

交通系统中等专业学校试用教材

天文航海

(船舶驾驶专业用)

● 陆瑞瑶 主编

● 林立坦 主审

● 人民交通出版社

交通系统中等专业学校试用教材

天文航海

Tianwen Hanghai

(船舶驾驶专业用)

陆瑞瑶	主编
林立坦	主审

人民交通出版社

(京)新登字091号

交通系统中等专业学校试用教材

天文航海

(船舶驾驶专业用)

陆瑞瑶 主编 林立坦 主审

正文设计: 崔凤莲 责任校对: 张捷

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京四季青印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.25 插页: 1 字数: 314千

1994年5月 第1版

1994年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6600册 定价: 6.00元

ISBN 7-114-01748-0

U · 01154

前 言

本书在交通中专航海类教材编审委员会的组织下，由上海海运学校、浙江交通学校、大连海运学校、福建船政学校共同编写。并由上海海运学校陆瑞瑶主编，浙江交通学校林立坦主审。

本书共分九章。依章次为序第一、二、三、四章由陆瑞瑶编写，第五、八章由朱国锋编写，第六章由余祖德编写，第七章由刘英贤编写，第九章由陈宏编写。

天文航海课是海洋船舶驾驶专业的主要专业课之一，具有实践性强，测、算、画技能要求高的特点。从“简化、删减、综合”教学内容与“加强基本技能”出发，根据交通部中专《天文航海》教学大纲的要求，在编写中力求突出中专学校的特色，贯彻“少而精”原则，理论联系实际，努力把课程的基本理论和基本技能精选出来，做到主线清楚，详略得当。

本书可做为交通系统中等专业学校海船驾驶专业试用教材，亦可做为有关专业和海运技术人员参考用书。

由于编者水平有限，难免存在缺点与错误，希望读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一章 天球坐标	(2)
第一节 天体概述	(2)
第二节 天球上的基本点、线、圈	(4)
第三节 天球坐标及其作图	(6)
复习题	
第二章 天体视运动	(14)
第一节 天体的周日视运动	(14)
第二节 太阳的周年视运动	(18)
第三节 月亮、行星视运动	(21)
复习题	
第三章 时间和天体位置	(25)
第一节 时间计量系统	(25)
第二节 地方时、区时、世界时及其换算	(30)
第三节 求天测世界时	(36)
第四节 求天体位置——《航海天文历》使用	(45)
复习题	
第四章 天体船位线	(54)
第一节 天体船位圆原理	(54)
第二节 截距法作图划天体船位线	(59)
第三节 求计算高度和计算方位——《B105》表使用方法	(67)
复习题	
第五章 求天体真高度	(80)
第一节 航海六分仪	(80)
第二节 观测高度改正	(88)
第三节 求太阳真高度	(91)
复习题	
第六章 观测太阳定船位	(96)
第一节 太阳船位线	(96)
第二节 太阳移线船位	(104)
第三节 太阳中天高度求纬度线	(110)
第四节 太阳中天移线船位	(117)
第五节 观测太阳特大高度 (88° 以上) 求船位	(121)
复习题	

第七章 星体定位	(128)
第一节 计算日出、日没及晨光昏影时间.....	(128)
第二节 星空.....	(131)
第三节 恒星船位线.....	(145)
第四节 北极星高度求纬度.....	(147)
第五节 星体定位.....	(151)
复习题	
第八章 同时观测太阳、月亮或(金星)定位	(157)
第一节 月亮船位线与行星船位线.....	(157)
第二节 同时观测太阳、月亮定位.....	(159)
第三节 同时观测太阳、金星定位.....	(162)
复习题	
第九章 测定罗经差	(167)
第一节 太阳真出没方位求罗经差.....	(167)
第二节 观测太阳低高度 ($h < 30^\circ$) 时方位求罗经差.....	(169)
第三节 太阳视出没方位求罗经差.....	(171)
第四节 观测北极星方位求罗经差.....	(172)
第五节 观测月亮、行星、恒星求罗经差.....	(173)
第六节 天测罗经差精度分析.....	(175)
复习题	
附录	(179)
附录五、主要符号与英汉对照一览表	(187)

绪 论

船舶在海上航行,必须按时检查船位并核对航向,以保证船舶航行安全。《天文航海》乃是介绍在海上测量天体(日、月、星)的高度和方位,求得船位和方向基准(真北)的课程。

我国从殷商起到16世纪欧洲近代自然科学兴起以前,在天文观测、宇宙理论、天文仪器和历法等方面作出过重要的贡献。

天文导航在海上的应用,起源于人类的航海活动,汉初(公元前140年)《淮南子·齐俗训》中,有“夫乘舟而惑者,不知东西,见斗极则寤矣”,这是我国最早利用北极星辨别方向的记载。公元414年晋法显《佛国记》中有“大海弥漫无边,不识东西,唯望日月星辰而进”。公元1119年北宋朱彧《萍州可谈》有“舟师识地理,夜则观星,昼则观日,阴晦观指南针”等利用日、月引导航行的记载。明代(1405年~1433年)郑和航海图末的“过洋牵星图”载有对于星辰高低用几指几角的实际测量导航记录。

