

驾驶专业

新版

全国海船船员适任考试培训教材

航海学



中国海事服务中心组织编审



人民交通出版社

China Communications Press



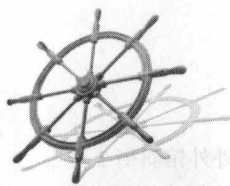
大连海事大学出版社

新版

全国海船船员适任考试培训教材

航海学

中国海事服务中心组织编审



人民交通出版社
大连海事大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

航海学/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, 2008.3
全国海船船员适任考试培训教材
ISBN 978-7-114-06990-1

I.航... II.中... III.航海学-技术培训-教材 IV.
U675

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 014887 号

书 名: 航海学

著 者: 刘德新 刘加钊 等

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> (中国水运图书网)

销售电话: (010)64981400, 64960094

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 人民交通出版社交实书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 21.25

字 数: 541 千

版 次: 2008 年 4 月 第 1 版

印 次: 2008 年 4 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06990-1

印 数: 0001 - 5000 册

定 价: 56.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》(简称 04 规则)已于 2004 年 8 月 1 日生效,新的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》也自 2006 年 2 月 1 日实施。为了更好的帮助、指导船员进行适任考前培训和进一步提高船员适任水平,在交通部海事局领导下,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。本教材的编写将改变长期以来船员适任培训使用本、专科教材的现状,消除由于教材版本众多所造成知识内容上存在的混淆和分歧,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,旨在培养船员在实践中应用知识的能力,并可作为工具书为船员上船工作使用。本套教材在着重于航海实践的同时,紧密结合现代船舶的特点,考虑到将来有关船舶技术的发展,教材内容涉及到最新的航海技术,与时俱进,进一步拓展船员的知识层次。

本套教材由航海学、船舶值班与避碰、航海气象与海洋学、船舶操纵、海上货物运输、船舶结构与设备、船舶管理(驾驶)、船长业务、航海英语、轮机英语、轮机长业务、轮机工程基础、主推进动力装置、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、船舶管理(轮机)组成。

本套教材在编写、出版工作中得到中华人民共和国海事局、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

2008 年 2 月

编者的话

本教材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》编写。适用于无限航区、近洋航区、沿海航区和近岸航区各个等级的海船二/三副、大副适任证书考试培训使用,也可用作海运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海船船员适任考试大纲的全部内容,帮助学员顺利地通过适任证书的考试,并尽可能考虑了理论体系的系统性与完整性,加强理论对航海实践的指导作用。全书共分八章。第一章基础知识;第二章船舶定位;第三章时间系统;第四章船位误差理论;第五章航路资料;第六章航线与航行方法;第七章航海仪器;第八章罗经差的测定。此外,本书针对每一章,列出了一定数量的习题,供学员练习使用。

本书由刘德新、刘加钊主编。其中第一章(除第九节)、第二章、第六章(除第六节)由刘德新编写;第一章第九节、第五章由张吉平编写;第三章由卫桂荣编写;第四章、第六章第六节、第七章第五至七节由刘加钊编写;第七章第一至二节由于晓纯编写;第七章第三至四节由卢金海编写;第七章第八节由寇连坡编写;第八章由赵怀森编写。集美大学林文勇教授和中国海事服务中心的李建广参加了本书的主要审定工作。全书最后由刘德新、刘加钊修改定稿。

在编写过程中本书参考了许多国内优秀的航海专业教材,并引用了其中的一些插图,恕不一一列举,在此表示感谢。

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
2008年2月

目 录

第一章 基础知识	1
第一节 地球形状、地理坐标和大地坐标系	1
第二节 航向和方位	3
第三节 向位的测定和换算	6
第四节 能见地平距离、物标能见距离和灯标射程	14
第五节 航速与航程	18
第六节 海图	22
第七节 识图	30
第八节 海图分类和使用	39
第九节 电子海图及其应用	42
第二章 船舶定位	48
第一节 概述	48
第二节 航迹绘算	49
第三节 风流压差的测定	52
第四节 航迹计算	54
第五节 陆标的识别与方位、距离的测定	58
第六节 方位定位	61
第七节 距离定位	66
第八节 方位距离定位	67
第九节 移线定位	69
第三章 时间系统	75
第一节 天体视运动	75
第二节 时间系统	96
第三节 时间系统的正确使用	106
第四章 船位误差理论	110
第一节 观测误差基础	110
第二节 船位线误差	115
第三节 两条船位线定位的误差	117
第四节 三条船位线定位的误差	119
第五章 航路资料	121
第一节 潮汐与潮流	121
第二节 航标	147
第六章 航线与航行方法	156
第一节 大洋航行	156



