



高等学校统编教材

符合 STCW 公约要求
航海类专业教学指导委员会推荐
交通部科技教育司审定
中华人民共和国海事局认可

航海学

郭 禹 主编
杨守仁 主审

大连海事大学出版社

高等学校统编教材

航 海 学

郭 禹 主编
杨守仁 主审

大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

航海学/郭禹主编. - 大连:大连海事大学出版社,1998
ISBN 7-5632-1223-X

I. 航… II. 郭… III. 航海学 IV. U675

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 19245 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4684394)

大连海事大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1999 年 3 月第 1 版 1999 年 3 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:44.25 字数:1104 千字

印数:0001~4000 册

责任编辑:时培育 封面设计:王 艳

定价:72.00 元

(含另册《航海学》附篇及附录)

内 容 提 要

本书共六篇,第一篇为基础知识,介绍了航海的基本知识:地理坐标与大地坐标系、方向、航向、航程、海图投影原理、识图和海图分类与使用等;第二篇为航迹推算和陆标定位,介绍了航迹推算、位置线和船位误差理论及陆标定位的各种方法;第三篇为电子航海,介绍了无线电测向、罗兰 C、台卡和 GPS 的定位方法;第四篇为天文航海,介绍了天文航海的基本原理、时间系统、测天体定位的方法、要求与注意事项以及观测天体求罗经差的方法;第五篇为航路资料,介绍了潮汐与潮流和航海图书资料;第六篇为航线与航行方法,介绍了大洋航行与最佳航线、沿岸航行、狭水道及运河航行、特殊条件下的航行及航行计划和航海日志。

本书的“附篇与附录”,单印出版。

本书为高等学校使用教材;也可作为海船驾驶与管理人员及航海从业人员的技术参考书。

前 言

本书是根据航海技术专业本科指导性教学计划,按照新修订的《航海学》教学大纲编写的。

《航海学》(Navigation)是航海技术专业的一门主要的专业课程。它的基本任务是研究有关船舶在海上航行的航线选择与设计、船位的测定和各种条件下的航行方法等重要问题,对船舶安全、经济航行提供保障。

现代科学技术的发展成就使航海技术取得了长足的进步。信息科学、计算机技术、电子技术、通信技术及空间卫星技术在航海上的成功应用,使航海技术发生了极为深刻的变革,使《航海学》的内容得到了极大的充实与发展。可以预料,21世纪的航海必将是全新的现代航海。

航海技术的进步对航海人员的素质提出了更高的要求。现代航海要求航海人员必须具有较扎实的现代科学技术的基础知识,通过实践能不断积累与丰富航海经验,对各种复杂的航海环境具有独立分析、判断与处理的良好基础知识和实践技能,在不断更新的技术条件下有较好的自适应能力。

在世纪之交的今天,基于上述认识,我们在编写过程中,适当地加强了理论基础,注意了阐述的准确性与逻辑性,力求反映国内外航海科技的新成就与内容的推陈出新,突出了现代航海中新的知识点与新技术,着力于培养学生分析问题与解决问题的能力。

在内容编排上基本保持原《航海学》的逻辑系统。考虑到天文航海知识仍然是航海人员所必备的,因此编写中,在内容上作了合理精简的同时还增加了必要的新知识,并列为本书的一个独立篇。对于学习本课程必需的航海数学与误差理论知识,列于本书的附篇,可根据教学安排加以选用。对本书所用的附表与附篇一并单印出版。

本书中所用的专业科学技术名词术语及其英文译名均以1996年全国自然科学名词审定委员会公布的《航海科学技术名词》一书为准。

本书由郭禹主编,并编写了第2篇。参编者有东防(第1篇第1章及第2章第1节~5节,8节,第3篇)、丁勇(第4篇第1章~4章,6,8,9章)、张吉平(第5篇,第6篇第1章)、戴冉(第4篇第2,5,7,10章)、刘德新(第1篇第2章第6,7节、第6篇第2章~4章)、王凤武(第6篇第5章)。附篇由丁勇、王世林编写。全书由郭禹统稿。

