



数据加载失败，请稍后重试！



科工要字號802 2 0050787 8

天文导航

沈长治 孙国元 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分十三章。前五章主要介绍导航天文学的基本知识：航用天体、赤道坐标和地平坐标、时间和天文钟等；第六章介绍航海六分仪及其观测天体高度的方法；第七、八、九、十章介绍利用天体测定船位的各种方法；第十一章介绍天文船位的误差；第十二章介绍利用观测天体求罗经差的方法；第十三章介绍几种特殊的天文导航设备。书中对天文观测方法和定位计算方法均有详细介绍，附有大量例题，每章后并附有参考习题，供读者练习用。

本书可作为船员培训教材和船员考试指导书，亦可作海船驾驶人员、导航人员、航海院校师生及造船有关专业技术人员的技术参考书。

天 文 导 航

沈长怡 孙国元 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张10 257千字

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷 印数：00,001—2,000册

ISBN7-118-00202-X/U22 定价：2.25元

前 言

天文导航是研究用天文方法观测日月星辰等天体，来确定航行体的位置，以保证引导航行体沿预定航线到达目的地的一门学科。天文定位在航海中应用最为广泛，历史十分悠久。

自从十八世纪出现了航海六分仪和天文钟，并确定了“高度差法”求船位线的方法以来，天文定位始终是船舶在大洋中航行时使用的最基本和常用的导航方法。二百多年来，几乎所有的海洋船舶都装备着六分仪、天文钟、各种计算表册和航海天文历。天文定位也成了每一个船舶驾驶员所必须掌握的技术和基本功。

目前，我国的航运、造船事业和海军队伍发展迅速，特别是近几年来远洋船队成倍增长，为了提高广大舰船驾驶和导航人员的业务水平，帮助他们系统和全面地掌握天文定位的基本功，我们本着实用的观点，编写了这本中级读物，供具有中学文化程度的读者阅读。本书可供船员培训教学之用，它既可作海船船员通过港监考试的参考指导书用，也可作为日常航海用的工作参考书。

本书共分十三章。第一章介绍主要的航用天体；第二、三章介绍赤道坐标系和地平坐标系；第四、五章介绍时间和天文钟；第六章介绍航海六分仪及其观测天体高度的方法；第七章介绍天文船位线；第八、九章介绍测天求纬度和船位的方法；第十章介绍选星和认星的方法；第十一章分析天文船位的误差；第十二章介绍测天求罗经差的方法；第十三章介绍几种特殊的天文导航设备。为了便于读者自学，书中除有大量例题外，每章后均附有习题，供读者练习参考用。

书中采用的航海天文历和各种计算表册，基本上都采用我国自行出版的版本，以便于读者学习和使用。

本书承蒙上海海运局指导船长、高级工程师陈驹修同志审阅，

提出了宝贵意见，在此谨致谢意。

由于我们编著者的水平有限，定有谬误之处，恳请读者批评指正。

编 著 者

目 录

绪论	1
第一章 航用天体	3
一、太阳系和地球	3
二、月亮	6
三、恒星	8
四、主要航用恒星的识别	11
第二章 赤道坐标	17
一、天球和天体位置	17
二、天球上的赤道坐标系	20
三、天体的赤道坐标	20
四、《航海天文历》	30
第三章 地平坐标	35
一、天球的地平坐标系	35
二、天体的地平坐标	36
三、天球作图	37
四、天文三角形和导航三角形	42
五、天体高度方位表《B105》	53
六、天文船位圆	57
第四章 时间	61
一、天体的周日视运动	61
二、太阳日和视时	62
三、平太阳日和平时	64
四、世界时和地方时	67
五、区时和日界线	71
六、协调世界时	79
七、无线电时间信号	80
第五章 天文钟	87

