

驾驶专业

中华人民共和国海船船员适任考试培训教材

航海学

(航海地文、天文和仪器)

中国海事服务中心组织编审



人民交通出版社
China Communications Press



大连海事大学出版社

中华人民共和国海船船员适任考试培训教材

航海学

(航海地文、天文和仪器)

Ⓜ 中国海事服务中心组织编审



人民交通出版社
China Communications Press



大连海事大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

航海学. 航海地文、天文和仪器/中国海事服务中心组织编写. --北京: 人民交通出版社; 大连: 大连海事大学出版社, 2012.5

中华人民共和国海船船员适任考试培训教材
ISBN 978-7-114-09766-9

I. ①航… II. ①中… III. ①地文航海-资格考试-教材②天文航海-资格考试-教材③航海仪器-资格考试-教材 IV. ①U675

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 072274 号

中华人民共和国海船船员适任考试培训教材

书 名: 航海学 (航海地文、天文和仪器)

著 者: 刘德新 王志明

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.chinasybook.com>

销售电话: (010) 64981400, 59757915

总 经 销: 北京交实文化发展有限公司

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 36.5

字 数: 880 千

版 次: 2012 年 5 月 第 1 版

印 次: 2012 年 5 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09766-9

印 数: 0001 - 5000 册

定 价: 95.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

编委会成员

编委会主任 陈爱平

编委会常务副主任 郑和平

编委会副主任 郭洁平 李恩洪 侯景华

编委 韩杰祥 朱可欣 梁天才 王玉洋

陈国忠 梁军 郑乃龙 王长青

韩光显 葛同林 黄燕品 刘克坚

温宇钦



前 言

《中华人民共和国海船船员适任考试和发证规则》(简称 11 规则)已于 2012 年 3 月 1 日起生效,新的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》也将于 2012 年 7 月 1 日开始实施。为了更好地指导帮助船员进行适任考试前的培训,进一步提高船员适任水平,在交通运输部海事局领导下,中国海事服务中心组织全国有丰富教学、培训经验和航海实际经验的专家共同编写了与《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》相适应的培训教材。本教材编写依据 STCW 公约马尼拉修正案,采用图文并茂的形式,改变了长期以来以文字为主的教材编写方式。本教材的创新模式对今后的船员适任培训具有重要的指导意义。

本套教材知识点紧扣考试大纲,具有权威、准确、系统、实用的特点,重点突出船员适任考前培训和航海实践需掌握的知识,旨在培养船员具备在实践中应用知识的能力,并可作为工具书帮助船员上船工作使用。

本套教材由航海英语、船舶操纵与避碰、航海学、船舶结构与货运、船舶管理(驾驶)、(高级)值班水手业务、高级值班水手英语,轮机英语、船舶动力装置、主推进动力装置、船舶辅机、船舶电气与自动化、船舶管理(轮机)、(高级)值班机工业务、高级值班机工英语,电子电气员英语、船舶电气、船舶机舱自动化、信息技术与通信导航系统、船舶管理(电子电气员)、电子技工业务、电子技工英语组成。

本套教材在编写、出版工作中,得到了各直属海事局、各航海院校、海员培训机构、航运企业、人民交通出版社、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

中国海事服务中心
2012 年 3 月



编者的话

本教材是根据中华人民共和国海事局制定的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》和《STCW 公约》马尼拉修正案编写的。适用于无限航区和沿海航区各个等级的海船船长、大副、二/三副适任证书考试培训使用。本教材也可作为航海院校师生的教学参考书。

本教材编写的指导思想是能够覆盖《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》的全部内容,兼顾课程体系的系统性和完整性,注重理论在航海实践中的应用操作,反映了现代航海技术在航海领域的具体应用,能有效地帮助和指导学员学习、实操和实际应用。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。

本教材共分六篇。第一篇为基础知识,介绍地球上地理坐标,航海上的方向、能见距离,船舶速度与航程以及测量方法,海图知识等。第二篇为船舶定位,介绍海图作业及航迹计算,船位误差理论及实践应用,陆标定位,天文基础知识及航海上的时间系统,天文定位以及航海上罗经差的测定方法等。第三篇为航海图书资料,介绍潮汐和潮流的推算,海上航标系统,航海图书资料及其使用与更新。第四篇为航线和航行方法,介绍各种条件下的航行方法及船舶定线和船舶报告制。第五篇为电子海图显示与信息系统,介绍电子海图术语与系统组成,电子海图的国际标准与规定,ECDIS 的功能与航海应用,电子海图的改正与使用风险。第六篇为航海仪器,介绍卫星导航系统、回声测深仪、船用磁罗经、陀螺罗经、自动识别系统、船用计程仪、船载航行数据记录仪、船舶远程识别与跟踪系统、船舶导航雷达的基本工作原理、组成、功能、特征与使用。