1730年美国入汤姆斯·戈弗雷(Thomas Godfrey)和1731年英国人哈特利(Hatley)发明六分仪,1761年英国人约翰·哈里森(John Harrison)制成了第一架合格的天文钟;在此阶段,已能相当精确地分别求得纬度和经度。1837年美国船长萨姆纳(Captain Sumner)发现天体船位线,从此可以同时解算经、纬度,但不太方便。1875年法国人圣希纳尔(St. Hilaire)发明截距法(高度差法),简化了求天体船位线的方法,奠定了近代天体船位线的理论基础,100多年来,仍被航海人员所广泛使用。

现代在使用罗兰C、NNSS以至GPS卫星导航等导航仪器条件下,利用光学六分仪天测定位,仍将是航海人员必须掌握的基本技能之一,这不仅因为它可供全球性使用,其船位误差亦与船舶离岸的远近无关,而且具有仪器简单、可靠、经济以及不依赖岸台、不发射电波、隐蔽性好等优点,在战时使用更有其重要意义;另外,利用天测方法还能给出精度较高的方向基准(真北),以求得罗经差,这是现代各种导航仪器所不具备的。

存在的缺点是:观测时机受到限制,如:阴、雨、雾天气,就不能进行天测定位和求罗经差;夜晚或白天水天线不佳或不良时,也不能进行天测定位。此外,天测定位的查表运算也较繁琐。今后发展的趋势必然是引入天文计算机;然而,“天测计算与作图能力”还将是航海人员技术素质中不可少的基本功之一,亦为培养航海人员准确、细致的工作作风所必需,所以即使在使用天文计算机条件下,“天测计算与作图能力”仍然不应忽视。不过,计算表册的方法不宜过多,应删繁就简,力求趋向统一与规范化,以利于记忆与应用。^{3. 罗经、天分仪结合使用}

扩大光学六分仪的观测时机,使其不受水天线条件的限制,仍是有待突破的研究课题,除了已有的气泡装置外,还有夜视仪、陀螺六分仪等的设想。不难预料,较圆满地解决这一课题为期也不会太远。

第一章 天球坐标

第一节 天体概述

宇宙是普遍的、永恒的、无限发展的物质世界，在空间上无边无际，在时间上无始无终，存在着无数的天体和星际物质。从地球上观察宇宙，肉眼可以看到的自然天体有：恒星、行星、卫星、彗星等；另外，还有人造卫星这类人造天体。现分别简单介绍如下：

一、恒星 (Fixed star)

恒星是宇宙间最主要的天体。人们观察恒星，感觉恒星之间的相对位置几乎不变，故自古以来被称为恒星。实际上，根据长期的观察记录和计算，发现恒星并非固定不动，只不过这种变化非常缓慢，人们不易察觉罢了。

恒星一般有很高的温度，能产生强烈的光辉，但是我们感觉有的恒星很亮，有的却很暗淡，凭借人们肉眼看到的明暗程度，叫做视亮度，它不仅与恒星的发光能力有关，而且还与该恒星与地球的距离远近有关。为了表示天体视亮度的大小，将它分成等级，叫做星等。在天文学上，将肉眼能见到的最暗恒星定为六等星。按照视亮度越大，星等就越小的规律，一等星视亮度是六等星的100倍，在两相邻星等之间差2.512倍，如：五等星视亮度是六等星的2.512倍，四等星视亮度是五等星的2.512倍，依此类推，0等星比一等星亮2.512倍，-1等星比0等星亮2.512倍，-2等星比-1等星亮2.512倍……。因此负星等越大，视亮度也就越大；在天空中，除了太阳的星等为-26.8以外，最亮的恒星为天狼星（-1.6）、依次为老人星（-0.9）、织女星（-0.1）。有些恒星的视亮度时常发生变化，称为变星，如参宿四（星等0.1~1.2）；有的恒星，它的亮度突然增亮以后，又逐渐消失，称之为新星。

两颗恒星之间的距离实际上很远，也没有物理联系，只是从地球上看去它们的方向差不多，视位置很靠近，称为光学双星，双子座 α 星及半人马座 α 星均为双星。

航海上观测恒星，一般总是选择负等星、一等星或二等星，常用的共约40余颗。

由于恒星之间的距离十分遥远，若用普通的长度单位来度量它们的距离，显得尺度太小，在天文学上就采用“光年”作为度量距离的单位。已知光的速度每秒约 3×10^8 km，光在一年中所走的路程，叫光年，一光年约 1×10^{12} km。

恒星在天空中的相互位置基本上保持不变（或者说它们分布的形状基本不变），形成不同的星群，称为星座。目前，国际上统一将星空划分为88个星座，在每一个星座内的诸星，通常按其视亮度的强弱依次用希腊字母 α 、 β ……等等加以区别。具体星名可以参阅第七章第二节认星与选星。

