

航海学

(上册)

潘琪祥 主编

钱渡如 主审

上海海运学院

前 言

本书是根据我院海洋船舶驾驶专业专科生的《航海学》教学大纲，同时也兼顾了海洋船舶驾驶员(无限航区)的《航海学》考试大纲和培训知识的要求而编写的。

本书分为上、下两册，总授课时数为130学时。上册包括航海基础知识，海图，潮汐与潮流，航迹推算和陆标定位等；下册包括无线电定位，航海图书资料和各种航行方法。上册主要由潘琪祥编写，潘杰参加了部分编写工作；下册由潘琪祥、赵仁余和顾嵘编写。全书由潘琪祥主编，钱淡如审阅。

由于编者水平有限，时间仓促，缺点与错误难免，望读者予以批评指正。

编者

1992年6月

目 录

前言

第一章 坐标、方向和距离	(1)
第一节 地球形状与地理坐标.....	(1)
第二节 航向和方位.....	(3)
第三节 航海上的距离单位、船速和航程.....	(14)
第四节 能见地平距离和物标能见距离.....	(18)
第二章 海图	(21)
第一节 地图投影与比例尺.....	(21)
第二节 恒向线.....	(22)
第三节 墨卡托投影海图.....	(23)
第四节 识图.....	(29)
第五节 海图的分类、改正、管理和使用.....	(35)
第三章 潮汐与潮流	(39)
第一节 潮汐成因.....	(39)
第二节 潮汐常用名词及其解释.....	(40)
第三节 潮汐不等.....	(41)
第四节 中版《潮汐表》的应用.....	(45)
第五节 英版《潮汐表》的应用.....	(57)
第六节 潮流及其推算.....	(61)
第四章 航迹推算	(66)
第一节 航迹绘算.....	(67)
第二节 航迹计算.....	(79)
第三节 推算船位的误差分析.....	(86)
第四节 绝对计程仪在航迹推算中的应用.....	(90)
第五章 位置线和船位误差	(92)
第一节 位置线.....	(92)
第二节 位置线梯度及其应用.....	(94)
第三节 观测船位的准确度.....	(98)
第六章 陆标定位	(101)
第一节 方位定位.....	(101)
第二节 距离定位.....	(106)
第三节 水平角定位.....	(108)
第四节 移线定位.....	(108)
第五节 综合定位.....	(113)
第六节 单一位置线的应用.....	(114)
附录 海图作业试用规则	(117)

第一章 坐标、方向和距离

海上的位置坐标、方向和距离的概念,既是船舶驾驶人员必须具备和掌握的航海基础知识,也是学习和研究《航海学》中的船舶航迹推算和航行定位理论及航线设计的基础知识。

第一节 地球形状与地理坐标

一、地球形状和大小

船舶航行于大海上,为了研究船舶在地球表面上的位置、方向和距离等航海问题,必须对地球的形状和大小作一定的了解。但地球的自然表面的形状是非常复杂的,有高山和深谷,崎岖不平。然而从整个地球来看,由于地球体积较大,地球表面的高低起伏与整个地球比较起来,显得非常之小。同时由于地球表面上海洋的面积约占地球总面积的3/4,而且比较平坦。所以在航海上讨论地球形状时,并不是指地球自然表面的形状,而是指由假想的大地水准面所包围的大地球体(Geoid)的形状。所谓大地水准面,它是一个假想的、与完全均衡状态的海洋面相吻合的水准面。如果将它向大陆延伸,并且使这一延伸面始终保持在任何地方都与该地的铅垂线正交,则这一连续的、无叠痕的、无棱角的闭合水准面,叫作大地水准面。被大地水准面所围成的几何体,是理想的地球形状,叫作大地球体。

大地球体是一个不规则的几何体。一般在应用上,将地球圆球体作为它的第一近似体,地球椭圆体作为它的第二近似体。

航海上为了计算上的简便,通常将大地球体当作地球圆球体。并且根据航海上的长度单位:1海里(n mile)等于1852m的规定,推算出地球圆球体的半径R,

$$R = \frac{360 \times 60}{2\pi} \text{ n mile} = 3\,437.746\,8 \text{ n mile} = 6\,366\,707 \text{ m}$$

但在大地测量学、地图学和需要精确的航海计算中,应该将大地球体当作两极略扁的地球椭圆体,才能够得到有足够精度的结果。

地球椭圆体(Spheroid)即旋转椭圆体(图1-1),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's axis),短轴的两个端点 P_N 和 P_S 是地极(Poles),分别称为地理北极 P_N 和地理南极 P_S ;长轴绕短轴旋转的平面是赤道平面;长轴端点Q旋转而成的圆周是赤道 QQ' (Equator);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椭圆,称为子午圈(Meirdian),其中由地理北极到地理南极的半个椭圆,叫作地理子午线、子午线或经线(Meirdian line)。与赤道平面相平行的、与地轴正交的平面,称为纬度圈平面,它与地球椭圆体表面相交的截痕是一个圆,称为纬度圈(Parallel of latitude)。

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

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

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

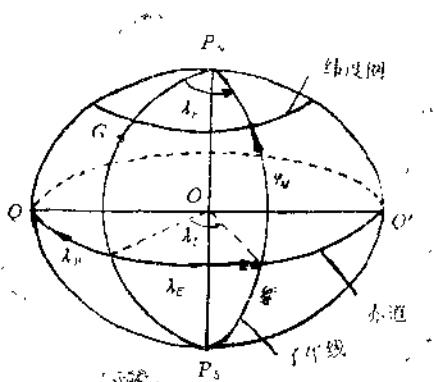


图1—1

地球椭圆柱参数是根据大地测量成果计算出来的。由于各个国家在测量时，采用的纬度和测量精度有所不同，因此所得的地球椭圆柱的参数也略有差异。我国现在采用的是原苏联克拉索夫斯基的地球椭圆柱参数，其值是：

$$a = 6\,378\,245\text{m}, \quad b = 6\,356\,863\text{m}$$

$$c = \frac{1}{298.3} = 0.003\,352\,333,$$

$$e = 0.081\,813\,369$$

当用地球椭圆柱代替大地球体时，各地

二、地理坐标

地球椭圆柱表面上任意一点的位置是用地理坐标表示的，即用地理经度和地理纬度来确定该点在地球椭圆柱表面上的位置。航海上船舶的位置与物标都是用地理坐标来表示的。

地理坐标的基准圈是赤道和格林子午线。所谓格林子午线就是通过英国伦敦格林尼治 (Greenwich) 天文台子午仪的子午线，它作为计算地理经度的起始子午线或称零度经线 (Prime meridian)。起始子午线与赤道的交点是地理坐标的起算点。