本书由大连海事大学刘德新和上海海事大学王志明共同主编,集美大学林文勇主审。刘德新编写了第一篇的第一、二章,第三篇的第一、二章,第四篇的第三章;王志明编写了第二篇的第二、三、五、六章,第三篇的第三、四章,第四篇的第五章。其他各篇中各章节编写情况

为:上海海事大学陈宇里编写了第五篇的第三章的第四节,第六篇的第一、二、三、四、六、七、八章;大连海事大学章文俊编写了第四篇的第一、二章;上海海事大学金国柱编写了第五篇的第一、二章,第三章的第一、二、三节;大连海事大学刘彤编写了第六篇的第五、九章;上海海事大学潘杰编写了第二篇第一章,第四篇的第六章;大连海事大学吕红光编写了第四篇的第四章;上海海事大学沈淳编写了第二篇第三章。最后由刘德新和王志明共同统稿。中国海事服务中心的尹金岗参与了教材的主要审定工作。

为了便于读者的学习,在本书的编写过程中力求概念清楚、理论正确、重点突出、条理清晰、文字通顺、理论结合实际,并运用了相关的实际案例。但由于编者水平有限,时间仓促,不足之处和差错在所难免,竭诚希望前辈、同行和读者批评指正。

编者

2012年3月



目 录

第一篇 基础知识

第一章 坐标、方向和距离	3
第一节 地球形状、地理坐标和大地坐标系	3
第二节 航向和方位	7
第三节 能见地平距离、物标能见距离和灯标射程	19
第四节 航速与航程	22
小结与习题	25
第二章 海图	27
第一节 地图投影	27
第二节 恒向线	30
第三节 墨卡托投影	31
第四节 港泊图和大圆海图的投影方法	33
第五节 识图	34
第六节 海图分类和使用	43
小结与习题	46

第二篇 船舶定位

第一章 海图作业	51
第一节 海图作业规定和要求	51
第二节 风、流对船舶航迹的影响	52
第三节 不同环境条件下的海图作业法	58
小结与习题	61
第二章 航迹计算	63
第一节 航迹算法	63
第二节 航迹算法的应用	66
小结与习题	70
第三章 船位误差理论	71
第一节 观测误差基础知识	71
第二节 海图作业误差分析	78
第三节 船位线及其误差	80



第四节	两条船位线的船位误差	85
第五节	三条船位线的船位误差	88
	小结与习题	90
第四章	陆标定位	92
第一节	陆标的识别方法	92
第二节	海上陆标方位、距离的测定	94
第三节	方位定位	96
第四节	距离定位	102
第五节	单物标方位、距离定位	103
第六节	移线定位	107
	小结与习题	110
第五章	天文定位	111
第一节	天体坐标	111
第二节	天体视运动	121
第三节	时间系统	130
第四节	天体高度的观测与改正	142
第五节	求观测时刻的天体位置	156
第六节	求天文船位线	159
第七节	白昼测天定位	164
第八节	晨昏测星定位	169
第九节	天文船位的误差分析	180
	小结与习题	183
第六章	罗经差的测定	185
第一节	观测陆标测定罗经差	186
第二节	观测天体测定罗经差	187
第三节	比对航向法测定罗经差	193
	小结与习题	194

第三篇 航路资料

第一章	潮汐与潮流	197
第一节	潮汐的基本成因和潮汐术语	197
第二节	中版《潮汐表》与潮汐推算	203
第三节	英版《潮汐表》与潮汐推算	211
第四节	潮流推算	220
	小结与习题	224
第二章	航标	226
第一节	航标分类	226
第二节	国际海区水上助航标志制度	228

第三节 中国海区水上助航标志	234
小结与习题	236
第三章 航海图书资料	238
第一节 海船配备航海图书资料的要求与规定	238
第二节 《世界大洋航路》与《航路设计图》	239
第三节 英版《航路指南》与《进港指南》	244
第四节 英版《灯标雾号表》	249
第五节 英版《无线电信号表》	252
第六节 英版《海图和出版物总目录》	259
第七节 英版《航海通告》	262
第八节 中版航海图书资料简介	276
小结与习题	281
第四章 航海图书资料的更新与管理	282
第一节 书表的更新与改正	282
第二节 书表的管理	285
第三节 海图的更新与管理	288
小结与习题	293

