

高等学校教学用书

航海天文学

刘荣霖编著

高等教育出版社

911
5

—— 科学出版社 ——

航海天文学

—— 科学出版社 ——

—— 科学出版社 ——

高等学校教学用书



航 海 天 文 学

刘荣霖 编著

高 等 教 育 出 版 社

本书基本上是按大连海运学院航海系船舶驾驶专业 1958 年所订的“航海天文学”教学大纲编写的。书中系统地阐述现代航海天文学的原理，特别是苏联在航海天文学方面的先进经验和最新成就，同时对于我国目前商船上所用航海天文历、航海计算表以及所存在的一些实际情况，也作了介绍。

本书可作为高等学校航海系船舶驾驶专业的教材，也可作为中等专业学校相同专业的教学参考书。具有相当实际经验和一定理论水平的海员亦可自学本书。

2P96/40

航 海 天 文 学

刘荣霖编著

高等教育出版社出版 北京宣武门内承恩寺7号
(北京市书刊出版业营业许可出字第054号)

上海市印刷四厂印刷 新华书店发行

统一书号 18010/004 开本 787×1092 1/16 印张 21 6/8 插页 13
字数 527,000 印数 1—1,200 定价(4) 2.20
1959年12月第1版 1959年12月上海第1次印刷

640

序 言

本书内容基本上系按照大连海运学院航海系船舶驾驶专业 1958 年航海天文学教学大纲的要求和系统而编写的。在编写时主要参考了苏联近几年来该门课程所有的几本教科书和该院教学中所编的讲义。同时在内容上也补充了一些作者几年来在这门学科当中的某些研究成果和个人见解,其中主要的计有:

- (1) 第十四章有关海上天文观测方法分类和计算方法分类的分析。
- (2) 第十五章利用 H. O. 214 表产生误差原因的分析,及赤纬临界点附近天体计算高度的求法。
- (3) 第十六章求最大高度差额的列线图。
- (4) 第十七章对在图上把等高度线当作直线所产生的误差之修正所用的列线图。
- (5) 第十七章对某些误差的分析和天文误差三角形的最或然船位的证明。
- (6) 附编中所列的某些特殊计算方法。

向苏联学习是我们坚定不移的方向,因而作者在编写本书时特别重视苏联在这门科学中的最新成就和先进经验,作为一本教科书所应该介绍的材料,作者都尽可能地编入。现在列举最重要的几节如下:

- (1) 平均水准六分仪,
- (2) 卡氏俯角仪,
- (3) 曾氏一般算法,
- (4) 盖氏近中天观测算法,
- (5) 船位误差理论,
- (6) 天体方位角相差很小时,绘位置线定船位的特殊方法。

尤其不可忽视的是苏联教材对这门课程所表现的严密的系统性和科学性以及理论联系实际等各方面的优点。

作者也注意到了我国商船上的实际情况,如目前虽已有了自编的航海天文历,但是航海计算表仍然是用旧的诺氏航海表(Norie's tables),所以有关普通的计算,多以该表为准。此外目前我国商船上,对天体高度方位表及方位角表,仍用 H. O. 214 表、戴氏表和柏氏表等等,关于这些表的情况也给与足够的重视和介绍。

在编写中,作者还力图达到内容新颖,语文简洁,篇幅紧凑,分量适中等要求以便利学生学习。同时也适当地注意到这门科学的发展情况。但是一定还会有很多缺点,甚至有错误。希望读者能不吝加以指出,以便改进。

本书系供海运学院航海系船舶驾驶专业作为教材之用。对于中等学校同一专业,也可以作

为教学参考书用。对已具有一定理论水平的船上船员, 希望提高其业务水平和充实理论知识者, 可以作为自修读物之用。书中凡非教学大纲所必需和某些比较繁难的、以及涉及某项细节, 对初学者可以忽视的, 均加以符号* 以资识别, 读者可以自行决定取舍。如果忽略了这些节目, 并不损害叙述的完整性, 也不至使读者在阅读上发生前后不相呼应的困难。包括了这些内容是因为考虑到目前我国此项读物的缺乏的缘故。