本书由杨守仁主审,郭洪贵参审第四篇。

本书的插图由丁勇、刘德新、王凤武、张吉平采用计算机绘制。

欢迎使用本教材的广大读者批评、指正。

编 者

1998年3月

目 录

第一篇 基础知识

第一章 坐标、方向和距离	(1)
第一节 地球形状、地理坐标与大地坐标系	(1)
第二节 航向与方位	(9)
第三节 能见地平距离和物标能见距离	(19)
第四节 航速与航程	(24)
第二章 海图	(29)
第一节 地图投影	(29)
第二节 恒向线	(33)
第三节 墨卡托投影海图	(35)
第四节 港泊图与大圆海图的投影方法	(40)
第五节 海图的绘制与出版	(42)
第六节 识图	(46)
第七节 海图的分类和使用注意事项	(55)
第八节 电子海图	(58)

第二篇 航迹推算与陆标定位

第一章 航迹推算	(62)
第一节 航迹绘算	(62)
第二节 风流压差和航迹向的测算方法	(71)
第三节 航迹推算的精度	(73)
第四节 航迹计算	(76)
第二章 位置线和船位理论	(82)
第一节 位置线与船位线	(82)
第二节 位置线梯度及其误差	(86)
第三节 系统误差影响下的船位误差及其校正方法	(90)
第四节 随机误差影响下的船位精度	(93)
第三章 陆标定位	(97)
第一节 陆标的识别	(97)
第二节 方位定位	(98)
第三节 距离定位	(103)

第四节 方位距离定位·····	(107)
第五节 移线定位·····	(108)
第六节 单一位置线的应用·····	(114)

第三篇 电子航海

第一章 无线电测向定位·····	(116)
第一节 无线电测向与无线电自差·····	(116)
第二节 无线电测向定位及其它航海应用·····	(118)
第二章 罗兰 C 定位·····	(123)
第一节 罗兰 C 定位原理·····	(123)
第二节 罗兰 C 定位·····	(130)
第三节 罗兰 C 定位精度·····	(135)
第三章 台卡定位·····	(137)
第一节 台卡位置线·····	(137)
第二节 台卡定位与定位精度·····	(144)
第四章 GPS 定位·····	(149)
第一节 GPS 的组成·····	(149)
第二节 GPS 测距信号——伪随机码·····	(151)
第三节 伪随机码测距定位原理·····	(157)
第四节 船用 GPS 接收机与定位精度·····	(158)
第五节 美国的 SA 政策和差分 GPS 定位原理·····	(161)
第六节 GPS 在航海上的应用·····	(165)

第四篇 天文航海

第一章 概论·····	(167)
第一节 天文定位基本概念·····	(167)
第二节 天文航海主要内容·····	(168)
第二章 天球坐标系·····	(170)
第一节 天球坐标系·····	(170)
第二节 坐标变换·····	(176)
第三节 航用天体·····	(180)
第三章 天体视运动·····	(185)
第一节 天体周日视运动·····	(185)
第二节 太阳周年视运动·····	(190)
第三节 行星、月亮视运动简介·····	(195)
第四章 时间与天体位置·····	(198)
第一节 时间系统概述·····	(198)