二、太阳系 (Solar System)

太阳系是由太阳和受太阳的引力支配而环绕它运行的天体所构成的系统。太阳系中主要有太阳和围绕它运行的九颗大行星。此外，还有卫星等。

1. 太阳 (the sun)

太阳是宇宙中一颗普通的恒星，亦是太阳系中最主要的天体，光线从太阳到达地球的时间约需 8 min，而从其它恒星到达地球的时间至少需 4.28 光年以上。上述恒星与地球之间距离上的显著差异，使得我们观察到的其它恒星只是一个发光点，而太阳却是一个光耀夺目的大圆盘。

2. 行星 (Planets)

天文学告诉我们：以太阳为中心，有九颗大行星围绕着太阳自西向东公转，公转的轨道皆为椭圆，九大行星距离太阳的次序排列如图 1-1 所示，距离太阳最近的是水星，依次是金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星。在地球轨道之内绕太阳运行的水星、金星称为内行星，而在地球轨道外绕太阳运行的火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星等，称为外行星。

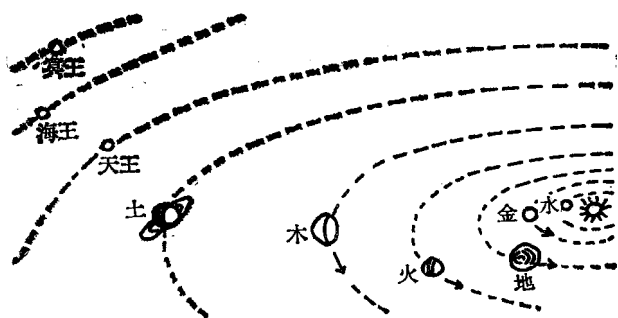


图 1-1

行星本身不发光，由于受到太阳光的照射，才能看见它们。由于各行星围绕太阳公转的周期时间不同，各行星和地球之间的距离也在不断地发生变化，所以行星视亮度（星等）会随着上述距离的变化有一个变化范围，如金星（ $-3.3 \sim -4.4$ ），木星（ $1.5 \sim -2.5$ ）。

在航海上，用肉眼能观察到金星、火星、土星、木星四颗行星。其余的行星，有的因为距离太阳太近（如水星被太阳光辉所淹没）、有的因为距离地球太远、亮度太暗，用肉眼看不到。在航用行星中以金星最亮，平均星等是 -3.8 ，呈金黄色，在我国有“启明”和“长庚”之称；依次是木星、火星和土星。

3. 卫星 (Satellite)

卫星是围绕行星公转的天体，在太阳系的九大行星中，根据目前已观测到的资料，除了水星、金星、冥王星以外，其它六颗行星周围都发现了卫星。以地球 (the earth) 为例，月亮 (the moon) 是地球唯一的天然卫星，因它本身也不发光，人们能看见它被太阳光辉照亮的部分。由于月亮距离地球较近，光线从月亮到达地球的时间约需 1 s 多，所以月亮体积虽比太阳小得多，但距离上的显著差别，使得人们看到月亮的大小和太阳差不多。月亮满月时的平均星等 -12.6 。目前地球除了月亮这个天然卫星之外，还有围绕地球公转的人造天体——人造地球卫星，其中有专供船舶定位用的“NNSS”卫星导航系统中的若干卫星。

综上所述，恒星、太阳、行星（金星、木星、土星、火星）、月亮等统称为天体。当船舶远岸航行看不到陆地物标时，除了可用无线电导航仪器定位和“NNSS”卫星导航定位以外，还可以利用天体来测定船位和求得罗经差。

第二节 天球上的基本点、线、圈

一、天球 (Celestial Sphere)

船舶在海上航行，人们都感觉到天空好象是一个圆球，凡是看到的天体，都好象分布在这个球面上。因此，我们定义的天球，就是由地球表面任意扩大而成的假想球体，地球的中心就是天球的中心；一切天体，它们的位置也都被认为是在天球面上（图1-2）。

