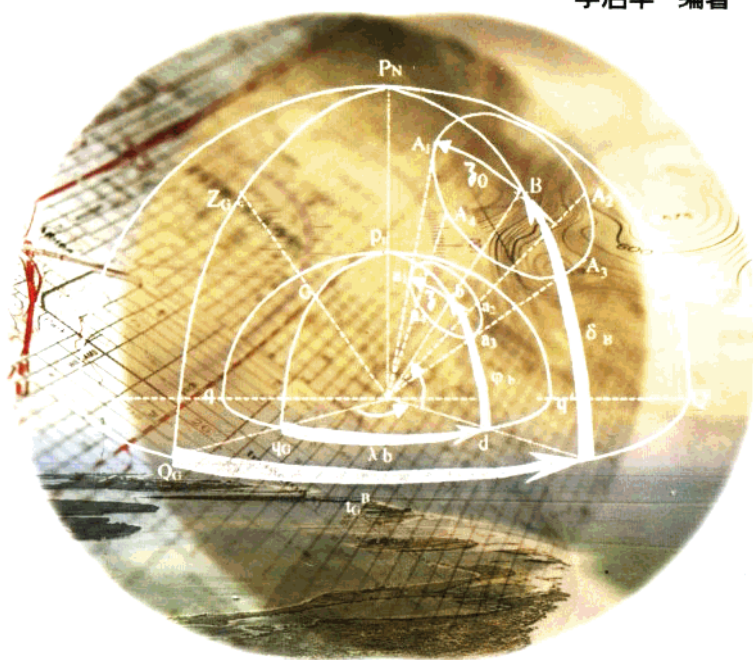


JISUANJI JISHU

计算机技术 在天文航海上的应用

ZAI TIANWEN HANGHAI SHANG DE YINGYONG

李启华 编著



国防科技大学出版社

计算机技术在天文航海上的应用

李启华 编著

国防科技大学出版社

·长沙·

图书在版编目(CIP)数据

计算机技术在天文航海上的应用/李启华编著. —长沙: 国防科技大学出版社, 2002. 6

ISBN 7-81024-877-4

I. 计… II. 李… III. ①计算机 ②天文航海 ③应用 IV. P13

国防科技大学出版社出版发行

电话: (0731) 4572640 邮政编码: 410073

E-mail: gfkdebs@public.cs.hn.cn

责任编辑: 罗青 责任校对: 肖滨

新华书店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 6.25 字数: 157 千

2002 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数: 1 - 1000 册

*

定价: 14.00 元

前 言

本书是根据作者从事天文航海教学二十年来的经验,以及对计算机技术应用于天文航海的探索和实践,把作者过去发表的有关论文进行总结归纳而成。

本书第一章总结性介绍了天文航海的基本原理和方法,供非航海专业的读者对天文航海有一个简单的了解,第二章至第五章介绍了计算机技术在天文航海上的各种应用:星历计算,取代《航海天文历》;自动读取观测时间和高度;计算定位,代替查《天体高度方位表》和人工作图;自动换算航海需要的各种时间。为了让读者能有所比较,每项内容都采用先介绍原来方法,再介绍计算机在天文航海上的应用。第六章介绍了作者多年来在教学中应用的《天文航海综合程序》,供读者借鉴。

本书可作为航海专业院校师生和从事航海工作人员的参考书。

由于时间比较仓促,书中难免有错误和不当之处,敬请各位同行指正。

李启华

2002年5月15日于广州舰艇学院

目 录

绪 论

第一章 天文定位基本原理和方法

- 1.1 天球及其基本点线圆 (4)
- 1.2 天球坐标系 (9)
- 1.3 天文三角形 (21)
- 1.4 海上天文定位原理 (23)
- 1.5 高度差法 (27)

第二章 星历计算

- 2.1 天体及运动 (35)
- 2.2 用《航海天文历》求天体位置 (41)
- 2.3 用计算机求天体坐标 (46)

第三章 自动读取和修正观测数据

- 3.1 航海六分仪 (81)
- 3.2 观测天体高度的方法 (87)
- 3.3 观测高度的改正 (89)
- 3.4 查表计算天体真高度 (98)
- 3.5 自动读取和修正观测数据 (102)

第四章 定位计算

- 4.1 《天体高度方位表》及使用 (105)

4.2	太阳移线定位	(111)
4.3	修正异顶差定位	(119)
4.4	误差图形处理	(126)
4.5	计算机计算定位	(137)
4.6	非高度差法应用	(143)

第五章 航海时间的自动计算

5.1	时间概述	(151)
5.2	地方时、格林时和时区时	(159)
5.3	求太阳上中天的船时	(166)
5.4	求日月视出没和晨光昏影时间	(168)
5.5	计算机计算时间	(174)

第六章 天文航海综合程序

6.1	程序的功能与设计	(180)
6.2	程序的使用方法	(183)

绪 论

天文航海学(Astronomical Navigation)(又称航海天文学),是研究舰船在远离海岸航行时利用天体导航的科学,是实用天文学的一个分支。

天文航海学是一门古老的科学。早在两千多年前,我国就已有关于使用天体导航的记载。公元前140年成书的《淮南子·齐俗训》中记载:“夫乘舟而惑者,不知东西,见斗极则悟矣”,说明在海洋上观星斗辨东西,确定航行方向。到了晋朝,许多商船和僧人往返于中国和南洋诸国及印度之间,天文航海是当时舟师的主要导航方法。东晋著名僧人法显从印度取海道回国,描述航行中“大海弥漫无边,不识东西,唯望日、月、星宿而进。若阴雨时,为风逐去,亦无准。……至天晴已,乃知东西,还复望正而进。”可见天文航海在远洋航行中的重要作用。明朝郑和七下西洋(1405~1435),更体现了我国古代天文航海的先进水平。《郑和航海图》中的过洋牵星图是现存最完整最精确的天文航海原始记录。牵星图上注明了从某地到某地牵何星是几指几角,并标明航行所用航向是什么针。15世纪哥伦布发现新大陆后,海上交通和贸易迅速兴起,天文航海也得以快速发展,1731年出现了六分仪,1761年发明了天文钟,使天文航海定位精度有了质的提高。1838年,美国船长萨姆纳提出了天文船位线的概念,1875年法国人圣·希勒尔提出了高度差法,使天文航海逐渐形成完整的理论体系。

天文航海学的主要任务是:(1)利用天体测定船位。船舶在大海上航行,必须随时知道自己的位置,才能确定是否航行在预定的航线上,何时应该转向,否则将无法到达目的地,甚至随时有触礁沉没的危险。茫茫大海,一望无边,除了天上的太阳星星,常常什

么也看不到。利用看到的太阳星星确定自己的位置,这是天文航海的首要任务。(2)利用天体测定罗经差。罗经是船舶在海上航行时保持航向、测定位置的主要工具之一,罗经指示不准,会造成偏航、定位不准,严重时可能造成航海事故。为保证罗经指示的准确性,必须经常测定罗经的误差,以便及时修正。测定罗经差的方法很多,但在远洋航行时,利用天体测定罗经差是唯一的办法。因此,天测罗经差是航海的一项重要任务。(3)计算与航海有关的各种时间。时间计量系统有多个:世界时系统,有恒星时系统等;计量的基准不一样:有从测者起算,有从格林经线起算。海上航行从事各种航海活动,往往要进行各种时间的换算。时间计算是航海的一项经常工作。

在无线电导航出现以前,天文导航是舰船远洋航行的唯一手段,随着无线电导航、卫星导航的出现,远洋航行的方法大大丰富,天文航海地位有所下降,但仍是每个航海人员必须掌握的一项基本技能,有人将其比喻为航海人员的防身匕首。

与其他导航方法比较,天文航海的优点是:(1)独立性。天文航海无需任何诸如岸台和卫星等发射设备,它的观测对象是天空中的自然天体,不会受到任何国家或集团的人为控制或破坏,这在战争情况下显得尤为重要。(2)隐蔽性。天文航海利用天体的自然光观测,不发射任何光波、电波,不会因此而暴露自己。(3)仪器简单可靠。天文航海只需用到六分仪、天文钟和一些简单的计算器材,这些仪器一般不易发生故障,发生故障也无需专业维修人员即可排除。

毋庸讳言,天文航海也存在明显的缺点,主要是:(1)观测时机受限。目前天文观测主要是观测天体与水天线的夹角,既要能看到被观测的星星,又要能看到水天线。因此只有在白天天晴时能观测太阳,早晚天晴时能观测星星,每天定位的时机有限,遇到天阴下雨,则无法进行观测定位。(2)计算繁琐和定位精度不高,实

时性差。通常天文观测后,需查《航海天文历》、《天体高度方位表》等表册,进行一系列运算,并通过作图才能确定观测船位。计算虽不复杂,但非常容易出错。

计算机技术是一门飞速发展的新技术,目前已广泛应用于科学计算、工作管理等各个方面,大大减轻了人们的计算劳动,提高了工作效率。计算机技术应用于天文航海,使古老的天文航海焕发出新的生命力,其计算繁琐、实时性差的缺点得到根本改变,各种年历、表册也都成为备用物品。航海人员在天文观测时不必为看错观测时间和观测高度而担心;在计算前不必准备《航海天文历》、《天体高度方位表》等一堆计算表册;在计算时不必一步一步地细心加减每一个数而耗费几十分钟;计算后不必用作图工具在海图或作图纸上一条条画船位线,并细心处理误差多边形。采用计算机技术,航海人员进行天文定位,观测前只需校正一下计算机的时钟和观测的六分仪,观测中只需按要领找准切点后按一下按钮,观测结束,几秒钟即可得到观测的船位经纬度。

本书主要讨论计算机技术应用于天文航海,实现观测数据记录、定位计算、时间换算的自动化,解决星历自动计算,加快定位过程,提高定位精度等问题。

第一章 天文定位基本原理和方法

天文航海是利用天上的天体定位导航,在定位过程中,涉及到各种坐标的确定和转换。本章主要介绍天球及天球坐标、天文定位的基本原理和方法。

1.1 天球及其基本点线圆

1.1.1 天球(celestial globe)

我们仰望天空时,觉得天空好像一个巨大的空心半球罩在我们头顶上,称为天穹。所有天体,无论其距离我们远近,都好像分布在这个空心球的球面上,而且不论我们走到哪里,总觉得自己始终位于球心。人们从这种直观的感觉中建立了天球的概念,作为研究天体的直观位置和视运动的一种辅助工具。天球是以地心为球心,以无限远为半径的假想球体。

天体在天球上的位置,是通过投影的方法将天体投射到天球面上的。地球中心和天体中心的连线在天球面上的交点,称为天体位置(Position of celestial body)。如图 1-1-1 所示,B 是天体 B' 的天体位置。由此可见,天体位置仅反映了天体相对于地球上测者的方向,而不表示天体距离地球的远近。

地球中心和天体中心的连线在地球表面的交点称为天体地理位置(geographical position of celestial body),或天体投影点,又称星下点(substellar point)。如图 1-1-1 中,b 是天体 B' 的地理位置。

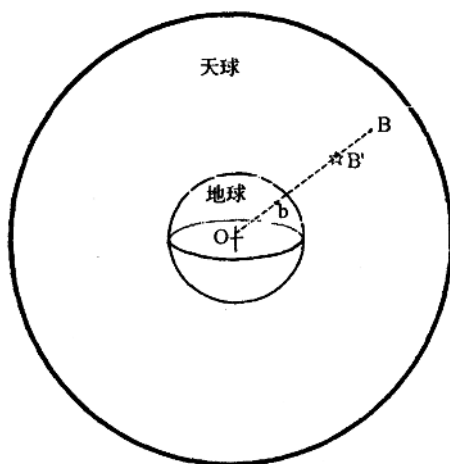


图 1-1-1

1.1.2 天球上的基本点线圆

天球上的基本点线圆是建立各种天球坐标系的基础。它们可由地球上的基本点线圆延伸、扩展、投影到天球球面上得到。如图 1-1-2。

天轴和天极 地轴无限延伸与天球球面相交所得的天球直径 $\overline{P_N P_S}$, 叫天轴 (celestial axis)。天轴的两端点叫天极 (celestial pole), 与地球北极对应的天极 P_N , 叫北天极 (north celestial pole); 与地球南极对应的天极 P_S , 叫南天极 (south celestial pole)。

天赤道 地球赤道平面无限扩展, 与天球球面相截所得的大圆 $\widehat{QQ'Q'}$, 叫天赤道 (celestial equator)。天赤道是天极的极线。

测者垂直线、天顶和天底 地球上的测者铅垂线无限延伸与天球球面相交所得的天球直径 $\overline{Zn}$, 叫测者垂直线 (observer's ver-

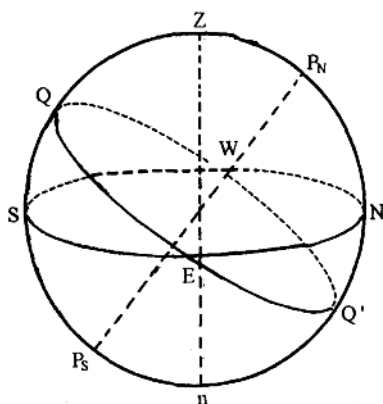


图 1-1-2

cal)。测者垂直线的两端点,在测者头顶方向的一点 Z,叫天顶(zenith);在测者正下方的一点 n,叫天底(nadir)。

测者子午圈 过两天极、天顶和天底的大圆 $\overline{P_N Z P_S n P_N}$, 叫测者子午圈(observer's meridian)。实际上它就是地球上的测者子午圈无限扩展与天球球面相截的大圆。天轴将测者子午圈等分为两个半圆。包括天顶的半个大圆 $\overline{P_N Z Q P_S}$, 叫测者午圈(upper branch of observer's meridian), 其中点 Q 称为午圈中点; 包括天底的半个大圆 $\overline{P_N Q' n P_S}$, 叫测者子圈(lower branch of observer's meridian), 其中点 Q' 称为子圈中点。

对应于地球上的格林尼治经度线, 天球上同样有格林子午圈(greenwich meridian), 它是测者子午圈的一个特例。格林子午圈也可分为格林午圈和格林子圈。

测者真地平圈 与测者垂直线 $\overline{Zn}$ 相垂直的大圆 $\overline{NESWN}$, 叫

测者真地平圈(celestial horizon),它是天顶和天底的极线。

测者真地平圈上有东、南、西、北四个方向点。

测者子午圈与测者真地平圈相交两点,其中靠近天北极的交点为正北点 N (north),靠近天南极的点为正南点 S (south);天赤道与测者真地平圈相交两点,测者面向正北,右手方向的交点为正东点 E (east),左手方向的交点为正西点 W (west)。

1.1.3 与天体有关的辅助圆

在稍后讨论的天球坐标系中,要用到一些与天体位置有关的辅助圆。它们是:

1. 天体时圈(hour circle)

过两天极和天体中心的半个大圆叫天体时圈。如图 1-1-3 中的 $\widehat{P_NBP_S}$ 。

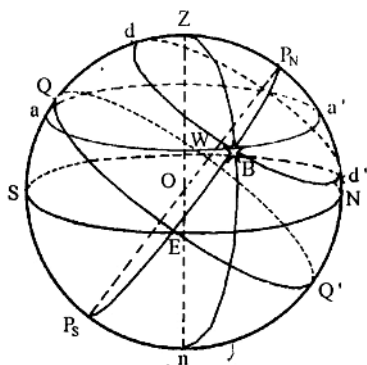


图 1-1-3

2. 天体方位圈(azimuth circle)

过天顶、天底和天体中心的半个大圆叫天体方位圈。如图 1

- 1-3 中的 $\widehat{ZB_n}$ 。

3. 天体赤纬圈 (declination circle)

平行于天赤道且过天体中心的小圆叫天体赤纬圈。如图 1-

1-3 中的 $\widehat{dBd'd}$ 。

4. 天体高度圈 (altitude circle)

平行于测者真地平圈且过天体中心的小圆叫天体高度圈。如

图 1-1-3 中的 $\widehat{aBa'a}$ 。

1.1.4 天球区域的划分

为了叙述问题的方便, 将天球作如下划分:

天赤道将天球等分为北天半球(包含 P_N)和南天半球(包含 P_S);

测者子午圈将天球等分为东天半球(包含 E)和西天半球(包含 W);

测者真地平圈将天球等分为上天半球(包含 Z)和下天半球(包含 n);

上天半球的天极称为高极(仰极); 下天半球的天极称为低极(俯极)。

高极与测者纬度同名, 即北纬测者的高极是北天极, 南纬测者的高极是南天极。

1.1.5 天球坐标系的建立

天球是一个球面, 在其上主要是建立球面坐标系。建立球面坐标系首先应选定一个特定的大圆作为基准大圆, 如图 1-1-4 中的 $\widehat{QQ'Q}$, 然后选择一个连接基准大圆两极的半圆作为基准半圆, 如图 1-1-4 中的 $\widehat{PQP'}$, 两者的交点 Q 为坐标原点。平行于

基准大圆的小圆为辅助小圆,如图 1-1-4 中的 $\widehat{qq'q}$, 连接基准大圆两极的其它半圆为辅助半圆, 如图 1-1-4 中的 $\widehat{PDP'}$ 。

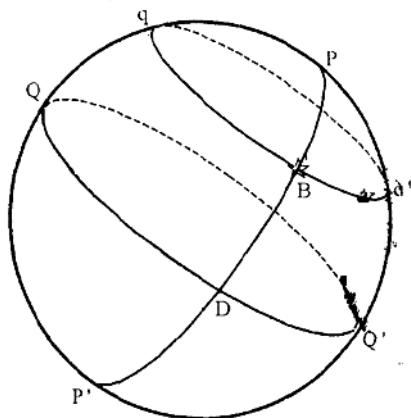


图 1-1-4

球面坐标系的横坐标是用基准半圆与过目标的辅助半圆在基准大圆上所夹的弧距表示, 如图 1-1-4 中的 $\widehat{QD}$, 纵坐标是用基准大圆与过目标的辅助小圆在基准半圆上所夹的弧距表示, 如图 1-1-4 中的 $\widehat{Qq}$ 。

1.2 天球坐标系

根据不同的需要, 选取不同的基准大圆和基准半圆, 可构成不同的天球坐标系。各个坐标系有不同的作用, 用于研究不同的问题, 各坐标系的坐标值相互之间可以换算。

1.2.1 第一赤道坐标系

以天赤道为基准大圆的坐标系叫赤道坐标系。由于所选的坐标原点不同,赤道坐标系分为第一赤道坐标系和第二赤道坐标系,第一赤道坐标系又称时角坐标系。

1. 坐标系的构成

基准大圆:天赤道。

基准半圆:格林午圈或测者午圈。

坐标原点:午圈中点(Q_c 或 Q)。

第一赤道坐标系的辅助圆是天体时圈和天体赤纬圈。

2. 坐标值

(1) 天体赤纬和天体极距

天体赤纬 从天赤道起,沿天体时圈度量到天体中心的弧距,叫天体赤纬(declination),用 δ 表示。度量范围 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。天体在北天半球时向北度量,赤纬命名为 N;天体在南天半球向南度量,赤纬命名为 S。

天体极距 从高级起,沿天体时圈度量到天体中心的弧距,叫天体极距(polar distance),用 p 表示。度量范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$,无命名。

如图 1-2-1 所示:

天体 B_1 : $\delta = \widehat{DB_1} = 45^\circ N$, $p = 45^\circ$

天体 B_2 : $\delta = \widehat{KB_2} = 60^\circ S$, $p = 150^\circ$

天体赤纬与天体极距的关系

显然: $p + \delta = 90^\circ$ (1-2-1)

上式为代数和,即当 δ 与高级同名时, δ 取“+”;当 δ 与高级异名时, δ 取“-”。

(2) 天体时角

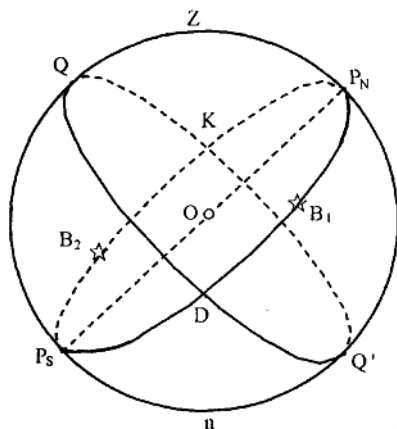


图 1-2-1

午圈与天体时圈在高极处所夹的球面角,叫天体时角(hour angle),用 t 表示,它等于午圈与天体时圈在天赤道上所夹的弧距。

天体时角因坐标系所选基准半圆(测者午圈或格林午圈)不同,分为地方时角和格林时角;又因度量范围和方向不同分为圆周时角和半圆时角。因此,天体时角具体地可分为地方圆周时角、地方半圆时角、格林圆周时角和格林半圆时角四种。它们的度量方法和命名分别为:

①地方圆周时角(又称地方西行时角)

从测者午圈中点 Q 起,沿天赤道向西度量到天体时圈止。度量范围 $0^\circ \sim 360^\circ$,不命名。

在图 1-2-1 中:

天体 B_1 的地方圆周时角为: $t = \widehat{QKQ'D} = 240^\circ$

天体 B_2 的地方圆周时角为: $t = \widehat{QK} = 70^\circ$