



海洋渔业科学与技术专业用

航海学

NAVIGATION

宋利明 主编



 中国农业出版社

海洋渔业科学与技术专业用

航海学

宋利明 主编

常州大学图书馆
藏书章

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

航海学 / 宋利明主编. —北京: 中国农业出版社,
2013. 12

ISBN 978 - 7 - 109 - 18665 - 1

I. ①航… II. ①宋… III. ①航海学—职业培训—教
材 IV. ①U675

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 287624 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 李文宾

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/16 印张: 21.25 插页: 6

字数: 550 千字

定价: 60.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)



宋利明 1968年12月出生。1990年7月毕业于上海水产大学海洋渔业专业，获学士学位。2002年7月毕业于上海水产大学捕捞学专业，获硕士学位。2007年11月至2008年3月为美洲间热带金枪鱼委员会（IATTC，美国）访问学者。2008年7月毕业于上海海洋大学捕捞学专业，获博士学位。现为国家远洋渔业工程技术研究中心、大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室、远洋渔业协同创新中心、上海海洋大学海洋科学学院教授，博士生导师。《Fisheries Research》和《Fishery Bulletin》等国内外学术期刊特约审稿人。“养护大西洋金枪鱼国际委员会（ICCAT）”中国首席科学家。

主要研究方向为捕捞学远洋渔业系统集成、渔业工程，主要从事金枪鱼渔业、底层延绳钓渔业等研究。

在国内外核心期刊上发表论文50多篇（其中国际SCI期刊7篇，EI检索3篇）。自1999年起，代表中国参加世界金枪鱼渔业国际管理组织的有关会议20多次，在会上交流论文30余篇，出版专著1部、主编或参编教学参考书7本。先后主持、承担国家“863”计划、教育部博士点基金项目、农业部和上海市教委等科研项目20余项。荣获国家科技进步奖二等奖、教育部科学技术进步奖二等奖、上海市科学技术奖三等奖、中国农学会神农奖三等奖和国家海洋局创新成果奖二等奖等奖项。获2007年度宝钢教育基金会优秀教师奖和2008年度上海高校优秀青年教师荣誉称号。

内 容 提 要

本书共四篇。第一篇为航海学基础知识，介绍地球形状与地理坐标、航向与方位、距离、船速与航程、海图等。第二篇为船舶定位，介绍航迹推算、陆标定位等。第三篇为航海图书资料，介绍潮汐推算、航标、航海图书资料等。第四篇为航线和航行方法，介绍各种条件下的航行方法。本书根据“海洋渔业科学与技术”专业本科指导性教学计划，按照新修订的《航海学》教学大纲编写。

本书既可作为“海洋渔业科学与技术”专业本科教材，也可作为渔船船员考证培训教材及有关渔船驾驶和管理人员的技术参考书。

.....

主 编 宋利明

参编人员 宋利明 张福祥 邹晓荣

前 言

《航海学》(Navigation)是“海洋渔业科学与技术”专业的一门重要的专业基础课。它是一门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性科学。根据“海洋渔业科学与技术”专业的培养目标,无论从事渔业资源调查、开发、水域环境监测、渔业生产、渔政管理都与海洋和船舶有直接关系,因此要求学生具备一定的航海学基础知识。

通过本课程的学习,应使学生能应用所学的知识和有关航海图书资料,拟定一条安全、经济的航线;掌握航迹推算、陆标定位的方法;熟悉在各种情况下的航行方法。

远洋渔业是实施我国渔业“走出去”战略、维护我国海洋权益的重要举措。随着中国远洋渔业的发展,既掌握远洋渔业捕捞技术,又具备远洋航海技术的人才已成为紧缺人才。为适应我国远洋渔业的发展,“海洋渔业科学与技术”专业教学改革势在必行。为配合该专业的教学改革,并注重培养学生的动手能力和实际应用能力,本教材在体系和内容上做了较大幅度的调整。考虑到“天文航海”的内容在远洋渔业中很少应用、无线电航海仪器的型号较多。因此,没有把这两部分内容编入本教材。

本教材第一篇为航海学基础知识,包括地球形状与地理坐标、能见地平距离和物标能见距离、船速与航程、向位与向位换算、海图,共5章;第二篇为船舶定位,包括航迹推算、陆标定位,共2章;第三篇为航海图书资料,包括潮汐推算、航标、航海图书资料,共3章;第四篇为航线与航行方法,包括大洋航行与最佳航线、沿岸航行、狭水道及运河航行、特殊条件下的航行、航行计划与航海日志,共5章。本教材还为每一篇编写了习题,以利于同学复习、巩固各知识点。

本书由上海海洋大学宋利明教授主编,编写了第一篇~第三篇,参编者张福祥副教授编写了第四篇中的第一章和第五章,邹晓荣副教授编写了第四篇中的第二章~第四章。全书由宋利明教授统稿。本书中的插图由硕士研究生张智、吕凯凯、胡振新、武亚苹、李杰和杨嘉樑等用计算机绘制。

由于编者水平有限,不足之处希望广大读者批评指正!