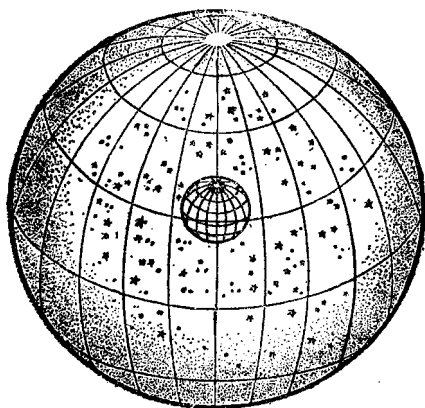


图 1-2

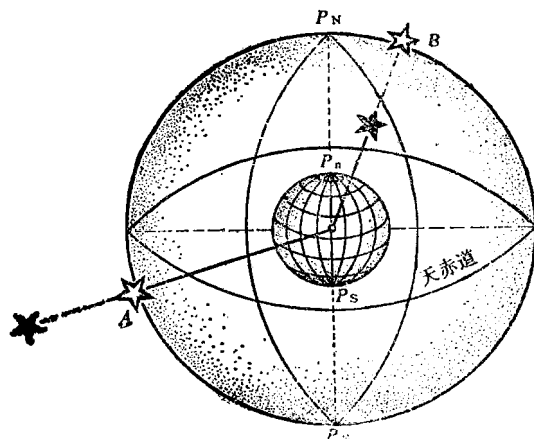


图 1-3

对上述定义人们可能会产生下述疑问：每一天体和地球之间实际距离有远有近 各不相同，怎么可以说一切天体都分布在同一天球面上呢？

如图1-3所示，实质上由于采取了投影的方法，把任一天体中心和地球中心之间的连线（或此连线的延长线）同假想的天球面相截的投影点位置，作为该天体在天球上的位置。换句话说，某天体的天球位置，实际上就是该天体在天球面上的投影点位置。由此可见，任何天体虽与地球之间的距离不同，但是，一定能够在同一个天球面上找到它们各自的投影点位置（即天球的位置）。

从上述看出，采用了投影方法以后，天体的实际距离远近对该天体在天球上的位置并不产生影响。同样道理，也不难理解，天球半径的大小，究竟要比地球半径大到什么程度，当然也是无关紧要的了。

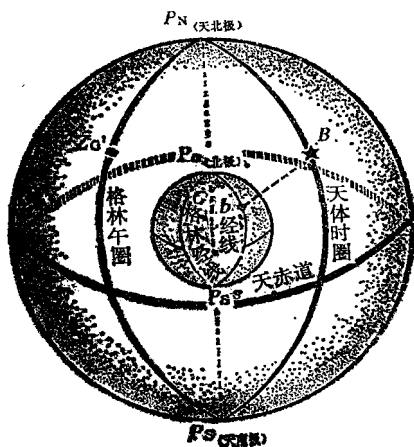


图 1-4

二、天球与地球的对应关系

因为假想的天球和地球是同一个球心，天球面又是地球表面的任意扩大，所以天球和地球之间有着互相对应的关系。如：凡是天球上的点、线、圈和地球上的点、线、圈都一一对应。在图1-4中，若把天球上的天体B和地球中心用一条直线连接起来，则这条直线一定通过地球表面，它和地球表面相截的投影点位置，

称为天体 B 在地球上的投影点位置，或称天体地理位置 b。

反过来也一样，由于天球是地球表面任意扩大而成的假想球体，所以天球上的基本点、线、圈，实际上也就是地球上基本点、线、圈的任意扩大。

例如：地球上的北极和南极，在天球上和它相对应的叫天北极 (P_N) 和天南极 (P_S)；地球上的赤道，在天球上和它相对应的叫天赤道；

地球上的格林经线 ($P_N G P_S$)，在天球上和它相对应的叫格林午圈 ($P_N Z_G P_S$)；

地球上的天体地理位置 b 的经线 ($P_N b P_S$)，在天球上和它相对应的叫天体时圈 ($P_N B P_S$)。

三、天球上的基本点、线、圈

为了确定天体在天球上的位置，就象在地球上划定一些经、纬线一样，需要在天球上规定出一些基本的点、线和圈。现按照其不同的特点，一一综述于下：

1. 天球上与地球相联系的点、线和圈

如图 1-4 所示，在地球上有地轴、地极（南北极）和赤道。若把地球上的地轴、地极和赤道扩展到天球上并与之相交，便成了天轴、天极和天赤道。

天轴 (Celestial axis) —— 延长地轴相交于天球所成的天球直径，称为天轴。

天极 (Celestial pole) —— 天轴在天球面上的两个端点，叫天极。正对地球北极的一点，叫天北极 (P_N)。正对地球南极的一点，叫天南极 (P_S)。

