

高等学校试用教材

航海学

中 册

(海船驾驶专业用)

大连海运学院

上海海运学院

航海教研室编

人民交通出版社

高等学校试用教材

航海学

中 册

(海船驾驶专业用)

大连海运学院
上海海运学院 航海教研室编

人民交通出版社

1550057

高等学校试用教材

航海学

中册

(海船驾驶专业用)

大连海运学院 航海教研室编
上海海运学院

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所

各地新华书店：

北京市通县曙光印刷

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：18.2

：2 字数：451千

1980年1月 第1册

1985年6月 第1版 第3

印数：13,416—20,016册 定

.65元

内 容 简 介

本书共分上、中、下三册。中册主要内容为天文航海和导航卫星定位。本分册为第四篇，共分十一章，第一、二、三章介绍了球面天文学的主要基本知识：天球、天球坐标、天体的视运动、时间和求天体的坐标等；第四、五章介绍了利用六分仪观测天体高度求船位线的原理和方法；第六、七、八章介绍了利用天体测定船位的各种方法；第九章介绍了船位误差的问题；第十章介绍了利用天体求罗经差的各种方法；第十一章介绍了导航卫星定位的基本原理和海军导航卫星系统，以及卫星导航定位设备的实际操作。

本书可做为高等海运院校船舶驾驶专业教学用书，亦可做为有关专业和海船驾驶人员的技术参考书。

前 言

本书是根据交通部高等院校专业教材会议精神制定的航海学教学大纲，由大连海运学院、上海海运学院航海教研室编写的。本书分为上、中、下三册。各册的主要内容是：上册为航海学基础知识、航迹推算、位置线和船位误差理论、陆标定位和无线电定位系统；中册为天文航海；下册为航海图书资料、航线和航行方法等。

在编写过程中，力求在加强理论基础、反映国内外航海科技新成就和总结实践经验等方面有所体现，并着眼于培养学生分析问题和解决问题的能力。为了便于教学使用和有关人员参考，全书内容注意了适当的深度和广度。

本书的第一篇和第二篇第一章由钱淡如编写；第二篇第二、三章和第三篇第一、二章由张则谅编写；第三篇第三、四、六章和第四篇第五、六、七章由郭洪贵编写；第三篇第五章和第四篇第八、九、十章由程景琨编写；第四篇第一、二章由吴钟铮编写；第四篇第三、四、十一章由沈长治编写；第五篇由袁丽生编写；第六篇由杨守仁编写。其中第四篇第一、二、三、四和十一章由王荣昌、姜锡全参加了部分工作。

全书初稿完成后，由全体编写人员集体进行了审查讨论和修改，最后由钱淡如、郭洪贵统稿。

由于水平有限，时间仓促，本书一定存在不少缺点和错误，希望读者批评指正。

目 录

第四篇 天文航海

第一章 天球坐标和天文船位圆	1
第一节 天体	1
第二节 天球和天体坐标系	3
第三节 赤道坐标和地平坐标的换算	11
第四节 天文船位圆	15
第二章 天体视运动	16
第一节 天体的周日视运动	16
第二节 太阳的周年视运动	22
第三节 月亮的视运动	30
第三章 时间和天体位置	33
第一节 时间计量系统	33
第二节 地方时	41
第三节 时区制和区时	44
第四节 天文钟	49
第五节 求天体位置	57
第四章 求天体真高度	62
第一节 航海六分仪	62
第二节 观测天体高度的方法	71
第三节 观测高度的改正	74
第四节 特种六分仪介绍	86
第五章 高度差法原理	93
第一节 天文船位圆和天文船位线	93
第二节 高度差法原理	95
第三节 求计算高度和计算方位的各种方法	99
第四节 利用《天体高度方位表 (B-105)》求天体的计算高度和方位	100
第五节 利用《航海测天计算表》求天体的计算高度和方位	107
第六章 观测太阳求船位	114
第一节 求太阳船位线	114
第二节 观测太阳中天高度求纬度	117
第三节 太阳近中天高度求纬度	121
第四节 太阳最大高度求纬度	129
第五节 太阳移线定位	133

第六节 在低纬度海区观测太阳特大高度 (大于 88°) 求船位	139
第七章 测星定位	143
第一节 求太阳视出没和晨昏朦影时间	143
第二节 星空	146
第三节 利用星球仪和索星卡认星和选星	154
第四节 观测星体高度求船位线	159
第五节 观测北极星高度求纬度	161
第六节 测星定位	165
第七节 《航空测天用表》的使用方法	171
第八章 同时观测太阳与月亮或金星求船位	175
第一节 同时观测太阳与月亮求船位	176
第二节 同时观测太阳与金星求船位	178
第九章 天文船位的误差分析	180
第一节 天文船位线误差的一般介绍	180
第二节 高度差法的误差	181
第三节 测、算、画全过程中产生的误差	186
第四节 观测高度准确度的评定	190
第五节 两条船位线船位的误差	194
第六节 太阳移线船位的误差	199
第七节 三、四条船位线船位的误差	202
第十章 天测罗经差	210
第一节 罗经差测定原理及观测注意事项	210
第二节 观测太阳低高度方位求罗经差	212
第三节 观测太阳出没方位求罗经差	219
第四节 观测北极星方位求罗经差	224
第五节 天测罗经差的误差分析	225
第十一章 导航卫星定位	227
第一节 导航卫星定位的原理	228
第二节 海军导航卫星系统	242
第三节 卫星导航仪	248
附录 I 《1978年航海天文历》	260
附录 II 《N.P.401》表	274
主表	274
附表	276
附录 III 《H.O.249》表	278
主表	278
求春分点格林时角表	280
岁差、章动改正量表	282