一、机械天文钟的使用和保养	87
二、石英天文钟的使用和保养	90
三、天文钟的钟差和日差	92
四、按天文钟时间求测天世界时	95
第六章 六分仪	101
一、六分仪的结构、测角原理和读数	101
二、六分仪的误差和校正	106
三、六分仪观测天体高度的方法	111
四、六分仪高度改正	117
第七章 天文船位线	138
一、天文船位圆在墨卡托海图上的形状	139
二、用高度差法画天文船位线	141
三、按推算船位求天文船位线要素	147
四、按选用船位求天文船位线要素	154
第八章 海上纬度测定	162
一、上中天高度求纬度	162
二、天体上中天时间的计算	164
三、观测北极星高度求纬度	179
第九章 天文船位的测定	177
一、观测天文船位的时机和类型	177
二、天文船位线移线定船位	187
第十章 选星与认星	217
一、晨光、昏影时间的计算	217
二、“TS-74”型索星卡	220
三、用索星卡选择预定观测的星组	223
四、认星	226
五、用索星卡求适合于连续观测太阳和月亮定船位的参考时刻	230
第十一章 天文船位的误差分析	236
一、高度差法画天文船位线的作图误差	237
二、观测真高度的误差	242
三、计算高度的误差	249
四、移线船位线的误差	252

五、双星船位的误差	255
六、船位误差三角形的处理	258
七、太阳移线船位的误差	262
第十二章 罗经差测定	267
一、测定罗经差的原理	267
二、用《太阳方位表》求太阳真方位	269
三、用《太阳方位表》求太阳真出或真没的真方位	272
四、用“北极星方位角表”求北极星真方位	274
第十三章 特种六分仪介绍	277
一、夜视六分仪	277
二、汽泡六分仪	282
三、星光跟踪器	292
附录	297
航海天文历 (1984) 摘录	298

绪 论

导航乃是引导航行的意思，它的任务是引导航行体自起始点出发沿着预定的航线，经济而安全地到达目的地。经常地测定在航行中的航行体位置，是完成导航任务的一个重要课题，因为引航人员需要随时了解航行体已经到达的位置，以便掌握航行体的运动状态，判明其有无偏离预定的航线，偏离的程度如何，当前的处境有无危险，原定的计划航线能否继续实施，还是需作适当的修改等等。正因为航行中，定位问题是如此重要，因此在习惯上往往将测定位置的方法和技术概称为导航。

早在二千多年前，我国就已有天文方法应用于航海的记载。随着天文学的发展，特别是到了十八世纪，欧洲出现了船上使用的测角仪器——六分仪和船上使用的准确计时仪器——航海天文钟，使天测船位的精度有明显的提高。后来，又有美国船长沙姆纳于1837年发现了利用等高度线求经、纬度的方法，这方法又于1875年为法国海军中校圣·希勒尔改进为近代广泛应用的“圣·希勒尔法”，又称为“高度差法”的画天文船位线的方法，使天文导航方法日趋完善。

近几十年来，随着无线电技术的进步，出现了各种无线电导航系统，改变了过去在远海航行中单一使用天文导航的局面。与各种无线电导航系统相比，天文导航的缺点是定位的时机受天候的影响较大，以及计算的工作量较重等。但它也具有许多独特的优点，例如，使用的仪器简单可靠，测定位置时不用电源，不需陆岸设备，定位精度不受离岸距离远近的影响等。因此，天文导航在航海中仍占有重要的位置，是引航人员必修的课程之一。一名谨慎的引航员必定要求掌握各种定位手段，这不仅相互校核，提高所定位置的可靠性，而且可以应付各种情况下的需要，以

保万全。

就当前天文导航的方法和理论来看,已是相当成熟和完善了。今后天文导航的发展方向主要是改进设备和利用电子计算机来减轻人工查表计算的负担。目前,国内外船用天文导航设备发展的目标是提高观测精度、扩大使用时机、突破天气限制和实现自动化,我们将在第十三章中简要介绍几种新型的天文观测设备。这些设备,有的还不够成熟,有的则由于造价太高而一时还难以推广应用。为了快速和准确地进行定位计算,国外已开始普遍使用航海专用电子计算器来代替传统的查表人工计算。可以预见到不久的将来,我国航海界也会广泛使用电子计算器来作天文定位计算,为此,我们在第三章中简要地介绍了用电子计算器代替人工查表解算天文定位题的方法。