天赤道 (Celestial equator) —— 扩大地球赤道面与天球相交而成的大圆称为天赤道。天赤道与天轴相垂直，从天赤道到天南、北极各为 90° 。

不难看出：上述天球上的点、线和圈的特点是与地球上的点、线、圈一一相对应，而与测者无关。

2. 天球上与测者相联系的点、线和圈

在图 1-5 中：

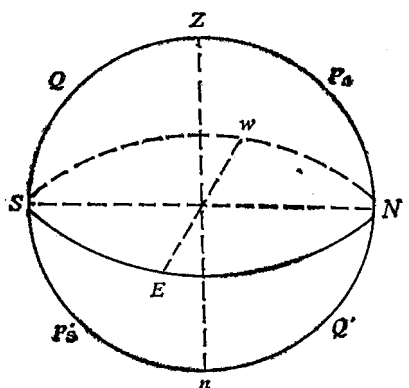


图 1-5

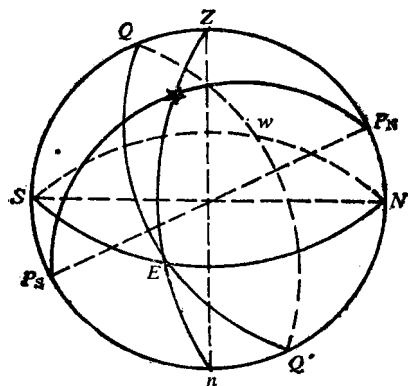


图 1-6

测者垂线 (Observer's vertical) —— 将测者与地心间的连线延长并与天球相交而成的天球直径，称为测者垂线 (Zn)。

天顶 (Zenith) 和天底 (Nadir) —— 测者垂线与天球相交于两点，在测者头顶上方的一点，叫天顶点 (Z)；在测者脚底下方的一点，叫天底点 (n)；其中天顶点乃是测者

地理位置在天球上的投影点。

测者子午圈 (Observer's meridian) —— 通过天北极、天南极、测者天顶、天底的大圆，称为测者子午圈。测者子午圈被天轴分为两个“半圆”。其中包括天顶的半圆 ($\widehat{P_N Z P_S}$) 称为测者午圈，它与地球上的测者经线相对应，乃是地球上测者经线在天球上的投影；包含天底的半圆 ($\widehat{P_N Z P_S}$) 称为测者子圈。

测者真地平圈 (Celestial horizon) —— 与测者垂线相垂直的大圆，称为测者真地平圈。真地平圈距天顶或天底均为 90° 。测者子午圈和真地平圈相交于N和S两点，靠近 P_N 为N点，靠近 P_S 为S点，此两点联线的方向即南北方向，天赤道与真地平圈相交于E、W两点，面向N点，右转 90° 为E点，另一为W点。此两点联线的方向即为东西方向。

不难看出：上述天球上的点、线和圈，其特点是与地球上的测者位置密切相关，并依测者的地理位置为转移。

3. 天球上与天体相联系的点、线和圈

如图1-6所示。

天体时圈 (Hour circle) —— 通过天北极、天南极及天体的半个大圆，称为天体时圈 ($\widehat{P_N \star P_S}$)。天体时圈与天赤道相垂直，其意义相当于地球上物标的经线，从天赤道沿天体时圈算到天北极或天南极，均为 90° 。

天体方位圈 (Vertical circle) —— 通过天顶、天底及天体的半个大圆，称为天体方位圈 ($\widehat{Z \star n}$)。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算到天顶或天底，均为 90° 。

四、天球划分

为了研究方便起见，还将天球作下述几种划分，如图1-7所示，依据其划分的基准大圆不同。可分为：

1. 天赤道把天球分为两个半球——北天半球与南天半球。

包含天北极的半球 ($\widehat{Q Z P_N N Q'}$)，称为北天半球。

包含天南极的半球 ($\widehat{Q S P_S n Q'}$)，称为南天半球。

2. 真地平圈把天球分为两个半球——上天半球与下天半球。

包含天顶的半球 ($\widehat{S Q Z P_N N}$)，称为上天半球。

包含天底的半球 ($\widehat{S P_S n Q' N}$)，称为下天半球。

3. 测者子午圈把天球分为两个半球——东天半球与西天半球。

包含E点的半球 ($\widehat{N E S}$)，称为东天半球。

包含W点的半球 ($\widehat{N W S}$)，称为西天半球。

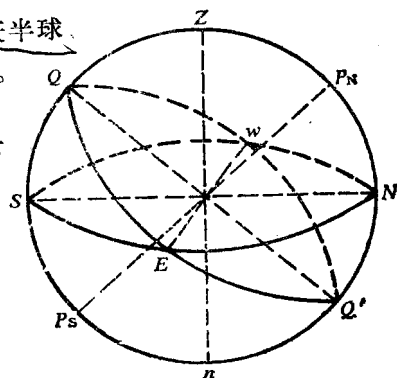


图 1-7

第三节 天球坐标及其作图

在地球上是用地理坐标——经度和纬度来确定球面上的点的位置。但是在天球上怎样确定天体的位置，根据天测定位中的实际应用，分别介绍时角赤道坐标系、春分点赤道坐标系和地平坐标系于下：

一、时角赤道坐标系（第一赤道坐标系）

坐标 在天球上以天赤道和测者午圈为基准大圆，天体在天球上的位置，乃由该点的坐标——时角和赤纬来表示（图1-8）。

1. 时角 (t) (Hour Angle)：测者午圈与天体时圈在天极处的球面角；或者测者午圈和天体时圈在天赤道上所夹的弧距，又称天体地方时角，它有两种算法：

1) 半圆周算法：以测者午圈为 0° 向西或向东度量到天体时圈止，范围 $0^\circ \sim 180^\circ$ ；在东半球注上命名符号为E，在西半球注上命名符号为W。

2) 圆周算法：以测者午圈为 0° 一直向西度量到天体时圈止，范围 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

时角的圆周算法和半圆周算法，二者可以互相换算。如：

已知：时角（圆周算法）= 300° (W)，求时角（半圆周算法）= ?

解： $360^\circ - 300^\circ = 60^\circ$ E

因为时角（圆周算法） $> 180^\circ$ ，说明天体在东半球，所以用 360° 减去时角后，并需变更命名符号为E。

已知：时角（圆周算法）= 120° (W)，求时角（半圆周算法）= ?

因为时角（圆周算法） $< 180^\circ$ ，说明天体仍在西半球，所以时角（圆周算法）= 时角（半圆周算法）= 120° W，命名符号w不变。

在《航海天文历》中，表示月亮、太阳、行星视位置的是“格林时角”坐标。

格林时角 (t_G)：格林午圈和天体时圈在天极处的球面角。或格林午圈和天体时圈在天赤道上所夹的弧距。它以格林午圈为 0° ，一直向西算到天体时圈止，范围 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

2. 赤纬 (δ) (Declination)：天赤道和天体在天体时圈上夹的弧距，以天赤道为 0° 算到天体中心上，范围 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。天体在北半球时，命名符号为N；在南半球时，命名符号为S。在《航海天文历》中，表示月亮、太阳、行星视位置的另一坐标就是“赤纬”。

极距 (Δ) (Polar Distance)：天体与仰极（即上天半球的天极，它与测者纬度同名）在天体时圈上所夹的弧距。

极距与赤纬的关系如下：

$$\text{极距}(\Delta) = 90^\circ - \text{赤纬}(\delta)$$

赤纬符号与纬度同名相减，异名相加；

在图1-8中，B天体的天球位置：

$$\begin{cases} \text{赤纬}(\delta) = 35^\circ \text{N} \quad (\text{极距}(\Delta) = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ) \\ \text{格林时角}(t_G) = 280^\circ \text{W} = 80^\circ \text{E} \quad (\text{半圆周算法}) \end{cases}$$

从上面知道，某天体的天球位置是用格林时角和赤纬表示的。但是，该天体在地球上的投影点位置（即天体地理位置），必须用经度和纬度来表示。在图1-8中可以看出，因为天、

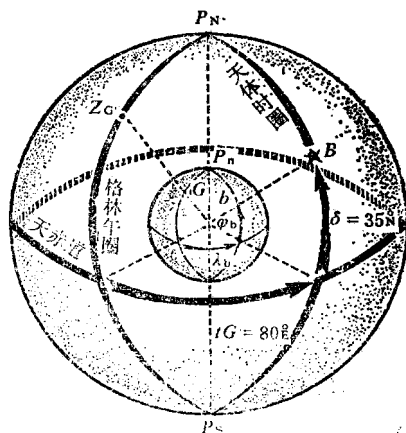


图 1-8

地球之间点、线、圈互相对应的道理，所以B天体的天球位置（格林时角和赤纬）和B天体的地理位置b（经度和纬度），这二者之间有着下述的数量对应关系：

$$\begin{cases} \text{经度}(\lambda) = \text{格林时角}(t_g) \text{ (半圆周算法)} \\ \text{纬度}(\varphi) = \text{赤纬}(\delta) \end{cases}$$

公式指出了，只要知道B天体的天球位置（格林时角和赤纬），就可求得该B天体的地理位置b（经度和纬度），如图1-8中：

$$\text{已知 B 天体天球位置} \begin{cases} \text{格林时角 (半圆周算法)} = 80^\circ \text{ E} \\ \text{赤纬} = 35^\circ \text{ N} \end{cases}$$

根据上述对应关系，即得：

$$\text{B 天体的地理位置 (b)} \begin{cases} \text{经度} = 80^\circ \text{ E} \\ \text{纬度} = 35^\circ \text{ N} \end{cases}$$

二、春分点赤道坐标系（第二赤道坐标系）

在天赤道上有一个基准点，叫春分点（ γ ），若以春分点时圈（即通过春分点的时圈）和天赤道为基准大圆，则天体在天球上的位置可由赤经和赤纬两坐标来表示。

赤经（ α ）（Right ascension）：它是春分点时圈和天体时圈在天赤道上所夹的弧距。由春分点为 0° 算起，一直向东算到天体时圈止，范围 $0^\circ \sim 360^\circ$ ；由于赤经只向一个方向计算，故不需命名；在图1-9中：

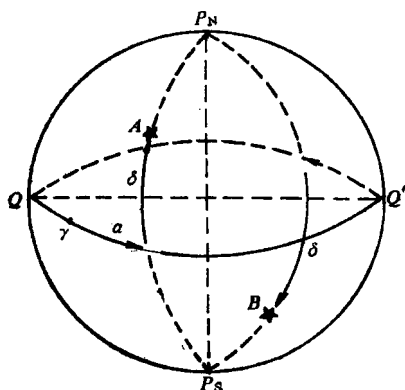


图 1-9

$$\text{A 天体赤经}(\alpha) = 50^\circ$$

$$\text{B 天体赤经}(\alpha) = 210^\circ$$

为了天文计算的方便，在《航海天文历》中的恒星视位置表中给出的坐标是共轭赤经（ τ ）（Sidereal hour angle）和赤纬。其中

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

即：共轭赤经（ τ ），乃以春分点时圈为 0° ，向西算到天体时圈止，范围 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。它与格林时角中用圆周算法的方向一致。