第二节 恒星时.....	(201)
第三节 视时.....	(203)
第四节 平时.....	(204)
第五节 区时.....	(208)
第六节 求测天世界时.....	(214)
第七节 求天体位置.....	(217)
第八节 历法简介.....	(224)
第九节 影响天体位置的因素.....	(225)
第五章 求天体真高度.....	(229)
第一节 航海六分仪.....	(229)
第二节 求天体真高度.....	(235)
第六章 天文船位线.....	(241)
第一节 高度差法.....	(241)
第二节 太阳、行星和恒星船位线.....	(245)
第三节 观测太阳中天高度求纬度.....	(251)
第四节 观测北极星高度求纬度.....	(254)
第七章 观测天体定位.....	(258)
第一节 观测太阳移线定位.....	(258)
第二节 观测太阳特大高度定位.....	(261)
第三节 白昼“同时”观测金星、太阳定位.....	(264)
第四节 晨昏测星定位.....	(265)
第八章 天文船位误差.....	(277)
第一节 天文船位线误差.....	(277)
第二节 “同时”观测两星定位的船位误差(等精度).....	(279)
第三节 “同时”观测三星定位及其船位误差.....	(283)
第四节 测者单一观测精度的估计.....	(285)
第五节 以 GPS 船位为参考系估计天文船位线误差.....	(286)
第九章 观测天体求罗经差.....	(288)
第一节 观测天体求罗经差的原理及其注意事项.....	(288)
第二节 观测低高度太阳方位求罗经差.....	(290)
第三节 观测太阳真出没方位求罗经差.....	(293)
第四节 观测北极星方位求罗经差.....	(294)
第五节 利用 GPS 船位求罗经差.....	(296)
第十章 利用计算机解算天文船位和求罗经差的数学模型.....	(298)
第一节 时间计算的数学模型.....	(298)
第二节 太阳坐标计算的数学模型.....	(299)
第三节 恒星坐标计算的数学模型.....	(301)
第四节 天体高度改正的数学模型.....	(302)
第五节 求天体高度差和方位的数学模型.....	(303)

第六节 求最概率船位的数学模型·····	(303)
第七节 观测天体方位求罗经差的数学模型·····	(304)
第八节 观测两天体求船位的数学模型·····	(304)

第五篇 航路资料

第一章 潮汐与潮流·····	(307)
第一节 潮汐的基本成因和潮汐术语·····	(307)
第二节 中国《潮汐表》与潮汐推算·····	(314)
第三节 英版《潮汐表》与潮汐推算·····	(323)
第四节 潮流推算·····	(332)
第二章 航标与《航标表》·····	(335)
第一节 航标的分类·····	(335)
第二节 国际海区水上助航标志制度·····	(338)
第三节 中国水上助航标志·····	(345)
第四节 中国沿海《航标表》及英版《灯标和雾号表》·····	(349)
第三章 航海图书资料·····	(358)
第一节 《世界大洋航路》与航路设计图·····	(358)
第二节 《航路指南》和《进港指南》·····	(361)
第三节 英版《无线电信号表》·····	(365)
第四节 《里程表》·····	(371)
第五节 航海图书目录·····	(373)
第六节 《航海员手册》·····	(377)
第七节 航海通告·····	(379)
第八节 《船舶定线》·····	(385)
第四章 海图与航海图书资料的改正与管理·····	(389)
第一节 海图的改正与管理·····	(389)
第二节 航海图书的改正与管理·····	(395)

第六篇 航线与航行方法

第一章 大洋航行与最佳航线·····	(399)
第一节 大圆航线与混合航线·····	(399)
第二节 大洋航线的选择与航行注意事项·····	(405)
第二章 沿岸航行·····	(417)
第一节 沿岸航行的特点和航线的选择·····	(417)
第二节 沿岸航行的注意事项·····	(419)
第三章 狭水道及运河航行·····	(423)
第一节 狭水道航行·····	(423)

第二节 运河航行.....	(436)
第四章 特殊条件下的航行.....	(442)
第一节 雾中航行.....	(442)
第二节 冰区航行.....	(445)
第三节 极区航行.....	(449)
第五章 航行计划和航海日志.....	(452)
第一节 航行计划.....	(452)
第二节 航海日志.....	(455)
参考文献.....	(459)

第一篇 基础知识

第一章 坐标、方向和距离

第一节 地球形状、地理坐标与大地坐标系

一、地球形状(earth shape)

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 km,珠穆朗玛峰虽高,但也仅为地球半径的千分之一左右。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 71% 的海水面的形状去描述地球形状是可行的。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(geoid)所包围的几何体的形状。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,全球只有一个大地水准面。被大地水准面所围成的球体叫做大地球体。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。

由于地球内部物质分布不均匀及地球表面起伏的影响,大地球体依然是不规则的几何体,大地水准面依然不是一个数学表面。经过长期的实践发现圆球体表面、椭圆体表面是两个与大地水准面非常接近的数学表面。一般在应用上,是以地球圆球体(terrestrial sphere)作为大地球体的第一近似体;而以地球椭圆体(earth ellipsoid)作为大地球体的第二近似体。