随着现代科学技术的发展,特别是微机的迅猛发展,一定会使传统的天文导航技术产生巨大的变革,如改革天文定位方法、改进船用天文观测仪器、简化计算程序、设计新型的船用电子计算机以及提高定位的准确度……等,这些都有待我们进一步研究和探讨。

第一章 航 用 天 体

天上的日、月、星辰统称为天体。在众多的天体之中，离地球较近的，仅是少数几个太阳系的天体，如太阳、月亮和行星等。在太阳系之外的广漠无垠的宇宙空间，乃是遥远的数目无穷的恒星世界。

自五十年代后期以来，随着宇航科学的发展，出现了人造地球卫星、行星际飞行器等人造天体。

一、太阳系和地球

太阳系是由太阳以及受其引力支配而绕它公转的大、小行星和彗星等形成的一个天体系统，如图 1-1。

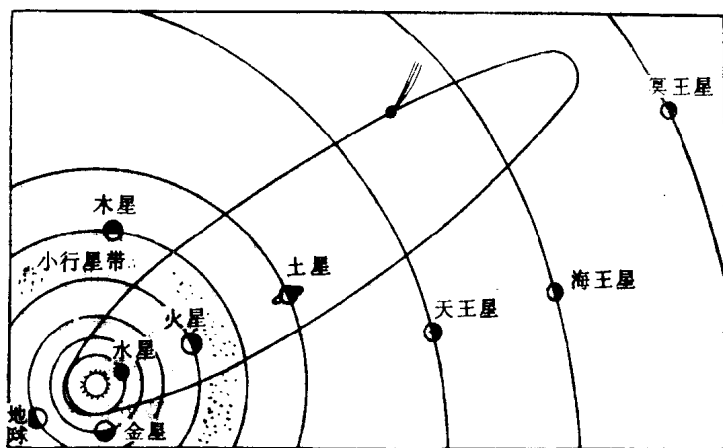


图 1-1

1. 太阳

太阳位于太阳系中心，质量占太阳系总质量的99.86%强，直径达 139 万km左右，是太阳系的主体。它是一个炽热的气体球，

表面温度约 6000°K (绝对温度), 越向内部越热, 中心高达 $1.5^{\circ}\times 10^8\text{K}$ 。因是一个气体球, 太阳自转周期在其赤道附近为 25 天, 两极地区则需 34 天。

2. 地球

地球是我们人类居住的星球, 是一颗沿着椭圆轨道绕太阳公转的行星。公转周期一年。与太阳间的平均距离为 $1.495\times 10^8\text{km}$, 太阳光需经 $8\text{ min}19\text{ s}$ 才到达地球表面。地球在公转过程中, 如图 1-2, 于每年的夏至, 约 6 月 22 日左右, 到达 A 点。由于

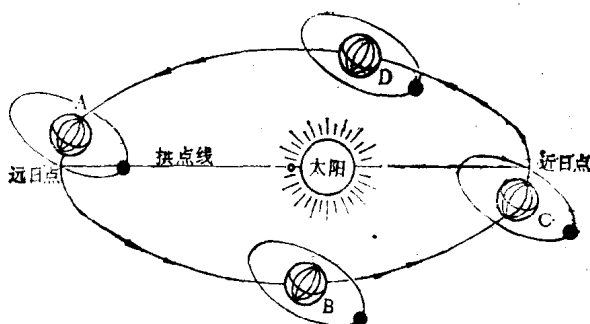


图 1-2

地轴与公转轨道平面不相垂直, 有 $23^{\circ}27'$ 的倾角, 夏至这天的阳光直射地球北纬 $23^{\circ}27'$, 北半球夏季开始, 南半球则是冬季。随着地球继续运行, 阳光直射地带的纬度逐渐南移。夏至后约 12 天, 地球到达轨道上离太阳最远的远日点。9 月 23 日前后过 B 点, 这天称秋分, 阳光直照赤道, 北半球开始秋季, 南半球进入春季。12 月 22 日左右到达 C 点, 这天是冬至, 阳光直射地球南纬 $23^{\circ}27'$, 北半球冬季开始, 南半球则进入夏季。此后, 阳光直射地带开始北移。冬至后约 12 天, 地球到达轨道上距太阳最近的近日点。于第二年的春分, 约 3 月 21 日到达 D 点, 阳光又直射赤道, 北半球进入春季, 南半球则是秋季。6 月 22 日前后又回到 A 点, 如此周而复始循环不息。

