\frac{CP}{R}}{\frac{CF}{CQ}} = \frac{CP \cdot CQ}{R \cdot CF}$$

$$\therefore \frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B}$$

同理可得：

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

二、余弦公式

一边的余弦等于其余二边余弦的乘积，加上此两边正弦及其夹角余弦的乘积。

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

$$\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$$

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

此公式常用于已知两边夹角求第三边（或已知三边求一角）。公式证明：

作图同正弦公式，由于用到 b 的平面，所以从 P 加一线 $PK \perp OC$ 构成直角 $\triangle OKP$ ；并从 F 作 $FM \perp PK$ 。如图6

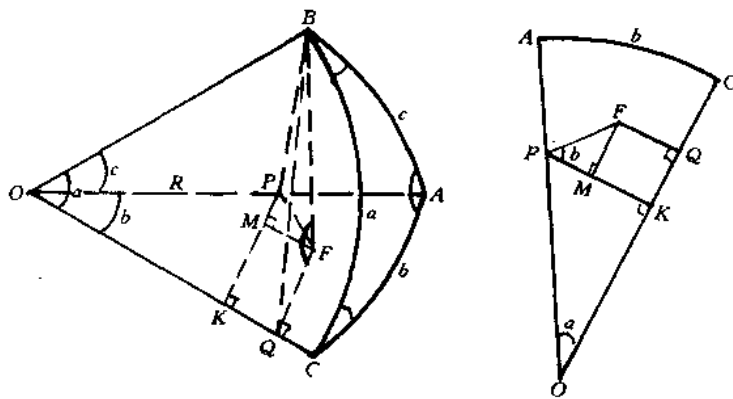


图6 余弦公式证明

$$\text{在 } \triangle BQO \text{ 中, } \cos a = \frac{OK + KQ}{R} \tag{1}$$

$$\text{在 } \triangle OKP \text{ 中, } OK = OP \cos b;$$

$$\text{在 } \triangle OPB \text{ 中, } OP = R \cos c,$$

$$\therefore OK = R \cos b \cos c$$

$$\text{在 } \triangle PMF \text{ 中 } FM = KQ, \angle FPM = \angle b$$

$$KQ = FM = PF \sin b \tag{2}$$

$$\text{在 } \triangle BFO \text{ 中, } PF = BF \cos A$$

在 $\triangle BOP$ 中, $BP=R\sin C$

代入

$$KQ=R\sin b \sin c \cos A \quad (3)$$

(2)、(3) 代入 (1) 得

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

同理可证明

$$\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$$

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

三、余切公式 (相邻四元素公式)

端边余切与中边正弦之积等于端角余切与中角正弦之积, 加上两中项余弦之积。

$$\text{ctg } a \sin b = \text{ctg } A \sin C + \cos b \cos C$$

$$\text{ctg } a \sin c = \text{ctg } A \sin B + \cos c \cos B$$

.....

此式常用于已知相邻三项求第四项

公式证明:

根据余弦公式有:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \quad (4)$$

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C \quad (5)$$

又据正弦公式有:

$$\frac{\sin c}{\sin C} = \frac{\sin a}{\sin A}$$

$$\sin c = \frac{\sin C \sin a}{\sin A}$$

用 (5)、(6) 代入 (4)

$$\cos a = \cos b(\cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C) + \sin b \left(\frac{\sin C \sin a}{\sin A} \right) \cos A$$

$$= \cos^2 b \cos a + \sin a \sin b \cos b \cos C + \sin b \sin a \sin C \text{ctg } A$$

$$\cos a - \cos^2 b \cos a = \sin a \sin b \cos b \cos C + \sin b \sin a \sin C \text{ctg } A$$

$$\cos a \sin^2 b = \sin a \sin b \cos b \cos C + \sin b \sin a \sin C \text{ctg } A$$

两边各除 $\sin a \sin b$ 得:

$$\text{ctg } a \sin b = \text{ctg } A \sin C + \cos b \cos C$$

同理可得:

$$\text{ctg } b \sin c = \text{ctg } B \sin A + \cos c \cos A$$

$$\text{ctg } c \sin a = \text{ctg } C \sin B + \cos a \cos B$$

.....

四、五元素公式

一边的正弦与其邻角的余弦之积, 等于该邻角对边的余弦及另一边正弦之积, 减去该邻角对边的正弦和另一边的余弦及其夹角余弦之积。即在三角形 ABC 中

$\sin b \cos C = \cos c \sin a - \sin c \cos a \cos B$ 这一公式常用于已知相联四项, 求相联第五项。

公式证明:

由四元素 (余切) 公式:

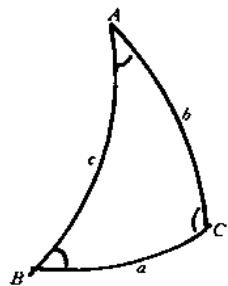


图 7 余切公式证明

$$\operatorname{ctg} C \sin B = \operatorname{ctg} c \sin a - \cos a \cos B$$

两边乘以 $\sin C$ 得

$$\cos C \sin B = \operatorname{ctg} C \sin a \sin C - \cos a \cos B \sin C$$

再以正弦公式

$$\frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}, \text{ 分别乘上式两边, 整理便得:}$$

$$\cos C \sin b = \cos c \sin a - \sin c \cos a \cos B$$

同理可得:

$$\sin c \cos A = \cos a \sin b - \sin a \cos b \cos C;$$

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A;$$

.....

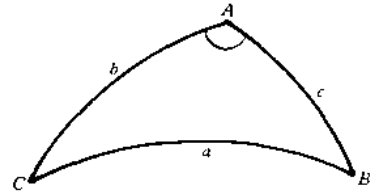


图 8 五元素公式证明

五、球面直角三角形应用公式

因为直角的三角函数有的为零, 有的为1, 代入上述基本公式便可以得较简单的解球面直角三角形的公式, 为了便于记忆可采用下列方法:

如图9所示, 在球面直角三角形 BAC 中, A 为直角。

图9 (b) 的意思是: 用 90° 减两直角边, 除直角外将其余五元素按顺序排列。

图9 (c) 的意思是: 在图9 (b) 中, 一项的余弦, 等于相邻两项余切之积或相对两项正弦之积。如:

$$\cos a = \operatorname{ctg} B \operatorname{ctg} C,$$

$$\cos a = \cos c \cos b,$$

$$\cos C = \operatorname{ctg} a \operatorname{tg} b,$$

$$\sin b = \sin a \sin B.$$

余类推, 其可得出十个公式。

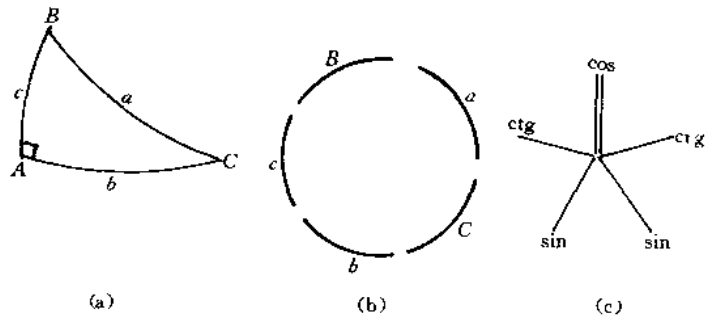


图 9 球面直角三角形

六、解斜三角形的应用公式

为了方便用对数运算解球面三角形起见, 人们把球面三角的基本公式加以数学变换, 得出求三角形边角函数时没有加(减)项的公式。主要如:

1. 半角函数公式

$$\text{设 } P = \frac{1}{2} (a+b+c)$$

则:

$$\sin \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin(P-b)\sin(P-c)}{\sin b \sin c}}$$

$$\sin \frac{B}{2} = \sqrt{\frac{\sin(P-a)\sin(P-c)}{\sin a \sin c}}$$

$$\sin \frac{C}{2} = \sqrt{\frac{\sin(P-a)\sin(P-b)}{\sin a \sin b}}$$

$$\cos \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin P \sin(P-a)}{\sin b \sin c}}$$

$$\cos \frac{B}{2} = \sqrt{\frac{\sin P \sin(P-b)}{\sin a \sin c}}$$

$$\cos \frac{C}{2} = \sqrt{\frac{\sin P \sin(P-c)}{\sin a \sin b}}$$

2. 纳皮尔公式

$$\operatorname{tg} \frac{A+B}{2} = \frac{\cos \frac{1}{2}(a-b)}{\cos \frac{1}{2}(a+b)} \operatorname{ctg} \frac{1}{2}C$$

$$\operatorname{tg} \frac{A-B}{2} = \frac{\sin \frac{1}{2}(a-b)}{\sin \frac{1}{2}(a+b)} \operatorname{ctg} \frac{1}{2}C$$

$$\operatorname{tg} \frac{a+b}{2} = \frac{\cos \frac{1}{2}(A-B)}{\cos \frac{1}{2}(A+B)} \operatorname{tg} \frac{1}{2}c$$

$$\operatorname{tg} \frac{a-b}{2} = \frac{\sin \frac{1}{2}(A-B)}{\sin \frac{1}{2}(A+B)} \operatorname{tg} \frac{1}{2}c$$

从上式

$$\frac{A+B}{2} + \frac{A-B}{2} = A$$

$$\frac{a+b}{2} + \frac{a-b}{2} = a$$

七、解球面三角形

根据上述球面三角形的基本公式或应用公式，可以解任意球面三角形。在天文航海内容中，大多数问题是已知两边夹角求第三边及其邻角。解这类问题如用对数运算则应用纳皮尔公式较为便捷，如使用计算器或计算机，可以直接用基本公式或应用公式进行解算。例如：

已知球面三角形 ABC 中的两边 a 和 b 及其夹角 C 。求边 c 及角 A 解法可以有：

(一) 先按边的余弦公式求出边 c ：

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

然后按正弦公式求角 A ，

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin C}{\sin c}$$

(二) 用余弦公式求出边 c 后，再用余切公式求出角 A 。

$$\operatorname{ctg} A = \operatorname{ctg} a \sin b \operatorname{csc} C - \cos b \operatorname{ctg} C$$

(三) 用纳皮尔公式

$$\operatorname{tg} \frac{A+B}{2} = \operatorname{ctg} \frac{C}{2} \cos \frac{1}{2}(a-b) \operatorname{csc} \frac{1}{2}(a+b)$$

$$\operatorname{tg} \frac{A-B}{2} = \operatorname{ctg} \frac{C}{2} \sin \frac{1}{2}(a-b) \operatorname{csc} \frac{1}{2}(a+b)$$

$$\operatorname{tg} \frac{c}{2} = \operatorname{tg} \frac{1}{2}(a+b) \cos \frac{1}{2}(A+B) \operatorname{sec} \frac{1}{2}(A-B)$$

附录二 有关天文表格

1. 四星纪要, 1992年

月份	金 星	火 星	木 星	土 星
1	晨星; 由天秤座经天蝎座入人马座 星等: -4.0	日出前见于东天; 由天蝎座入人马座 星等: 1.4	全夜可见; 在狮子座 星等: -2.4	日没后见于西天; 在摩羯座。 下半月, 接近太阳, 不能观测 星等: 0.6
2	晨星; 由人马座入摩羯座 -4.0	日出前见于东天; 由人马座入摩羯座 1.3	全夜可见; 在狮子座 -2.5	上旬, 接近太阳, 不能观测。 中, 下旬, 日出前见于东天; 在摩羯座 0.7
3	晨星; 由摩羯座入宝瓶座 -3.9	日出前见于东天; 由摩羯座入宝瓶座 1.2	日没后见于东天; 在狮子座 -2.5	日出前见于东天; 在摩羯座 0.8
4	晨星; 由宝瓶座入双鱼座 -3.9	日出前见于东天; 由宝瓶座入双鱼座 1.1	日没后见于东天; 在狮子座 -2.3	日出前见于东天; 在摩羯座 0.8
5	月初, 晨星; 由双鱼座入白羊座。接近太阳, 不能观测 -3.9	日出前见于东天; 在双鱼座 1.0	日没后见于西天; 在狮子座 -2.1	半夜见于东天; 在摩羯座 0.7
6	接近太阳, 不能观测	半夜见于东天; 由双鱼座入白羊座 0.9	日没后见于西天; 在狮子座 -1.9	半夜见于东天; 在摩羯座 0.5
7	上半月, 接近太阳, 不能观测。下半月, 昏星; 由巨蟹座入狮子座 -3.9	半夜见于东天; 由白羊座入金牛座 0.8	日没后见于西天; 在狮子座 -1.8	全夜可见; 在摩羯座 0.3
8	昏星; 由狮子座入室女座 -3.9	半夜见于东天; 在金牛座 0.7	日没后见于西天; 在狮子座 -1.7	全夜可见; 在摩羯座 0.2
9	昏星; 在室女座 -3.9	半夜见于东天; 由金牛座入双子座 0.5	月初, 日没后见于西天; 在狮子座。接近太阳, 不能观测 -1.7	日没后见于东天; 在摩羯座 0.4
10	昏星; 由室女座经天秤座入天蝎座 -4.0	半夜见于东天; 在双子座 0.1	月初, 接近太阳, 不能观测。 日出前见于东天; 在室女座 -1.7	日没后见于东天; 在摩羯座 0.5

(续)

月份	金星	火星	木星	土星
11	昏星；由天蝎座入人马座 -4.0	半夜见于东天；由双子座入巨蟹座 -0.4	半夜见于东天；在室女座 -1.8	日没前后见于中天；在摩羯座 0.7
12	昏星；由人马座入摩羯座 -4.2	全夜可见；由巨蟹座入双子座 -1.1	半夜见于东天；在室女座 -1.9	日没后见于西天；在摩羯座 0.7

2.天体位置表(摘)
天体位置, 1992年

2月 27, 28, 29日

积日 58, 59, 60

世界时 时	太阳		金星		火星		木星		土星		世界时 时	
	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬		
2月27日 农历一月廿四 星期四	00	176 45.8	S08 42.1	203 16.5	S18 05.8	206 40.7	S19 33.6	354 05.1	N09 06.6	200 54.4	S17 40.2	00
	01	191 46.0	08 41.2	218 15.8	18 05.1	221 41.2	19 33.1	009 07.9	09 06.7	215 56.6	17 40.1	01
	02	206 46.1	08 40.3	233 15.1	18 04.3	236 41.7	19 32.6	024 10.6	09 06.8	230 58.8	17 40.0	02
	03	221 46.2	08 39.3	248 14.4	18 03.6	251 42.2	19 32.2	039 13.4	09 06.9	246 01.0	17 40.0	03
	04	236 46.3	08 38.4	263 13.7	18 02.9	266 42.7	19 31.7	054 16.2	09 07.1	261 03.2	17 39.9	04
	05	251 46.4	08 37.5	278 13.0	18 02.2	281 43.2	19 31.2	069 18.9	09 07.2	276 05.3	17 39.8	05
	06	266 46.5	S08 36.5	293 12.3	S18 01.4	296 43.7	S19 30.8	084 21.7	N09 07.3	291 07.5	S17 39.7	06
	07	281 46.6	08 35.6	308 11.6	18 00.7	311 44.1	19 30.3	099 24.5	09 07.4	306 09.7	17 39.7	07
	08	296 46.7	08 34.6	323 10.9	18 00.0	326 44.6	19 29.8	114 27.2	09 07.6	321 11.9	17 39.6	08
	09	311 46.8	08 33.7	338 10.2	17 59.2	341 45.1	19 29.4	129 30.0	09 07.7	336 14.1	17 39.5	09
	10	326 46.9	08 32.8	353 09.6	17 58.5	356 45.6	19 28.9	144 32.8	09 07.8	351 16.3	17 39.4	10
	11	341 47.0	08 31.8	008 08.9	17 57.7	011 46.1	19 28.4	159 35.6	09 07.9	006 18.4	17 39.4	11
	12	356 47.1	S08 30.9	023 08.2	S17 57.0	026 46.6	S19 28.0	174 38.3	N09 08.1	021 20.6	S17 39.3	12
	13	011 47.2	08 30.0	038 07.5	17 56.3	041 47.1	19 27.5	189 41.1	09 08.2	036 22.8	17 39.2	13
	14	026 47.3	08 29.0	053 06.8	17 55.5	056 47.5	19 27.0	204 43.9	09 08.3	051 25.0	17 39.1	14
	15	041 47.4	08 28.1	068 06.1	17 54.8	071 48.0	19 26.6	219 46.6	09 08.5	066 27.2	17 39.1	15
	16	056 47.5	08 27.1	083 05.4	17 54.0	086 48.5	19 26.1	234 49.4	09 08.6	081 29.3	17 39.0	16
	17	071 47.7	08 26.2	098 04.7	17 53.3	101 49.0	19 25.6	249 52.2	09 08.7	096 31.5	17 38.9	17
	18	086 47.8	S08 25.3	113 04.1	S17 52.6	116 49.5	S19 25.1	264 54.9	N09 08.8	111 33.7	S17 38.8	18
	19	101 47.9	08 24.3	128 03.4	17 51.8	131 50.0	19 24.7	279 57.7	09 09.0	126 35.9	17 38.8	19
	20	116 48.0	08 23.4	143 02.7	17 51.1	146 50.5	19 24.2	295 00.5	09 09.1	141 38.1	17 38.7	20
	21	131 48.1	08 22.4	158 02.0	17 50.3	161 51.0	19 23.7	310 03.3	09 09.2	156 40.2	17 38.6	21
	22	146 48.2	08 21.5	173 01.3	17 49.6	176 51.5	19 23.3	325 06.0	09 09.3	171 42.4	17 38.5	22
	23	161 48.3	08 20.6	188 00.6	17 48.8	191 51.9	19 22.8	340 08.8	09 09.5	186 44.6	17 38.5	23
	$\bar{\Delta}$ 1.1	Δ -0.9	$\bar{\Delta}$ 0.3	Δ -0.7	$\bar{\Delta}$ 1.5	Δ -0.5	$\bar{\Delta}$ 3.8	Δ +0.1	$\bar{\Delta}$ 3.2	Δ -0.1		
2月28日 农历一月廿五 星期五	00	176 48.4	S08 19.6	203 00.0	S17 48.1	206 52.4	S19 22.3	355 11.6	N09 09.6	201 46.8	S17 38.4	00
	01	191 48.5	08 18.7	217 59.3	17 47.3	221 52.9	19 21.8	010 14.3	09 09.7	216 49.0	17 38.3	01
	02	206 48.6	08 17.7	232 58.6	17 46.6	236 53.4	19 21.4	025 17.1	09 09.9	231 51.2	17 38.2	02
	03	221 48.8	08 16.8	247 57.9	17 45.8	251 53.9	19 20.9	040 19.9	09 10.0	246 53.3	17 38.2	03
	04	236 48.9	08 15.9	262 57.2	17 45.1	266 54.4	19 20.4	055 22.6	09 10.1	261 55.5	17 38.1	04
	05	251 49.0	08 14.9	277 56.6	17 44.3	281 54.9	19 19.9	070 25.4	09 10.2	276 57.7	17 38.0	05
	06	266 49.1	S08 14.0	292 55.9	S17 43.6	296 55.4	S19 19.5	085 28.2	N09 10.4	291 59.9	S17 37.9	06
	07	281 49.2	08 13.0	307 55.2	17 42.8	311 55.9	19 19.0	100 31.0	09 10.5	307 02.1	17 37.9	07
	08	296 49.3	08 12.1	322 54.5	17 42.1	326 56.3	19 18.5	115 33.7	09 10.6	322 04.2	17 37.8	08
	09	311 49.4	08 11.1	337 53.8	17 41.3	341 56.8	19 18.0	130 36.5	09 10.7	337 06.4	17 37.7	09
	10	326 49.5	08 10.2	352 53.2	17 40.5	356 57.3	19 17.5	145 39.3	09 10.9	352 08.6	17 37.6	10
	11	341 49.6	08 09.3	007 52.5	17 39.8	011 57.8	19 17.1	160 42.0	09 11.0	007 10.8	17 37.6	11
	12	356 49.8	S08 08.3	022 51.8	S17 39.0	026 58.3	S19 16.6	175 44.8	N09 11.1	022 13.0	S17 37.5	12
	13	011 49.9	08 07.4	037 51.1	17 38.3	041 58.8	19 16.1	190 47.6	09 11.2	037 15.2	17 37.4	13
	14	026 50.0	08 06.4	052 50.5	17 37.5	056 59.3	19 15.6	205 50.4	09 11.4	052 17.3	17 37.3	14
	15	041 50.1	08 05.5	067 49.8	17 36.7	071 59.8	19 15.2	220 53.1	09 11.5	067 19.5	17 37.3	15
	16	056 50.2	08 04.5	082 49.1	17 36.0	087 00.3	19 14.7	235 55.9	09 11.6	082 21.7	17 37.2	16
	17	071 50.3	08 03.6	097 48.4	17 35.2	102 00.8	19 14.2	250 58.7	09 11.8	097 23.9	17 37.1	17
	18	086 50.4	S08 02.6	112 47.8	S17 34.4	117 01.3	S19 13.7	266 01.4	N09 11.9	112 26.1	S17 37.0	18
	19	101 50.6	08 01.7	127 47.1	17 33.7	132 01.8	19 13.2	281 04.2	09 12.0	127 28.3	17 37.0	19
	20	116 50.7	08 00.8	142 46.4	17 32.9	147 02.2	19 12.8	296 07.0	09 12.1	142 30.4	17 36.9	20
	21	131 50.8	07 59.8	157 45.7	17 32.1	162 02.7	19 12.3	311 09.7	09 12.3	157 32.6	17 36.8	21
	22	146 50.9	07 58.8	172 45.1	17 31.4	177 03.2	19 11.8	326 12.5	09 12.4	172 34.8	17 36.7	22
	23	161 51.0	07 57.9	187 44.4	17 30.6	192 03.7	19 11.3	341 15.3	09 12.5	187 37.0	17 36.7	23
	$\bar{\Delta}$ 1.1	Δ -0.9	$\bar{\Delta}$ 0.3	Δ -0.8	$\bar{\Delta}$ 1.5	Δ -0.5	$\bar{\Delta}$ 3.8	Δ +0.1	$\bar{\Delta}$ 3.2	Δ -0.1		
2月29日 农历一月廿六 星期六	00	176 51.1	S07 57.0	202 43.7	S17 29.8	207 04.2	S19 10.8	356 18.1	N09 12.6	202 39.2	S17 36.6	00
	01	191 51.2	07 56.0	217 43.0	17 29.1	222 04.7	19 10.3	011 20.8	09 12.8	217 41.4	17 36.5	01
	02	206 51.4	07 55.1	232 42.4	17 28.3	237 05.2	19 09.9	026 23.6	09 12.9	232 43.5	17 36.4	02
	03	221 51.5	07 54.1	247 41.7	17 27.5	252 05.7	19 09.4	041 26.4	09 13.0	247 45.7	17 36.4	03
	04	236 51.6	07 53.2	262 41.0	17 26.8	267 06.2	19 08.9	056 29.1	09 13.2	262 47.9	17 36.3	04
	05	251 51.7	07 52.2	277 40.4	17 26.0	282 06.7	19 08.4	071 31.9	09 13.3	277 50.1	17 36.2	05
	06	266 51.8	S07 51.3	292 39.7	S17 25.2	297 07.2	S19 07.9	086 34.7	N09 13.4	292 52.3	S17 36.1	06
	07	281 51.9	07 50.4	307 39.0	17 24.4	312 07.7	19 07.4	101 37.5	09 13.5	307 54.5	17 36.1	07
	08	296 52.1	07 49.4	322 38.4	17 23.6	327 08.2	19 07.0	116 40.2	09 13.7	322 56.6	17 36.0	08
	09	311 52.2	07 48.5	337 37.7	17 22.9	342 08.7	19 06.5	131 43.0	09 13.8	337 58.8	17 35.9	09
	10	326 52.3	07 47.5	352 37.0	17 22.1	357 09.1	19 06.0	146 45.8	09 13.9	353 01.0	17 35.8	10
	11	341 52.4	07 46.6	007 36.4	17 21.3	012 09.6	19 05.5	161 48.5	09 14.0	008 03.2	17 35.8	11
	12	356 52.5	S07 45.6	022 35.7	S17 20.5	027 10.1	S19 05.0	176 51.3	N09 14.2	023 05.4	S17 35.7	12
	13	011 52.6	07 44.7	037 35.0	17 19.8	042 10.6	19 04.5	191 54.1	09 14.3	038 07.6	17 35.6	13
	14	026 52.8	07 43.7	052 34.4	17 19.0	057 11.1	19 04.0	206 56.8	09 14.4	053 09.7	17 35.5	14
	15	041 52.9	07 42.8	067 33.7	17 18.2	072 11.6	19 03.6	221 59.6	09 14.5	068 11.9	17 35.5	15
	16	056 53.0	07 41.8	082 33.0	17 17.4	087 12.1	19 03.1	237 02.4	09 14.7	083 14.1	17 35.4	16
	17	071 53.1	07 40.9	097 32.4	17 16.6	102 12.6	19 02.6	252 05.2	09 14.8	098 16.3	17 35.3	17
	18	086 53.2	S07 39.9	112 31.7	S17 15.8	117 13.1	S19 02.1	267 07.9	N09 14.9	113 18.5	S17 35.2	18
	19	101 53.4	07 39.0	127 31.0	17 15.0	132 13.6	19 01.6	282 10.7	09 15.0	128 20.7	17 35.2	19
	20	116 53.5	07 38.0	142 30.4	17 14.3	147 14.1	19 01.1	297 13.5	09 15.2	143 22.9	17 35.1	20
	21	131 53.6	07 37.1	157 29.7	17 13.5	162 14.6	19 00.6	312 16.2	09 15.3	158 25.0	17 35.0	21
	22	146 53.7	07 36.1	172 29.0	17 12.7	177 15.1	19 00.1	327 19.0	09 15.4	173 27.2	17 34.9	22
	23	161 53.8	07 35.2	187 28.4	17 11.9	192 15.6	18 59.6	342 21.8	09 15.6	188 29.4	17 34.9	23
	$\bar{\Delta}$ 1.1	Δ -0.9	$\bar{\Delta}$ 0.3	Δ -0.8	$\bar{\Delta}$ 1.5	Δ -0.5	$\bar{\Delta}$ 3.8	Δ +0.1	$\bar{\Delta}$ 3.2	Δ 0.1		

天体位置, 1992年

日期	月 亮				纬度	晨 光 始		日 出			月 出											
	格林时角		赤 纬			航海	民用	27 日	28 日	29 日	26 日	27 日	28 日	29 日								
	时	分	°	'		时	分	时	分	时	分	时	分	时	分							
2月27日 农历一月廿四 星期四	00	156	05.6	250	13.0	10.5	S24	26.4	-01.8	N70	05 23	06 33	07 40	07 35	07 31	—	—	—	08 53			
	01	171	08.0	264	42.5	10.7	24	24.6	01.9	68	05 26	06 30	07 31	07 27	07 23	—	—	—	07 28			
	02	186	10.5	279	42.2	10.6	24	22.7	02.1	66	05 29	06 28	07 23	07 20	07 16	—	—	—	06 49			
	03	201	13.0	293	41.8	10.7	24	20.6	02.2	64	05 31	06 25	07 17	07 14	07 10	05 25	06 03	06 17	06 22			
	04	216	15.4	308	11.5	10.7	24	18.4	02.3	62	05 32	06 23	07 11	07 08	07 05	04 40	05 23	05 48	06 01			
	05	231	17.9	322	41.2	10.8	24	16.1	02.4	60	05 34	06 22	07 07	07 04	07 01	04 10	04 56	05 25	05 44			
	06	246	20.3	337	11.0	10.8	S24	13.7	-02.5	N58	05 35	06 20	07 02	07 00	06 57	03 48	04 34	05 6	05 29			
	07	261	22.8	351	40.8	10.9	24	11.2	02.6	56	05 36	06 19	06 59	06 56	06 54	03 29	04 17	04 52	05 17			
	08	276	25.3	006	16.7	10.9	24	08.6	02.7	54	05 36	06 17	06 55	06 53	06 50	03 14	04 02	04 39	05 06			
	09	291	27.7	020	40.6	10.9	24	05.9	02.9	52	05 37	06 16	06 52	06 50	06 48	03 01	03 49	04 27	04 57			
	10	306	30.2	035	10.5	10.9	24	03.0	03.0	50	05 37	06 15	06 49	06 47	06 45	02 49	03 38	04 17	04 48			
	11	321	32.7	049	40.4	11.1	24	00.0	03.1	45	05 38	06 12	06 43	06 41	06 39	02 25	03 14	03 55	04 30			
	12	336	35.1	064	10.5	11.0	S23	56.9	-03.2	N40	05 38	06 09	06 38	06 36	06 35	02 05	02 55	03 38	04 15			
	13	351	37.6	078	40.5	11.1	23	53.7	03.3	35	05 37	06 06	06 33	06 32	06 31	01 49	02 39	03 23	04 02			
14	006	40.1	093	10.6	11.1	23	50.4	03.4	30	05 36	06 04	06 29	06 28	06 27	01 35	02 25	03 10	03 51				
15	021	42.5	107	40.7	11.2	23	47.0	03.5	20	05 33	05 59	06 22	06 21	06 20	01 11	02 02	02 48	03 32				
16	036	45.0	122	10.9	11.2	23	43.5	03.6	N10	05 29	05 54	06 16	06 15	06 15	00 51	01 41	02 30	03 15				
17	051	47.5	136	41.1	11.3	23	39.9	03.8	0	05 24	05 48	06 10	06 09	06 09	00 31	01 22	02 12	02 58				
18	066	49.9	151	11.4	11.3	S23	36.1	-03.8	S10	05 17	05 42	06 03	06 03	06 03	00 12	01 03	01 54	02 44				
19	081	52.4	165	41.7	11.3	23	32.3	04.0	20	05 08	05 35	05 57	05 57	05 57	—	00 43	01 35	02 27				
20	096	54.8	180	12.0	11.4	23	28.3	04.1	30	04 57	05 25	05 49	05 50	05 50	—	00 19	01 13	02 07				
21	111	57.3	194	42.4	11.5	23	24.2	04.2	35	04 49	05 19	05 44	05 45	05 46	—	00 06	01 00	01 56				
22	126	59.8	209	12.9	11.4	23	20.0	04.2	40	04 39	05 13	05 39	05 40	05 42	23 50	—	00 45	01 43				
23	142	02.2	223	43.3	11.6	23	15.8	04.4	45	04 28	05 04	05 33	05 35	05 36	23 31	—	00 27	01 24				
2月28日 农历一月廿五 星期五	00	157	04.7	238	13.9	11.5	S23	11.4	-04.5	S50	04 13	04 54	05 26	05 28	05 29	23 07	—	00 05	01 08			
	01	172	07.2	252	44.4	11.7	23	06.9	04.6	52	04 05	04 49	05 23	05 24	05 26	22 55	23 55	—	00 59			
	02	187	09.6	267	15.1	11.6	23	02.3	04.7	54	03 57	04 44	05 19	05 21	05 23	22 42	23 43	—	00 49			
	03	202	12.1	281	45.7	11.7	22	57.6	04.9	S56	03 48	04 37	05 15	05 17	05 19	22 27	23 29	—	00 38			
	04	217	14.6	296	16.4	11.8	22	52.7	04.9	日 没				昏 影 终				月 没				
	05	232	17.0	310	47.2	11.8	22	47.8	05.0	27 日	28 日	29 日	民用	航海	26 日	27 日	28 日	29 日	时	分	时	分
	06	247	19.5	325	18.0	11.9	S22	42.8	-05.1	N70	16 47	16 52	16 56	17 54	19 05	—	—	—	09 40			
	07	262	22.0	339	48.9	11.9	22	37.7	05.2	68	16 56	17 00	17 04	17 57	19 01	—	—	—	11 05			
	08	277	24.4	354	19.8	11.9	22	32.5	05.3	66	17 04	17 07	17 11	17 59	18 59	—	—	—	09 53			
	09	292	26.9	008	50.7	12.0	22	27.2	05.5	64	17 10	17 13	17 16	18 01	18 56	08 03	09 09	10 17	10 09			
	10	307	29.3	023	21.7	12.0	22	21.7	05.5	62	17 15	17 18	17 21	18 03	18 55	08 47	09 49	11 06	12 30			
	11	322	31.8	037	52.7	12.1	22	16.2	05.6	60	17 20	17 23	17 25	18 05	18 53	09 17	10 16	11 28	12 46			
	12	337	34.3	052	33.8	12.2	S22	10.6	-05.7	N58	17 24	17 27	17 29	18 06	18 52	09 39	10 37	11 46	13 00			
	13	352	36.7	066	55.0	12.2	22	04.9	05.8	56	17 28	17 30	17 32	18 08	18 51	09 58	10 55	12 01	13 12			
14	007	39.2	081	26.2	12.2	21	59.1	06.0	54	17 32	17 34	17 36	18 09	18 50	10 13	11 10	12 14	13 22				
15	022	41.7	095	57.4	12.3	21	53.1	06.0	52	17 35	17 36	17 38	18 10	18 50	10 27	11 22	12 25	13 32				
16	037	44.1	110	28.7	12.3	21	47.1	06.1	50	17 37	17 39	17 41	18 12	18 49	10 38	11 34	12 35	13 40				
17	052	46.6	125	00.0	12.4	21	41.0	06.2	45	17 44	17 45	17 46	18 14	18 48	11 03	11 57	12 56	13 57				
18	067	49.1	139	31.4	12.5	S21	34.8	-06.3	N40	17 49	17 50	17 51	18 17	18 48	11 22	12 16	13 13	14 11				
19	082	51.5	154	02.9	12.4	21	28.5	06.4	35	17 53	17 54	17 55	18 20	18 49	11 38	12 31	13 27	14 23				
20	097	54.0	168	34.3	12.5	21	22.1	06.5	30	17 57	17 58	17 59	18 22	18 50	11 52	12 45	13 39	14 34				
21	112	56.4	183	05.9	12.6	21	15.6	06.5	20	18 04	18 04	18 05	18 27	18 52	12 16	13 08	14 00	14 52				
22	127	58.9	197	37.5	12.6	21	09.1	06.7	N10	18 10	18 10	18 10	18 31	18 56	12 37	13 28	14 18	15 07				
23	143	61.4	212	09.1	12.7	21	02.4	06.8	0	18 16	18 16	18 16	18 37	19 01	12 56	13 46	14 35	15 21				
2月29日 农历一月廿六 星期六	00	158	03.3	276	40.8	12.7	S20	55.6	-06.8	S10	18 22	18 22	18 21	18 43	19 08	13 15	14 05	14 52	15 36			
	01	173	06.2	241	12.5	12.8	20	48.8	07.0	20	18 29	18 28	18 27	18 50	19 16	13 36	14 25	15 10	15 51			
	02	188	08.6	255	44.3	12.8	20	41.8	07.0	30	18 36	18 35	18 34	19 00	19 28	14 00	14 47	15 30	16 08			
	03	203	11.2	270	16.1	12.9	20	34.8	07.1	35	18 41	18 39	18 38	19 05	19 36	14 14	15 01	15 42	16 19			
	04	218	13.7	284	48.0	12.9	20	27.7	07.2	40	18 46	18 44	18 43	19 12	19 45	14 30	15 16	15 56	16 30			
	05	233	16.2	299	19.9	13.0	20	20.5	07.3	45	18 52	18 50	18 48	19 20	19 56	14 49	15 34	16 12	16 44			
	06	248	18.6	313	51.9	13.0	S20	13.2	-07.4	S50	18 59	18 57	18 55	19 30	20 11	15 13	15 57	16 32	17 00			
	07	263	21.1	328	23.9	13.1	20	05.8	07.5	52	19 02	19 00	18 58	19 35	20 18	15 24	16 08	16 41	17 08			
	08	278	23.6	342	56.0	13.1	19	58.3	07.5	54	19 06	19 03	19 01	19 40	20 26	15 37	16 20	16 52	17 16			
	09	293	26.0	357	28.1	13.2	19	50.8	07.7	S56	19 10	19 07	19 05	19 46	20 36	15 53	16 34	17 04	17 27			
	10	308	28.5	012	00.3	13.2	19	43.1	07.8	太 阳 金 星 火 星 木 星 土 星												
	11	323	30.9	026	52.5	13.3	19	35.4	07.8	中 天	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分			
	12	338	33.4	041	04.8	13.3	S19	27.6	-07.9	时 分	12 13	10 28	10 12	00 19	10 31							
	13	353	35.9	055																		

5月3.4.5日

天体位置, 1992年

积月 124, 125, 126

世界时	太阳		金星		火星		木星		土星		世界时										
	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬											
5月3日	180	46.9	N15	41.1	191	12.0	N10	51.5	222	39.4	S02	06.8	064	10.3	N11	00.3	260	29.7	S16	12.0	00
01	195	46.9	15	41.8	206	11.6	10	52.6	237	40.1	02	06.0	079	12.7	11	00.2	275	32.0	16	12.0	01
02	210	47.0	15	42.6	221	11.1	10	53.7	252	40.8	02	05.3	094	15.2	11	00.2	290	34.4	16	12.0	02
03	225	47.1	15	43.3	236	10.6	10	54.8	267	41.5	02	04.5	109	17.6	11	00.2	305	36.8	16	11.9	03
04	240	47.1	15	44.0	251	10.2	10	55.9	282	42.2	02	03.8	124	20.1	11	00.2	320	39.1	16	11.9	04
05	255	47.2	15	44.8	266	09.7	10	57.0	297	42.9	02	03.0	139	22.5	11	00.2	335	41.5	16	11.9	05
06	270	47.2	N15	45.5	281	09.3	N10	58.1	312	43.6	S02	02.2	154	25.0	N11	00.2	350	43.8	S16	11.9	06
07	285	47.3	15	46.2	296	08.8	10	59.3	327	44.3	02	01.5	169	27.4	11	00.2	005	46.2	16	11.8	07
08	300	47.4	15	47.0	311	08.3	11	00.4	342	45.0	02	00.7	184	29.9	11	00.1	020	48.6	16	11.8	08
09	315	47.4	15	47.7	326	07.9	11	01.5	357	45.7	01	59.9	199	32.3	11	00.1	035	50.9	16	11.8	09
10	330	47.5	15	48.4	341	07.4	11	02.6	012	46.4	01	59.2	214	34.8	11	00.1	050	53.3	16	11.8	10
11	345	47.6	15	49.1	356	07.0	11	03.7	027	47.1	01	58.4	229	37.2	11	00.1	065	55.7	16	11.7	11
12	000	47.6	N15	49.9	011	06.5	N11	04.8	042	47.8	S01	57.7	244	39.7	N11	00.1	080	58.0	S16	11.7	12
13	015	47.7	15	50.6	026	06.0	11	05.9	057	48.5	01	56.9	259	42.1	11	00.1	096	00.4	16	11.7	13
14	030	47.7	15	51.3	041	05.6	11	07.0	072	49.2	01	56.1	274	44.6	11	00.1	111	02.7	16	11.7	14
15	045	47.8	15	52.1	056	05.1	11	08.1	087	49.9	01	55.4	289	47.0	11	00.0	126	05.1	16	11.6	15
16	060	47.9	15	52.8	071	04.7	11	09.2	102	50.6	01	54.6	304	49.5	11	00.0	141	07.5	16	11.6	16
17	075	47.9	15	53.5	086	04.2	11	10.3	117	51.3	01	53.8	319	51.9	11	00.0	156	09.8	16	11.6	17
18	090	48.0	N15	54.2	101	03.7	N11	11.4	132	52.0	S01	53.1	334	54.3	N11	00.0	171	12.2	S16	11.6	18
19	105	48.0	15	55.0	116	03.3	11	12.5	147	52.7	01	52.3	349	56.8	11	00.0	186	14.6	16	11.5	19
20	120	48.1	15	55.7	131	02.8	11	13.6	162	53.4	01	51.6	004	59.2	11	00.0	201	16.9	16	11.5	20
21	135	48.2	15	56.4	146	02.3	11	14.7	177	54.1	01	50.8	020	01.7	11	00.0	216	19.3	16	11.5	21
22	150	48.2	15	57.1	161	01.9	11	15.8	192	54.8	01	50.0	035	04.1	10	59.9	231	21.6	16	11.5	22
23	165	48.3	15	57.9	176	01.4	11	16.9	207	55.5	01	49.3	050	06.6	10	59.9	246	24.0	16	11.4	23
	$\bar{\Delta}$	1.1	Δ	+0.7	$\bar{\Delta}$	0.5	Δ	+1.1	$\bar{\Delta}$	1.7	Δ	-0.8	$\bar{\Delta}$	3.4	Δ	0.0	$\bar{\Delta}$	3.4	Δ	0.0	
5月4日	180	48.3	N15	58.6	191	01.0	N11	18.0	222	56.2	S01	48.5	065	09.0	N10	59.9	261	26.4	S16	11.4	00
01	195	48.4	15	59.3	206	00.5	11	19.1	237	56.9	01	47.7	080	11.5	10	59.9	276	28.7	16	11.4	01
02	210	48.4	16	00.0	221	00.0	11	20.2	252	57.6	01	47.0	095	13.9	10	59.9	291	31.1	16	11.4	02
03	225	48.5	16	00.8	235	59.6	11	21.3	267	58.3	01	46.2	110	16.3	10	59.9	306	33.5	16	11.4	03
04	240	48.6	16	01.5	250	59.1	11	22.4	282	59.0	01	45.5	125	18.8	10	59.8	321	35.8	16	11.3	04
05	255	48.6	16	02.2	265	58.6	11	23.5	297	59.7	01	44.7	140	21.2	10	59.8	336	38.2	16	11.3	05
06	270	48.7	N16	02.9	280	58.2	N11	24.6	313	00.4	S01	43.9	155	23.7	N10	59.8	351	40.6	S16	11.3	06
07	285	48.7	16	03.7	295	57.7	11	25.7	328	01.1	01	43.2	170	26.1	10	59.8	006	42.9	16	11.3	07
08	300	48.8	16	04.4	310	57.2	11	26.8	343	01.8	01	42.4	185	28.6	10	59.8	021	45.3	16	11.2	08
09	315	48.8	16	05.1	325	56.8	11	27.9	358	02.5	01	41.6	200	31.0	10	59.8	036	47.7	16	11.2	09
10	330	48.9	16	05.8	340	56.3	11	29.0	013	03.2	01	40.9	215	33.4	10	59.7	051	50.0	16	11.2	10
11	345	49.0	16	06.5	355	55.8	11	30.1	028	03.9	01	40.1	230	35.9	10	59.7	066	52.4	16	11.2	11
12	000	49.0	N16	07.3	010	55.3	N11	31.2	043	04.6	S01	39.4	245	38.3	N10	59.7	081	54.8	S16	11.1	12
13	015	49.1	16	08.0	025	54.9	11	32.3	058	05.3	01	38.6	260	40.8	10	59.7	096	57.1	16	11.1	13
14	030	49.1	16	08.7	040	54.4	11	33.4	073	06.0	01	37.8	275	43.2	10	59.7	111	59.5	16	11.1	14
15	045	49.2	16	09.4	055	53.9	11	34.5	088	06.7	01	37.1	290	45.6	10	59.7	127	01.9	16	11.1	15
16	060	49.2	16	10.1	070	53.5	11	35.6	103	07.4	01	36.3	305	48.1	10	59.6	142	04.2	16	11.0	16
17	075	49.3	16	10.8	085	53.0	11	36.7	118	08.1	01	35.5	320	50.5	10	59.6	157	06.6	16	11.0	17
18	090	49.3	N16	11.6	100	52.5	N11	37.8	133	08.8	S01	34.8	335	52.9	N10	59.6	172	09.0	S16	11.0	18
19	105	49.4	16	12.3	115	52.0	11	38.9	148	09.5	01	34.0	350	55.4	10	59.6	187	11.3	16	11.0	19
20	120	49.4	16	13.0	130	51.6	11	40.0	163	10.2	01	33.3	005	57.8	10	59.6	202	13.7	16	10.9	20
21	135	49.5	16	13.7	145	51.1	11	41.1	178	10.9	01	32.5	021	00.3	10	59.5	217	16.1	16	10.9	21
22	150	49.6	16	14.4	160	50.6	11	42.1	193	11.6	01	31.7	036	02.7	10	59.5	232	18.4	16	10.9	22
23	165	49.6	16	15.1	175	50.2	11	43.2	208	12.3	01	31.0	051	05.1	10	59.5	247	20.8	16	10.9	23
	$\bar{\Delta}$	1.1	Δ	+0.7	$\bar{\Delta}$	0.5	Δ	+1.1	$\bar{\Delta}$	1.7	Δ	-0.8	$\bar{\Delta}$	3.4	Δ	0.0	$\bar{\Delta}$	3.4	Δ	0.0	
5月5日	180	49.7	N16	15.8	190	49.7	N11	44.3	223	13.0	S01	30.2	066	07.6	N10	59.5	262	23.2	S16	10.9	00
01	195	49.7	16	16.6	205	49.2	11	45.4	238	13.7	01	29.4	081	10.0	10	59.5	277	25.5	16	10.8	01
02	210	49.8	16	17.3	220	48.7	11	46.5	253	14.4	01	28.7	096	12.4	10	59.5	292	27.9	16	10.8	02
03	225	49.8	16	18.0	235	48.3	11	47.6	268	15.1	01	27.9	111	14.9	10	59.4	307	30.3	16	10.8	03
04	240	49.9	16	18.7	250	47.8	11	48.7	283	15.8	01	27.2	126	17.3	10	59.4	322	32.6	16	10.8	04
05	255	49.9	16	19.4	265	47.3	11	49.8	298	16.5	01	26.4	141	19.7	10	59.4	337	35.0	16	10.7	05
06	270	50.0	N16	20.1	280	46.8	N11	50.9	313	17.2	S01	25.6	156	22.2	N10	59.4	352	37.4	S16	10.7	06
07	285	50.0	16	20.8	295	46.4	11	51.9	328	17.9	01	24.9	171	24.6	10	59.4	007	39.7	16	10.7	07
08	300	50.1	16	21.5	310	45.9	11	53.0	343	18.6	01	24.1	186	27.1	10	59.3	022	42.1	16	10.7	08
09	315	50.1	16	22.2	325	45.4	11	54.1	358	19.4	01	23.4	201	29.5	10	59.3	037	44.5	16	10.7	09
10	330	50.2	16	22.9	340	44.9	11	55.2	013	20.1	01	22.6	216	31.9	10	59.3	052	46.8	16	10.6	10
11	345	50.2	16	23.7	355	44.5	11	56.3	028	20.8	01	21.8	231	34.4	10	59.3	067	49.2	16	10.6	11
12	000																				