第四篇 天文航海

第一章 天球坐标和天文船位圆

第一节 天 体

天体是宇宙空间各种星体的统称。例如，恒星（包括太阳）、行星（包括地球）、卫星（包括月球）、小行星、慧星、流星等等。恒星是炽热发光的天体，围绕着恒星运行的天体称为行星，围绕着行星运行的天体称为卫星。

航海上常用的天体称为航用天体。航用天体有太阳、月亮和四大行星（金星、火星、木星和土星）以及 159 颗航用恒星。航海上经常观测这些天体进行定位和测定罗经差。因此，船舶驾驶人员应掌握航海天文定位所必须具备的天文知识。

一、太 阳 系

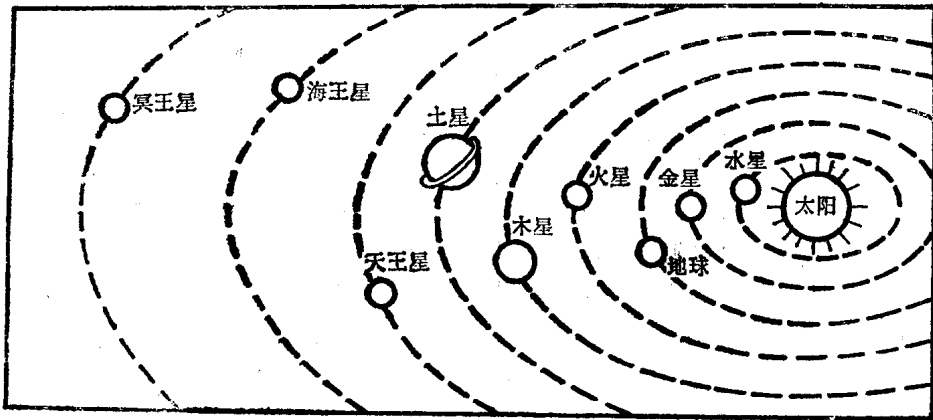


图4-1-1 太阳系

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1900多颗小行星，34颗卫星和为数很多的慧星与流星等。

1. 太阳：它是太阳系中最主要的天体，位于九大行星椭圆轨道的一个公共焦点上。太阳是一个炽热的气体球，表面温度约 $6,000^{\circ}\text{C}$ ，愈向内部温度愈高，中心约 1,500 万度。由氢核聚变成氦核的热核反应，产生巨大的能量发射到宇宙空间。太阳和地球的平均距离是 1.436×10^8 公里，从太阳发出的光线只需经过 8 分 18 秒便可到达地球表面。太阳的直径是 139 万公里，为地球的 109 倍，质量为地球的 33 万倍，体积为地球的 130 万倍，平均密度是 1.4 克/厘米^3 。尽管如此，太阳和宇宙中其它恒星相比较，无论是体积、质量、温度、密度和绝

对亮度上，都只能算是一个中等的恒星。

2.行星：行星沿近似正圆的椭圆轨道环绕太阳运行，是太阳系中的主要天体，其形状约似球形。太阳系有九颗大行星，如图4-1-1所示，按照离太阳的远近，依次是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。最大的是木星，半径等于地球的11倍，其次是土星、海王星、天王星。人类居住的星球——地球在九大行星中位居第五。地球是一个近似于球形的天体，赤道半径为6,378公里，极半径为6,357公里，两者相差21公里，扁率为 $1/298.25$ 。在地球轨道之内绕太阳运行的水星、金星称为内行星，而在地球轨道之外绕太阳运行的火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星则称为外行星。

在火星和木星的轨道之间还有一定数量沿椭圆轨道绕太阳运行的小行星。

行星本身都不发光，由于受到太阳光的照射，才能看见它们。水星离太阳最近，常被太阳光辉所淹没而不易见到。天王星、海王星和冥王星又离得过分，亮度太暗，需要用天文望远镜才能看到。航海上能利用的行星有金星、火星、木星和土星，其中金星最亮，呈金黄色，在我国有“启明”和“长庚”之称。木星次之，火星较暗，略带红色，土星最暗。

3.卫星：是围绕行星运行的天体。例如，月亮是地球的卫星，它沿着椭圆形的轨道围绕地球自西向东地运行。月亮和地球的平均距离约为384,401公里。月亮本身虽然不发光，但我们却能看见它被太阳光辉照亮的部分。由于月亮离地球较近，所以看起来好象和太阳的大小差不多。实际上，它的直径为3,476公里，只有地球直径的四分之一，质量为地球的 $\frac{1}{81.3}$ 。月亮是唯一的一颗能用于航海的卫星。此外火星有2个卫星，木星有14个，土星有10个，天王星有5个，海王星有2个，但这些卫星都太暗，无法应用于航海。

二、恒 星

恒星是由炽热的气体构成，能自己发光。这是与行星的主要区别之一。恒星并不是“固定不动的星”，实际上它们在宇宙空间都以很大的速度运动着。由于离地球太远，所以，在短期间内人们感觉不到它们相互之间位置的改变。因此，才被人们称为“恒星”。从古时候起一直沿用至今。例如，除太阳以外，离地球最近的一颗恒星是半人马座的比邻星，其距离也有43光年（光年是天文学上的一种距离单位，它等于光在一年中所通过的距离，即等于95,400亿公里）。