地球还有绕地轴的自转, 对着太阳被阳光照亮的半球是白昼, 另一半处于黑暗中的半球则为夜间。自转产生了地球上的昼夜

现象。

地球是一不规则的球体，两极略扁。在导航中，一般取圆球体作为地球的第一近似体，半径为 6,366,707 m。在精度要求较高的场合，则以旋转椭球体作为地球的第二近似体，

长半轴 $a = 6,378,245 \text{ m}$

短半轴 $b = 6,356,863 \text{ m}$

扁率 $c = (a - b) / a = 1 / 298.3$

3. 行星

太阳系有九颗大行星，均沿着各自的椭圆轨道绕太阳公转，如图1-1，按与太阳间距离自近而远地排列，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。在地球轨道内侧的水星、金星称为内行星。地球轨道以外的称外行星。在火星和木星轨道之间分布着数以万计的小行星。九大行星的数据见表1-1。

表1-1 行星数据

星	符号	平均轨道半径 (百万 km)	平均直径 (km)	公转(恒星) 周期	自转周期	卫星 数
水星	♿	57.9	4840.9	88天	60天	
金星	♀	108.2	12392.0	224.7天	247 ± 5 天	
地球	♁	149.5	12733.4	365.24天	23 ^h 56 ^m	1
火星	♂	227.7	6783.4	687天	24 ^h 37 ^m	2
木星	♃	778.1	139691.6	11.86年	9 ^h 50 ^m	16
土星	♄	1462.7	115068.5	29.46年	10 ^h 14 ^m	15
天王星	♅	2869.5	51016.4	84.02年	10 ^h 49 ^m	5
海王星	♆	4496.5	49889.9	164.8年	15 ^h 40 ^m	2
冥王星	♇	5899.9	5632.7 ±	248.4年		1

行星自身不发光，是被太阳光照亮了，才为我们所见。天王星、海王星和冥王星离得远，星光太暗，肉眼发现不了。水星又离太阳太近常被太阳光辉所淹没，也不易看见。用于天文导航的，通常只有金星、火星、木星和土星，其中金星最亮，木星次之，火星略呈红色列第三，土星较之最暗。

金星不仅是行星中最亮的，也是天空除太阳、月亮以外最

亮的星球。由于离太阳较近，它出现时不是昏星便是晨星，即或者黄昏中出现于西方，或者黎明前出现于东方。当它最亮时，甚至在白天也能看见。

4. 卫星

卫星是绕行星公转的星体。除水星和金星之外，其余的七颗大行星都有卫星。到目前，已发现的共 42 颗，见表 1-1。月亮是地球唯一的卫星，也是唯一的一颗用于天文导航的卫星。其余的不是太小，就是太暗了。

二、月亮

月亮沿椭圆轨道向东绕地球公转，平均轨道半径约 384,000 km。月亮绕地球公转，相对于恒星的角速度约每天 13° 。公转一周约为 $360^\circ / 13^\circ$ 或 $27\frac{1}{3}$ 天，这周期称为月亮公转的恒星周期，又称恒星月；相对于太阳的角速度则为每天 12° 左右，这是因为地球本身具有绕太阳公转角速度每天约 1° 的缘故，见图 1-3。相