航海上为了计算上的简便,通常是将大地球体当作地球圆球体。地球圆球体的半径等于 6 366 707(m)。

但在大地测量学、海图学和需要较为准确的航海计算中,将大地球体当作两极略扁的地球椭圆体,才能够得出有足够精度的结果。

地球椭圆体即旋转椭圆体(图 1-1-1)。它是由椭圆 $P_N Q P_S Q'$ 绕其短轴 $P_N P_S$ 旋转而成的几何体。椭圆短轴 $P_N P_S$ 即地球的自转轴——地轴(earth axis),短轴的两个端点 P_N 和 P_S 是地极(earth poles);长轴绕短轴旋转而成的平面是赤道平面,长轴端点 Q 旋转而成的圆周是赤道 QQ' (equator)。表示地球椭圆体的参数有:长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 c 和偏心率 e 。它们之间的相互关系是:

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

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

实际使用中常常只用长半轴 a 与扁率 c , 或长半轴 a 与短半轴 b 去表示地球椭圆体的形状与大小。其它参数都可由此计算出来。

地球椭圆体参数是根据大地测量中的弧度测量的结果计算出来的。由于各国所处地区不同, 所采用的测量数据、数据质量及计算方法不同, 因此所得的地球椭圆体的参数也略有差异。表 1-1-1 所列是几个较著名的地球椭圆体参数及其使用的国家。

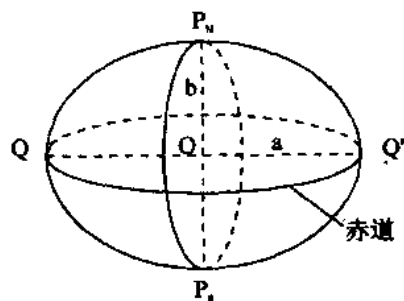


图 1-1-1

表 1-1-1

椭圆体名称	年 份	长半轴 a (m)	扁率 c 1:	主要使用国家及说明
白塞尔 Bessel	1841	6 377 397.155	299.1528	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	297.0	美国、法国等西欧国家
克拉索夫斯基 Красовский	1940	6 378 245	298.3	原苏联、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	298.257223563	美国 GPS 卫星导航系统

我国 1952 年用白塞尔地球椭圆体参数, 1954 年改用克拉索夫斯基地球椭圆体参数, 现在准备逐步采用 IUGG 1975 年推荐的地球椭圆体参数。

二、地理坐标 (geographic coordinate)

地理坐标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 1-1-2, 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; 通过英国伦敦格林尼治 (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小圆, 称为纬度圈 (parallel of latitude)。

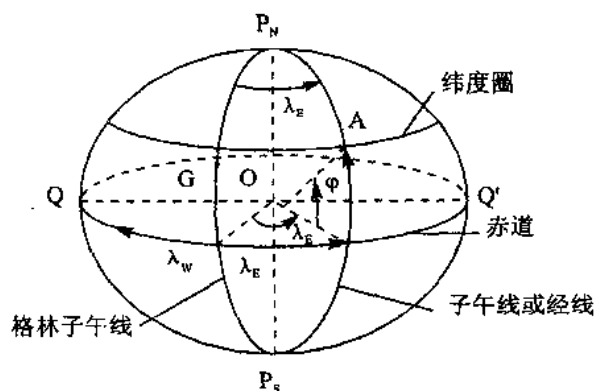


图 1-1-2

地球椭圆体表面任意一点的位置, 可以用地理坐标, 即地理纬度和地理经度来确定。航海上船舶的位置和物标的位置都是用地理坐标来表示的。

地理坐标的起算点是赤道与格林子午线的交点, 经线与纬度圈构成坐标线图网。

地面上某点的地理纬度 (geographic latitude) 为地球椭圆体子午线上该点的法线与赤道面的夹角。用 φ 或 Lat 来表示地理纬度。某点的地理纬度的计算方法是: 从赤道起算, 向北或向南, 由 0° 到 90° 计量, 算至该点所在的纬度圈。在赤道以