第四篇 航线与航行方法

第一章 大洋航行	297
第一节 大圆航线与混合航线	298
第二节 大洋航线的选择与航行注意事项	299
小结与习题	305
第二章 沿岸航行	306
第一节 沿岸航行的特点与航线选择	306
第二节 沿岸航行注意事项	308
小结与习题	311
第三章 狭水道与岛礁区航行	313
第一节 狭水道航行	313
第二节 岛礁区航行	324
小结与习题	326
第四章 雾中与冰区航行	327
第一节 雾中航行	327
第二节 冰区航行	331
小结与习题	334
第五章 航次计划和航海日志	336
第一节 航次计划	336
第二节 航海日志	342
小结与习题	345



第六章 船舶交通管理	347
第一节 船舶交通管理系统	347
第二节 船舶定线	350
第三节 船舶报告系统	355
第四节 中国船舶交通管理系统简介	358
小结与习题	363

第五篇 电子海图显示与信息系统

第一章 电子海图及其显示系统	367
第一节 电子海图发展概述	367
第二节 电子海图术语与分类	368
第三节 电子海图应用系统	371
小结与习题	373
第二章 电子海图的国际标准与规定	374
第一节 IHO 关于 ECDIS 的相关标准	374
第二节 IMO 和 IEC 关于 ECDIS 的相关标准	376
小结与习题	379
第三章 ECDIS 的功能与航海应用	381
第一节 ECDIS 的系统组成	381
第二节 ECDIS 数据与显示	382
第三节 ECDIS 的航海功能及应用	382
第四节 电子海图的更新与使用风险	387
小结与习题	390

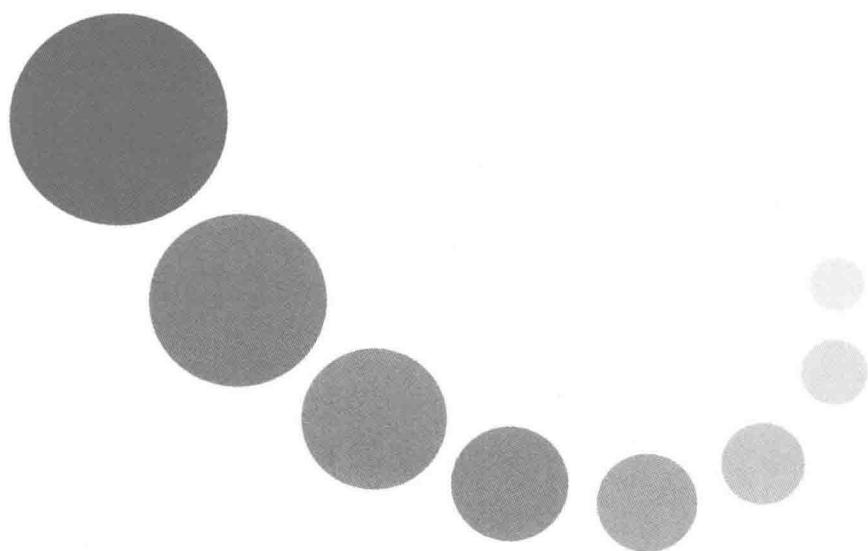
第六篇 航海仪器

第一章 GPS 卫星导航系统	393
第一节 GPS 定位原理与定位精度	393
第二节 差分 GPS	400
第三节 船用 GPS 接收机	403
小结与习题	406
第二章 船用回声测深仪	407
第一节 水声学基础知识	407
第二节 回声测深仪工作原理	408
第三节 回声测深仪误差	411
小结与习题	413
第三章 船用磁罗经	415
第一节 地磁的基本知识	415
第二节 磁罗经自差原理与校正	417
第三节 磁罗经结构与使用	429