人们用肉眼观测恒星，首先注意到恒星在亮度方面有巨大的差别，有的很亮，有的很微弱，这同恒星的真亮度和距离有关。大部分恒星的亮度在短期间内看不出有变化，但小部分恒星的亮度却能观测到在变化着，这种亮度在变化的恒星，天文学上称为变星。有一种变星在短期间内亮度变化既突然又剧烈，则称之为新星。仔细观测恒星，我们还可以看出恒星在颜色方面也有所差异，有的呈黄色，有的呈红色，还有一些呈蓝白色。在整个天空中，人能观测到的恒星约6,500颗。还有许多遥远而暗淡的恒星是人们的目力所不能看到的。若借助一架小型天文望远镜，就可使我们看到恒星的数目增加到十多万颗。

利用天文望远镜观测，我们可发现在太阳系外还有无数颗恒星汇合成一条星的“河流”——银河系。夏夜，我们仰视天空，见一条明亮的星带，横贯天穹，它就是人们所称的银河。太阳仅是银河系中一颗普通的中等恒星，犹如沧海之一粟，既不明显，又不特殊。在庞大的银河系里，大约有1,000多亿颗象太阳这样大的恒星，由于离我们极远，因此看起来比太阳小得多，仅是一个光点。在宇宙中，银河系还不算大，目前已发现了10亿多个如银河

系这样庞大的恒星系统，叫做河外星系。最远的星系离地球大约有100亿光年。这些河外星系又组成了更高级的星系集团——星系团，以至总星系。伴随着现代射电望远镜的出现，人们的视野已扩大到几十万光年的宇宙“深处”，在这样一个巨大的星系世界里，我们的银河系也不过是一颗沙粒而已。

人类对宇宙的认识是无穷的，是一个从有限扩大到无限的过程，是一个从必然王国迈向自由王国的历史。人们最早从认识自己居住的地球开始，不断地扩大视野，探索无限宇宙的奥秘。认识到宇宙是物质的，宇宙在空间无限伸张，没有边界，没有形状，没有中心，宇宙在时间上也是无始无终的。

第二节 天球和天体坐标系

一、天 球

我们仰望天空时，觉得天空好象一个巨大的空心半球罩在头顶上。太阳、月亮、行星和无数的恒星不论距离远近都好像分布在这个空心球的球面上。由于这些天体离我们都很遥远，我们的眼睛无法分辨它们的远近，因此在直观上总觉得它们似乎都位于遥远的同一距离的球面上，而且不论我们走到那里，总觉得自己位于球心。在实用天文学中，将这种假想的空心球作为研究天体的直观位置和视运动的一种辅助工具，称它为天球。换句话说，天球是以观测者为中心，以无限长为半径所作的球。根据研究不同对象的需要，可以将球心取在地球中心或太阳中心，这样所作的天球相应地称为地心天球与日心天球。天球的实物模型有如天球仪和天象仪。

天体在天球上的位置，可以用投影的方法将天体投射在天球面上。地球中心和该天体的连线延长交于天球面上的点，表示该天体投影在天球面上的位置，称为天体位置。如图4-1-2， B 点是天体 B' 与地心 O 的连线在天球面上的交点，即天体 B' 在天球上的位置。该连线和地面相交的点便是天体在地面上的投影点，称为天体的地理位置。如图中的 b 点，便是天体 B' 投影在地面上的位置，称为天体 B' 的地理位置。同样天体 C' 在天球上的位置 C ，它的地理位置是 c 。空中的每一个天体都可以求得其在天球上的位置点和与其相对应的地理位置点。这样，不论天体距地球的远近，可把所有天体的位置都统一表示在天球上，并且和其投影在地球上的地理位置相对应。

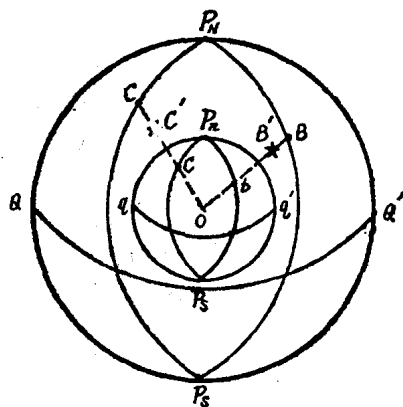


图 4-1-2

二、天球坐标系

在地球面上可以根据地理坐标——经、纬度来确定球面上点的位置。从地理坐标的建立和地理坐标系的度量中，我们可以概括出确定球面上一点位置的一般方法。

首先是在球面上建立一个坐标系：选一个适当的、特定的大圆作为基准圈。在地理坐标系里，这个大圆就是地球赤道。再在基准圈上选一个适当的、特定的点作为原点。在地理坐标系里是选取格林午圈（ 0° 经度圈）和地球赤道的交点作为原点。然后规定度量坐标的单位

和方向。例如，地理纬度是以度、分、秒为单位，由赤道向北计量为北纬（ φ_N ）；向南计量为南纬（ φ_S ）。地理经度以度、分、秒或者以小时（ h ）、分（ m ）、秒（ s ）为单位，由格林午圈向东计量为东经（ λ_E ）；向西计量为西经（ λ_W ）。

为了确定天体在天球上的位置，根据同样的道理，可采用某种坐标系来确定天体在天球上的位置。这些坐标系称为天球坐标系。天文上常用的天球坐标系有：赤道坐标系，地平坐标系和黄道坐标系等。根据天文在航海中的实际应用，我们这里仅介绍赤道坐标系和地平坐标系。

1. 天球上的基本点、线、圈

为了确定天体在天球面上的位置，故采用天球坐标系。下面介绍天球坐标的基本点、线、圈。

1) 天轴和天极：将地球的自转轴 $p_N p_S$ 向两端延长交于天球，所得直线 $P_N P_S$ 称为天轴，如图 4-1-3 所示。天轴与天球相交的两点 P_N 与 P_S 称为天极。向北极方向延长的交点 P_N 称为北天极；由南极方向延长的交点 P_S 称为南天极。

