



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

航海学

● 赵仁余 主编
● 肖英杰 主审

Hanghai
Xue



人民交通出版社
China Communications Press



配光盘



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

航海学

● 赵仁余 主编

● 肖英杰 主审



人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分四篇,另列附篇和附录,其主要内容分别为:地球形状、地面方向和地理坐标的知识,航向、方位和距离的定义、测定方法,海图投影与海图及电子海图,国际浮标和我国浮标制度,天体视运动和时间系统,航迹推算,陆标定位,利用太阳和星体定位,电子定位,船位误差分析方法与误差,潮汐的形成原理和特征,利用中、英版潮汐表推算潮汐,英版、中版航海图书资料,大洋、沿岸、狭水道以及特殊条件下的航线设计、航行方法和航次计划等。附篇包括球面几何,海图测绘与坐标系;有风流情况下的航迹推算误差的分析方法,行星视运动简介,岁差与章动简介,四季星空简介,以及若干传统的但目前已很少使用的航海技术和方法简介等。

本书附带光盘一张,主要包括:电子教材、教学课件、教学软件、航海视频和参考资料。

本书为航海类高等学校使用教材,也可作为海洋船舶驾驶和管理人员、航海从业人员及相关专业的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航海学 / 赵仁余主编. —北京:人民交通出版社,
2009.11

ISBN 978-7-114-07878-1

I. 航… II. 赵… III. 航海学—高等学校—教材 IV.
U675

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 113121 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

书 名:航海学

著 作 者:赵仁余

责任编辑:钱悦良

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969, 59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:32.25

字 数:766千

版 次:2009年11月第1版

印 次:2009年11月第1次印刷

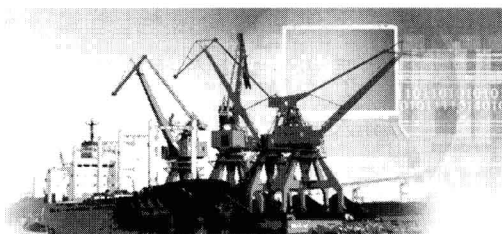
书 号:ISBN 978-7-114-07878-1

印 数:0001~3000册

定 价:70.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言 Qianyan



《航海学》(Navigation)是航海技术专业的主要课程,是研究船舶如何安全经济地从一个港口航行到另一个港口的实用科学。它研究的主要课题是:

1. 拟定既安全又经济的航线,制订切实可行的航行计划。
2. 船舶定位的理论和实践。研究船舶位置的确定方法及其误差分析与控制,引导船舶航行在既定的航线上。
3. 各种条件下的航行方法及航行安全研究。

航海学是一门既经典又不断发展的学科。因此,《航海学》教材必须摒弃航海实际中不再应用的陈旧内容,简化将要被淘汰的内容,使教材的主要读者群——学生能有更多的时间和精力学习新知识、新内容。

随着教学改革的不断深入,基础课程和实践活动教学的加强,专业课程的理论教学时数必定会减少。因此,本教材在结构体系和内容上作了较大幅度的调整,对基础理论和实践方面的内容适度加强;对某些纯理论性的内容进行了优化;对航海实践中已经很少应用的内容,只作简单介绍,但考虑到其他读者的需要,将有些内容编入了附篇。

根据航海实际及其发展趋势,本书简化了航迹推算的方法;删去了诸如雾中测深辨位、逐点航法等陈旧内容;调整和精简了航海天文学的结构体系和内容,鉴于航海天文定位不再是航行安全必不可少的手段,本书仅作为定位方法介绍了太阳和星体定位,并简化了其误差的分析,而将原属于航海天文学范畴的天球坐标系、天体视运动和时间系统等基础性内容编入了航海学基础知识篇。

STCW 公约对船舶定位的精度及其局限性分析有一定要求。本书将“船位误差的分析方法”单列一章,并置于航迹推算之后、各种观测定位之前,其内容的编排也作了若干调整。这样安排,一方面可以理论联系航海实践;另一方面为学习各种观测定位的误差分析方法打下基础。