小结与习题	433
第四章 陀螺罗经	435
第一节 陀螺罗经指北原理	435
第二节 陀螺罗经误差	444
第三节 安许茨系列陀螺罗经	448
第四节 斯伯利系列陀螺罗经	457
第五节 阿玛—勃朗系列陀螺罗经	463
小结与习题	468
第五章 自动识别系统	469
第一节 自动识别系统设施及其基本原理	469
第二节 AIS 船载设备基本操作	477
第三节 AIS 船载设备优势与局限性	480
小结与习题	481
第六章 船用计程仪	483
第一节 电磁计程仪	483
第二节 多普勒计程仪	484
第三节 声相关计程仪	487
小结与习题	488
第七章 船载航行数据记录仪	490
第一节 船载航行数据记录仪的发展	490
第二节 船载航行数据记录仪的组成和功能	491
第三节 船载航行数据记录仪的使用	496
小结与习题	497
第八章 远程识别与跟踪系统	499
第一节 概述	499
第二节 LRIT 船载设备	504
小结与习题	508
第九章 船舶导航雷达	509
第一节 雷达目标探测与显示基本原理	509
第二节 雷达观测性能与观测技术	520
第三节 目标观测特性	531
第四节 影响雷达正常观测的因素	536
第五节 雷达定位与导航	545
第六节 雷达目标跟踪	549
第七节 雷达显示 AIS 报告目标	556
第八节 影响目标跟踪精度的因素	560
小结与习题	564
参考文献	566



第一篇 基础知识





第一章 坐标、方向和距离

第一节 地球形状、地理坐标和大地坐标系

一、地球形状

航海上船舶和物标的坐标、方向和距离等,都是建立在一定形状的地球表面的,要研究坐标、方向和距离等航海基本问题,必须首先对地球的形状和大小作一定的了解。

地球自然表面有高山、峡谷、平原、江河、湖泊和海洋等,是一个崎岖不平,非常复杂的不规则曲面。这种自然表面难以用数学公式加以描述,无法在此基础上研究航海的基本问题。然而,由于地球体积较大,这种局部的起伏与地球半径相对比较是非常之小的。例如,我国的珠穆朗玛峰虽高达 8844.43m,但与 6370km 的地球半径相比,仅为地球半径的千分之一左右,它对整个地球形状的影响是微不足道的。因此,我们可以用占地球表面约 71% 的海水面的形状来描述地球形状。

设想一个与平均海面相吻合的水准面,并将其向陆地延伸,且保持该延伸面始终与当地的铅垂线相垂直,这样所形成的连续不断的、光滑的闭合水准面,叫作大地水准面。所谓地球形状,并不是指地球表面的自然形状,而是指由上述大地水准面所包围的几何体——大地球体的形状。

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。航海上,不同场合,根据不同的精度要求,往往将大地球体看作不同的近似体。

1. 第一近似体——地球圆球体

航海上为了计算上的简便,在精度要求不高的情况下,通常将大地球体当作地球圆球体。

根据航海上常用的距离单位(海里, n mile)的定义,可推算地球圆球体半径 R :

$$R = \frac{360^\circ \times 60'}{2\pi} \text{ n mile} = 3437.7468 \text{ n mile} = 6366707\text{m}$$

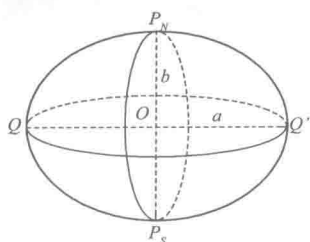


图 1-1-1 地球椭圆体

2. 第二近似体——地球椭圆体

在大地测量学、海图学和需要较为准确的航海计算中,常将大地球体当作两极略扁的地球椭圆体。

地球椭圆体即旋转椭圆体(图 1-1-1)。它是由椭圆 P_NQP_SQ' 绕其短轴 P_NP_S 旋转而成的几何体。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 ,它们之间的关系是:

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

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

地球椭圆体参数是根据大地测量中的弧度测量的结果计算出来的。由于不同国家所处地区不同,所采用的测量数据、数据质量及计算方法的不同,所得出的椭圆体参数也略有差异。我国 1952 年采用白塞尔地球椭圆体参数,1954 年改用苏联克拉索夫斯基地球椭圆体参数(长半轴 $a = 6378245.0\text{m}$,扁率 $c = 1/298.3$),1980 西安坐标系采用 IUGG 1975 年推荐的地球椭圆体参数(长半轴 $a = 6378140.0$,扁率 $c = 1/298.257$)。

3. 第三近似体——地球椭球体

该近似体地球赤道和纬度圈是一个椭圆,但在航海实际应用中,一般不采用。

二、地理坐标

1. 地球上的基本点、线、圈

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。如图 1-1-2 所示。

椭圆短轴即地球的自转轴——地轴(P_NP_S);

地轴与地表面的两个交点是地极,在北半球的称为北极(P_N),在南半球的称为南极(P_S);

通过球心且与地轴垂直的平面为赤道平面,赤道平面与地表面相交的截痕称为赤道(QQ'),它将地球分为南、北两个半球;