编 者

2013年9月

目 录

前言

第一篇 航海学基础知识

第一章 地球形状与地理坐标	3
第一节 地球形状	3
第二节 地理坐标	5
第三节 大地坐标系	8
第四节 不同大地坐标系间的坐标变换	10
习题一	11
第二章 能见地平距离和物标能见距离	13
第一节 航海上的距离单位	13
第二节 测者能见地平距离	15
第三节 物标能见距离	16
第四节 灯标射程	17
习题二	18
第三章 航速与航程	20
第一节 用主机转速测定船速	20
第二节 用计程仪测定航程	23
习题三	24
第四章 向位与向位换算	26
第一节 航向与方位	26
第二节 罗经差的测定	35
习题四	40

第五章 海图	44
第一节 地图投影	44
第二节 恒向线	48
第三节 墨卡托投影海图	50
第四节 港泊图与大圆海图的投影方法	56
第五节 海图的绘制与出版	58
第六节 识图	63
第七节 海图的分类和使用注意事项	74
第八节 电子海图	77
习题五	83

第二篇 船舶定位

第一章 航迹推算	89
第一节 航迹绘算	89
第二节 航迹计算	99
习题六	106
第二章 陆标定位	112
第一节 陆标的识别与方位、距离的测定	112
第二节 方位定位	116
第三节 距离定位	121
第四节 方位距离定位	123
第五节 移线定位	124
第六节 单一位置线的应用	129
习题七	131

第三篇 航海图书资料

第一章 潮汐推算	139
第一节 潮汐的基本成因和潮汐术语	139
第二节 中版《潮汐表》与潮汐推算	146

第三节 英版《潮汐表》与潮汐推算	157
第四节 潮流推算	166
习题八	170
第二章 航标	173
第一节 航标的分类	173
第二节 国际海区水上助航标志制度	177
第三节 中国水上助航标志	184
第四节 中国沿海《航标表》及英版《灯标和雾号表》	188
习题九	197
第三章 航海图书资料	198
第一节 《世界大洋航路》、航路设计图与航路设计指南图	199
第二节 《航路指南》和《进港指南》	204
第三节 英版《无线电信号表》	209
第四节 里程表	214
第五节 航海图书目录	216
第六节 《航海员手册》	222
第七节 航海通告	224
第八节 海图的改正与管理	232
第九节 航海图书的改正与管理	239
习题十	242
 第四篇 航线与航行方法	
第一章 大洋航行与最佳航线	249
第一节 大圆航线与混合航线	250
第二节 大洋航线的选择与航行注意事项	255
第二章 沿岸航行	267
第一节 沿岸航行的特点	267
第二节 沿岸航线的选择	267
第三节 航行注意事项	269

第三章 狭水道及运河航行	273
第一节 狭水道航行	273
第二节 运河航行	288
第四章 特殊条件下的航行	298
第一节 雾中航行	298
第二节 冰区航行	302
第三节 极区航行	306
第五章 航行计划与航海日志	310
第一节 航行计划	310
第二节 航线设计	314
第三节 航海日志	318
习题十一	324
主要参考文献	326
附录	
附录一 中国海区水上助航标志	
附录二 IALA buoyage system A	

第一篇

航海学基础知识



第一章

地球形状与地理坐标

船舶在一望无际的茫茫大海上航行，需要在了解地球形状的基础上，建立坐标系，然后确定船舶位置，才能保证船舶安全经济地驶向目的港。

航海离不开对地球的认识。人类认识大地的形状，经历了漫长的岁月和艰难的历史。公元前 6 世纪已经认识到大地是球形的；公元前 2 世纪通过测量一段弧长所对应的圆心角，以求得该段弧的曲率半径的弧度测量方法，求得地球半径大约为 400 000 埃及古尺 ($\approx 6\,367\text{km}$)；17 世纪采用精密的三角测量的弧度测量法，发现低纬度处地球表面曲率半径略小、高纬度处地球表面曲率半径略大的规律，建立了地球椭球理论；18 世纪，将地球形状和重力场的研究结合起来，建立了物理大地测量学，使得大地测量建立在近代科学基础上，弧度测量越来越精确；20 世纪随着人造地球卫星发射成功，空间远程技术的进步，建立了现代空间大地测量学，大地测量越来越精确，对地球的认识越来越深刻；21 世纪，大地测量向数字地球的方向发展。

下面从航海的角度来研究地球形状与地理坐标。

第一节 地球形状

地球自然表面有高山峡谷、平原、江河湖泊和海洋，是一个高低不平、非常复杂的不规则的曲面。在这种自然表面上建立坐标来确定船舶与物标的相对位置、确定方向基准和距离单位是不可能的，必须由一个数学表面来代替地球的自然表面才能够去研究航海问题。

地球半径约为 $6\,367\text{km}$ ，珠穆朗玛峰虽高，但也仅约为地球半径的千分之一。可见，尽管地球自然表面高低不平，但这些局部起伏量与地球半径相比却是微不足道的。因此，用占地球表面约 70.8% 的海水面的形状去描述地球形状 (Earth shape) 是可行的。