5月6, 7, 8日

天体位置, 1992年

期日 127, 128, 129

世界时	太阳 159			金星			火星			木星			土星			世界时
	格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		
5月6日	00	180 50.8	N16 32.8	190 38.2	N12 10.3		223 29.9	SC1 11.9		067 06.0	N10 59.0		263 20.0	S16 10.3	00	
	01	195 50.9	16 33.5	205 37.7	12 11.4		238 30.6	01 11.2		082 08.4	10 59.0		278 22.4	16 10.3	01	
	02	210 50.9	16 34.2	220 37.2	12 12.5		253 31.3	01 10.4		097 10.8	10 59.0		293 24.8	16 10.3	02	
	03	225 51.0	16 34.9	235 36.8	12 13.6		268 32.0	01 09.6		112 13.2	10 58.9		308 27.2	16 10.3	03	
	04	240 51.0	16 35.6	250 36.3	12 14.7		283 32.7	01 08.9		127 15.7	10 58.9		323 29.5	16 10.2	04	
	05	255 51.1	16 36.3	265 35.8	12 15.7		298 33.4	01 08.1		142 18.1	10 58.9		338 31.9	16 10.2	05	
	06	270 51.1	N16 37.0	280 35.3	N12 16.8		313 34.1	S01 07.3		157 20.5	N10 58.9		353 34.3	S16 10.2	06	
	07	285 51.2	16 37.7	295 34.8	12 17.9		328 34.8	01 06.6		172 23.0	10 58.9		368 36.6	16 10.2	07	
	08	300 51.2	16 38.4	310 34.3	12 19.0		343 35.5	01 05.8		187 25.4	10 58.8		383 39.0	16 10.1	08	
	09	315 51.3	16 39.1	325 33.8	12 20.0		358 36.2	01 05.1		202 27.8	10 58.8		398 41.4	16 10.1	09	
	10	330 51.3	16 39.8	340 33.4	12 21.1		013 36.9	01 04.3		217 30.2	10 58.8		413 43.8	16 10.1	10	
	11	345 51.3	16 40.5	355 32.9	12 22.2		028 37.6	01 03.5		232 32.7	10 58.8		428 46.1	16 10.1	11	
	12	000 51.4	N16 41.2	010 32.4	N12 23.2		043 38.4	S01 02.8		247 35.1	N10 58.7		443 48.5	S16 10.1	12	
	13	015 51.4	16 41.9	025 31.9	12 24.3		058 39.1	01 02.0		262 37.5	10 58.7		458 50.9	16 10.0	13	
	14	030 51.5	16 42.6	040 31.4	12 25.4		073 39.8	01 01.3		277 39.9	10 58.7		473 53.3	16 10.0	14	
	15	045 51.5	16 43.3	055 30.9	12 26.5		088 40.5	01 00.5		292 42.4	10 58.7		488 55.6	16 10.0	15	
	16	060 51.6	16 44.0	070 30.4	12 27.5		103 41.2	00 59.7		307 44.8	10 58.6		503 58.0	16 10.0	16	
	17	075 51.6	16 44.7	085 29.9	12 28.6		118 41.9	00 59.0		322 47.2	10 58.6		518 60.4	16 10.0	17	
	18	090 51.6	N16 45.4	100 29.5	N12 29.7		133 42.6	S00 58.2		337 49.6	N10 58.6		533 62.8	S16 09.9	18	
	19	105 51.7	16 46.0	115 29.0	12 30.7		148 43.3	00 57.4		352 52.1	10 58.6		548 65.1	16 09.9	19	
	20	120 51.7	16 46.7	130 28.5	12 31.8		163 44.0	00 56.7		367 54.5	10 58.6		563 67.5	16 09.9	20	
	21	135 51.8	16 47.4	145 28.0	12 32.9		178 44.7	00 55.9		382 56.9	10 58.5		578 69.9	16 09.9	21	
	22	150 51.8	16 48.1	160 27.5	12 33.9		193 45.4	00 55.2		397 59.3	10 58.5		593 72.3	16 09.8	22	
	23	165 51.9	16 48.8	175 27.0	12 35.0		208 46.1	00 54.4		412 61.7	10 58.5		608 74.6	16 09.8	23	
		Δ 1.0	Δ +0.7	Δ 0.5	Δ +1.1		Δ 1.7	Δ -0.8		Δ 3.4	Δ 0.0		Δ 3.4	Δ 0.0		
5月7日	00	180 51.9	N16 49.5	190 26.5	N12 36.1		223 46.8	S00 53.6		068 04.2	N10 58.5		264 17.0	S16 09.8	00	
	01	195 51.9	16 50.2	205 26.0	12 37.1		238 47.5	00 52.9		083 06.6	10 58.4		279 19.4	16 09.8	01	
	02	210 52.0	16 50.9	220 25.5	12 38.2		253 48.2	00 52.1		098 09.0	10 58.4		294 21.8	16 09.8	02	
	03	225 52.0	16 51.6	235 25.0	12 39.3		268 48.9	00 51.4		113 11.4	10 58.4		309 24.1	16 09.7	03	
	04	240 52.1	16 52.3	250 24.5	12 40.3		283 49.6	00 50.6		128 13.9	10 58.4		324 26.5	16 09.7	04	
	05	255 52.1	16 52.9	265 24.0	12 41.4		298 50.3	00 49.8		143 16.3	10 58.3		339 28.9	16 09.7	05	
	06	270 52.1	N16 53.6	280 23.6	N12 42.5		313 51.0	S00 49.1		158 18.7	N10 58.3		354 31.3	S16 09.7	06	
	07	285 52.2	16 54.3	295 23.1	12 43.5		328 51.8	00 48.3		173 21.1	10 58.3		369 33.6	16 09.7	07	
	08	300 52.2	16 55.0	310 22.6	12 44.6		343 52.5	00 47.5		188 23.5	10 58.3		384 36.0	16 09.6	08	
	09	315 52.3	16 55.7	325 22.1	12 45.7		358 53.2	00 46.8		203 25.9	10 58.2		399 38.4	16 09.6	09	
	10	330 52.3	16 56.4	340 21.6	12 46.7		013 53.9	00 46.0		218 28.4	10 58.2		414 40.8	16 09.6	10	
	11	345 52.3	16 57.1	355 21.1	12 47.8		028 54.6	00 45.3		233 30.8	10 58.2		429 43.2	16 09.6	11	
	12	000 52.4	N16 57.7	010 20.6	N12 48.8		043 55.3	S00 44.5		248 33.2	N10 58.2		444 45.5	S16 09.6	12	
	13	015 52.4	16 58.4	025 20.1	12 49.9		058 56.0	00 43.7		263 35.6	10 58.1		459 47.9	16 09.5	13	
	14	030 52.4	16 59.1	040 19.6	12 51.0		073 56.7	00 43.0		278 38.0	10 58.1		474 50.3	16 09.5	14	
	15	045 52.5	16 59.8	055 19.1	12 52.0		088 57.4	00 42.2		293 40.5	10 58.1		489 52.7	16 09.5	15	
	16	060 52.5	17 00.5	070 18.6	12 53.1		103 58.1	00 41.5		308 42.9	10 58.1		504 55.0	16 09.5	16	
	17	075 52.6	17 01.2	085 18.1	12 54.1		118 58.8	00 40.7		323 45.3	10 58.0		519 57.4	16 09.5	17	
	18	090 52.6	N17 01.8	100 17.6	N12 55.2		133 59.5	S00 39.9		338 47.7	N10 58.0		534 59.8	S16 09.4	18	
	19	105 52.6	17 02.5	115 17.1	12 56.2		149 00.2	00 39.2		353 50.1	10 58.0		549 62.2	16 09.4	19	
	20	120 52.7	17 03.2	130 16.6	12 57.3		164 00.9	00 38.4		368 52.5	10 57.9		564 64.6	16 09.4	20	
	21	135 52.7	17 03.9	145 16.1	12 58.3		179 01.6	00 37.6		383 54.9	10 57.9		579 66.9	16 09.4	21	
	22	150 52.7	17 04.6	160 15.6	12 59.4		194 02.3	00 36.9		398 57.4	10 57.9		594 69.3	16 09.4	22	
	23	165 52.8	17 05.2	175 15.1	13 00.5		209 03.0	00 36.1		413 59.8	10 57.9		609 71.7	16 09.3	23	
		Δ 1.0	Δ +0.7	Δ 0.5	Δ +1.1		Δ 1.7	Δ -0.8		Δ 3.4	Δ 0.0		Δ 3.4	Δ 0.0		
5月8日	00	180 52.8	N17 05.9	190 14.6	N13 01.5		224 03.8	S00 35.4		069 02.2	N10 57.8		265 14.1	S16 09.3	00	
	01	195 52.8	17 06.6	205 14.1	13 02.6		239 04.5	00 34.6		084 04.6	10 57.8		280 16.5	16 09.3	01	
	02	210 52.9	17 07.3	220 13.6	13 03.6		254 05.2	00 33.8		099 07.0	10 57.8		295 18.8	16 09.3	02	
	03	225 52.9	17 07.9	235 13.1	13 04.7		269 05.9	00 33.1		114 09.4	10 57.8		310 21.2	16 09.3	03	
	04	240 52.9	17 08.6	250 12.6	13 05.7		284 06.6	00 32.3		129 11.9	10 57.7		325 23.6	16 09.2	04	
	05	255 53.0	17 09.3	265 12.1	13 06.8		299 07.3	00 31.6		144 14.3	10 57.7		340 26.0	16 09.2	05	
	06	270 53.0	N17 10.0	280 11.6	N13 07.8		314 08.0	S00 30.8		159 16.7	N10 57.7		355 28.4	S16 09.2	06	
	07	285 53.0	17 10.7	295 11.1	13 08.9		329 08.7	00 30.0		174 19.1	10 57.6		370 30.7	16 09.2	07	
	08	300 53.1	17 11.3	310 10.6	13 09.9		344 09.4	00 29.3		189 21.5	10 57.6		385 33.1	16 09.2	08	
	09	315 53.1	17 12.0	325 10.1	13 11.0		359 10.1	00 28.5		204 23.9	10 57.6		400 35.5	16 09.2	09	
	10	330 53.1	17 12.7	340 09.6	13 12.0		014 10.8	00 27.7		219 26.3	10 57.6		415 37.9	16 09.1	10	
	11	345 53.2	17 13.3	355 09.1	13 13.1		029 11.5	00 27.0		234 28.7	10 57.5		430 40.3	16 09.1	11	
	12	000 53.2	N17 14.0	010 08.6	N13 14.1		044 12.2	S00 26.2		249 31.2	N10 57.5		445 42.6	S16 09.1	12	
	13	015 53.2	17 14.7	025 08.0	13 15.2		059 12.9	00 25.5		264 33.6	10 57.5		460 45.0	16 09.1	13	
	14	030 53.3	17 15.4	040 07.5	13 16.2		074 13.7	00 24.7		279 36.0	10 57.5		475 47.4	16 09.1	14	
	15	045 53.3	17 16.0	055 07.0	13 17.3		089 14.4	00 23.9		294 38.4	10 57.4		490 49.8	16 09.0	15	
	16	060 53.3	17 16.7	070 06.5	13 18.3		104 15.1	00 23.2		309 40.8	10 57.4		505 52.2	16 09.0	16	
	17															

5月9, 10, 11日

天体位置, 1992年

积日 130, 131, 132

世界时	太阳			金星			火星			木星			土星			世界时						
	格林时角	赤纬	159	格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		格林时角	赤纬								
5月9日 农历四月初七 星期六	00	180	53.6	N17	22.0	190	02.4	N13	26.6	224	20.7	S00	17.1	070	00.1	N10	57.2	266	11.2	S16	08.9	00
	01	195	53.6	17	22.7	205	01.9	13	27.7	239	21.4	00	16.3	085	02.5	10	57.1	281	13.6	16	08.9	01
	02	210	53.6	17	23.4	220	01.4	13	28.7	254	22.1	00	15.6	100	04.9	10	57.1	296	16.0	16	08.8	02
	03	225	53.7	17	24.0	235	00.9	13	29.8	269	22.9	00	14.8	115	07.3	10	57.1	311	18.4	16	08.8	03
	04	240	53.7	17	24.7	250	00.4	13	30.8	284	23.6	00	14.1	130	09.7	10	57.0	326	20.8	16	08.8	04
	05	255	53.7	17	25.4	264	59.9	13	31.8	299	24.3	00	13.3	145	12.1	10	57.0	341	23.2	16	08.8	05
	06	270	53.8	N17	26.0	279	59.4	N13	32.9	314	25.0	S00	12.5	160	14.5	N10	57.0	356	25.5	S16	08.8	06
	07	285	53.8	17	26.7	294	58.9	13	33.9	329	25.7	00	11.8	175	16.9	10	56.9	011	27.9	16	08.7	07
	08	300	53.8	17	27.4	309	58.3	13	34.9	344	26.4	00	11.0	190	19.3	10	56.9	026	30.3	16	08.7	08
	09	315	53.8	17	28.0	324	57.8	13	36.0	359	27.1	00	10.3	205	21.7	10	56.9	041	32.7	16	08.7	09
	10	330	53.9	17	28.7	339	57.3	13	37.0	014	27.8	00	09.5	220	24.1	10	56.9	056	35.1	16	08.7	10
	11	345	53.9	17	29.3	354	56.8	13	38.0	029	28.5	00	08.7	235	26.5	10	56.8	071	37.5	16	08.7	11
	12	000	53.9	N17	30.0	009	56.3	N13	39.1	044	29.2	S00	08.0	250	28.9	N10	56.8	086	39.9	S16	08.7	12
	13	015	53.9	17	30.7	024	55.8	13	40.1	059	29.9	00	07.2	265	31.3	10	56.8	101	42.2	16	08.6	13
	14	030	54.0	17	31.3	039	55.3	13	41.1	074	30.6	00	06.5	280	33.7	10	56.7	116	44.6	16	08.6	14
	15	045	54.0	17	32.0	054	54.7	13	42.2	089	31.4	00	05.7	295	36.2	10	56.7	131	47.0	16	08.6	15
	16	060	54.0	17	32.6	069	54.2	13	43.2	104	32.1	00	04.9	310	38.6	10	56.7	146	49.4	16	08.6	16
	17	075	54.1	17	33.3	084	53.7	13	44.2	119	32.8	00	04.2	325	41.0	10	56.6	161	51.8	16	08.6	17
	18	090	54.1	N17	33.9	099	53.2	N13	45.3	134	33.5	S00	03.4	340	43.4	N10	56.6	176	54.2	S16	08.6	18
	19	105	54.1	17	34.6	114	52.7	13	46.3	149	34.2	00	02.7	355	45.8	10	56.6	191	56.6	16	08.5	19
	20	120	54.1	17	35.3	129	52.1	13	47.3	164	34.9	00	01.9	010	48.2	10	56.5	206	58.9	16	08.5	20
	21	135	54.1	17	35.9	144	51.6	13	48.4	179	35.6	00	01.1	025	50.6	10	56.5	222	01.3	16	08.5	21
	22	150	54.2	17	36.6	159	51.1	13	49.4	194	36.3	S00	00.4	040	53.0	10	56.5	237	03.7	16	08.5	22
23	165	54.2	17	37.2	174	50.6	13	50.4	209	37.0	N00	00.4	055	55.4	10	56.4	252	06.1	16	08.5	23	
	$\bar{\Delta}$	1.0	Δ	+0.7	$\bar{\Delta}$	0.5	Δ	+1.0	$\bar{\Delta}$	1.7	Δ	+0.8	$\bar{\Delta}$	3.4	Δ	0.0	$\bar{\Delta}$	3.4	Δ	0.0		
5月10日 农历四月初八 星期日	00	180	54.2	N17	37.9	189	50.1	N13	51.4	224	37.7	N00	01.1	070	57.8	N10	56.4	267	08.5	S16	08.5	00
	01	195	54.2	17	38.5	204	49.5	13	52.5	239	38.4	00	01.9	086	00.2	10	56.4	282	10.9	16	08.4	01
	02	210	54.3	17	39.2	219	49.0	13	53.5	254	39.2	00	02.7	101	02.6	10	56.3	297	13.3	16	08.4	02
	03	225	54.3	17	39.8	234	48.5	13	54.5	269	39.9	00	03.4	116	05.0	10	56.3	312	15.6	16	08.4	03
	04	240	54.3	17	40.5	249	48.0	13	55.5	284	40.6	00	04.2	131	07.4	10	56.3	327	18.0	16	08.4	04
	05	255	54.3	17	41.1	264	47.5	13	56.6	299	41.3	00	04.9	146	09.8	10	56.2	342	20.4	16	08.4	05
	06	270	54.4	N17	41.8	279	46.9	N13	57.6	314	42.0	N00	05.7	161	12.2	N10	56.2	357	22.8	S16	08.3	06
	07	285	54.4	17	42.4	294	46.4	13	58.6	329	42.7	00	06.5	176	14.6	10	56.2	012	25.2	16	08.3	07
	08	300	54.4	17	43.1	309	45.9	13	59.6	344	43.4	00	07.2	191	17.0	10	56.1	027	27.6	16	08.3	08
	09	315	54.4	17	43.7	324	45.4	14	00.6	359	44.1	00	08.0	206	19.4	10	56.1	042	30.0	16	08.3	09
	10	330	54.4	17	44.4	339	44.8	14	01.7	014	44.8	00	08.7	221	21.8	10	56.1	057	32.4	16	08.3	10
	11	345	54.5	17	45.0	354	44.3	14	02.7	029	45.5	00	09.5	236	24.2	10	56.0	072	34.8	16	08.3	11
	12	000	54.5	N17	45.7	009	43.8	N14	03.7	044	46.3	N00	10.3	251	26.6	N10	56.0	087	37.1	S16	08.3	12
	13	015	54.5	17	46.3	024	43.3	14	04.7	059	47.0	00	11.0	266	28.9	10	56.0	102	39.5	16	08.2	13
	14	030	54.5	17	47.0	039	42.7	14	05.7	074	47.7	00	11.8	281	31.3	10	55.9	117	41.9	16	08.2	14
	15	045	54.6	17	47.6	054	42.2	14	06.8	089	48.4	00	12.5	296	33.7	10	55.9	132	44.3	16	08.2	15
	16	060	54.6	17	48.3	069	41.7	14	07.8	104	49.1	00	13.3	311	36.1	10	55.9	147	46.7	16	08.2	16
	17	075	54.6	17	48.9	084	41.2	14	08.8	119	49.8	00	14.1	326	38.5	10	55.8	162	49.1	16	08.2	17
	18	090	54.6	N17	49.6	099	40.6	N14	09.8	134	50.5	N00	14.8	341	40.9	N10	55.8	177	51.5	S16	08.2	18
	19	105	54.6	17	50.2	114	40.1	14	10.8	149	51.2	00	15.6	356	43.3	10	55.8	192	53.9	16	08.1	19
	20	120	54.6	17	50.8	129	39.6	14	11.8	164	51.9	00	16.3	011	45.7	10	55.7	207	56.3	16	08.1	20
	21	135	54.7	17	51.5	144	39.0	14	12.9	179	52.6	00	17.1	026	48.1	10	55.7	222	58.7	16	08.1	21
	22	150	54.7	17	52.1	159	38.5	14	13.9	194	53.4	00	17.9	041	50.5	10	55.7	238	01.1	16	08.1	22
23	165	54.7	17	52.8	174	38.0	14	14.9	209	54.1	00	18.6	056	52.9	10	55.6	253	03.4	16	08.1	23	
	$\bar{\Delta}$	1.0	Δ	+0.6	$\bar{\Delta}$	0.5	Δ	+1.0	$\bar{\Delta}$	1.7	Δ	+0.8	$\bar{\Delta}$	3.4	Δ	0.0	$\bar{\Delta}$	3.4	Δ	0.0		
5月11日 农历四月初九 星期一	00	180	54.7	N17	53.4	189	37.4	N14	15.9	224	54.8	N00	19.4	071	55.3	N10	55.6	268	05.8	S16	08.1	00
	01	195	54.7	17	54.1	204	36.9	14	16.9	239	55.5	00	20.1	086	57.7	10	55.6	283	08.2	16	08.0	01
	02	210	54.8	17	54.7	219	36.4	14	17.9	254	56.2	00	20.9	102	00.1	10	55.5	298	10.6	16	08.0	02
	03	225	54.8	17	55.3	234	35.8	14	18.9	269	56.9	00	21.7	117	02.5	10	55.5	313	13.0	16	08.0	03
	04	240	54.8	17	56.0	249	35.3	14	19.9	284	57.6	00	22.4	132	04.9	10	55.5	328	15.4	16	08.0	04
	05	255	54.8	17	56.6	264	34.8	14	21.0	299	58.3	00	23.2	147	07.3	10	55.4	343	17.8	16	08.0	05
	06	270	54.8	N17	57.3	279	34.2	N14	22.0	314	59.0	N00	23.9	162	09.6	N10	55.4	358	20.2	S16	08.0	06
	07	285	54.8	17	57.9	294	33.7	14	23.0	329	59.7	00	24.7	177	12.0	10	55.3	013	22.6	16	07.9	07
	08	300	54.9	17	58.5	309	33.2	14	24.0	345	00.5	00	25.5	192	14.4	10	55.3	028	25.0	16	07.9	08
	09	315	54.9	17	59.2	324	32.6	14	25.0	000	01.2	00	26.2	207	16.8	10	55.3	043	27.4	16	07.9	09
	10	330	54.9	17	59.8	339	32.1	14	26.0	015	01.9	00	27.0	222	19.2	10	55.2	058	29.8	16	07.9	10
	11	345	54.9	18	00.4	354	31.6	14	27.0	030	02.6	00	27.7	237	21.6	10	55.2	073	32.1	16	07.9	11
	12	000	54.9	N18	01.1	009	31.0	N14	28.0	045	03.3	N00	28.5	252	24.0	N10	55.2	088	34.5	S16	07.9	12
	13	015	54.9	18	01.7	024	30.5	14	29.0	060	04.0	00	29.2	267	26.4	10	55.1	103	36.9	16	07.9	

天体位置, 1992年

世界时	春分点			月 亮		纬度	晨 光 始		日 出			月 出								
	格林时角	格林时角 Δ	赤 纬 Δ	时 分	时 分		航海	民用	9 日	10 日	11 日	8 日	9 日	10 日	11 日					
5月9日 农历四月初七 星期六	00	227 03.5	095 32.2	08.9	N14	38.6-11.8	N70	01 37	01 29	01 21	06 58	09 27	11 35	13 36						
	01	242 06.0	110 00.1	09.0	14	26.8 11.9	68	02 18	02 13	02 07	07 37	09 45	11 44	13 37						
	02	257 08.5	124 28.1	09.0	14	14.9 12.0	66	00 38	02 45	02 41	02 37	08 04	10 00	11 51	13 38					
	03	272 10.9	138 56.1	09.1	14	02.9 12.0	64	01 38	03 06	03 03	02 59	08 25	10 12	11 56	13 38					
	04	287 13.4	153 24.2	09.2	13	50.9 12.1	62	02 11	03 23	03 20	03 17	08 41	10 22	12 02	13 39					
	05	302 15.9	167 52.4	09.2	13	38.8 12.2	60	00 33	02 35	03 36	03 34	03 31	08 55	10 31	12 06	13 39				
	06	317 18.3	182 20.6	09.3	N13	26.6-12.3	N58	01 28	02 53	03 48	03 46	03 44	09 06	10 39	12 10	13 39				
	07	332 20.8	196 48.9	09.4	13	14.3 12.4	56	01 58	03 09	03 58	03 56	03 54	09 17	10 45	12 13	13 40				
	08	347 23.2	211 17.3	09.4	13	01.9 12.4	54	02 20	03 22	04 07	04 06	04 04	09 26	10 51	12 16	13 40				
	09	002 25.7	225 45.7	09.4	12	49.5 12.5	52	02 38	03 33	04 16	04 14	04 12	09 33	10 57	12 19	13 40				
	10	017 28.2	240 14.1	09.6	12	37.0 12.5	50	02 53	03 43	04 23	04 21	04 20	09 41	11 01	12 22	13 41				
	11	032 30.6	254 42.7	09.5	12	24.5 12.7	45	03 21	04 03	04 38	04 37	04 36	09 56	11 12	12 27	13 41				
	12	047 33.1	269 11.2	09.7	N12	11.8-12.7	N40	03 42	04 19	04 51	04 50	04 49	10 08	11 20	12 32	13 42				
	13	062 35.6	283 39.9	09.7	11	59.1 12.7	35	03 59	04 33	05 01	05 00	05 00	10 19	11 28	12 35	13 42				
	14	077 38.0	298 08.6	09.7	11	46.4 12.9	30	04 13	04 44	05 11	05 10	05 09	10 28	11 34	12 39	13 42				
	15	092 40.5	312 37.3	09.9	11	33.5 12.9	20	04 35	05 03	05 27	05 26	05 26	10 44	11 45	12 45	13 43				
	16	107 43.0	327 06.2	09.8	11	20.6 12.9	N10	04 52	05 18	05 40	05 40	05 40	10 58	11 55	12 50	13 44				
	17	122 45.4	341 35.0	10.0	11	07.7 13.0	S56	05 06	05 31	05 53	05 53	05 53	11 11	12 04	12 55	13 44				
	18	137 47.9	356 04.0	09.9	N10	54.7-13.1	S10	05 18	05 44	06 06	06 06	06 06	11 23	12 13	13 00	13 45				
	19	152 50.3	010 32.9	10.1	10	41.6 13.1	20	05 30	05 56	06 19	06 19	06 20	11 37	12 23	13 05	13 45				
	20	167 52.8	025 02.0	10.0	10	28.5 13.2	30	05 41	06 10	06 34	06 35	06 35	11 53	12 33	13 11	13 46				
	21	182 55.3	039 31.0	10.2	10	15.3 13.3	35	05 47	06 17	06 43	06 44	06 44	12 02	12 40	13 14	13 47				
	22	197 57.7	054 00.2	10.2	10	02.0 13.3	40	05 52	06 25	06 53	06 54	06 55	12 12	12 47	13 18	13 47				
23	213 00.2	068 29.4	10.2	09	48.7 13.3	45	05 59	06 34	07 04	07 06	07 07	12 24	12 55	13 22	13 48					
5月10日 农历四月初八 星期日	00	228 02.7	082 58.6	10.3	N09	35.4-13.4	S50	06 06	06 45	07 19	07 20	07 21	12 38	13 05	13 28	13 48				
	01	243 05.1	097 27.9	10.3	09	22.0 13.5	52	06 09	06 50	07 25	07 27	07 28	12 45	13 10	13 30	13 49				
	02	258 07.6	111 57.2	10.4	09	08.5 13.5	54	06 12	06 55	07 32	07 34	07 36	12 53	13 15	13 33	13 49				
	03	273 10.1	126 26.6	10.4	08	55.0 13.5	S56	06 15	07 01	07 41	07 42	07 44	13 01	13 20	13 36	13 49				
	04	288 12.5	140 56.0	10.5	08	41.5 13.6	纬度	日 没	昏 影 终	月 没	9 日	10 日	11 日	8 日	9 日	10 日	11 日			
	05	303 15.0	155 25.5	10.5	08	27.9 13.6	N70	22 22	22 31	22 40	03 12	02 36	02 15	01 58	02 31	02 16	02 04	01 54		
	06	318 17.5	169 55.0	10.6	N08	14.3-13.7	68	21 39	21 44	21 50	02 03	01 59	01 55	01 51	02 03	01 59	01 55	01 51		
	07	333 19.9	184 24.6	10.6	08	00.6 13.7	66	21 11	21 15	21 19	01 42	01 46	01 48	01 49	01 42	01 46	01 41	01 49		
	08	348 22.4	198 54.2	10.6	07	46.9 13.8	64	20 49	20 53	20 56	01 24	01 35	01 41	01 46	01 24	01 35	01 41	01 46		
	09	003 24.8	213 23.8	10.7	07	33.1 13.7	62	20 32	20 35	20 38	01 10	01 25	01 35	01 44	01 10	01 25	01 35	01 44		
	10	018 27.3	227 53.5	10.7	07	19.4 13.9	60	20 18	20 21	20 23	00 57	01 16	01 30	01 42	00 57	01 19	01 36	01 40		
	11	033 29.8	242 23.2	10.8	07	05.5 13.8	N58	20 06	20 08	20 10	00 47	01 09	01 26	01 40	00 47	01 06	01 22	01 39		
	12	048 32.2	256 53.0	10.8	N06	51.7-13.9	56	19 56	19 58	20 00	00 37	01 02	01 22	01 39	00 37	01 02	01 22	01 39		
	13	063 34.7	271 22.8	10.9	06	37.8 14.0	54	19 46	19 48	19 50	00 28	00 56	01 18	01 38	00 28	00 56	01 18	01 38		
	14	078 37.2	285 52.7	10.8	06	23.8 13.9	52	19 38	19 40	19 42	00 21	00 50	01 15	01 36	00 21	00 50	01 15	01 36		
	15	093 39.6	300 22.5	10.9	06	09.9 14.0	50	19 31	19 33	19 34	00 04	00 38	01 07	01 33	00 04	00 38	01 07	01 33		
	16	108 42.1	314 52.4	11.0	05	55.9 14.0	45	19 16	19 17	19 18	00 28	01 01	01 31	01 51	00 28	01 01	01 31	01 51		
	17	123 44.6	329 22.4	11.0	05	41.9 14.1	N40	19 03	19 04	19 05	00 12	00 56	01 27	01 52	00 12	00 56	01 27	01 52		
	18	138 47.0	343 52.4	11.0	05	27.8-14.0	35	18 52	18 53	18 54	00 05	00 44	01 24	01 51	00 05	00 44	01 24	01 51		
	19	153 49.5	358 22.4	11.0	04	59.7 14.2	30	18 43	18 43	18 44	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	20	168 52.0	012 52.4	11.1	04	45.5 14.1	N10	18 27	18 27	18 27	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	21	183 54.4	027 22.5	11.1	04	31.4 14.2	018 00	18 13	18 13	18 13	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	22	198 56.9	041 52.6	11.2	04	17.2 14.1	S10	17 47	17 47	17 47	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
23	213 59.3	056 22.8	11.1	04	17.2 14.1	20	17 34	17 33	17 33	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51			
5月11日 农历四月初九 星期一	00	229 01.8	070 52.9	11.2	N04	03.1-14.2	30	17 18	17 17	17 43	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	01	244 04.3	085 23.1	11.2	03	48.9 14.3	35	17 10	17 09	17 08	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	02	259 06.7	099 53.3	11.3	03	34.6 14.2	40	17 00	16 59	16 58	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	03	274 09.2	114 23.6	11.2	03	20.4 14.2	45	16 48	16 47	16 45	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	04	289 11.7	128 53.8	11.3	03	06.2 14.3	S50	16 34	16 32	16 31	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	05	304 14.1	143 24.1	11.3	02	51.9 14.3	52	16 27	16 25	16 24	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	06	319 16.6	157 54.4	11.3	N02	37.6-14.2	54	16 20	16 18	16 16	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	07	334 19.1	172 24.7	11.4	02	23.4 14.3	S56	16 12	16 10	16 08	00 00	00 43	01 24	01 51	00 00	00 43	01 24	01 51		
	08	349 21.5	186 55.1	11.4	02	09.1 14.3	中 天	11 56	11 21	09 01	19 13	06 10								
	09	004 24.0	201 25.5	11.3	01	54.8 14.3	视 差	0.15'	0.1'	0.1'	0.0'	0.0'								
	10	019 26.4	215 55.8	11.4	01	40.5 14.3	赤 经		038°12.6'	003°24.9'	157°04.9'	320°54.2'								
	11	034 28.9	230 26.2	11.5	01	26.2 14.3	日 期	时 差	月 亮											
	12	049 31.4	244 56.7	11.4	N01	11.9-14.3	上中天	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	
	13	064 33.8	259 27.1	11.4	00	57.6 14.4	下中天													
	14	079 36.3	273 57.5	11.5	00	43.2 14.3	半 径	0时 12时	0时 12时	0时 12时	0时 12时	0时 12时	0时 12时	0时 12时	0时 12时	0时 12时	0时 12时	0时 12时	0时 12时	
	15	094 38.8	288 28.0	11.5	00	28.9 14.3	视 差	0.15'	0.1'	0.1'	0.0'	0.0'								
	16	109 41.2	302 58.5	11.4	00	14.6 14.3	时 差													
	17	124 43.7	317 28.9	11.5	N00	00.3-14.3	9 日	+03 34	18 16	05 50	16.2'	16.2'	59.3'	59.3'	16.1'	16.1'	59.2'	59.2'	16.1'	16.1'
	18	139 46.2	331 59.4	11.5	S00	14.0+14.3	10 日	+03 37	19 07	06 42	16.1'	16.1'	59.2'	59.2'	16.1'	16.1'	59.1'	59.1'	16.1'	16.1'
	19	154 48.6	346 29.9	11.5	00	28.3 14.3	11 日	+03 39	19 56	07 31	16.1'	16.1'	59.1'	59.0'	16.1'	16.1'	59.1'	59.0'	16.1'	16.1'
	20	169 51.1	001 00.4																	