北的叫做北纬, 用 N 标示; 在赤道以南的叫做南纬, 用 S 标示。例如北京的纬度是 $39^\circ 54'.4 N$, 好望角的纬度是 $34^\circ 21'.0 S$ 。

地面上某点的地理经度 (geographic longitude) 为地球椭圆体格林子午线与该点子午线在赤道上所夹的劣弧长。用 λ 或 Long 来表示地理经度。某点的地理经度的计算方法是: 从格林子午线起算, 向东或向西, 由 0° 到 180° 计量, 算至该点所在的子午线。向东计算的叫东经, 用 E 标示; 向西计算的叫西经, 用 W 标示。例如北京的经度是 $116^\circ 28'.2 E$, 纽约的经度是 $73^\circ 50'.0 W$ 。

纬度圈上任一点的纬度都是相等的, 经线上任一点的经度也都是相等的。因此, 经线与纬度圈构成的图网是坐标等值线图网, 即坐标线图网。

除上述地理坐标外, 在航海上还用地心坐标表示地面上某点的位置。地心坐标是由该点的地心纬度 (geocentric latitude) 和该点的地理经度组成的。某点的地心纬度 φ_e (图 1-1-3) 是该点地球椭圆体的向径与赤道面的交角。地理纬度 φ 与地心纬度 φ_e 之间的关系如下:

若地球椭圆子午圈方程式为: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

则:

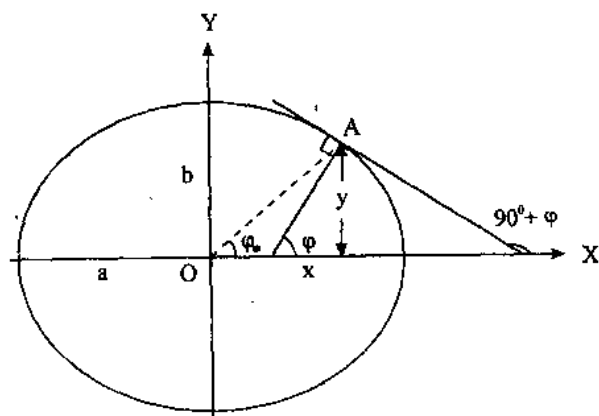


图 1-1-3

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{x}{y}$$

而该点的斜率为:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}(90^\circ + \varphi) = -\operatorname{ctg}\varphi$$

$$\therefore \operatorname{tg}\varphi = \frac{a^2}{b^2} \cdot \frac{y}{x}$$

但

$$\operatorname{tg}\varphi_e = \frac{y}{x}$$

$$\therefore \operatorname{tg}\varphi = \frac{a^2}{b^2} \cdot \operatorname{tg}\varphi_e = \frac{1}{(1-e^2)} \operatorname{tg}\varphi_e$$

$$\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_e = e^2 \operatorname{tg}\varphi$$

$$\sin(\varphi - \varphi_e) = e^2 \sin\varphi \cos\varphi_e \approx c \sin 2\varphi$$

$$\therefore (\varphi - \varphi_e)' = \frac{c \sin 2\varphi}{\operatorname{arcl}''}$$

取 $c = \frac{1}{298.3}$, 则:

$$(\varphi - \varphi_e)' = 691'' \cdot 5 \sin 2\varphi$$

地理纬度与地心纬度之差,称为地心纬度改正量(correction of geocentric latitude),在赤道和两极均为零;而在 $\varphi = 45^\circ$ 时,此差值可达 $11'.5$ 。地心纬度改正量 $(\varphi - \varphi_e)$ 如表 1-1-2 所列。