本书曾经李浑成、王璽琨等同志仔细地审阅了原稿, 并对原文提出了很多宝贵和有益的意见, 作者谨致深深的谢意。

刘 荣 霖

1958年9月

目 录

序言	
緒論	1
第一章 天球和天体的球面坐标	4
§ 1-1 天球	4
§ 1-2 天体的地平坐标系和赤道坐标系	6
§ 1-3 天球上問題的图解	9
§ 1-4 天体的天文三角形的解算	11
第二章 天体的周日視运动	14
§ 2-1 天体的周日視运动的一般現象及其解釋	14
§ 2-2 天体的周日視运动对不同緯度上的观测者的特殊現象	16
§ 2-3 由周日視运动所引起的天体坐标的变化	17
第三章 太阳周年視运动	20
§ 3-1 黄道、二分点及二至点	20
§ 3-2 天体黄道坐标的概念	22
§ 3-3 太阳赤經、赤緯变化的性質, 求給定日期太阳赤經、赤緯的近似值	22
§ 3-4 在不同緯度地区太阳周年視运动的不同現象	24
§ 3-5 太阳周年視运动的解釋	26
§ 3-6 恒星周年視差和光行差	28
§ 3-7 岁差和章动	29
第四章 月亮和行星的視运动	32
§ 4-1 月亮視运动及其解釋	32
§ 4-2 月相及月齡	33
§ 4-3 行星的視运动及其解釋	34
第五章 時間的測量	38
§ 5-1 关于時間測量的一般見解, 时数和度数的表示法	38
§ 5-2 恒星时	39
§ 5-3 視太阳时	40
§ 5-4 平太阳时	41
§ 5-5 时差	43
§ 5-6 恒星时時間单位与平时時間单位的关系	44
§ 5-7 年和历法	44
第六章 在不同子午綫上有关時間的問題	46
§ 6-1 同一时刻在不同子午綫上的時間的关系和同一时刻在不同子午綫上的时角的关系	46
§ 6-2 区时	47
§ 6-3 給定区时求近似恒星时和反算举例*	50
§ 6-4 日界綫	51
第七章 天文鐘及其它計时器	52
§ 7-1 天文鐘、甲板表及秒表的用途和构造特点	52

§ 7-2 由天文钟或秒表的时间求世界时	53
§ 7-3 天文钟误差的测定	54
§ 7-4 天文钟的积差和日差	58
§ 7-5 影响天文钟日差各种原因	59
§ 7-6 对天文钟等的管理、维护和实际操作	59
第八章 航海天文历	63
§ 8-1 天文历书的出版概况和我国航海天文历的内容	63
§ 8-2 航海天文历的使用	64
第九章 星空与星球仪	73
§ 9-1 星等	73
§ 9-2 主要的星座及主要的恒星	74
§ 9-3 目视认识主要星座及主要恒星	76
§ 9-4 辨识星体的几种实用方法	85
§ 9-5 星球仪的构造和使用	85
§ 9-6 恒星片的构造和使用*	87
第十章 六分仪	89
§ 10-1 六分仪的原理和构造	89
§ 10-2 游标及鼓轮读数的原理	92
§ 10-3 零点差及指标差、化测角到大镜旋转中心	94
§ 10-4 指标修正量的测定及调整	97
§ 10-5 观测者应行校正的六分仪误差	99
§ 10-6 六分仪的永久性误差、六分仪证书	101
§ 10-7 六分仪的保管和维护	102
§ 10-8 观测前六分仪的准备工作	103
§ 10-9 平均机水准六分仪的结构、原理和使用观测的基础知识	104
§ 10-10 平均机水准六分仪的光学原理*	107
§ 10-11 平均机水准六分仪的平均机原理*	108
§ 10-12 无线电六分仪的基本原理*	111
第十一章 六分仪观测法	114
§ 11-1 地面物标间的角度的测量	114
§ 11-2 在海上用六分仪测量天体高度的一般动作原理	114
§ 11-3 在海上测量太阳、月亮、恒星及行星高度的操作程序	116
§ 11-4 在海上测量天体的近中天、中天和最大(或最小)高度的观测程序	118
§ 11-5 过天顶的天体高度测量的特点	120
§ 11-6 在人造地平上天体高度的测量*	121
第十二章 天体高度的修正	123
§ 12-1 总说	123
§ 12-2 天文蒙气差	124
§ 12-3 海地平俯角	126
§ 12-4 卡氏俯角仪的构造和使用	129
§ 12-5 卡氏俯角仪的理论基础*	181
§ 12-6 天体的视差	134
§ 12-7 天体的半径差	135
§ 12-8 海地平线上天体高度的逐步修正	186
§ 12-9 海地平线上天体高度的总修正	188
§ 12-10 岸线上天体高度的修正	141
§ 12-11 过天顶的天体高度修正特点	142

§ 12-12	人造地平上天体高度修正特点*	143
§ 12-13	附有水准及平均机六分仪的天体高度修正特点	143
§ 12-14	天体低高度的修正特点*	144
第十三章 观测误差		145
§ 13-1	观测误差的种类	145
§ 13-2	偶然误差的基本性质	146
§ 13-3	误差尺度的选择	148
§ 13-4	算术平均值的误差	149
§ 13-5	均方误差的计算	150
§ 13-6	偶然误差和最大误差	152
§ 13-7	最小二乘法的概念*	155
§ 13-8	最小二乘法原理的简单应用*	158
§ 13-9	误差椭圆	157
§ 13-10	函数误差	159
§ 13-11	由表中查对数或自然数的和或差的均方误差	161
§ 13-12	天体高度观测的精确度	163
§ 13-13	连续观测的平均值问题	167
第十四章 海上测定地理坐标总论		169
§ 14-1	船位及其天顶的关系	169
§ 14-2	天文观测的分类	170
§ 14-3	观测高度求船位的计算方法	171
§ 14-4	分别求经度、纬度的最有利条件	172
§ 14-5	同时求经度、纬度的最有利条件	173
第十五章 求天文位置线及测定船位		175
§ 15-1	天体的地理位置及等高度圈	175
§ 15-2	等高度圈求船位的概念和在地球仪上解題	176
§ 15-3	发现等高度线的历史情况*	177
§ 15-4	截距法求等高度线	177
§ 15-5	求天体的计算高度及计算方位角的计算方法	180
§ 15-6	用半正矢公式及正弦公式求等高度线要素	181
§ 15-7	用酋氏法求等高度线要素	183
§ 15-8	用天体高度方位表求等高度线要素	186
§ 15-9	利用 H. O. 214 表产生误差原因的分析 and 赤緯临界点附近天体高度的计算問題*	190
§ 15-10	求等高度线要素的仪器	193
§ 15-11	在海图或格紙上用等高度线定船位	195
§ 15-12	天文观测定船位的配合种类	198
§ 15-13	白昼同时观测求船位	199
§ 15-14	白昼异时观测太阳求船位	202
§ 15-15	晨昏同时观测恒星求船位	206
§ 15-16	两观测天体的方位差很小时繪位置线定船位的特点	213
§ 15-17	恒星等高度线图	215
§ 15-18	用非常大的太阳高度 ($>88^\circ$) 观测定船位	217
§ 15-19	单个位置线的应用	220
第十六章 海上分别测定纬度和经度及测定船位的一些特殊情况		223
§ 16-1	中天高度求纬度	223
§ 16-2	近中天高度求纬度	227
§ 16-3	最大高度求纬度	232
§ 16-4	北极星高度求纬度	237

§ 16-5	卯酉圈或近卯酉圈高度求經度	240
§ 16-6	近午等高度求經度*	242
§ 16-7	当所测天体之一位于中天或近中天或者是北极星时测定船位的特别配合	244
§ 16-8	当所测天体之一位于卯酉圈或近卯酉圈时测定船位的特别配合	246
§ 16-9	当位置綫之一为无线电测向或为岸上目标目視方位时测定船位的特别配合	247
第十七章	在海上用天文方法求船位的誤差問題	249
§ 17-1	一条天文位置綫的誤差問題	249
§ 17-2	天体的观测高度和計算高度的誤差及截距的誤差	250
§ 17-3	截距法的誤差	251
§ 17-4	在图上把等高度圈当做直綫所产生的誤差及其修正办法	254
§ 17-5	二条天文位置綫所交成的船位的誤差問題	257
§ 17-6	观测間航程、航向的誤差对观测船位的影响	261
§ 17-7	三条天文位置綫所交成的船位問題	262
§ 17-8	求天文誤差三角形的最或然船位*	264
§ 17-9	四条及四条以上位置綫所交成的船位問題	266
第十八章	天体視出沒和晨昏朦影時間的計算	270
§ 18-1	天体出沒的一般問題	270
§ 18-2	太阳出沒時間的計算	272
§ 18-3	月亮出沒時間的計算	275
§ 18-4	晨昏朦影及其時間的計算	277
§ 18-5	昼夜明暗图的繪制	278
第十九章	天文方法求罗經修正量	279
§ 19-1	天文方法求罗經修正量的原理、有利条件和观测方法	279
§ 19-2	天体真方位的計算	280
§ 19-3	利用太阳真出沒的方位测定罗經修正量	282
§ 19-4	計算月亮視出沒的真方位	283
§ 19-5	利用北极星方位测定罗經修正量	283
§ 19-6	磁方位曲綫图的編制	284
附編		286
附 § 1	高度近等赤緯观测的特殊計算法	286
附 § 2	高度近等緯度观测的特殊計算法	287
附 § 3	赤緯近等緯度观测的特殊計算法	288
附 § 4	近东西时圈观测的特殊計算法	288
附 § 5	在赤道附近航行时的特殊計算法	289
附录 1	节录 1955 年航海天文历	291
附录 2	曾氏表	297
附录 3	节录苏联航海表 MT-53	323
附录 4	主要符号及略写一覽表(附英文名称)	337
参考文献一覽表		339

緒 論

从航海的角度来看,航海天文学是航海专业若干独立的而又互相有关的主要课程之一。它的中心内容是叙述如何在海上利用天体的观测来决定船位的问题。也讲到如何利用天体方位的观测来求罗经误差,如何计算天体的出没以及晨昏朦影的时刻等等。

当船舶在陆地或岛屿附近航行时,航海员通常主要是利用岸上物标如灯塔等的方位来测定船位。在能见度不良时,船位可以利用雷达和无线电测向或以类似装置来测定。但是当船舶进入到大海以后,除了在适当情况下,仍然可以利用地面无线电站标的方法去测定船位外,主要的便是依靠天文的方法来测定船位了。

利用天文观测的方法与利用地面物标的方法来测定船位,在本质上有其类似之处。天体好象天空的灯塔一样。在航海学上,我们是利用已知的地面灯塔的位置,来推出未知的船位。在航海天文学上,我们同样也是利用已知的空中灯塔的位置,来推出未知的在地面上的船位。当我们观测了一个地面物标的距离时,我们便得到一条圆弧形状的等距线(或位置线)。当我们观测了一个地面物标的方位时,我们便得到等方位的一条位置线。同样地,当我们观测了一个天空物标的方位时,我们也是得到等方位的一条位置线。

再从天文学的角度来看,航海天文学是实用天文学的一个部分。实用天文学研究应用专门制造的仪器和各种方法来实施除天体物理学以外的天文观测。它包括天体坐标、时间、观测地点经纬度、以及地面目标的方位的测定等。从测站的性质来讲实用天文学大致又可分为陆上的、航海的、航空的三个部分。

这样,我们可以了解到航海天文学在航海上和在天文上的地位和作用的概况了。

天文学是由于人类物质生活的需要而产生的。它是在文化发展过程中最古老的一门科学。中国是世界文明古国之一,天文学的发展也最早,贡献也最大。这不仅仅由于中国有最早的各种天象,如日食、月食、流星、彗星、日珥和太阳黑子等记录,而且也由于当时中国的观测工作最为精确。例如,我国在尧时(约公元前 2000 年)规定 360 日为一年。我国秦时(公元前 246—207 年)的颛顼历和汉时(公元前 104 年)的太初历又进一步以 $365\frac{1}{4}$ 日为一年,比儒略历要早一百余年。元朝郭守敬制授时历确定一年为 365.2425 日又比格里历早 301 年。汉朝张衡(公元 78—139 年)制浑天仪能自动验证天象,巧妙绝伦。中国古代天文观测是这样的精确以致晋虞喜(约公元 330 年)能发现岁差,晋姜岌能发现大气折射,齐祖冲之(公元 429—500 年)能发现北极的移动,唐一行僧(公元 683—727 年)能发现恒星的移动。

我国古代不但在天文研究方面为世界各国的先驱,而且在航海事业上也是最早、最发达的国家之一。西欧在十五世纪以前还只有小型平底帆船,仅能白昼顺风沿岸航行。但是我国在两千多

年前已有船舶远涉重洋，与日本南洋等地进行了貿易。即使西欧的航海史学家在其著作^①中也不得不承认中国船队在第四世紀即已訪問了印度港口和非洲东岸。远的不說，仅从明朝我国著名的航海家郑和七下西洋（1408—1435）的航海事业来看，其規模之大航程之远也是該时举世无匹的。郑和的船队数达60余艘，大者长四十四丈四尺，闊十八丈^②，远及紅海亚丁等地。究竟当时郑和的船舶，如何利用天文知識来达到航行的目的，虽尙有待查考，但是他除靠磁罗經以定航向外，我們可以相信他也利用了天体的出沒、天体的中天、特别是利用了北极星来起定向的作用的。由于我国古代天文学的观测那样发达，我們也有理由相信，他可能也利用了北极星的高度以及太阳和其它天体的中天高度以定緯度的。这便是航海天文学的雛形。

我們祖先在天文学上和航海事业上虽然都有輝煌的成就，可是封建主义长期束縛着生产力的发展，使得这些成就不能发揚光大。在欧洲，从十四世紀末十五世紀初，由于經濟的发展，在当时封建主义的母胎里产生了資本主义最初萌芽。新的生产方式产生了新的阶级——資产阶级。資产阶级为了追求利潤，便促进了海外貿易和航海事业的发展。航海事业的发展要求更多的天文知識，于是在很多的欧洲国家里都建立了天文台。天文学的发展，又反过来提供了天体位置的可靠数据，从而使航海方法更为完善。因此，天文学发展的历史和航海发展的历史是分不开的。

在海上測定船舶緯度的問題，倒不是一件困难的事情。在哥倫布时代航海家們利用象限仪和十字杆之类的测角仪器来测緯度。这种仪器固然不是很精确，但是还能够滿足当时航海的要求。随着十五世紀末哥倫布发现了新大陆之后，为了有效的建立欧美两洲間的海上交通，測定經度的任务是十分重要而且不是一件容易的事情。西班牙、荷兰、英国、法国先后悬赏奖励解决海上測定經度方法的发明。曾經提出过若干測定經度的方法，例如測量月掩星的时刻、观测木星的卫星掩食、測量月亮和恒星的角距、以及利用磁罗經的磁差、和大西洋暖流等。在这些方法中，除測量月亮和恒星的角距外，其它方法都受各种条件限制，在航海时运用不甚方便，甚至有时失效。因此在当时认为利用測量月亮对恒星的角距来測定經度是最有前途。1675年格林尼治天文台的建立、1730年美国哥德弗莱（Thomas Godfrey）和1731年英国人哈特利（Hatley）制成六分仪亦皆直接地和間接地与企图利用月亮与恒星角距的測定来求經度有关。为了同样目的，俄国科学院院士欧拉創月亮运动的理論。根据这个理論以及对恒星的实测，格林尼治天文台1763年編制出版了为利用月亮与恒星角距測定經度的历书。

在这个时候利用精确机械时計，即所謂天文鐘的方法，来測定經度也在很多国家中进行。其中英国人哈利森（John Harrison）1761年制成了他的第三架天文鐘，經過海上試用，証明效果良好。人們通常便把1761年认为是天文鐘的发明年代。測量月亮与恒星角距的方法后来逐渐被淘汰，而利用天文鐘求經度的方法一直沿用到今天。

在十八世紀末叶和十九世紀初叶，航海家已經能够在海上相当精确地測定地理坐标（經度和緯度）。在那个时候，这两个坐标都是分別来求的。1837年美国船长沙姆納，在无意中发现可以利用等高度綫的方法来同时解算經緯度。他在1843年所发表的解算方法，还是不很方便的。

① 見 Commander J. B. Hewson, F. R. G. S. 著 "A History of the Practice of Navigation" 1951 年版 44 頁。

② 見瀛涯壯覽。

1849年俄国航海家阿基莫夫(Акимов)提出經度法的解算方法,这个方法在1875年又由法国人圣希勒尔(St. Hilaire)提出而在今天仍是被广泛采用的截距法的基础。

俄国学者波波夫的无线电的发明,大大地提高了测定时间和經度的精确度。1941年苏联学者卡伏拉依斯基(Каврайский)所发明的俯角仪又一次提高了海上测定地理坐标的精确度。

本世纪以来航海天文学的发展主要表现在仪器制造的更完善、編制新的計算表册和新的航海天文历、創立位置綫和船位的誤差理論以及創立新的特殊的計算方法,使計算更加簡便和精确。一直到現在航海天文学仍然在不断地发展着,并且和其它科学一样航海天文学还有其广阔的发展前途。目前它的主要缺点在于白天遇到云雾天气时航海天文学的方法就不能利用,夜晚利用也不甚方便,并且天体的方位尚不能精确地测量和利用,在計算工作方面尚不能自动化。这些缺点的根源在于我們只利用了天体的光波輻射,而沒有有效地利用天体的其它輻射;在于在搖摆顛簸的海船上建立稳定的精确的水平面和在稳定的水平面上建立精确的指向尚有困难;在計算方面自动快速的电子計算机之类的計算仪器还不能在海船上簡便地采用。解决这个困难和問題便是航海工作者和有关的科学工作者的主要任务。

我国古代在天文和航海两方面皆有其光荣的历史。由于长期封建主义的束縛,特别是近百年的帝国主义的侵略和反动政府的統治,使得我国一蹶不振。解放后,情况完全不同了。在短短不及十年中,我国航海和天文事业在党的领导下已經有了新的成就。自从1952年起我国又有自己的天文年历。1955年起我国已有了自編的航海天文历。近年又已能自己制造六分仪。船員們和航海工作者們已經开始了初步的研究工作,而且获得了初步的成就。在破除迷信,解放思想的条件,在总路綫的光輝照耀下,随着我国航海事业之日益繁荣,航海天文学在我国毫无疑問亦将获得应有的发展。

第一章 天球和天体的球面坐标

§ 1-1 天球

我们在日常生活中都看到过太阳、月亮、恒星和行星。这些宇宙间的物体以及宇宙间其它物体，我们都称为天体。天体在空间的相对位置，我们可以用坐标系（直角坐标系或极坐标系）来定出，这些坐标系的原点可以选在地球中心，也可以选在太阳的中心。实际上天文学家为了研究某些天文问题都这样做。但是对于航海天文学的问题，如果也这样做，便会带来不必要的困难。由于天体离观测者很远，而且不可能用直接方法来测定天体离开我们的远近，因此除了某些特殊的天文问题而外，我们所关心的不是天体离开我们的距离远近，而是它在什么方向。至于在三度空间中各个不同方向之间的几何关系，我们已知，可以用球面三角学的办法求解。这就有必要引出下述的天球概念。

在图 1-1 中， A 表示观测者所在地； AZ 是该地的铅垂线； O 是地球中心； $p_n p_s$ 是地轴； qq' 为地球赤道； HH 是在 A 点垂直于铅垂线 AZ 的平面，在该平面上的东西南北方向正如航海学上所规定的。

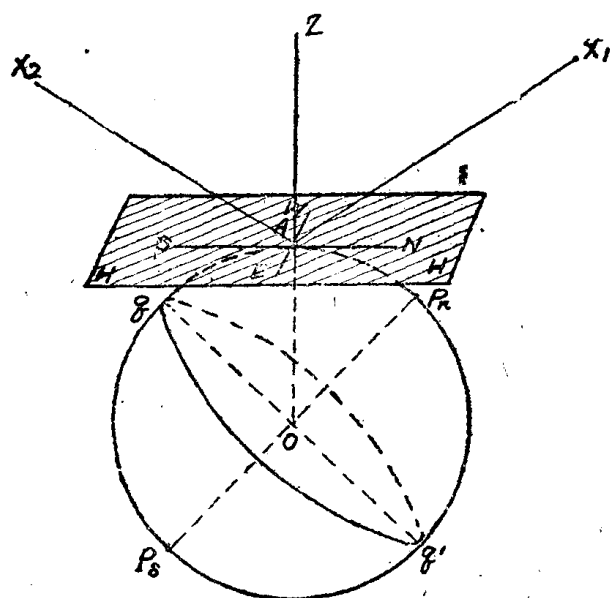


图 1-1

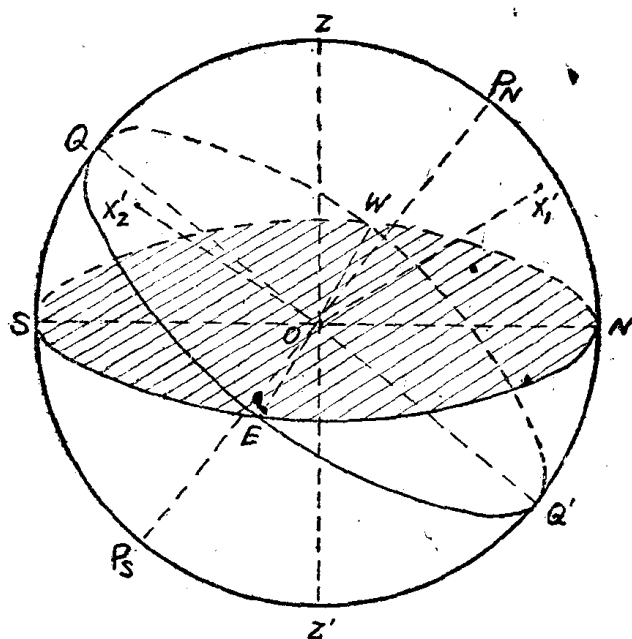


图 1-2

图 1-2 是以任意点 O 为中心，任意长为半径的球体。通过 O 引一直线 $P_n P_s$ 平行于地轴 $p_n p_s$ (图 1-1) 交球面于 P_n 及 P_s 点。 $P_n P_s$ 线称为天轴， P_n 点称为北天极， P_s 点称为南天极。通过 O 点引一平面垂直于 $P_n P_s$ 亦即平行于地球赤道 qq' (图 1-1) 交球面于 $QEQ'W$ 大圆，这大圆

称为天球赤道或简称为天赤道。通过 O 点引一直线 $Z'OZ$ 平行于 AZ (图 1-1) 交球面于 Z 点及 Z' 点, Z 点称为天顶, Z' 称为天底。通过 O 点引一平面垂直于 OZ 亦即平行于 HH 平面(图 1-1)交球面于 $NESW$ 大圆, 这大圆称为观测者的天球地平或真地平, 亦可简称为地平。

现在设在图 1-1 中有某一天体 X_1 在 AX_1 方向; 另一天体 X_2 在 AX_2 方向。我们在图 1-2 中由 O 点引一直线 OX'_1 平行于 AX_1 , 引 OX'_2 平行于 AX_2 交球面于 X'_1 点和 X'_2 点, 则 OX'_1, OX'_2 与 AX_1, AX_2 在空间的方向是一致的, 所以 X'_1 和 X'_2 在图 1-2 中便表示在图 1-1 中天体 X_1 和 X_2 的位置。任何其它天体都可按同样的方法把它的位置画在图 1-2 的球体上。该球便称为天球或辅助球。所以天球或辅助球是以任意点为中心任意长为半径的一个球体, 在该球体上任何天体的位置, 都可以用通过球心画平行于该天体的方向的半径交于球面的一点来确定。

通常图 1-2 只称为辅助球或表示天球的辅助球, 而天球这一名称, 却常常用来表示, 当我们仰观天空时所看到的好似一个巨大的空心球。各天体不论它的距离的远近, 好象都处在它的内表面上。换句话说, 在一般天球定义中的任意点通常系取地球中心或观测者的眼睛; 而天球半径取为任意长, 这样所成的球体称为天球。因此一个天体在天球上的位置, 可以定义为由地球中心和这天体的联线交于天球上的一个点。天轴是地轴的延长线。北天极是地轴从北极延伸与天球的交点, 而南天极是地轴从南极延伸交于天球的交点。天赤道是地球赤道平面扩展交于天球的大圆。天顶是观测者所在地的铅垂线向上引伸交于天球的交点。天底是相反的一点。观测者的真地平是通过地球中心垂直于观测者的铅垂线的平面而和天球相交的大圆。

真地平把天球分为二个部分: 地平以上的包含天顶的半球部分, 和地平以下的包含天底的半球部分。

天赤道也把天球分为二个部分: 包含北天极 P_N 的半球部分称为北天半球和包含南天极 P_S 的半球部分称为南天半球。在真地平以上的天极称为仰极, 如图 1-2 中的 P_N ; 在真地平以下的天极称为俯极, 如图 1-2 中的 P_S 。不难看出, 对于北半球的观测者来说, 北天极为仰极, 对于南半球的观测者来说, 南天极为仰极, 所以仰极与观测者的纬度同名。

在图 1-2 中通过两极、天顶和天底的大圆称为观测者的天球子午圈或简称子午圈。天球子午圈也是地面的子午线平面引伸交于天球的大圆。这个大圆交真地平两点, 接近 P_N 的一点 N 称为北点, 接近 P_S 的一点 S 称为南点。天球子午圈包含天顶的半圆 $P_N Z P_S$ 称为午圈, 而包含天底的半圆 $P_N Z' P_S$ 称为子圈。天赤道和真地平交于两点, 可以证明在地平圈上由 N 点或 S 点到这两点的大圆弧同等于 90° ; 我们称它们为东点 E , 和西点 W 。这样真地平便形成了 NE 、 SE 、 NW 、 SW 四个象限。

在天球或辅助球上通过天顶 Z 或天底 Z' 的大圆皆垂直于真地平, 这样的大圆称为竖直线或地平经圈如图 1-3 中的 $ZBDZ'$, $ZQSP_S Z'$ 等。通过 E 及 W 点的竖直线称为卯酉圈如 $ZEZ'W$ 。通过 E 点的半圆称为卯圈; 通过 W 点的半圆称为酉圈。平行于真地平的小圆称为高度平行圈或地平纬圈如 aBa' 。

通过两天极的任一大圆称为时圈或赤经圈如图 1-4 中的 $P_N F B P_S$ 。通过天体, 平行于天赤道的小圆称为赤纬平行圈如 bFb' 。

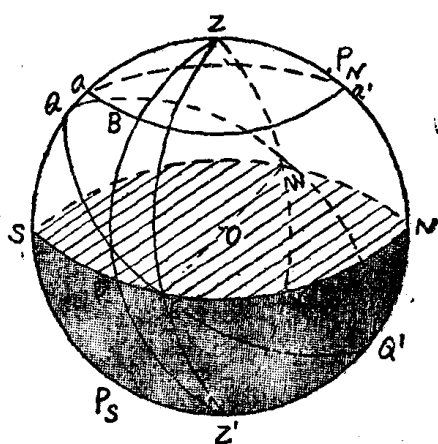


图 1-3

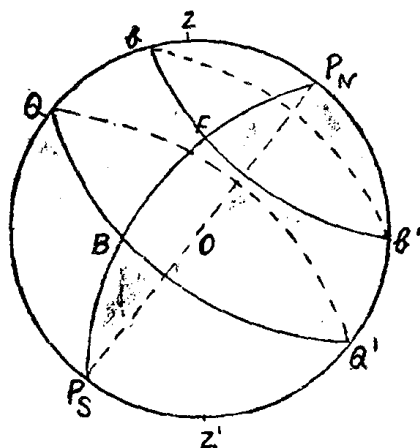


图 1-4

§ 1-2 天体的地平坐标系和赤道坐标系

要确定天体在天球上的位置或要指明天球上某一点的位置，必须采用某种坐标系。在一般立体坐标系中确定一点的位置应具有三个坐标，但是，在航海天文学上我们关心的只是天体的方向而不是它的距离，所以我们只需要用两个量来确定天体在天球上的位置。这种球面坐标以球面上两个互相垂直的大圆来作为起算的基础。

例如在图 1-5 我们用互相垂直的两个大圆 RCJ 和 $BLRI$ 作为坐标基础，以定天球上某一点 K 的位置。 K 点离开大圆 RCJ 的角距为 $\angle COK$ 或 $\widehat{CK}$ ， $\widehat{CK}$ 便是其中的一个坐标。这个坐标确定了 K 点在小圆 LKM 上。但是 K 点在小圆上那一点便须由另一坐标来确定。以大圆 $BLRI$ 为基础， K 点可以由：

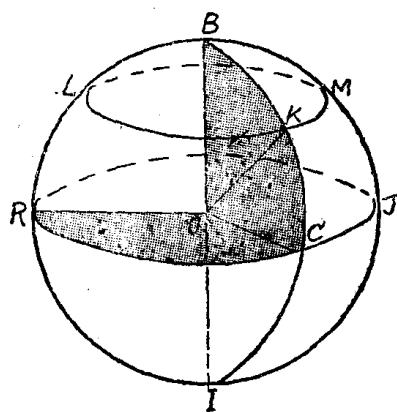


图 1-5

1. 二面角 $R-BO-C$ 来定，
2. 球心角 ROC 来定，
3. 球面角 RBC 来定，
4. 大圆弧 RC 来定。

以上四个量都是相同的，通常我们用大圆弧 RC 或球面角 RBC 作为 K 点的第二个坐标。

大圆 RCJ 称为这坐标系的基本圈， B 点称为基本圈的几何极， R 点称为原点。第一坐标 $\widehat{CK}$ 是 K 点离基本圈的角距（有时也用 $\widehat{BK}$ 作为第一坐标），第二坐标 $\widehat{RC}$ 是由几何极 B 点通过 K 点的大圆与基本圈的交点 C 和原点 R 的角距。

(一) 地平坐标系

地平坐标系的基本圈是真地平，它的几何极是天顶，而原点是北点或南点。如在图 1-6 中，天体 X 的第一坐标是 $\widehat{DX}$ 而第二坐标是 $\widehat{ND}$ 。

$\widehat{DX}$ 是天体 X 的高度，用字母 h 表示。天体的高度是通过天体的竖直线的一段弧长，这

段弧长是截在真地平与天体之間。天体的高度是由真地平向天頂的方向起算由 0° 到 90° 。如天体位于真地平之下, 則高度是負的, 或称为低度。

$\widehat{ZX}$ 是天体的頂距, 用字母 z 表示之。天体的頂距是通过天体的豎直圈上的一段弧长, 这段弧长截于天頂与天体之間。天体的頂距也是从地心到天体的方向与观测者鉛垂綫在球心所成的角度。

显然, 我們有

$$z + h = 90^\circ \quad (1-1)$$

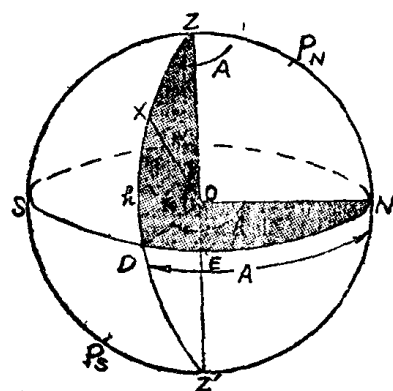


图 1-6

$\widehat{ND}$ 是天体 X 的方位角, 用字母 A 表示。天体的方位角是真地平圈上的一段弧长, 这段弧长是截在观测者的子午圈和通过天体的豎直圈之間。天体的方位角也是在天頂处的球面角, 这角夹在观测者子午圈和通过天体的豎直圈之間。

方位角的计算方法有下列三种:

1. 半周天法,
2. 周天法;
3. 象限法。

按半周天算法, 方位角系由北点或南点起向东或向西计算, 从 0° 至 180° 。当观测者在北半球时应由北点算起, 当观测者在南半球时应由南点算起。这种算法的方位角应附以两个字母, 头一个字母表示真地平原点的名称, 而后一个字母表示天体位在子午圈平面的那一边。例如图 1-6 中天体 X 的方位角可写为 $A = 115^\circ NE$ 。

按周天算法, 方位角系由北点起顺时针方向计算, 从 0° 至 360° 。

按象限算法, 方位角系由北点或南点起向东或向西计算, 从 0° 至 90° 。当天体在卯酉圈以北时则由北点向东或向西计算, 当天体在卯酉圈以南时则由南点向东或向西计算。

兹将三种算法的变换举例列表如下:

由于地平坐标的原点和基本圈在天球上是很明显的, 所以对观测而言, 利用地平坐标来确定天体位置是比较方便的。

由于地球的自转, 任一天体的地平坐标是时时刻刻在改变的, 对于地面上不同地点的观测者, 同一天体的地平坐标也是不一样的, 因此不能利用天体的地平坐标来编制星表。

(二) 赤道坐标系

赤道坐标系的基本圈是天赤道, 而原点是天赤道与午圈的交点。如在图 1-7 中, 天体 X 的第一坐标是 $\widehat{BX}$, 而第二坐标是 $\widehat{QB}$ 或 $\angle ZP_N X$ 。

$\widehat{BX}$ 是天体 X 的赤纬, 用字母 δ 表示。天体的赤纬是通过天体的赤经圈上的一段弧长, 这

方 位 角 算 法		
半周天法	周 天 法	象 限 法
$115^\circ NE$	115°	$65^\circ SE$
$130^\circ SE$	050°	$50^\circ NE$
$13^\circ NW$	347°	$13^\circ NW$
$132^\circ NW$	228°	$48^\circ SW$