6月8, 9, 10日

天体位置, 1992年

积日 160, 161, 162

世界时	太阳			金星			火星			木星			土星			世界时
	格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		格林时角	赤纬		
6月8日	00	180 15.5	N22 50.9	181 55.5	N22 37.4		232 56.3	N08 31.1		097 42.2	N10 07.9		295 30.6	S16 09.3	00	
	01	195 15.4	22 51.1	196 54.6	22 37.8		247 57.0	08 31.8		112 44.4	10 07.8		310 33.1	16 09.3	01	
	02	210 15.3	22 51.4	211 53.8	22 38.3		262 57.7	08 32.5		127 46.6	10 07.7		325 35.6	16 09.4	02	
	03	225 15.2	22 51.6	226 53.0	22 38.7		277 58.4	08 33.2		142 48.8	10 07.6		340 38.1	16 09.4	03	
	04	240 15.1	22 51.8	241 52.1	22 39.1		292 59.2	08 33.9		157 51.0	10 07.5		355 40.6	16 09.4	04	
	05	255 14.9	22 52.0	256 51.3	22 39.5		307 59.9	08 34.6		172 53.2	10 07.4		010 43.1	16 09.4	05	
	06	270 14.8	N22 52.2	271 50.5	N22 39.9		323 00.6	N08 35.3		187 55.5	N10 07.3		025 45.6	S16 09.4	06	
	07	285 14.7	22 52.5	286 49.6	22 40.3		338 01.3	08 35.9		202 57.7	10 07.2		040 48.1	16 09.5	07	
	08	300 14.6	22 52.7	301 48.8	22 40.8		353 02.0	08 36.6		217 59.9	10 07.1		055 50.6	16 09.5	08	
	09	315 14.5	22 52.9	316 48.0	22 41.2		008 02.7	08 37.3		233 02.1	10 07.0		070 53.1	16 09.5	09	
	10	330 14.3	22 53.1	331 47.1	22 41.6		023 03.5	08 38.0		248 04.3	10 06.9		085 55.6	16 09.5	10	
	11	345 14.2	22 53.3	346 46.3	22 42.0		038 04.2	08 38.7		263 06.5	10 06.8		100 58.1	16 09.5	11	
	12	000 14.1	N22 53.6	001 45.5	N22 42.4		053 04.9	N08 39.4		278 08.8	N10 07.3		116 00.6	S16 09.6	12	
	13	015 14.0	22 53.8	016 44.6	22 42.8		068 05.6	08 40.1		293 11.0	10 06.7		131 03.1	16 09.6	13	
	14	030 13.9	22 54.0	031 43.8	22 43.2		083 06.3	08 40.7		308 13.2	10 06.4		146 05.6	16 09.6	14	
	15	045 13.7	22 54.2	046 42.9	22 43.6		098 07.0	08 41.4		323 15.4	10 06.3		161 08.1	16 09.6	15	
	16	060 13.6	22 54.4	061 42.1	22 44.0		113 07.8	08 42.1		338 17.6	10 06.2		176 10.6	16 09.6	16	
	17	075 13.5	22 54.6	076 41.3	22 44.4		128 08.5	08 42.8		353 19.8	10 06.1		191 13.1	16 09.7	17	
	18	090 13.4	N22 54.8	091 40.4	N22 44.8		143 09.2	N08 43.5		008 22.0	N10 06.0		206 15.7	S16 09.7	18	
	19	105 13.3	22 55.0	106 39.6	22 45.2		158 09.9	08 44.2		023 24.3	10 05.9		221 18.2	16 09.7	19	
	20	120 13.1	22 55.3	121 38.7	22 45.6		173 10.6	08 44.9		038 26.5	10 05.8		236 20.7	16 09.7	20	
	21	135 13.0	22 55.5	136 37.9	22 46.0		188 11.3	08 45.5		053 28.7	10 05.7		251 23.2	16 09.7	21	
	22	150 12.9	22 55.7	151 37.1	22 46.4		203 12.1	08 46.2		068 30.9	10 05.6		266 25.7	16 09.8	22	
	23	165 12.8	22 55.9	166 36.2	22 46.8		218 12.8	08 46.9		083 33.1	10 05.5		281 28.2	16 09.8	23	
		Δ 0.9	Δ +0.2	Δ 0.2	Δ +0.4		Δ 1.7	Δ +0.7		Δ 3.2	Δ -0.1		Δ 3.5	Δ 0.0		
6月9日	00	180 12.7	N22 56.1	181 35.4	N22 47.2		233 13.5	N08 47.6		098 35.3	N10 05.4		296 30.7	S16 09.8	00	
	01	195 12.5	22 56.3	196 34.5	22 47.6		248 14.2	08 48.3		113 37.5	10 05.3		311 33.2	16 09.8	01	
	02	210 12.4	22 56.5	211 33.7	22 48.0		263 14.9	08 49.0		128 39.7	10 05.2		326 35.7	16 09.9	02	
	03	225 12.3	22 56.7	226 32.9	22 48.4		278 15.6	08 49.7		143 42.0	10 05.1		341 38.2	16 09.9	03	
	04	240 12.2	22 56.9	241 32.0	22 48.8		293 16.4	08 50.3		158 44.2	10 05.0		356 40.7	16 09.9	04	
	05	255 12.0	22 57.1	256 31.2	22 49.2		308 17.1	08 51.0		173 46.4	10 04.9		011 43.2	16 09.9	05	
	06	270 11.9	N22 57.3	271 30.3	N22 49.5		323 17.8	N08 51.7		188 48.6	N10 04.7		026 45.7	S16 09.9	06	
	07	285 11.8	22 57.5	286 29.5	22 49.9		338 18.5	08 52.4		203 50.8	10 04.6		041 48.3	16 10.0	07	
	08	300 11.7	22 57.7	301 28.6	22 50.3		353 19.2	08 53.1		218 53.0	10 04.5		056 50.8	16 10.0	08	
	09	315 11.6	22 57.9	316 27.8	22 50.7		008 19.9	08 53.8		233 55.2	10 04.4		071 53.3	16 10.0	09	
	10	330 11.4	22 58.1	331 27.0	22 51.1		023 20.7	08 54.4		248 57.4	10 04.3		086 55.8	16 10.0	10	
	11	345 11.3	22 58.3	346 26.1	22 51.5		038 21.4	08 55.1		263 59.6	10 04.2		101 58.3	16 10.0	11	
	12	000 11.2	N22 58.5	001 25.3	N22 51.8		053 22.1	N08 55.8		279 01.8	N10 04.1		117 00.8	S16 10.1	12	
	13	015 11.1	22 58.7	016 24.4	22 52.2		068 22.8	08 56.5		294 04.1	10 04.0		132 03.3	16 10.1	13	
	14	030 10.9	22 58.9	031 23.6	22 52.6		083 23.5	08 57.2		309 06.3	10 03.9		147 05.8	16 10.1	14	
	15	045 10.8	22 59.1	046 22.7	22 53.0		098 24.2	08 57.9		324 08.5	10 03.8		162 08.3	16 10.1	15	
	16	060 10.7	22 59.3	061 21.9	22 53.4		113 24.9	08 58.5		339 10.7	10 03.7		177 10.8	16 10.1	16	
	17	075 10.6	22 59.5	076 21.0	22 53.7		128 25.7	08 59.2		354 12.9	10 03.6		192 13.4	16 10.2	17	
	18	090 10.4	N22 59.7	091 20.2	N22 54.1		143 26.4	N08 59.9		009 15.1	N10 03.5		207 15.9	S16 10.2	18	
	19	105 10.3	22 59.9	106 19.4	22 54.5		158 27.1	09 00.6		024 17.3	10 03.4		222 18.4	16 10.2	19	
	20	120 10.2	23 00.1	121 18.5	22 54.8		173 27.8	09 01.3		039 19.5	10 03.2		237 20.9	16 10.2	20	
	21	135 10.1	23 00.3	136 17.7	22 55.2		188 28.5	09 01.9		054 21.7	10 03.1		252 23.4	16 10.3	21	
	22	150 10.0	23 00.5	151 16.8	22 55.6		203 29.2	09 02.6		069 23.9	10 03.0		267 25.9	16 10.3	22	
	23	165 09.8	23 00.7	166 16.0	22 56.0		218 30.0	09 03.3		084 26.1	10 02.9		282 28.4	16 10.3	23	
		Δ 0.9	Δ +0.2	Δ 0.2	Δ +0.4		Δ 1.7	Δ +0.7		Δ 3.2	Δ -0.1		Δ 3.5	Δ 0.0		
6月10日	00	180 09.7	N23 00.9	181 15.1	N22 56.3		233 30.7	N09 04.0		099 28.3	N10 02.8		297 30.9	S16 10.3	00	
	01	195 09.6	23 01.1	196 14.3	22 56.7		248 31.4	09 04.7		114 30.6	10 02.7		312 33.4	16 10.3	01	
	02	210 09.5	23 01.2	211 13.4	22 57.1		263 32.1	09 05.3		129 32.8	10 02.6		327 36.0	16 10.4	02	
	03	225 09.3	23 01.4	226 12.6	22 57.4		278 32.8	09 06.0		144 35.0	10 02.5		342 38.5	16 10.4	03	
	04	240 09.2	23 01.6	241 11.7	22 57.8		293 33.5	09 06.7		159 37.2	10 02.4		357 41.0	16 10.4	04	
	05	255 09.1	23 01.8	256 10.9	22 58.1		308 34.3	09 07.4		174 39.4	10 02.3		012 43.5	16 10.4	05	
	06	270 09.0	N23 02.0	271 10.0	N22 58.5		323 35.0	N09 08.1		189 41.6	N10 02.2		027 46.0	S16 10.5	06	
	07	285 08.8	23 02.2	286 09.2	22 58.9		338 35.7	09 08.7		204 43.8	10 02.1		042 48.5	16 10.5	07	
	08	300 08.7	23 02.4	301 08.3	22 59.2		353 36.4	09 09.4		219 46.0	10 01.9		057 51.0	16 10.5	08	
	09	315 08.6	23 02.5	316 07.5	22 59.6		008 37.1	09 10.1		234 48.2	10 01.8		072 53.5	16 10.5	09	
	10	330 08.5	23 02.7	331 06.6	22 59.9		023 37.8	09 10.8		249 50.4	10 01.7		087 56.1	16 10.5	10	
	11	345 08.3	23 02.9	346 05.8	23 00.3		038 38.6	09 11.5		264 52.6	10 01.6		102 58.6	16 10.5	11	
	12	000 08.2	N23 03.1	001 04.9	N23 00.6		053 39.3	N09 12.1		279 54.8	N10 01.5		118 01.1	S16 10.6	12	
	13	015 08.1	23 03.3	016 04.1	23 01.0		068 40.0	09 12.8		294 57.0	10 01.4		133 03.6	16 10.6	13	
	14	030 08.0	23 03.5	031 03.2	23 01.3		083 40.7	09 13.5		309 59.2	10 01.3		148 06.1	16 10.6	14	
	15	045 07.8	23 03.6	046 02.4	23 01.7		098 41.4	09 14.2		325 01.4	10 01.2		163 08.6	16 10.7	15	
	16	060 07.7	23 03.8	061 01.5	23 02.0		113 42.1	09 14.8		340 03.6	10 01.1		178 11.1	16 10.7	16	
	17	075 07.6	23													

世界 时	太 阳		158		金 星		火 星		木 星		土 星		世界 时									
	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬										
7月5日	00	178	52.4	N22	47.0	172	26.5	N22	59.9	240	35.8	N15	14.1	120	57.0	N08	43.3	323	05.1	S16	31.6	00
	01	193	52.3	22	46.7	187	25.6	22	59.5	255	36.5	15	14.7	135	59.0	08	43.1	338	07.7	16	31.6	01
	02	208	52.2	22	46.5	202	24.7	22	59.2	270	37.2	15	15.2	151	01.1	08	43.0	353	10.3	16	31.7	02
	03	223	52.1	22	46.3	217	23.9	22	58.8	285	37.9	15	15.8	166	03.2	08	42.8	008	12.9	16	31.7	03
	04	238	52.0	22	46.0	232	23.0	22	58.5	300	38.6	15	16.3	181	05.3	08	42.7	023	15.5	16	31.8	04
	05	253	51.9	22	45.8	247	22.2	22	58.1	315	39.3	15	16.9	196	07.4	08	42.5	038	18.1	16	31.8	05
	06	268	51.8	N22	45.5	262	21.3	N22	57.7	330	40.0	N15	17.4	211	09.5	N08	42.4	053	20.7	S16	31.9	06
	07	283	51.7	22	45.3	277	20.5	22	57.4	345	40.7	15	17.9	226	11.6	08	42.2	068	23.3	16	31.9	07
	08	298	51.6	22	45.1	292	19.6	22	57.0	000	41.4	15	18.5	241	13.7	08	42.0	083	25.9	16	32.0	08
	09	313	51.4	22	44.8	307	18.8	22	56.6	015	42.1	15	19.0	256	15.8	08	41.9	098	28.5	16	32.0	09
	10	328	51.3	22	44.6	322	17.9	22	56.3	030	42.8	15	19.6	271	17.9	08	41.7	113	31.1	16	32.1	10
	11	343	51.2	22	44.3	337	17.1	22	55.9	045	43.5	15	20.1	286	20.0	08	41.6	128	33.7	16	32.1	11
	12	358	51.1	N22	44.1	352	16.2	N22	55.5	060	44.2	N15	20.6	301	22.1	N08	41.4	143	36.3	S16	32.2	12
	13	013	51.0	22	43.9	007	15.4	22	55.1	075	44.9	15	21.2	316	24.2	08	41.3	158	38.9	16	32.2	13
	14	028	50.9	22	43.6	022	14.5	22	54.8	090	45.6	15	21.7	331	26.3	08	41.1	173	41.5	16	32.3	14
	15	043	50.8	22	43.4	037	13.7	22	54.4	105	46.3	15	22.3	346	28.4	08	41.0	188	44.1	16	32.3	15
	16	058	50.7	22	43.1	052	12.8	22	54.0	120	47.0	15	22.8	001	30.5	08	40.8	203	46.7	16	32.4	16
	17	073	50.6	22	42.9	067	12.0	22	53.6	135	47.7	15	23.3	016	32.5	08	40.6	218	49.3	16	32.4	17
	18	088	50.5	N22	42.6	082	11.2	N22	53.3	150	48.4	N15	23.9	031	34.6	N08	40.5	233	51.9	S16	32.5	18
	19	103	50.4	22	42.4	097	10.3	22	52.9	165	49.1	15	24.4	046	36.7	08	40.3	248	54.5	16	32.5	19
	20	118	50.3	22	42.1	112	09.5	22	52.5	180	49.8	15	25.0	061	38.8	08	40.2	263	57.1	16	32.6	20
	21	133	50.2	22	41.9	127	08.6	22	52.1	195	50.5	15	25.5	076	40.9	08	40.0	278	59.7	16	32.6	21
	22	148	50.1	22	41.6	142	07.8	22	51.7	210	51.2	15	26.0	091	43.0	08	39.9	294	02.3	16	32.7	22
	23	163	50.0	22	41.4	157	06.9	22	51.4	225	51.9	15	26.6	106	45.1	08	39.7	309	04.9	16	32.7	23
		$\bar{\Delta}$ 0.9	Δ -0.2			$\bar{\Delta}$ 0.2	Δ -0.4			$\bar{\Delta}$ 1.7	Δ +0.5			$\bar{\Delta}$ 3.1	Δ -0.2			$\bar{\Delta}$ 3.6	Δ 0.0			
7月6日	00	178	49.9	N22	41.1	172	06.1	N22	51.0	240	52.6	N15	27.1	121	47.2	N08	39.6	324	07.5	S16	32.7	00
	01	193	49.7	22	40.9	187	05.2	22	50.6	255	53.3	15	27.7	136	49.3	08	39.4	339	10.1	16	32.8	01
	02	208	49.6	22	40.6	202	04.4	22	50.2	270	54.0	15	28.2	151	51.4	08	39.2	354	12.7	16	32.8	02
	03	223	49.5	22	40.4	217	03.5	22	49.8	285	54.7	15	28.7	166	53.5	08	39.1	009	15.3	16	32.9	03
	04	238	49.4	22	40.1	232	02.7	22	49.4	300	55.4	15	29.3	181	55.6	08	38.9	024	17.9	16	32.9	04
	05	253	49.3	22	39.9	247	01.8	22	49.0	315	56.1	15	29.8	196	57.6	08	38.8	039	20.5	16	33.0	05
	06	268	49.2	N22	39.6	262	01.0	N22	48.6	330	56.8	N15	30.3	211	59.7	N08	38.6	054	23.1	S16	33.0	06
	07	283	49.1	22	39.3	277	00.2	22	48.2	345	57.5	15	30.9	227	01.8	08	38.5	069	25.7	16	33.1	07
	08	298	49.0	22	39.1	291	59.3	22	47.9	000	58.2	15	31.4	242	03.9	08	38.3	084	28.3	16	33.1	08
	09	313	48.9	22	38.8	306	58.5	22	47.5	015	58.9	15	31.9	257	06.0	08	38.1	099	30.9	16	33.2	09
	10	328	48.8	22	38.6	321	57.6	22	47.1	030	59.6	15	32.5	272	08.1	08	38.0	114	33.5	16	33.2	10
	11	343	48.7	22	38.3	336	56.8	22	46.7	046	00.3	15	33.0	287	10.2	08	37.8	129	36.1	16	33.3	11
	12	358	48.6	N22	38.1	351	55.9	N22	46.3	061	01.0	N15	33.5	302	12.3	N08	37.7	144	38.7	S16	33.3	12
	13	013	48.5	22	37.8	006	55.1	22	45.9	076	01.7	15	34.1	317	14.4	08	37.5	159	41.3	16	33.4	13
	14	028	48.4	22	37.5	021	54.3	22	45.5	091	02.4	15	34.6	332	16.5	08	37.4	174	43.9	16	33.4	14
	15	043	48.3	22	37.3	036	53.4	22	45.1	106	03.1	15	35.1	347	18.5	08	37.2	189	46.5	16	33.5	15
	16	058	48.2	22	37.0	051	52.6	22	44.7	121	03.8	15	35.7	002	20.6	08	37.0	204	49.1	16	33.5	16
	17	073	48.1	22	36.7	066	51.7	22	44.3	136	04.5	15	36.2	017	22.7	08	36.9	219	51.7	16	33.6	17
	18	088	48.0	N22	36.5	081	50.9	N22	43.8	151	05.2	N15	36.7	032	24.8	N08	36.7	234	54.3	S16	33.6	18
	19	103	47.9	22	36.2	096	50.1	22	43.4	166	05.9	15	37.3	047	26.9	08	36.6	249	56.9	16	33.7	19
	20	118	47.8	22	36.0	111	49.2	22	43.0	181	06.6	15	37.8	062	29.0	08	36.4	264	59.5	16	33.7	20
	21	133	47.7	22	35.7	126	48.4	22	42.6	196	07.3	15	38.3	077	31.1	08	36.3	280	02.1	16	33.8	21
	22	148	47.6	22	35.4	141	47.5	22	42.2	211	08.0	15	38.9	092	33.2	08	36.1	295	04.7	16	33.8	22
	23	163	47.5	22	35.2	156	46.7	22	41.8	226	08.7	15	39.4	107	35.3	08	35.9	310	07.3	16	33.9	23
		$\bar{\Delta}$ 0.9	Δ -0.3			$\bar{\Delta}$ 0.2	Δ -0.4			$\bar{\Delta}$ 1.7	Δ +0.5			$\bar{\Delta}$ 3.1	Δ -0.2			$\bar{\Delta}$ 3.6	Δ 0.0			
7月7日	00	178	47.4	N22	34.9	171	45.9	N22	41.4	241	09.4	N15	39.9	122	37.3	N08	35.8	325	09.9	S16	33.9	00
	01	193	47.3	22	34.6	186	45.0	22	41.0	256	10.1	15	40.5	137	39.4	08	35.6	340	12.5	16	34.0	01
	02	208	47.2	22	34.3	201	44.2	22	40.6	271	10.8	15	41.0	152	41.5	08	35.5	355	15.1	16	34.0	02
	03	223	47.1	22	34.1	216	43.4	22	40.1	286	11.5	15	41.5	167	43.6	08	35.3	010	17.7	16	34.1	03
	04	238	47.0	22	33.8	231	42.5	22	39.7	301	12.3	15	42.1	182	45.7	08	35.2	025	20.3	16	34.1	04
	05	253	46.9	22	33.5	246	41.7	22	39.3	316	13.0	15	42.6	197	47.8	08	35.0	040	22.9	16	34.2	05
	06	268	46.8	N22	33.3	261	40.9	N22	38.9	331	13.7	N15	43.1	212	49.9	N08	34.8	055	25.5	S16	34.2	06
	07	283	46.7	22	33.0	276	40.0	22	38.5	346	14.4	15	43.6	227	52.0	08	34.7	070	28.2	16	34.3	07
	08	298	46.6	22	32.7	291	39.2	22	38.0	001	15.1	15	44.2	242	54.0	08	34.5	085	30.8	16	34.3	08
	09	313	46.5	22	32.4	306	38.3	22	37.6	016	15.8	15	44.7	257	56.1	08	34.4	100	33.4	16	34.4	09
	10	328	46.4	22	32.2	321	37.5	22	37.2													

世界 时	春分点		月 亮		纬度	晨 光 始		日 出			月 出								
	格林时角		格林时角 Δ	赤 纬 Δ		航海	民用	5 日	6 日	7 日	4 日	5 日	6 日	7 日					
7月5日 农历六月初六 星期日	00	283	14.5	118	36.7	10.6	N01	02.6-14.7	N70					08 43	10 46	12 48	14 53		
	01	298	16.9	133	06.3	10.6	00	47.9 14.6	68					08 49	10 44	12 38	14 33		
	02	313	19.4	147	35.9	10.7	00	33.3 14.7	66	00 48	00 53	00 59	08 53	10 43	12 30	14 17			
	03	328	21.9	162	05.6	10.7	00	18.6 14.6	64	01 50	01 52	01 54	08 57	10 41	12 23	14 04			
	04	343	24.3	176	35.3	10.7	N00	04.0-14.6	62	02 23	02 25	02 26	09 01	10 40	12 17	13 53			
	05	358	26.8	191	05.0	10.8	S00	10.6+14.6	60	01 17	02 47	02 49	02 50	09 03	10 39	12 12	13 44		
	06	013	29.3	205	34.8	10.8	S00	25.2+14.6	N58	01 57	03 06	03 07	03 09	09 06	10 38	12 08	13 36		
	07	028	31.7	220	04.6	10.8	00	39.8 14.5	56	02 23	03 22	03 23	03 24	09 08	10 37	12 04	13 29		
	08	043	34.2	234	34.4	10.8	00	54.3 14.6	54	01 11	02 44	03 36	03 37	03 38	09 10	10 36	12 00	13 22	
	09	058	36.6	249	04.2	10.9	01	08.9 14.5	52	01 47	03 01	03 47	03 48	03 49	09 12	10 36	11 57	13 17	
	10	073	39.1	263	34.1	10.9	01	23.4 14.5	50	02 12	03 15	03 58	03 59	04 00	09 14	10 35	11 54	13 12	
	11	088	41.6	278	04.0	10.9	01	37.9 14.5	45	02 55	03 43	04 20	04 20	04 21	09 18	10 34	11 48	13 01	
	12	103	44.0	292	33.9	10.9	S01	52.4+14.4	N40	03 24	04 05	04 37	04 38	04 38	09 21	10 33	11 43	12 52	
	13	118	46.5	307	03.8	11.0	02	06.8 14.5	35	03 46	04 23	04 51	04 52	04 53	09 23	10 32	11 38	12 44	
	14	133	49.0	321	33.8	11.0	02	21.3 14.4	30	04 04	04 37	05 04	05 05	05 05	09 26	10 31	11 35	12 37	
	15	148	51.4	336	03.8	11.0	02	35.7 14.3	20	04 32	05 01	05 25	05 26	05 26	09 30	10 30	11 28	12 26	
	16	163	53.9	350	33.8	11.0	02	50.0 14.4	N10	04 54	05 21	05 44	05 44	05 44	09 33	10 28	11 22	12 15	
	17	178	56.4	005	03.8	11.1	03	04.4 14.3	0	05 13	05 39	06 01	06 01	06 01	09 37	10 27	11 17	12 06	
	18	193	58.8	019	33.9	11.0	S03	18.7+14.3	S10	05 29	05 55	06 18	06 18	06 18	09 40	10 26	11 11	11 57	
	19	209	01.3	034	03.9	11.1	03	33.0 14.2	20	05 45	06 12	06 36	06 36	06 36	09 44	10 25	11 06	11 47	
	20	224	03.8	048	34.0	11.1	03	47.2 14.2	30	06 00	06 30	06 56	06 56	06 56	09 48	10 24	10 59	11 36	
	21	239	06.2	063	04.1	11.1	04	01.4 14.2	35	06 09	06 40	07 08	07 08	07 08	09 50	10 23	10 56	11 29	
	22	254	08.7	077	34.2	11.1	04	15.6 14.1	40	06 18	06 52	07 22	07 22	07 22	09 53	10 22	10 52	11 22	
23	269	11.1	092	04.3	11.2	04	29.7 14.1	45	06 28	07 04	07 38	07 38	07 37	09 56	10 21	10 47	11 14		
7月6日 农历六月初七 星期一	00	284	13.6	106	34.5	11.1	S04	43.8+14.1	S50	06 39	07 20	07 58	07 58	07 57	09 59	10 20	10 41	11 04	
	01	299	16.1	121	04.6	11.1	04	57.9 14.0	52	06 43	07 27	08 08	08 07	08 06	10 01	10 20	10 39	10 59	
	02	314	18.5	135	34.7	11.2	05	11.9 14.0	54	06 49	07 34	08 18	08 18	08 17	10 03	10 19	10 36	10 54	
	03	329	21.0	150	04.9	11.2	05	25.9 13.9	S56	06 55	07 43	08 30	08 29	08 29	10 05	10 19	10 33	10 48	
	04	344	23.5	164	35.1	11.2	05	39.8 13.9	纬度										
	05	359	25.9	179	05.3	11.1	05	53.7 13.8	日 没										
	06	014	28.4	193	35.4	11.2	S06	07.5+13.8	昏 影 终										
	07	029	30.9	208	05.6	11.2	06	21.3 13.8	月 没										
	08	044	33.3	222	35.8	11.2	06	35.1 13.7	5 日										
	09	059	35.8	237	06.0	11.2	06	48.8 13.6	6 日										
	10	074	38.2	251	36.2	11.2	07	02.4 13.6	7 日										
	11	089	40.7	266	06.4	11.2	07	16.0 13.6	航海										
	12	104	43.2	280	36.6	11.2	S07	29.6+13.5	民用										
	13	119	45.6	295	06.8	11.3	07	43.1 13.4	航海										
	14	134	48.1	309	37.1	11.2	07	56.5 13.4	N58	21 02	21 01	21 00	22 11	22 10	22 21	22 33	22 47		
	15	149	50.6	324	07.3	11.2	08	09.9 13.3	56	20 46	20 46	20 45	21 45	22 10	22 23	22 38	22 55		
	16	164	53.0	338	37.5	11.2	08	23.2 13.3	54	20 33	20 32	20 31	21 25	22 09	22 25	22 43	23 02		
	17	179	55.5	353	07.7	11.2	08	36.5 13.2	52	20 21	20 21	20 20	21 08	22 21	22 08	22 27	22 47	23 08	
	18	194	58.0	007	37.9	11.1	S08	49.7+13.2	50	20 11	20 10	20 10	20 54	21 56	22 08	22 29	22 50	23 14	
	19	210	00.4	022	08.0	11.2	09	02.9 13.1	45	19 49	19 49	19 48	20 26	21 14	22 07	22 32	22 58	23 26	
	20	225	02.9	036	38.2	11.2	09	16.0 13.0	N40	19 32	19 32	19 31	20 04	20 45	22 06	22 35	23 05	23 37	
	21	240	05.4	051	08.4	11.2	09	29.0 13.0	85	19 17	19 17	19 17	19 47	20 23	22 05	22 38	23 11	23 45	
	22	255	07.8	065	38.6	11.1	09	42.0 12.9	30	19 05	19 05	19 05	19 32	20 05	22 04	22 40	23 16	23 53	
23	270	10.3	080	08.7	11.2	09	54.9 12.8	20	18 44	18 44	18 44	19 08	19 37	22 03	22 44	23 25	—		
7月7日 农历六月初八 星期二	00	285	12.7	094	38.9	11.1	S10	07.7+12.8	N10	18 25	18 25	18 25	18 48	19 15	22 02	22 48	23 33	—	
	01	300	15.2	109	09.0	11.2	10	20.5 12.7	0	18 08	18 08	18 09	18 31	18 57	22 01	22 51	23 40	—	
	02	315	17.7	123	39.2	11.1	10	33.2 12.6	S10	17 51	17 52	17 52	18 14	18 41	22 00	22 54	23 48	—	
	03	330	20.1	138	09.3	11.1	10	45.8 12.6	20	17 33	17 34	17 34	17 58	18 25	21 58	22 57	23 55	—	
	04	345	22.6	152	39.4	11.1	10	58.4 12.5	30	17 13	17 13	17 14	17 39	18 09	21 57	23 01	—	00 05	
	05	000	25.1	167	09.5	11.1	11	10.9 12.4	35	17 01	17 02	17 02	17 30	18 01	21 56	23 04	—	00 10	
	06	015	27.5	181	39.6	11.1	S11	23.3+12.4	40	16 47	16 48	16 49	17 18	17 52	21 55	23 06	—	00 16	
	07	030	30.0	196	09.7	11.0	11	35.7 12.3	45	16 31	16 32	16 33	17 05	17 42	21 54	23 09	—	00 23	
	08	045	32.5	210	39.7	11.1	11	48.0 12.2	S50	16 11	16 12	16 13	16 50	17 31	21 53	23 13	—	00 31	
	09	060	34.9	225	09.8	11.0	12	00.2 12.1	52	16 02	16 03	16 04	16 43	17 26	21 52	23 15	—	00 35	
	10	075	37.4	239	39.8	11.0	12	12.3 12.1	54	15 51	15 52	15 53	16 35	17 21	21 51	23 16	—	00 39	
	11	090	39.9	254	09.8	11.0	12	24.4 11.9	S56	15 39	15 40	15 41	16 29	17 15	21 51	23 18	—	00 44	
	12	105	42.3	268	39.8	11.0	S12	36.3+12.0	本 附 金 星 火 星 木 星 土 星										
	13	120	44.8	283	09.8	10.9	12	48.3 11.8	中 夫	12 05	12 32	07 56	15 51	02 23					
	14	135	47.2	297	39.7	11.0	13	00.1 11.7	视 差	0.14"	0.1'	0.1'	0.0'	0.0'					
	15	150	49.7	312	09.7	10.9	13	11.8 11.7	赤 经		112°07.5'	043°21.0'	162°26.4'	320°06.1'					
	16	165	52.2	326	39.6	10.9	13	23.5 11.6	日 期										
	17	180	54.6	341	09.5	10.9	13	35.1 11.5	时 差 (视时减平时)										
	18	195	57.1	355	39.4	10.9	S13	46.6+11.4	上 中 天										
	19	210	59.6	010	09.3	10.8	13	58.0 11.3	下 中 天										
	20	226	02.0	024	39.1	10.8	14	09.3 11.3	半 径										
	21	241	04.5	039	08.9	10.8	14	20.6 11.2	视 差										
	22	256	07.0	053	38.7	10.8	14	31.8 11.0	5 日	-04 30	16 39	04 14	16.3'	16.2'	59.7'	59.4'			
23	271	09.4	068	08.5	10.7	14	42.8 11.0	6 日	-04 41	17 28	05 04	16.1'	16.0'	59.1'	58.7'				
								7 日	-04 50	18 18	05 53	15.9'	15.8'	58.4'	58.0'				

世界 时	太 阳		158		金 星		火 星		木 星		土 星		世界 时									
	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬	格林时角	赤 纬										
8月4日	00	178	28.9	N17	13.9	164	04.1	N14	14.6	249	02.8	N20	29.8	145	32.0	N06	37.3	354	38.6	S17	11.4	00
农 历 七 月 初 六 星 期 二	01	193	28.9	17	13.2	179	03.5	14	13.6	264	03.5	20	30.2	160	34.0	06	37.1	009	41.3	17	11.4	01
	02	208	29.0	17	12.5	194	03.0	14	12.5	279	04.3	20	30.5	175	36.1	06	36.9	024	43.9	17	11.5	02
	03	223	29.0	17	11.9	209	02.5	14	11.5	294	05.0	20	30.8	190	38.1	06	36.7	039	46.6	17	11.5	03
	04	238	29.1	17	11.2	224	02.0	14	10.4	309	05.7	20	31.1	205	40.1	06	36.5	054	49.2	17	11.6	04
	05	253	29.1	17	10.5	239	01.5	14	09.4	324	06.4	20	31.5	220	42.1	06	36.3	069	51.9	17	11.6	05
	06	268	29.2	N17	09.9	254	00.9	N14	08.4	339	07.1	N20	31.8	235	44.1	N06	36.1	084	54.5	S17	11.7	06
	07	283	29.3	17	09.2	269	00.4	14	07.3	354	07.9	20	32.1	250	46.1	06	35.9	099	57.2	17	11.8	07
	08	298	29.3	17	08.5	283	59.9	14	06.3	009	08.6	20	32.4	265	48.1	06	35.7	114	59.8	17	11.8	08
	09	313	29.4	17	07.9	298	59.4	14	05.2	024	09.3	20	32.8	280	50.1	06	35.5	130	02.5	17	11.9	09
	10	328	29.4	17	07.2	313	58.9	14	04.2	039	10.0	20	33.1	295	52.1	06	35.3	145	05.1	17	11.9	10
	11	343	29.5	17	06.5	328	58.4	14	03.1	054	10.7	20	33.4	310	54.1	06	35.1	160	07.8	17	12.0	11
	12	358	29.6	N17	05.8	343	57.8	N14	02.1	069	11.5	N20	33.7	325	56.1	N06	35.0	175	10.4	S17	12.1	12
13	013	29.6	17	05.2	358	57.3	14	01.0	084	12.2	20	34.1	340	58.2	06	34.8	190	13.1	17	12.1	13	
14	028	29.7	17	04.5	013	56.8	14	00.0	099	12.9	20	34.4	356	00.2	06	34.6	205	15.7	17	12.2	14	
15	043	29.7	17	03.8	028	56.3	13	59.0	114	13.6	20	34.7	011	02.2	06	34.4	220	18.4	17	12.2	15	
16	058	29.8	17	03.2	043	55.8	13	57.9	129	14.3	20	35.0	026	04.2	06	34.2	235	21.0	17	12.3	16	
17	073	29.9	17	02.5	058	55.3	13	56.9	144	15.1	20	35.3	041	06.2	06	34.0	250	23.7	17	12.4	17	
18	088	29.9	N17	01.8	073	54.8	N13	55.8	159	15.8	N20	35.7	056	08.2	N06	33.8	265	26.3	S17	12.4	18	
19	103	30.0	17	01.1	088	54.2	13	54.8	174	16.5	20	36.0	071	10.2	06	33.6	280	29.0	17	12.5	19	
20	118	30.0	17	00.5	103	53.7	13	53.7	189	17.2	20	36.3	086	12.2	06	33.4	295	31.6	17	12.5	20	
21	133	30.1	16	59.8	118	53.2	13	52.7	204	17.9	20	36.6	101	14.2	06	33.2	310	34.3	17	12.6	21	
22	148	30.2	16	59.1	133	52.7	13	51.6	219	18.7	20	36.9	116	16.2	06	33.0	325	36.9	17	12.6	22	
23	163	30.2	16	58.4	148	52.2	13	50.5	234	19.4	20	37.3	131	18.2	06	32.8	340	39.6	17	12.7	23	
		$\bar{\Delta}$	1.1	Δ	-0.7	$\bar{\Delta}$	0.5	Δ	-1.0	$\bar{\Delta}$	1.7	Δ	+0.3	$\bar{\Delta}$	3.0	Δ	-0.2	$\bar{\Delta}$	3.6	Δ	+0.1	
8月5日	00	178	30.3	N16	57.8	163	51.7	N13	49.5	249	20.1	N20	37.6	146	20.3	N06	32.6	355	42.2	S17	12.8	00
农 历 七 月 初 七 星 期 三	01	193	30.4	16	57.1	178	51.2	13	48.4	264	20.8	20	37.9	161	22.3	06	32.4	010	44.9	17	12.8	01
	02	208	30.4	16	56.4	193	50.7	13	47.4	279	21.5	20	38.2	176	24.3	06	32.2	025	47.5	17	12.9	02
	03	223	30.5	16	55.7	208	50.2	13	46.3	294	22.3	20	38.5	191	26.3	06	32.1	040	50.2	17	12.9	03
	04	238	30.5	16	55.0	223	49.6	13	45.3	309	23.0	20	38.9	206	28.3	06	31.9	055	52.8	17	13.0	04
	05	253	30.6	16	54.4	238	49.1	13	44.2	324	23.7	20	39.2	221	30.3	06	31.7	070	55.5	17	13.1	05
	06	268	30.7	N16	53.7	253	48.6	N13	43.2	339	24.4	N20	39.5	236	32.3	N06	31.5	085	58.1	S17	13.1	06
	07	283	30.7	16	53.0	268	48.1	13	42.1	354	25.1	20	39.8	251	34.3	06	31.3	101	00.8	17	13.2	07
	08	298	30.8	16	52.3	283	47.6	13	41.0	009	25.9	20	40.1	266	36.3	06	31.1	116	03.4	17	13.2	08
	09	313	30.9	16	51.6	298	47.1	13	40.0	024	26.6	20	40.4	281	38.3	06	30.9	131	06.1	17	13.3	09
	10	328	30.9	16	51.0	313	46.6	13	38.9	039	27.3	20	40.8	296	40.3	06	30.7	146	08.7	17	13.4	10
	11	343	31.0	16	50.3	328	46.1	13	37.9	054	28.0	20	41.1	311	42.3	06	30.5	161	11.4	17	13.4	11
	12	358	31.1	N16	49.6	343	45.6	N13	36.8	069	28.8	N20	41.4	326	44.4	N06	30.3	176	14.0	S17	13.5	12
13	013	31.1	16	48.9	358	45.1	13	35.7	084	29.5	20	41.7	341	46.4	06	30.1	191	16.7	17	13.5	13	
14	028	31.2	16	48.2	013	44.6	13	34.7	099	30.2	20	42.0	356	48.4	06	29.9	206	19.3	17	13.6	14	
15	043	31.3	16	47.5	028	44.1	13	33.6	114	30.9	20	42.3	011	50.4	06	29.7	221	22.0	17	13.6	15	
16	058	31.3	16	46.9	043	43.6	13	32.5	129	31.6	20	42.7	026	52.4	06	29.5	236	24.6	17	13.7	16	
17	073	31.4	16	46.2	058	43.1	13	31.5	144	32.4	20	43.0	041	54.4	06	29.3	251	27.3	17	13.8	17	
18	088	31.5	N16	45.5	073	42.6	N13	30.4	159	33.1	N20	43.3	056	56.4	N06	29.1	266	29.9	S17	13.8	18	
19	103	31.5	16	44.8	088	42.1	13	29.4	174	33.8	20	43.6	071	58.4	06	29.0	281	32.6	17	13.9	19	
20	118	31.6	16	44.1	103	41.6	13	28.3	189	34.5	20	43.9	087	00.4	06	28.8	296	35.2	17	13.9	20	
21	133	31.7	16	43.4	118	41.1	13	27.2	204	35.3	20	44.2	102	02.4	06	28.6	311	37.9	17	14.0	21	
22	148	31.7	16	42.7	133	40.6	13	26.1	219	36.0	20	44.5	117	04.4	06	28.4	326	40.5	17	14.1	22	
23	163	31.8	16	42.1	148	40.1	13	25.1	234	36.7	20	44.8	132	06.4	06	28.2	341	43.2	17	14.1	23	
		$\bar{\Delta}$	1.1	Δ	-0.7	$\bar{\Delta}$	0.5	Δ	-1.1	$\bar{\Delta}$	1.7	Δ	+0.3	$\bar{\Delta}$	3.0	Δ	-0.2	$\bar{\Delta}$	3.6	Δ	+0.1	
8月6日	00	178	31.9	N16	41.4	163	39.6	N13	24.0	249	37.4	N20	45.2	147	08.4	N06	28.0	356	45.8	S17	14.2	00
农 历 七 月 初 八 星 期 四	01	192	31.9	16	40.7	178	39.1	13	22.9	264	38.2	20	45.5	162	10.4	06	27.8	011	48.5	17	14.2	01
	02	208	32.0	16	40.0	193	38.6	13	21.9	279	38.9	20	45.8	177	12.5	06	27.6	026	51.1	17	14.3	02
	03	223	32.1	16	39.3	208	38.1	13	20.8	294	39.6	20	46.1	192	14.5	06	27.4	041	53.8	17	14.4	03
	04	238	32.2	16	38.6	223	37.6	13	19.7	309	40.3	20	46.4	207	16.5	06	27.2	056	56.4	17	14.4	04
	05	253	32.2	16	37.9	238	37.1	13	18.7	324	41.0	20	46.7	222	18.5	06	27.0	071	59.1	17	14.5	05
	06	268	32.3	N16	37.2	253	36.6	N13	17.6	339	41.8	N20	47.0	237	20.5							

Main astronomical data table with multiple columns for celestial coordinates (赤经, 赤纬, 黄经, 黄纬), rise/set times (日出, 月出), and planetary positions (太阳, 金星, 木星, 火星, 土星, 水星). Includes sections for dates 8月4日, 8月5日, and 8月6日, and astronomical constants like 视差 and 赤经.

世界时	太阳		金星		火星		木星		土星		世界时						
	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬	格林时角	赤纬							
8月7日	178	33.6 N16	24.7	163	27.7 N12	58.2	249	54.8 N20	52.5	147	56.6 N06	23.3	357	49.4 S17	15.6	00	
01	193	33.7	16 24.0	178	27.2	12 57.1	264	55.5	20 52.8	162	58.6	06 23.1	012	52.1	17 15.6	01	
02	208	33.8	16 23.3	193	26.7	12 56.0	279	56.3	20 53.2	178	00.6	06 22.9	027	54.7	17 15.7	02	
03	223	33.8	16 22.6	208	26.3	12 54.9	294	57.0	20 53.5	193	02.6	06 22.7	042	57.4	17 15.8	03	
04	238	33.9	16 21.9	223	25.8	12 53.8	309	57.7	20 53.8	208	04.6	06 22.5	058	00.0	17 15.8	04	
05	253	34.0	16 21.2	238	25.3	12 52.8	324	58.4	20 54.1	223	06.6	06 22.3	073	02.7	17 15.9	05	
06	268	34.1 N16	20.5	253	24.8 N12	51.7	339	59.2 N20	54.4	238	08.6 N06	22.1	088	05.3 S17	15.9	06	
07	283	34.1	16 19.8	268	24.3	12 50.6	354	59.9	20 54.7	253	10.6	06 21.9	103	08.0	17 16.0	07	
08	298	34.2	16 19.1	283	23.8	12 49.5	010	00.6	20 55.0	268	12.6	06 21.7	118	10.6	17 16.0	08	
09	313	34.3	16 18.4	298	23.3	12 48.4	025	01.4	20 55.3	283	14.6	06 21.6	133	13.3	17 16.1	09	
10	328	34.4	16 17.7	313	22.9	12 47.3	040	02.1	20 55.6	298	16.6	06 21.4	148	15.9	17 16.2	10	
11	343	34.5	16 17.0	328	22.4	12 46.2	055	02.8	20 55.9	313	18.6	06 21.2	163	18.6	17 16.2	11	
12	358	34.5 N16	16.3	343	21.9 N12	45.1	070	03.5 N20	56.2	328	20.6 N06	21.0	178	21.2 S17	16.3	12	
13	013	34.6	16 15.6	358	21.4	12 44.0	085	04.3	20 56.5	343	22.6	06 20.8	193	23.9	17 16.3	13	
14	028	34.7	16 14.9	013	20.9	12 42.9	100	05.0	20 56.8	358	24.6	06 20.6	208	26.5	17 16.4	14	
15	043	34.8	16 14.2	028	20.5	12 41.9	115	05.7	20 57.1	013	26.6	06 20.4	223	29.2	17 16.5	15	
16	058	34.9	16 13.5	043	20.0	12 40.8	130	06.4	20 57.4	028	28.6	06 20.2	238	31.8	17 16.5	16	
17	073	34.9	16 12.8	058	19.5	12 39.7	145	07.2	20 57.7	043	30.6	06 20.0	253	34.5	17 16.6	17	
18	088	35.0 N16	12.1	073	19.0 N12	38.6	160	07.9 N20	58.0	058	32.6 N06	19.8	268	37.1 S17	16.6	18	
19	103	35.1	16 11.4	088	18.5	12 37.5	175	08.6	20 58.3	073	34.6	06 19.6	283	39.8	17 16.7	19	
20	118	35.2	16 10.7	103	18.1	12 36.4	190	09.3	20 58.6	088	36.7	06 19.4	298	42.4	17 16.8	20	
21	133	35.3	16 09.9	118	17.6	12 35.3	205	10.1	20 58.9	103	38.7	06 19.2	313	45.1	17 16.8	21	
22	148	35.3	16 09.2	133	17.1	12 34.2	220	10.8	20 59.2	118	40.7	06 19.0	328	47.7	17 16.9	22	
23	163	35.4	16 08.5	148	16.6	12 33.1	235	11.5	20 59.5	133	42.7	06 18.8	343	50.4	17 16.9	23	
	Δ 1.1 Δ -0.7		Δ 0.5 Δ -1.1	Δ 1.7 Δ +0.3		Δ 3.0 Δ -0.2		Δ 3.7 Δ +0.1									
8月8日	178	35.5 N16	07.8	163	16.1 N12	32.0	250	12.3 N20	59.7	148	44.7 N06	18.6	358	53.0 S17	17.0	00	
01	193	35.6	16 07.1	178	15.7	12 30.9	265	13.0	21 00.0	163	46.7	06 18.4	013	55.7	17 17.0	01	
02	208	35.7	16 06.4	193	15.2	12 29.8	280	13.7	21 00.3	178	48.7	06 18.2	028	58.3	17 17.1	02	
03	223	35.7	16 05.7	208	14.7	12 28.7	295	14.4	21 00.6	193	50.7	06 18.0	044	01.0	17 17.2	03	
04	238	35.8	16 05.0	223	14.2	12 27.6	310	15.2	21 00.9	208	52.7	06 17.8	059	03.6	17 17.2	04	
05	253	35.9	16 04.3	238	13.8	12 26.5	325	15.9	21 01.2	223	54.7	06 17.6	074	06.3	17 17.3	05	
06	268	36.0 N16	03.5	253	13.3 N12	25.4	340	16.6 N21	01.5	238	56.7 N06	17.4	089	08.9 S17	17.3	06	
07	283	36.1	16 02.8	268	12.8	12 24.3	355	17.4	21 01.8	253	58.7	06 17.2	104	11.6	17 17.4	07	
08	298	36.2	16 02.1	283	12.3	12 23.2	010	18.1	21 02.1	269	00.7	06 17.0	119	14.2	17 17.5	08	
09	313	36.3	16 01.4	298	11.9	12 22.1	025	18.8	21 02.4	284	02.7	06 16.9	134	16.9	17 17.5	09	
10	328	36.3	16 00.7	313	11.4	12 21.0	040	19.5	21 02.7	299	04.7	06 16.7	149	19.5	17 17.6	10	
11	343	36.4	16 00.0	328	10.9	12 19.9	055	20.3	21 03.0	314	06.7	06 16.5	164	22.2	17 17.6	11	
12	358	36.5 N15	59.3	343	10.4 N12	18.8	070	21.0 N21	03.3	329	08.7 N06	16.3	179	24.8 S17	17.7	12	
13	013	36.6	15 58.5	358	10.0	12 17.7	085	21.7	21 03.6	344	10.7	06 16.1	194	27.5	17 17.7	13	
14	028	36.7	15 57.8	013	09.5	12 16.6	100	22.5	21 03.9	359	12.7	06 15.9	209	30.1	17 17.8	14	
15	043	36.8	15 57.1	028	09.0	12 15.5	115	23.2	21 04.2	014	14.7	06 15.7	224	32.8	17 17.9	15	
16	058	36.8	15 56.4	043	08.6	12 14.4	130	23.9	21 04.5	029	16.7	06 15.5	239	35.4	17 17.9	16	
17	073	36.9	15 55.7	058	08.1	12 13.3	145	24.6	21 04.7	044	18.7	06 15.3	254	38.1	17 18.0	17	
18	088	37.0 N15	55.0	073	07.6 N12	12.1	160	25.4 N21	05.0	059	20.7 N06	15.1	269	40.7 S17	18.0	18	
19	103	37.1	15 54.2	088	07.1	12 11.0	175	26.1	21 05.3	074	22.7	06 14.9	284	43.4	17 18.1	19	
20	118	37.2	15 53.5	103	06.7	12 09.9	190	26.8	21 05.6	089	24.7	06 14.7	299	46.0	17 18.2	20	
21	133	37.3	15 52.8	118	06.2	12 08.8	205	27.6	21 05.9	104	26.7	06 14.5	314	48.7	17 18.2	21	
22	148	37.4	15 52.1	133	05.7	12 07.7	220	28.3	21 06.2	119	28.7	06 14.3	329	51.3	17 18.3	22	
23	163	37.5	15 51.4	148	05.3	12 06.6	235	29.0	21 06.5	134	30.7	06 14.1	344	54.0	17 18.3	23	
	Δ 1.1 Δ -0.7		Δ 0.5 Δ -1.1	Δ 1.7 Δ +0.3		Δ 3.0 Δ -0.2		Δ 3.7 Δ +0.1									
8月9日	178	37.5 N15	50.6	163	04.8 N12	05.5	250	29.8 N21	06.8	149	32.7 N06	13.9	359	56.6 S17	18.4	00	
01	193	37.6	15 49.9	178	04.3	12 04.4	265	30.5	21 07.1	164	34.7	06 13.7	014	59.3	17 18.4	01	
02	208	37.7	15 49.2	193	03.9	12 03.3	280	31.2	21 07.3	179	36.7	06 13.5	030	01.9	17 18.5	02	
03	223	37.8	15 48.5	208	03.4	12 02.2	295	31.9	21 07.6	194	38.7	06 13.3	045	04.6	17 18.6	03	
04	238	37.9	15 47.8	223	02.9	12 01.0	310	32.7	21 07.9	209	40.7	06 13.1	060	07.2	17 18.6	04	
05	253	38.0	15 47.0	238	02.5	11 59.9	325	33.4	21 08.2	224	42.7	06 12.9	075	09.9	17 18.7	05	
06	268	38.1 N15	46.3	253	02.0 N11	58.8	340	34.1 N21	08.5	239	44.7 N06	12.7	090	12.5 S17	18.7	06	
07	283	38.2	15 45.6	268	01.5	11 57.7	355	34.9	21 08.8	254	46.7	06 12.5	105	15.2	17 18.8	07	
08	298	38.3	15 44.9	283	01.1	11 56.6	010	35.6	21 09.1	269	48.7	06 12.3	120	17.8	17 18.9	08	
09	313	38.3	15 44.1	298	00.6	11 55.5	025	36.3	21 09.4	284	50.7	06 12.1	135	20.5	17 18.9	09	
10	328	38.4	15 43.4	313	00.2	11 54.3	040	37.1	21 09.6	299	52.7	06 11.9	150	23.1	17 19.0	10	
11	343	38.5	15 42.7	327	59.7	11 53.2	055	37.8	21 09.9	314	54.8	06 11.7	165	25.8	17 19.0	11	
12	358	38.6 N15	42.0	342	59.2 N11	52.1	070	38.5 N21	10.2	329	56.7 N06	11.5	180	28.4 S17	19.1	12	
13	013	38.7	15 41.2	357	58.8	11 51.0	085	39.3	21 10.5	344	58.7	06 11.3	195	31.1	17 19.1	13	
14	028	38.8	15 40.5	012	58.3	11 49.9	100	40.0	21 10.8	000	00.7	06 11.1	210	33.7	17 19.2	14	
15	043	38.9	15 39.8	027	57.9	11 48.8	115	40.7	21 11.1	015	02.7	06 10.9	225	36.4	17 19.3	15	
16	058	39.0	15 39.1	042	57.4	11 47.6	130	41.5	21 11.3	030	04.7	06 10.7	240	39.0	17 19.3	16	
17	073	39.1	15 38.3	057	56.9	11 46.5	145	42.2	21 11.6	045	06.7	06 10.5	255	41.7	17 19.4	17	
18	088	39.2 N15	37.6	072	56.5 N11	45.4	160	42.9 N21	11.9	060	08.7 N06	10.4	270	44.3 S17	19.4	18	
19	103	39.3	15 36.9	087	56.0	11 44.3	175	43.7	21 12.2	075	10.7	06 10.2	285	47.0	17 19.5	19	
20	118	39.4	15 36.1	102	55.6	11 43.2	190	44.4	21 12.5	090	12.7	06 10.0	300	49.6	17 19.5	20	
21	133	39.4	15 35.4	117	55.												

世界时	春分点		月 亮		纬度	晨 光 始			日 出			月 出		
	格林时角	格林时角 Δ	赤 纬 Δ			航海	民用	7 日	8 日	9 日	6 日	7 日	8 日	9 日
8月7日 星期五	00	315 46.1	075 05.3 09.2	S23	04.6+03.6	N70	02 12	02 18	02 24					
	01	330 48.5	089 33.5 09.2	23	08.2 03.5	68	02 45	02 50	02 54					
	02	345 51.0	104 01.7 09.2	23	11.7 03.3	66	01 40	03 09	03 13	03 16	17 27	19 29	20 03	
	03	000 53.5	118 29.9 09.3	23	15.0 03.2	64	02 17	03 27	03 31	03 34	16 40	18 00	18 50	
	04	015 55.9	132 58.2 09.2	23	18.2 03.1	62	02 43	03 43	03 45	03 48	16 10	17 23	18 14	
	05	030 58.4	147 26.4 09.3	23	21.3 03.0	60	01 30	03 02	03 55	03 58	04 00	15 47	16 56	
	06	046 00.8	161 54.7 09.2	S23	24.3+02.8	N58	02 04	03 18	04 06	04 08	04 10	15 29	16 36	
	07	061 03.3	176 22.9 09.3	23	27.1 02.7	56	02 27	03 32	04 16	04 17	04 19	15 13	16 18	
	08	076 05.8	190 51.2 09.3	23	29.8 02.6	54	02 46	03 43	04 24	04 26	04 27	15 00	16 04	
	09	091 08.2	205 19.5 09.2	23	32.4 02.5	52	03 01	03 53	04 31	04 33	04 35	14 49	15 51	
	10	106 10.7	219 47.7 09.3	23	34.9 02.3	50	03 14	04 02	04 38	04 39	04 41	14 38	15 40	
	11	121 13.2	234 16.0 09.3	23	37.2 02.2	45	03 40	04 21	04 52	04 53	04 55	14 17	15 17	
	12	136 15.6	248 44.3 09.3	S23	39.4+02.1	N40	03 59	04 35	05 04	05 05	05 06	14 00	14 59	
	13	151 18.1	263 12.6 09.3	23	41.5 01.9	35	04 15	04 47	05 14	05 15	05 15	13 45	14 43	
	14	166 20.6	277 40.9 09.4	23	43.4 01.8	30	04 27	04 58	05 23	05 23	05 24	13 33	14 30	
	15	181 23.0	292 09.3 09.3	23	45.2 01.7	20	04 47	05 15	05 37	05 38	05 38	13 12	14 07	
	16	196 25.5	306 37.6 09.4	23	46.9 01.6	N10	05 03	05 28	05 50	05 50	05 50	12 53	13 47	
	17	211 27.9	321 06.0 09.4	23	48.5 01.5	0	05 16	05 41	06 02	06 02	06 02	12 36	13 29	
	18	226 30.4	335 34.4 09.4	S23	50.0+01.3	S10	05 27	05 52	06 14	06 14	06 13	12 19	13 10	
	19	241 32.9	350 02.8 09.4	23	51.3 01.2	20	05 37	06 03	06 27	06 26	06 25	12 01	12 51	
	20	256 35.3	004 31.2 09.4	23	52.5 01.0	30	05 46	06 15	06 41	06 40	06 39	11 40	12 28	
	21	271 37.8	018 59.6 09.5	23	53.5 01.0	35	05 51	06 21	06 49	06 48	06 47	11 27	12 15	
	22	286 40.3	033 28.1 09.4	23	54.5 00.8	40	05 56	06 28	06 58	06 57	06 56	11 13	11 59	
	23	301 42.7	047 56.5 09.5	23	55.3 00.7	45	06 01	06 36	07 09	07 07	07 06	10 57	11 41	
8月8日 星期六	00	316 45.2	062 25.0 09.6	S23	56.0+00.6	S50	06 07	06 46	07 22	07 20	07 18	10 37	11 19	
	01	331 47.7	076 53.6 09.5	23	56.6 00.4	52	06 09	06 50	07 28	07 26	07 24	10 27	11 08	
	02	346 50.1	091 22.1 09.5	23	57.0 00.3	54	06 12	06 54	07 34	07 32	07 30	10 16	10 56	
	03	001 52.6	105 50.6 09.6	23	57.3 00.2	S56	06 15	06 59	07 42	07 40	07 38	10 04	10 42	
	04	016 55.1	120 19.2 09.6	23	57.5+00.1	纬度	7 日	8 日	9 日	民用	航海	6 日	7 日	
	05	031 57.5	134 47.8 09.7	23	57.6-00.1	°	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分
	06	047 00.0	149 16.5 09.6	S23	57.5-00.1	N70	21 54	21 48	21 42					
	07	062 02.4	163 45.1 09.7	23	57.4 00.3	68	21 23	21 18	21 13	23 38				
	08	077 04.9	178 13.8 09.7	23	57.1 00.5	66	21 00	20 56	20 52	22 25	20 04	19 52	21 06	
	09	092 07.4	192 42.5 09.8	23	56.6 00.5	64	20 42	20 38	20 35	21 50	20 51	21 21	22 19	
	10	107 09.8	207 11.3 09.7	23	56.1 00.7	62	20 27	20 24	20 21	21 26	21 22	21 58	22 55	
	11	122 12.3	221 40.0 09.8	23	55.4 00.8	60	20 14	20 12	20 09	21 06	21 45	22 25	23 20	
	12	137 14.8	236 08.8 09.9	S23	54.6-00.9	N58	20 04	20 01	19 59	20 51	22 04	22 04	23 46	
	13	152 17.2	250 37.7 09.8	23	53.7 01.0	56	19 54	19 52	19 50	20 38	21 41	22 19	23 03	
	14	167 19.7	265 06.5 09.9	23	52.7 01.2	54	19 46	19 44	19 42	20 26	21 23	22 33	23 17	
	15	182 22.2	279 35.8 10.0	23	51.5 01.2	52	19 39	19 37	19 35	20 16	21 08	22 44	23 30	
	16	197 24.6	294 04.4 09.9	23	50.3 01.4	50	19 32	19 31	19 29	20 08	20 55	22 55	23 41	
	17	212 27.1	308 33.3 10.0	23	48.9 01.5	45	19 18	19 17	19 15	19 50	20 30	23 17	00 04	
	18	227 29.6	323 02.3 10.0	S23	47.4-01.7	N40	19 07	19 06	19 04	19 35	20 11	23 34	00 23	
	19	242 32.0	337 31.3 10.1	23	45.7 01.7	35	18 57	18 56	18 55	19 23	19 56	23 49	00 39	
	20	257 34.5	352 00.4 10.1	23	44.0 01.9	30	18 48	18 47	18 47	19 13	19 43	00 02	00 52	
	21	272 36.9	006 29.5 10.2	23	42.1 01.9	20	18 34	18 33	18 32	18 56	19 24	00 24	01 15	
	22	287 39.4	020 58.7 10.1	23	40.2 02.1	N10	18 21	18 21	18 20	18 43	19 08	00 43	01 35	
	23	302 41.9	035 27.8 10.3	23	38.1 02.3	0	18 09	18 09	18 09	18 31	18 56	00 09	01 01	
8月9日 星期日	00	317 44.3	049 57.1 10.2	S23	35.8-02.3	S10	17 57	17 57	17 57	18 19	18 44	00 25	01 19	
	01	332 46.8	064 26.3 10.3	23	33.5 02.4	20	17 45	17 45	17 46	18 08	18 35	00 42	01 38	
	02	347 49.3	078 55.6 10.4	23	31.1 02.6	30	17 31	17 32	17 32	17 57	18 25	01 02	02 01	
	03	002 51.7	093 25.0 10.3	23	28.5 02.7	35	17 23	17 24	17 24	17 50	18 20	01 14	02 14	
	04	017 54.2	107 54.3 10.5	23	25.8 02.8	40	17 14	17 15	17 16	17 43	18 15	01 27	02 29	
	05	032 56.7	122 23.8 10.4	23	23.0 02.9	45	17 03	17 04	17 05	17 35	18 10	01 43	02 46	
	06	047 59.1	136 53.2 10.5	S23	20.1-03.0	S50	16 50	16 52	16 53	17 26	18 05	02 03	03 09	
	07	063 01.6	151 22.7 10.6	23	17.1 03.1	52	16 44	16 46	16 47	17 22	18 02	02 12	03 19	
	08	078 04.1	165 52.3 10.6	23	14.0 03.3	54	16 38	16 39	16 41	17 18	18 00	02 22	03 31	
	09	093 06.5	180 21.9 10.6	23	10.7 03.3	S56	16 30	16 32	16 34	17 13	17 57	02 34	03 45	
	10	108 09.0	194 51.5 10.7	23	07.4 03.5	太 阳 金 星 火 星 木 星 土 星								
	11	123 11.4	209 21.2 10.8	23	03.9 03.6	中 天 时 分								
	12	138 13.9	223 51.0 10.7	S23	00.3-03.7	时 分								
	13	153 16.4	238 20.7 10.9	22	56.6 03.8	时 分								
	14	168 18.8	252 50.6 10.9	22	52.8 03.9	时 分								
	15	183 21.3	267 20.5 10.9	22	48.9 04.0	时 分								
	16	198 23.8	281 50.4 10.9	22	44.9 04.1	时 分								
	17	213 26.2	296 20.3 11.1	22	40.8 04.2	时 分								
	18	228 28.7	310 50.4 11.0	S22	36.6-04.3	时 分								
	19	243 31.2	325 20.4 11.2	22	32.3 04.5	时 分								
	20	258 33.6	339 50.6 11.1	22	27.8 04.5	时 分								
	21	273 36.1	354 20.7 11.3	22	23.3 04.7	时 分								
	22	288 38.6	008 51.0 11.2	22	18.6 04.7	时 分								
	23	303 41.0	023 21.2 11.3	22	13.9 04.9	时 分								

积日 313, 314, 315

天体位置, 1992年

11月8, 9, 10日

Table of astronomical data including celestial positions (world time, ecliptic longitude/latitude, equatorial coordinates), rising times (sea/land), and occultation data for 11/8, 11/9, and 11/10. Includes sections for '日 出', '月 出', and '天 文 观 测'.

3. 恒星视位置表
恒星视位置, 1992年

星号	恒星名称		共轭赤经 赤纬	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	赤经	星等
	星名	专名															
			°	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	h m	
1	仙女 α	鳖宿二 Alpheratz	N 29 357 60.2	60.3	60.3	60.3	60.3	60.1	59.8	59.6	59.4	59.2	59.2	59.2	59.3	0 08	2.2
2	仙后 β	王良一 Caph	N 59 357 48.7	48.9	49.0	48.9	48.6	48.6	48.2	47.8	47.5	47.3	47.3	47.4	47.6	0 09	2.4
7	鲸鱼 β	士司空 Diphda	S 18 349 11.9	12.0	12.1	12.0	11.9	11.7	11.4	11.2	11.1	11.1	11.0	11.0	11.1	0 43	2.2
11	波江 α	水委一 Achernar	S 57 335 38.5	38.7	38.9	38.9	38.8	38.6	38.3	37.9	37.6	37.5	37.6	37.7	37.7	1 37	0.6
15	仙女 γ	天大将军一 Almak	N 42 329 17.8	17.8	17.7	17.6	17.5	17.5	17.6	17.7	17.8	17.9	18.0	18.0	18.0	2 03	2.3
16	白羊 α	娄宿三 Hamal	N 23 328 18.8	18.9	19.0	19.0	18.9	18.7	18.5	18.2	18.0	17.9	17.8	17.9	17.9	2 07	2.2
17	波江 θ	天园六 Acamar	S 40 315 30.2	30.4	30.6	30.7	30.7	30.3	30.3	30.0	29.8	29.6	29.5	29.6	29.6	2 58	3.4
18	鲸鱼 α	天川一 Menkar	N 4 314 31.6	31.8	31.9	31.9	31.9	31.7	31.5	31.3	31.1	30.9	30.8	30.8	30.8	3 02	2.8
20	英仙 α	天船三 Mirfak	N 49 309 03.1	03.3	03.5	03.6	03.5	03.4	03.1	02.7	02.4	02.1	02.0	01.9	01.9	3 24	1.9
24	金牛 α	毕宿五 Aldebaran	N 16 291 07.5	07.6	07.7	07.8	07.8	07.7	07.6	07.3	07.1	06.9	06.7	06.6	06.6	4 35	1.1
27	猎户 β	参宿七 Rigel	S 8 281 27.1	27.2	27.3	27.5	27.5	27.5	27.3	27.1	26.9	26.7	26.5	26.4	26.4	5 14	0.3
28	御夫 α	五车二 Capella	N 45 280 57.7	57.8	58.0	58.1	58.2	58.1	58.0	57.7	57.3	57.0	56.8	56.6	56.6	5 16	0.2
40	猎户 α	参宿四 Betelgeuse	N 7 271 18.3	18.3	18.4	18.6	18.6	18.6	18.5	18.3	18.1	17.9	17.7	17.5	17.5	5 55	变星 ¹
44	船底 α	老人 Canopus	S 52 264 02.7	02.8	03.1	03.4	03.6	03.6	03.6	03.4	03.1	02.8	02.5	02.4	02.4	6 24	-0.9
46	大犬 α	天狼 Sirius	S 16 258 47.4	47.5	47.6	47.7	47.9	47.9	47.8	47.7	47.5	47.2	47.0	46.9	46.9	6 45	-1.6
54	双子 α	北河二 Castor	N 31 246 27.9	27.8	27.9	28.1	28.2	28.2	28.2	28.0	27.8	27.6	27.3	27.1	27.1	7 34	双星 ¹
55	小犬 α	南河三 Procyon	N 5 245 16.1	16.1	16.2	16.3	16.4	16.4	16.4	16.3	16.1	15.9	15.6	15.4	15.4	7 39	0.5
56	双子 β	北河三 Pollux	N 28 243 46.8	46.8	46.9	47.0	47.1	47.2	47.1	47.0	46.8	46.6	46.3	46.1	46.1	7 45	1.2
60	船底 ϵ	海石一 Avior	S 59 234 24.0	24.0	24.2	24.5	24.8	25.0	25.1	25.0	24.8	24.5	24.1	23.8	23.8	8 22	1.7
63	船底 β	南船五 Miaplacidus	S 69 221 42.3	42.3	42.5	42.8	43.3	43.7	43.9	44.0	43.8	43.4	42.9	42.4	42.4	9 13	1.8
67	狮子 α	轩辕十四 Regulus	N 11 207 60.7	60.1	60.1	60.1	60.2	60.3	60.3	60.3	60.3	60.1	59.9	59.6	59.6	10 08	1.3
72	大熊 α	天枢 Dubhe	N 61 194 10.6	10.3	10.2	10.3	10.5	10.8	11.0	11.1	11.1	10.9	10.6	10.2	10.2	11 03	2.0

¹星等0.1—1.2; ²星等2.0, 2.8。

恒星视位置, 1992年

星号	恒星名称		共轭赤经	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	赤经	星等
	星名	专名	赤纬														
				/ / / / / / / / / / / / / / / /												h m	
80	南十字 α	十字架二 Acrux	173 S 63	27.2	26.9	26.7	26.6	26.7	26.9	27.2	27.4	27.5	27.5	27.2	26.8	12 26	1.6 -
86	南十字 β	十字架三 Mimosa	168 S 59	10.8	10.4	10.2	10.1	10.2	10.3	10.6	10.8	10.9	10.9	10.6	10.3	12 47	1.5 +
91	大熊 ζ	开阳 Mizar	159 N 54	05.7	05.3	05.1	05.0	05.0	05.2	05.4	05.6	05.8	05.8	05.7	05.5	13 24	2.4
92	室女 α	角宿一 Spica	158 S 11	48.1	47.9	47.7	47.6	47.6	47.7	47.7	47.8	47.9	47.9	47.8	47.6	13 25	1.2 +
94	大熊 η	摇光 Alkaid	153 N 49	11.4	11.1	10.9	10.7	10.8	10.9	11.0	11.2	11.4	11.5	11.4	11.2	13 47	1.9 -
98	半人马 θ	库楼三 Menkent	148 S 36	26.6	26.3	26.1	25.9	25.9	25.9	26.0	26.1	26.2	26.3	26.2	26.0	14 06	2.3
99	牧夫 α	大角 Arcturus	146 N 19	10.3	10.1	09.9	09.8	09.8	09.8	09.9	10.0	10.1	10.1	10.1	09.9	14 15	0.2 +
102	半人马 α	南门二 Rigel Kent	140 S 60	13.9	13.5	13.1	12.9	12.8	12.8	13.0	13.3	13.5	13.6	13.6	13.3	14 39	双星 ¹
111	北冕 α	贯索四 Alphecca	126 N 26	24.7	24.5	24.2	24.1	24.0	23.9	24.0	24.1	24.3	24.4	24.4	24.3	15 34	2.3
117	天蝎 α	心宿二 Antares	112 S 26	46.2	45.9	45.7	45.4	45.3	45.2	45.2	45.2	45.4	45.5	45.5	45.4	16 29	1.2 +
122	南三角 α	三角形三 Atria	108 S 69	02.9	02.3	01.8	01.2	00.8	00.6	00.6	00.9	01.3	01.6	01.8	01.6	16 48	1.9 -
129	天蝎 λ	尾宿八 Shaula	96 S 37	00.7	00.7	00.7	00.7	00.9	01.0	01.1	01.2	01.2	01.1	01.0	00.9	17 33	1.7 +
134	天龙 γ	天棓四 Eltanin	90 N 51	54.1	53.8	53.6	53.3	53.0	52.9	52.9	53.0	53.3	53.5	53.7	53.8	17 56	2.4
139	天琴 α	织女星 Vega	80 N 38	50.2	50.0	49.8	49.6	49.3	49.2	49.1	49.2	49.3	49.5	49.7	49.8	18 37	0.1 +
140	人马 σ	斗宿四 Nunki	76 S 26	18.5	18.3	18.1	17.8	17.6	17.4	17.3	17.3	17.4	17.5	17.6	17.6	18 55	2.1
146	天鹰 α	河鼓二 Altair	62 N 8	24.2	24.0	23.9	23.7	23.4	23.2	23.1	23.1	23.2	23.3	23.4	23.5	19 50	0.9 +
148	孔雀 α	孔雀十一 Peacock	53 S 56	44.8	44.7	44.4	44.1	43.7	43.3	43.1	43.0	43.1	43.3	43.5	43.7	20 25	2.1
149	天鹅 α	天津四 Deneb	49 N 45	42.9	42.8	42.7	42.4	42.1	41.9	41.7	41.7	41.7	41.9	42.1	42.3	20 41	1.3 +
152	飞马 ε	危宿三 Enif	34 N 9	03.1	03.1	03.0	02.8	02.6	02.4	02.2	02.1	02.0	02.1	02.2	02.3	21 44	2.5
154	天鹅 α	鹤一 Al Na'ir	28 S 46	04.0	04.0	03.9	03.7	03.4	03.1	02.8	02.6	02.6	02.7	02.9	03.0	22 08	2.2
157	南鱼 α	北落师门 Fomalhaut	15 S 29	41.8	41.8	41.7	41.6	41.4	41.1	40.9	40.7	40.6	40.7	40.8	40.9	22 57	1.3 +
159	小熊 α	北极星 Polaris	323 N 89	60.1	72.1	81.6	86.2	83.8	75.2	63.2	49.8	38.0	30.3	27.9	31.9	2 23	2.1

¹星等 0.3, 1.7.

4.时角、赤纬内插表(摘)
表1.时角、赤纬内插表

12 ^m				Δ 订			13 ^m				Δ 订		
时角基本变量				或正 Δ 值	或正 Δ 值	或正 Δ 值	时角基本变量			或正 Δ 值	或正 Δ 值	或正 Δ 值	
太阳 行星	春分点	月亮	太阳 行星				春分点	月亮					
0	259.8	300.5	251.8	0.0 0.0	6.0 1.3	12.0 2.5	0	314.8	315.5	306.1	0.0 0.0	6.0 1.4	12.0 2.7
1	300.0	300.7	252.0	0.1 0.0	6.1 1.3	12.1 2.5	1	315.0	315.8	306.4	0.1 0.0	6.1 1.4	12.1 2.7
2	300.3	301.0	252.3	0.2 0.0	6.2 1.3	12.2 2.5	2	315.3	316.0	306.6	0.2 0.0	6.2 1.4	12.2 2.7
3	300.5	301.2	252.5	0.3 0.1	6.3 1.3	12.3 2.6	3	315.5	316.3	306.8	0.3 0.1	6.3 1.4	12.3 2.8
4	300.8	301.5	252.8	0.4 0.1	6.4 1.3	12.4 2.6	4	315.8	316.5	307.1	0.4 0.1	6.4 1.4	12.4 2.8
5	301.0	301.7	253.0	0.5 0.1	6.5 1.4	12.5 2.6	5	316.0	316.8	307.3	0.5 0.1	6.5 1.5	12.5 2.8
6	301.3	302.0	253.2	0.6 0.1	6.6 1.4	12.6 2.6	6	316.3	317.0	307.5	0.6 0.1	6.6 1.5	12.6 2.8
7	301.5	302.2	253.5	0.7 0.1	6.7 1.4	12.7 2.6	7	316.5	317.3	307.8	0.7 0.2	6.7 1.5	12.7 2.9
8	301.8	302.5	253.7	0.8 0.2	6.8 1.4	12.8 2.7	8	316.8	317.6	308.0	0.8 0.2	6.8 1.5	12.8 2.9
9	302.0	302.7	253.9	0.9 0.2	6.9 1.4	12.9 2.7	9	317.0	317.8	308.3	0.9 0.2	6.9 1.6	12.9 2.9
10	302.3	303.0	254.2	1.0 0.2	7.0 1.5	13.0 2.7	10	317.3	318.0	308.5	1.0 0.2	7.0 1.6	13.0 2.9
11	302.5	303.3	254.4	1.1 0.2	7.1 1.5	13.1 2.7	11	317.5	318.3	308.7	1.1 0.2	7.1 1.6	13.1 2.9
12	302.8	303.5	254.7	1.2 0.3	7.2 1.5	13.2 2.8	12	317.8	318.5	309.0	1.2 0.3	7.2 1.6	13.2 3.0
13	303.0	303.8	254.9	1.3 0.3	7.3 1.5	13.3 2.8	13	318.0	318.8	309.2	1.3 0.3	7.3 1.6	13.3 3.0
14	303.3	304.0	255.1	1.4 0.3	7.4 1.5	13.4 2.8	14	318.3	319.0	309.5	1.4 0.3	7.4 1.7	13.4 3.0
15	303.5	304.3	255.4	1.5 0.3	7.5 1.6	13.5 2.8	15	318.5	319.3	309.7	1.5 0.3	7.5 1.7	13.5 3.0
16	303.8	304.5	255.8	1.6 0.3	7.6 1.6	13.6 2.8	16	318.8	319.5	309.9	1.6 0.4	7.6 1.7	13.6 3.1
17	304.0	304.8	255.9	1.7 0.4	7.7 1.6	13.7 2.9	17	319.0	319.8	310.2	1.7 0.4	7.7 1.7	13.7 3.1
18	304.3	305.0	256.1	1.8 0.4	7.8 1.6	13.8 2.9	18	319.3	320.0	310.4	1.8 0.4	7.8 1.8	13.8 3.1
19	304.5	305.3	256.3	1.9 0.4	7.9 1.6	13.9 2.9	19	319.5	320.3	310.7	1.9 0.4	7.9 1.8	13.9 3.1
20	304.8	305.5	256.6	2.0 0.4	8.0 1.7	14.0 2.9	20	319.8	320.5	310.9	2.0 0.5	8.0 1.8	14.0 3.2
21	305.0	305.8	256.8	2.1 0.4	8.1 1.7	14.1 2.9	21	320.0	320.8	311.1	2.1 0.5	8.1 1.8	14.1 3.2
22	305.3	306.0	257.0	2.2 0.5	8.2 1.7	14.2 3.0	22	320.3	321.0	311.4	2.2 0.5	8.2 1.8	14.2 3.2
23	305.5	306.3	257.3	2.3 0.5	8.3 1.7	14.3 3.0	23	320.5	321.3	311.6	2.3 0.5	8.3 1.9	14.3 3.2
24	305.8	306.5	257.5	2.4 0.5	8.4 1.8	14.4 3.0	24	320.8	321.6	311.8	2.4 0.5	8.4 1.9	14.4 3.2
25	306.0	306.8	257.8	2.5 0.5	8.5 1.8	14.5 3.0	25	321.0	321.8	312.1	2.5 0.6	8.5 1.9	14.5 3.3
26	306.3	307.0	258.0	2.6 0.5	8.6 1.8	14.6 3.0	26	321.3	322.1	312.3	2.6 0.6	8.6 1.9	14.6 3.3
27	306.5	307.3	258.2	2.7 0.6	8.7 1.8	14.7 3.1	27	321.5	322.3	312.6	2.7 0.6	8.7 2.0	14.7 3.3
28	306.8	307.5	258.5	2.8 0.6	8.8 1.8	14.8 3.1	28	321.8	322.6	312.8	2.8 0.6	8.8 2.0	14.8 3.3
29	307.0	307.8	258.7	2.9 0.6	8.9 1.9	14.9 3.1	29	322.0	322.8	313.0	2.9 0.7	8.9 2.0	14.9 3.4
30	307.3	308.0	259.0	3.0 0.6	9.0 1.9	15.0 3.1	30	322.3	323.1	313.3	3.0 0.7	9.0 2.0	15.0 3.4
31	307.5	308.3	259.2	3.1 0.6	9.1 1.9	15.1 3.1	31	322.5	323.3	313.5	3.1 0.7	9.1 2.0	15.1 3.4
32	307.8	308.5	259.4	3.2 0.7	9.2 1.9	15.2 3.2	32	322.8	323.6	313.8	3.2 0.7	9.2 2.1	15.2 3.4
33	308.0	308.8	259.7	3.3 0.7	9.3 1.9	15.3 3.2	33	323.0	323.8	314.0	3.3 0.7	9.3 2.1	15.3 3.4
34	308.3	309.0	259.9	3.4 0.7	9.4 2.0	15.4 3.2	34	323.3	324.1	314.2	3.4 0.8	9.4 2.1	15.4 3.5
35	308.5	309.3	300.2	3.5 0.7	9.5 2.0	15.5 3.2	35	323.5	324.3	314.5	3.5 0.8	9.5 2.1	15.5 3.5
36	308.8	309.5	300.4	3.6 0.8	9.6 2.0	15.6 3.3	36	323.8	324.6	314.7	3.6 0.8	9.6 2.2	15.6 3.5
37	309.0	309.8	300.6	3.7 0.8	9.7 2.0	15.7 3.3	37	324.0	324.8	314.9	3.7 0.8	9.7 2.2	15.7 3.5
38	309.3	310.0	300.9	3.8 0.8	9.8 2.0	15.8 3.3	38	324.3	325.1	315.2	3.8 0.9	9.8 2.2	15.8 3.6
39	309.5	310.3	301.1	3.9 0.8	9.9 2.1	15.9 3.3	39	324.5	325.3	315.4	3.9 0.9	9.9 2.2	15.9 3.6
40	309.8	310.5	301.3	4.0 0.8	10.0 2.1	16.0 3.3	40	324.8	325.6	315.7	4.0 0.9	10.0 2.3	16.0 3.6
41	310.0	310.8	301.6	4.1 0.9	10.1 2.1	16.1 3.4	41	325.0	325.8	315.9	4.1 0.9	10.1 2.3	16.1 3.6
42	310.3	311.0	301.8	4.2 0.9	10.2 2.1	16.2 3.4	42	325.3	326.1	316.1	4.2 0.9	10.2 2.3	16.2 3.6
43	310.5	311.3	302.1	4.3 0.9	10.3 2.1	16.3 3.4	43	325.5	326.3	316.4	4.3 1.0	10.3 2.3	16.3 3.7
44	310.8	311.5	302.3	4.4 0.9	10.4 2.2	16.4 3.4	44	325.8	326.6	316.6	4.4 1.0	10.4 2.3	16.4 3.7
45	311.0	311.8	302.5	4.5 0.9	10.5 2.2	16.5 3.4	45	326.0	326.8	316.9	4.5 1.0	10.5 2.4	16.5 3.7
46	311.3	312.0	302.8	4.6 1.0	10.6 2.2	16.6 3.5	46	326.3	327.1	317.1	4.6 1.0	10.6 2.4	16.6 3.7
47	311.5	312.3	303.0	4.7 1.0	10.7 2.2	16.7 3.5	47	326.5	327.3	317.3	4.7 1.1	10.7 2.4	16.7 3.8
48	311.8	312.5	303.3	4.8 1.0	10.8 2.3	16.8 3.5	48	326.8	327.6	317.6	4.8 1.1	10.8 2.4	16.8 3.8
49	312.0	312.8	303.5	4.9 1.0	10.9 2.3	16.9 3.5	49	327.0	327.8	317.8	4.9 1.1	10.9 2.5	16.9 3.8
50	312.3	313.0	303.7	5.0 1.0	11.0 2.3	17.0 3.5	50	327.3	328.1	318.0	5.0 1.1	11.0 2.5	17.0 3.8
51	312.5	313.3	304.0	5.1 1.1	11.1 2.3	17.1 3.6	51	327.5	328.3	318.3	5.1 1.1	11.1 2.5	17.1 3.9
52	312.8	313.5	304.2	5.2 1.1	11.2 2.3	17.2 3.6	52	327.8	328.6	318.5	5.2 1.2	11.2 2.5	17.2 3.9
53	313.0	313.8	304.4	5.3 1.1	11.3 2.4	17.3 3.6	53	328.0	328.8	318.8	5.3 1.2	11.3 2.5	17.3 3.9
54	313.3	314.0	304.7	5.4 1.1	11.4 2.4	17.4 3.6	54	328.3	329.1	319.0	5.4 1.2	11.4 2.6	17.4 3.9
55	313.5	314.3	304.9	5.5 1.1	11.5 2.4	17.5 3.6	55	328.5	329.3	319.2	5.5 1.2	11.5 2.6	17.5 3.9
56	313.8	314.5	305.2	5.6 1.2	11.6 2.4	17.6 3.7	56	328.8	329.6	319.5	5.6 1.3	11.6 2.6	17.6 4.0
57	314.0	314.8	305.4	5.7 1.2	11.7 2.4	17.7 3.7	57	329.0	329.8	319.7	5.7 1.3	11.7 2.6	17.7 4.0
58	314.3	315.0	305.6	5.8 1.2	11.8 2.5	17.8 3.7	58	329.3	330.1	320.0	5.8 1.3	11.8 2.7	17.8 4.0
59	314.5	315.3	305.9	5.9 1.2	11.9 2.5	17.9 3.7	59	329.5	330.3	320.2	5.9 1.3	11.9 2.7	17.9 4.0
60	314.8	315.5	306.1	6.0 1.3	12.0 2.5	18.0 3.8	60	329.8	330.6	320.4	6.0 1.4	12.0 2.7	18.0 4.1

表 5. 无线电时号

发播地	呼号	位置	播送时间 (世界时)	频率 (千赫)	时号式样
墨西哥	XDD	查普尔特佩克	0200 } 节假日除外 1600 } 1800	13,043	美国式
	XDP	查普尔特佩克	0200 } 节假日除外 1600 } 1800	4,800	
巴拿马 运河区 (美占)	NBA	巴尔博亚 09° 03' 北 79° 39' 西	除了 2355—2400 外 每时 55 分—60 分发播 0500, 1100 1700, 2300	24 147.85 5,448.5 11,080 17,697.5	美国式
巴西	PPE	里约热内卢 22° 54' 南 43° 11' 西	1125—1130 0025—0030 1325—1330 1925—1930 2025—2030 2325—2330	8,721	英国式
	PPR	里约热内卢 22° 54' 南 43° 11' 西	0125—0130 1425—1430 2125—2130	435 8,634 13,105.5 17,077 22,352	
秘鲁	OBC	卡廖	0200, 1600 2100	485 8,650 12,307	美国式
智利	CCV	瓦尔帕莱索	0200, 1200 1400, 1600 2200	4,298 8,558 8,558 12,960	美国式
阿根廷	LOL	布宜诺斯艾利斯 34° 37' 南 58° 21' 西	星期一至星期六: 1100—1200 1400—1500 1700—1800 2000—2100 2300—2400 (夏季提前一小时发播)	5,000 10,000 15,000	03分—05分, 08分—10分, 13分—15分, 18分—20分, 23分—25分, 28分—30分, 33分—35分, 38分—40分, 43分—45分, 48分—50分, 53分—60分为秒 信号, 其余时间秒 信号频率分别为 1,000赫和 440赫

表1. 时角、赤纬内插表

29° 44°

29°	时角基本变量			Δ 订 或正 Δ 值	Δ 订 或正 Δ 值	Δ 订 或正 Δ 值	44°	时角基本变量			Δ 订 或正 Δ 值	Δ 订 或正 Δ 值	Δ 订 或正 Δ 值		
	太阳 行星	春分点	月亮					太阳 行星	春分点	月亮					
0	7 14.5	7 16.2	6 55.2	0.0	0.0	6.0	3.0	12.0	5.9	0.0	0.0	6.0	4.5	12.0	8.9
1	7 14.8	7 16.4	6 55.4	0.1	0.0	6.1	3.0	12.1	5.9	0.1	0.1	6.1	4.5	12.1	8.9
2	7 15.0	7 16.7	6 55.7	0.2	0.1	6.2	3.0	12.2	6.0	0.2	0.1	6.2	4.5	12.2	8.9
3	7 15.3	7 16.9	6 55.9	0.3	0.1	6.3	3.1	12.3	6.0	0.3	0.2	6.3	4.7	12.3	9.1
4	7 15.5	7 17.2	6 56.1	0.4	0.2	6.4	3.1	12.4	6.1	0.4	0.3	6.4	4.7	12.4	9.2
5	7 15.8	7 17.4	6 56.4	0.5	0.2	6.5	3.2	12.5	6.1	0.5	0.4	6.5	4.8	12.5	9.3
6	7 16.0	7 17.7	6 56.6	0.6	0.3	6.6	3.2	12.6	6.2	0.6	0.4	6.6	4.8	12.6	9.3
7	7 16.3	7 17.9	6 56.9	0.7	0.3	6.7	3.3	12.7	6.2	0.7	0.5	6.7	5.0	12.7	9.4
8	7 16.5	7 18.2	6 57.1	0.8	0.4	6.8	3.3	12.8	6.3	0.8	0.6	6.8	5.0	12.8	9.5
9	7 16.8	7 18.4	6 57.3	0.9	0.4	6.9	3.4	12.9	6.3	0.9	0.7	6.9	5.1	12.9	9.6
10	7 17.0	7 18.7	6 57.6	1.0	0.5	7.0	3.4	13.0	6.4	1.0	0.7	7.0	5.2	13.0	9.6
11	7 17.3	7 18.9	6 57.8	1.1	0.5	7.1	3.5	13.1	6.4	1.1	0.8	7.1	5.3	13.1	9.7
12	7 17.5	7 19.2	6 58.0	1.2	0.6	7.2	3.5	13.2	6.5	1.2	0.9	7.2	5.3	13.2	9.8
13	7 17.8	7 19.4	6 58.3	1.3	0.6	7.3	3.6	13.3	6.5	1.3	1.0	7.3	5.4	13.3	9.9
14	7 18.0	7 19.7	6 58.5	1.4	0.7	7.4	3.6	13.4	6.6	1.4	1.0	7.4	5.5	13.4	9.9
15	7 18.3	7 20.0	6 58.8	1.5	0.7	7.5	3.7	13.5	6.6	1.5	1.1	7.5	5.6	13.5	10.0
16	7 18.5	7 20.2	6 59.0	1.6	0.8	7.6	3.7	13.6	6.7	1.6	1.2	7.6	5.6	13.6	10.1
17	7 18.8	7 20.5	6 59.2	1.7	0.8	7.7	3.8	13.7	6.7	1.7	1.3	7.7	5.7	13.7	10.2
18	7 19.0	7 20.7	6 59.5	1.8	0.9	7.8	3.8	13.8	6.8	1.8	1.3	7.8	5.8	13.8	10.2
19	7 19.3	7 21.0	6 59.7	1.9	0.9	7.9	3.9	13.9	6.8	1.9	1.4	7.9	5.9	13.9	10.3
20	7 19.5	7 21.2	7 00.0	2.0	1.0	8.0	3.9	14.0	6.9	2.0	1.5	8.0	5.9	14.0	10.4
21	7 19.8	7 21.5	7 00.2	2.1	1.0	8.1	4.0	14.1	6.9	2.1	1.6	8.1	6.0	14.1	10.5
22	7 20.0	7 21.7	7 00.4	2.2	1.1	8.2	4.0	14.2	7.0	2.2	1.6	8.2	6.1	14.2	10.6
23	7 20.3	7 22.0	7 00.7	2.3	1.1	8.3	4.1	14.3	7.0	2.3	1.7	8.3	6.2	14.3	10.6
24	7 20.5	7 22.2	7 00.9	2.4	1.2	8.4	4.1	14.4	7.1	2.4	1.8	8.4	6.2	14.4	10.7
25	7 20.8	7 22.5	7 01.1	2.5	1.2	8.5	4.2	14.5	7.1	2.5	1.8	8.5	6.3	14.5	10.8
26	7 21.0	7 22.7	7 01.4	2.6	1.3	8.6	4.2	14.6	7.2	2.6	1.9	8.6	6.4	14.6	10.8
27	7 21.3	7 23.0	7 01.6	2.7	1.3	8.7	4.3	14.7	7.2	2.7	2.0	8.7	6.5	14.7	10.9
28	7 21.5	7 23.2	7 01.9	2.8	1.4	8.8	4.3	14.8	7.3	2.8	2.1	8.8	6.5	14.8	11.0
29	7 21.8	7 23.5	7 02.1	2.9	1.4	8.9	4.4	14.9	7.3	2.9	2.2	8.9	6.6	14.9	11.1
30	7 22.0	7 23.7	7 02.3	3.0	1.5	9.0	4.4	15.0	7.4	3.0	2.2	9.0	6.7	15.0	11.1
31	7 22.3	7 24.0	7 02.6	3.1	1.5	9.1	4.5	15.1	7.4	3.1	2.3	9.1	6.7	15.1	11.2
32	7 22.5	7 24.2	7 02.8	3.2	1.6	9.2	4.5	15.2	7.5	3.2	2.4	9.2	6.8	15.2	11.3
33	7 22.8	7 24.5	7 03.1	3.3	1.6	9.3	4.6	15.3	7.5	3.3	2.4	9.3	6.8	15.3	11.3
34	7 23.0	7 24.7	7 03.3	3.4	1.7	9.4	4.6	15.4	7.6	3.4	2.5	9.4	7.0	15.4	11.4
35	7 23.3	7 25.0	7 03.5	3.5	1.7	9.5	4.7	15.5	7.6	3.5	2.6	9.5	7.0	15.5	11.5
36	7 23.5	7 25.2	7 03.8	3.6	1.8	9.6	4.7	15.6	7.7	3.6	2.7	9.6	7.1	15.6	11.6
37	7 23.8	7 25.5	7 04.0	3.7	1.8	9.7	4.8	15.7	7.7	3.7	2.7	9.7	7.2	15.7	11.6
38	7 24.0	7 25.7	7 04.3	3.8	1.9	9.8	4.8	15.8	7.8	3.8	2.8	9.8	7.3	15.8	11.7
39	7 24.3	7 26.0	7 04.5	3.9	1.9	9.9	4.9	15.9	7.8	3.9	2.9	9.9	7.3	15.9	11.8
40	7 24.5	7 26.2	7 04.7	4.0	2.0	10.0	4.9	16.0	7.9	4.0	3.0	10.0	7.4	16.0	11.9
41	7 24.8	7 26.5	7 05.0	4.1	2.0	10.1	5.0	16.1	7.9	4.1	3.0	10.1	7.5	16.1	11.9
42	7 25.0	7 26.7	7 05.2	4.2	2.1	10.2	5.0	16.2	8.0	4.2	3.1	10.2	7.6	16.2	12.0
43	7 25.3	7 27.0	7 05.4	4.3	2.1	10.3	5.1	16.3	8.0	4.3	3.2	10.3	7.6	16.3	12.1
44	7 25.5	7 27.2	7 05.7	4.4	2.2	10.4	5.1	16.4	8.1	4.4	3.3	10.4	7.7	16.4	12.2
45	7 25.8	7 27.5	7 05.9	4.5	2.2	10.5	5.2	16.5	8.1	4.5	3.3	10.5	7.8	16.5	12.2
46	7 26.0	7 27.7	7 06.2	4.6	2.3	10.6	5.2	16.6	8.2	4.6	3.4	10.6	7.9	16.6	12.3
47	7 26.3	7 28.0	7 06.4	4.7	2.3	10.7	5.3	16.7	8.2	4.7	3.5	10.7	7.9	16.7	12.4
48	7 26.5	7 28.2	7 06.6	4.8	2.4	10.8	5.3	16.8	8.3	4.8	3.6	10.8	8.0	16.8	12.5
49	7 26.8	7 28.5	7 06.9	4.9	2.4	10.9	5.4	16.9	8.3	4.9	3.6	10.9	8.1	16.9	12.6
50	7 27.0	7 28.7	7 07.1	5.0	2.5	11.0	5.4	17.0	8.4	5.0	3.7	11.0	8.2	17.0	12.6
51	7 27.3	7 29.0	7 07.4	5.1	2.5	11.1	5.5	17.1	8.4	5.1	3.8	11.1	8.2	17.1	12.7
52	7 27.5	7 29.2	7 07.6	5.2	2.6	11.2	5.5	17.2	8.5	5.2	3.9	11.2	8.3	17.2	12.8
53	7 27.8	7 29.5	7 07.8	5.3	2.6	11.3	5.6	17.3	8.5	5.3	3.9	11.3	8.4	17.3	12.8
54	7 28.0	7 29.7	7 08.1	5.4	2.7	11.4	5.6	17.4	8.6	5.4	4.0	11.4	8.5	17.4	12.9
55	7 28.3	7 30.0	7 08.3	5.5	2.7	11.5	5.7	17.5	8.6	5.5	4.1	11.5	8.6	17.5	13.0
56	7 28.5	7 30.2	7 08.5	5.6	2.8	11.6	5.7	17.6	8.7	5.6	4.2	11.6	8.6	17.6	13.1
57	7 28.8	7 30.5	7 08.8	5.7	2.8	11.7	5.8	17.7	8.7	5.7	4.2	11.7	8.7	17.7	13.1
58	7 29.0	7 30.7	7 09.0	5.8	2.9	11.8	5.8	17.8	8.8	5.8	4.3	11.8	8.8	17.8	13.2
59	7 29.3	7 31.0	7 09.3	5.9	2.9	11.9	5.9	17.9	8.8	5.9	4.4	11.9	8.8	17.9	13.3
60	7 29.5	7 31.2	7 09.5	6.0	3.0	12.0	5.9	18.0	8.9	6.0	4.5	12.0	8.9	18.0	13.4

表 1. 时角、赤纬内插表

51^m 52^m

51 ^m	时角基本变量			Δ	订	Δ	订	Δ	订	52 ^m	时角基本变量			Δ	订	Δ	订	Δ	订
	太阳 行星	春分点	月亮	或	正	或	正	或	正		太阳 行星	春分点	月亮	或	正	或	正	或	正
				Δ	值	Δ	值	Δ	值					Δ	值	Δ	值	Δ	值
s	°	'	"	′	″	′	″	′	″	s	°	'	"	′	″	′	″	′	″
0	12 44.1	12 47.1	12 10.2	0.0	0.0	6.0	5.2	12.0	10.3	0	12 59.1	13 02.1	12 24.5	0.0	0.0	6.0	5.3	12.0	10.6
1	12 44.4	12 47.3	12 10.4	0.1	0.1	6.1	5.2	12.1	10.4	1	12 59.4	13 02.4	12 24.7	0.1	0.1	6.1	5.3	12.1	10.6
2	12 44.6	12 47.6	12 10.6	0.2	0.2	6.2	5.3	12.2	10.5	2	12 59.6	13 02.6	12 24.9	0.2	0.2	6.2	5.4	12.2	10.7
3	12 44.9	12 47.8	12 10.9	0.3	0.3	6.3	5.4	12.3	10.6	3	12 59.9	13 02.9	12 25.2	0.3	0.3	6.3	5.5	12.3	10.8
4	12 45.1	12 48.1	12 11.1	0.4	0.3	6.4	5.5	12.4	10.6	4	13 00.1	13 03.1	12 25.4	0.4	0.4	6.4	5.6	12.4	10.9
5	12 45.4	12 48.3	12 11.3	0.5	0.4	6.5	5.6	12.5	10.7	5	13 00.4	13 03.4	12 25.7	0.5	0.4	6.5	5.7	12.5	10.9
6	12 45.6	12 48.6	12 11.6	0.6	0.5	6.6	5.7	12.6	10.8	6	13 00.6	13 03.6	12 25.9	0.6	0.5	6.6	5.8	12.6	11.0
7	12 45.9	12 48.8	12 11.8	0.7	0.6	6.7	5.8	12.7	10.9	7	13 00.9	13 03.9	12 26.1	0.7	0.6	6.7	5.9	12.7	11.1
8	12 46.1	12 49.1	12 12.1	0.8	0.7	6.8	5.8	12.8	11.0	8	13 01.1	13 04.1	12 26.4	0.8	0.7	6.8	6.0	12.8	11.2
9	12 46.4	12 49.4	12 12.3	0.9	0.8	6.9	5.9	12.9	11.1	9	13 01.4	13 04.4	12 26.6	0.9	0.8	6.9	6.0	12.9	11.3
10	12 46.6	12 49.6	12 12.5	1.0	0.9	7.0	6.0	13.0	11.2	10	13 01.6	13 04.6	12 26.9	1.0	0.9	7.0	6.1	13.0	11.4
11	12 46.9	12 49.9	12 12.8	1.1	0.9	7.1	6.1	13.1	11.2	11	13 01.9	13 04.9	12 27.1	1.1	1.0	7.1	6.2	13.1	11.5
12	12 47.1	12 50.1	12 13.0	1.2	1.0	7.2	6.2	13.2	11.3	12	13 02.1	13 05.1	12 27.3	1.2	1.1	7.2	6.3	13.2	11.6
13	12 47.4	12 50.4	12 13.3	1.3	1.1	7.3	6.3	13.3	11.4	13	13 02.4	13 05.4	12 27.6	1.3	1.1	7.3	6.4	13.3	11.6
14	12 47.6	12 50.6	12 13.5	1.4	1.2	7.4	6.4	13.4	11.5	14	13 02.6	13 05.6	12 27.8	1.4	1.2	7.4	6.5	13.4	11.7
15	12 47.9	12 50.9	12 13.7	1.5	1.3	7.5	6.4	13.5	11.6	15	13 02.9	13 05.9	12 28.0	1.5	1.3	7.5	6.6	13.5	11.8
16	12 48.1	12 51.1	12 14.0	1.6	1.4	7.6	6.5	13.6	11.7	16	13 03.1	13 06.1	12 28.3	1.6	1.4	7.6	6.7	13.6	11.9
17	12 48.4	12 51.4	12 14.2	1.7	1.5	7.7	6.6	13.7	11.8	17	13 03.4	13 06.4	12 28.5	1.7	1.5	7.7	6.7	13.7	12.0
18	12 48.6	12 51.6	12 14.4	1.8	1.5	7.8	6.7	13.8	11.8	18	13 03.6	13 06.6	12 28.8	1.8	1.6	7.8	6.8	13.8	12.1
19	12 48.9	12 51.9	12 14.7	1.9	1.6	7.9	6.8	13.9	11.9	19	13 03.9	13 06.9	12 29.0	1.9	1.7	7.9	6.9	13.9	12.2
20	12 49.1	12 52.1	12 14.9	2.0	1.7	8.0	6.9	14.0	12.0	20	13 04.1	13 07.1	12 29.2	2.0	1.8	8.0	7.0	14.0	12.3
21	12 49.4	12 52.4	12 15.2	2.1	1.8	8.1	7.0	14.1	12.1	21	13 04.4	13 07.4	12 29.5	2.1	1.8	8.1	7.1	14.1	12.3
22	12 49.6	12 52.6	12 15.4	2.2	1.9	8.2	7.0	14.2	12.2	22	13 04.6	13 07.6	12 29.7	2.2	1.9	8.2	7.2	14.2	12.4
23	12 49.9	12 52.9	12 15.6	2.3	2.0	8.3	7.1	14.3	12.3	23	13 04.9	13 07.9	12 30.0	2.3	2.0	8.3	7.3	14.3	12.5
24	12 50.1	12 53.1	12 15.9	2.4	2.1	8.4	7.2	14.4	12.4	24	13 05.1	13 08.2	12 30.2	2.4	2.1	8.4	7.4	14.4	12.6
25	12 50.4	12 53.4	12 16.1	2.5	2.1	8.5	7.3	14.5	12.4	25	13 05.4	13 08.4	12 30.4	2.5	2.2	8.5	7.4	14.5	12.7
26	12 50.6	12 53.6	12 16.4	2.6	2.2	8.6	7.4	14.6	12.5	26	13 05.6	13 08.6	12 30.7	2.6	2.3	8.6	7.5	14.6	12.8
27	12 50.9	12 53.9	12 16.6	2.7	2.3	8.7	7.5	14.7	12.6	27	13 05.9	13 08.9	12 30.9	2.7	2.4	8.7	7.6	14.7	12.9
28	12 51.1	12 54.1	12 16.8	2.8	2.4	8.8	7.6	14.8	12.7	28	13 06.1	13 09.2	12 31.1	2.8	2.5	8.8	7.7	14.8	13.0
29	12 51.4	12 54.4	12 17.1	2.9	2.5	8.9	7.6	14.9	12.8	29	13 06.4	13 09.4	12 31.4	2.9	2.5	8.9	7.8	14.9	13.0
30	12 51.6	12 54.6	12 17.3	3.0	2.6	9.0	7.7	15.0	12.9	30	13 06.6	13 09.7	12 31.6	3.0	2.6	9.0	7.9	15.0	13.1
31	12 51.9	12 54.9	12 17.5	3.1	2.7	9.1	7.8	15.1	13.0	31	13 06.9	13 09.9	12 31.9	3.1	2.7	9.1	8.0	15.1	13.2
32	12 52.1	12 55.1	12 17.8	3.2	2.7	9.2	7.9	15.2	13.0	32	13 07.1	13 10.2	12 32.1	3.2	2.8	9.2	8.1	15.2	13.3
33	12 52.4	12 55.4	12 18.0	3.3	2.8	9.3	8.0	15.3	13.1	33	13 07.4	13 10.4	12 32.3	3.3	2.9	9.3	8.1	15.3	13.4
34	12 52.6	12 55.6	12 18.3	3.4	2.9	9.4	8.1	15.4	13.2	34	13 07.6	13 10.7	12 32.6	3.4	3.0	9.4	8.2	15.4	13.5
35	12 52.9	12 55.9	12 18.5	3.5	3.0	9.5	8.2	15.5	13.3	35	13 07.9	13 10.9	12 32.8	3.5	3.1	9.5	8.3	15.5	13.6
36	12 53.1	12 56.1	12 18.7	3.6	3.1	9.6	8.2	15.6	13.4	36	13 08.1	13 11.2	12 33.1	3.6	3.2	9.6	8.4	15.6	13.7
37	12 53.4	12 56.4	12 19.0	3.7	3.2	9.7	8.3	15.7	13.5	37	13 08.4	13 11.4	12 33.3	3.7	3.2	9.7	8.5	15.7	13.7
38	12 53.6	12 56.6	12 19.2	3.8	3.3	9.8	8.4	15.8	13.6	38	13 08.6	13 11.7	12 33.5	3.8	3.3	9.8	8.6	15.8	13.8
39	12 53.9	12 56.9	12 19.5	3.9	3.3	9.9	8.5	15.9	13.6	39	13 08.9	13 11.9	12 33.8	3.9	3.4	9.9	8.7	15.9	13.9
40	12 54.1	12 57.1	12 19.7	4.0	3.4	10.0	8.6	16.0	13.7	40	13 09.1	13 12.2	12 34.0	4.0	3.5	10.0	8.8	16.0	14.0
41	12 54.4	12 57.4	12 19.9	4.1	3.5	10.1	8.7	16.1	13.8	41	13 09.4	13 12.4	12 34.2	4.1	3.6	10.1	8.9	16.1	14.1
42	12 54.6	12 57.6	12 20.2	4.2	3.6	10.2	8.8	16.2	13.9	42	13 09.6	13 12.7	12 34.5	4.2	3.7	10.2	9.0	16.2	14.2
43	12 54.9	12 57.9	12 20.4	4.3	3.7	10.3	8.8	16.3	14.0	43	13 09.9	13 12.9	12 34.7	4.3	3.8	10.3	9.0	16.3	14.3
44	12 55.1	12 58.1	12 20.6	4.4	3.8	10.4	8.9	16.4	14.1	44	13 10.1	13 13.2	12 35.0	4.4	3.9	10.4	9.1	16.4	14.4
45	12 55.4	12 58.4	12 20.9	4.5	3.9	10.5	9.0	16.5	14.2	45	13 10.4	13 13.4	12 35.2	4.5	3.9	10.5	9.2	16.5	14.4
46	12 55.6	12 58.6	12 21.1	4.6	3.9	10.6	9.1	16.6	14.2	46	13 10.6	13 13.7	12 35.4	4.6	4.0	10.6	9.3	16.6	14.5
47	12 55.9	12 58.9	12 21.4	4.7	4.0	10.7	9.2	16.7	14.3	47	13 10.9	13 13.9	12 35.7	4.7	4.1	10.7	9.4	16.7	14.6
48	12 56.1	12 59.1	12 21.6	4.8	4.1	10.8	9.3	16.8	14.4	48	13 11.1	13 14.2	12 35.9	4.8	4.2	10.8	9.5	16.8	14.7
49	12 56.4	12 59.4	12 21.8	4.9	4.2	10.9	9.4	16.9	14.5	49	13 11.4	13 14.4	12 36.2	4.9	4.3	10.9	9.6	16.9	14.8
50	12 56.6	12 59.6	12 22.1	5.0	4.3	11.0	9.4	17.0	14.6	50	13 11.6	13 14.7	12 36.4	5.0	4.4	11.0	9.6	17.0	14.9
51	12 56.9	12 59.9	12 22.3	5.1	4.4	11.1	9.5	17.1	14.7	51	13 11.9	13 14.9	12 36.6	5.1	4.5	11.1	9.7	17.1	15.0
52	12 57.1	13 00.1	12 22.6	5.2	4.5	11.2	9.6	17.2	14.8	52	13 12.1	13 15.2	12 36.9	5.2	4.6	11.2	9.8	17.2	15.1
53	12 57.4	13 00.4	12 22.8	5.3	4.5	11.3	9.7	17.3	14.8	53	13 12.4	13 15.4	12 37.1	5.3	4.6	11.3	9.9	17.3	15.1
54	12 57.6	13 00.6	12 23.0	5.4	4.6	11.4	9.8	17.4	14.9	54	13 12.6	13 15.7	12 37.4	5.4	4.7	11.4	10.0	17.4	15.2
55	12 57.9	13 00.9	12 23.3	5.5	4.7	11.5	9.9	17.5	15.0	55	13 12.9	13 15.9	12 37.6	5.5	4.8	11.5	10.1	17.5	15.3
56	12 58.1	13 01.1	12 23.5	5.6	4.8	11.6	10.0	17.6	15.1	56	13 13.1	13 16.2	12 37.8	5.6	4.9	11.6	10.2	17.6	15.4
57	12 58.4	13 01.4	12 23.8	5.7	4.8	11.7	10.0	17.7	15.2	57	13 13.4	13 16.4	12 38.1	5.7	5.0	11.7	10.2	17.7	15.5
58	12 58.6	13 01.6	12 24.0	5.8	5.0	11.8	10.1	17.8	15.3	58	13 13.6	13 16.7	12 38.3	5.8	5.1	11.8	10.3	17.8	15.6
59	12 58.9	13 01.9	12 24.2	5.9	5.1	11.9	10.2	17.9	15.4	59	13 13.9	13 16.9	12 38.5	5.9	5.2	11.9	10.4	17.9	15.7
60	12 59.1	13 02.1	12 24.5	6.0	5.2	12.0	10.3	18.0	15.5	60	13 14.1	13 17.2	12 38.8	6.0	5.3	12.0	10.5	18.0	15.8

表1. 时角、赤纬内插表

4 ^m 时角基本变量				订	订	订	55 ^m 时角基本变量				订	订	订
54 ^m	太阳	春分点	月亮	或正	或正	或正	55 ^m	太阳	春分点	月亮	或正	或正	或正
	行星			△ 值	△ 值	△ 值		行星			△ 值	△ 值	△ 值
0	13 29.1	13 32.2	12 53.1	0.0 0.0	6.0 5.5	12.0 10.8	0	13 44.1	13 47.3	13 07.4	0.0 0.0	6.0 5.6	12.0 11.1
1	13 29.3	13 32.5	12 53.3	0.1 0.1	6.1 5.5	12.1 11.0	1	13 44.3	13 47.5	13 07.7	0.1 0.1	6.1 5.6	12.1 11.2
2	13 29.6	13 32.7	12 53.6	0.2 0.2	6.2 5.6	12.2 11.1	2	13 44.6	13 47.8	13 07.9	0.2 0.2	6.2 5.7	12.2 11.3
3	13 29.8	13 33.0	12 53.8	0.3 0.3	6.3 5.7	12.3 11.2	3	13 44.8	13 48.0	13 08.1	0.3 0.3	6.3 5.8	12.3 11.4
4	13 30.1	13 33.2	12 54.1	0.4 0.4	6.4 5.8	12.4 11.3	4	13 45.1	13 48.3	13 08.4	0.4 0.4	6.4 5.9	12.4 11.5
5	13 30.3	13 33.5	12 54.3	0.5 0.5	6.5 5.9	12.5 11.4	5	13 45.3	13 48.5	13 08.6	0.5 0.5	6.5 6.0	12.5 11.6
6	13 30.6	13 33.7	12 54.5	0.6 0.6	6.6 6.0	12.6 11.4	6	13 45.6	13 48.8	13 08.8	0.6 0.6	6.6 6.1	12.6 11.7
7	13 30.8	13 34.0	12 54.8	0.7 0.6	6.7 6.1	12.7 11.5	7	13 45.8	13 49.0	13 09.1	0.7 0.6	6.7 6.2	12.7 11.7
8	13 31.1	13 34.2	12 55.0	0.8 0.7	6.8 6.2	12.8 11.6	8	13 46.1	13 49.3	13 09.3	0.8 0.7	6.8 6.3	12.8 11.8
9	13 31.3	13 34.5	12 55.2	0.9 0.8	6.9 6.3	12.9 11.7	9	13 46.3	13 49.5	13 09.6	0.9 0.8	6.9 6.4	12.9 11.9
10	13 31.6	13 34.7	12 55.5	1.0 0.9	7.0 6.4	13.0 11.8	10	13 46.6	13 49.8	13 09.8	1.0 0.9	7.0 6.5	13.0 12.0
11	13 31.8	13 35.0	12 55.7	1.1 1.0	7.1 6.4	13.1 11.9	11	13 46.8	13 50.0	13 10.0	1.1 1.0	7.1 6.6	13.1 12.1
12	13 32.1	13 35.2	12 56.0	1.2 1.1	7.2 6.5	13.2 12.0	12	13 47.1	13 50.3	13 10.3	1.2 1.1	7.2 6.7	13.2 12.2
13	13 32.3	13 35.5	12 56.2	1.3 1.2	7.3 6.6	13.3 12.1	13	13 47.3	13 50.5	13 10.5	1.3 1.2	7.3 6.8	13.3 12.3
14	13 32.6	13 35.7	12 56.4	1.4 1.3	7.4 6.7	13.4 12.2	14	13 47.6	13 50.8	13 10.8	1.4 1.3	7.4 6.8	13.4 12.4
15	13 32.8	13 36.0	12 56.7	1.5 1.4	7.5 6.8	13.5 12.3	15	13 47.8	13 51.0	13 11.0	1.5 1.4	7.5 6.9	13.5 12.5
16	13 33.1	13 36.2	12 56.9	1.6 1.5	7.6 6.9	13.6 12.4	16	13 48.1	13 51.3	13 11.2	1.6 1.5	7.6 7.0	13.6 12.6
17	13 33.3	13 36.5	12 57.2	1.7 1.5	7.7 7.0	13.7 12.4	17	13 48.3	13 51.5	13 11.5	1.7 1.6	7.7 7.1	13.7 12.7
18	13 33.6	13 36.7	12 57.4	1.8 1.6	7.8 7.1	13.8 12.5	18	13 48.6	13 51.8	13 11.7	1.8 1.7	7.8 7.2	13.8 12.8
19	13 33.8	13 37.0	12 57.6	1.9 1.7	7.9 7.2	13.9 12.6	19	13 48.8	13 52.0	13 12.0	1.9 1.8	7.9 7.3	13.9 12.9
20	13 34.1	13 37.2	12 57.9	2.0 1.8	8.0 7.3	14.0 12.7	20	13 49.1	13 52.3	13 12.2	2.0 1.9	8.0 7.4	14.0 13.0
21	13 34.3	13 37.5	12 58.1	2.1 1.9	8.1 7.4	14.1 12.8	21	13 49.3	13 52.5	13 12.4	2.1 1.9	8.1 7.5	14.1 13.0
22	13 34.6	13 37.7	12 58.3	2.2 2.0	8.2 7.4	14.2 12.9	22	13 49.6	13 52.8	13 12.7	2.2 2.0	8.2 7.6	14.2 13.1
23	13 34.8	13 38.0	12 58.6	2.3 2.1	8.3 7.5	14.3 13.0	23	13 49.8	13 53.0	13 12.9	2.3 2.1	8.3 7.7	14.3 13.2
24	13 35.1	13 38.2	12 58.8	2.4 2.2	8.4 7.6	14.4 13.1	24	13 50.1	13 53.3	13 13.1	2.4 2.2	8.4 7.8	14.4 13.3
25	13 35.3	13 38.5	12 59.1	2.5 2.3	8.5 7.7	14.5 13.2	25	13 50.3	13 53.5	13 13.4	2.5 2.3	8.5 7.9	14.5 13.4
26	13 35.6	13 38.7	12 59.3	2.6 2.4	8.6 7.8	14.6 13.3	26	13 50.6	13 53.8	13 13.6	2.6 2.4	8.6 8.0	14.6 13.5
27	13 35.8	13 39.0	12 59.5	2.7 2.5	8.7 7.9	14.7 13.4	27	13 50.8	13 54.0	13 13.9	2.7 2.5	8.7 8.0	14.7 13.6
28	13 36.1	13 39.2	12 59.8	2.8 2.6	8.8 8.0	14.8 13.5	28	13 51.1	13 54.3	13 14.1	2.8 2.6	8.8 8.1	14.8 13.7
29	13 36.3	13 39.5	13 00.0	2.9 2.6	8.9 8.1	14.9 13.6	29	13 51.3	13 54.5	13 14.3	2.9 2.7	8.9 8.2	14.9 13.8
30	13 36.6	13 39.7	13 00.3	3.0 2.7	9.0 8.2	15.0 13.6	30	13 51.6	13 54.8	13 14.6	3.0 2.8	9.0 8.3	15.0 13.9
31	13 36.8	13 40.0	13 00.5	3.1 2.8	9.1 8.3	15.1 13.7	31	13 51.8	13 55.0	13 14.8	3.1 2.9	9.1 8.4	15.1 14.0
32	13 37.1	13 40.2	13 00.7	3.2 2.9	9.2 8.4	15.2 13.8	32	13 52.1	13 55.3	13 15.1	3.2 3.0	9.2 8.5	15.2 14.1
33	13 37.3	13 40.5	13 01.0	3.3 3.0	9.3 8.4	15.3 13.8	33	13 52.3	13 55.5	13 15.3	3.3 3.1	9.3 8.6	15.3 14.2
34	13 37.6	13 40.7	13 01.2	3.4 3.1	9.4 8.5	15.4 14.0	34	13 52.6	13 55.8	13 15.5	3.4 3.1	9.4 8.7	15.4 14.2
35	13 37.8	13 41.0	13 01.5	3.5 3.2	9.5 8.6	15.5 14.1	35	13 52.8	13 56.0	13 15.8	3.5 3.2	9.5 8.8	15.5 14.3
36	13 38.1	13 41.2	13 01.7	3.6 3.3	9.6 8.7	15.6 14.2	36	13 53.1	13 56.3	13 16.0	3.6 3.3	9.6 8.9	15.6 14.4
37	13 38.3	13 41.5	13 01.9	3.7 3.4	9.7 8.8	15.7 14.3	37	13 53.3	13 56.5	13 16.2	3.7 3.4	9.7 9.0	15.7 14.5
38	13 38.6	13 41.7	13 02.2	3.8 3.5	9.8 8.9	15.8 14.4	38	13 53.6	13 56.8	13 16.5	3.8 3.5	9.8 9.1	15.8 14.6
39	13 38.8	13 42.0	13 02.4	3.9 3.5	9.9 9.0	15.9 14.4	39	13 53.8	13 57.0	13 16.7	3.9 3.6	9.9 9.2	15.9 14.7
40	13 39.1	13 42.2	13 02.6	4.0 3.6	10.0 9.1	16.0 14.5	40	13 54.1	13 57.3	13 17.0	4.0 3.7	10.0 9.3	16.0 14.8
41	13 39.3	13 42.5	13 02.9	4.1 3.7	10.1 9.2	16.1 14.6	41	13 54.3	13 57.5	13 17.2	4.1 3.8	10.1 9.4	16.1 14.9
42	13 39.6	13 42.7	13 03.1	4.2 3.8	10.2 9.3	16.2 14.7	42	13 54.6	13 57.8	13 17.4	4.2 3.9	10.2 9.4	16.2 15.0
43	13 39.8	13 43.0	13 03.4	4.3 3.9	10.3 9.4	16.3 14.8	43	13 54.8	13 58.0	13 17.7	4.3 4.0	10.3 9.5	16.3 15.1
44	13 40.1	13 43.2	13 03.6	4.4 4.0	10.4 9.4	16.4 14.9	44	13 55.1	13 58.3	13 17.9	4.4 4.1	10.4 9.6	16.4 15.2
45	13 40.3	13 43.5	13 03.8	4.5 4.1	10.5 9.5	16.5 15.0	45	13 55.3	13 58.5	13 18.2	4.5 4.2	10.5 9.7	16.5 15.3
46	13 40.6	13 43.7	13 04.1	4.6 4.2	10.6 9.6	16.6 15.1	46	13 55.6	13 58.8	13 18.4	4.6 4.3	10.6 9.8	16.6 15.4
47	13 40.8	13 44.0	13 04.3	4.7 4.3	10.7 9.7	16.7 15.2	47	13 55.8	13 59.0	13 18.6	4.7 4.3	10.7 9.9	16.7 15.4
48	13 41.1	13 44.3	13 04.6	4.8 4.4	10.8 9.8	16.8 15.3	48	13 56.1	13 59.3	13 18.9	4.8 4.4	10.8 10.0	16.8 15.5
49	13 41.3	13 44.5	13 04.8	4.9 4.5	10.9 9.9	16.9 15.4	49	13 56.3	13 59.5	13 19.1	4.9 4.5	10.9 10.1	16.9 15.6
50	13 41.6	13 44.8	13 05.0	5.0 4.5	11.0 10.0	17.0 15.4	50	13 56.6	13 59.8	13 19.3	5.0 4.6	11.0 10.2	17.0 15.7
51	13 41.8	13 45.0	13 05.3	5.1 4.6	11.1 10.1	17.1 15.5	51	13 56.8	14 00.0	13 19.6	5.1 4.7	11.1 10.3	17.1 15.8
52	13 42.1	13 45.3	13 05.5	5.2 4.7	11.2 10.2	17.2 15.6	52	13 57.1	14 00.3	13 19.8	5.2 4.8	11.2 10.4	17.2 15.9
53	13 42.3	13 45.5	13 05.7	5.3 4.8	11.3 10.3	17.3 15.7	53	13 57.3	14 00.5	13 20.1	5.3 4.9	11.3 10.5	17.3 16.0
54	13 42.6	13 45.8	13 06.0	5.4 4.9	11.4 10.4	17.4 15.8	54	13 57.6	14 00.8	13 20.3	5.4 5.0	11.4 10.6	17.4 16.1
55	13 42.8	13 46.0	13 06.2	5.5 5.0	11.5 10.4	17.5 15.9	55	13 57.8	14 01.0	13 20.5	5.5 5.1	11.5 10.6	17.5 16.2
56	13 43.1	13 46.3	13 06.5	5.6 5.1	11.6 10.5	17.6 16.0	56	13 58.1	14 01.3	13 20.8	5.6 5.2	11.6 10.7	17.6 16.3
57	13 43.3	13 46.5	13 06.7	5.7 5.2	11.7 10.6	17.7 16.1	57	13 58.3	14 01.5	13 21.0	5.7 5.3	11.7 10.8	17.7 16.4
58	13 43.6	13 46.8	13 06.9	5.8 5.3	11.8 10.7	17.8 16.2	58	13 58.6	14 01.8	13 21.3	5.8 5.4	11.8 10.9	17.8 16.5
59	13 43.8	13 47.0	13 07.2	5.9 5.4	11.9 10.8	17.9 16.3	59	13 58.8	14 02.0	13 21.5	5.9 5.5	11.9 11.0	17.9 16.6
60	13 44.1	13 47.3	13 07.4	6.0 5.5	12.0 10.9	18.0 16.4	60	13 59.1	14 02.3	13 21.7	6.0 5.6	12.0 11.1	18.0 16.7

5. 北极星高度求纬度表
北极星高度求纬度, 1992年

春分点 地方时角	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°
0 00	- 4.8	+ 3.2	+11.1	+18.7	+25.7	+32.0	+37.2	+41.3	+44.2	+45.7	+45.9	+44.6
0 30	4.4	3.6	11.5	19.1	26.1	32.2	37.4	41.5	44.3	45.8	45.9	44.5
1 00	4.0	4.0	11.9	19.4	26.4	32.5	37.7	41.7	44.4	45.8	45.8	44.4
1 30	3.6	4.4	12.3	19.8	26.7	32.8	37.9	41.9	44.5	45.9	45.8	44.3
2 00	3.2	4.8	12.7	20.2	27.0	33.1	38.1	42.0	44.6	45.9	45.7	44.2
2 30	- 2.8	+ 5.2	+13.1	+20.5	+27.4	+33.4	+38.4	+42.2	+44.7	+45.9	+45.7	+44.1
第 3 00	2.4	5.6	13.4	20.9	27.7	33.6	38.6	42.3	44.8	45.9	45.7	44.0
3 30	2.0	6.0	13.8	21.2	28.0	33.9	38.8	42.5	44.9	46.0	45.6	43.9
4 00	1.6	6.4	14.2	21.6	28.3	34.2	39.0	42.7	45.0	46.0	45.6	43.7
改 4 30	1.2	6.8	14.6	21.9	28.6	34.5	39.2	42.8	45.1	46.0	45.5	43.6
5 00	- 0.8	+ 7.2	+15.0	+22.3	+28.9	+34.7	+39.4	+42.9	+45.2	+46.0	+45.4	+43.5
正 5 30	- 0.4	7.6	15.4	22.7	29.3	35.0	39.6	43.1	45.2	46.0	45.4	43.4
6 00	0.0	8.0	15.7	23.0	29.6	35.2	39.8	43.2	45.3	46.0	45.3	43.2
值 6 30	+ 0.4	8.4	16.1	23.3	29.9	35.5	40.0	43.4	45.4	46.0	45.2	43.1
7 00	0.8	8.8	16.5	23.7	30.2	35.7	40.2	43.5	45.4	46.0	45.2	42.9
7 30	+ 1.2	+ 9.2	+16.9	+24.0	+30.5	+36.0	+40.4	+43.6	+45.5	+46.0	+45.1	+42.8
8 00	1.6	9.6	17.2	24.4	30.8	36.2	40.6	43.7	45.6	46.0	45.0	42.7
8 30	2.0	10.0	17.6	24.7	31.1	36.5	40.8	43.9	45.6	46.0	44.9	42.5
9 00	2.4	10.3	18.0	25.1	31.4	36.7	41.0	44.0	45.7	45.9	44.8	42.3
9 30	2.8	10.7	18.3	25.4	31.7	37.0	41.2	44.1	45.7	45.9	44.7	42.2
10 00	+ 3.2	+11.1	+18.7	+25.7	+32.0	+37.2	+41.3	+44.2	+45.7	+45.9	+44.6	+42.0
高 度												
第 0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
55	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
60	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
62	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
64	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
66	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
68	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
日 期												
1月1日	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
2月1日	+0.1	+0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
第 3月1日	+0.2	+0.2	+0.2	+0.2	+0.1	+0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2
4月1日	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.2	+0.2	+0.1	+0.1	0.0	0.0	-0.1
三 5月1日	+0.3	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.3	+0.3	+0.2	+0.2	+0.1	+0.1
改 6月1日	+0.2	+0.3	+0.3	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.3	+0.3	+0.2
7月1日	+0.1	+0.1	+0.2	+0.3	+0.3	+0.3	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.3
正 8月1日	-0.1	0.0	0.0	+0.1	+0.2	+0.2	+0.3	+0.3	+0.3	+0.4	+0.4	+0.4
9月1日	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	+0.1	+0.2	+0.2	+0.3	+0.3	+0.3
值 10月1日	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	+0.1	+0.2	+0.2
11月1日	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	+0.1
12月1日	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
12月31日	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3
春分点 地方时角	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°

北极星高度求纬度, 1992年

春分点 地方时角	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°
0 00	+42.0	+38.1	+33.1	+27.0	+20.2	+12.7	+ 4.8	- 3.2	-11.1	-18.7	-25.7	-32.0
0 30	41.9	37.9	32.8	26.7	19.8	12.3	4.4	3.6	11.5	19.1	26.1	32.2
1 00	41.7	37.7	32.5	26.4	19.4	11.9	4.0	4.0	11.9	19.4	26.4	32.5
1 30	41.5	37.4	32.2	26.1	19.1	11.5	3.6	4.4	12.3	19.8	26.7	32.8
2 00	41.3	37.2	32.0	25.7	18.7	11.1	3.2	4.8	12.7	20.2	27.0	33.1
2 30	+41.2	+37.0	+31.7	+25.4	+18.3	+10.7	+ 2.8	- 5.2	-13.1	-20.5	-27.4	-33.4
第 3 00	41.0	36.7	31.4	25.1	18.0	10.3	2.4	5.6	13.4	20.9	27.7	33.6
一 3 30	40.8	36.5	31.1	24.7	17.6	10.0	2.0	6.0	13.8	21.2	28.0	33.9
改 4 00	40.6	36.2	30.8	24.4	17.2	9.6	1.6	6.4	14.2	21.6	28.3	34.2
4 30	40.4	36.0	30.5	24.0	16.9	9.2	1.2	6.8	14.6	21.9	28.6	34.5
正 5 00	+40.2	+35.7	+30.2	+23.7	+16.5	+ 8.8	+ 0.8	- 7.2	-15.0	-22.3	-28.9	-34.7
值 5 30	40.0	35.5	29.9	23.3	16.1	8.4	+ 0.4	7.6	15.4	22.7	29.3	35.0
6 00	39.8	35.2	29.6	23.0	15.7	8.0	0.0	8.0	15.7	23.0	29.6	35.2
6 30	39.6	35.0	29.3	22.7	15.4	7.6	- 0.4	8.4	16.1	23.3	29.9	35.5
7 00	39.4	34.7	28.9	22.3	15.0	7.2	0.8	8.8	16.5	23.7	30.2	35.7
7 30	+39.2	+34.5	+28.6	+21.9	+14.6	+ 6.8	- 1.2	- 9.2	-16.9	-24.0	-30.5	-36.0
8 00	39.0	34.2	28.3	21.6	14.2	6.4	1.6	9.6	17.2	24.4	30.8	36.2
8 30	38.8	33.9	28.0	21.2	13.8	6.0	2.0	10.0	17.6	24.7	31.1	36.5
9 00	38.6	33.6	27.7	20.9	13.4	5.6	2.4	10.3	18.0	25.1	31.4	36.7
9 30	38.4	33.4	27.4	20.5	13.1	5.2	2.8	10.7	18.3	25.4	31.7	37.0
10 00	+38.1	+33.1	+27.0	+20.2	+12.7	+ 4.8	- 3.2	-11.1	-18.7	-25.7	-32.0	-37.2
高 度												
第 0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
二 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
改 10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
20	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
正 25	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
30	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
值 35	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
(恒 40	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
为 45	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
50	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
55	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2
正 60	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
62	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3
64	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3
66	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4
68	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
日 期												
第 1月1日	-0.1	0.0	0.0	0.0	+0.1	+0.1	+0.1	+0.1	+0.1	+0.2	+0.2	+0.2
2月1日	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	+0.1
3月1日	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
4月1日	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2
5月1日	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
改 6月1日	+0.2	+0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4
7月1日	+0.3	+0.2	+0.2	+0.1	+0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
正 8月1日	+0.4	+0.3	+0.3	+0.3	+0.2	+0.2	+0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2
9月1日	+0.3	+0.4	+0.4	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.2	+0.2	+0.1	0.0	0.0
值 10月1日	+0.3	+0.3	+0.3	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.3	+0.3	+0.3	+0.2	+0.2
11月1日	+0.1	+0.2	+0.3	+0.3	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.3
12月1日	0.0	0.0	+0.1	+0.2	+0.3	+0.3	+0.4	+0.4	+0.5	+0.5	+0.5	+0.5
12月31日	-0.2	-0.1	0.0	0.0	+0.1	+0.2	+0.3	+0.3	+0.4	+0.4	+0.5	+0.5
春分点 地方时角	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°

6. 北极星方位角表
 北极星方位角, 1992年

春分点 地方 时角	纬 度													春分点 地方 时角
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36
41	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	31
46	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	26
51	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	21
56	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	16
61	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	11
66	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	6
71	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	1
76	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	356
81	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	351
86	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2	346
91	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	341
96	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.2	1.3	336
101	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	331
106	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	326
111	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	321
116	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	316
121	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	311
126	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	306
131	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	301
136	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	296
141	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.3	1.5	291
146	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	286
151	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	281
156	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.2	1.3	276
161	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	271
166	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2	266
171	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.1	261
176	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0	256
181	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	251
186	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	246
191	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	241
196	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	236
201	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	231
206	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	226
211	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	221
216	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	216

用左侧春分点地方时角时, 方位角是北偏西。

用右侧春分点地方时角时, 方位角是北偏东。

7. 天体高度修正表

① 太阳高度总改正表表 II-4a 太阳高度总改正表

观测高度	眼 高 (m)														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3 00	+ 1.8	-0.1	-0.9	-1.5	-2.0	-2.4	-2.8	-3.2	-3.6	-3.9	-4.2	-4.5	-4.8	-5.0	-5.2
20	+ 2.8	+0.9	+0.1	-0.5	-0.9	-1.4	-1.8	-2.2	-2.6	-2.9	-3.2	-3.5	-3.8	-4.0	-4.2
40	+ 3.6	+1.8	+1.0	+0.4	-0.0	-0.5	-0.9	-1.3	-1.7	-2.0	-2.3	-2.6	-2.8	-3.0	-3.3
4 00	+ 4.4	+2.6	+1.8	+1.2	+0.7	+0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.7	-2.0	-2.2	-2.5
20	+ 5.1	+3.2	+2.5	+1.9	+1.4	+1.0	+0.6	+0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-1.0	-1.3	-1.5	-1.8
40	+ 5.7	+3.8	+3.1	+2.5	+2.0	+1.6	+1.2	+0.9	+0.5	+0.2	-0.1	-0.4	-0.6	-0.9	-1.1
5 00	+ 6.3	+4.4	+3.7	+3.1	+2.6	+2.2	+1.8	+1.5	+1.1	+0.8	+0.5	+0.2	0.0	-0.3	-0.5
20	+ 6.8	+5.0	+4.2	+3.6	+3.1	+2.7	+2.3	+2.0	+1.7	+1.3	+1.0	+0.7	+0.5	+0.2	0.0
40	+ 7.3	+5.4	+4.7	+4.1	+3.6	+3.2	+2.8	+2.5	+2.2	+1.8	+1.5	+1.2	+1.0	+0.7	+0.5
6 00	+ 7.7	+5.8	+5.1	+4.6	+4.1	+3.7	+3.3	+2.9	+2.6	+2.3	+1.9	+1.7	+1.4	+1.1	+0.9
20	+ 8.1	+6.2	+5.5	+5.0	+4.5	+4.1	+3.7	+3.3	+3.0	+2.7	+2.3	+2.1	+1.8	+1.5	+1.3
40	+ 8.5	+6.6	+5.9	+5.3	+4.8	+4.4	+4.0	+3.6	+3.3	+3.0	+2.7	+2.4	+2.2	+1.9	+1.7
7 00	+ 8.8	6.9	6.2	5.6	5.1	4.7	4.3	4.0	3.6	3.3	3.0	2.8	2.5	2.3	2.0
20	+ 9.1	7.2	6.5	5.9	5.4	5.0	4.6	4.3	4.0	3.7	3.4	3.1	2.8	2.6	2.3
40	+ 9.4	7.5	6.8	6.2	5.7	5.3	4.9	4.6	4.2	3.9	3.6	3.4	3.1	2.8	2.6
8 00	+ 9.6	7.8	7.0	6.5	6.0	5.6	5.2	4.8	4.5	4.2	3.9	3.6	3.4	3.1	2.9
20	+ 9.9	8.0	7.3	6.7	6.3	5.8	5.4	5.1	4.8	4.5	4.1	3.9	3.6	3.3	3.1
40	+10.1	8.2	7.5	7.0	6.5	6.1	5.7	5.3	5.0	4.7	4.4	4.1	3.8	3.6	3.3
9 00	+10.3	8.4	7.7	7.2	6.7	6.3	5.9	5.5	5.2	4.9	4.6	4.3	4.0	3.8	3.5
20	+10.5	8.6	7.9	7.4	6.9	6.5	6.1	5.7	5.4	5.1	4.8	4.5	4.2	4.0	3.7
40	+10.7	8.8	8.1	7.6	7.1	6.7	6.3	5.9	5.6	5.3	5.0	4.7	4.4	4.2	3.9
10 00	+10.9	9.0	8.3	7.7	7.2	6.8	6.4	6.1	5.7	5.4	5.1	4.9	4.6	4.4	4.1
20	+11.0	9.2	8.5	7.9	7.4	7.0	6.6	6.2	5.9	5.6	5.3	5.0	4.8	4.5	4.3
40	+11.2	9.3	8.6	8.1	7.6	7.2	6.8	6.4	6.1	5.8	5.5	5.2	4.9	4.7	4.5
11 00	+11.3	9.5	8.8	8.2	7.7	7.3	6.9	6.6	6.2	5.9	5.6	5.4	5.1	4.9	4.6
30	+11.5	9.7	9.0	8.4	7.9	7.5	7.1	6.8	6.4	6.1	5.8	5.6	5.3	5.1	4.8
12 00	+11.7	9.9	9.2	8.6	8.1	7.7	7.3	7.0	6.6	6.3	6.0	5.8	5.5	5.3	5.0
30	+11.9	10.0	9.3	8.8	8.3	7.9	7.5	7.1	6.8	6.5	6.2	5.9	5.7	5.4	5.2
13 00	+12.1	10.2	9.5	8.9	8.4	8.0	7.7	7.3	7.0	6.7	6.4	6.1	5.8	5.6	5.4
30	+12.2	10.4	9.6	9.1	8.6	8.2	7.8	7.5	7.1	6.8	6.5	6.3	6.0	5.8	5.5
14 00	+12.4	10.5	9.8	9.2	8.8	8.4	8.0	7.6	7.3	6.9	6.7	6.4	6.1	5.9	5.6
15 00	+12.6	10.8	10.1	9.5	9.0	8.6	8.2	7.9	7.5	7.2	6.9	6.7	6.4	6.1	5.9
16 00	+12.8	11.0	10.3	9.7	9.2	8.8	8.4	8.1	7.8	7.5	7.2	6.9	6.6	6.4	6.1
17 00	+13.0	11.2	10.5	9.9	9.4	9.0	8.6	8.3	8.0	7.7	7.4	7.1	6.8	6.6	6.3
18 00	+13.2	11.4	10.7	10.1	9.6	9.2	8.8	8.5	8.1	7.8	7.5	7.3	7.0	6.8	6.5
19 00	+13.4	11.6	10.8	10.3	9.8	9.4	9.0	8.6	8.3	8.0	7.7	7.4	7.2	6.9	6.7
20 00	+13.5	11.7	11.0	10.4	9.9	9.5	9.1	8.8	8.4	8.1	7.8	7.6	7.3	7.1	6.8
22 00	+13.8	12.0	11.2	10.7	10.2	9.8	9.4	9.0	8.7	8.4	8.1	7.8	7.6	7.3	7.1
24 00	+14.0	12.2	11.4	10.9	10.4	10.0	9.6	9.2	8.9	8.6	8.3	8.0	7.8	7.6	7.3
26 00	+14.2	12.4	11.6	11.1	10.6	10.2	9.8	9.4	9.1	8.8	8.5	8.2	8.0	7.8	7.5
28 00	+14.3	12.5	11.8	11.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.3	9.0	8.7	8.4	8.1	7.9	7.7
30 00	+14.5	12.7	11.9	11.4	10.9	10.5	10.1	9.7	9.4	9.1	8.8	8.5	8.3	8.1	7.8
32 00	+14.6	12.8	12.1	11.5	11.0	10.6	10.2	9.9	9.5	9.2	8.9	8.7	8.4	8.2	7.9
34 00	+14.7	12.9	12.2	11.6	11.1	10.7	10.3	10.0	9.6	9.3	9.0	8.9	8.5	8.3	8.1
36 00	+14.8	13.0	12.3	11.7	11.2	10.8	10.4	10.1	9.7	9.4	9.1	8.9	8.6	8.4	8.2
38 00	+14.9	13.1	12.4	11.8	11.3	10.9	10.5	10.2	9.8	9.5	9.2	9.0	8.7	8.5	8.3
40 00	+15.0	13.2	12.5	11.9	11.4	11.0	10.6	10.3	9.9	9.6	9.3	9.1	8.8	8.6	8.4
45 00	+15.1	13.4	12.6	12.1	11.6	11.2	10.8	10.4	10.1	9.8	9.5	9.2	9.0	8.7	8.5
50 00	+15.3	13.5	12.7	12.2	11.7	11.3	10.9	10.6	10.2	9.9	9.6	9.4	9.1	8.9	8.6
55 00	+15.4	13.6	12.9	12.3	11.8	11.4	11.1	10.7	10.4	10.1	9.8	9.5	9.2	9.0	8.8
60 00	+15.5	13.7	13.0	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.5	10.2	9.9	9.6	9.3	9.1	8.9
70 00	+15.7	13.9	13.2	12.6	12.2	11.8	11.4	11.0	10.7	10.4	10.1	9.8	9.5	9.3	9.1
80 00	+15.9	14.1	13.4	12.8	12.3	11.9	11.5	11.2	10.8	10.5	10.2	10.0	9.7	9.5	9.2
90 00	+16.0	14.2	13.5	12.9	12.5	12.1	11.7	11.3	11.0	10.7	10.4	10.1	9.8	9.6	9.4

表 II-4a₁ 太阳下边高度补充改正表

12月1日 至2月4日	2月4日 至3月4日	3月4日 至3月27日	3月27日 至4月18日	4月18日 至5月13日	5月13日 至8月24日	8月24日 至9月18日	9月18日 至10月10日	10月10日 至11月2日	11月2日 至12月1日
+0.3'	+0.2'	+0.1'	0	-0.1'	-0.2'	-0.1'	0	+0.1'	+0.2'

表II-4a 太阳高度总改正表

观测度	测度	眼 高 (m)														
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	30
3	00	-5.2	-5.5	-5.7	-5.9	-6.2	-6.4	-6.6	-6.8	-7.0	-7.2	-7.4	-7.6	-7.8	-8.2	-8.5
	20	-4.2	-4.4	-4.7	-4.9	-5.2	-5.4	-5.6	-5.8	-5.9	-6.1	-6.3	-6.5	-6.7	-7.1	-7.4
	40	-3.3	-3.5	-3.8	-4.0	-4.3	-4.5	-4.7	-4.8	-5.0	-5.2	-5.4	-5.6	-5.8	-6.2	-6.5
4	00	-2.5	-2.7	-3.0	-3.2	-3.4	-3.6	-3.8	-4.0	-4.2	-4.4	-4.6	-4.8	-5.0	-5.4	-5.7
	20	-1.8	-2.0	-2.3	-2.5	-2.7	-2.9	-3.1	-3.3	-3.5	-3.7	-3.9	-4.1	-4.3	-4.7	-5.0
	40	-1.1	-1.4	-1.6	-1.8	-2.1	-2.3	-2.5	-2.7	-2.9	-3.1	-3.3	-3.5	-3.6	-4.0	-4.3
5	00	-0.5	-0.8	-1.0	-1.2	-1.5	-1.7	-1.9	-2.1	-2.3	-2.5	-2.7	-2.9	-3.0	-3.4	-3.7
	20	0.0	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.1	-2.3	-2.5	-2.9	-3.2
	40	+0.5	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6	-1.8	-2.0	-2.4	-2.7
6	00	+0.9	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-1.9	-2.3
	20	+1.3	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.5	-1.9
	40	+1.7	+1.4	+1.2	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.2	-1.5
7	00	+2.0	+1.8	+1.5	+1.3	+1.1	+0.9	+0.7	+0.5	+0.3	+0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-0.8	-1.1
	20	+2.3	+2.1	+1.8	+1.6	+1.4	+1.2	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.5	-0.8
	40	+2.6	+2.3	+2.1	+1.9	+1.7	+1.5	+1.3	+1.1	+0.9	+0.7	+0.5	+0.3	+0.1	-0.2	-0.5
8	00	+2.9	+2.6	+2.4	+2.2	+2.0	+1.8	+1.6	+1.4	+1.2	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.1	-0.3
	20	+3.1	+2.8	+2.6	+2.4	+2.2	+2.0	+1.8	+1.6	+1.4	+1.2	+1.0	+0.8	+0.6	+0.3	0.0
	40	+3.3	+3.1	+2.9	+2.8	+2.4	+2.2	+2.0	+1.8	+1.6	+1.4	+1.2	+1.1	+0.9	+0.5	+0.2
9	00	+3.5	3.3	3.1	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	0.8	0.4
	20	+3.7	3.5	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.9	1.7	1.5	1.3	1.0	0.6
	40	+3.9	3.7	3.5	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.1	1.9	1.7	1.5	1.2	0.8
10	00	+4.1	3.9	3.7	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.3	1.0
	20	+4.3	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.5	2.3	2.0	1.8	1.5	1.2
	40	+4.5	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.7	1.3
11	00	+4.8	4.4	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5	2.3	2.2	1.8	1.5
	30	+4.8	4.6	4.3	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5	2.4	2.0	1.6
12	00	+5.0	4.8	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7	2.6	2.2	1.9
	30	+5.2	4.9	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7	2.4	2.1
13	00	+5.4	5.1	4.9	4.7	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.5	3.3	3.1	2.9	2.6	2.2
	30	+5.5	5.3	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	2.7	2.4
14		+5.6	5.4	5.2	4.9	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.8	3.6	3.4	3.2	2.9	2.5
15		+5.9	5.6	5.4	5.2	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.5	3.1	2.8
16		+6.1	5.9	5.7	5.5	5.3	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.8	3.7	3.4	3.0
17		+6.3	6.1	5.9	5.7	5.5	5.2	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	4.1	3.9	3.6	3.2
18		+6.5	6.3	6.1	5.8	5.6	5.4	5.2	5.0	4.8	4.6	4.4	4.3	4.1	3.7	3.4
19		+6.7	6.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	5.2	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	3.9	3.6
20		+6.8	6.6	6.4	6.1	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1	5.0	4.8	4.6	4.4	4.1	3.7
22		+7.1	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	5.2	5.0	4.8	4.7	4.3	4.0
24		+7.3	7.1	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	5.2	5.1	4.9	4.5	4.2
26		+7.5	7.3	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	5.3	5.1	4.7	4.4
28		+7.7	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	5.2	4.9	4.6
30		+7.8	7.6	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1	5.9	5.7	5.6	5.4	5.0	4.7
32		+7.9	7.7	7.5	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.1	5.9	5.7	5.5	5.2	4.8
34		+8.1	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.3	5.0
36		+8.2	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1	5.9	5.7	5.4	5.1
38		+8.3	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	5.5	5.1
40		+8.4	8.1	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1	5.9	5.6	5.2
45		+8.5	8.2	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.1	5.7	5.4
50		+8.6	8.4	8.2	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.8	6.6	6.4	6.2	5.9	5.5
55		+8.8	8.5	8.3	8.1	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.0	5.7
60		+8.9	8.6	8.4	8.2	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.1	5.8
70		+9.1	8.8	8.6	8.4	8.2	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.3	6.0
80		+9.2	9.0	8.8	8.5	8.3	8.1	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.8	6.5	6.1
90		+9.4	9.1	8.9	8.7	8.5	8.3	8.1	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.6	6.3

表II-4a₂ 太阳上边高度补充改正表

12月1日 至2月4日	2月4日 至3月4日	3月4日 至3月27日	3月27日 至4月18日	4月18日 至5月13日	5月13日 至8月24日	8月24日 至9月18日	9月18日 至10月10日	10月10日 至11月2日	11月2日 至12月1日
-32.3'	-32.2'	-32.1'	-32.0'	-31.9'	-31.8'	-31.9'	-3.20'	-32.1'	-32.2'

②星体高度总改正表
表II-4b 星体高度总改正表



观 测 高 度	眼 高 (m)														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3 00	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
20	-14.4	16.2	17.0	17.6	18.1	18.6	19.0	19.3	19.7	20.0	20.3	20.6	20.9	21.1	21.4
40	-13.4	15.2	16.0	16.6	17.1	17.6	18.0	18.3	18.7	19.0	19.3	19.6	19.8	20.1	20.3
4 00	-12.5	14.4	15.1	15.7	16.2	16.7	17.1	17.4	17.8	18.1	18.4	18.7	18.9	19.2	19.4
20	-11.8	13.6	14.3	14.9	15.4	15.9	16.3	16.7	17.0	17.3	17.6	17.9	18.1	18.4	18.6
40	-11.1	12.9	13.6	14.2	14.7	15.2	15.6	16.0	16.3	16.6	16.9	17.2	17.4	17.7	17.9
5 00	-10.4	12.3	13.0	13.6	14.1	14.6	14.9	15.3	15.6	15.9	16.2	16.5	16.8	17.0	17.3
5 00	-9.9	11.7	12.4	13.0	13.5	14.0	14.3	14.7	15.0	15.3	15.6	15.9	16.2	16.4	16.7
20	-9.4	11.2	11.9	12.5	13.0	13.4	13.8	14.2	14.5	14.8	15.1	15.4	15.7	15.9	16.2
40	-8.9	10.7	11.4	12.0	12.5	12.9	13.4	13.7	14.1	14.4	14.7	14.9	15.2	15.4	15.7
6 00	-8.5	10.3	11.0	11.6	12.1	12.5	12.9	13.3	13.6	13.9	14.2	14.5	14.8	15.0	15.3
20	-8.1	9.9	10.6	11.2	11.7	12.1	12.5	12.9	13.2	13.5	13.8	14.1	14.4	14.6	14.9
40	-7.7	9.5	10.3	10.9	11.4	11.8	12.2	12.5	12.9	13.2	13.5	13.8	14.0	14.2	14.5
7 00	-7.4	9.2	9.9	10.5	11.0	11.4	11.8	12.2	12.5	12.8	13.1	13.4	13.7	13.9	14.2
20	-7.1	8.9	9.6	10.2	10.7	11.1	11.5	11.9	12.2	12.5	12.8	13.1	13.4	13.6	13.9
40	-6.8	8.6	9.4	9.9	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	12.2	12.5	12.8	13.1	13.3	13.6
8 00	-6.6	8.4	9.1	9.7	10.2	10.6	11.0	11.3	11.7	12.0	12.3	12.6	12.8	13.0	13.3
20	-6.3	8.1	8.9	9.4	9.9	10.3	10.7	11.1	11.4	11.7	12.0	12.3	12.6	12.8	13.1
40	-6.1	7.9	8.6	9.2	9.7	10.1	10.5	10.9	11.2	11.5	11.8	12.1	12.4	12.6	12.9
9 00	-5.9	7.7	8.4	9.0	9.5	9.9	10.3	10.7	11.0	11.3	11.6	11.9	12.2	12.4	12.6
20	-5.7	7.5	8.2	8.8	9.3	9.7	10.1	10.5	10.8	11.1	11.4	11.7	12.0	12.2	12.4
40	-5.5	7.3	8.0	8.6	9.1	9.5	9.9	10.3	10.6	10.9	11.2	11.5	11.8	12.0	12.2
10 00	-5.3	7.1	7.8	8.4	8.9	9.4	9.7	10.1	10.4	10.7	11.0	11.3	11.6	11.8	12.0
20	-5.1	6.9	7.7	8.3	8.8	9.2	9.6	9.9	10.3	10.6	10.9	11.2	11.4	11.6	11.9
40	-5.0	6.8	7.5	8.1	8.6	9.0	9.4	9.8	10.1	10.4	10.7	11.0	11.3	11.5	11.7
11 00	-4.8	6.6	7.4	8.0	8.5	8.9	9.3	9.6	10.0	10.3	10.6	10.8	11.1	11.3	11.6
30	-4.6	6.4	7.2	7.8	8.3	8.7	9.1	9.4	9.8	10.1	10.4	10.6	10.9	11.1	11.4
12 00	-4.4	6.2	7.0	7.6	8.1	8.5	8.9	9.2	9.6	9.9	10.2	10.4	10.7	10.9	11.2
30	-4.3	6.1	6.8	7.4	7.9	8.3	8.7	9.0	9.4	9.7	10.0	10.3	10.5	10.7	11.0
13 00	-4.1	5.9	6.7	7.2	7.7	8.1	8.5	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1	10.3	10.5	10.8
30	-4.0	5.8	6.5	7.1	7.6	8.0	8.4	8.7	9.1	9.4	9.7	9.9	10.2	10.4	10.6
14 00	-3.8	5.6	6.3	6.9	7.4	7.8	8.2	8.5	8.9	9.2	9.5	9.8	10.0	10.2	10.4
15 00	-3.6	5.3	6.1	6.7	7.2	7.6	8.0	8.3	8.7	9.0	9.3	9.5	9.8	10.0	10.2
16 00	-3.3	5.1	5.9	6.5	7.0	7.4	7.8	8.1	8.4	8.7	9.0	9.3	9.6	9.8	10.0
17 00	-3.1	4.9	5.7	6.3	6.8	7.2	7.6	7.9	8.2	8.5	8.8	9.1	9.4	9.6	9.8
18 00	-2.9	4.7	5.5	6.1	6.6	7.0	7.4	7.7	8.0	8.3	8.6	8.9	9.2	9.4	9.6
19 00	-2.8	4.6	5.3	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.9	8.2	8.5	8.7	9.0	9.2	9.5
20 00	-2.6	4.4	5.2	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.7	8.0	8.3	8.6	8.9	9.1	9.3
22 00	-2.4	4.2	4.9	5.5	6.0	6.4	6.8	7.1	7.5	7.8	8.1	8.3	8.6	8.8	9.0
24 00	-2.2	4.0	4.7	5.3	5.8	6.2	6.6	6.9	7.3	7.6	7.9	8.1	8.4	8.6	8.8
26 00	-2.0	3.8	4.5	5.1	5.6	6.0	6.4	6.7	7.1	7.4	7.7	7.9	8.2	8.4	8.6
28 00	-1.8	3.6	4.3	4.9	5.4	5.8	6.2	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.0	8.2	8.5
30 00	-1.7	3.5	4.2	4.8	5.3	5.7	6.0	6.4	6.8	7.1	7.4	7.6	7.9	8.1	8.3
32 00	-1.5	3.3	4.1	4.7	5.2	5.6	5.9	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.0	8.2
34 00	-1.4	3.2	4.0	4.5	5.0	5.4	5.8	6.2	6.5	6.8	7.1	7.4	7.7	7.9	8.1
36 00	-1.3	3.1	3.9	4.4	4.9	5.3	5.7	6.1	6.4	6.7	7.0	7.3	7.5	7.7	8.0
38 00	-1.2	3.0	3.8	4.3	4.8	5.2	5.6	6.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.4	7.6	7.9
40 00	-1.1	2.9	3.7	4.2	4.7	5.1	5.5	5.9	6.2	6.5	6.8	7.1	7.3	7.5	7.8
45 00	-1.0	2.7	3.5	4.1	4.6	5.0	5.3	5.7	6.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.4	7.6
50 00	-0.8	2.6	3.3	3.9	4.4	4.8	5.2	5.5	5.8	6.2	6.5	6.7	7.0	7.2	7.5
55 00	-0.7	2.5	3.2	3.8	4.3	4.7	5.1	5.4	5.7	6.1	6.4	6.6	6.9	7.1	7.3
60 00	-0.6	2.3	3.1	3.7	4.2	4.6	5.0	5.3	5.6	5.9	6.2	6.5	6.8	7.0	7.2
70 00	-0.4	2.1	2.9	3.5	3.9	4.4	4.7	5.1	5.4	5.7	6.0	6.3	6.6	6.8	7.0
80 00	-0.2	1.9	2.7	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.2	5.5	5.8	6.1	6.4	6.6	6.8
90 00	-0.0	1.8	2.5	3.1	3.6	4.0	4.4	4.7	5.1	5.4	5.7	5.9	6.2	6.4	6.7

表II-4b₁ 行星高度补充改正表

高度	视 差						高度	视 差					
	0.1'	0.2'	0.3'	0.4'	0.5'	0.6'		0.1'	0.2'	0.3'	0.4'	0.5'	0.6'
10°	+0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	70°	+0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
30°	+0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	80°	+0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
90°	+0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	90°	+0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表II-4b 星体高度总改正表

观测高度	眼高 (m)														
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	30
3 00	-21.4	21.6	21.9	22.1	22.3	22.5	22.8	23.0	23.1	23.3	23.5	23.7	23.9	24.3	24.7
20	-20.3	20.6	20.8	21.0	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7	22.9	23.3	23.6
40	-19.4	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2	21.4	21.6	21.7	21.9	22.3	22.7
4 00	-18.5	18.9	19.1	19.3	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	20.9	21.1	21.5	21.9
20	-17.9	18.2	18.4	18.6	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.2	20.4	20.8	21.2
40	-17.3	17.5	17.8	18.0	18.2	18.4	18.6	18.8	19.1	19.3	19.5	19.6	19.8	20.1	20.5
5 00	-16.7	16.9	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.5	18.7	18.9	19.0	19.2	19.5	19.9
20	-16.2	16.4	16.7	16.9	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	19.0	19.3
40	-15.7	15.9	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.5	18.8
6 00	-15.3	15.5	15.7	15.9	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.5	17.7	18.1	18.4
20	-14.9	15.1	15.3	15.5	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.1	17.3	17.7	18.0
40	-14.5	14.7	15.0	15.1	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.3	17.6
7 00	-14.2	14.4	14.7	14.8	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.2	16.4	16.6	17.0	17.3
20	-13.9	14.1	14.4	14.5	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8	15.9	16.1	16.3	16.7	17.0
40	-13.6	13.8	14.1	14.3	14.5	14.7	14.9	15.2	15.3	15.5	15.6	15.8	16.0	16.4	16.7
8 00	-13.3	13.5	13.8	14.0	14.2	14.4	14.7	14.9	15.0	15.2	15.4	15.6	15.7	16.1	16.4
20	-13.1	13.3	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0	15.1	15.3	15.5	15.8	16.2
40	-12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.2	14.4	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.6	15.9
9 00	-12.6	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.8	15.0	15.4	15.7
20	-12.4	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.6	14.8	15.2	15.5
40	-12.2	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.6	15.0	15.3
10 00	-12.0	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.8	15.1
20	-11.9	12.1	12.3	12.6	12.8	13.0	13.2	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1	14.3	14.6	15.0
40	-11.7	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	13.9	14.1	14.5	14.8
11 00	-11.6	11.8	12.0	12.2	12.5	12.7	12.9	13.1	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.3	14.7
30	-11.4	11.6	11.8	12.0	12.3	12.5	12.7	12.9	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.1	14.5
12 00	-11.2	11.4	11.6	11.8	12.1	12.3	12.5	12.7	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.9	14.3
30	-11.0	11.2	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.0	13.2	13.4	13.7	14.1
13 00	-10.8	11.0	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.0	13.2	13.6	13.9
30	-10.6	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.4	13.8
14	-10.4	10.7	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.2	13.6
15	-10.2	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	13.0	13.3
16	-10.0	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.4	12.8	13.1
17	-9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.2	12.6	12.9
18	-9.6	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.4	12.7
19	-9.5	9.7	9.9	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.3	11.5	11.7	11.9	12.2	12.6
20	-9.3	9.5	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.1	11.3	11.5	11.7	12.0	12.4
22	-9.0	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.8	12.2
24	-8.8	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.6	11.9
26	-8.6	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	10.0	10.2	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.4	11.7
28	-8.5	8.7	8.9	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.5	10.7	10.9	11.2	11.6
30	-8.3	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.1	11.4
32	-8.2	8.4	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.6	11.0	11.3
34	-8.1	8.3	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.3	10.5	10.8	11.2
36	-8.0	8.2	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.2	10.4	10.7	11.1
38	-7.9	8.1	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.1	10.3	10.6	11.0
40	-7.8	8.0	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.0	10.2	10.5	10.9
45	-7.6	7.9	8.1	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.0	10.4	10.7
50	-7.5	7.7	7.9	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.5	9.7	9.9	10.2	10.6
55	-7.3	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.1	10.4
60	-7.2	7.5	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.6	10.0	10.3
70	-7.0	7.3	7.5	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	9.4	9.8	10.1
80	-6.8	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1	9.2	9.6	9.9
90	-6.7	6.9	7.1	7.3	7.6	7.8	8.0	8.2	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1	9.4	9.7

表II-4b₂ 行星高度补充改正表

高度	视差						高度	视差					
	0.1'	0.2'	0.3'	0.4'	0.5'	0.6'		0.1'	0.2'	0.3'	0.4'	0.5'	0.6'
10°	+0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	70°	+0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
30°	+0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	80°	+0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
50°	+0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	90°	+0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

③月亮下边高度总改正表(摘)
表 II - 4c 月亮下边高度总改正表(+)
(与观测高度相加)

地平高度 2	月亮赤道地平视差									
	53'	54'	55'	56'	57'	58'	59'	60'	61'	62'
45	50.9	51.9	52.9	53.9	54.9	55.9	56.8	57.8	58.8	59.8
46	50.3	51.3	52.3	53.2	54.2	55.2	56.1	57.1	58.1	59.0
47	49.7	50.6	51.6	52.6	53.5	54.5	55.4	56.4	57.3	58.3
48	49.0	50.0	50.9	51.9	52.8	53.7	54.7	55.6	56.6	57.5
49	48.4	49.3	50.2	51.2	52.1	53.0	54.0	54.9	55.8	56.7
50	47.7	48.6	49.5	50.5	51.4	52.3	53.2	54.1	55.0	55.9
51	47.0	47.9	48.8	49.7	50.6	51.5	52.4	53.3	54.2	55.1
52	46.3	47.2	48.1	49.0	49.9	50.8	51.7	52.5	53.4	54.3
53	45.6	46.5	47.4	48.2	49.1	50.0	50.9	51.7	52.6	53.5
54	44.9	45.8	46.6	47.5	48.3	49.2	50.1	50.9	51.8	52.6
55	44.2	45.0	45.9	46.7	47.6	48.4	49.2	50.1	50.9	51.8
56	43.4	44.3	45.1	45.9	46.8	47.6	48.4	49.3	50.1	50.9
57	42.7	43.5	44.3	45.1	46.0	46.8	47.6	48.4	49.2	50.1
58	41.9	42.7	43.5	44.3	45.1	45.9	46.7	47.6	48.4	49.2
59	41.2	41.9	42.7	43.5	44.3	45.1	45.9	46.7	47.5	48.3
60	40.4	41.2	41.9	42.7	43.5	44.3	45.0	45.8	46.6	47.4
61	39.6	40.4	41.1	41.9	42.6	43.4	44.2	44.9	45.7	46.4
62	38.8	39.6	40.3	41.0	41.8	42.5	43.3	44.0	44.8	45.8
63	38.0	38.7	39.5	40.2	40.9	41.7	42.4	43.1	43.8	44.6
64	37.2	37.9	38.6	39.3	40.1	40.8	41.5	42.2	42.9	43.6
65	36.4	37.1	37.8	38.5	39.2	39.9	40.6	41.3	42.0	42.7
66	35.6	36.3	36.9	37.6	38.3	39.0	39.7	40.3	41.0	41.7
67	34.8	35.4	36.1	36.7	37.4	38.1	38.7	39.4	40.1	40.7
68	33.9	34.6	35.2	35.9	36.5	37.2	37.8	38.5	39.1	39.7
69	33.1	33.7	34.3	35.0	35.6	36.2	36.9	37.5	38.1	38.8
70	32.2	32.8	33.5	34.1	34.7	35.3	35.9	36.5	37.1	37.8
71	31.4	32.0	32.6	33.2	33.8	34.4	35.0	35.6	36.2	36.8
72	30.5	31.1	31.7	32.3	32.8	33.4	34.0	34.6	35.2	35.8
73	29.6	30.2	30.8	31.3	31.9	32.5	33.0	33.6	34.2	34.7
74	28.8	29.3	29.9	30.4	31.0	31.5	32.1	32.6	33.2	33.7
75	27.9	28.4	29.0	29.5	30.0	30.6	31.1	31.6	32.2	32.7
76	27.0	27.5	28.1	28.6	29.1	29.6	30.1	30.6	31.2	31.7
77	26.1	26.6	27.1	27.6	28.1	28.6	29.1	29.6	30.1	30.6
78	25.3	25.7	26.2	26.7	27.2	27.7	28.2	28.6	29.1	29.6
79	24.4	24.8	25.3	25.8	26.2	26.7	27.2	27.6	28.1	28.6
80	23.5	23.9	24.4	24.8	25.3	25.7	26.2	26.6	27.1	27.5
81	22.6	23.0	23.4	23.9	24.3	24.7	25.2	25.6	26.0	26.5
82	21.7	22.1	22.5	22.9	23.3	23.8	24.2	24.6	25.0	25.4
83	20.8	21.2	21.6	22.0	22.4	22.8	23.2	23.6	24.0	24.4
84	19.9	20.3	20.6	21.0	21.4	21.8	22.2	22.5	22.9	23.3
85	19.0	19.3	19.7	20.1	20.4	20.8	21.2	21.5	21.9	22.2
86	18.1	18.4	18.8	19.1	19.5	19.8	20.1	20.5	20.8	21.2
87	17.2	17.5	17.8	18.2	18.5	18.8	19.1	19.5	19.8	20.1
88	16.3	16.6	16.9	17.2	17.5	17.8	18.1	18.4	18.7	19.0
89	15.4	15.6	15.9	16.2	16.5	16.8	17.1	17.4	17.7	18.0
90	14.5	14.7	15.0	15.3	15.5	15.8	16.1	16.4	16.6	16.9

④太阳、星体高度改正表
表7. 太阳、星体高度改正表

观测高度	太阳	星体
6 30	+ 8.2	- 7.9
6 40	8.4	7.7
6 50	8.6	7.6
7 00	8.7	7.4
7 10	8.8	7.2
7 20	+ 9.0	- 7.1
7 30	9.2	7.0
7 40	9.3	6.8
7 50	9.5	6.7
8 00	9.6	6.6
8 10	+ 9.7	- 6.4
8 20	9.8	6.3
8 30	10.0	6.2
8 40	10.1	6.1
8 50	10.2	6.0
9 00	+10.3	- 5.9
9 20	10.5	5.7
9 40	10.6	5.5
10 00	10.8	5.3
10 20	11.0	5.2
10 40	+11.2	- 5.0
11 00	11.3	4.9
11 30	11.5	4.7
12 00	11.7	4.5
12 30	11.9	4.3
13 00	+12.0	- 4.1
13 30	12.2	4.0
14 00	12.3	3.8
15 00	12.6	3.6
16 00	12.8	3.4
17 00	+13.0	- 3.2
18 00	13.2	3.0
19 00	13.3	2.8
20 00	13.5	2.6
22 00	13.7	2.4
24 00	+14.0	- 2.2
26 00	14.1	2.0
28 00	14.3	1.8
30 00	14.4	1.7
32 00	14.6	1.6
34 00	+14.7	- 1.4
36 00	14.8	1.3
38 00	14.9	1.3
40 00	15.0	1.2
45 00	15.1	1.0
50 00	+15.3	- 0.8
55 00	15.4	0.7
60 00	15.5	0.6
65 00	15.6	0.5
70 00	15.7	0.4
75 00	+15.8	- 0.3
80 00	15.8	0.2
85 00	15.9	- 0.1
90 00	+16.0	0.0

太阳高度补充改正

日期	☉	☽
12月1日至2月4日	+ 0.3	-32.3
2月4日至3月4日	+ 0.2	-32.2
3月4日至3月27日	+ 0.1	-32.1
3月27日至4月18日	0	-32.0
4月18日至5月13日	- 0.1	-31.9
5月13日至6月24日	- 0.2	-31.8
6月24日至9月18日	- 0.1	-31.9
9月18日至10月10日	0	-32.0
10月10日至11月2日	+ 0.1	-32.1
11月2日至12月1日	+ 0.2	-32.2

行星高度补充改正

高度	视差		
	0.1'	0.2'	0.3'
10°	+0.1	+0.2	+0.3
30	+0.1	+0.2	+0.3
50	+0.1	+0.1	+0.2
70	0.0	+0.1	+0.1
80	0.0	0.0	+0.1
90	0.0	0.0	0.0

高度	视差		
	0.4'	0.5'	0.6'
10°	+0.4	+0.5	+0.6
30	+0.3	+0.4	+0.5
50	+0.3	+0.3	+0.4
70	+0.2	+0.2	+0.2
80	+0.1	+0.1	+0.1
90	0.0	0.0	0.0

眼高差表

眼高	眼高差	眼高	眼高差
m	/	m	/
0.28	- 1.0	9.9	- 5.6
0.36	1.1	10.2	5.7
0.42	1.2	10.6	5.8
0.50	1.3	11.0	5.9
0.58	1.4	11.4	- 6.0
0.68	1.5	11.8	6.1
0.76	1.6	12.1	6.2
0.87	1.7	12.5	6.3
0.98	1.8	12.9	6.4
1.10	1.9	13.4	6.5
1.22	- 2.0	13.8	6.6
1.35	2.1	14.2	6.7
1.48	2.2	14.6	6.8
1.62	2.3	15.1	6.9
1.76	2.4	15.5	- 7.0
1.93	2.5	16.0	7.1
2.07	2.6	16.4	7.2
2.25	2.7	16.9	7.3
2.41	2.8	17.3	7.4
2.61	2.9	17.8	7.5
2.77	- 3.0	18.3	7.6
2.99	3.1	18.8	7.7
3.16	3.2	19.3	7.8
3.39	3.3	19.8	7.9
3.58	3.4	20.3	- 8.0
3.82	3.5	20.8	8.1
4.02	3.6	21.3	8.2
4.28	3.7	21.8	8.3
4.49	3.8	22.4	8.4
4.76	3.9	22.9	8.5
4.98	- 4.0	23.4	8.6
5.26	4.1	24.0	8.7
5.52	4.2	24.6	8.8
5.80	4.3	25.1	8.9
6.07	4.4	25.7	- 9.0
6.35	4.5	26.3	9.1
6.64	4.6	26.9	9.2
6.94	4.7	27.5	9.3
7.24	4.8	28.1	9.4
7.55	4.9	28.7	9.5
7.86	- 5.0	29.3	9.6
8.18	5.1	29.9	9.7
8.51	5.2	30.5	9.8
8.84	5.3	31.0	9.9
9.18	5.4	31.5	-10.0
9.53	- 5.5	32.0	
9.90			

⑤天体每分钟高度变动量表
表 II—5a 天体高度每分钟变动量表

纬度	方位														纬度	
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	70°	80°		90°
0	1.3	2.6	3.9	5.1	6.3	7.5	8.6	9.6	10.6	11.5	12.3	13.0	14.1	14.8	15.0	0
10	1.3	2.6	3.8	5.0	6.2	7.4	8.5	9.5	10.4	11.3	12.1	12.8	13.9	14.5	14.8	10
20	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7.0	8.1	9.1	10.0	10.8	11.5	12.2	13.2	13.9	14.1	20
25	1.2	2.4	3.5	4.6	5.7	6.8	7.8	8.7	9.6	10.4	11.1	11.8	12.8	13.4	13.6	25
30	1.1	2.3	3.4	4.4	5.5	6.5	7.5	8.4	9.2	10.0	10.6	11.3	12.2	12.8	13.0	30
35	1.1	2.1	3.2	4.2	5.2	6.1	7.0	7.9	8.7	9.4	10.1	10.8	11.8	12.1	12.3	35
40	1.0	2.0	3.0	3.9	4.8	5.7	6.6	7.4	8.1	8.8	9.4	10.0	10.8	11.3	11.5	40
45	0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.3	6.1	6.8	7.5	8.1	8.7	9.2	10.0	10.4	10.6	45
50	0.8	1.7	2.5	3.3	4.1	4.8	5.5	6.2	6.8	7.4	7.9	8.4	9.1	9.5	9.6	50
52	0.8	1.6	2.4	3.2	3.9	4.6	5.3	5.9	6.5	7.1	7.6	8.0	8.7	9.1	9.2	52
54	0.8	1.5	2.3	3.0	3.7	4.4	5.1	5.7	6.2	6.8	7.2	7.6	8.3	8.7	8.8	54
56	0.7	1.5	2.2	2.9	3.5	4.2	4.8	5.4	5.9	6.4	6.9	7.3	7.9	8.3	8.4	56
58	0.7	1.4	2.1	2.7	3.4	4.0	4.6	5.1	5.6	6.1	6.5	6.9	7.5	7.8	7.9	58
60	0.6	1.3	1.9	2.6	3.2	3.8	4.3	4.8	5.3	5.7	6.1	6.5	7.0	7.4	7.5	60
62	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.4	5.8	6.1	6.6	6.9	7.0	62
64	0.6	1.1	1.7	2.3	2.8	3.3	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.7	6.2	6.5	6.6	64
66	0.5	1.1	1.6	2.1	2.6	3.0	3.5	3.9	4.3	4.7	5.0	5.3	5.7	6.0	6.1	66
68	0.5	1.0	1.5	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.3	4.6	4.9	5.3	5.5	5.6	68
70	0.4	0.9	1.3	1.8	2.2	2.6	2.9	3.3	3.6	3.9	4.2	4.4	4.8	5.1	5.1	70
72	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.3	2.7	3.0	3.3	3.6	3.8	4.0	4.4	4.5	4.6	72
74	0.4	0.7	1.1	1.4	1.7	2.1	2.4	2.7	2.9	3.2	3.4	3.6	3.9	4.1	4.1	74
76	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	2.8	3.0	3.1	3.4	3.6	3.6	76
78	0.3	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1	3.1	78
80	0.2	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0	2.1	2.3	2.4	2.6	2.6	80
82	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.1	82
84	0.1	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	84
86	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	86
88	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	88
90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90

⑥异顶差表 表 II—6 异顶差表 (化为同顶)
(船舶航行 1 分钟的高度变化)

航速	天体方位 减去 航向										航速
	0° 360°	10° 350°	20° 340°	30° 330°	40° 320°	50° 310°	60° 300°	70° 290°	80° 280°	90° 270°	
kn	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	kn
6	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.05	0.03	0.02	0.00	6
8	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05	0.02	0.00	8
10	0.17	0.16	0.16	0.14	0.13	0.11	0.08	0.06	0.03	0.00	10
12	0.20	0.20	0.19	0.17	0.15	0.13	0.10	0.07	0.03	0.00	12
14	0.23	0.23	0.22	0.20	0.18	0.15	0.12	0.08	0.04	0.00	14
16	0.27	0.26	0.25	0.23	0.20	0.17	0.13	0.09	0.05	0.00	16
18	0.30	0.30	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.10	0.05	0.00	18
20	0.33	0.33	0.31	0.29	0.26	0.21	0.17	0.11	0.06	0.00	20
22	0.37	0.36	0.34	0.32	0.28	0.24	0.18	0.12	0.06	0.00	22
24	0.40	0.39	0.38	0.35	0.31	0.26	0.20	0.14	0.07	0.00	24
26	0.43	0.43	0.41	0.37	0.33	0.28	0.22	0.15	0.08	0.00	26
28	0.47	0.46	0.44	0.40	0.36	0.30	0.23	0.16	0.08	0.00	28
30	0.50	0.49	0.47	0.43	0.38	0.32	0.25	0.17	0.09	0.00	30
32	0.53	0.52	0.50	0.46	0.41	0.34	0.27	0.18	0.09	0.00	32
34	0.57	0.56	0.53	0.49	0.43	0.36	0.28	0.19	0.10	0.00	34
36	0.60	0.59	0.58	0.52	0.46	0.39	0.30	0.20	0.10	0.00	36
38	0.63	0.62	0.59	0.55	0.48	0.41	0.32	0.22	0.11	0.00	38
40	0.67	0.66	0.62	0.58	0.51	0.43	0.33	0.23	0.12	0.00	40
42	0.70	0.69	0.66	0.61	0.54	0.45	0.35	0.24	0.12	0.00	42
44	0.73	0.72	0.69	0.63	0.56	0.47	0.37	0.25	0.13	0.00	44
46	0.77	0.75	0.72	0.66	0.59	0.49	0.38	0.26	0.13	0.00	46
48	0.80	0.79	0.75	0.69	0.61	0.51	0.40	0.27	0.14	0.00	48
50	0.83	0.82	0.78	0.72	0.64	0.54	0.42	0.28	0.14	0.00	50
航速	180° 180°	190° 170°	200° 160°	210° 150°	220° 140°	230° 130°	240° 120°	250° 110°	260° 100°	270° 00°	航速

表中(+)号表示将前一观测化到后一观测时应用的符号。如将后一观测化到前一观测时则符号与表中相反。

⑦太阳上边(☉)视出没方位表
表II-12 太阳上边(☉)视出没方位表

纬度	太阳赤纬与纬度异名												纬度	
	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°		24°
0	102.0	103.0	104.0	105.0	106.0	107.0	108.0	109.0	110.0	111.0	112.0	113.0	114.0	0
5	102.0	103.0	104.0	105.0	106.0	107.0	108.0	109.0	110.0	111.0	112.0	113.0	114.0	5
10	102.0	103.1	104.1	105.1	106.1	107.1	108.1	109.1	110.2	111.2	112.2	113.2	114.2	10
15	102.2	103.2	104.3	105.3	106.3	107.4	108.4	109.4	110.5	111.5	112.6	113.6	114.7	15
20	102.4	103.5	104.6	105.6	106.7	107.8	108.9	109.9	111.0	112.1	113.1	114.2	115.3	20
21	102.5	103.6	104.7	105.7	106.8	107.9	109.0	110.0	111.1	112.2	113.3	114.4	115.4	21
22	102.6	103.7	104.8	105.8	106.9	108.0	109.1	110.2	111.3	112.3	113.4	114.5	115.6	22
23	102.7	103.8	104.9	105.9	107.0	108.1	109.2	110.3	111.4	112.5	113.6	114.7	115.8	23
24	102.8	103.9	105.0	106.0	107.1	108.3	109.4	110.5	111.6	112.7	113.8	114.9	116.0	24
25	102.8	103.9	105.0	106.2	107.3	108.4	109.5	110.6	111.7	112.8	114.0	115.1	116.2	25
26	102.9	104.0	105.2	106.3	107.4	108.5	109.6	110.8	111.9	113.0	114.1	115.3	116.4	26
27	103.0	104.2	105.3	106.4	107.5	108.7	109.8	110.9	112.1	113.2	114.4	115.5	116.6	27
28	103.1	104.3	105.4	106.5	107.7	108.8	110.0	111.1	112.3	113.4	114.6	115.7	116.9	28
29	103.2	104.4	105.5	106.7	107.8	109.0	110.2	111.3	112.5	113.6	114.8	116.0	117.2	29
30	103.4	104.5	105.7	106.8	108.0	109.2	110.3	111.5	112.7	113.9	115.1	116.3	117.4	30
31	103.5	104.7	105.8	107.0	108.2	109.4	110.5	111.7	112.9	114.1	115.3	116.5	117.7	31
32	103.6	104.8	106.0	107.2	108.4	109.6	110.8	112.0	113.2	114.4	115.6	116.8	118.0	32
33	103.7	105.0	106.2	107.4	108.6	109.8	111.0	112.2	113.4	114.7	115.9	117.1	118.3	33
34	103.9	105.1	106.3	107.6	108.8	110.0	111.2	112.5	113.7	114.9	116.2	117.4	118.7	34
35	104.1	105.3	106.5	107.7	109.0	110.2	111.5	112.7	114.0	115.2	116.5	117.8	119.1	35
36	104.2	105.5	106.7	108.0	109.2	110.5	111.7	113.0	114.3	115.6	116.8	118.1	119.4	36
37	104.4	105.7	106.9	108.2	109.5	110.7	112.0	113.3	114.6	115.9	117.2	118.5	119.8	37
38	104.6	105.9	107.1	108.4	109.7	111.0	112.3	113.6	114.9	116.3	117.6	118.9	120.3	38
39	104.8	106.1	107.4	108.7	110.0	111.3	112.6	114.0	115.3	116.6	118.0	119.3	120.7	39
40	105.0	106.3	107.6	108.9	110.3	111.6	112.9	114.3	115.7	117.0	118.4	119.8	121.2	40
41	105.2	106.5	107.9	109.2	110.6	111.9	113.3	114.7	116.1	117.5	118.9	120.3	121.7	41
42	105.4	106.8	108.1	109.5	110.9	112.3	113.7	115.1	116.5	117.9	119.3	120.8	122.2	42
43	105.6	107.0	108.4	109.8	111.2	112.6	114.1	115.5	116.9	118.4	119.8	121.3	122.8	43
44	105.9	107.3	108.7	110.1	111.6	113.0	114.5	115.9	117.4	118.9	120.4	121.9	123.4	44
45	106.1	107.6	109.0	110.5	112.0	113.4	114.9	116.4	117.9	119.4	120.9	122.5	124.0	45
46	106.4	107.9	109.4	110.9	112.4	113.9	115.4	116.9	118.4	120.0	121.5	123.1	124.7	46
47	106.7	108.2	109.7	111.2	112.8	114.3	115.8	117.4	119.0	120.6	122.2	123.8	125.4	47
48	107.1	108.6	110.1	111.7	113.2	114.8	116.4	118.0	119.6	121.2	122.8	124.5	126.2	48
49	107.4	108.9	110.5	112.1	113.7	115.3	116.9	118.5	120.2	121.9	123.5	125.3	127.0	49
50	107.7	109.3	110.9	112.6	114.2	115.8	117.5	119.2	120.9	122.6	124.3	126.1	127.9	50
51	108.1	109.7	111.4	113.1	114.7	116.4	118.1	119.8	121.6	123.4	125.1	127.0	128.8	51
52	108.5	110.2	111.9	113.6	115.2	117.0	118.8	120.6	122.4	124.2	126.0	127.9	129.8	52
53	108.9	110.6	112.4	114.1	115.9	117.7	119.5	121.3	123.2	125.1	127.0	128.9	130.9	53
54	109.4	111.2	112.9	114.7	116.5	118.4	120.2	122.1	124.1	126.0	128.0	130.0	132.1	54
55	109.9	111.7	113.5	115.4	117.2	119.1	121.1	123.0	125.0	127.0	129.1	131.2	133.3	55
56	110.4	112.3	114.1	116.1	118.0	119.9	121.9	123.9	126.0	128.1	130.3	132.5	134.7	56
57	110.9	112.9	114.8	116.8	118.8	120.8	122.9	125.0	127.1	129.3	131.5	133.9	136.2	57
58	111.5	113.5	115.5	117.6	119.6	121.8	123.9	126.1	128.3	130.6	133.0	135.4	137.9	58
59	112.2	114.2	116.3	118.4	120.6	122.8	125.0	127.3	129.6	132.0	134.5	137.1	139.7	59
60	112.8	115.0	117.1	119.3	121.6	123.8	126.2	128.6	131.0	133.6	136.2	138.9	141.8	60
61	113.6	115.8	118.0	120.3	122.7	125.0	127.5	130.0	132.6	135.3	138.1	141.0	144.1	61
62	114.4	116.7	119.0	121.4	123.9	126.3	128.9	131.6	134.3	137.2	140.2	143.4	146.8	62
63	115.3	117.7	120.1	122.6	125.2	127.8	130.5	133.3	136.2	139.3	142.5	146.1	149.8	63
64	116.2	118.7	121.3	123.9	126.6	129.4	132.2	135.2	138.4	141.7	145.3	149.2	153.5	64
65	117.2	119.9	122.5	125.3	128.2	131.1	134.2	137.4	140.8	144.5	148.4	152.9	158.2	65
66	118.4	121.1	124.0	126.9	129.9	133.1	136.4	139.9	143.6	147.7	152.3	157.7		66
67	119.6	122.5	125.5	128.6	131.9	135.3	138.9	142.7	146.9	151.6	157.1			67
68	121.0	124.1	127.3	130.6	134.1	137.8	141.8	146.1	150.9	156.5				68
69	122.6	125.9	129.3	132.9	136.7	140.7	145.2	150.1	155.9					69
70	124.3	127.9	131.6	135.5	139.6	144.2	149.3	155.2						70
71	126.3	130.2	134.2	138.5	143.2	148.4	154.5							71
72	128.6	132.8	137.2	142.0	147.5	153.0								72
73	131.2	135.8	140.9	146.4										73
74	134.4	139.5	145.3	152.0										74
75	138.1	144.1	151.1											75

在南半球: S E出, SW落。

8. (B105天体高度方位表)(摘)
赤緯與緯度異向

緯度
22°

時角	8° 00'		8° 30'		9° 00'		9° 30'		10° 00'		10° 30'		11° 00'		11° 30'		時角
	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	
00	60.00	1.002 180.0	59.30.0	1.003 180.0	58.60.0	1.004 180.0	57.90.0	1.005 180.0	57.20.0	1.006 180.0	56.50.0	1.007 180.0	55.80.0	1.008 180.0	55.10.0	1.009 180.0	00
1	59.59.9	1.006 178.0	59.29.1	1.008 178.1	58.58.3	1.009 178.2	57.87.5	1.010 178.3	57.17.1	1.011 178.4	56.46.3	1.012 178.5	55.75.5	1.013 178.6	55.04.7	1.014 178.7	01
2	59.18.7	1.009 176.0	58.48.2	1.011 176.1	57.77.7	1.012 176.2	57.06.7	1.013 176.3	56.35.7	1.014 176.4	55.64.7	1.015 176.5	54.93.7	1.016 176.6	54.22.7	1.017 176.7	02
3	58.77.5	1.011 174.1	58.17.5	1.013 174.2	57.47.1	1.014 174.3	56.76.1	1.015 174.4	56.05.1	1.016 174.5	55.34.1	1.017 174.6	54.63.1	1.018 174.7	53.92.1	1.019 174.8	03
4	58.36.3	09 14 172.1	57.66.3	09 14 172.2	56.95.9	09 14 172.3	56.25.5	09 14 172.4	55.55.1	09 14 172.5	54.84.7	09 14 172.6	54.14.3	09 14 172.7	53.43.9	09 14 172.8	04
05	57.96.1	09 17 170.2	57.26.1	09 17 170.3	56.55.7	09 17 170.4	55.85.3	09 17 170.5	55.14.9	09 17 170.6	54.44.5	09 17 170.7	53.74.1	09 17 170.8	53.03.7	09 17 170.9	05
6	57.55.0	09 20 168.3	56.85.0	09 20 168.4	56.14.6	09 20 168.5	55.44.2	09 20 168.6	54.73.8	09 20 168.7	54.03.4	09 20 168.8	53.33.0	09 20 168.9	52.62.6	09 20 169.0	06
7	57.13.9	09 23 166.4	56.43.5	09 23 166.5	55.73.1	09 23 166.6	55.02.7	09 23 166.7	54.32.3	09 23 166.8	53.61.9	09 23 166.9	52.91.5	09 23 167.0	52.21.1	09 23 167.1	07
8	56.72.8	09 26 164.5	56.03.4	09 26 164.6	55.32.0	09 26 164.7	54.61.6	09 26 164.8	53.90.8	09 26 164.9	53.20.4	09 26 165.0	52.50.0	09 26 165.1	51.79.6	09 26 165.2	08
9	56.31.7	09 29 162.6	55.62.3	09 29 162.7	54.91.5	09 29 162.8	54.20.7	09 29 162.9	53.49.9	09 29 163.0	52.79.5	09 29 163.1	52.09.1	09 29 163.2	51.38.7	09 29 163.3	09
10	55.90.6	09 32 160.8	55.21.2	09 32 160.9	54.50.4	09 32 161.0	53.79.6	09 32 161.1	53.08.8	09 32 161.2	52.38.4	09 32 161.3	51.68.0	09 32 161.4	50.97.6	09 32 161.5	10
1	55.49.5	09 35 159.0	54.80.1	09 35 159.1	54.09.3	09 35 159.2	53.38.5	09 35 159.3	52.67.7	09 35 159.4	51.97.3	09 35 159.5	51.26.9	09 35 159.6	50.56.5	09 35 159.7	01
2	55.08.4	09 38 157.3	54.39.0	09 38 157.4	53.68.2	09 38 157.5	52.97.4	09 38 157.6	52.26.6	09 38 157.7	51.56.2	09 38 157.8	50.85.8	09 38 157.9	50.15.4	09 38 158.0	02
3	54.67.3	09 41 155.6	53.97.9	09 41 155.7	53.27.0	09 41 155.8	52.56.2	09 41 155.9	51.85.4	09 41 156.0	51.15.0	09 41 156.1	50.44.6	09 41 156.2	49.74.2	09 41 156.3	03
4	54.26.2	09 44 153.9	53.57.4	09 44 154.0	52.86.1	09 44 154.1	52.24.3	09 44 154.2	51.73.8	09 44 154.3	51.03.4	09 44 154.4	50.33.0	09 44 154.5	49.62.6	09 44 154.6	04
15	53.35.3	09 44 152.3	53.06.3	09 44 152.4	52.35.1	09 44 152.5	51.84.3	09 44 152.6	51.33.5	09 44 152.7	50.82.7	09 44 152.8	50.31.9	09 44 152.9	49.81.1	09 44 153.0	05
6	52.94.2	09 47 150.7	52.65.2	09 47 150.8	52.04.0	09 47 150.9	51.53.2	09 47 151.0	51.02.4	09 47 151.1	50.51.6	09 47 151.2	50.00.8	09 47 151.3	49.50.0	09 47 151.4	06
7	52.53.1	09 50 149.1	52.24.1	09 50 149.2	51.73.0	09 50 149.3	51.02.2	09 50 149.4	50.51.4	09 50 149.5	50.00.6	09 50 149.6	49.49.8	09 50 149.7	48.99.0	09 50 149.8	07
8	52.12.0	09 53 147.6	51.83.0	09 53 147.7	51.32.0	09 53 147.8	50.51.2	09 53 147.9	50.00.4	09 53 148.0	49.49.6	09 53 148.1	48.98.8	09 53 148.2	48.48.0	09 53 148.3	08
9	51.71.0	09 56 146.1	51.42.0	09 56 146.2	50.91.0	09 56 146.3	50.10.2	09 56 146.4	49.59.4	09 56 146.5	49.08.6	09 56 146.6	48.57.8	09 56 146.7	48.07.0	09 56 146.8	09
20	51.30.0	09 59 144.7	51.01.0	09 59 144.8	50.50.0	09 59 144.9	49.69.2	09 59 145.0	49.18.4	09 59 145.1	48.67.6	09 59 145.2	48.16.8	09 59 145.3	47.66.0	09 59 145.4	10
1	50.89.0	09 59 144.7	50.60.0	09 59 144.8	50.29.0	09 59 144.9	49.48.2	09 59 145.0	48.97.4	09 59 145.1	48.46.6	09 59 145.2	47.95.8	09 59 145.3	47.45.0	09 59 145.4	01
2	50.48.0	09 58 143.3	50.19.0	09 58 143.4	49.88.0	09 58 143.5	49.07.2	09 58 143.6	48.56.4	09 58 143.7	48.05.6	09 58 143.8	47.54.8	09 58 143.9	47.04.0	09 58 144.0	02
3	50.07.0	09 57 141.9	49.78.0	09 57 142.0	49.47.0	09 57 142.1	48.66.2	09 57 142.2	48.15.4	09 57 142.3	47.64.6	09 57 142.4	47.13.8	09 57 142.5	46.63.0	09 57 142.6	03
4	49.66.0	09 56 140.6	49.37.0	09 56 140.7	49.06.0	09 56 140.8	48.25.2	09 56 140.9	47.74.4	09 56 141.0	47.23.6	09 56 141.1	46.72.8	09 56 141.2	46.22.0	09 56 141.3	04
25	49.25.0	09 55 139.3	48.96.0	09 55 139.4	48.75.0	09 55 139.5	47.94.2	09 55 139.6	47.43.4	09 55 139.7	46.92.6	09 55 139.8	46.41.8	09 55 139.9	45.91.0	09 55 140.0	05
6	48.84.0	09 54 138.0	48.55.0	09 54 138.1	48.34.0	09 54 138.2	47.53.2	09 54 138.3	47.02.4	09 54 138.4	46.51.6	09 54 138.5	46.00.8	09 54 138.6	45.50.0	09 54 138.7	06
7	48.43.0	09 53 136.8	48.14.0	09 53 136.9	47.93.0	09 53 137.0	47.12.2	09 53 137.1	46.61.4	09 53 137.2	46.10.6	09 53 137.3	45.59.8	09 53 137.4	45.09.0	09 53 137.5	07
8	48.02.0	09 52 135.5	47.73.0	09 52 135.6	47.52.0	09 52 135.7	46.71.2	09 52 135.8	46.20.4	09 52 135.9	45.69.6	09 52 136.0	45.18.8	09 52 136.1	44.68.0	09 52 136.2	08
9	47.61.0	09 51 134.3	47.32.0	09 51 134.4	47.31.0	09 51 134.5	46.50.2	09 51 134.6	45.99.4	09 51 134.7	45.48.6	09 51 134.8	44.97.8	09 51 134.9	44.47.0	09 51 135.0	09
30	47.20.0	09 50 133.2	46.91.0	09 50 133.3	46.80.0	09 50 133.4	46.09.2	09 50 133.5	45.58.4	09 50 133.6	45.07.6	09 50 133.7	44.56.8	09 50 133.8	44.06.0	09 50 133.9	10
1	46.79.0	09 49 132.1	46.50.0	09 49 132.2	46.39.0	09 49 132.3	45.68.2	09 49 132.4	45.17.4	09 49 132.5	44.66.6	09 49 132.6	44.15.8	09 49 132.7	43.65.0	09 49 132.8	01
2	46.38.0	09 48 131.2	46.09.0	09 48 131.3	45.98.0	09 48 131.4	45.17.2	09 48 131.5	44.66.4	09 48 131.6	44.15.6	09 48 131.7	43.64.8	09 48 131.8	43.14.0	09 48 131.9	02
3	45.97.0	09 47 130.2	45.68.0	09 47 130.3	45.57.0	09 47 130.4	44.76.0	09 47 130.5	44.25.2	09 47 130.6	43.74.4	09 47 130.7	43.23.6	09 47 130.8	42.72.8	09 47 130.9	03
4	45.56.0	09 46 129.2	45.27.0	09 46 129.3	45.16.0	09 46 129.4	43.93.0	09 46 129.5	43.42.2	09 46 129.6	42.91.4	09 46 129.7	42.40.6	09 46 129.8	41.89.0	09 46 129.9	04
35	45.15.0	09 45 128.3	44.86.0	09 45 128.4	44.75.0	09 45 128.5	43.52.0	09 45 128.6	43.01.2	09 45 128.7	42.50.4	09 45 128.8	41.98.6	09 45 128.9	41.47.8	09 45 129.0	05
6	44.74.0	09 44 127.8	44.45.0	09 44 127.9	44.34.0	09 44 128.0	43.11.0	09 44 128.1	42.60.2	09 44 128.2	42.09.4	09 44 128.3	41.58.6	09 44 128.4	41.07.8	09 44 128.5	06
7	44.33.0	09 43 127.5	44.04.0	09 43 127.6	43.93.0	09 43 127.7	42.28.0	09 43 127.8	41.77.2	09 43 127.9	41.26.4	09 43 128.0	40.75.6	09 43 128.1	40.24.8	09 43 128.2	07
8	43.92.0	09 42 127.4	43.63.0	09 42 127.5	43.52.0	09 42 127.6	42.47.0	09 42 127.7	41.96.2	09 42 127.8	41.45.4	09 42 127.9	40.94.6	09 42 128.0	40.43.8	09 42 128.1	08
9	43.51.0	09 41 127.3	43.22.0	09 41 127.4	43.11.0	09 41 127.5	42.22.0	09 41 127.6	41.71.2	09 41 127.7	41.20.4	09 41 127.8	40.69.6	09 41 127.9	40.18.8	09 41 128.0	09
40	43.10.0	09 40 127.3	42.81.0	09 40 127.4	42.70.0	09 40 127.5	41.47.0	09 40 127.6	40.96.2	09 40 127.7	40.45.4	09 40 127.8	39.94.6	09 40 127.9	39.43.8	09 40 128.0	10
1	42.69.0	09 39 127.3	42.40.0	09 39 127.4	42.29.0	09 39 127.5	41.06.0	09 39 127.6	40.55.2	09 39 127.7	40.04.4	09 39 127.8	39.53.6	09 39 127.9	39.02.8	09 39 128.0	01
2	42.28.0	09 38 127.3	42.01.0	09 38 127.4	41.90.0	09 38 127.5	40.67.0	09 38 127.6	40.16.2	09 38 127.7	39.65.4	09 38 127.8	39.14.6	09 38 127.9	38.63.8	09 38 128.0	02
3	41.87.0	09 37 127.3	41.60.0	09 37 127.4	41.49.0	09 37 127.5	40.24.0	09 37 127.6	39.73.2	09 37 127.7	39.22.4	09 37 127.8	38.71.6	09 37 127.9	38.20.8	09 37 128.0	03
4	41.46.0	09 36 127.3	41.21.0	09 36 127.4	41.38.0	09 36 127.5	40.01.0	09 36 127.6	39.50.2	09 36 127.7	38.99.4	09 36 127.8	38.48.6	09 36 127.9	37.97.8	09 36 128.0	04
45	41.05.0	09 35 127.3	40.82.0	09 35 127.4	41.07.0	09 35 127.5	38.74.0	09 35 127.6	38.43.2	09 35 127.7	37.92.4	09 35 127.8	37.41.6	09 35 127.9	36.90.8	09 35 128.0	05
50	40.64.0	09 34 127.3	40.41.0	09 34 127.4	40.66.0	09 34 127.5	38.57.0	09 34 127.6	38.26.2	09 34 127.7	37.75.4	09 34 127.8	37.24.6	09 34 127.9	36.73.8	09 34 128.0	06
1	40.23.0	09 33 127.3	40.00.0	09 33 127.4	40.25.0	09 33 127.5	38.70.0	09 33 127.6	38.39.2	09 33 127.7	37.88.4	09 33 127.8	37.37.6	09 33 127.9	36.86.8	09 33 128.0	07
2	39.82.0	09 32 127.3	39.59.0	09 32 127.4	39.84.0	09 32 127.5	38.83.0	09 32 127.6	38.52.2	09 32 127.7	38.01.4	09 32 127.8	37.50.6	09 32 127.9	36.99.8	09 32 128.0	08
3	39.41.0	09 31 127.3	39.18.0	09 31 127.4	39.43.0	09 31 127.5	38.92.0	09 31 127.6	38.61.2	09 31 127.7	38.10.4	09 31 127.8	37.59.6	0			

赤緯與緯度異向

Main table with columns for time (時角), longitude (經度), and latitude (緯度) for various astronomical objects. The table is organized in a grid with 10 columns for longitude (8° 00' to 11° 30') and 10 rows for latitude (00' to 80').

緯度

00'

1'

2'

3'

4'

5'

6'

7'

8'

9'

10'

11'

12'

13'

14'

15'

16'

17'

18'

19'

20'

21'

22'

23'

24'

25'

26'

27'

28'

29'

30'

31'

32'

33'

34'

35'

36'

37'

38'

39'

40'

41'

42'

43'

44'

45'

46'

47'

48'

49'

50'

51'

52'

53'

54'

55'

56'

57'

58'

59'

60'

61'

62'

63'

64'

65'

66'

67'

68'

69'

70'

71'

72'

73'

74'

75'

76'

77'

78'

79'

80'

赤緯與緯度異向

緯度 20°

Main table with columns for time (時角) and latitude (緯度) from 16° 00' to 19° 30'. Each cell contains two values representing astronomical data.

赤緯與緯度同向

Table with columns for time (時角) and latitude (緯度) from 16° 00' to 19° 30'. Each cell contains two values representing astronomical data.

赤緯与緯度同向

Table with columns for time (時角), latitude (緯度), and longitude (赤緯). It contains a grid of numerical data for various celestial coordinates, organized in 5-degree intervals from 30° to 90°.

赤緯与緯度異向

時角	12° 00'		12° 30'		13° 00'		13° 30'		14° 00'		14° 30'		15° 00'		15° 30'		時角	緯度 31°
	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角		
00	47 00.0	01 00	46 20.0	01 00	46 00.0	01 00	45 30.0	01 00	45 00.0	01 00	44 36.0	01 00	44 00.0	01 00	43 30.0	01 00	00	
1	46 59.4	01 03	46 20.4	01 03	45 59.4	01 03	45 29.4	01 03	44 59.4	01 03	44 29.4	01 03	43 59.4	01 03	43 29.4	01 03	1	
2	46 57.4	01 05	46 21.5	01 05	45 57.5	01 05	45 27.5	01 05	44 57.5	01 05	44 27.5	01 05	43 57.5	01 05	43 27.5	01 05	2	
3	46 54.2	01 06	46 24.3	01 07	45 54.3	01 07	45 24.3	01 07	44 54.3	01 07	44 24.3	01 07	43 54.3	01 07	43 24.3	01 07	3	
4	46 49.7	01 10	46 19.8	01 10	45 49.9	01 09	45 20.0	01 09	44 50.2	01 09	44 20.5	01 09	43 50.4	01 09	43 20.5	01 09	4	
05	46 44.0	01 12	46 14.1	01 12	45 44.3	01 11	45 14.5	01 11	44 44.6	01 11	44 14.8	01 11	43 45.0	01 11	43 15.1	01 11	05	
6	46 36.9	01 14	46 07.2	01 14	45 37.4	01 14	45 07.7	01 14	44 37.9	01 14	44 08.2	01 14	43 38.4	01 14	43 08.6	01 14	6	
7	46 28.7	01 16	45 59.0	01 16	45 29.3	01 16	44 59.7	01 16	44 30.0	01 16	44 00.3	01 16	43 30.6	01 16	43 00.9	01 16	7	
8	46 19.1	01 18	45 49.6	01 18	45 20.0	01 18	44 50.4	01 18	44 20.9	01 18	43 51.3	01 18	43 21.7	01 18	42 52.1	01 18	8	
9	46 08.4	01 20	45 38.9	01 20	45 09.5	01 20	44 40.0	01 20	44 10.6	01 20	43 41.1	01 20	43 11.6	01 20	42 42.1	01 20	9	
10	45 56.4	01 22	45 27.1	01 22	44 57.8	01 22	44 28.5	01 22	43 59.1	01 22	43 29.8	01 22	43 00.4	01 22	42 31.0	01 22	10	
1	45 43.3	01 24	45 14.1	01 24	44 44.9	01 23	44 15.7	01 23	43 46.5	01 23	43 17.3	01 23	42 48.0	01 23	42 18.8	01 23	1	
2	45 28.9	01 26	44 59.9	01 26	44 30.9	01 26	44 01.8	01 26	43 32.7	01 26	43 03.7	01 26	42 34.6	01 26	42 05.4	01 26	2	
3	45 13.4	01 28	44 44.6	01 28	44 15.7	01 28	43 46.8	01 28	43 17.9	01 28	42 48.9	01 28	42 20.9	01 28	41 51.9	01 28	3	
4	44 56.8	01 30	44 28.1	01 30	43 59.4	01 29	43 30.7	01 29	43 01.9	01 29	42 33.1	01 29	42 04.3	01 29	41 35.5	01 29	4	
15	44 39.1	01 31	44 10.5	01 31	43 42.0	01 31	43 13.4	01 31	42 44.8	01 31	42 16.2	01 31	41 47.6	01 31	41 19.0	01 31	15	
6	44 20.3	01 33	43 51.9	01 33	43 23.5	01 33	42 55.1	01 33	42 26.7	01 33	41 58.3	01 33	41 29.8	01 33	41 01.4	01 33	6	
7	44 00.3	01 35	43 32.2	01 35	43 04.0	01 35	42 35.8	01 35	42 07.6	01 35	41 39.3	01 35	41 11.0	01 35	40 42.7	01 35	7	
8	43 39.3	01 37	43 11.4	01 37	42 43.4	01 37	42 15.4	01 37	41 47.4	01 37	41 19.3	01 37	40 51.2	01 37	40 23.1	01 37	8	
9	43 17.3	01 38	42 49.6	01 38	42 21.8	01 38	41 54.0	01 38	41 26.2	01 38	40 58.4	01 38	40 30.5	01 38	40 02.5	01 38	9	
20	42 54.3	01 40	42 26.8	01 40	41 59.3	01 40	41 31.7	01 40	41 04.1	01 40	40 36.4	01 40	40 08.7	01 40	39 41.0	01 40	20	
1	42 30.3	01 42	42 03.1	01 42	41 35.7	01 42	41 08.4	01 42	40 40.9	01 42	40 13.5	01 42	39 46.0	01 42	39 18.5	01 42	1	
2	42 05.4	01 43	41 38.4	01 43	41 11.2	01 43	40 44.1	01 43	40 16.9	01 43	39 49.7	01 43	39 22.4	01 43	38 55.1	01 43	2	
3	41 39.6	01 44	41 12.7	01 44	40 45.8	01 44	40 18.9	01 44	39 51.9	01 44	39 24.9	01 44	38 57.9	01 44	38 30.8	01 44	3	
4	41 12.8	01 46	40 46.2	01 46	40 19.5	01 46	39 52.8	01 46	39 26.1	01 46	38 59.3	01 46	38 32.5	01 46	38 05.6	01 46	4	
25	40 45.2	01 48	40 18.8	01 48	39 52.4	01 48	39 25.9	01 48	38 59.4	01 48	38 32.8	01 48	38 06.2	01 48	37 39.6	01 48	25	
6	40 16.7	01 49	39 50.6	01 49	39 24.4	01 49	38 58.1	01 49	38 31.8	01 49	38 05.5	01 49	37 39.1	01 49	37 12.7	01 49	6	
7	39 47.4	01 50	39 21.5	01 50	38 55.7	01 50	38 29.5	01 50	38 03.5	01 50	37 37.4	01 50	37 11.2	01 50	36 45.7	01 50	7	
8	39 17.3	01 52	38 51.6	01 52	38 25.9	01 52	38 00.1	01 52	37 34.3	01 52	37 08.4	01 52	36 42.5	01 52	36 16.5	01 52	8	
9	38 46.4	01 53	38 20.9	01 53	37 55.5	01 53	37 29.9	01 53	37 04.4	01 53	36 38.7	01 53	36 13.0	01 53	35 47.3	01 53	9	
30	38 14.7	01 54	37 49.5	01 54	37 24.3	01 54	36 59.0	01 54	36 33.7	01 54	36 08.3	01 54	35 42.8	01 54	35 17.3	01 54	30	
1	37 42.3	01 55	37 17.4	01 55	36 52.4	01 55	36 27.3	01 55	36 02.2	01 55	35 37.1	01 55	35 11.9	01 55	34 46.8	01 55	1	
2	37 09.2	01 56	36 44.5	01 56	36 19.8	01 56	35 55.0	01 56	35 30.1	01 56	35 05.2	01 56	34 40.2	01 56	34 15.2	01 56	2	
3	36 35.4	01 57	36 11.0	01 57	35 46.5	01 57	35 21.9	01 57	34 57.3	01 57	34 32.6	01 57	34 07.8	01 57	33 43.0	01 57	3	
4	36 01.0	01 58	35 36.8	01 58	35 12.5	01 58	34 48.2	01 58	34 23.8	01 58	33 59.3	01 58	33 34.8	01 58	33 10.3	01 58	4	
35	35 25.9	01 59	35 01.9	01 59	34 37.9	01 59	34 13.8	01 59	33 49.7	01 59	33 25.4	01 59	33 01.1	01 59	32 36.8	01 59	35	
6	34 50.1	02 00	34 26.4	02 00	34 02.6	02 00	33 38.8	02 00	33 14.9	02 00	32 50.9	02 00	32 26.9	02 00	32 02.8	02 00	6	
7	34 13.8	02 01	33 50.3	02 01	33 26.8	02 01	33 03.2	02 01	32 39.5	02 01	32 15.8	02 01	31 52.0	02 01	31 28.1	02 01	7	
8	33 36.9	02 02	33 13.7	02 02	32 50.4	02 02	32 27.0	02 02	32 03.5	02 02	31 40.0	02 02	31 16.5	02 02	30 52.7	02 02	8	
9	32 59.4	02 03	32 36.4	02 03	32 13.4	02 03	31 50.2	02 03	31 27.0	02 03	31 03.7	02 03	30 40.4	02 03	30 17.0	02 03	9	
40	32 21.4	02 04	31 58.7	02 04	31 35.8	02 04	31 12.9	02 04	30 49.9	02 04	30 26.9	02 04	30 03.8	02 04	29 40.6	02 04	40	
1	31 42.9	02 05	31 20.4	02 05	30 57.7	02 05	30 35.1	02 05	30 12.3	02 05	29 49.5	02 05	29 26.6	02 05	29 03.7	02 05	1	
2	31 03.8	02 06	30 41.2	02 06	30 19.1	02 06	29 56.7	02 06	29 34.2	02 06	29 11.6	02 06	28 49.0	02 06	28 26.2	02 06	2	
3	30 24.3	02 07	30 02.2	02 07	29 40.1	02 07	29 17.8	02 07	28 55.5	02 07	28 33.2	02 07	28 10.7	02 07	27 48.3	02 07	3	
4	29 44.3	02 07	29 22.4	02 07	29 00.5	02 07	28 38.5	02 07	28 16.4	02 07	27 54.3	02 07	27 32.1	02 07	27 09.8	02 07	4	
45	29 03.8	02 08	28 42.2	02 08	28 20.5	02 08	27 58.7	02 08	27 36.8	02 08	27 14.9	02 08	26 52.9	02 08	26 30.9	02 08	45	
6	28 22.9	02 09	28 01.5	02 09	27 40.0	02 09	27 18.4	02 09	26 56.8	02 09	26 35.1	02 09	26 13.3	02 09	25 51.5	02 09	6	
7	27 41.6	02 10	27 20.3	02 10	26 59.1	02 10	26 37.7	02 10	26 16.3	02 10	25 54.8	02 10	25 33.3	02 10	25 11.7	02 10	7	
8	26 59.8	02 11	26 38.8	02 11	26 17.7	02 11	25 56.6	02 11	25 35.4	02 11	25 14.1	02 11	24 52.8	02 11	24 31.4	02 11	8	
9	26 17.7	02 12	25 56.9	02 12	25 36.0	02 12	25 15.0	02 12	24 54.0	02 12	24 33.0	02 12	24 11.9	02 12	23 50.7	02 12	9	
50	25 35.1	02 13	25 14.5	02 13	24 53.9	02 13	24 33.1	02 13	24 12.3	02 13	23 51.5	02 13	23 30.6	02 13	23 09.6	02 13	50	
1	24 52.2	02 14	24 31.8	02 14	24 11.3	02 14	23 50.8	02 14	23 30.0	02 14	23 09.6	02 14	22 48.9	02 14	22 28.1	02 14	1	
2	24 08.9	02 15	23 48.7	02 15	23 28.5	02 15	23 08.1	02 15	22 47.8	02 15	22 27.3	02 15	22 06.8	02 15	21 46.2	02 15	2	
3	23 25.3																	

赤緯与緯度異向

Main table with columns for time angle (時角) and latitude (緯度) from 16° 00' to 19° 30'. Each cell contains two values representing different astronomical parameters.

赤緯与緯度同向

Table with columns for time angle (時角) and latitude (緯度) from 16° 00' to 19° 30'. Each cell contains two values representing different astronomical parameters.

赤緯与緯度異向

緯度 32°

Main table with columns for time (時角), latitude (緯度), and declination (赤緯) for various angles. The table is organized into a grid with 10 columns for declination and 10 rows for time.

赤緯与緯度同向

Second table with columns for time (時角), latitude (緯度), and declination (赤緯) for various angles. The table is organized into a grid with 10 columns for declination and 10 rows for time.

赤緯与緯度同向

緯度 35°

Main data table with columns for time (時角), altitude (高度), and azimuth (方位角) for various declinations (12° 00' to 15° 30').

赤緯与緯度同向

緯度 35°

Table with columns for time (時角), altitude (高度), and azimuth (方位角) for various declinations (16° 00' to 19° 30'). Each cell contains numerical values for these parameters.

赤緯与緯度異向

時角	12° 00'		12° 30'		13° 00'		13° 30'		14° 00'		14° 30'		15° 00'		15° 30'		時角	緯度 36°
	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角		
00	42.00.0	180.0	41.30.0	180.0	41.00.0	180.0	40.30.0	180.0	40.00.0	180.0	39.30.0	180.0	39.00.0	180.0	38.30.0	180.0	00	
1	41.59.4	178.7	41.29.4	178.7	40.59.5	178.7	40.29.5	178.7	39.59.5	178.7	39.29.5	178.7	38.59.5	178.8	38.29.5	178.8	1	
2	41.57.8	177.4	41.27.8	177.4	40.57.8	177.4	40.27.8	177.4	39.57.9	177.5	39.27.9	177.5	38.57.9	177.5	38.27.9	177.5	2	
3	41.55.0	176.1	41.25.0	176.1	40.55.1	176.1	40.25.1	176.2	39.55.2	176.2	39.25.2	176.2	38.55.3	176.3	38.25.3	176.3	3	
4	41.51.1	174.7	41.21.2	174.8	40.51.3	174.8	40.21.3	174.9	39.51.4	174.9	39.21.5	175.0	38.51.6	175.0	38.21.7	175.1	4	
05	41.46.1	173.4	41.16.2	173.5	40.46.4	173.6	40.16.5	173.6	39.46.6	173.7	39.16.7	173.7	38.46.9	173.8	38.17.0	173.9	05	
6	41.40.0	172.1	41.10.2	172.2	40.40.4	172.3	40.10.6	172.4	39.40.7	172.4	39.10.9	172.5	38.41.1	172.6	38.11.3	172.6	6	
7	41.32.8	170.8	41.03.1	170.9	40.33.3	171.0	40.03.6	171.1	39.33.8	171.2	39.04.1	171.3	38.34.3	171.3	38.04.5	171.4	7	
8	41.24.5	169.5	40.54.9	169.6	40.25.2	169.7	39.55.5	169.8	39.25.9	169.9	38.56.2	170.0	38.26.5	170.1	37.56.8	170.2	8	
9	41.15.2	168.3	40.45.6	168.4	40.16.0	168.5	39.46.4	168.6	39.16.9	168.7	38.47.3	168.8	38.17.7	168.9	37.48.0	169.0	9	
10	41.04.8	167.0	40.35.3	167.1	40.05.8	167.2	39.36.3	167.3	39.06.8	167.5	38.37.3	167.6	38.07.8	167.7	37.38.3	167.8	10	
11	40.53.3	165.7	40.23.9	165.8	39.54.6	166.0	39.25.2	166.1	38.55.8	166.2	38.26.4	166.4	37.57.0	166.5	37.27.5	166.6	11	
12	40.40.8	164.4	40.11.6	164.6	39.42.3	164.7	39.13.0	164.9	38.43.7	165.0	38.14.4	165.2	37.45.1	165.3	37.15.8	165.4	12	
13	40.27.3	163.2	39.58.2	163.3	39.29.0	163.5	38.59.8	163.7	38.30.7	163.8	38.01.5	164.0	37.32.3	164.1	37.03.1	164.2	13	
14	40.12.9	161.9	39.43.7	162.1	39.14.7	162.3	38.45.7	162.4	38.16.6	162.6	37.47.6	162.8	37.18.5	162.9	36.49.4	163.1	14	
15	39.57.2	160.7	39.28.3	160.9	38.59.5	161.1	38.30.6	161.2	38.01.7	161.4	37.32.7	161.6	37.03.8	161.7	36.34.8	161.9	15	
16	39.49.7	159.5	39.21.0	159.7	38.52.4	159.9	38.24.5	160.0	37.45.7	160.2	37.16.9	160.4	36.48.1	160.6	36.19.3	160.8	16	
17	39.39.2	158.3	38.54.6	158.5	38.26.0	158.7	37.57.4	158.9	37.28.8	159.1	37.00.2	159.2	36.31.5	159.4	36.02.8	159.6	17	
18	39.04.8	157.1	38.36.4	157.3	38.07.9	157.5	37.39.5	157.7	37.11.0	157.9	36.42.5	158.1	36.14.0	158.3	35.45.5	158.5	18	
19	38.45.4	155.9	38.17.2	156.1	37.48.9	156.3	37.20.6	156.5	36.52.3	156.7	36.23.9	156.9	35.55.6	157.1	35.27.2	157.3	19	
20	38.25.1	154.7	37.57.1	154.9	37.29.0	155.2	37.00.8	155.4	36.32.7	155.6	36.04.5	155.8	35.36.3	156.0	35.08.1	156.2	20	
21	38.04.0	153.6	37.36.1	153.8	37.08.1	154.0	36.40.2	154.2	36.12.2	154.5	35.44.2	154.7	35.16.1	154.9	34.48.1	155.1	21	
22	37.41.9	152.4	37.14.2	152.7	36.46.4	152.9	36.18.7	153.1	35.50.8	153.4	35.23.0	153.6	34.55.1	153.8	34.27.3	154.0	22	
23	37.19.0	151.3	36.51.6	151.5	36.23.9	151.8	35.36.3	152.0	35.28.7	152.3	35.01.9	152.5	34.33.2	152.7	34.05.6	152.9	23	
24	36.55.3	150.2	36.27.9	150.4	36.00.5	150.7	35.33.1	150.9	35.05.6	151.2	34.38.2	151.4	34.10.7	151.6	33.43.1	151.9	24	
25	36.30.7	149.0	36.03.5	149.3	35.36.3	149.6	35.09.1	149.8	34.41.8	150.1	34.14.5	150.3	33.47.2	150.6	33.19.9	150.8	25	
26	36.05.3	148.0	35.38.4	148.2	35.11.4	148.5	34.44.3	148.8	34.17.2	149.0	33.50.1	149.3	33.23.0	149.5	32.55.8	149.8	26	
27	35.39.2	146.9	35.12.4	147.1	34.45.6	147.4	34.18.8	147.7	33.51.9	148.0	33.24.9	148.2	32.58.0	148.5	32.31.0	148.7	27	
28	35.12.3	145.8	34.45.7	146.1	34.19.1	146.4	33.52.4	146.6	33.25.9	146.9	32.59.8	147.2	32.32.2	147.5	32.05.4	147.7	28	
29	34.44.6	144.8	34.18.3	145.0	33.51.8	145.3	33.25.4	145.6	32.58.9	145.9	32.32.3	146.2	32.05.8	146.4	31.39.2	146.7	29	
30	34.16.3	143.7	33.50.1	144.0	33.23.9	144.3	32.57.6	144.6	32.31.3	144.9	32.05.0	145.2	31.38.6	145.4	31.12.2	145.7	30	
31	33.47.2	142.7	33.21.2	143.0	32.55.2	143.3	32.29.1	143.6	32.03.8	143.9	31.36.9	144.2	31.10.7	144.4	30.44.5	144.7	31	
32	33.17.4	141.7	32.51.7	142.0	32.25.8	142.3	32.00.9	142.6	31.34.1	142.9	31.08.1	143.2	31.02.1	143.5	30.16.1	143.8	32	
33	32.47.0	140.7	32.21.4	141.0	31.55.8	141.3	31.30.2	141.6	31.04.4	141.9	30.38.7	142.2	30.12.9	142.5	29.47.1	142.8	33	
34	32.15.9	139.7	31.50.6	140.0	31.25.1	140.3	30.59.7	140.6	30.34.2	140.9	30.08.6	141.2	29.43.0	141.5	29.17.4	141.8	34	
35	31.44.2	138.7	31.19.0	139.0	30.53.8	139.4	30.28.6	139.7	30.03.3	140.0	29.37.9	140.3	29.12.5	140.6	28.47.1	140.9	35	
36	31.11.9	137.8	30.46.9	138.1	30.21.9	138.4	29.56.9	138.7	29.31.8	139.0	29.06.6	139.4	28.41.4	139.7	28.16.2	140.0	36	
37	30.39.9	136.8	30.14.2	137.2	29.49.4	137.5	29.24.5	137.8	28.59.6	138.1	28.34.7	138.4	28.09.7	138.7	27.44.7	139.1	37	
38	30.05.5	135.9	29.40.9	136.3	29.16.3	136.6	28.51.7	136.9	28.27.0	137.2	28.02.2	137.5	27.37.4	137.8	27.12.6	138.2	38	
39	29.31.5	135.0	29.07.0	135.5	28.42.6	135.8	28.18.2	136.0	27.53.7	136.3	27.29.1	136.6	27.04.6	136.9	26.39.9	137.3	39	
40	28.56.8	134.1	28.32.6	134.4	28.08.4	134.7	27.44.2	135.1	27.19.9	135.4	26.55.5	135.7	26.31.1	136.1	26.06.7	136.4	40	
41	28.21.7	133.2	27.57.7	133.5	27.33.7	133.8	27.09.6	134.2	26.45.5	134.5	26.21.4	134.9	25.57.2	135.2	25.33.0	135.5	41	
42	27.46.0	132.3	27.22.2	132.6	26.58.4	133.0	26.34.6	133.4	26.10.7	133.7	25.46.7	134.0	25.22.7	134.3	24.58.7	134.7	42	
43	27.09.8	131.4	26.46.3	131.8	26.22.7	132.1	25.59.0	132.5	25.35.3	132.8	25.11.6	133.1	24.47.8	133.5	24.23.9	133.8	43	
44	26.33.2	130.6	26.09.8	130.9	25.46.4	131.3	25.23.4	131.6	24.59.4	131.9	24.35.9	132.2	24.12.3	132.6	23.48.6	133.0	44	
45	25.56.1	129.7	25.32.9	129.9	25.09.7	130.4	24.46.4	130.8	24.23.1	131.1	23.59.8	131.5	23.36.3	131.8	23.12.9	132.1	45	
46	25.18.5	128.9	24.55.6	129.2	24.32.5	129.6	24.09.5	130.0	23.46.3	129.3	23.23.1	129.6	22.59.9	130.0	22.36.7	130.3	46	
47	24.40.9	128.1	24.17.8	128.4	23.54.9	128.8	23.32.0	129.1	23.09.1	129.5	22.46.7	129.8	22.23.1	130.2	22.00.9	130.5	47	
48	24.02.1	127.3	23.39.5	127.6	23.16.9	128.0	22.54.2	128.3	22.31.4	128.7	22.08.6	129.0	21.45.8	129.4	21.22.9	129.7	48	
49	23.23.3	126.5	23.00.9	126.8	22.38.4	127.2	22.15.9	127.5	21.53.3	127.9	21.30.7	128.2	21.08.0	128.6	20.45.3	128.9	49	
50	22.44.0	125.7	22.21.8	126.0	21.59.5	126.4	21.37.2	126.8	21.14.8	127.1	20.52.4	127.5	20.29.9	127.8	20.07.4	128.2	50	
51	22.04.4	124.9	21.42.4	125.2	21.20.2	125.6	20.58.1	126.0	20.35.9	126.3	20.13.6	126.7	19.51.3	127.0	19.29.0	127.4	51	
52	21.24.4	124.1	21.02.5	124.5	20.40.6	125.0	20.18.6	125.2	19.56.6	125.6	19.34.5	125.9	19.12.4	126.3	18.50.3	126.6	52	
53	20.44.0	123.4	20.22.3	123.7	20.00.6	124.1	19.38.8	124.5	19.16.9	124.8	18.55.0	125.2	18.33.1	125.5	18.11.1	125.9	53	
54	20.03.3	122.6	19.41.8	122.9	19.20.2	123.3	18.58.6	123.7	18.36.9	124.1	18.15.2	124.4	17.53.4	124.7	17.31.6	125.2	54	
55	19.22.3	121.9	19.00.9	122.2	18.39.5	122.6	18.18.0	123.0	17.56.5	123.3	17.35.0	123.7	17.13.4	124.1	16.51.8	124.4	55	
56	18.40.9	121.1	18.19.7	121.5	17.58.4	121.9	17.37.1	122.2	17.15.8	122.6	16.54.4	123.0	16.33.0	123.3	16.11.5	123.7	56	
57	17.59.2	120.4	17.38.1	120.8	17.17.0	121.1	16.55.9	121.5	16.34.7	121.9	16.13.5	122.3	15.52.3	122.6	15.31.0	123.0	57	
58	17.17.1	119.7	16.56.3	120.1	16.35.3	120.4	16.14.4	120.8	15.53.4	121.2	15.32.3	121.6	15.11.2	12				

赤緯与緯度同向

緯度
36°

Table with columns for time (時角), longitude (經度), and latitude (緯度). It contains a grid of numerical data points for various celestial coordinates, organized in 5-degree increments of longitude and 1-degree increments of latitude.

赤緯與緯度同向

緯度
36°

時角	20° 00'		20° 30'		21° 00'		21° 30'		22° 00'		22° 30'		23° 00'		23° 30'		時角
	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	
00	74 00.0	180.0	74 30.0	180.0	75 00.0	180.0	75 30.0	180.0	76 00.0	180.0	76 30.0	180.0	77 00.0	180.0	77 30.0	180.0	00
1	73 58.6	176.6	74 28.5	176.5	74 58.5	176.4	75 28.4	176.3	75 58.4	176.2	76 28.3	176.1	76 58.3	175.9	77 28.2	175.8	01
2	73 54.2	173.2	74 24.1	173.0	74 53.9	172.8	75 23.7	172.6	75 53.5	172.4	76 23.3	172.1	76 53.1	171.9	77 22.9	171.6	02
3	73 47.1	169.9	74 16.7	169.6	74 46.4	169.3	75 15.9	169.0	75 45.5	168.6	76 15.1	168.3	76 44.6	167.9	77 14.0	167.5	03
4	73 37.2	166.6	74 06.5	166.2	74 35.9	165.8	75 05.2	165.4	75 34.4	165.0	76 03.8	164.5	76 32.7	164.0	77 01.8	163.4	04
5	73 24.6	163.3	73 53.5	162.9	74 22.6	162.4	74 51.5	161.9	75 20.4	161.4	75 49.1	160.8	76 17.8	160.2	76 46.4	159.6	05
6	73 09.4	160.2	73 38.0	159.7	74 06.6	159.1	74 35.1	158.5	75 03.5	157.9	75 31.8	157.3	76 00.2	156.6	76 28.6	155.8	06
7	72 51.7	157.1	73 19.9	156.5	73 48.0	155.9	74 16.0	155.3	74 43.9	154.6	75 11.7	153.9	75 39.3	153.1	76 06.7	152.2	07
8	72 31.0	154.2	72 59.4	153.5	73 27.0	152.9	73 54.5	152.1	74 21.9	151.4	74 49.0	150.6	75 16.0	149.8	75 42.8	148.9	08
9	72 08.4	151.3	72 36.7	150.6	73 03.8	149.9	73 30.7	149.1	73 57.5	148.3	74 24.1	147.5	74 50.4	146.6	75 16.8	145.6	09
10	71 45.1	148.4	72 11.9	147.7	72 38.4	147.1	73 04.5	146.3	73 31.0	145.4	73 56.9	144.5	74 22.6	143.6	74 48.1	142.6	10
1	71 18.9	145.0	71 45.1	144.5	72 11.1	144.4	72 36.9	143.5	73 02.5	142.7	73 27.8	141.7	73 52.9	140.8	74 17.7	139.7	11
2	70 50.9	142.0	71 16.5	141.7	71 42.0	141.8	72 07.2	140.9	72 32.1	140.0	72 56.8	139.1	73 21.3	138.1	73 45.4	137.0	12
3	70 21.1	139.4	70 46.2	139.4	71 11.1	139.4	71 35.8	138.5	72 00.2	137.5	72 24.3	136.6	72 48.1	135.6	73 11.5	134.5	13
4	69 49.9	136.8	70 14.4	137.0	70 38.8	137.0	71 02.9	136.1	71 26.7	135.2	71 50.2	134.2	72 13.4	133.2	72 36.2	132.1	14
5	69 17.2	134.3	69 41.2	135.7	70 05.0	134.8	70 28.5	133.9	70 51.5	132.9	71 14.7	132.0	71 37.3	131.0	71 59.5	129.8	15
6	68 43.1	131.8	68 13.4	133.6	69 30.6	133.6	69 56.9	132.7	70 15.0	131.8	70 38.0	130.8	71 00.7	129.8	71 21.7	128.7	16
7	68 07.9	129.5	68 31.0	131.6	68 53.7	130.7	69 16.2	129.8	69 38.3	128.8	70 00.2	127.8	70 21.7	126.8	70 42.8	125.7	17
8	67 51.0	127.2	67 54.4	129.7	68 16.4	128.8	68 38.4	127.9	68 59.9	126.9	69 21.3	125.9	69 42.3	124.9	70 02.9	123.8	18
9	66 54.2	124.8	67 16.3	127.9	67 38.1	127.0	67 59.6	126.1	68 20.8	125.1	68 41.8	124.1	69 02.1	123.1	69 22.6	122.1	19
20	66 15.9	122.0	66 37.5	126.1	66 58.9	125.3	67 19.7	124.3	67 40.6	123.4	68 01.0	122.4	68 21.0	121.4	68 40.7	120.4	20
1	65 36.7	119.5	65 57.9	124.5	66 18.5	123.6	66 38.9	122.7	66 59.0	121.7	67 19.7	120.8	67 39.3	119.8	67 58.6	118.8	21
2	64 56.7	117.0	65 17.5	122.9	65 38.0	122.0	65 58.2	121.1	66 18.1	120.2	66 37.6	119.3	66 56.8	118.3	67 15.6	117.3	22
3	64 16.0	114.5	64 36.4	121.4	64 56.6	120.5	65 16.4	119.6	65 35.8	118.7	65 55.0	117.8	66 13.8	116.8	66 32.2	115.8	23
4	63 34.6	112.0	63 54.7	120.0	64 14.4	119.1	64 33.9	118.2	64 53.0	117.3	65 11.8	116.4	65 30.2	115.4	65 48.3	114.4	24
5	62 52.7	109.4	63 12.4	118.0	63 31.8	117.1	63 50.8	116.2	64 09.3	115.0	64 28.0	114.1	64 46.1	113.1	65 03.9	112.2	25
6	62 19.1	107.0	62 29.5	116.3	62 48.5	115.4	63 07.3	114.5	63 25.7	113.4	63 43.9	112.3	64 01.9	111.3	64 19.1	110.3	26
7	61 27.0	104.5	61 46.1	114.6	62 04.8	113.6	62 23.3	112.6	62 41.4	111.4	62 59.2	110.2	63 16.7	109.2	63 33.6	108.2	27
8	60 43.4	102.0	61 02.2	112.8	61 20.7	111.8	61 38.7	110.7	61 56.7	109.5	62 14.2	108.3	62 31.4	107.0	62 48.4	105.6	28
9	59 59.4	100.0	60 17.9	111.0	60 36.1	110.0	60 54.0	109.0	61 11.6	107.8	61 28.8	106.5	61 45.8	105.0	62 02.4	103.5	29
30	59 15.0	97.5	59 33.2	109.0	59 51.2	107.5	60 08.8	106.0	60 26.1	104.5	60 43.1	103.0	60 59.9	101.5	61 16.2	100.0	30
1	58 30.2	95.0	58 48.2	107.0	59 05.9	105.5	59 23.3	104.0	59 40.4	102.5	59 57.2	101.0	60 13.6	99.5	60 29.8	98.0	31
2	57 45.1	92.5	58 02.8	105.0	58 20.3	103.5	58 37.4	102.0	58 54.3	100.5	59 10.9	99.0	59 27.2	97.5	59 43.1	96.0	32
3	56 59.6	90.0	57 17.2	103.0	57 34.4	101.5	57 51.3	100.0	58 08.0	98.5	58 24.4	97.0	58 40.8	95.5	58 56.2	94.0	33
4	56 23.9	87.5	56 31.2	101.0	56 48.5	99.5	57 05.0	98.0	57 21.5	96.5	57 37.7	95.0	57 53.6	93.5	58 09.2	92.0	34
5	55 27.8	85.0	55 45.0	99.0	56 01.8	97.5	56 18.4	96.0	56 34.7	94.5	56 50.7	93.0	57 05.5	91.5	57 21.9	90.0	35
6	54 41.6	82.5	54 58.5	97.0	55 15.2	95.5	55 31.6	94.0	55 47.7	92.5	56 03.8	91.0	56 19.2	89.5	56 34.5	88.0	36
7	53 55.5	80.0	54 11.9	95.0	54 28.4	93.5	54 44.8	92.0	55 00.6	90.5	55 16.3	89.0	55 31.7	87.5	55 46.9	86.0	37
8	53 08.4	77.5	53 25.0	93.0	53 41.3	91.5	53 57.4	90.0	54 13.3	88.0	54 29.1	86.5	54 44.2	85.0	54 59.2	83.5	38
9	52 21.5	75.0	52 37.9	91.0	52 54.1	89.5	53 10.1	88.0	53 25.8	86.5	53 41.3	85.0	53 56.4	83.5	54 11.4	82.0	39
40	51 34.4	72.5	51 50.7	89.0	52 06.8	87.5	52 22.6	86.0	52 38.2	84.5	52 53.5	83.0	53 08.6	81.5	53 23.4	80.0	40
1	50 47.1	70.0	51 03.3	87.0	51 19.3	85.5	51 35.0	84.0	51 50.5	82.5	52 06.0	81.0	52 26.7	79.5	52 43.1	78.0	41
2	49 59.7	67.5	50 15.3	85.0	50 31.4	83.5	50 47.3	82.0	51 02.8	80.5	51 17.8	79.0	51 32.7	77.5	51 47.3	76.0	42
3	49 12.4	65.0	49 28.1	83.0	49 43.9	82.0	49 59.4	80.5	50 14.4	79.0	50 29.7	77.5	50 44.5	76.0	50 59.1	74.5	43
4	48 25.5	62.5	48 40.4	81.0	48 56.2	80.0	49 11.4	78.5	49 26.6	77.0	49 41.6	75.5	49 56.3	74.0	50 10.9	72.5	44
45	47 38.7	60.0	47 52.5	79.0	48 08.0	78.0	48 23.4	76.5	48 38.5	75.0	48 53.4	73.5	49 08.1	72.0	49 22.5	70.5	45
6	46 48.8	57.5	47 04.5	77.0	47 20.0	76.0	47 35.8	74.5	47 50.3	73.0	48 05.0	71.5	48 19.3	70.0	48 34.2	68.5	46
7	46 00.0	55.0	46 16.0	75.0	46 31.0	74.0	46 47.0	72.5	47 02.0	71.0	47 16.0	69.5	47 31.4	68.0	47 45.8	66.5	47
8	45 12.5	52.5	45 28.5	73.0	45 43.5	72.0	45 58.5	70.5	46 13.7	69.0	46 28.5	67.5	46 43.0	66.0	46 57.3	64.5	48
9	44 24.5	50.0	44 40.1	71.0	44 55.4	70.0	45 10.5	68.5	45 25.4	67.0	45 40.1	65.5	45 54.5	64.0	46 08.8	62.5	49
50	43 36.4	47.5	43 52.1	69.0	44 07.0	68.0	44 22.1	66.5	44 36.9	65.0	44 51.6	63.5	45 05.1	62.0	45 20.3	60.5	50
1	42 48.1	45.0	43 03.5	67.0	43 18.7	66.0	43 33.7	64.5	43 48.5	63.0	44 03.1	61.5	44 17.6	60.0	44 31.8	59.0	51
2	41 59.8	42.5	42 15.1	65.0	42 30.2	64.0	42 45.2	62.5	43 00.0	61.0	43 14.6	59.5	43 29.0	58.0	43 43.3	57.0	52
3	41 11.4	40.0	41 26.7	63.0	41 41.8	62.0	41 56.7	60.5	42 11.5	59.0	42 26.1	57.5	42 40.5	56.0	42 54.7	54.5	53
4	40 22.9	37.5	40 38.0	61.0	40 53.3	60.0	41 08.2	58.5	41 23.0	57.0	41 37.6	55.5	41 52.0	54.0	42 06.2	52.5	54
55	39 34.5	35.0	39 49.7	59.0	40 04.8	58.0	40 19.7	56.5	40 34.5	55.0	40 49.0	53.5	41 03.4	52.0	41 17.6	50.5	55
6	38 46.0	32.5	39 01.2	57.0	39 16.3	56.0	39 31.1	54.5	39 45.9	53.0	39 60.5	51.5	40 14.4	50.0	40 29.1	49.0	56
7	37 57.5	30.0	38 12.7	55.0	38 27.7	54.0	38 42.4	52.5	38 57.4	51.0	39 11.9	49.5	39 26.3	48.0	39 40.9	47.0	57
8	37 09.0	27.5	37 24.2	53.0	37 39.2	52.0	37 54.1	51.0	38 08.5	49.5	38 23.4	48.0	38 37.8	46.5	38 52.1	45.5	58
9	36 20.4	25.0	36 35.4	51.0	36 50.7	50.0	37 05.6	49.0	37 20.3	47.5	37 34.9	46.0	37 49.3	45.0	38 03.6	44.0	59
60	35 31.9	22.5	35 47.1	49.0	36 02.1	48.0	36 17.0	46.5	36 31.8	45.0	36 46.3	43.5	37 00.9	42.0	37 15.2	41.0	60
1	34 43.3	20.0	34 58.5	47.0	35 13.4	46.0	35 28.5	45.0	35 43.3	43.5	35 57.9	42.0	36 12.4	40.5	36 26.8	39.5	61
2	33 54.8	17.5	34 10.0	45.0	34 25.1	44.0	34 40.0	43.0	34 54.5	41.5	35 08.5	40.0	35 24.0	3			

赤緯與緯度異向

緯度 38°

Table with columns for time (時角), altitude (高度), and azimuth (方位角) for various declinations (赤緯) from 00 to 80 degrees. Each declination row contains 10 columns of data for different hour angles (4° 00' to 7° 30').

9. 纬度差的高度修正表
緯度差的高度修正表

方位角		緯度差(弧分)															緯度差(十分之一弧分)										方位角			
		1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'	11'	12'	13'	14'	15'	0.1'	0.2'	0.3'	0.4'	0.5'	0.6'	0.7'	0.8'	0.9'					
0	180	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	0	180	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0	180	
1	179	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	1	179										1	179	
2	178	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	2	178										2	178	
3	177	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	3	177										3	177	
4	176	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	4	176										4	176	
5	175	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	13.9	14.9	5	175	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	5	175	
6	174	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	6	174										6	174	
7	173	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	7	173										7	173	
8	172	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	8	172										8	172	
9	171	1.0	2.0	3.0	4.0	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.8	13.8	14.8	9	171										9	171	
10	170	1.0	2.0	3.0	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	10	170	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	10	170	
11	169	1.0	2.0	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.7	14.7	11	169										11	169	
12	168	1.0	2.0	2.9	3.9	4.9	5.9	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.7	12.7	13.7	14.7	12	168										12	168	
13	167	1.0	1.9	2.9	3.9	4.9	5.8	6.8	7.8	8.8	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	14.6	13	167										13	167	
14	166	1.0	1.9	2.9	3.9	4.9	5.8	6.8	7.8	8.7	9.7	10.7	11.6	12.6	13.6	14.6	14	166										14	166	
15	165	1.0	1.9	2.9	3.9	4.8	5.8	6.8	7.7	8.7	9.7	10.6	11.6	12.6	13.6	14.5	15	165	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	15	165	
16	164	1.0	1.9	2.9	3.8	4.8	5.8	6.7	7.7	8.7	9.6	10.6	11.5	12.5	13.5	14.4	16	164										16	164	
17	163	1.0	1.9	2.9	3.8	4.8	5.7	6.7	7.7	8.6	9.6	10.5	11.5	12.4	13.4	14.3	17	163										17	163	
18	162	1.0	1.9	2.9	3.8	4.8	5.7	6.7	7.6	8.6	9.5	10.5	11.4	12.4	13.3	14.3	18	162										18	162	
19	161	0.9	1.9	2.8	3.8	4.7	5.7	6.6	7.6	8.5	9.5	10.4	11.3	12.3	13.2	14.2	19	161										19	161	
20	160	0.9	1.9	2.8	3.8	4.7	5.6	6.6	7.5	8.5	9.4	10.3	11.3	12.2	13.2	14.1	20	160	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	20	160	
21	159	0.9	1.9	2.8	3.7	4.7	5.6	6.5	7.5	8.4	9.3	10.3	11.2	12.1	13.1	14.0	21	159										21	159	
22	158	0.9	1.9	2.8	3.7	4.6	5.6	6.5	7.4	8.3	9.3	10.2	11.1	12.1	13.0	13.9	22	158										22	158	
23	157	0.9	1.8	2.8	3.7	4.6	5.5	6.4	7.4	8.3	9.2	10.1	11.0	12.0	12.9	13.8	23	157						0.6	0.5				23	157
24	156	0.9	1.8	2.7	3.7	4.6	5.5	6.4	7.3	8.2	9.1	10.0	11.0	11.9	12.8	13.7	24	156										24	156	
25	155	0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.3	8.2	9.1	10.0	10.9	11.8	12.7	13.6	25	155	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8		25	155	
26	154	0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.2	8.1	9.0	9.9	10.8	11.7	12.6	13.5	26	154						0.4				26	154	
27	153	0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.3	6.2	7.1	8.0	8.9	9.8	10.7	11.6	12.5	13.4	27	153										27	153	
28	152	0.9	1.8	2.6	3.5	4.4	5.3	6.2	7.1	7.9	8.8	9.7	10.6	11.5	12.4	13.2	28	152						0.4	0.3				28	152
29	151	0.9	1.7	2.6	3.5	4.4	5.2	6.1	7.0	7.8	8.7	9.6	10.5	11.4	12.2	13.1	29	151										29	151	
30	150	0.9	1.7	2.6	3.5	4.3	5.2	6.1	7.0	7.8	8.7	9.5	10.4	11.3	12.1	13.0	30	150	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	30	150	
31	149	0.9	1.7	2.6	3.4	4.3	5.1	6.0	6.9	7.7	8.6	9.4	10.3	11.1	12.0	12.9	31	149										31	149	
32	148	0.8	1.7	2.5	3.4	4.2	5.1	6.0	6.9	7.8	8.5	9.3	10.2	11.0	11.9	12.7	32	148										32	148	
33	147	0.8	1.7	2.5	3.4	4.2	5.0	5.9	6.7	7.5	8.4	9.2	10.1	10.9	11.7	12.6	33	147										33	147	
34	146	0.8	1.7	2.5	3.3	4.1	5.0	5.8	6.6	7.5	8.3	9.1	9.9	10.8	11.6	12.4	34	146										34	146	
35	145	0.8	1.6	2.5	3.3	4.1	4.9	5.7	6.6	7.4	8.2	9.0	9.8	10.6	11.5	12.3	35	145	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	35	145	
36	144	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.9	5.7	6.5	7.3	8.1	8.9	9.7	10.5	11.3	12.1	36	144										36	144	
37	143	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	8.0	8.8	9.6	10.4	11.2	12.0	37	143										37	143	
38	142	0.8	1.6	2.4	3.2	3.9	4.7	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.2	11.0	11.8	38	142								0.6	0.5		38	142
39	141	0.8	1.6	2.3	3.1	3.9	4.7	5.4	6.2	7.0	7.8	8.5	9.3	10.1	10.9	11.7	39	141										39	141	
40	140	0.8	1.5	2.3	3.1	3.8	4.6	5.4	6.1	6.9	7.7	8.4	9.2	10.0	10.7	11.5	40	140	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	40	140	
41	139	0.8	1.5	2.3	3.0	3.8	4.5	5.3	6.0	6.8	7.5	8.3	9.1	9.8	10.6	11.3	41	139						0.5	0.4			41	139	
42	138	0.7	1.5	2.2	3.0	3.7	4.5	5.2	5.9	6.7	7.4	8.2	8.9	9.7	10.4	11.1	42	138										42	138	
43	137	0.7	1.5	2.2	2.9	3.7	4.4	5.1	5.8	6.6	7.3	8.0	8.8	9.5	10.2	11.0	43	137										43	137	
44	136	0.7	1.4	2.2	2.9	3.6	4.3	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.6	9.4	10.1	10.8	44	136										44	136	
45	135	0.7	1.4	2.1	2.8	3.6	4.2	4.9	5.7	6.4	7.1	7.8	8.5	9.2	9.9	10.6	45	135	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	45	135	
46	134	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.9	5.6	6.3	6.9	7.6	8.3	9.0	9.7	10.4	46	134						0.3				46	134	
47	133	0.7	1.4	2.0	2.7	3.4	4.1	4.8	5.5	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.5	10.2	47	133										47	133	
48	132	0.7	1.3	2.0	2.7	3.3	4.0	4.7	5.4	6.0	6.7	7.4	8.0	8.7	9.4	10.0	48	132										48	132	
49	131	0.7	1.3	2.0	2.6	3.3	3.9	4.6	5.2	5.9	6.6	7.2	7.9	8.5	9.2	9.8	49	131								0.5		49	131	
50	130	0.6	1.3	1.9	2.6	3.2	3.9	4.5	5.1	5.8	6.4	7.1	7.7	8.4	9.0	9.6	50	130	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	50	130	
51	129	0.6	1.3	1.9	2.5	3.1	3.8	4.4	5.0	5.7	6.3	6.9	7.6	8.2	8.8	9.4	51	129										51	129	
52	128	0.6	1.2	1.8	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.5	6.2	6.8	7.4	8.0	8.6	9.2	52	128										52	128	
53	127	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	53	127										53	127	
54	126	0.6	1.2	1.8	2.4	2.9	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.1	7.7	8.2	8.8	54	126						0.4				54	126	
55	125	0.6	1.1	1.7	2.3	2.9	3.4																							

緯度差的高度修正表

		緯度差(弧分)													緯度差(十分之一弧分)														
方位角		16'	17'	18'	19'	20'	21'	22'	23'	24'	25'	26'	27'	28'	29'	30'	方位角		0.1'	0.2'	0.3'	0.4'	0.5'	0.6'	0.7'	0.8'	0.9'	方位角	
1	180	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	0	180	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0	180
2	179	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	1	179	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	179
3	178	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	2	178	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	2	178
4	177	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	3	177	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	3	177
5	176	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	4	176	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	4	176
6	175	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	5	175	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	5	175
7	174	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	6	174	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	6	174
8	173	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	7	173	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	7	173
9	172	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	8	172	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	8	172
10	171	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.7	21.7	22.7	23.7	24.7	25.7	26.7	27.7	28.6	29.6	9	171	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	9	171
11	170	15.8	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.5	10	170	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	10	170
12	169	15.7	16.7	17.7	18.7	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.5	25.5	26.5	27.5	28.5	29.4	11	169	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	11	169
13	168	15.7	16.6	17.6	18.6	19.6	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.4	26.4	27.4	28.4	29.3	12	168	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	12	168
14	167	15.6	16.6	17.6	18.5	19.5	20.5	21.4	22.4	23.4	24.4	25.3	26.3	27.3	28.3	29.2	13	167	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	13	167
15	166	15.5	16.5	17.5	18.4	19.4	20.4	21.3	22.3	23.3	24.3	25.2	26.2	27.2	28.1	29.1	14	166	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	14	166
16	165	15.5	16.4	17.4	18.4	19.3	20.3	21.3	22.2	23.2	24.1	25.1	26.1	27.0	28.0	29.0	15	165	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	15	165
17	164	15.4	16.3	17.3	18.3	19.2	20.2	21.1	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	26.9	27.9	28.8	16	164	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	16	164
18	163	15.3	16.3	17.2	18.2	19.1	20.1	21.0	22.0	23.0	23.9	24.9	25.8	26.8	27.7	28.7	17	163	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	17	163
19	162	15.2	16.2	17.1	18.1	19.0	20.0	20.9	21.9	22.8	23.8	24.7	25.7	26.6	27.6	28.5	18	162	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	18	162
20	161	15.1	16.1	17.0	18.0	18.9	19.9	20.8	21.7	22.7	23.6	24.6	25.5	26.5	27.4	28.4	19	161	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	19	161
21	160	15.0	16.0	16.9	17.9	18.8	19.7	20.7	21.6	22.6	23.5	24.4	25.4	26.3	27.3	28.2	20	160	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	20	160
22	159	14.9	15.9	16.8	17.7	18.7	19.6	20.5	21.5	22.4	23.3	24.3	25.2	26.2	27.1	28.0	21	159	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	21	159
23	158	14.8	15.8	16.7	17.6	18.5	19.5	20.4	21.3	22.3	23.2	24.1	25.0	26.0	26.9	27.8	22	158	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	22	158
24	157	14.7	15.6	16.6	17.5	18.4	19.3	20.3	21.2	22.1	23.0	23.9	24.9	25.8	26.7	27.6	23	157	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	23	157
25	156	14.6	15.5	16.4	17.4	18.3	19.2	20.1	21.0	21.9	22.8	23.8	24.7	25.6	26.5	27.4	24	156	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	24	156
26	155	14.5	15.4	16.3	17.2	18.1	19.0	19.9	20.8	21.8	22.7	23.6	24.5	25.4	26.3	27.2	25	155	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	25	155
27	154	14.4	15.3	16.2	17.1	18.0	18.9	19.8	20.7	21.6	22.5	23.4	24.3	25.2	26.1	27.0	26	154	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	26	154
28	153	14.3	15.1	16.0	16.9	17.8	18.7	19.6	20.5	21.4	22.3	23.2	24.1	25.0	25.9	26.8	27	153	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	27	153
29	152	14.1	15.0	15.9	16.8	17.7	18.6	19.4	20.3	21.2	22.1	23.0	23.9	24.7	25.6	26.5	28	152	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	28	152
30	151	14.0	14.9	15.7	16.6	17.5	18.4	19.2	20.1	21.0	21.9	22.7	23.6	24.5	25.4	26.2	29	151	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	29	151
31	150	13.9	14.7	15.6	16.5	17.3	18.2	19.1	19.9	20.8	21.7	22.5	23.4	24.2	25.1	26.0	30	150	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	30	150
32	149	13.7	14.6	15.4	16.3	17.1	18.0	18.9	19.7	20.6	21.4	22.3	23.1	24.0	24.9	25.7	31	149	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	31	149
33	148	13.6	14.4	15.3	16.1	17.0	17.8	18.7	19.5	20.4	21.2	22.0	22.9	23.7	24.6	25.4	32	148	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	32	148
34	147	13.4	14.3	15.1	15.9	16.8	17.6	18.5	19.3	20.1	21.0	21.8	22.6	23.5	24.3	25.2	33	147	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	33	147
35	146	13.3	14.1	14.9	15.8	16.6	17.4	18.2	19.1	19.9	20.7	21.6	22.4	23.2	24.0	24.9	34	146	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	34	146
36	145	13.1	13.9	14.7	15.6	16.4	17.2	18.0	18.8	19.7	20.5	21.3	22.1	22.9	23.8	24.6	35	145	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	35	145
37	144	12.9	13.8	14.6	15.4	16.2	17.0	17.8	18.6	19.4	20.2	21.0	21.8	22.7	23.5	24.3	36	144	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	36	144
38	143	12.8	13.6	14.4	15.2	16.0	16.8	17.6	18.4	19.2	20.0	20.8	21.6	22.4	23.2	24.0	37	143	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	37	143
39	142	12.6	13.4	14.2	15.0	15.8	16.5	17.3	18.1	18.9	19.7	20.5	21.3	22.1	22.9	23.6	38	142	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	38	142
40	141	12.4	13.2	14.0	14.8	15.5	16.3	17.1	17.9	18.7	19.4	20.2	21.0	21.8	22.5	23.3	39	141	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	39	141
41	140	12.3	13.0	13.8	14.6	15.3	16.1	16.9	17.6	18.4	19.2	19.9	20.7	21.4	22.2	22.9	40	140	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	40	140
42	139	12.1	12.8	13.6	14.3	15.1	15.8	16.6	17.4	18.1	18.9	19.6	20.4	21.1	21.9	22.6	41	139	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	41	139
43	138	11.9	12.6	13.4	14.1	14.9	15.6	16.3	17.1	17.8	18.6	19.3	20.1	20.8	21.6	22.3	42	138	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	42	138
44	137	11.7	12.4	13.2	13.9	14.6	15.4	16.1	16.8	17.6	18.3	19.0	19.7	20.5	21.2	21.9	43	137	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	43	137
45	136	11.5	12.2	13.0	13.7	14.4	15.1	15.8	16.5	17.3	18.0	18.7	19.4	20.1	20.9	21.6	44	136	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	44	136
46	135	11.3	12.0	12.7	13.4	14.1	14.8	15.6	16.3	17.0	17.7	18.4	19.1	19.8	20.5	21.2	45	135	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	45	135
47	134	11.1	11.8	12.5	13.2	13.9	14.6	15.3	16.0	16.7	17.4	18.1	18.8	19.5	20.2	20.9	46	134	0.1	0.2	0.3	0.4	0.						