地心纬度改正量表

表 1-1-2

φ	$\varphi - \varphi_e$	φ	φ	$\varphi - \varphi_e$	φ	φ	$\varphi - \varphi_e$	φ
1°	0'24".1	89°	16°	6'06".4	74°	31°	10'10".6	59°
2	0'48".2	88	17	6'26".7	73	32	10'21".5	58
3	1'12".2	87	18	6'46".5	72	33	10'31".7	57
4	1'36".3	86	19	7'05".7	71	34	10'41".1	56
5	2'00".1	85	20	7'24".5	70	35	10'49".8	55
6	2'23".8	84	21	7'42".7	69	36	10'57".7	54
7	2'47".3	83	22	8'00".4	68	37	11'04".7	53
8	3'10".6	82	23	8'17".4	67	38	11'11".0	52
9	3'33".7	81	24	8'33".9	66	39	11'16".4	51
10	3'56".5	80	25	8'49".7	65	40	11'21".0	50
11	4'19".0	79	26	9'04".9	64	41	11'24".8	49
12	4'41".2	78	27	9'19".4	63	42	11'27".7	48
13	5'03".1	77	28	9'33".3	62	43	11'29".8	47
14	5'24".6	76	29	9'46".4	61	44	11'31".1	46
15	5'45".8	75	30	9'58".9	60	45	11'31".5	45

两地纬度之代数差叫做纬差(difference of latitude),用符号 $D\varphi$ 表示。

两地经度之代数差叫做经差(difference of longitude),用符号 $D\lambda$ 表示。

纬差和经差都具有方向性,确定的原则是根据到达点在起航点之南或之北,来确定纬差的方向是南或是北;同样,根据到达点在起航点之东或之西,来确定经差的方向是东或是西。其计算公式如下:

$$D\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$D\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

式中: φ_1, φ_2 ——起航点纬度和到达点纬度;

λ_1, λ_2 ——起航点经度和到达点经度。

计算中注意:

(1) 北纬、东经取正值(+), 南纬、西经取负值(-)。

(2) 纬差、经差也有符号, 正值为北纬差、东经差, 负值为南纬差、西经差。

(3) 经差的绝对值应不大于 180° , 如果大于 180° 时, 应由 360° 减去该绝对值, 并改变符号。

例 1-1-1: 某船由 $25^\circ 39' \text{N}, 150^\circ 42' \text{E}$ 航至 $12^\circ 43' \text{S}, 175^\circ 28' \text{W}$, 求两地经差和纬差。

$\varphi_2 \quad 12^\circ 43' \text{S} (-)$	$\lambda_2 \quad 175^\circ 28' \text{W} (-)$
-) $\varphi_1 \quad 25^\circ 39' \text{N} (+)$	-) $\lambda_1 \quad 150^\circ 42' \text{E} (+)$
$D\varphi \quad 38^\circ 22' \text{S} (-)$	$D\lambda \quad 326^\circ 10' \text{W} (-)$
	$360^\circ - 326^\circ 10' = 033^\circ 50' \text{E} (+)$

三、大地坐标系 (geoid coordinate system)

对于地球椭圆柱体, 仅仅知道它的参数是不够的, 还必须确定它同大地球体的相互位置, 确定坐标轴的方向, 即必须把地球椭圆柱体定位和定向。建立大地坐标系就是对具有一定参数的椭圆柱体进行定位和定向。因此, 建立大地坐标系包括三个方面的问题: 1. 确定椭圆柱体的参数; 2. 确定椭圆柱体中心的位置 (定位); 3. 确定坐标轴的方向 (定向)。也就是说, 建立起形状、大小、位置和轴向完全确定的椭圆柱体, 使它既不能变形, 也不能平移和旋转。前面所讲的地理坐标是在相应的大地坐标系下确定的椭圆柱体表面上建立的。因此, 用地理经、纬度来表示船舶位置与物标位置也只能在相应的大地坐标系下成立, 具有相对性。换言之, 相同船舶的位置与相同物标的位置在不同的大地坐标系中其地理经、纬度是会不相同的。这一点在航海上是必须注意的。

各国在建立大地坐标系时, 主要考虑的是使选定的地球椭圆柱体与其所在地区的大地水准面更为接近, 因此, 所采用的大地坐标系往往不同; 即使采用相同的椭圆柱体参数, 也会因定位定向不同而采用不同的坐标系。表 1-1-3 是世界部分国家采用的大地坐标系。

地球椭圆柱体在大地坐标系中的空间位置是确定的, 其表面与大地水准面 (大地球体) 在高度上的差异也是确定的。现代的大地测量结果表明, 大地水准面与地球椭圆柱体表面之间的高度差, 最大约为 100 m, 也就是说, 用地球椭圆柱体表面去代替大地水准面, 可以达到 10^{-5} 的精度。因此, 用地球椭圆柱体作为大地球体的近似体是足够精确的、合理的。

世界部分国家采用的大地坐标系

表 1-1-3

大地坐标系名称	使用国家	原点	椭球体名称	椭球体参数
北京 1954 年	中国	北京	克拉索夫斯基 1940 年	$a = 6\,378\,245\text{ m}$ $c = 1:298.30$
西安 1980 年 坐标系	中国	陕西泾阳永乐镇 简称西安原点	IUGG 1975 年 推荐椭球体	$a = 6\,378\,140\text{ m}$ $c = 1:298.257$
1942 年坐标系	原苏联及东欧	普尔科夫	克拉索夫斯基 1940 年	$a = 6\,378\,245\text{ m}$ $c = 1:298.30$
1918 年东京 坐标系	日本	东京	白塞尔 1941 年	$a = 6\,377\,397.155\text{ m}$ $c = 1:299.1528$
1927 年北美 坐标系	美、加、墨	堪萨斯州	克拉克 1866 年	$a = 6\,378\,206.4\text{ m}$ $c = 1:294.98$
1950 年欧洲 坐标系	英、法、德、荷、 比、挪、土	波茨坦	海福特 1910 年	$a = 6\,378\,388\text{ m}$ $c = 1:297.00$
印度 卡兰普尔	印、巴、 孟、缅	卡兰普尔	埃弗勒斯特 1830 年	$a = 6\,377\,276.345\text{ m}$ $c = 1:300.8017$
NWL-8D	原 NNSS 卫 星导航系统 (美国)	地心	NNSS 卫星系统	$a = 6\,378\,145\text{ m}$ $c = 1:298.25$
WGS-72	美国军用卫 导系统、罗兰 C、奥米伽系 统	地心	世界测地系 72	$a = 6\,378\,135\text{ m}$ $c = 1:298.26$
WGS-84	GPS 卫星导 航系统 (美国)	地心	世界测地系 84	$a = 6\,378\,137\text{ m}$ $c = 1:298.257223563$

在 NWL-8D 大地坐标系中,大地水准面与地球椭球体表面之间的高度差为 +79 m 到 -99 m,具体见美国约翰·霍普金斯大学发布的《大地水准面等高线图》(图 1-1-4)。该高度差值在卫星导航定位中对计算接收机天线高度,是一个不可忽略的因素。

由图可知,在 30°N, 155°E 处大地水准面比地球椭球体表面高 20 m(标注 20);在 30°N, 180°E 处大地水准面比地球椭球体表面低 18 m(标注 -18)。

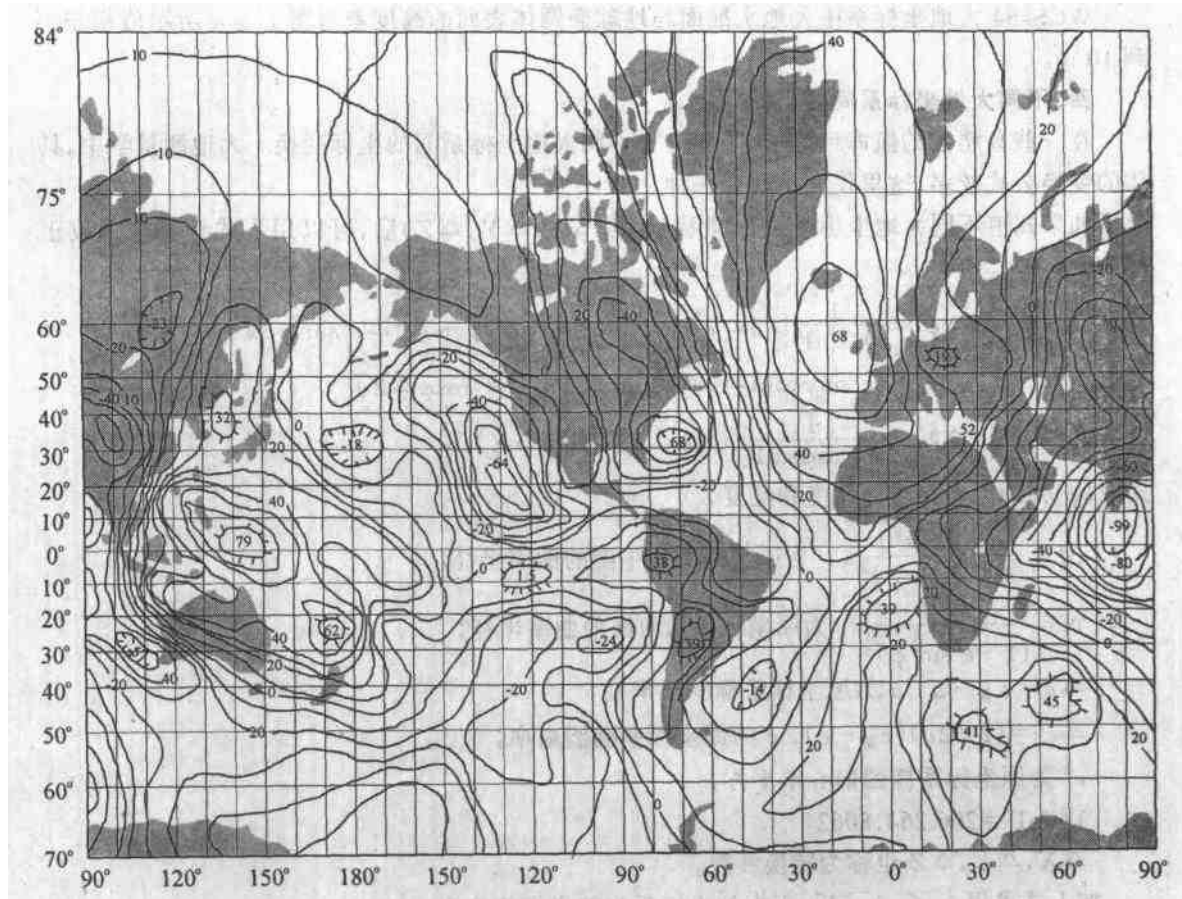


图 1-1-4

局部区域的地球自然表面、大地水准面和地球椭圆体表面的关系,见图 1-1-5。

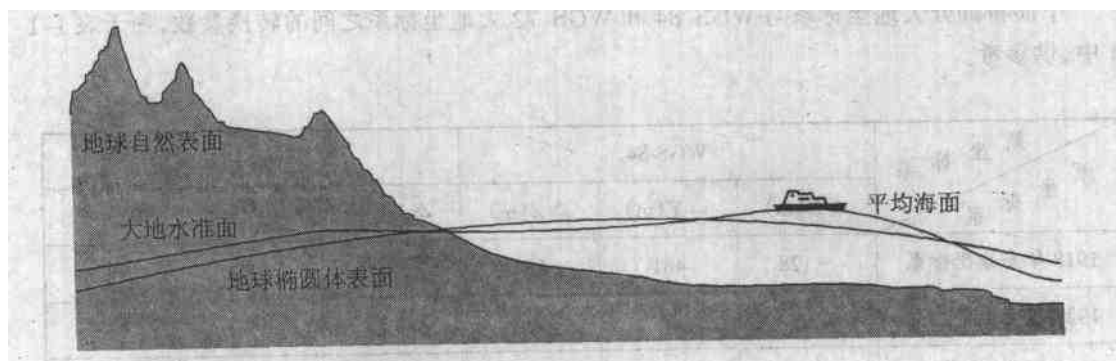


图 1-1-5

在卫星导航系统中有时要求输入接收机天线离地球椭圆体表面上的高度。对于船舶来说,可以近似把船舶所处的海面当作平均海面,此时:

$$\text{船舶接收机天线的高度} = \text{船舶接收机天线距海面的高度} + \text{大地水准面与地球椭圆体表面的高度差}$$