在图1-9中：

$$\text{A 天体 共轭赤经}(\tau) = 310^\circ$$

$$\text{B 天体 共轭赤经}(\tau) = 150^\circ$$

三、地平坐标系（Horizon System of Coordinates）

天球坐标中，还有与测者密切有关的另一系统——地平坐标系。地平坐标系是以正北（或正南）方位圈和真地平圈为基准大圆，天体在天球上的位置乃由方位和高度两个坐标来表示。

已知：天体方位圈，乃是通过天顶、天体、天底的半个大圆。所以：

正北方位圈：通过天顶、正北点、天底的半个大圆；

正西方位圈：通过天顶、正西点、天底的半个大圆。

2) 圆周算法: 从N点顺时针方向计算, 范围 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$, 用三位数字表示, 不必注上命名符号。

解: 因为本题中半圆周算法与圆周算法的方向一致, 所以方位 (半圆周算法) = $N80^{\circ}E$ = 080° (圆周算法)

解：方位（半圆周算法） $= 360^{\circ} - 80^{\circ} = 280^{\circ}$ （圆周算法）

2. 天体高度 (h) (Altitude) : 真地平圈和天体中心在天体方位圈上所夹的弧距。由真地平圈为 0° , 算到天体中心止, 范围 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$; 当天体在上天半球, 高度符号为“+”, 在下天半球, 高度符号为“-”。

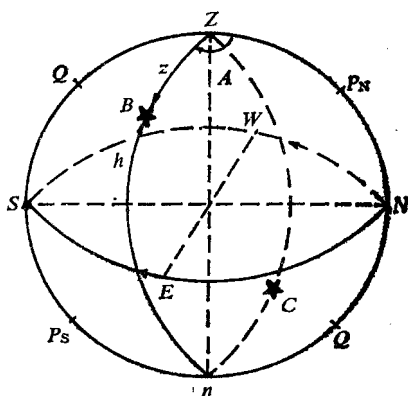


图 1-10

在图1-10中

B天体 高度(h) = +46°

C天体 高度(h) = -55°

天体顶距(z) (Zenith distance)：测者天顶和天体中心在天体方位圈上所夹的弧距，称为天体顶距。天体顶距一律从测者天顶点为 0° 算起，沿着天体方位圈一直算到天体中心止，范围 $0^\circ \sim 180^\circ$ ；它与天体高度的代数和等于 90° ，即 $h + z = 90^\circ$ 或 $z = 90^\circ - h$ 。

在图1-10中

B天体 顶距(z) = $90^\circ - 46^\circ = 44^\circ$

C天体 顶距(z) = $90^\circ - (-55^\circ) = 145^\circ$

四、作天球图

1. 天球坐标的综合图示

如图1-11所示，在天球上的任一天体，可由下述各坐标值表示（图中测者在南纬，天南极为仰极）。

时角 t }
 赤纬 δ }
 赤经 α } 共轭赤经 τ }
 或 赤纬 δ } 赤纬 δ }
 方位 A } 方位 A }
 或 高度 h } 顶距 z }

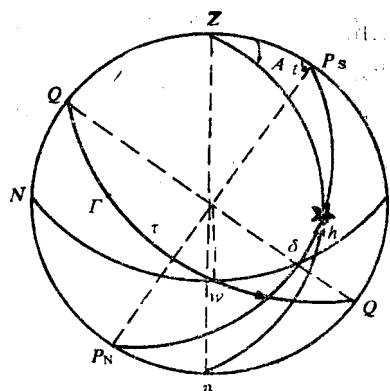


图 1-11

并将各坐标的定义、算法与命名，列表小结于下：

坐 标	定 义	算 法 及 命 名	共轭或余值
赤道坐标系	时角 在仰极处的球面角 (测者午圈→时圈)	半圆周算法 $0^\circ \sim 180^\circ$ $\overset{E}{W}$ 圆周算法 $0^\circ \sim 360^\circ$ (W)	
	赤纬 在天体时圈上夹的弧距 (天赤道→天体)	$0^\circ \sim 90^\circ$ $\overset{N}{S}$	极距 $\Delta = 90^\circ - \delta$
	赤经 在天赤道上夹的弧距 (春分点时圈→天体时圈)	$0^\circ \sim 360^\circ$ (E)	共轭赤经 (τ) $= 360^\circ - \text{赤经 } (\alpha)$
地平坐标系	方位 在天顶处的球面角 (正北(南)→天体方位圈)	半圆周算法 $0^\circ \sim 180^\circ$ (第一字母从纬度，第二字母从时角) 圆周算法 $0^\circ \sim 360^\circ$ (由N点顺时针方向)	
	高度 在天体方位圈上夹的弧距 (真地平圈→天体)	$0^\circ \sim 90^\circ$ 在上天半球为“+” 在下天半球为“-”	顶距 (z) $= 90^\circ - h$