第二节	沿岸航行	165
第三节	狭水道航行	170
第四节	雾中航行	183
第五节	冰区航行	186
第六节	船舶交通管理	190
第七章	航海仪器	201
第一节	罗兰 C	201
第二节	船舶自动识别系统	208
第三节	卫星导航系统	212
第四节	雷达	225
第五节	船用计程仪	248
第六节	回声测深仪	255
第七节	磁罗经	259
第八节	陀螺罗经	266
第八章	罗经差的测定	294
第一节	利用陆标测定罗经差	294
第二节	利用陀螺罗经与磁罗经对比求罗经差	296
第三节	观测天体求罗经差	296
航海学模拟考题集		303
参考文献		333



第一章 基础知识

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上的,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 8 848 m,但与 6 370 km 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 :

$$R = \frac{360^\circ \times 60'}{2\pi} \text{ n mile} = 3\,437.7468 \text{ n mile} = 6\,366\,707 \text{ m}$$

2. 第二近似体——地球椭圆柱

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柱。

地球椭圆柱即旋转椭圆柱(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。表示地球椭圆柱的参数有:长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 c 和偏心率 e ,它们之间的关系是:

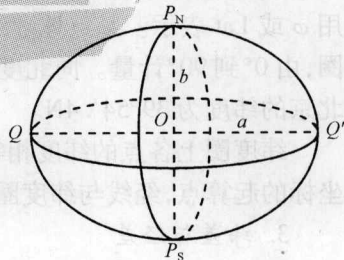


图 1-1-1 地球椭圆柱

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

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





地球椭球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,所得出的椭球体参数也略有差异。我国 1952 年采用白塞尔地球椭球体参数,1954 年改用原苏联克拉索夫斯基地球椭球体参数,现在准备逐步采用 IUGG 1975 年推荐的地球椭球体参数。

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球体表面上的。要建立地理坐标,首先应在地球椭球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($P_N P_S$);

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($P_N Q P_S Q'$);

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

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($P_N G P_S$)。

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;向南度量的称为南纬,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:

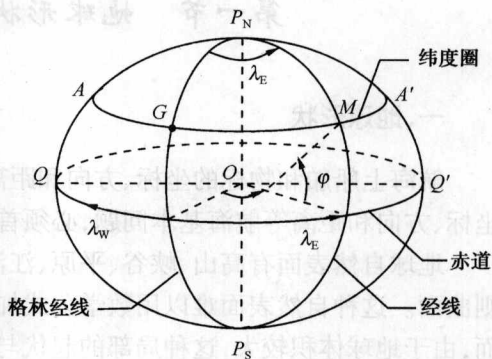


图 1-1-2 地理坐标



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

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

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 ($36^\circ 50' \text{N}, 120^\circ 25' \text{W}$) 航行至 ($25^\circ 40' \text{N}, 140^\circ 50' \text{W}$), 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 ($23^\circ 25' \text{N}, 106^\circ 14' \text{W}$) 航行至 ($08^\circ 16' \text{S}, 100^\circ 08' \text{E}$), 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 (+)	
				$360^\circ - 206^\circ 22' = 153^\circ 38' \text{W}$	

三、大地坐标系

不同国家在建立大地坐标系, 以确定地球椭圆体与大地球体的相互关系时, 为了使选定的地球椭圆体与其所在地区的大地水准面更为接近, 往往采用不同的坐标系。因此, 处于同一位置的船舶或同一位置的物标, 在不同的大地坐标系中的地理经、纬度可能不相同, 应注意不同坐标系之间的坐标转换。

第二节 航向和方位

一、方向的确定、划分和换算

1. 四个基本方向的确定

通过测者眼睛, 并与该点重力方向重合的直线叫作测者铅垂线。凡与测者铅垂线相垂直的平面, 称为测者地水平面, 其中通过测者眼睛的地水平面, 叫作测者地面真地水平面。包含测者铅垂线, 并与测者子午圈平面相垂直的平面, 称为测者东西圈平面(卯酉圈平面)。

航海上测者周围的方向是建立在测者地面真地水平面之上的。如图 1-2-1 所示: $A'O$ 为测者 A 的铅垂线, 测者地面真地水平面 $WSEN$ 与测者子午圈平面 $P_N A Q P_S Q'$ 相交的直