任何一个与赤道面平行的平面称为纬度圈平面,它与地表面相交的截痕是个小圆,称为纬度圈(AA');

通过地轴的任何一个平面是子午圈平面,它与地表面相交的截痕是个椭圆,称为子午圈(P_NQP_SQ');

由北半球到南半球的半个子午圈,叫作子午线,又称经线($P_NQP_S, P_NQ'P_S$);

通过英国伦敦格林尼治天文台子午仪的子午线,叫作格林子午线或格林经线(P_NGP_S)。

2. 地理坐标

地球表面任何一点的位置,可以用地理坐标,即地理经度和地理纬度来表示。

地理经度简称经度,地面上某点的地理经度为格林经线与该点子午线在赤道上所夹的劣弧长,用 λ 或 Long 表示。某点地理经度的度量方法为:自格林子午线起算,向东或向西度量到

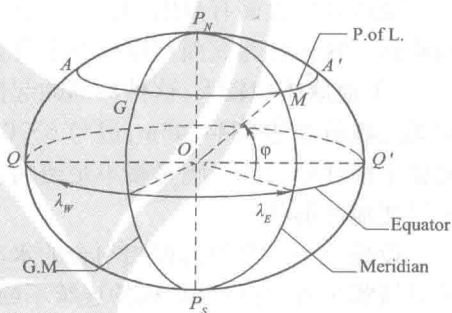


图 1-1-2 地理坐标

中华人民共和国海船船员适任考试培训教材



该点子午线,由 0° 到 180° 计量。向东度量的称为东经,用E标示;向西度量的称为西经,用W标示。例如北京的经度为 $116^{\circ}28'.2E$ 。

地理纬度简称纬度,地球椭圆子午线上某点的法线与赤道面的夹角称为该点的地理纬度,用 φ 或Lat表示。某点地理纬度的度量方法为:自赤道起算,向北或向南度量到该点所在纬度圈,由 0° 到 90° 计量。向北度量的称为北纬,用N标示;向南度量的为南纬,用S标示。例如北京的纬度为 $39^{\circ}54'.4N$ 。

纬度圈上各点的纬度相等,经线上各点的经度也都相等。格林经线与赤道的交点为地理坐标的起算点,经线与纬度圈所构成的图网为坐标线图网。

3. 纬差与经差

纬差为两地纬度之代数差,用符号 $D\varphi$ 表示;经差为两地经度之代数差,用 $D\lambda$ 表示。

纬差和经差是有方向性的,应根据起算点和到达点的相对位置关系而定:如到达点位于起算点之北,为北纬差;位于起算点之南,则为南纬差。同样,如到达点位于起算点之东,为东经差;位于起算点之西,则为西经差。其计算公式如下:

$$\begin{aligned} D\varphi &= \varphi_2 - \varphi_1 \\ D\lambda &= \lambda_2 - \lambda_1 \end{aligned} \quad (1-1-1)$$

式中: φ_1, φ_2 ——起始点纬度和到达点纬度;

λ_1, λ_2 ——起始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、经差为正值,分别表示北纬差和东经差,负值表示南纬差和西经差;
- (3) 经差的绝对值不应大于 180° ,否则,应由 360° 减去该绝对值,并改变符号。

例 1-1-1:某轮由($36^{\circ}50'N, 120^{\circ}25'W$)航行至($25^{\circ}40'N, 140^{\circ}50'W$),求两地间纬差和经差。

解:

	φ_2	25°40'N(+)	λ_2	140°50'W(-)
-)	φ_1	36°50'N(+)	-)	λ_1
				120°25'W(-)
	$D\varphi$	11°10'S(-)	$D\lambda$	20°25'W(-)

例 1-1-2:某轮由($23^{\circ}25'N, 106^{\circ}14'W$)航行至($08^{\circ}16'S, 100^{\circ}08'E$),求两地间纬差和经差。

解:

	φ_2	08°16'S(-)	λ_2	100°08'E(+)
-)	φ_1	23°25'N(+)	-)	λ_1
				106°14'W(-)
	$D\varphi$	31°41'S(-)	$D\lambda$	206°22'E(+)
				$360^{\circ} - 206^{\circ}22' = 153^{\circ}38'W$

三、大地坐标系

前述的地理坐标建立在相应的大地坐标系之上,而大地坐标系是在地球椭圆体的表面建立的。对于地球椭圆体,仅知道其参数并不能建立大地坐标系,还须对其定位和定向。建立大地坐标系(geoid coordinate system)包括以下三方面问题: