

高级船员适任证书考试用航海培训教材

天文航海

Celestial Navigation

丁 勇 王世林 编
冯孝礼 审

大连海运学院出版社

编 者 的 话

本书系根据“海船驾驶员考试大纲”编写的船员培训教材。书中内容是在吸取了大连海运学院天文教研室多年教学和船员培训之经验的基础上而撰写的。

编写过程中,充分考虑了“大纲”所要求的基本内容,针对考试中经常出现的问题作了简洁、明了地阐述;并注意到目前国内同类参考书的匮乏,以及不同层次航海人员的特殊需要,着眼于实际应用,力求避繁就简。另外,书中还列出了一定数量的习题供试前练习之用。

本书第一、四、六、七、八、九章和第三章第一节以及综合测试题由丁勇编写,第二、三、五章由王世林编写,最后由丁勇统稿并由冯孝礼主审。

我们考虑到目前和未来天文航海在航海中的实际地位,在编写的顺序和内容的阐述上与以前有关这方面的书籍做了较大的改进。由于编者水平有限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

1992年5月12日

前 言

根据 1988 年中华人民共和国港务监督局《海船船长、驾驶员考试大纲》的考试科目和知识要求,大连海运学院航海分院、大连海上安全监督局、大连远洋运输公司、大连轮船公司和大连海运学院出版社等企事业单位组建了高级船员适任证书考试用航海培训教材编委会,组织了有丰富教学经验和实践经验的专家编审了这套教材。

这套培训教材在编写中注意理论联系实际,具有较强的针对性;深广度适宜,具有较好的适用性与系统性。教材既有理论阐述,又有例证与思考题,既适用于海船驾驶人员考证培训,渔船、舰艇驾驶人员考证培训,又可作为驾驶员的自学读物,也可作考试发证机关的命题参考依据。

本培训教材共分为:航海学、船舶操纵、船舶货运、航海气象、航海英语[(一)、(二)]、船员职务与海运法规(上、下)、航海仪器、船艺、船舶避碰、地文航海、天文航海。

本书在编审、出版和征订工作中得到交通部安全监督局、航运企业等单位的关心和大力支持,特致谢意。

高级船员适任证书考试用航海培训教材编委会

1992 年 7 月

高级船员适任证书考试用航海培训教材编委会

主任委员 杨守仁

副主任委员 (以姓氏笔划为序)

马文明 王国福 张维询 宋家慧 郭 禹 倪 暹

委 员 (以姓氏笔划为序)

王逢辰 古文贤 刘世宁 刘文勇 李新江 李锦芳

汤树佳 郑经略 赵子骥 赵兴贤 胡正良 荆吉昌

徐德兴 袁安平

目 录

第一章 天文导航概述.....	1
§ 1-1 天文定位基本原理.....	1
§ 1-2 天文导航主要内容.....	1
第二章 天球坐标.....	3
§ 2-1 天球.....	3
§ 2-2 天球坐标.....	8
习题二	19
思考题二	19
第三章 天体视运动	21
§ 3-1 天体周日视运动	21
§ 3-2 太阳周年视运动	24
§ 3-3 行星、月亮视运动简介.....	29
习题三	31
思考题三	31
第四章 时间与天体位置	33
§ 4-1 时间系统概述	33
§ 4-2 恒星时	34
§ 4-3 视时	36
§ 4-4 平时	37
§ 4-5 区时	40
§ 4-6 求测天世界时	42
§ 4-7 求天体位置	46
习题四	49
思考题四	50
第五章 天体真高度	51
§ 5-1 航海六分仪	51
§ 5-2 天体高度的改正	55
习题五	59
思考题五	60
第六章 天文船位线	61
§ 6-1 高度差法	61
§ 6-2 太阳、行星和恒星船位线.....	64
§ 6-3 观测太阳中天高度求纬度	69
§ 6-4 观测北极星高度求纬度	73
习题六	76

思考题六	77
第七章 测天定位	78
§ 7-1 白昼测天定位	78
§ 7-2 晨昏测星定位	85
§ 7-3 天文船位误差概述	95
习题七	99
思考题七	100
第八章 天测罗经差	102
§ 8-1 天测罗经差的原理及其观测注意事项	102
§ 8-2 观测低高度太阳方位求罗经差	103
§ 8-3 观测太阳真出没方位求罗经差	106
§ 8-4 观测北极星方位求罗经差	108
习题八	109
思考题八	109
第九章 导航卫星系统概述	110
§ 9-1 海军导航卫星系统 NNSS	110
§ 9-2 导航星全球定位系统 GPS	114
思考题九	115
综合测试题	116
综合测试题答案	135
习题答案	141
附录一 1986 年航海天文历(摘录)	145
附录二 航海天文历附表(摘录)	161
附录三 天体高度方位表(摘录)	167
附录四 太阳方位表(摘录)	181
附录五 无限航区 1 600 总吨及以上船舶驾驶员考试大纲	187
附录六 1992 年第一期全国海船船员适任证书天文航海统考试卷(大副;二、三副)	190
附录七 书中名词术语代(符)号表	197

第一章 天文导航概述

船舶在海上航行,无论采用什么方法测定船位,往往都可以归结为,求两条或两条以上船位线的交点的问题。在某一时刻,利用航海六分仪观测一天体的高度,经过一系列计算,可以得到一条天文船位线。如果同时观测了两个天体,则可得到两条船位线,该两条船位线的交点,即天文观测船位。根据所测天体高度和观测时的准确时间求天文船位线和船位的问题是天文航海要解决的主要问题之一。

§ 1-1 天文定位基本原理

在航海实际中,通常采用地球的第一近似体——圆球体来研究天文导航的问题,由此而产生的误差一般可忽略不计。图 1-1-1 表示地球, A 为测者, 天体 B 与地心 O 的连线与地面交于点 GP, 称天体的地理位置, 测者用六分仪观测天体 B 的高度, 经几项高度改正后可得到天体地面真高度 h'_t , 而天文航海中需要的是天体地心真高度又称天体真高度 h_t 。由图 1-1-1 可见, 天体真高度为

$$h_i = h'_i + p$$

式中 p 为天体视差, 可以查阅专用表册得到。这样, 每观测一个天体, 利用上式均可求得该天体的真高度。

图 1-1-1 中的圆弧 $\widehat{A GP}$ 可用其所对的球心角 $90^\circ - h_t$ 来表示, 称天体的真顶距 Z 。以 GP 为圆心, 真顶距 $Z = 90^\circ - h_t$ 为半径, 在球面上可画一圆, 如图 1-1-1 中的 $\widehat{AA' A''}$, 测者 A 一定在该圆上, 我们称这个圆为天文船位圆, 即

天文船位圆 $\begin{cases} \text{圆心: 天体的地理位置 } GP \\ \text{半径: 天体的真顶距 } Z = 90^\circ - h_t \end{cases}$

由于在该圆上任意一点的测者,在同一时刻,观测同一天体 B 的高度均相等,所以天文船位圆又称等高圈。天文船位圆的圆心可以根据观测天体高度的时间,从《航海天文历》中查得,而半径可根据天体的观测高度经计算得到。

在某一时刻,测者观测一个天体的高度就可得到一个天文船位圆,测者必定在该圆上,如果同时观测两个天体的高度,则可得到两个天文船位圆,两个天文船位圆交于两点,靠近推算船位 c 的一点,即观测船位,如图 1-1-2 所示。

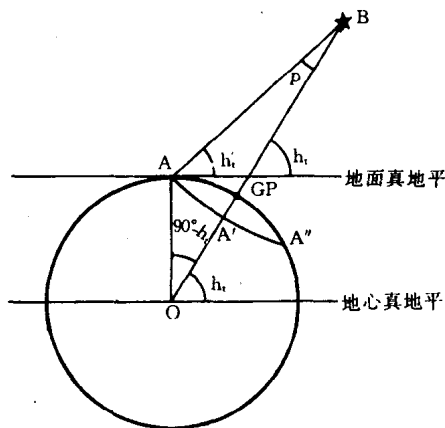


图 1-1-1

§ 1-2 天文导航主要内容

天文导航主要包括三部分内容：一是测天定位，二是天测罗经差，三是卫星导航。前两部分

是本书的重点,而卫星导航实质上是属于无线电导航的内容,但是我国各主要航海院校的教材和船员考试大纲均将这部分内容列在天文导航之中。

一、测天定位

利用天文方法定位,首先要求得天文船位圆,即圆心和半径。圆心 GP 实质上就是天体在地面上的投影点(视地球为圆球体),因此要求得 GP,首先要知道天体在天空中的位置,为确定天体在天空中的位置,则需建立天球和天球坐标系。由于地球自转,使天体随时间产生东升西降的现象,因此,要得到天体在空中的准确位置,则需了解天体视运动和时间。根据观测天体高度时的准确时间,可以从《航海天文

历》中查得天体在天空中的准确位置,这样也就得到了天文船位圆的圆心 GP。本书从第二章到第四章就是按上述过程,解决求天文船位圆的圆心问题。

利用航海六分仪可以测得天体与水天线之间的垂直夹角而求得天体的观测高度,经几项高度改正之后可以得到天体真高度 h_t , $90^\circ - h_t$ 就是天文船位圆的半径。这就是本书第五章要解决的问题。

在一般情况下,天文船位圆相当大,即半径很长(如天体真高度为 30° ,则半径为 $60^\circ = 3600$ 海里)。在航海实际中,不必把天文船位圆全部画出来,而只要画出靠近推算船位附近一小段圆弧即可。由于该圆弧的曲率较小,则可用其切线来代替,这条切线就是我们要求的天文船位线(如图 1-1-2 中的 I—I 和 II—II,两者的交点即天文观测船位)。把画天文船位圆转化成画天文船位线的方法称之为高度差法。如何利用高度差法求天文船位线,以及怎样求得天文观测船位和概略地估计天文船位误差,这就是第六章和第七章要解决的问题。

二、天测罗经差

天测罗经差就是利用天体来测定罗经差。这是目前船舶在大洋中航行测定罗经差的主要方法。这部分内容将在第八章里介绍。

三、卫星导航

在第九章中,仅对目前和未来可用于民用船舶导航的导航卫星系统的有关内容作了概述。对此感兴趣的读者可钻研其它众多有关这方面的书籍和文章。

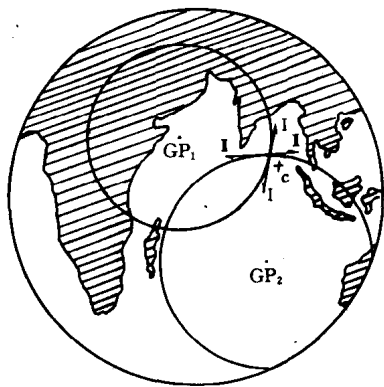


图 1-1-2

第二章 天球坐标

天球坐标是研究天体位置的基础。天体位置确定之后,测者与天体之间才能用相应的球面三角公式联系起来,再借助数学方法,就可以解算天文观测船位等许多天文航海上的问题。

§ 2-1 天球

一、航用天体

天体是宇宙间各种星体的通称。而能用于海上天文定位的航用天体,只不过是日、月、金星、火星、木星和土星及 159 颗恒星。它们都属于自然天体。

1. 太阳系(Solar system)

太阳系是由太阳,以及受其引力作用下环绕它运行的天体所构成的庞大天体系统,如图 2-1-1。

(1) 太阳(The sun)

太阳是离地球最近的一颗恒星,直径达 139 万公里,离地球 1.5 亿公里,是太阳系的中心天体。它给地球带来光和热,是地球人类及动植物的生命源泉。

(2) 行星(Planets)

沿椭圆轨道绕太阳(或恒星)运行的天体叫行星。九大行星距离太阳由近及远依次为:水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。行星本身不发光,表面反射太阳光而发亮。水星总是在太阳左右,被强烈日光所淹没,很难见到。天王星、海王星和冥王星又离我们很远,肉眼见不到。能用于测天定位只有金星、火星、木星和土星。

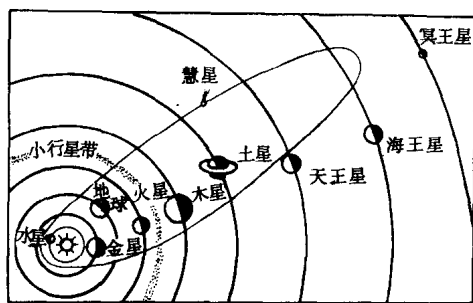


图 2-1-1

(3) 卫星(Satellites)

围绕行星运动的天体叫卫星。月球是地球的卫星,也是唯一一颗用于天文定位的卫星。已证实的天然卫星共 44 颗,其中地球 1 颗,火星 2 颗,木星 16 颗,土星 17 颗,天王星 5 颗,海王星 2 颗,冥王星 1 颗。

2. 恒星(Star)

恒星是非常炽热巨大的发光气体球。古人认为星与星之间相互位置永恒不动,所以叫它们恒星。现代的观测已证实,点点繁星,都是遥远的太阳,有着各种各样的运动,只是距地球太远了,凭肉眼数百年里看不出它们位置变动。至今虽然仍称“恒星”,但却有着全新的理解。

最近的恒星(除太阳)是半人马座比邻星,距离地球 4.28 光年,最远的恒星要百亿光年以上。直径最大的恒星放在太阳位置上,能容下土星轨道。直径最小的恒星(除中子星)和月亮半径差不多。

在无月亮的晴夜里,眼力好的人可以看到三千多颗恒星,全天肉眼可见星数约 6 千多颗。星图,星球仪,索星卡所标的星,都是恒星。

二、航用恒星识别

测星定位时必须知道所测星体的名称,才能从《航海天文历》中求取其视位置,来解算天文观测船位。因此,认识航用恒星是利用星体定位和求罗经差的先决条件。

1. 星座和星名

为了认星方便,人们很早就把星空分为若干区域,又把其中主要亮星联想成各类神话故事,称为星座。1922年国际天文学大会规定将全天分为88个星座,并采用1875年的春分点和天赤道为基准的赤经线和赤纬线,作为星座界线,于1930年由英国剑桥大学出版公布。我国历史悠久,是人类文化的发源地之一,有着独特的星象传统。在对天区划分的发展过程中,逐渐归纳为三垣、廿八宿系统。

古时,仅有少数亮星起有专名,其余大部用星座的部位来称呼。目前每个星座内的恒星,基本上是根据星的亮度等级,按照希腊字母的顺序命名的,即从 α 开始,依次为 β 、 γ 、 δ ……,较亮的恒星另有专名,如天琴座 α 星,专名叫织女一。我国《航海天文历》中列有恒星的中文名称和英文名称。

2. 星等

星等是表示天体亮暗的等级单位。肉眼所能看到的星为6等星,亮度是它的2.512倍的星为5等星,亮度是5等星的2.512倍的星为4等星,并依此类推。1等星的亮度为6等星的100倍。亮度是1等星的2.512倍为0等星,是0等星的2.512倍为-1等星。所以星等的负值越大天体越亮,星等的正值越大天体越暗,见表2-1-1。航海上,对星等的划分并不很严格,习惯上将星等值小于1.5的恒星,称为一等星,而星等从1.6到2.5的星,称为二等星。恒星和行星的星等都可以在《航海天文历》中查得。

一些天体视星等 表2-1-1

天体名称	视星等
太阳	-26.7
月亮(满月)	-12.7
金星(最亮时)	-4.4
大犬 α (天狼)	-1.5
半人马 α (南门二)	-0.3
天琴 α (织女)	0.03
天鹰 α (牛郎)	0.8
天鹅 α (天津四)	1.3
小熊 α (北极星)	2

3. 航用恒星识别

恒星是晨昏时间观测的主要对象。而天上繁星多得不可胜数,其实可供航海观测用的绝大部分为一等星和少量二等星,见表2-1-2(该表中的恒星在航海上统称为一等星)。

航用最亮恒星表

表2-1-2

星名	目视星等(1986年)	距离(光年)
天狼 Sirius (大犬 α)	-1.46	8.65
老人 Canopus (船底 α)	-0.72	200
南门二 Rigil Kent (半人马 α)	-0.27	4.35
大角 Arcturus (牧夫 α)	-0.04	35
织女一 Vega (天琴 α)	0.03	26.3
参宿四 Betelgeuse (猎户 α)	0.06~0.8	600
五车二 Capella (御夫 α)	0.08	43
参宿七 Rigel (猎户 β)	0.12	850

续表 2-1-2

星 名	目视星等(1986 年)	距离(光年)
南河三 Procyon (小犬 α)	0.38	11.4
水委一 Achernar (波江 α)	0.46	130
马腹一 Hadar (半人马 β)	0.61	480
河鼓二 Altair (天鹰 α)	0.77	16
毕宿五 Aldebaran (金牛 α)	0.77	65
十字架二 Acrux (南十字 α)	0.85	370
心宿二 Antares (天蝎 α)	0.86	410
角宿一 Spica (室女 α)	0.98	270
北河三 Pollux (双子 β)	1.14	35
北落师门 Fomalhaut (南鱼 α)	1.16	22
天津四 Deneb (天鹅 α)	1.25	1740
轩辕十四 Regulus (狮子 α)	1.35	84

目视辨认恒星,重点要记住这些主要亮星的相互位置关系及其所在星座。由于航用亮星有限,只要用心,不需多长时间就能认会。除了目视认星外,还可以借助计算机、星图、《B105 表》、星球仪和索星卡等手段来辨认更多的恒星。有关利用索星卡认星或选星的内容将在以后章节中介绍。

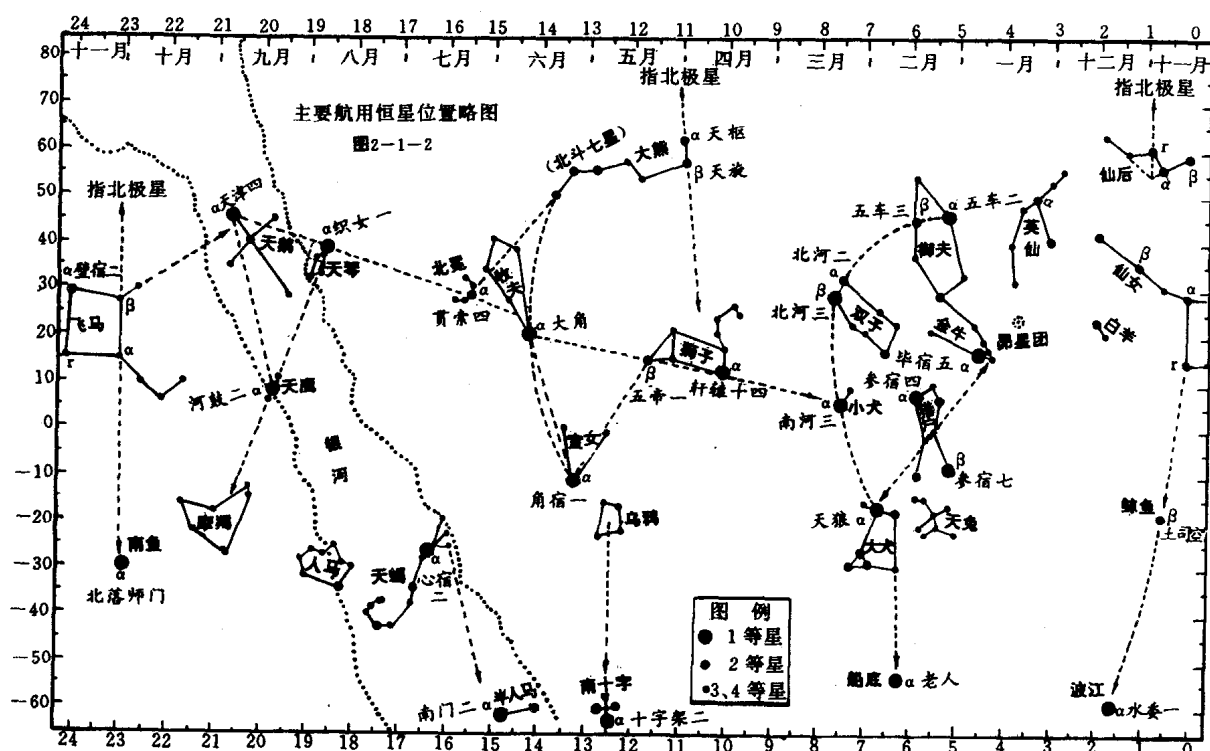


图 2-1-2

北极星(小熊座 α)在天文航海上一直起着极其重要的作用,观测北极星的高度,可以方便地求出所在地的纬度,低纬海区观测它的方位可求罗经误差(以后章节会涉及)。寻找北极星的

方法很多,经常利用大熊座和仙后座找北极星见图 2-1-2。大熊座(北斗七星或勺子星) α 和 β 星之间的距离向北延长 5 倍,可达北极星。仙后座(W 星座)图示箭头方向直指北极星。

春季晚上,从大熊座 α 和 β 星向南引伸,经过狮子座,轩辕十四(狮子座 α)在狮子的前爪,五帝一(狮子座 β)在狮子尾直角三角形顶点。沿大熊座斗柄弯曲方向延长,可见一亮星叫大角(牧夫座 α),继续引伸可达角宿一(室女座 α)。大角、角宿一和五帝一形成一个等边三角形。由船帆形的乌鸦座向南,可见十字形亮星群叫南十字座。

夏季晚上在银河中有一巨大的“+”字形星座,北端一颗亮星叫天津四(天鹅座 α)。由此可以看到银河东面的河鼓二即牛郎星(天鹰座 α),三星一字排开民称“扁担”星。及西面的织女一(天琴座 α)。牛郎、织女和天津四组成一个直角三角形,直角在织女处。顺着天鹅飞去的南部天空,横躺着的 S 形星座,中间红色亮星叫心宿二(天蝎座 α)民称“大火”。

秋季晚上,巨大的正方形是飞马座。飞马座的 α 和 β 星向北指北极星,向南 3.5 倍距离可见一亮星北落师门(南鱼座 α)。沿仙女座 α 星和飞马座 γ 星向南可见土司空(鲸鱼座 β),继续引伸为水委一(波江座 α)。

冬季晚上,灿烂的猎户座出现在天空中,四边形的左上方是参宿四(猎户座 α),右下方是参宿七(猎户座 β),沿猎户腰带三颗小星,向上指金牛座 α 星——毕宿五,它的旁边有一星群叫昴星团俗称七姐妹星。向下指向全天最亮的恒星——天狼星(大犬座 α),继续向南可达全天第二亮星老人(船底座 α)。从天狼星向上画弧线相继可见,南河三(小犬座 α)、北河三(双子座 β)、北河二(双子座 α)、五车三(御夫座 β)、五车二(御夫座 α)。

最后,应指出测者的纬度不同所见星空是不一样的,在赤道上能见到全天星体。纬度越高,所见星体越少。上述介绍的恒星中,靠近南天极附近的亮星,在我国是看不到的。另外,如果在众星座中出现一颗不属于该星座的明显亮星,肯定就是行星了。

三、天球上的基本点、线、圈

1. 天球(Celestial sphere)

当我们仰首望天,感觉天空总是半球形的。日、月、恒星和行星,无论离我们远或近,都好像分布在这个等距离的球面上,而地球恰似位于球心。因此,为了研究问题的方便,我们以地心为球心,以无限长的半径所作的球面叫天球。所有天体都分布在天球面上,它们在球面上的位置称为天体视位置。

有了天球模型后,对于建立球面坐标,研究天体位置、天体视运动等许多天文问题,就方便多了。

2. 天球基本点、线、圈

要建立天球坐标,首先要确定一些点、线和圈。由于天球可以看作是将地球(圆球体)表面无限扩展而形成的,因此,天球上的点、线、圈都是由地球上的点、线、圈扩展而来的,两者有着——对应关系,只是叫法不同而已,见表 2-1-3。

表 2-1-3

地球	地轴	北极	南极	赤道	纬度圈	经度圈	格林经线 (0°经线)	测者所在经线
天球	天轴	天北极	天南极	天赤道	赤纬圈	时圈	格林午圈	测者午圈

图 2-1-3 表示天球,地球在天球中心。

(1)天轴和天极(Celestial axis and celestial poles)

地球自转轴 $\overline{P_N P_S}$ 向两端无限延伸得到天轴。天轴与天球面交于两点,对应于地北极的一点 P_N 称天北极,对应于地南极的一点 P_S 称天南极。见图 2-1-3。

(2) 天赤道 (celestial equator)

地球赤道平面无限向四周扩展与天球面截得的大圆,称天赤道。如图 2-1-3 的 $\overline{QEQ'W}$,它和天轴相垂直。天赤道上任意点距两天极的球面距离为 90° 。

(3) 天顶和天底 (Zenith and Nadir)

视地球为圆球体,地面上的某一点(A)与地心O的连线即是该点的铅垂线。如图 2-1-3 所示。

测者天顶 Z:无限延长测者铅垂线,向上与天球的交点 Z;而向下延长与天球的交点 Z' 称测者天底。

格林天顶 Z_G :无限延长格林尼治天文台的铅垂线,向上与天球的交点 Z_G 。而向下延长与天球的交点 Z'_G 称格林天底。

(4) 测者子午圈 (Observer's meridian)

过测者天顶、天底和两天极的大圆 $\overline{P_N Z P_S Z'}$ 称测者子午圈。如图 2-1-3 所示。

测者午圈:两天极之间包含测者天顶的半个大圆 $\overline{P_N Z P_S}$ 。它与测者所在经线相对应。

测者子圈:两天极之间包含测者天底的半个大圆 $\overline{P_N Z' P_S}$ 。

(5) 格林子午圈 (Greenwich meridian)

过格林天顶、天底和两天极的大圆 $\overline{P_N Z_G P_S Z'_G}$ 称格林子午圈。如图 2-1-3 所示。

格林午圈:两天极之间包含格林天顶的半个大圆 $\overline{P_N Z_G P_S}$ 。它是与格林经线(零度经线)相对应的。

格林子圈:两天极之间包含格林天底的半个大圆 $\overline{P_N Z'_G P_S}$ 。它与 180° 经线相对应。

(6) 测者真地平圈 (Celestial horizon)

通过地心且垂直于测者铅垂线的平面与天球截得的大圆 $\overline{NESW}$ 称测者真地平圈或地心真地平圈,简称真地平。真地平圈上任意点距天顶或天底的球面距离为 90° 。真地平将天球分为两个半球,分别称为上天半球和下天半球。见图 2-1-3。

(7) 方位基点 (Cardinal Points)

又称四方点。测者子午圈与真地平圈交于两点,靠近天北极的一点 N 称北点,和它相对的一点 S 称南点。天赤道和真地平圈交于两点,测者面向北,右侧为东点 E,左侧为西点 W。四方点 N、E、S、W 将真地平分成 NE、NW、SE、SW 四个象限,每一象限为 90° 。见图 2-1-3。

(8) 仰极 (Elevated pole)

真地平以上的天极称仰极(即与测者纬度同名的天极)。真地平以下的天极称俯极。

(9) 方位圈 (Vertical circle)

过天顶、天体和天底的半个大圆称天体方位圈 $\overline{ZBZ'}$,它们都垂直于真地平,又称垂直圈。过东、西点的方位圈称东西圈,又称卯酉圈 $\overline{EZWZ'}$,它与测者子午圈垂直。见图 2-1-3。

(10) 天体时圈 (Hour circle)

过两天极和天体的半个大圆 $\overline{P_N B P_S}$ 称天体时圈。见图 2-1-3。

(11) 天体赤纬圈 (Paralle of declination)

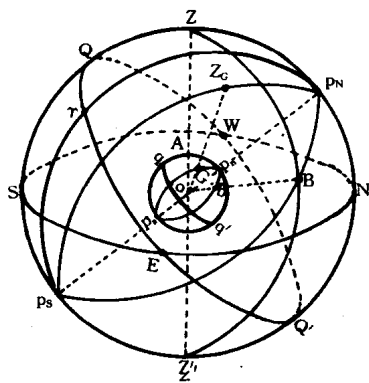


图 2-1-3

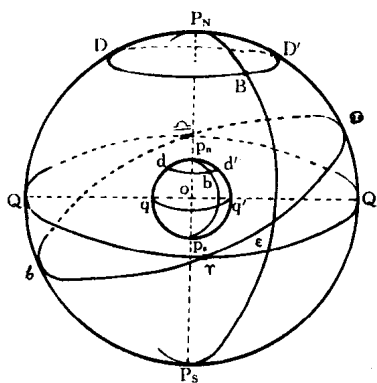


图 2-1-4

过天体 B 和天赤道平行的小圆 $\widehat{DBD'}$ 叫天体赤纬圈又称周日平行圈, 它和地球上纬度圈 $\widehat{dbd'}$ 相对应。见图 2-1-4。

(12) 黄道 (Ecliptic)

地球绕太阳公转轨道平面与天球相交的大圆 $\widehat{PQP'}$ 称黄道。黄道和天赤道成 $23^\circ 27'$ 的交角, 称黄赤交角 ϵ 。见图 2-1-4。

(13) 春分点和秋分点 (Vernal equinox and Autumnal equinox)

黄道和天赤道相交两点 γ 和 $\cap$, 分别称春分点和秋分点。见图 2-1-4。

(14) 春分点时圈 (Hour circle of Vernal equinox)

过两天极和春分点的半个大圆 $\widehat{P_N\gamma P_S}$, 如图 2-1-3。

§ 2-2 天球坐标

决定天体在天球上位置的球面坐标系称天球坐标系, 它和在地球上用纬度和经度来确定某点位置相类似。由于天球上采用的原点和基准大圆不同, 可分为几种不同的天球坐标系, 而赤道坐标系和地平坐标系为天文航海上所常用。

一、第一赤道坐标系

在第一赤道坐标系中, 以天赤道 QQ' 为基准圆, 如图 2-2-1, 以格林 (或测者) 午圈和天赤道的交点 Q_G (或 Q) 为原点, 几何极为天北极。坐标是时角和赤纬, 又称时角坐标系。

1. 天体赤纬 δ (Declination)

从天赤道起, 沿天体时圈到天体中心的弧距称赤纬, 由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 计算。向天北极度量为北 N, 向天南极度量为南 S。

该坐标的另一种表示方法称极距 p : 从仰极起沿天体时圈至天体中心的弧距, 由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 计算。 $p = 90^\circ \pm \delta$ (赤纬与纬度异名取加, 同名取减)。如图 2-2-1, 天体 B 的赤纬和极距:

$$\delta = \widehat{MB} = 30^\circ N \quad p = \widehat{P_N B} = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

2. 天体地方时角 t (Local hour angle)

测者午圈和天体时圈在天赤道上所夹的弧距称天体地方时角 t 。也可定义为在仰极处从测者午圈向西量到天体时圈的球面角。天体地方时角 t 量法分为:

(1) 圆周法: 由测者午圈开始沿天赤道向西量至天体时圈, 由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 计算, 无需命名。如

图 2-2-1, 天体 B 的地方时角 $t = \widehat{QQ'M} = 240^\circ$ 。

(2) 半圆周法: 由测者午圈开始沿天赤道向东或向西量至天体时圈, 由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 计算。半圆周法必需命名即标注 E 或 W。如图 2-2-1, 天体 B 的半圆时角 $t = \widehat{QQ_G M} = 120^\circ \text{E}$ 。

(3) 两种算法关系: 实际计算中, 经常要采用小于 180° 的半圆地方时角。设 t 为圆周时角则有:

当 $t < 180^\circ$ 时, 圆周时角 = 半圆时角 (W)。

当 $180^\circ < t < 360^\circ$ 时, $360^\circ - \text{圆周时角} = \text{半圆时角 (E)}。$

当 $t > 360^\circ$ 时, 应取 $t = t - 360^\circ$ 仍为西向地方时角。

凡是未命名的地方时角均应视为西向时角。

3. 天体格林时角 t_G (Greenwich hour angle)

格林午圈和天体时圈在天赤道上所夹的弧距称格林时角 t_G 。也可定义为在仰极处从格林午圈向西度量到天体时圈的球面角。量法从格林午圈起沿天赤道向西量到天体时圈, 由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 计算。如图 2-2-1, 天体 B 的格林时角 $t_G = \widehat{Q_G Q Q' M} = 300^\circ$ 。

天体地方时角起算基准为测者午圈, 而格林时角起算基准为格林午圈, 两者相差一个经度。所以天体圆周地方时角与格林时角算法关系为:

$$\text{地方时角 } t = \text{格林时角 } t_G \pm \text{经度 } \lambda^E \quad (2-2-1)$$

例 2-2-1: 已知 $t_G 298^\circ 30' 0$, 测者经度 $\lambda 126^\circ 20' 0 \text{E}$ 求 t ?

解:

t_G	298°30'0	
λ^E	+ 126°20'0	
t	424°50'0	(超过 360°时, 应减 360°)
	64°50'0	(仍为西, 故无须命名)

例 2-2-2: 已知 $t_G 15^\circ 20' 8$, $\lambda 81^\circ 35' 0 \text{W}$, 求 t ?

解:

t_G	15°20'8	(不够减, 加 360°)
λ^W	- 81°35'0	
t	293°45'8	(仍为西)

例 2-2-3: 已知 $\lambda 120^\circ 25' 0 \text{E}$, $t 60^\circ 10' 0$, 求 t_G ?

解:

t	60°10'0	(不够减, 加 360°)
λ^E	- 120°25'0	
t_G	299°45'0	

4. 天体地理位置 GP (Geographical Position)

如图 2-2-2, 每一天体位置 B 和地心 O 的连线, 同地球表面交点 b(GP) 称天体地理位

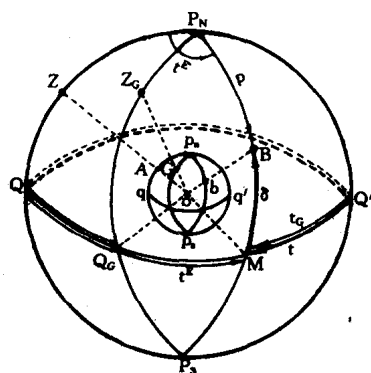


图 2-2-1

置。所有的天体都有一个与之对应的地理位置。一个天体地理位置的纬度和经度,可直接用天体的赤纬和格林时角来确定。

$$\text{天体地理位置坐标} \begin{cases} \text{纬度 } \varphi = \text{天体赤纬 } \delta \\ \text{东经 } \lambda^E = 360^\circ - \text{天体格林时角 } t_G (t_G > 180^\circ) \\ \text{西经 } \lambda^W = \text{天体格林时角 } t_G (t_G < 180^\circ) \end{cases}$$

例 2-2-4: 已知测者经度 $\lambda 15^\circ 25' 2''\text{E}$, 地方时角 $t 299^\circ 14' 3''$, $\delta 14^\circ 36' 0''\text{S}$, 求天体地理位置纬度 φ 和经度 λ ?

解: 天体地理位置纬度 $\varphi = \delta = 14^\circ 36' 0''\text{S}$

t	$299^\circ 14' 3''$	
λ^E	$15^\circ 25' 2''$	
t_G	$283^\circ 49' 1''$	$\because t_G > 180^\circ$

$$\therefore \text{天体地理位置经度 } \lambda = 360^\circ - 283^\circ 49' 1'' = 76^\circ$$

$10' 9''\text{E}$

第一赤道坐标系中,一个坐标赤纬与测者无关,另一坐标时角与测者有关。由于地球自转,天体时角是时时刻刻地变化着,因此利用第一赤道坐标系确定的天体坐标,只能定出对于某一观测者,在某一时刻的天体位置即瞬时位置。

二、第二赤道坐标系

第二赤道坐标系是以天赤道为基准圆,以春分点 γ 为原点,几何极为天北极的天球坐标系。坐标是赤纬和赤经,也叫春分点赤道坐标系。

1. 赤纬 δ (Declination): 定义同第一赤道坐标系。

2. 天体赤经 α (Right ascension)

从春分点 γ 起,沿天赤道向东到天体时圈的弧距,由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 计算。如图 2-2-3 中,天体 B 的赤经 α 为:

$$\alpha = \widehat{\gamma Q_G Q Q' M} = 300^\circ$$

3. 天体共轭赤经 τ (Sidereal hour angle)

从春分点 γ 起,沿天赤道向西到天体时圈的弧距,由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 计算。如图 2-2-3 中,天体 B 的共轭赤经 τ 为:

$$\tau = \widehat{\gamma M} = 60^\circ$$

对于同一天体显然有: $\alpha + \tau = 360^\circ$

因为春分点在天球上的位置基本不变,相当于天赤道上一颗恒星,它同各恒星间相互位置基本固定,所以,各恒星的赤纬和赤经(或共轭赤经)也基本不变。

4. 春分点格林时角 t_G^{γ} (Greenwich hour angle of Aries)

从格林午圈起,沿天赤道向西到春分点时圈的弧距 $\widehat{Q_G \gamma}$ 。由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 计算。

以图 2-2-3 中的天体 B 为例,天体 B 的格林时角:

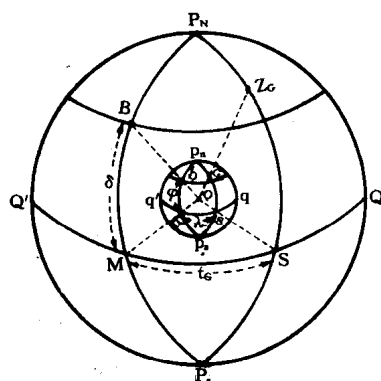


图 2-2-2

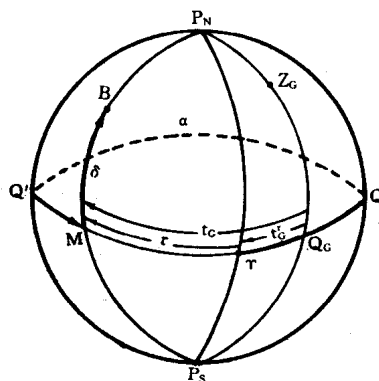


图 2-2-3

$$t_G = \widehat{Q_G \gamma M} = \widehat{Q_G \gamma} + \widehat{\gamma M} = t_G^y + \tau$$

上述关系适用于任何天体,将其写成一般形式:

$$t_G = t_G^y + \tau \quad (2-2-2)$$

$$\text{又} \because t = t_G \pm \lambda_W^E$$

$$\text{将}(2-2-2)\text{式代入上式得: } t = t_G^y + \tau \pm \lambda_W^E \quad (2-2-3)$$

天体地方时角 = 春分点格林时角 + 共轭赤经 ± 测者经度_{东西}

航海天文学利用上述关系式来求取恒星的地方时角。

公式(2-2-2)对于天体地方时角 t 也同样成立,即:

$$t = t^y + \tau \quad (2-2-4)$$

因为 $\tau = 360^\circ - \alpha$ 代入上式,而 360° 可舍去得:

$$t = t^y + (360^\circ - \alpha) = t^y - \alpha \quad (2-2-5)$$

这就是天体时角与赤经间的关系。

三、地平坐标系

取真地平为基准圆,北点 N (或南点 S) 为原点,几何极为天顶的天球坐标系叫地平坐标系。

1. 天体高度 h (Altitude)

如图 2-2-4,高度是从真地平开始沿天体方位圈量至天体中心,由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 计算。从真地平向上高度为正(+),向下为负(-)。

该坐标的另一种表示方法称顶距 Z : 从天顶起沿天体方位圈量至天体中心的弧距,由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 计算。显然,对于在地平上同一天体有:

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

图 2-2-4,天体 B 的高度 $h = \widehat{KB} = 60^\circ$,顶距 $Z = \widehat{ZB} = 90^\circ - h = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ 。

因为顶距与地球上天体地理位置 b 到测者 A 之间的弧距 $\widehat{Ab}$ 在数值上是对应相等的, $Z = \widehat{ZB} = \widehat{Ab}$ 。所以,在海上测得天体高度 h ,换算成顶距,就可以求出测者到天体地理位置间的距离。

从图中可以看出, $\widehat{NP_N}$ 为仰极高度, $\widehat{QZ}$ 等于测者纬度。则有:

$$h_{P_N} = \widehat{NP_N} = 90^\circ - \widehat{ZP_N}, \quad \varphi = \widehat{QZ} = 90^\circ - \widehat{ZP_N}$$

$\therefore h_{P_N} = \varphi$, 即仰极高度 = 测者纬度。

2. 天体方位 A (Azimuth)

测者子午圈和天体方位圈在真地平上所夹一段弧距 $\widehat{NK}$ (如图 2-2-4), 称天体方位。也等于该弧距所对的球面角 $\angle NZK$ 。天体方位有二种算法:

(1) 圆周法: 无论北纬或南纬测者, 均从北点 N 起算, 按顺时针方向沿真地平量至天体方位圈, 由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 计算。

(2) 半圆法:

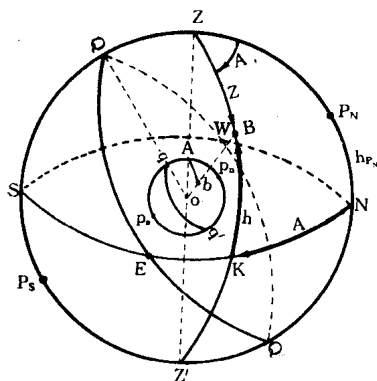


图 2-2-4