(一) 大地球体

所谓地球形状，并不是指地球自然表面的形状，而是指由大地水准面所包围的几何体形状。地球上任意一点的水准面是指通过该点且与该点的铅垂线垂直的平面。液体的静止表面就是水准面。设想一个与平均海面相吻合的水准面，并把它延伸到陆地内部，在延伸中始终保持此面处与当地的铅垂线正交，这样形成的一个连续不断的、光滑的闭合曲面，叫做大地水准面。大地水准面是最重要的一个水准面，地球只有一个大地水准面。被大地水准面所围成的几何体，是理想的

地球形状,叫大地球体 (Geoid)。航海学所研究的地球形状就是指大地球体的形状。大地球体非常接近地球,并且它又具有长期的稳定性,因此,采用大地球体来代替地球是合理的。

(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,通常用规则的球体——地球圆球体和地球椭圆体来近似代替大地球体。

1. 地球圆球体

地球圆球体 (Terrestrial sphere) 是大地球体的第一近似体。在一般的航海计算中,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 1 n mile 即 1852 m 的规定,可推算出地球圆球体的半径 R_E :

$$R_E = \frac{360 \times 60}{2\pi} \text{ n mile} = 3437.7468 \text{ n mile} = 6366707 \text{ m}$$

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,应该将大地球体近似为两极略扁的地球椭圆体。

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)。椭圆短轴 (即地轴, Earth axis) 的两个端点是地理北极 P_N 和地理南极 P_S 。椭圆长轴 $Q Q'$ 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。与赤道面平行的平面,称为纬度圈平面,它与地球椭圆体面的截痕是圆,称为纬度圈 (Parallel of latitude)。过短轴 $P_N P_S$ 的任一平面是子午圈平面,它与地球椭圆体表面的截痕是椭圆,称为子午圈 (Meridian), 其中被短轴平分的半个椭圆,叫作地理子午线、子午线或经线 (Meridian line)。

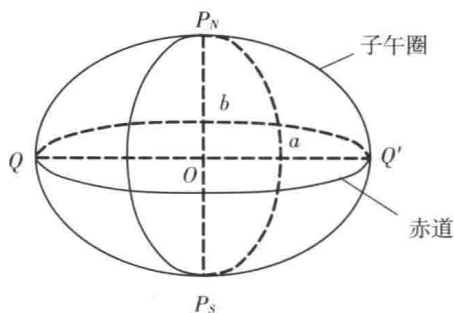


图 1-1-1 地球椭圆体

地球椭圆体的形状和大小,可用椭圆体参数长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 c 和偏心率 e 表示。它们之间有关系式:

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

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

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表 1-1-1。

表 1-1-1 地球椭圆体参数表

椭圆体名称	年份	长半轴 a (m)	扁率 c 1:00	主要使用国家及说明
白塞尔 Bessel	1841	6 377 397.155	299.152 8	德国、瑞士、日本
克拉克 Clarke	1866	6 378 206.4	294.978	美国、加拿大、墨西哥
海福特 Hayford	1910	6 378 388	297	美国、法国等西欧国家
克拉索夫斯基 Красовский	1940	6 378 245	298.3	苏联、东欧、中国
IUGG 推荐值	1975	6 378 140	298.257	16 届国际大地测量和地球物理联合会 (IUGG) 推荐
IUGG 推荐值	1983	6 378 136	298.257	16 届国际大地测量和地球物理联合会 (IUGG) 推荐
WGS-84	1984	6 378 137	298.257 223 656 3	美国 GPS 卫星导航系统

(三) 高度差

当用地球椭圆体代替大地球体时,各地的大地水准面与地球椭圆体表面也是不一致的。地球椭圆体表面与大地水准面之间的差值叫高度差(图 1-1-2),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计算中,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,因此必须考虑这个高度差。即:

卫星接收机天线在地球

椭圆体表面以上的高度 = 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。

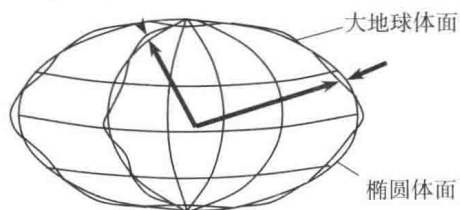


图 1-1-2 高度差

第二节 地理坐标

地理坐标 (Geographic coordinate) 是建立在地球椭圆体表面上的。要建立地理坐标首先应在地球椭圆体表面上确定坐标的起算点和坐标线图网,见图 1-1-1。 O 为地球椭圆体中心, P_N 为北极, P_S 为南极;过短轴 $P_N P_S$ 的任一平面是子午圈平面,它与地球椭圆体表面相交的截痕是一个椭圆,称为子午圈,其中由北极到南极的半个椭圆,叫做子午线 (Meridian) 或经线;通过伦敦格林尼治 (Greenwich) 天文台子午仪的子午线,叫做格林 (尼治) 子午线 (Greenwich meridian);与赤道平面平行的平面,称为纬度圈平面,它与地球椭圆体表面相交的截痕是一个