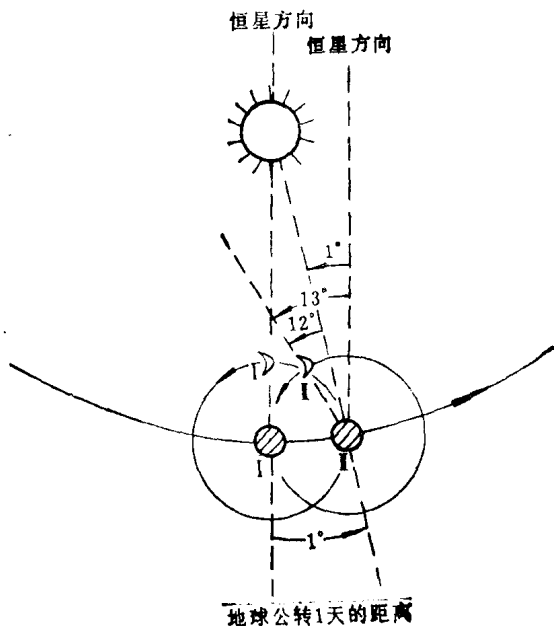


图 1-3

对于太阳的月亮公转周期约为 $360^\circ/12^\circ$ 或 $29\frac{1}{2}$ 天，称为朔望周期，又叫朔望月。我国农历的月份就是以朔望周期为基础的。

月亮也是被阳光照亮才为我们看见，被照亮的半个月球面总是对着太阳。在月亮公转过程中，月亮与日、地连线间的相对位置发生周期性的变化，使它的明亮半球朝向地球的角度也发生周期性的变化，而呈现出月牙、半圆和圆形等不同的视形状，月亮的视形状称月相，因而月相不仅是逐日改变，而且具有周期性。在一个朔望月内呈现一周变化。见图 1-4，每逢农历初一前后，月

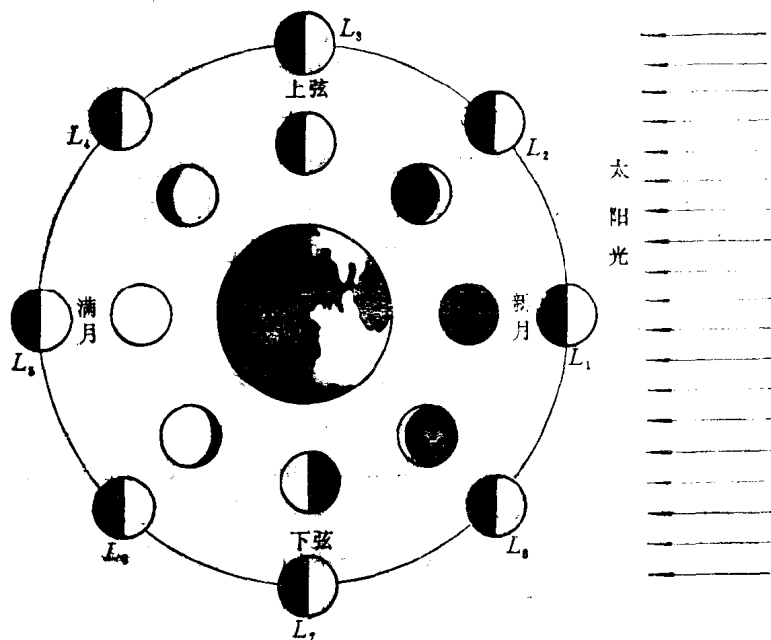


图 1-4

亮公转到达 L_1 ，即位于日、地之间的连线上，明亮的半个月球面正好背对着地球，对着地球的月面黑暗，看不见。这时的月相称为朔或新月。新月附近的月亮差不多与太阳同时升起，同时降落。此后，月亮逐渐向东离开日、地连线，明亮的半个月球面逐渐转

向地球，二、三天后，月相开始呈现出月牙形。到农历初七、八时，月亮向东离开日、地连线达 90° ，到 L_3 。明亮的半个月球面有一半朝向地球，月相呈半圆形，叫做上弦。因为月亮在太阳之东，所以月凸面是朝西的。上弦附近的月亮在中午前后升起，下午可见于东方天空，半夜前后降落。农历十五、六，月亮公转到 L_5 ，亮面全部对着地球，月相呈圆形，叫做望或满月。满月附近的月亮傍晚升起，第二天早晨降落。农历二十二、三日，月亮公转至日、地连线西侧 90° 的位置 L_7 ，月相又呈半圆形而凸面朝东，称为下弦。下弦月于半夜升起，第二天上午还能见于西方天空，直到中午前后降落。到下一个农历初一，月亮又回到 L_1 处，历时一个朔望月，月相完成一周的变化。自新月起到各月相出现所经过的天数，称为月龄。农历的日期实际上是月龄的近似数。月相、月龄的资料可在当年的航海天文历天象纪要部份查到。

月亮也有自转，周期与公转的相等，因而月亮总是以同一个半球面对着地球，使我们在同一的月面位置上老是看到同样的斑点。

三、恒星

晴天夜空，星辰满布，除几颗行星外，都是恒星。恒星与太阳一样，都是炽热发光的天体，而且有很多恒星远比太阳大而亮，只是因为地球是太阳的行星，阳光只需 $8\text{min}19\text{s}$ 即可到达地球，离得近，太阳显得又大又亮，成为地球天空中最大的天体，而最近的恒星，例如半人马座 α 星（专名南门二）的星光要经 4.3 年才能到达地球，其他的恒星更远，从地球上望去，恒星都成了一个一个的光点。肉眼能看到的约有七千颗，还有不知其数的恒星需通过仪器才能发现它们。正因为距离如此遥远，虽然恒星都在宇宙间运动着，而且有的速度极快，但在有限的岁月里，人们察觉不出恒星间相对位置的变化，而称它们为“恒”星的。

1. 星座

恒星间的相对位置变动极慢，为了便于识别，古代天文学家利用少数亮星连成一个一个的图形，构成若干星座来率领各自附

近众多的小星。星座的名称多以古代神话中的人、动物或其他物品名称来命名，例如猎户座、大熊座等。

早期的星座边界划分不统一，各种星图上绘出的星座范围往往不同。1928年国际天文学会议重新划定星座的边界，将整个星空分成 88 个星座。

2. 星名

在各个星座中，各星的名字是按其亮度依次用希腊字母 α 、 β 、 γ ……来称呼的，例如天鹰座中最亮的星起名为天鹰座 α ，第二亮的星叫做天鹰座 β ，余类推。根据星名可推知该星在星座中所占的亮度名次。但也有例外。由于恒星的亮度会逐渐变化，命名当初是星座中最亮的，经若干年之后，亮度名次可能变了，而星名未改，例如双子座 β ，猎户座 β 都比它们的 α 星亮。

各个亮星除了星名还有专名。例如天琴座 α 的拉丁文专名是 Vega，我国则称为织女一，俗称织女星。

3. 星等

星名的 α 、 β 等仅表示星座内部的亮度名次，而在整个星空范围内各星的亮暗程度，则用星等表示。星等值越小，表示星体越亮。最初把最亮的一些星定为一等，人眼刚能看到的最暗的星定为六等。十九世纪初，海世勒爵士发现一等星的亮度为六等星的 100 倍，其间星等差五级而亮度改变 100 倍，星等相差一级的亮度比为 $\sqrt[5]{100} = 2.512$ 倍，即一等星比二等星亮 2.512 倍，二等星又比三等星亮 2.512 倍，等等。各星体的星等并不正好都是整数，如天鹰座 α 的星等是 0.9，大犬座 α 星是 1.6 等。为了方便，通常采用粗分的星等，把亮于 1.5 的星统称为一等星；星等在 1.51~2.5 之间的统称为二等星；在 2.51~3.5 之间的统称为三等星；在 3.51~4.5 之间的统称为四等星，等等。在整个星空中，亮度达到一等星的，共有 20 颗，见表 1-2。二等星有 54 颗，三等星 174 颗，四等星 570 颗，五等星 1834 颗，六等星 5799 颗。导航上最常用的恒星大多属一等星，其次是二等星，三等星除个别的，一般就很少用了。