2) 天赤道：将地球赤道面向外扩展至天球，与天球相交得一大圆 QQ' 称为天赤道，如图 4-1-3 所示。天赤道将天球平分为南、北两个半球。包括北天极的半球，称为北天半球；包括南天极的半球，称为南天半球。天赤道面与天轴相垂直，从天赤道到两天极的球面距离均为 90° 。

3) 天体时圈：又名赤经圈。通过两天极和任一天体的大圆称为该天体的时圈。它是由地球上天体地理位置的经线投影到天球上得到的半个大圆，称为天体时圈。例如图 4-1-3 中，天体 B 的地理位置 b 的经线 $p_N b p_S$ 投影到天球上的半个大圆 $P_N B P_S$ ，称为天体 B 的时圈。

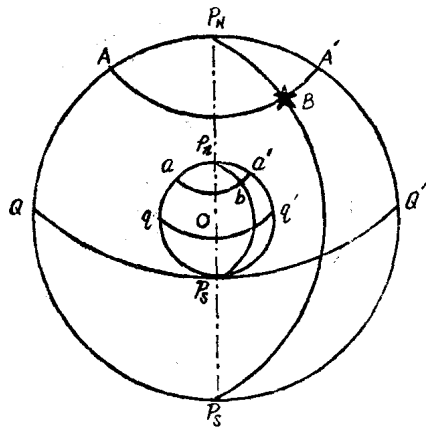


图 4-1-3

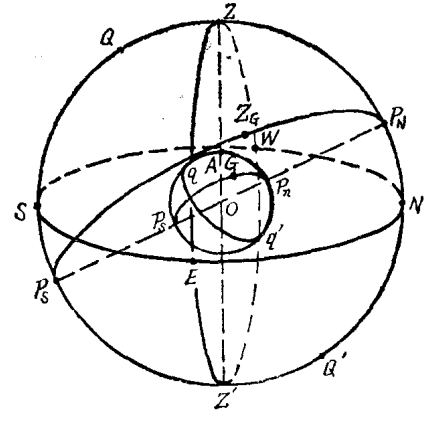


图 4-1-4

4) 天体赤纬圈：又名周日平行圈。地球上天体地理位置的纬度圈投影到天球上的小圆，称为天体赤纬圈。例如图 4-1-3 中天体 B 的地理位置 b 的纬度圈（ aba' ）投影到天球上的小圆 ABA' ，称为天体 B 的赤纬圈。赤纬圈与天赤道平行。

5) 天顶和天底：如图 4-1-4 中，将观测者 A 的铅垂线向上、向下延长和天球面交于两点，在测者正上方的一点 Z 称为测者天顶；在正下方的一点 Z' 称为测者天底。

6) 真地平圈：通过地心并垂直于观测者天顶与天底的连线的平面与天球相交的大圆 $NESW$ ，称为测者真地平圈或地心真地平。真地平圈与测者铅垂线互相垂直，故从真地平圈到天顶或到天底的球面距离均为 90° 。

7) 仰极与俯极: 在真地平以上的天极称为仰极, 在真地平以下的天极称为俯极。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。

8) 测者子午圈: 如图 4-1-4 中, 将测者 A 的地面子午圈 ($p_n A q p_s q'$) 投影到天球上得一大圆 $P_N Z_A Q P_S Q'$, 称为测者 A 的子午圈。换句话说, 也就是在天球上通过两天极和天顶与天底所作的大圆 $P_N Z P_S Z' P_N$, 称为天子午圈或子午圈。

北天极 P_N 和南天极 P_S 将测者子午圈分为两个半大圆, 其中包括测者天顶的半大圆 $P_N Z Q P_S$ 称为测者午圈, 而另一半包括测者天底 Z' 的半大圆称为测者子圈。

测者子午圈是地面子午线平面延伸交于天球的大圆, 它和真地平圈交于 N 和 S 两点。靠近北天极 P_N 的点 N 叫作北点; 而和它相对的点 S 叫作南点。天赤道 ($Q Q'$) 和真地平圈 ($NESW$) 相交于 E, W 两点。测者面向北, 右面的一点 (E) 为东点, 左面的一点 (W) 为西点。在地平圈上 E, W 两点到 N 或 S 的弧距均等于 90° 。所以 E, S, W, N 四点合称为四方点。测者子午圈将天球分为东天半球和西天半球两部分, 包括东点的半球为东天半球, 包括西点的半球为西天半球。通过天顶 (Z) 和 E, W 两点的大圆 $ZEZ'W$ 叫作卯酉圈或东西圈。

9) 格林午圈: 通过格林尼治天文台天顶 Z_G 的午圈称为格林午圈, 如图 4-1-4 中 $P_N Z_G P_S$ 。

10) 黄道和春分点: 地球绕太阳公转轨道的平面与天球相交的大圆 $\Upsilon \odot \triangle \eth$, 称为黄道 (图 4-1-5)。黄道和天赤道成 $23^\circ 27'$ 的交角, 称为黄赤交角。黄道有两极, 靠近北天极的极 M_N 叫作北黄极; 靠近南天极的极 M_S 叫作南黄极。

黄道和天赤道相交于 $\Upsilon, \triangle$ 两点。由于地球绕太阳公转, 相对地从地球上看到太阳在黄道上移动, 太阳由赤道以南到赤道以北所经过的黄赤交点称为春分点 Υ ; 另外相对的一点叫作秋分点 $\triangle$ 。黄道上与春分点 Υ 相距 90° 、且在赤道以北的一点, 叫作夏至点 $\odot$; 在黄道上与夏至点相对应的一点叫作冬至点 $\eth$ 。

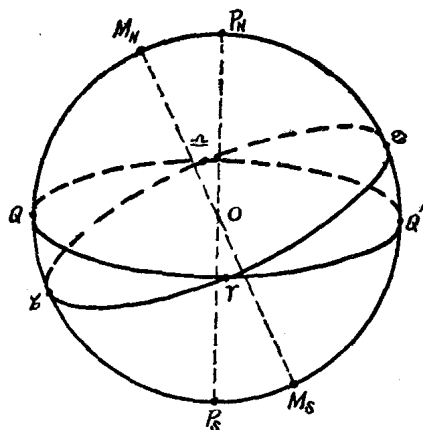


图 4-1-5

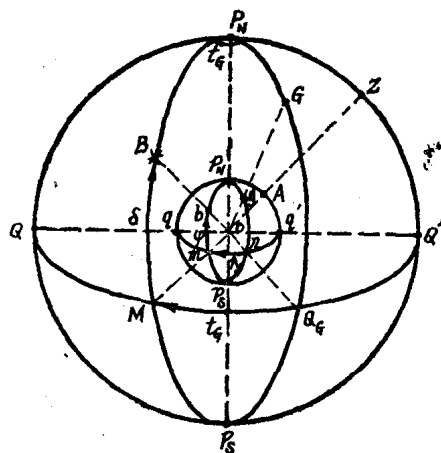


图 4-1-6

2. 第一赤道坐标系.

在地球上, 陆标的位置是根据地理坐标——经、纬度来确定的。地理坐标系是以赤道为基本圈, 北极为基本圈的极和 0° 经线与赤道交点为原点计量的。为确定天球上所有天体的位置, 同理可以天赤道为基本圈、北天极为基本圈的极、格林午圈与天赤道的交点 (Q_G) (图 4-1-6) 为坐标原点的天球坐标系, 称为第一赤道坐标系 (或时角赤道坐标系)。实际上它

是地球上的地理坐标系投影到天球上去的天球坐标系。天体时圈是坐标系的辅助圆。用时角和赤纬两个坐标值来表示天体的位置。图4-1-6中，天体 B 的第一个坐标（时角）是 $\widehat{Q'M}$ 或球面角 $\angle Q'P_NB$ ，第二个坐标（赤纬）是 $\widehat{MB}$ 。

1) 天体的地方时角，用字母 t 表示。它是从测者午圈到天体时圈在天赤道上所夹的一段弧距($Q'M$)。天体的地方时角也等于测者午圈与天体时圈所交的球面角 $\angle ZP_NB$ 。

时角的度量方法有两种：

(1) 圆周法：是从测者午圈开始，沿天赤道向西度量到天体时圈，从 0° 到 360° 计算，称为西行地方时角。由于度量的方向规定是向西的，故它无需命名，如图4-1-6中天体 B 的西行地方时角为： $t^B = \widehat{Q'M} = 150^\circ$ 。

(2) 半圆周法：是从测者午圈开始，沿天赤道向东或向西度量到天体时圈，从 0° 到 180° 计算，称为半圆地方时角。按这种度量法，必须在地方时角后面附以“E”或“W”字母，分别表示是向东度量还是向西度量的地方时角。如图4-1-6中，天体 B 的半圆地方时角可写为： $t^B = 150^\circ W$ 。

在实际计算中，经常需要采用小于 180° 的地方时角，因此当地方时角大于 180° 时，须将西行时角化为小于 180° 的半圆地方时角。它们换算关系为：当西行地方时角小于 180° 时，它与半圆地方时角是一致的，均为西行地方时角；若西行地方时角大于 180° 时，则用 360° 减西行地方时角得半圆地方时角，且半圆地方时角的命名应改为（E）。

如图4-1-7所示，天体 B 的西行地方时角 $t^B = \widehat{QQ'M} = 315^\circ$ ，若用半圆地方时角表示，则如图所示，得：

$$t^B = \widehat{QM} = 45^\circ (E)$$

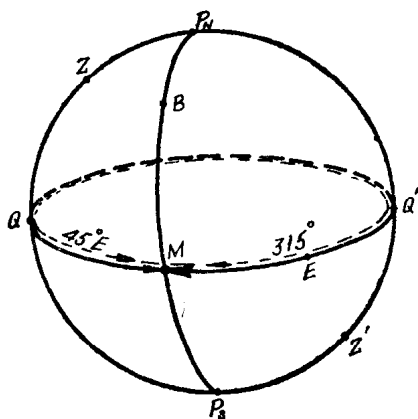


图 4-1-7

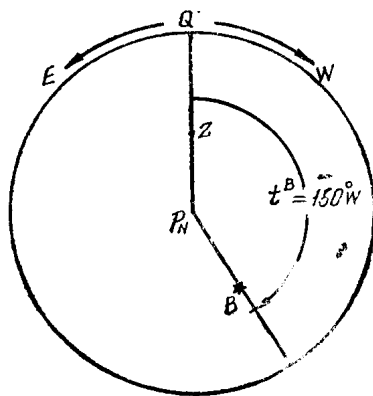


图 4-1-8

为了帮助我们理解时角坐标的度量，在这里介绍一种赤道面投影图，如图4-1-8所示，这是一个从北天极方向看天赤道面的投影图。图的中心为北天极 P_N ，圆周为天赤道，测者午圈和天体时圈都投影成直线($P_NQ P_S$ 和 $P_NB P_S$)。图中沿天赤道从测者午圈开始以顺时针方向度量的时角为西行时角，逆时针方向度量的时角为半圆周的东行时角。例如天体 B 的时角为： $t^B = 150^\circ$

计量天体地方时角的起算点是测者午圈。显然，由于测者的经度不同，它们在天球上的午圈也不一样。因此，对同一天体来说不同地方的测者在同一瞬间所得的天体地方时角都是各不相同的。

2) 天体的格林时角, 用字母 t_G 表示。它是格林午圈 P_NGP_S 与天体时圈 P_NBP_S 在天赤道上所夹的一段弧距 Q_GM (见图4-1-6)。天体的格林时角也等于格林午圈与天体时圈在天极所交的球面角 $\angle GP_NB$ 。它的度量方法是从格林午圈开始沿天赤道向西度量到天体时圈, 从 0° 到 360° 计算。如图4-1-6中天体 B 的格林时角 t_G^B 为 100°

从图4-1-6中可以看出, 天体的格林时角 t_G^B 与天体地理位置的经度是相对应的, 它们所对的球心角是相同的, 两者在数值上相等。即 $t_G^B = \lambda_b = 100^\circ(W)$

但须注意, 当 $t_G > 180^\circ$ 时, 则须用 360° 减去 t_G , 所得之值为天体地理位置的经度, 且命名应为 E 。如图4-1-9所示, 天体 B 的格林时角, $t_G^B = Q_GQ'M = 255^\circ$ 。因为 $t_G^B > 180^\circ$, 所以, $Q_GM = nm = 360^\circ - 255^\circ = 105^\circ(E)$, 即得天体地理位置的经度 $\lambda_b = nm = 105^\circ E$ 。

所以, 当我们知道了某天体的格林时角, 也就等于知道了该天体地理位置的经度。

3) 天体的赤纬用字母 δ 表示。天体赤纬是天体与天赤道在天体时圈上的一段弧距, 如图4-1-6中 MB 。赤纬的度量方法与地理坐标中纬度相同, 是从天赤道起, 沿着天体时圈向北或向南度量到天体中心止, 从 0° 到 90° 计算, 分南、北赤纬, 并附以字母 S 或 N , 以示区别, 如 $\delta_1 = 70^\circ N$ 、 $\delta_2 = 30^\circ S$ 。

同样, 可采用极距来代替赤纬, 大圆弧 P_NB 称为天体的极距, 用字母 p 表示。天体的极距是仰极与天体之间在天体时圈上的一段弧距, 从天极起算至天体中心, 由 0° 到 180° 计量。显然:

$$p = P_NB = 90^\circ - \delta \quad (4-1-1)$$

从图4-1-6中可以看出, 天体 B 的赤纬与天体 B 的地理纬度 φ_B 所对的球心角是同一个角度, 两者在数值上相等, 即 $\delta^B = \varphi_B = 45^\circ N$ 。

所以, 当我们知道了天体的赤纬, 也就知道了该天体的地理位置的纬度。

综上所述, 第一赤道坐标系的两个坐标 (赤纬与时角) 既能确定天体在天球上的位置, 又能通过天球坐标求得天体地理位置的地理坐标值 (φ 与 λ)。天球赤道坐标和天体地理位置之间的关系为:

天体格林时角 t_G = 天体地理位置的西经 (λ_w)

$360^\circ - \text{天体的格林时角 } t_G = \text{天体地理位置的东经 } (\lambda_E)$

天体赤纬 δ = 天体地理位置的纬度 φ 。

3. 第二赤道坐标系

在用时角和赤纬两坐标值确定天体位置时, 由于地球的自转引起天体的时角每时每刻都在变化着, 所以用第一赤道坐标系的坐标值只能确定对于某一测者在某一时刻的天体位置。航海上可供观测的恒星有50多颗, 如果都按每小时列出每颗恒星的格林时角和赤纬, 那么航海天文历的篇幅就大大地增加。为了减少篇幅, 根据恒星在天球上相互之间位置变化极小的特点, 在编制恒星位置表时, 天文学上采用了另一种赤道坐标系, 称为第二赤道坐标系或春分点赤道坐标系。

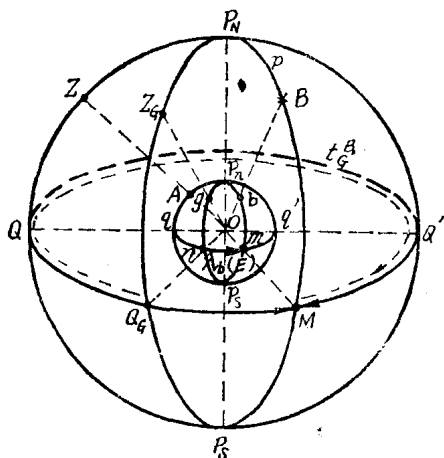


图 4-1-9

如图4-1-10所示,在这种坐标系中,基本圈仍然是天赤道,但是原点是天赤道与黄道的交点——春分点 Υ 。第二赤道坐标系是以赤经和赤纬两个坐标表示天体位置的。因为春分点 Υ 在天赤道上,地球自转时,它与恒星(除太阳外)相互间的位置基本上保持不变,因此,第二赤道坐标系的赤经和赤纬并不随地球自转和测者位置的不同而变化。在第二赤道坐标系中,天体 B 的第一个坐标是赤经 ΥM (图4-1-10),第二个坐标是赤纬 MB 。

1) 赤经: 用字母 α 表示,是从春分点至天体赤经圈(天体时圈)在天赤道上的一段弧距,其度量方法是从春分点 Υ 开始沿着天赤道向东计算到该天体赤经圈止。从 0° 到 360° ,或用 0^h 到 24^h 计量。如图4-1-10中,恒星 B 的赤经为: $\alpha = \Upsilon M = 60^\circ 30' 00''$ 或 $\alpha = 4^h 02^m 00^s$ 。