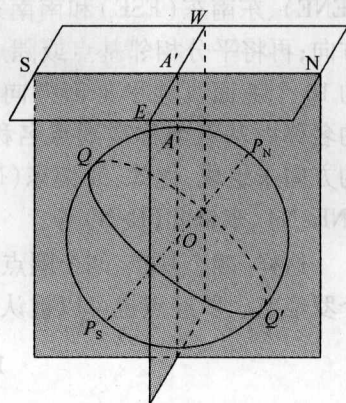


图 1-2-1 方向的确定

线 SN 称为测者的方向基准线——南北线。它靠近地理北极 P_N 的一方是测者的正北方向；靠近南极 P_S 的一方为测者的正南方向。测者地面真地平平面与测者卯酉圈平面的交线 WE，叫作测者的东西线。当测者面北背南时，测者东西线的右方是正东方向，左方是正西方向。

位于不同地点的测者，具有不同的测者铅垂线和测者地面真地平平面，其方向基准也各不相同。位于两极的测者无法确定其方向基准：位于南极的测者，其任意方向都是正北方向；而位于北极的测者，其任意方向都是正南方向。

2. 航海上方向的划分

仅在测者地面真地平平面上确定四个基本方向，不能完全表示测者地面真地平平面上的其他各个方向，远远不能满足航海上的需要，必须将方向作进一步的划分。航海上常用的划分方向的方法有下列三种：

(1) 圆周法

以正北为方向基准 000° ，按顺时针方向计量到正东为 090° ，正南为 180° ，正西为 270° ，再计量到正北方向为 360° 或 000° 。

圆周法始终用三位数表示，是航海最常用的表示方向的方法。

(2) 半圆法

以正北或正南为方向基准，分别向东或向西计量到正南或正北，计量范围 0° 到 180° 。用半圆法表示某方向时，除度数外，还应标明起算点和计量方向。如： 30° NE, 150° SE, 30° SW, 150° NW。

任何一个地平平面方向，都有两种半圆法表示法。在天文航海中，常用半圆法来表示天体的方位。

(3) 罗经点法

如图 1-2-2 所示，罗经点法以北、东、南、西四个基本方向为基点；将平分相邻基点之间的地面真地平平面方向称为隅点，即东北 (NE)、东南 (SE)、西南 (SW) 和西北 (NW) 四个方向；将平分相邻基点与隅点之间的地面真地平平面方向称为三字点，其名称有基点名称之后加上隅点名称组成，即北北东 (NNE)、东北东 (ENE)、东南东 (ESE) 和南南东 (SSE) 等八个方向；再将平分相邻基点或隅点与三字点之间的 16 个地面真地平平面方向称为偏点，偏点的名称由基点名称或隅点名称之后加上偏向的方向来组成，例如：北偏东 (N/E)、东北偏北 (NE/N)、东偏北 (E/N) 等。

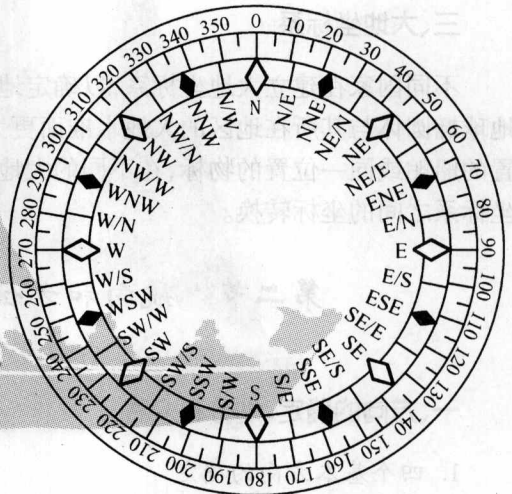


图 1-2-2 罗经点方向

这样，四个基点、四个隅点、八个三字点和十六个偏点，共计三十二个方向点，叫做三十二个罗经点。罗经点也可以被认为是两个相邻的罗经点方向之间的角度。因此：

$$1 \text{ 点} = \frac{360^\circ}{32} = 11^\circ.25, \text{ 或 } 4 \text{ 点} = 45^\circ$$

过去，罗经点法曾在航海各领域得到过广泛的运用，而目前仅用它来表示风、流等的大概方向。





3. 三种方向划分之间的换算

根据航海实际的需要,三种方向之间的换算,通常是指将半圆法和罗经点法所表示的方向换算为相应的圆周法方向,其换算方法如下:

(1) 半圆法换算成圆周法的法则

在北东(NE)半圆: 圆周度数 = 半圆度数

在南东(SE)半圆: 圆周度数 = $180^\circ - \text{半圆度数}$

在南西(SW)半圆: 圆周度数 = $180^\circ + \text{半圆度数}$

在北西(NW)半圆: 圆周度数 = $360^\circ - \text{半圆度数}$

例 1-2-1: 将半圆法方向 35°NE , 145°SE , 45°SW , 135°NW 换算为圆周法方向。

解:

半圆法方向	圆周法方向
35°NE	035°
145°SE	$180^\circ - 145^\circ = 035^\circ$
45°SW	$180^\circ + 45^\circ = 225^\circ$
135°NW	$360^\circ - 135^\circ = 225^\circ$

(2) 罗经点法换算成圆周法的法则

由于相邻两罗经点之间的角度为 $11^\circ.25$, 因此, 某个罗经点方向所对应的圆周方向, 可根据该罗经点在罗经点法中的点数乘以 $11^\circ.25$ 的法则确定。

根据上述法则将罗经点法换算为圆周法方向固然可行, 但是, 掌握每个罗经点在罗经点法中的点数比较困难, 故该换算方法的应用受到较大的限制。在掌握了所有罗经点的意义、命名方法以及四个基点与四个隅点所对应的圆周法方向的基础上, 还可依据下列原则来换算:

八个三字点的圆周方向等于相应的基点方向与隅点方向的算术平均值;

16 个偏点的圆周方向等于相应基点或隅点方向加上 $\pm 11^\circ.25$ 。其中, \pm 应根据该偏点偏向相应基点或隅点的方向而定: 顺时针方向取 +, 逆时针方向取 -。

例 1-2-2: 将罗经点 SSE、SSW、NW/W、NW/N 换算为圆周法方向。

解:

$$\text{SSE} = \frac{1}{2}(S + SE) = \frac{1}{2}(180^\circ + 135^\circ) = 157^\circ.5$$

$$\text{SSW} = \frac{1}{2}(S + SW) = \frac{1}{2}(180^\circ + 225^\circ) = 202^\circ.5$$

$$\text{NW/W} = 315^\circ - 11^\circ.25 = 303^\circ.75$$

$$\text{NW/N} = 315^\circ + 11^\circ.25 = 326^\circ.25$$

二、航向、方位和舷角

航海上经常涉及到的方向有两种: 船舶航行的方向(航向)和物标的方向(方位)。现将与此有关的若干定义等介绍如下(图 1-2-3):

航向线: 当船舶无横倾时, 船舶首尾面(通过船舶铅垂线的纵剖面)与测者地面真地平平面所相交的直线, 叫做船舶的首尾线。首尾线向船首方向的延伸线, 称作航向线, 代号 CL。

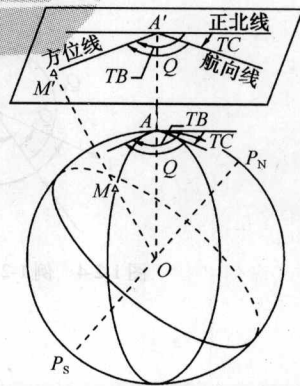


图 1-2-3 航向、方位和舷角



真航向:船舶航行时,在测者地面真地平平面上,自真北线顺时针方向计量到航向线的角度,称为船舶的真航向,计量范围 $000^{\circ} \sim 360^{\circ}$,代号:TC。

方位线:在地球表面上连接测者与物标的大圆弧 AM,叫做物标的方位圈,而物标方位圈平面与测者地面真地平平面相交的直线 A'M',称为物标的方位线,代号 BL。

真方位:在测者地面真地平平面上,自正北线顺时针方向计量到物标方位线的角度,称为船舶的真方位,计量范围 000° 至 360° ,代号 TB。

舷角:在测者地面真地平平面上,从航向线到物标方位线之间的夹角,称为物标的舷角或相对方位。舷角以航向线为基准,按顺时针方向计量到物标方位线,计量范围 $000^{\circ} \sim 360^{\circ}$,始终用三位数表示,代号 Q;或以船首向为基准,分别向左或向右计量到物标方位线,计量范围 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$,向左计量为左舷角 $Q_{左}$,向右计量为右舷角 $Q_{右}$ 。