2. 仰极高度和测者纬度的关系

如图 1-12 所示，设测者在北纬，则天北极 (P_N) 是仰极， $\widehat{NP_N}$ 是仰极高度， $\widehat{QZ}$ 乃由地球上测者地理纬度扩展而来，所以 $\widehat{QZ}$ 的量值等于测者纬度。

因为

$$\widehat{NP_N} + \widehat{P_N Z} = 90^\circ$$

$$\widehat{QZ} + \widehat{P_N Z} = 90^\circ$$

所以

$$\widehat{NP_N} = \widehat{QZ} = \varphi$$

即

仰极高度的量值等于测者纬度

3. 作天球图——测者子午圈投影图

作天球图就是用作图的方法，由已知的两个坐标值画出天体的位置，然后通过坐标系的转换，能概略地求出其余的坐标值。当然这种作图方法谈不上有多大的精确度。但是学会作

夫球图的重要意义，在于一方面能够进一步树立天球坐标的概念，弄清楚各坐标间的相互关系，另一方面，很重要的理由是为了提高分析与解决天文工作中实际问题的能力。

根据天体已知坐标求其余坐标的概略值，仅介绍较常用到的测者子午圈投影图的作图方法：

例： $\varphi = 30^\circ \text{N}$ 某天体坐标： $\delta = 32^\circ \text{N}$ $t = 50^\circ \text{W}$ ，求该天体 h 和 A 的概略值。

解：

1) 画出测者子午圈，真地平圈与天赤道

如图1-13所示，用某一适当长度作半径画一个圆周，便是测者子午圈。在该圆周上端标上天顶 Z ，下端标上天底 n 。因为本例的时角为西（W），故天球图的正面应是西天半球，所以北点（N）应在左边，而南点（S）应在右边。仰极（ P_N ）离N点应为 30° （已知仰极高度=测者纬度），可用目力估计将其标出 $\widehat{P_N N} = 30^\circ$ 。

连结N·S二点的线段 $\overline{NS}$ ，用来表示测者的真地平圈。

由 P_N 点可定出另一端的 P_S 点，再连结成 $\overline{P_N P_S}$ 线段，然后再给出垂直于 $\overline{P_N P_S}$ 的大圆 $\widehat{QQ'}$ ，此 $\widehat{QQ'}$ 表示天赤道。

$\widehat{QQ'}$ 与真地平圈相交于W点，所以 $\widehat{NWS}$ 就是表示处在西天半球的真地平圈。

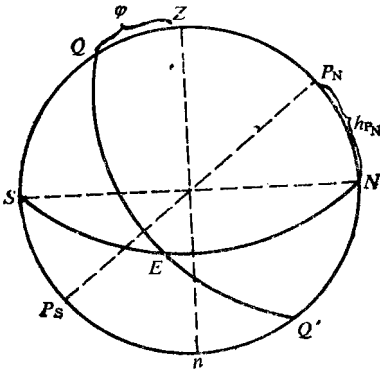


图 1-12

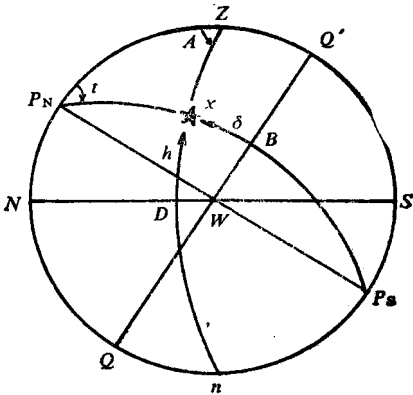


图 1-13

2) 根据已知坐标值，标出天体在天球图上的位置

在 $\widehat{QQ'}$ 上估取一点B，使得 $\widehat{Q' B} = t = 50^\circ \text{W}$ （目力估计）

过 P_N 、B、 P_S 各点，顺手绘出圆弧 $\widehat{P_N B P_S}$ （即天体时圈），在此圆弧上取一点x，使得 $\widehat{B x} = \delta = 32^\circ \text{N}$ ；此时，x点便是天体在天球图上的位置。

3) 求出其余坐标—— h 和 A 的概略值

再顺手绘出天体方位圈 $\widehat{zx n}$ ，并与真地平圈 $\widehat{NWS}$ 相交于D，此时， $\widehat{D x} = h$ ，目力估计 h 约为 45° ； $\widehat{ND} = A$ ，目力估计 A 约为 $N72^\circ \text{W}$ 。

4. 天文三角形 (Nautical Astronomical triangle)

在实际工作中将赤道坐标与地平坐标两坐标值之间的换算，都是通过解算球面天文三角