在航海天文,为了计算方便起见,经常采用天体的赤经共轭量来代替天体的赤经。赤经共轭量用 α' 表示。某天体的赤经共轭量是天赤道上的一段弧距,它是从春分点 Υ 起,沿着天赤道向西度量到该天体的赤经圈,同样是从 0° 到 360° 或 0^h 到 24^h 计量。赤经共轭量和赤经的关系为:

$$\alpha + \alpha' = 360^\circ$$

或

$$\alpha' = 360^\circ - \alpha \quad (4-1-2)$$

如图4-1-10中,天体 B 的赤经共轭量为:

$$\alpha' = \Upsilon Q Q' M = 360^\circ - 60^\circ 30' = 299^\circ 30' \text{ 或 } \alpha' = 19^h 58^m$$

2) 赤纬: 赤纬的度量规则与第一赤道坐标系完全一样。

3) 春分点格林时角: 它在航海天文中也是一个常用的坐标值,用 t_G^Υ 来表示。春分点格林时角是天赤道上的一段弧距,它从格林午圈开始沿着天赤道向西度量到春分点止,从 0° 到 360° 。如图4-1-10中 $Q_G Q Q' \Upsilon = 330^\circ$,即 $t_G^\Upsilon = 330^\circ$ 。

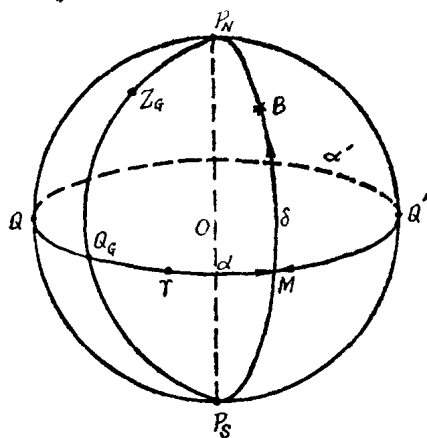


图 4-1-10

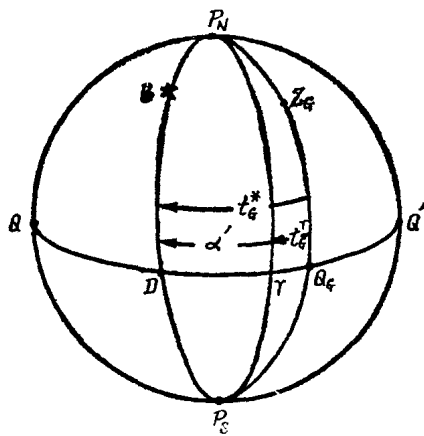


图 4-1-11

4. 赤经共轭量、天体格林时角及地方时角之间的关系

1) 赤经共轭量(α')与格林时角(t_G)之间的关系

我们作图4-1-11天球图和图4-1-12天赤道面投影图,来说明赤经共轭量与格林时角之间的关系。图中 $Q_G \Upsilon$ 是春分点格林时角 t_G^Υ , $Q_G D$ 是天体 B 的格林时角 t_G^B ,而 ΥD 是天体 B 的赤经共轭量 α' 。从图中可以看出它们三者之间的关系为:

$$t_G^B = t_G^\Upsilon + \alpha' \quad (4-1-3)$$

写成一般关系式,即为:

$$t_G^* = t_G^\Upsilon + \alpha' \quad (4-1-4)$$

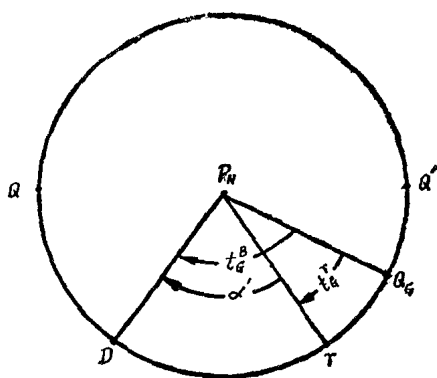


图 4-1-12

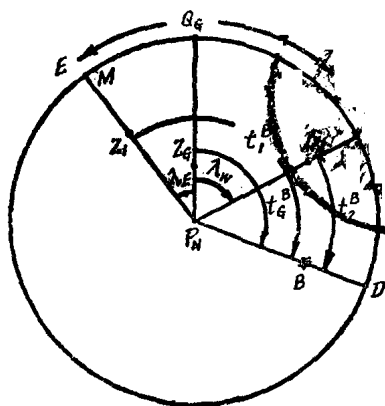


图 4-1-13

2) 天体格林时角 (t_G) 与地方时角 (t) 之间关系

图4-1-13是天球的赤道面投影图, Z_G 是格林天顶, $\overline{P_N Z_G Q_G}$ 是格林午圈, B 表示天体位置, $\overline{P_N B D}$ 是天体时圈, 所以 $\widehat{Q_G D}$ 是 B 天体的格林时角 t_G^B 。

假如 Z_1 是东经某一测者的天顶, 经度为 λ_E , 则 $\overline{P_N Z_1 M}$ 是该测者的午圈。按地方时角的定义, Z_1 的天体 B 地方时角 t_1^B 是从测者午圈 $\overline{P_N Z_1 M}$ 起算的天体 B 的 (西行) 地方时角。从图中可以看出, 东经测者的天体 B 的地方时角 t_1^B 与格林时角之间的关系为:

$$t_1^B = t_G^B + \lambda_E \quad (4-1-5)$$

即东经测者的 (西行) 地方时角比格林时角大一个测者经度 λ_E 。

假如 Z_2 是西经某一测者的天顶, 经度为 λ_W , 则 $\overline{P_N Z_2 C}$ 是该测者的午圈, 则 Z_2 的天体 B 地方时角 t_2^B 是从西经测者午圈起算到天体 B 的时圈的 (西行) 地方时角。从图中亦可以看出, 西经测者的天体 (西行) 地方时角 t_2^B 与格林时角 t_G^B 的关系为:

$$t_2^B = t_G^B - \lambda_W \quad (4-1-6)$$

即西经测者的天体 (西行) 地方时角比格林时角小一个测者经度 λ_W 。

因此, 可以得出根据天体格林时角和测者经度求天体地方时角的公式:

天体 (西行) 地方时角 = 天体格林时角 $\pm$ 经度 E

即:

$$t = t_G \pm \lambda_W^E \quad (4-1-7)$$

3) 天体地方时角与赤经共轭量、经度之间的关系

若以公式 (4-1-4) 代入公式 (4-1-7), 则可得到天体地方时角与赤经共轭量之间的关系式:

天体地方时角 = 春分点格林时角 + 赤经共轭量 $\pm$ 测者经度 $^{\left(\begin{smallmatrix} \text{东} \\ \text{西} \end{smallmatrix}\right)}$

即:

$$t = t_G^T + \alpha' \pm \lambda_W^E \quad (4-1-8)$$

对于航用恒星来说, 上式可写为:

$$t^* = t_G^T + \alpha'^* \pm \lambda_W^E \quad (4-1-9)$$

公式 (4-1-7)、(4-1-9) 是今后天文定位中常用的两个重要公式。

5. 地平坐标系

以测者的真地平圈为基本圈、以北点 (N) 或南点 (S) 为原点的天球坐标系, 叫作地平坐标系。在地平坐标系里天顶 Z 是基本圈的极。用高度和方位两个坐标值来表示天体在天

球上的位置。

所有经过天顶、天体和天底所作的半个大圆，称为天体的方位圈。天体的方位圈都垂直于真地平圈，故又称为天体的垂直圈。例如图4-1-14中通过天体 B 所作的半个大圆 ZBZ' 是天体 B 的方位圈。

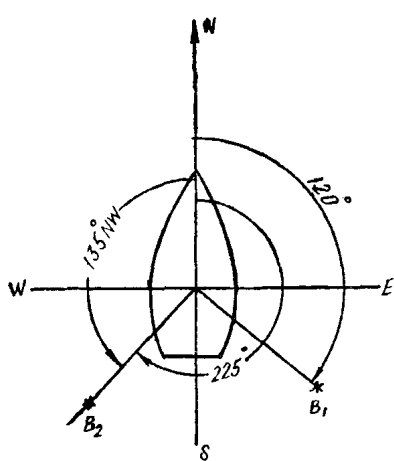
1) 天体方位：天体方位用字母 F 表示。它是测者子午圈与天体方位圈在真地平圈上所夹的一段弧距 NK ，它也等于测者子午圈与天体方位圈在天顶处所交的球面角 $\angle P_N ZB$ 。

天体方位的计算方法有两种：

(1) 圆周法：方位是从北点起，按顺时针方向计算到天体方位圈止，以 0° 到 360° 计量。方位如未命名，则都应理解为圆周法度量。

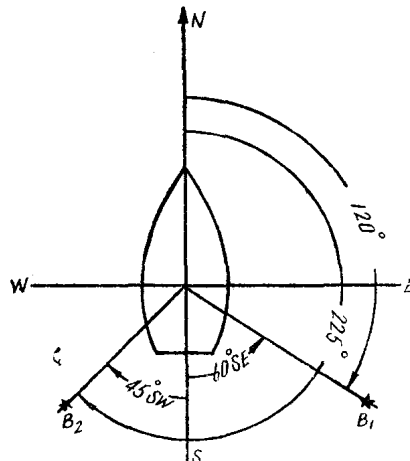
(2) 半圆周法：当观测者在北半球时，则应由北点起算；观测者在南半球时，则应由南点起算。方向是向东或向西，从 0° 到 180° 。为了区别天体方位的起算点及度量天体的方向，用半圆周法计量的天体方位均应附以二个字母命名，第一个字母表示天体方位的起算点，即北纬为 N ，南纬为 S ，它总是与测者所在的纬度同名；第二个字母表示它的度量方向，向 E 或向 W 。如图4-1-14中，天体 B 的方位是：

$$F_B = \widehat{NK} = 050^\circ NE$$



测者在北半球

图 4-1-15



测者在南半球

又如图4-1-15所示，天体 B_1 和 B_2 的方位分别用圆周法和半圆周法表示，如表4-1-1。

2) 天体高度：天体高度用字母 h 表示。它是天体方位圈上的一段弧距，从真地平圈开始沿天体方位圈量至天体，用 0° 到 90° 计量。从真地平圈向上度量的高度为正(+)，向下度量的高度为负(-)。

表4-1-1

	测 者 在 北 半 球		测 者 在 南 半 球	
	圆 周 法	半 圆 周 法	圆 周 法	半 圆 周 法
天体 B_1	$F = 120^\circ$	$F = 120^\circ NE$	$F = 120^\circ$	$F = 60^\circ SE$
天体 B_2	$F = 225^\circ$	$F = 135^\circ NW$	$F = 225^\circ$	$F = 45^\circ SW$

负高度又称为低度。例如图4-1-14中天体 B 的高度为：

$$h_B = \widehat{KB} = +50^\circ$$

当天体在测者天顶时， $h = 90^\circ$ ；天体在地平圈上时， $h = 0^\circ$ 。