当舷角 $Q = 090^{\circ}$ 或 $Q_{右} = 90^{\circ}$ 时,叫做物标右正横;当 $Q = 270^{\circ}$ 或 $Q_{左} = 90^{\circ}$ 时,叫做物标左正横。

物标的真方位是以测者的正北方向线为基准度量的,与航向无关。如果只改变航向,而测者的位置不发生变化,则物标真方位不变。物标的舷角是以船首尾线为基准度量的,只要航向发生变化,物标的舷角也随之改变。航向、方位和舷角之间的关系如下:

$$TB = TC + Q \text{ 或 } TB = TC + Q \begin{cases} Q_{右} \text{ 为 } (+) \\ Q_{左} \text{ 为 } (-) \end{cases}$$

如计算所得的真方位值大于 360° 或小于 0° ,则应分别减去或加上 360° 。

例 1-2-3:某轮真航向 215° ,测得两物标舷角分别为 $Q_A = 030^{\circ}$ 、 $Q_B = 160^{\circ}$,求 A、B 两物标的真方位(图 1-2-4)。

解:

$$TB_A = TC + Q_A = 215^{\circ} + 030^{\circ} = 245^{\circ}$$

$$TB_B = TC + Q_B = 215^{\circ} + 160^{\circ} = 375^{\circ} \text{ 即 } 015^{\circ}$$

例 1-2-4:某轮真航向 030° ,求物标左正横时的真方位(图 1-2-5)。

解:

$$TB_{左} = TC + Q = 030^{\circ} + 270^{\circ} = 300^{\circ}$$

或

$$TB_{左} = TC + Q_{左} = 030^{\circ} + (-90^{\circ}) = -60^{\circ} \text{ 即 } 300^{\circ}$$

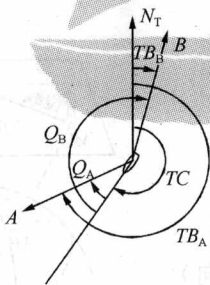


图 1-2-4 例 1-2-3 示意图

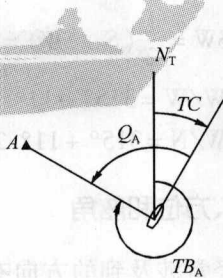


图 1-2-5 例 1-2-4 示意图

第三节 向位的测定和换算

航海测定方位(航向和方位)的仪器是罗经。目前,海船上配备的罗经有陀螺罗经(俗



称电罗经)和磁罗经两大类。本节重点介绍用陀螺罗经和磁罗经测定方位的有关概念和方位换算等基础知识。

一、陀螺罗经测定方位

陀螺罗经是根据高速旋转的陀螺仪,在受到适当的阻尼力作用后,能迫使其旋转轴保持在其子午圈平面内的原理而制成的。陀螺罗经是一种不受地磁场和电磁场影响的、具有较大指北力的电动机械仪器,它能带动若干个分罗经,分别安装在驾驶台、驾驶台两翼、海图室和船长房间等,还能为雷达、自动舵和航向记录仪等提供指北信息。

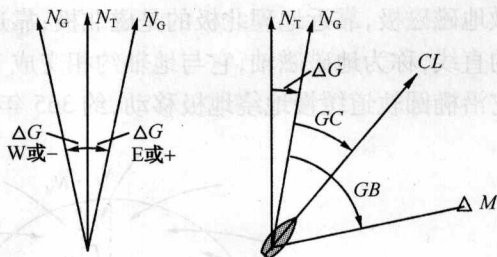


图 1-3-1 陀螺罗经差

陀螺罗经刻度盘 0° 所指示的方向称为陀螺罗经北,简称陀螺北,用 N_G 表示。陀螺北线和船舶航向线之间的夹角,称为陀螺航向,代号 GC 。陀螺北线和物标方位线之间的夹角,叫做陀螺方位,代号 GB (图 1-3-1)。陀螺航向和陀螺方位均以陀螺北线为基准,按顺时针方向计量至航向线或物标方位线,计量范围 $000^\circ \sim 360^\circ$ 。

理论上陀螺罗经的旋转轴应该稳定在真子午线平面内,即陀螺北应与真北(测者的正北方向, N_T)相一致,但像任何其他测量仪器一样,都可能存在一定的误差。陀螺北偏离真北角度称为陀螺罗经差(简称陀螺差),用 ΔG 表示。陀螺北偏在真北的东面,陀螺罗经差小于真方位, ΔG 为偏东或偏低,用 E 或 (+) 表示;陀螺北偏在真北的西面,陀螺罗经差大于真方位, ΔG 为偏西或偏高,用 W 或 (-) 表示。

陀螺差 ΔG 主要随航速和船舶所处纬度的变化而变化,与航向等无关。真方位、陀螺方位和陀螺差之间的关系如下:

$$\begin{cases} TC = GC + \Delta G & \left\{ \begin{array}{l} \Delta G \text{ 偏东为 } (+) \\ \Delta G \text{ 偏西为 } (-) \end{array} \right. \\ TB = GB + \Delta G \end{cases}$$

例 1-3-1:某轮陀螺航向 $GC = 314^\circ$,测得某物标陀螺方位 $GB = 075^\circ$,陀螺差 $\Delta G = 1^\circ W$,求该轮真航向和该物标的真方位。

解:

$$TC = GC + \Delta G = 314^\circ + (-1^\circ) = 313^\circ$$

$$TB = GB + \Delta G = 075^\circ + (-1^\circ) = 074^\circ$$

例 1-3-2:某轮真航向 $TC = 120^\circ$,某物标真方位 $TB = 180^\circ$,陀螺差 $\Delta G = 1^\circ E$,求该轮陀螺航向和该物标的陀螺方位。

解:

$$GC = TC - \Delta G = 120^\circ - (+1^\circ) = 119^\circ$$

$$GB = TB - \Delta G = 180^\circ - (+1^\circ) = 179^\circ$$

二、磁罗经测定方位

磁罗经是我国古代四大发明之一——指南针演变发展而来的。它是根据在水平面内自由旋转的磁针,受到地磁磁力的作用后,能稳定指示地磁磁北方向的特性而制成的。

1. 磁差与磁方位

(1) 地磁与磁差





如图 1-3-2a) 所示,地球周围存在一个天然磁场——地磁场,它好像是由地球内部的一个大磁铁所形成的磁场。地面上各点的磁力线方向是不相同的,磁力线方向垂直于地面的点,叫做地磁磁极,靠近地理北极的是磁北极;靠近地理南极的是磁南极。连接地磁北极和地磁南极的直线,称为地磁磁轴,它与地轴约相交成 $11^{\circ}.5$ 。此外,地磁磁极的位置并不是固定不变的,它沿椭圆轨道缓慢地绕地极移动,约 365 年绕地极一周。

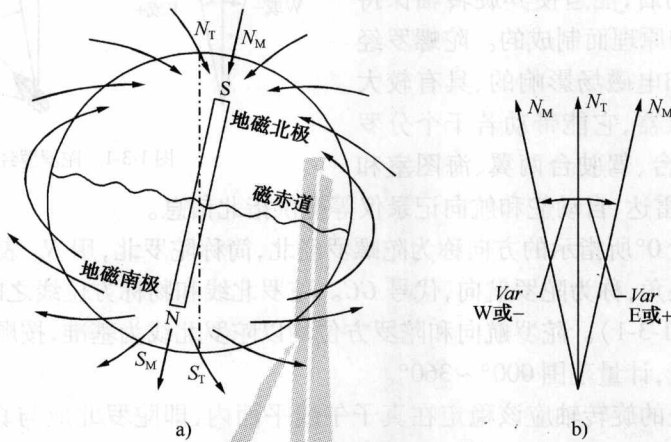


图 1-3-2 地磁与磁差

因为地磁北极与地理北极并不在同一地点,地磁磁场本身又很不规则,所以地面上某点的磁北线与真北线往往不重合。磁北(N_M)偏离真北(N_T)的角度称为磁差,代号 Var 。如图 1-3-2b) 所示:如磁北偏在真北的东面,称磁差偏东,用 E 或 $+$ 表示;磁差偏在真北西面,则称磁差偏西,用 W 或 $-$ 表示。

(2) 磁差的变化

根据地磁磁场的分布情况及其变化规律,磁差的变化具有下列特点:

① 磁差随地区变化。由于地磁磁轴并不与地轴重合,而且地磁磁轴也不通过地球球心,加上地磁磁场的不规则性,使得地面上磁力线的分布与走向相当复杂。因此,各地磁差的大小和方向,随各地相对于地理北极和地磁北极的方向的不同而各不相同。低纬地区磁差一般较小,最小可为 0° ;高纬地区,尤其是靠近地磁磁极的地区,磁差值较大而且变化显著,磁差最大可达 180° 。因此,船舶在磁极地区(通常指极区)航行,是无法用磁罗经导航的。

② 磁差随时间变化。由于地磁磁极沿椭圆轨道不断地绕地极缓慢移动,同一地点的磁差将因此随时间逐渐变化,每年大约变化 $0^{\circ} \sim 0^{\circ}.2$,叫做磁差的年变化或年差。年差可用东(E)或西(W)表示,也可用磁差绝对值的增加($+$, increasing)或减少($-$, decreasing)表示。年差的东(E)或西(W)表示该地磁差每年向东或向西变化,如年差 $0^{\circ}.1E$,表示磁差每年向东变化 $0^{\circ}.1$,即该地磁北每年向东偏移 $0^{\circ}.1$;年差的($+$)或($-$)并不表示磁差的变化方向,而是指该地磁差绝对值的增加或减少。

③ 磁差随地磁异常和磁暴变化。沿海某些地区,可能由于地下埋藏着大量磁性矿物的影响,使得该地区的磁差与附近其他地区的磁差有明显的差异,称为地磁异常。各地地磁异常区的有关资料通常刊印在相应的海图和航路指南中,船舶在这些区域航行时,必须格外谨慎。磁差的偶然和罕见的波动,称为磁暴。经研究,它主要与太阳黑子的暴发有关。磁暴的时间一般比较短暂,但它可使磁差在一昼夜中变化几度至几十度。因此,一旦发现磁向位突然发生较大



的变化,应特别谨慎。

(3) 磁差的计算

磁差随地区变化,不同地区的磁差值一般经测量得到。此外,由于磁差还随时间变化,因此,仅知道测量当时磁差的大小和方向是不够的,还必须知道该地的年差。完整的磁差资料应包含:测量当时的磁差值(大小和方向)、测量年份和年差。

在航用海图上,给出磁差资料的方法一般有下列三种:

① 在某些航行图和港湾图上,一般在该图的方位圈(即罗经圈,俗称罗经花)上给出该向位圈中心点处的磁差值、测量年份与年差数据。如:

$4^{\circ}30'E$ 1982 ($9'E$);

磁差偏西 $6^{\circ}12'$ (1989), 年差约 $+4'$;

Variation $3^{\circ}00'W$ (1965) decreasing about $2'$ annually.

② 在总图和远洋航行图上,由于海图比例尺小,覆盖范围大,图区内磁差变化较大,因此只能以等磁差线的形式给出磁差资料。等磁差线是磁差相等的各点的连线。每条等磁差线上都注有相应的磁差和年差,其中 E 和 W 分别表示磁差(年差)偏东、偏西。所提供磁差的测量年份在海图标题栏内给出。

③ 在一些大比例尺港泊图上,由于比例尺较大,海图覆盖范围较小,整个图区内的磁差可以认为是相等的。因此,通常仅在海图标题栏内给出所有的磁差资料。

驾驶员在使用磁罗经时,必须适时地查取磁差资料,并按下式求取当地、当时的磁差:

所求磁差 = 图示磁差 + 年差 \times (所求年份 - 测量年份)

式中:图示磁差取其绝对值。年差增加取+,减少取-。若年差用 E 或 W 表示,则当年差与图示磁差同名时,年差取+;异名时取-。结果为+,所求磁差与图示磁差同名;结果为-,则所求磁差与图示磁差异名。

表 1-3-1 列举了不同情况下的磁差的求取结果,表中图示磁差值的测量年份均为 1965 年,所求的则都是当地 1995 年的磁差值。

不同情况下磁差计算的求取

表 1-3-1

图示磁差值(1965)	对应不同年差的所求磁差值(1995)			
	+ 15'	- 15'	15'E	15'W
0°30'E	1°15'E	0°15'W	1°15'E	0°15'W
1°30'E	2°15'E	0°45'E	2°15'E	0°45'E
0°30'W	1°15'W	0°15'E	0°15'E	1°15'W
1°30'W	2°15'W	0°45'W	0°45'W	2°15'W

当船舶在海图上相邻两方位圈或等磁差线之间航行时,应先分别求出两方位圈或等磁差线上的磁差值,再进行必要的目视内插,从而求取船舶所在地点的正确磁差值。

实际工作中,除了按上述方法求取磁差外,还可根据船位从部分 GPS 接收机等现代化导航仪器中直接读取当地、当时的磁差值。

(4) 磁方位

将磁罗经放置在地球上某一点,当它仅受到地磁场的作用时,磁针的 N—S 线将与该点的地磁磁力线相重合,其 N 极所指的方向(即磁罗经刻度盘 0° 的方向)在地面真地平平面上的投影,即为磁北 N_M 。如图 1-3-3 所示:磁北线与航向线之间的夹角称为磁航向,代号 MC;磁北线



与方位线之间的夹角称为磁方位,代号 MB 。磁航向与磁方位均以磁北为基准,分别按顺时针方向计量到航向线或物标方位线,计量范围 $000^\circ \sim 360^\circ$ 。显然,磁方位、磁差和真方位之间的关系如下:

$$TC = MC + Var$$

$$TB = MB + Var$$

2. 磁罗经自差

(1) 船磁与自差

安装在钢铁制成的船上的磁罗经,除了受到地磁的作用外,还将受到船上钢铁在地磁场中磁化后形成的磁场——船磁场的影响,以及磁罗经附近电气设备形成的电磁场的影响。这样,致使磁罗经的指北端不再指示磁北方向,而指向上述各磁场的合力方向上。此时磁罗经刻度盘 0° 所指示的北,称为罗北,代号 N_c 。

罗北偏离磁北,是由于船舶自身的磁场所引起的,因此将罗北线与磁北线之间的角度称为自差,用缩写 Dev 或符号 δ 表示。如图 1-3-4 所示,如罗北偏在磁北之东,称为东自差,用 E 或 $+$ 标示;若罗北偏在磁北之西,则为西自差,用 W 或 $-$ 标示。

(2) 自差的变化

自差的大小和符号与船舶钢铁磁化的性质和程度(船磁)有关,而船磁又与船首向和地磁力线方向的相对位置有关,即船磁的大小和方向是随航向的不同而改变的。因此,磁罗经的自差也随航向的变化而变化。

此外,自差还可能因船舶装载钢铁和磁性矿物、磁罗经附近铁器和电器的变动、船舶倾斜和船舶所处不同地区磁差的显著变化而有所变动。

(3) 自差资料与计算

如果磁罗经自差较大,则当船舶转向时,转向角度可能和罗经读数的变化数值相差较大。这样,不仅对使用罗经很不方便,还容易产生错觉,甚至发生海事。因此,当磁罗经自差较大时,必须进行自差校正工作,尽可能地消除各个方向的自差。磁罗经自差虽然可以校正,但不可能把各个方向的自差消除干净,一般还会剩下 $\pm 0^\circ \sim \pm 3^\circ$ 左右的自差,叫做剩余自差。对磁罗经进行自差的校正以后,应测出八个罗经点方向的剩余自差,然后用曲线法或公式计算法,制成磁罗经自差曲线(图 1-3-5)或自差表(表 1-3-2),供船舶航向中向位换算用。

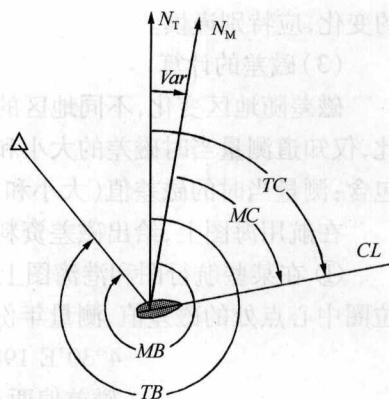


图 1-3-3 磁方位

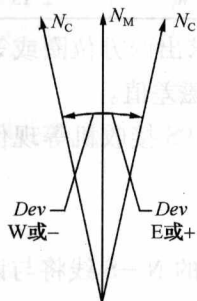


图 1-3-4 自差

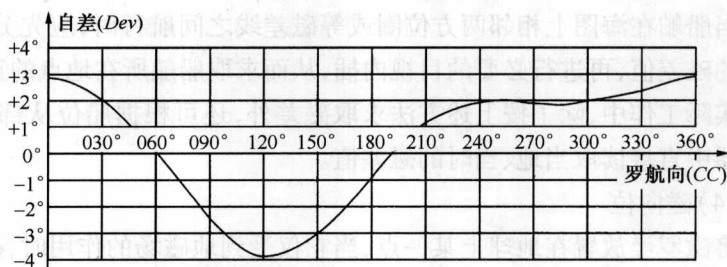


图 1-3-5 磁罗经自差曲线