本书内容力求通俗易懂,反映航海技术的新发展、新变化,以利于拓展学生的思路,培养学生的自学能力和创新能力。本书介绍了电子海图显示与信息系统及

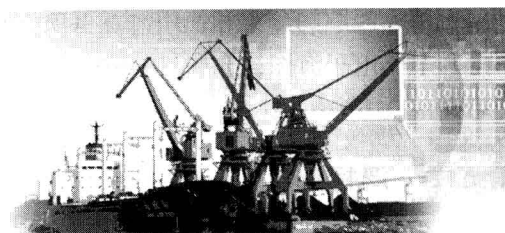
其不同模式下使用的局限性,航海资料的数字化和网络化情况。增加了 AIS 及其航海应用与展望,船舶交通管理的发展阶段划分,以及根据船舶定线制思想合理、安全地使用大洋推荐航线、沿岸推荐航线等新内容。

本书的技术用语、缩写和代号等采用 2006 年 4 月 1 日实施的国家标准 GB/T 4099—2005“航海常用术语及其代(符)号”和 1996 年全国自然科学名词审定委员会公布的“航海科技名词”中的规定。

本书由上海海事大学赵仁余主编,并编写了第一篇第二至第六章,第二篇第二、第四至第六章,第四篇第一、三至第六章,附篇第一章、第二章第一至第三节、第三至第八章及练习题;王志明编写了第三篇;潘杰编写了第二篇第一章;卫家俊编写了第一篇第一章、附篇第二章第四节;邬惠国编写了第四篇第二章,沈淳编写了第二篇第三章;金国柱编写了第一篇第七章及部分电子插图及课件;黎飞、倪学义制作了天体视运动等的光盘软件;赵毅安、田起龙、徐兆辉和戴元君参加了本书的制图及修饰工作。最后由赵仁余统稿,肖英杰审稿。

由于编者水平有限,恳请广大读者批评指正。作者邮箱:renyuzh@163.com。

目录 Mulu



第一篇 航海学基础知识

第一章 地球形状和地理坐标	3
第一节 地球形状	3
第二节 地面方向	5
第三节 地理坐标	7
习题	10
第二章 航向和方位	12
第一节 航向、方位和舷角	12
第二节 海上方向的测定	14
习题	23
第三章 海上距离	25
第一节 海上的距离单位	25
第二节 海上能见距离	27
第三节 灯标射程	29
第四节 船速与航程	32
习题	38
第四章 海图	40
第一节 地图投影及其分类	40
第二节 航海图的常用投影方法	44
第三节 墨卡托图网的绘制	51
第四节 海图识读	54

第五节 海图的分类和使用注意事项	65
第六节 电子海图简介	68
习题	74
第五章 浮标制度	77
第一节 国际浮标制度	77
第二节 中国水上助航标志制度	82
习题	85
第六章 天球坐标和天体视运动	87
第一节 航用天体和天球	87
第二节 天球坐标系	88
第三节 天体周日视运动	96
第四节 太阳周年视运动	103
第五节 月亮视运动简介	107
习题	110
第七章 时间	112
第一节 时间系统简介	112
第二节 恒星时	114
第三节 视时和平时	115
第四节 地方时和世界时	118
第五节 区时、法定时和船时	119
习题	122

第二篇 船舶定位

第一章 航迹推算	127
第一节 航迹绘算	127
第二节 航迹计算	137
习题	143
第二章 船位误差的分析方法	145
第一节 观测误差及其分类	145

第二节	观测值的标准差及其传播规律	149
第三节	凑整误差	153
第四节	航迹推算误差	154
第五节	船位线和观测船位	157
第六节	船位线的误差	161
第七节	观测船位的误差	166
	习题	173
第三章	陆标定位	175
第一节	方位定位	175
第二节	距离定位	181
第三节	单物标方位、距离定位	183
第四节	陆标的识别方法	185
第五节	移线定位	186
	习题	191
第四章	天文定位	194
第一节	天文定位的基本概念	194
第二节	天体高度的观测与天体真高度	194
第三节	求观测时刻的天体位置	208
第四节	求天文船位线	214
第五节	白昼测天定位	218
第六节	晨昏测星定位	224
第七节	影响天文船位误差的因素	236
	习题	237
第五章	罗经差的测定	241
第一节	利用陆标测定罗经差	241
第二节	利用天体测定罗经差	243
第三节	比对航向法测定罗经差	247
	习题	248
第六章	电子定位	250
第一节	电子定位系统概述	250

第二节	罗兰 C 定位	251
第三节	GPS 定位	254
第四节	雷达定位与导航	260
第五节	船舶自动识别系统 AIS 简介	268
习题		276

第三篇 航海图书资料

第一章	潮汐与潮汐推算	279
-----	---------------	-----

第一节	潮汐的基本成因与潮汐不等	279
第二节	中版《潮汐表》与潮汐推算	286
第三节	英版《潮汐表》与潮汐推算	297
第四节	潮流推算	303
习题		306

第二章	航海图书资料	311
-----	--------------	-----

第一节	海船必须配备的航海图书资料	311
第二节	世界大洋航路	312
第三节	航路设计图	315
第四节	英版《航路指南》	317
第五节	进港指南	322
第六节	英版《灯标雾号表》	323
第七节	英版《无线电信号表》	326
第八节	英版《海图和出版物总目录》	332
第九节	英版《航海通告》	336
第十节	中版航海图书资料简介	350
习题		355

第三章	航海图书资料的更新与管理	358
-----	--------------------	-----

第一节	书表的更新	358
第二节	书表的管理	361
第三节	海图的更新与管理	363
习题		368

第四篇 航线和航行方法

第一章 大洋航行	373
第一节 大洋航线	373
第二节 大洋航行的注意事项	383
第三节 大洋航线选择举例	386
习题	395
第二章 沿岸航行	397
第一节 沿岸航行的特点和航线的选择	397
第二节 沿岸航行的注意事项	399
习题	404
第三章 狭水道航行	406
第一节 狭水道航行的特点	406
第二节 狭水道的航行方法	407
习题	417
第四章 特殊条件下的航行	419
第一节 雾中航行	419
第二节 冰区航行	421
第三节 岛礁区航行	425
第四节 相对运动	427
习题	429
第五章 航行计划和航海日志	431
第一节 航行计划	431
第二节 航海日志	435
习题	438
第六章 船舶交通管理	439
第一节 船舶交通管理系统概述	439

第二节	船舶交通管理系统的组成	443
第三节	船舶定线	445
第四节	船舶报告系统	450
第五节	我国的船舶交通管理概述	452
习题		458

附 篇

第一章	球面几何	465
第一节	球与球面	465
第二节	球面三角形	467
第二章	海图测绘与坐标系	472
第一节	海图资料的测量及其局限性	472
第二节	海图的绘制	473
第三节	中版海图的图号规则	473
第四节	海图坐标系	474
第三章	风流中的航迹推算误差和天文定位误差	477
第一节	风流中航迹推算的误差分析	477
第二节	天文船位的误差分析	479
第四章	行星视运动简介	483
第一节	概述	483
第二节	地外行星的视运动现象	484
第三节	地内行星的视运动现象	485
第五章	岁差与章动简介	见光盘
第六章	四季星空	见光盘
第七章	若干传统的航海技术简介	见光盘

第八章 若干公式的证明	见光盘
-------------------	-----

附 录

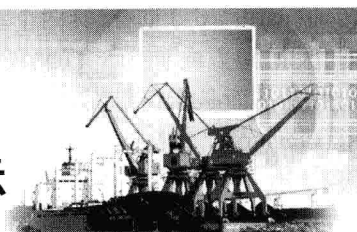
附录 1 纬度渐长率表摘录	489
附录 2 太阳、星体高度改正表	490
附录 3 中版 2006 年《航海天文历》摘录	491
附录 4 《航海天文历附表》摘录	499
附录 5 潮汐表摘录	500
附录 6 中华人民共和国船舶交通管理系统安全监督管理规则	见光盘
附录 7 中华人民共和国内河交通安全管理条例(节录)	见光盘
附录 8 海图图式摘录	见光盘
附录 9 浮标系统摘录	见光盘
附录 10 若干航标的照片	见光盘
附录 11 海图样张	见光盘
附录 12 索星卡	见光盘
附录 13 常用的船位名称、代号和符号表	见光盘
参考文献	504

第一篇

航海学基础知识



第一章 地球形状和地理坐标



第一节 地球形状

一、大地球体

船舶在地球表层的水面航行,为了研究诸多的航海问题,应该对地球的形状和大小有个基本的了解。地球的自然表面有高山、有深海,形状非常复杂。但地球表面约有 71% 被海洋覆盖,大陆不足 10km 的高低起伏与地球约 6366km 的半径相比,显得微不足道。所以,我们讨论的地球形状,并不是指地球的自然形状,而是指由大地水准面(geoid)所包围的几何体的形状。

大地水准面是一个假想的、与完全均衡的海洋面(平均海面)相吻合的,并向大陆延伸,始终保持在任何地方都与该地的铅垂线正交而形成的一个连续的、无叠痕的、无棱角的不规则的光滑闭合曲面。它是重力等位面,即物体沿该面运动时,重力不做功。大地水准面是唯一的,凡与它平行的局部平面在航海上称为地平平面,也叫水平面。大地水准面是描述地球形状(earth shape)的一个重要物理参考面,也是我国海拔高程的起算面。被大地水准面所围成的几何体,是理想的地球形状,叫做大地球体。

二、大地球体的近似体

大地球体是一个不规则的几何体。为了应用方便,通常用规则的几何体——地球圆球体和地球椭圆体,近似代替大地球体。

1. 地球圆球体

地球圆球体(terrestrial sphere)是大地球体的第一近似体。在计算精度要求不太高的航海计算中,通常用地球圆球体解算航海问题。根据地球圆球面上大圆弧 1' 的弧长等于 1n mile (1 852m) 的规定,可推算出地球圆球体的半径 R_E :

$$R_E = \frac{360 \times 60}{2\pi} \text{n mile} = 3437.7468 \text{n mile} = 6\,366\,707 \text{m}$$

2. 地球椭圆体

地球椭圆体(earth ellipsoid)也叫旋转椭圆体,是大地球体的第二近似体。在大地测量学、地图学和需要精确的航海计算中,将大地球体近似为两极略扁的地球椭圆体。

1) 地球椭圆体的构成

地球椭圆体是由椭圆 $p_n q p_s q'$ 绕其短轴 $p_n p_s$ 旋转而成的几何体(图 1-1-1)。 $p_n p_s$ 与地球自



转轴(earth axis)重合,其两个端点叫做地理北极 p_n 和地理南极 p_s ,右手四指弯向地球自转方向,大拇指方向称为地理北极。椭圆长轴 qq' 绕短轴旋转所成的平面是赤道平面,它在地球椭圆体面上的截痕是赤道(equator),赤道是一个大圆,它将地球平分为北(含北极)、南(含南极)两个半球。与赤道面平行的平面,称为纬度圈平面,它与地球椭圆体表面的截痕是圆,称为纬度圈(parallel of latitude)。包含短轴 $p_n p_s$ 的任一平面叫做子午圈平面,它与地球椭圆体表面的截痕是椭圆,称为子午圈(meridian),其被短轴平分的半个椭圆,叫做地理子午线、子午线或经线(meridian line)。

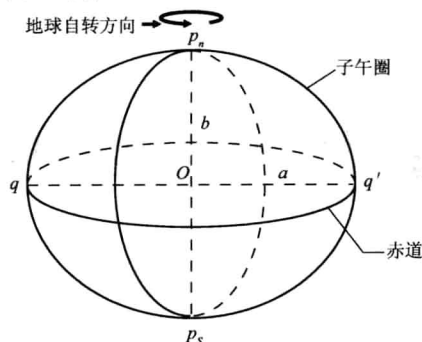


图 1-1-1 地球椭圆体

2) 地球椭圆体的参数

地球椭圆体的形状和大小,可用椭圆体参数表示,它们是:椭圆体的长半径 a 、短半径 b 、扁率 c (flattening of earth)和偏心率 e (eccentricity of earth),各参数间的关系式为:

$$c = \frac{a - b}{a}, e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

$$e^2 = \left(1 - \frac{b}{a}\right)\left(1 + \frac{b}{a}\right) = c(2 - c) \approx 2c$$

地球椭圆体参数是根据大地测量计算出来的。由于各个国家在测量时,采用的原点和测量的精度有所不同,因此所得的地球椭圆体的参数也略有差异。我国 1952 年采用白塞尔地球椭圆体参数,1954 年采用苏联的克拉索夫斯基参数,目前准备采用 IUGG(International Union of Geodesy and Geophysics,国际大地测量和地球物理联合会)1975 年推荐的参数。

1924 年国际测量学协会决定国际上采用的地球椭圆体参数是 1910 年海福特参数。几个较著名的地球椭圆体参数及其使用的国家和地区见附篇附表 2-1。

其实大地球体的赤道和等纬圈也不是圆,而近似为扁率极小的椭圆,其长轴位于西经 20° 和东经 160° 方向,长短轴之差约为 430m。若将地球赤道和等纬圈也用椭圆近似时,叫做地球椭球体或三轴椭球体,它是地球的第三近似体。

三、高度差

大地水准面与地球椭圆体表面是不一致的,它们之间的差值叫高度差(图 1-1-2),根据美国约翰·霍普金斯大学的数据,高度差最大不超过 100m,通常可以忽略不计。但在某些对精度要求较高的应用中,例如利用人造地球卫星定位时,要求输入的卫星接收机天线是在地球椭圆体面以上的高度,而船舶近似被认为航行于大地球体表面,即大地水准面上,因此必须考虑

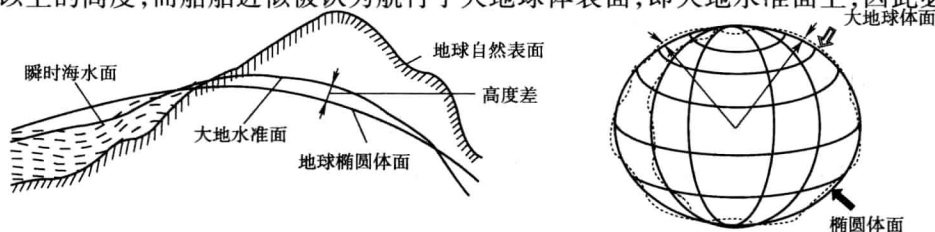


图 1-1-2 高度差示意图



高度差。即

卫星接收机天线在地球椭球体表面以上的高度 = 接收机天线在海面以上的高度 + 高度差
在卫星接收机中,当输入接收机天线在海面以上的高度后,高度差的改正是由接收机自动进行的。

第二节 地面方向

船舶在海上需要按设定的方向航行,当要测定船舶位置时,经常需要测出物标的方向。因此,海上航行必须知道方向,方向是航海的最基本的概念之一。

一、北、东、南、西的确定

1. 测者南北线

地面方向是在测者地面真地平平面上确定的。如图 1-1-3 所示,通过测者 A 的眼睛并与测者铅垂线 AO 正交的平面叫做测者地面真地平平面(sensible horizon)。测者子午圈平面与测者地面真地平平面的交线 NAS 是 A 测者的方向基准线——南北线,其指向地理北极 p_n 的方向称为正北(north),代号 N ;与其相反的方向称为南(south),代号 S 。

2. 测者东西线

通过测者铅垂线 AO ,并与测者子午圈平面垂直的平面,叫做测者的东西圈平面。东西圈平面与地球面的截痕称为东西圈,也称卯酉圈。东西圈平面与测者地面真地平平面相交的直线 EAW ,叫做 A 测者的东西线。东西线顺着地球自转方向的一侧是正东(east),代号 E ;逆地球自转方向的一侧是正西(west),代号 W 。实用中,测者面北背南时,测者东西线的右方是 E ,左方是 W (参看光盘:教学课件\方向概念)。

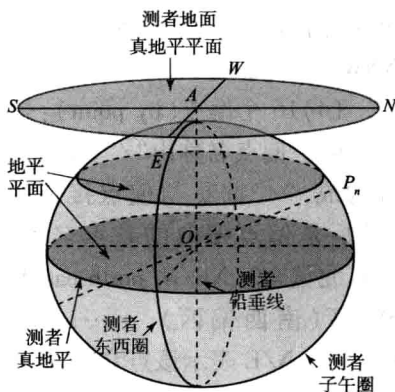


图 1-1-3 地面方向的确定

二、方向的划分

仅确定北东南西四个方向是不够的。航海上还用圆周法、半圆法及罗经点法三种方法来划分方向:

1. 圆周方向

在地面真地平平面上,以正北为 000° ,顺时针方向按 $000^\circ \sim 360^\circ$ 等分地平面向。正东为 090° ,正南为 180° ,正西为 270° 。圆周方向用三位数表示,它是航海上最常用的方向表示法。

2. 半圆方向

半圆方向是以测者的北或南为起始方向(0°),向东或向西按 $0^\circ \sim 180^\circ$ 等分半圆地平面向,并在方向度数后,以起始点(N 或 S)和度量方向(E 或 W)两个字母顺序命名。例如:圆周方向 024° 可表示为半圆方向 $24^\circ NE$ 或 $156^\circ SE$,圆周方向 225° 可表示为半圆方向 $135^\circ NW$ 或 $45^\circ SW$ 。