地面上某点的地理经度 (Geographical longitude) 是这样确定的：它是格林子午线和该点子午线之间所截的赤道短弧，或此短弧所对的球心角或极角 (图1—1)；它以格林经线为基准，向东或向西，由 0° 到 180° 计量，算至该点子午线作为该点的地理经度。航海上用 λ 或 Long 来表示地理经度。地理经度简称为经度。向东计量的叫东经，用“E”表示；向西计量的叫西经，用“W”表示。例如：北京的经度是 $116^\circ 28' 2\text{E}$ 。

地面上某点的地理纬度 (Geographical latitude) 是这样确定的：它是该点的椭圆子午线的法线与赤道面的交角 (图1—2)，作为该点的地理纬度；它以赤道面为基准，向北或向南，由 0° 到 90° 计量。航海上用 φ 或 Lat 来表示地理纬度。地理纬度简称为纬度。由赤道面向北计量的叫北纬，用“N”表示；向南计量的叫南纬，用“S”表示。例如，北京的纬度是 $39^\circ 54' .4\text{N}$ 。

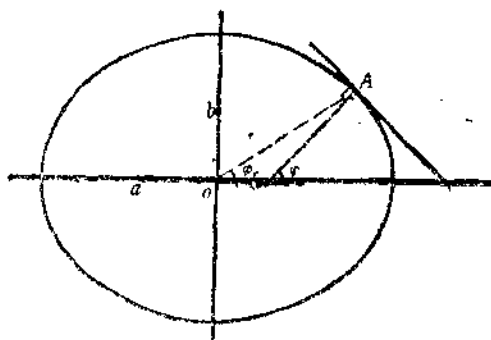


图1—2

除地理坐标外,航海上还可能会碰到用地心坐标表示地球椭圆体表面任意一点的位置。

地心坐标是由地理经度和地心纬度(Geocentric latitude)组成。某点的地心纬度 φ_0 (图1—2)是由该点与地球椭圆体中心的连线(向径)与赤道面的交角。

某点的地理纬度和它的地心纬度之差可由下式求得:

$$(\varphi - \varphi_0)'' = 691''.5 \sin 2\varphi$$

三、经差和纬差

两地经度之代数差叫作经差(Difference of longitude),用符号 $D\lambda$ 表示;两地纬度之代数差叫作纬差(Difference of latitude),用符号 $D\varphi$ 表示。如果起航点的地理坐标为 φ_1, λ_1 ,到达点的地理坐标为 φ_2, λ_2 ,那末,它们的经差、纬差的计算公式为:

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

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

计算时,可以将东经作为正值(+),西经作为负值(-);北纬作为正值(+),南纬作为负值(-)。经差和纬差都应有其方向性。按公式求得的经差为“+”,则称东经差,说明到达点在起航点之东;经差为“-”,则称西经差,说明到达点在起航点之西。按公式求得的纬差为“+”,则为北纬差,说明到达点在起航点之北;纬差为“-”,则为南纬差,说明到达点在起航点之南。

例1. 某船由 $32^\circ 26' N$ 、 $122^\circ 06' W$ 航行至 $45^\circ 14' N$ 、 $96^\circ 04' W$,求两地的经差和纬差。

解: $\varphi_2 \quad 45^\circ 14' N (+)$	$\lambda_2 \quad 96^\circ 04' W (-)$
$-) \varphi_1 \quad 32^\circ 26' N (+)$	$-) \lambda_1 \quad 122^\circ 06' W (-)$
$D\varphi \quad 12^\circ 48' N (+)$	$D\lambda \quad 26^\circ 02' E (+)$

例2. 某船由 $24^\circ 38' S$ 、 $150^\circ 42' E$ 航行至 $12^\circ 44' N$ 、 $176^\circ 12' W$,求两地的经差和纬差。

解: $\varphi_2 \quad 12^\circ 44' N (+)$	$\lambda_2 \quad 176^\circ 12' W (-)$
$-) \varphi_1 \quad 24^\circ 38' S (-)$	$-) \lambda_1 \quad 150^\circ 42' E (+)$
$D\varphi \quad 37^\circ 22' N (+)$	$D\lambda \quad 326^\circ 54' W (-)$
	即 $33^\circ 06' E$

经差不能大于 180° 。当计算结果经差大于 180° 时,则应该用 360° 减之,其结果方向相反。如果计算经差和纬差的两点,并不是航行中的起航点和到达点,则应该以计算的基准点作为起航点,而另一点作为到达点进行计算。

第二节 航向和方位

一、方向的确定和划分

船舶在海上航行,需要测定方向。那末,在地面上怎样来确定测者周围的方向呢?方向只能在测者地面真地平平面上来确定。

1. 北、东、南、西的确定

如图1—3所示,凡通过测者眼睛 A' 并与测者铅垂线 $A'O$ 正交的平面叫作测者地面真地平平面。测者子午圈平面 $P_N A' P_S Q'$ 与测者地面真地平平面的交线 $NA'S$ 是测者方向的基准线——南北线。指向地理北极的方向称为真北,简称北,缩写代号为 N_T 或 N ;指向地理南

极的方向称为南，缩写代号为S。

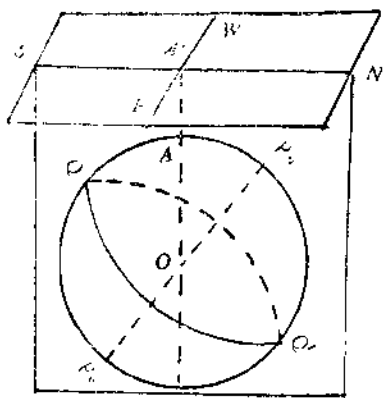


图1—3

在测者地面真地平平面上，通过测者眼睛并与南北线正交的直线EA'W称为测者的东西线。当测者面北背南时，测者东西线的右方称为东，缩写代号为E；测者东西线的左方称为西，缩写代号为W。

北、东、南、西四个方向统称为“四基点”方向。

2. 方向的划分

仅在测者地平面上确定北东南西四个基点的方向是不够的，它不能完全表示出测者地平面上的其它各个方向。航海上进一步划分方向的方法，常用的有以下三种：

1) 圆周法

圆周法以真北为000°，顺时针方向将测者地平平面等分为360°，即北为000°，东为090°，南为180°，西为270°。圆周法始终用三位数字表示方向，它是航海最常用的表示方向的方法。

2) 半圆法

半圆法是以北或南为0°，向东或向西由0°到180°计量到南或北。用半圆法表示方向时，除度数外，必须标明基准方向和计量方向。如24°NE、135°NW、145°SE和175°SW等。度数后缀的方向，前者表示起算的基准方向，后者表示计量方向。在航海天文学中，常用半圆法表示天体的方位。

显然，半圆法与圆周法间有换算法则：

当半圆法用NE表示时 圆周度数 = 半圆度数

当半圆法用SE表示时 圆周度数 = 180° - 半圆度数

当半圆法用SW表示时 圆周度数 = 180° + 半圆度数

当半圆法用NW表示时 圆周度数 = 360° - 半圆度数

例. 半圆法方向 圆周法方向

135°NE 135°

45°SE 180° - 45° = 135°

100°SW 180 + 100° = 280°

100°NW 360° - 100° = 260°

(3) 罗经点法

罗经点法将测者地平平面等分成32个罗经点。于是

$$1 \text{ 罗经点} = \frac{360^\circ}{32} = 11^\circ.25$$

如图1—4所示，各罗经点是：

4个基点：N、E、S、W。

4个隅点：NE、SE、SW、NW。所谓隅点是等分相邻两个基点之间的地平平面方向，

它们叫作北东、南东、南西和北西。

8个三字点：NNE、ENE、ESE、SSE、SSW、WSW、WNW、NNW。所谓三字点是

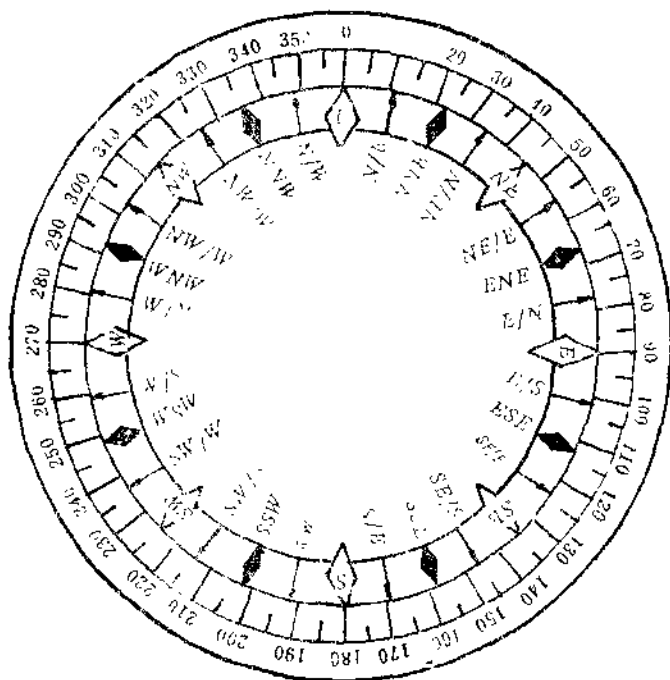


图1—4

等分相邻的基点和隅点之间地平平面的方向，其名称用基点名称之后加上隅点名称来组成，即北北东、东北东、东南东、南南东、南南西、西南西、西北西和北北西等。

16个偏点：N/E、NE/N、NE/E、E/N、E/S、SE/E、SE/S、S/E、S/W、SW/S、SW/W、W/S、W/N、NW/W、NW/N、N/W。所谓偏点是等分相邻的基点(或隅点)与三字点之间地平平面的方向，其名称是在基点或隅点名称之后加上偏向的方向(基点方向)来组成，即北偏东、北东偏北、……、北西偏北和北偏西等。

罗经点法在现代航海中已很少用，通常只用来表示风向和流向。

如果确定了方向点在罗经点法中的序号，即可将罗经点方向换算成圆周方向。例如：方向点SW在罗经点法中是第20个点，则方向点SW的圆周方向为

$$SW = 11^\circ.25 \times 20 = 225^\circ$$

二、航向、方位和舷角

航海上经常遇到的两种方向是：船首方向和物标方向。

当船舶正平时，船舶首尾面(即纵剖面)与测者真地平平面相交的直线，叫作船首尾线(Fore and aft line)。船首尾线向船首方向的延长线，叫作航向线(Course line)。

船舶航行时，在船上测者的真地平平面上，从真北方向线顺时针方向到航向线之间的夹角，叫作船舶的真航向(True Course)，代号TC。真航向用圆周法表示。如图1—5(a)所示的真航向 $TC = 045^\circ$ ，图1—5(b)所示的真航向 $TC = 315^\circ$ 。

船舶在某一瞬间的船首方向叫作船首向(Heading)，代号为Hdg。

在地球表面上，连结测者与物标的大圆AM(图1—6)叫作物标的方位圈。而物标方位圈

平面与测者地平真地平平面的交线叫作该物标的方位线(Bearing line)。在测者地面真地平平面上,从真北方向线顺时针到方位线之间的夹角,叫作物标的真方位(True bearing),代号TB。真方位用圆周法表示。

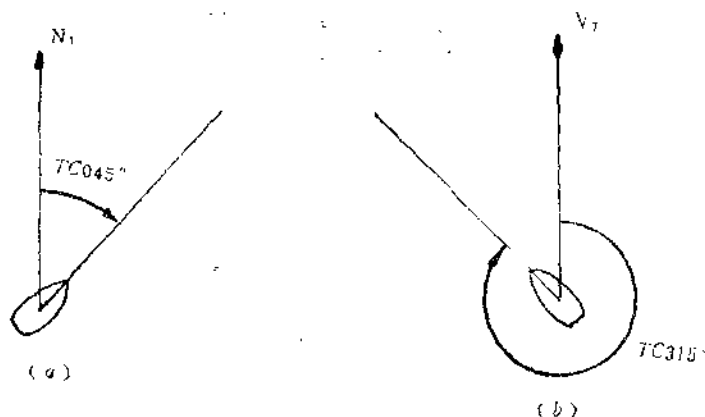


图1—5

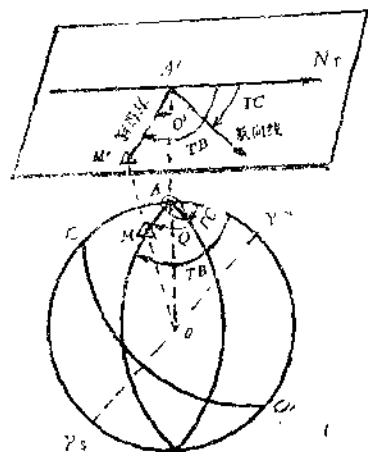


图1—6

在测者地面真地平平面上,以航向线为基准,从航向线到方位线之间的夹角,叫作物标的舷角或相对方位(Relative bearing),代号Q。它是以船首方向为0°,按顺时针方向由0°~360°计量,计算到物标方位线;或以船首方向为0°,向左或向右由0°~180°计量,计算到物标方位线,它们分别叫作物标的右舷角Q右或左舷角Q左。

当舷角Q = 90°或Q右 = 90°时,叫作物标的右正横;而当Q = 270°或Q左 = 90°时,叫作物标的左正横。它们总称为物标正横(Abeam)。

物标的真方位是以测者的真北方向线为基准度量的,因此,它与船舶的航向变化无关。也就是说,如果测者位置不变,虽然航向改变了,但物标的真方位是不变的。但是,物标的舷角是以船舶的航向线为基准度量的,因此,航向改变后,舷角也就随着改变。航向、方位和舷角之间的关系是:

$$\text{真方位TB} = \text{真航向TC} + \text{舷角Q}$$

$$\text{或 真方位TB} = \text{真航向TC} + \text{舷角Q} \quad \begin{cases} Q_{\text{右}} \text{为} "+" \\ Q_{\text{左}} \text{为} "-" \end{cases}$$

例1. 某船真航向235°,测得两物标舷角QA36°、QB315°,求物标的真方位。

解: 见图1—7, $TB_A = TC + Q_A = 235^\circ + 36^\circ = 271^\circ$

$$TB_B = TC + Q_B = 235^\circ + 315^\circ = 550^\circ, \text{即} TB_B = 190^\circ$$

例2. 某船真航向070°,求物标左正横时的真方位。

解: 见图1—8, $TB = TC + Q = 070^\circ + 270^\circ = 340^\circ$

$$\text{或 } TB = 070^\circ - 90^\circ = -20^\circ, \text{即} TB = 340^\circ$$

三、向位换算

船舶在海上航行时,是用罗经指示船舶的航向和观测物标的方位的。由罗经指示的航向叫作罗经航向,由罗经测得的方位叫作罗经方位,它们都不是以真北为基准的。即罗经航向与真航向之间、罗经方位与真方位之间存在着一定的误差,为此,必须研究罗经向位与真向位之间的换算关系。

目前海船上配备的罗经有陀螺罗经(Gyro-Compass)(俗称电罗经)和磁罗经(Magnetic compass)两种。下面分别讨论它们的向位换算问题。

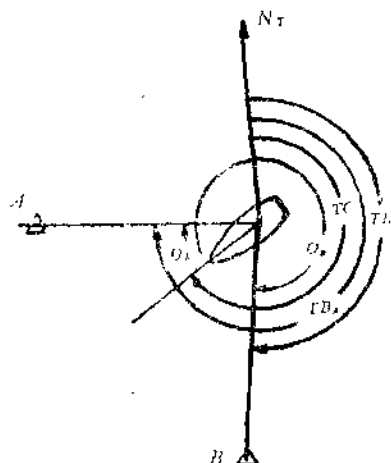


图1—7

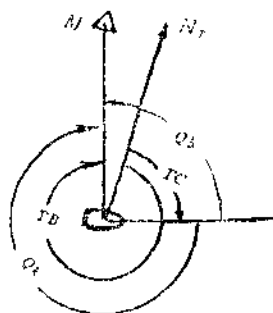


图1—8

(一) 陀螺罗经与陀罗向位

1. 陀螺罗经差

陀螺罗经是利用高速旋转的陀螺仪的指向性构成的。陀螺罗经所指的北叫作陀螺罗经北，简称陀罗北，代号 N_G 。它和其它仪器一样，也有一定的误差，致使陀罗北不指向真北。陀罗北偏离真北的角度，叫作陀螺罗经差(Gyro-Compass error)，或简称陀罗差，代号 ΔG 。当陀螺罗经北偏在真北之东时，叫作东陀罗差，或陀罗差偏低(Low)，在它的度数后面用符号“E”，或在度数之前用“+”号表示。例如： $\Delta G = 2^\circ 0'E$ 或 $\Delta G = +2^\circ$ 。当陀罗北偏在真北之西时，叫作西陀罗差，或陀罗差偏高(High)，在它的度数后面用符号“W”，或在度数之前用“-”号表示。例如： $\Delta G = 2^\circ 0'W$ 或 $\Delta G = -2^\circ .0$ 。由于陀螺罗经俗称电罗经，所以陀罗北又称电罗经北，陀罗差又称电罗经差。

一般来说，陀罗差的大小与符号在不同的航向上是保持不变的，它不随航向的改变而改变。但是，它随船舶的航行纬度、船速的变化而变化。为此在陀螺罗经上装有“纬度和船速校正器”，以消除它们的影响。然而，由于罗经校正器不够完善，或有时会因电源电压不稳等原因，导致陀罗差发生变化，因此，航海人员应经常利用一切机会测定陀罗差。

2. 陀罗向位

船舶航行时，在船上测者的真地平平面上，从陀罗北方向线顺时针到航向线之间的夹角，叫作船舶的陀螺罗经航向(Gyro-Compass Course)，简称陀罗航向，也称电罗经航向，代号GC。它用圆周法表示。如图1—9所示的船舶陀罗航向 $GC = 030^\circ .0$ 。

在测者地面真地平平面上，从陀罗北方向线顺时针方向到方位线之间的夹角，叫作物标的陀螺罗经方位(Gyro-Compass Bearing)，简称为陀罗方位，也称电罗经方位，代号GB。它用圆周法表示。如图1—9所示，物标A的陀罗方位 $GB = 125^\circ .0$ 。

陀罗航向和陀罗方位的总称叫作陀罗向位。由图1—9可以看出，陀罗向位(GC、GB)与真向位(TC、TB)之间的换算关系有：

$$\begin{cases} TC = GC + \Delta G \\ TB = GB + \Delta G \end{cases}$$

或

$$\begin{cases} GC = TC - \Delta G \\ GB = TB - \Delta G \end{cases}$$

(二)磁罗经与磁罗经向位

磁罗经是利用自由磁针的指北原理构成的。我国的航海者早在宋代(十一世纪)就首次将指南针(罗盘)应用到航海上,成为世界航海史上利用仪器导航的创举。关于磁罗经的构造及自差原理等将在《船用磁罗经自差学》中论述。

1. 地磁与磁差

地磁是围绕在地球外表空间的天然磁场。它好象是由一块放在地球内部的大磁铁而形成的磁场一样(图 1—10),地面上各点的磁力线方向都是不同的。磁力线方向垂直于地面的点,叫作地磁磁极。近地理北极的是地磁北极;近地理南极的是地磁南极。

如图 1—11 所示,磁针在地磁场的作用下,根据磁极异性相吸的原理,磁针的N极将

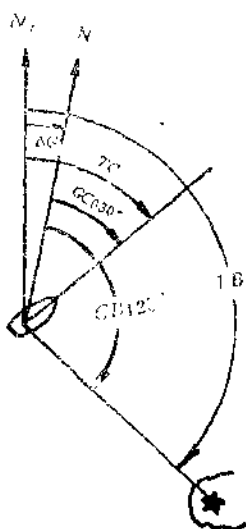


图1—9

指向地磁北极的方向。磁针的N端在地球磁场作用下指向地磁北极的方向线,即磁子午线的北方,叫作磁北。由于地磁北极与地理北极不一致,所以磁针的N端不是指向真北,而是指向磁北。磁北(N_m)偏离真北(N_T)的角度,叫作磁差(Variation),代号 V_r 。当磁北偏在真北之东时,叫作东磁差,在它的度数后面用符号“E”,或在度数前用“+”表示。例如: $V_r = 2^\circ E$ 或 $V_r = +2^\circ$ 。当磁北偏在真北之西时,叫作西磁差,在它的度数后面用符号“W”,或在度数前用“-”号表示。例如: $V_r = 1^\circ.5W$ 或 $V_r = -1^\circ.5$ 。

在测者地面真地平平面上,从磁北方向线顺时针方向到航向线之间的夹角,叫作船舶的磁航向(Magnetic Course),代号MC。磁航向用圆周法表示。

在测者地面真地平平面上,从磁北方向线顺时针方向到方位线之间的夹角,叫作物标的磁方位(Magnetic Bearing),代号MB。磁方位用圆周法表示。

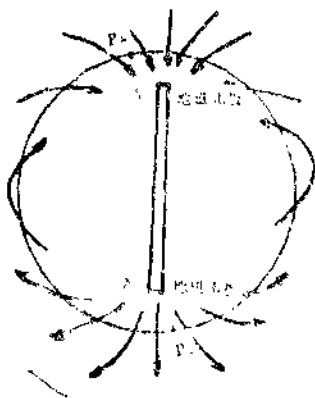


图1—10

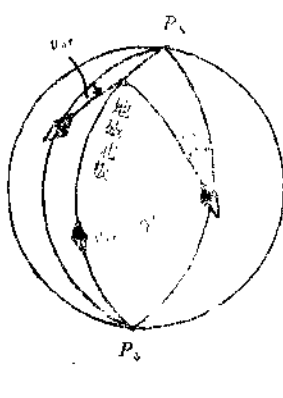


图1—11

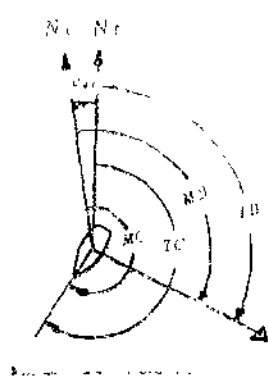


图1—12

如图1—12所示,船舶的真航向与磁航向间有关系式:

$$TC = MC + V_{\Delta}$$

或

$$MC = TC - V_{\Delta}$$

物标的真方位与磁方位间有关系式:

$$TB = MB + V_{\Delta}$$

或

$$MB = TB - V_{\Delta}$$

磁差随下列因素而变化:

(1) 因地而异:由于地磁北、南极不与地理北、南极重合,因而各地磁差的方向和大小也不相同。一般在低纬地区,磁差较小;在高纬地区,磁差变化较为显著。所以船舶在航行时,所用磁差应该随时按地区作相应的改变。

(2) 磁差年变化:根据测量发现,地磁北极和南极并不是固定不变的。地磁北极是以顺时针方向绕着地理北极作缓慢的运动,约650年绕地极一周。这种运动必然导致各地的磁差发生变化。磁差的年变化量叫作年差,它大约为 $0^{\circ} \sim \pm 0.2^{\circ}$ 。

(3) 地磁异常和磁暴:在地面上有些地区的磁差值与周围地区的磁差存在着较大的差异,这叫作地磁异常现象。它可能与当地有大量磁性矿物有关。在航用海图和其它航海图书资料中,为此都注明有“异常磁区”的字样,并提供有关的特殊改正。

磁暴是由于极光和太阳黑子活动而引起的地磁的偶然的罕见波动。这时,磁差在一昼夜中可能变动几度至几十度。

查取磁差的方法有:

1) 在海图上查取磁差

在航用海图上通常都印有向位圈,即罗经花,并在罗经花上标注有该地区某年度的磁差及其年差,如图1—13所示。

年差的正负是指磁差绝对值的逐年增加和减少值。英版海图上分别用“Increasing”和“Decreasing”表示。如图1—13中,罗经花上给出“磁差西 $5^{\circ}00'$ (1981)+ $0.5'$ ”,表示在1981年该地的磁差为 $5^{\circ}00' W$,磁差绝对值每年增加 $0.5'$ 。又如在英版海图上,在罗经花中给出“ $V, 0^{\circ}12' E(1982)$ 、Decreasing about $2'$ annually”,表示该地磁差在1982年时为 $0^{\circ}12' E$,磁差绝对值每年减少 $2'$ 。

但是,自1991年以后出版的英版海图上,上述的标注形式将逐渐被取消,而将年差也以偏东(E)或偏西(W)的方式表示。如:

$$4^{\circ}30' W 1991(9' E)$$

它表示1991年1月1日该地磁差为偏西 $4^{\circ}30'$,磁差每年偏东 $9'$ 。又如:

$$4^{\circ}30' W 1991(9' W)$$

表示磁差每年偏西 $9'$ 。

在查取磁差时,必须首先选用船位附近的罗经花的磁差资料并将其改正到航行年份,然后根据船位离罗经花的远近,进行目测内插,求得磁差。

在大比例尺港泊图上,磁差资料常常记载在海图标题栏内,说明该图范围内均可使用这一磁差值。在查取磁差时,也必须将上述的磁差资料改正到航行年份。

在小比例尺大洋图上,磁差资料是以等磁差曲线来表示的,在每条磁差曲线上都注明磁差的方向和大小,并在它后面的括号内给出年差的符号和大小,而磁差的年份则记载在海图

标题栏内。使用时同样应改正年差并根据船位作必要的线性内插，求取磁差。

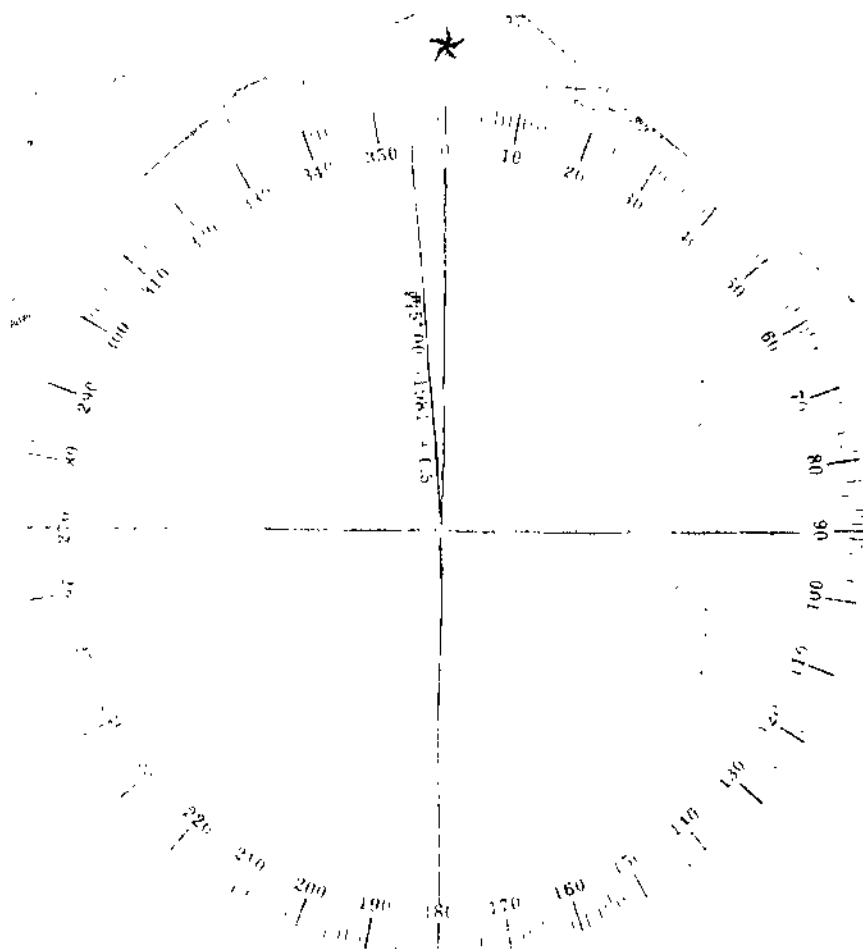


图1-13

2) 在等磁差曲线图上查取磁差

此图专供大洋航行时查取磁差用，以代替小比例尺大洋图上陈旧的磁差资料。因此，查取磁差的方法与小比例尺大洋图上的查取方法相同。

例 1. 某地磁差偏东 $0^{\circ}30'$ (1970)，年差 $-3'$ ，求1990年的该地磁差。

解： $V_r = 0^{\circ}30' - 3' \times (90 - 70) = 0^{\circ}30' - 60' = -0^{\circ}30'$

即 $V_r = -0.5^{\circ}$ 或 $V_r = 0.5^{\circ}W$

例 2. 某地磁差资料为 $V_r 6^{\circ}30'W$ (1980) Increasing about $2'$ annually, 求1990年的该地磁差。(1991年后标为 $6^{\circ}30'W$ ($2'W$))

解： $V_r = -(6^{\circ}30' + 2' (90 - 80)) = -6^{\circ}50' \approx -6.8^{\circ}$

或 $V_r \approx 6.8^{\circ}W$

2. 船磁与自差

钢质船舶由于受地磁场的磁化而带有磁性，它所产生的磁场叫作船磁。安装在钢质船上的磁罗经，除了受地磁作用外，还受到船磁的作用，使得磁罗经的磁针的北端偏离磁北方向，而是指向地磁和船磁的合力方向上。这时候磁罗经所指的北，叫作罗经北(N_c)，简称

罗北。罗北偏离磁北的角度，叫作磁罗经自差(Deviation)，简称自差，以缩写Dev或符号 δ 表示。当罗北偏在磁北之东时，叫作东自差，在它的度数后面用符号“E”，或在度数前用“+”号表示；当罗北偏在磁北之西时，叫作西自差，在它的度数后面用符号“W”，或在度数前用“-”表示。

在测者地面真地平平面上，从罗北方向线顺时针方向到航向线之间的角度，叫作船舶的磁罗经航向(Compass Course)，简称罗航向，代号CC。罗航向用圆周法表示。

在测者地面真地平平面上，从罗北方向线顺时针方向到方位线之间的角度，叫作物标的磁罗经方位(Compass Bearing)，简称罗方位，代号CB。罗方位用圆周法表示。

船舶的磁航向与罗航向之间有关系式：

$$MC = CC + \delta$$

或 $CC = MC - \delta$

物标的磁方位与罗方位之间有关系式：

$$MB = CB + \delta$$

或 $CB = MB - \delta$

磁罗经自差随下列因素而变化：

(1) 航向不同，自差亦不同：由于当船舶航向改变时，部分船体受地磁磁化的状况会发生变化，引起船磁变化；同时，航向不同时，船磁和磁罗位的磁针的相对位置也不一样。所以，自差的方向和大小也不一样；

(2) 船磁改变，自差亦变：在修船时，特别是电焊后，或装有磁性货物时，或长期停泊装卸，或长期航行在一个固定航向上，或者船舶与它船或岩石发生碰撞后，船磁都会发生变化，于是自差也随之改变。

(3) 航行纬度变化较大时，自差亦将有所改变：这是由于地球磁场要素发生较大变化，导致船磁亦发生变化，因此自差亦将发生变化。

为使磁罗经保持正常的工作状态，确保船舶安全航行，要求船舶定期校正磁罗经自差，并将剩余自差测定出来，每隔 10° (或 15°)航向计算《磁罗经自差表》(表1—1)，或绘成《磁罗经自差曲线》图(图1—14)。

××轮标准罗经自差表

表1—1

观测地点：吴淞口

××年×月×日

自 差	罗 经 航 向		自 差
+2°.8	360°	000°	+2°.8
+2°.6	345°	015°	+2°.6
+2°.3	330°	030°	+2°.0
+2°.0	315°	045°	+1°.2
+1°.9	300°	060°	+0°.1
+1°.8	285°	075°	-1°.2
+1°.9	270°	090°	-2°.5
+2°.0	255°	105°	-3°.4
+1°.9	240°	120°	-3°.9
+1°.8	225°	135°	-3°.8
+1°.2	210°	150°	-3°.1
+0°.2	195°	165°	-2°.2
-1°.0	180°	180°	-1°.0

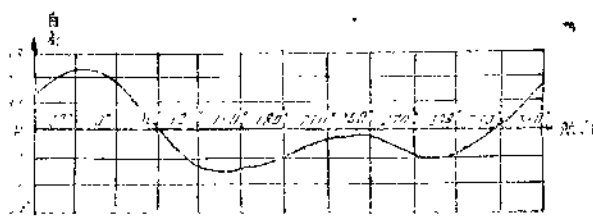


图1-14

航海人员必须注意：罗经自差校正后在各航向上的剩余自差并不是始终恒定不变的，因此特别要注意经常测定自差。在航行中每天不得少于一次，改变航向后，应尽一切可能测定该航向上的自差，并记入《航海日志》和《磁罗经自差记录簿》中。

目前船上查取自差的方法有：

1) 自差表或自差曲线

航行时应根据罗航向从自差表或自差曲线中直接查取该航向上的自差值。

如果只知道真航向，则首先按下式计算磁航向：

$$MC = TC - V_{\Delta r}$$

然后用磁航向代替罗航向去查该航向上的自差值，而决不能用真航向直接去查自差图表求取自差，除非在自差值非常小的情况下，否则将有较大的误差。

2) 磁罗经自差记录簿

《磁罗经自差记录簿》是每次测定自差后的实际记录。可以从近期的相同的罗航向上的测定记录中查取自差值。

3) 航海日记

《航海日记》中记载有过去航行中的航向和自差值。因此，同样可以从近期相同的罗航向上登记的自差值中查取。

3. 磁罗经差

磁罗经差(Compass error)是罗北偏离真北的角度，代号 ΔC 。它实际上是磁差和自差的代数，即：

$$\Delta C = V_{\Delta r} + \delta$$

显然，罗北偏在真北之东时为“+”，在它的度数后面用符号“E”，或度数前用符号“+”号表示；罗北偏在真北之西时为“-”，在它的度数后面用符号“W”，或在度数前用“-”表示。

罗经向位与真向位之间有换算关系式：

$$\begin{cases} TC = CC + \Delta C \\ TB = CB + \Delta C \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} CC = TC - \Delta C \\ CB = TB - \Delta C \end{cases}$$

(三) 向位换算

向位换算方法有图解法和公式解析法两种。

1. 图解法

首先应根据已知的 ΔC 、 ΔG 、 $V_{\Delta r}$ 和 δ 画出 N_T 、 N_G 、 N_m 和 N_C 方向线，或者根据已知的不同

的航向和方位反推出不同的 N_T 、 N_C 、 N_m 和 N_C 方向线，再画出船首线和方位线，然后根据 N_T 、 N_C 、 N_m 和 N_C 到船首线和方位线的夹角，计算出各种航向和方位。

例1. 已知某船真航向 $TC=090^\circ$ ，物标M的罗方位 $CB=270^\circ$ 和磁差 $V_{sr}=12^\circ E$ 、自差 $\delta=2^\circ W$ ，求罗航向和真方位。

解：见图1—15

(1) 首先画出 N_T 方向线，并根据 $TC=090^\circ$ 画出船舶的航向线；

(2) 根据 N_T 方向线和 $V_{sr}=12^\circ E$ 画出 N_m 方向线，再根据 $\delta=2^\circ W$ 画出罗北方向线。于是从图知道罗北偏在真北之东 10° ，即罗经差 $\Delta C=10^\circ E$ ；

(3) 从罗北方向线顺时针方向到船舶航向线之间的夹角显然为 080° ，所以该船的罗航向 $CC=080^\circ$ ；

(4) 根据罗北方向线和物标M的罗方位 $CB=270^\circ$ ，画出物标M的方位线，然后求得真北方向线与物标方位线之间的夹角为 280° ，即物标M的真方位 $TB=280^\circ$ 。

例2. 已知某叠标线的真方位为 250° ，船上用磁罗经测得该叠标的罗方位为 258° ，该地区的磁差为 $4^\circ W$ ，求磁罗经自差。

解：见图1—16。

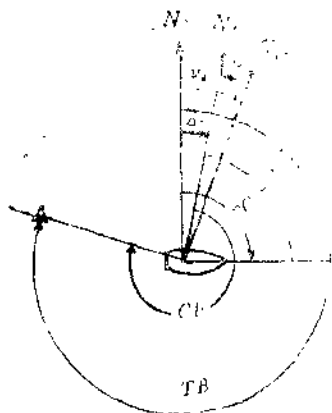


图1—15

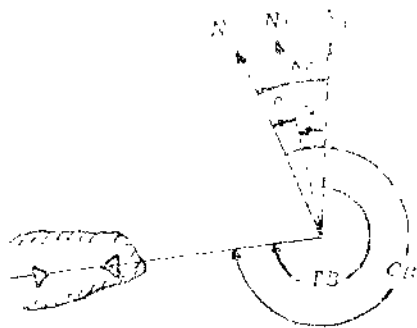


图1—16

(1) 首先画出 N_T 方向线，并根据 $TB=250^\circ$ 画出叠标方位线；

(2) 根据方位线和罗方位 $CB=258^\circ$ 反推出罗北方向线 N_C 。显然，罗北偏在真北之西 8° ，因此，罗经差 $\Delta C=8^\circ W$ ；

(3) 根据 N_T 方向线和磁差 $V_{sr}=4^\circ W$ 画出磁北方向线 N_m ；

(4) 从图中可以知道罗北 N_C 偏在磁北 N_m 之西 4° ，因此磁罗经自差 $Dev=4^\circ W$ 。

2. 公式解析法

公式解析法的基本运算公式为：

$$TC = GC + \Delta G = CC + \Delta C = (CC + Dev) + V_{sr} = MC + V_{sr}$$

$$TB = GB + \Delta G = CB + \Delta C = (CB + Dev) + V_{sr} = MB + V_{sr}$$

$$MC = CC + Dev = TC - V_{sr}$$

$$MB = CB + Dev = TB - V_{sr}$$

$$\Delta C = V_{sr} + Dev$$

向位换算的步骤如下:

(1) 先从海图上查出船舶航行海区的磁差资料, 并将它改正到航行年份, 精度只要求到 $\pm 0.^\circ 1$,

(2) 按罗航向, 或在没有罗航向的情况下用磁航向代替罗航向, 从自差表或自差曲线图中查取该航向上的自差值, 精度也只要求到 $\pm 0.^\circ 1$;

(3) 按公式 $\Delta C = V_{\text{磁}} + \text{Dev}$ 求罗经差, 或设法掌握陀罗差 ΔG , 一般 ΔC 和 ΔG 的精度要求均为 $\pm 0.^\circ 5$;

(4) 根据向位换算公式进行计算。

例3. 1988年6月5日某船罗航向 $CC = 002^\circ$, 测得某物标的罗方位 $CB = 035^\circ$, 求真航向和真方位。如果由航用海图上查得航行海区的磁差资料为: 磁差偏西 $7^\circ 10'$ (1980)、年差 $+2.^\circ 4$ 从自差表中查得罗航向 $CC = 002^\circ$ 的自差 $\delta = 2.^\circ 5W$ 。

解: (1) $V_{\text{磁}} = -[7^\circ 10' + 2.^\circ 4(88 - 80)] = 7.^\circ 5W$

(2) $\Delta C = V_{\text{磁}} + \text{Dev} = 7.^\circ 5W + 2.^\circ 5W = 10.^\circ 0W$

(3) $TC = CC + \Delta C = 002^\circ - 10.^\circ 0 = 352^\circ$

(4) $TB = CB + \Delta C = 035^\circ - 10.^\circ 0 = 025^\circ$

例4. 某船1988年9月15日真航向 $TC = 320^\circ$, 预计前方某物标左正横时转向进港, 求应驶罗航向和转向时该物标的罗方位。已知船舶航行海区的磁差: 偏东 $11^\circ 09'$ (1980)、年差 $-1'$, 自差表如表1—1所示。

解: (1) $V_{\text{磁}} = +[11^\circ 09' - 1' \times (88 - 80)] = 11^\circ E$

(2) $MC = TC - V_{\text{磁}} = 320^\circ - 11^\circ = 309^\circ$

查自差表得: $\text{Dev} = +2^\circ$

(3) $\Delta C = V_{\text{磁}} + \text{Dev} = 11^\circ E + 2^\circ E = 13^\circ E$

(4) $CC = TC - \Delta C = 320^\circ - 13^\circ = 307^\circ$

$CB = CC + Q = 307^\circ - 90^\circ = 217^\circ$

例5. 某船陀罗航向 $GC = 039^\circ$, 比对当时磁罗经航向 $CC = 043^\circ$, 已知陀罗差 $\Delta G = 1^\circ W$, 航行海区磁差 $V_{\text{磁}} = 8^\circ W$ 。求该航向上的磁罗经自差 Dev 。

解: 因为 $TC = GC + \Delta G = CC + \text{Dev} + V_{\text{磁}}$

所以 $\text{Dev} = GC + \Delta G - CC - V_{\text{磁}} = 039^\circ + (-1^\circ) - 043^\circ - (-8^\circ)$
 $= +3^\circ$

即 $\text{Dev} = 3^\circ E$

第三节 航海上的距离单位、船速和航程

一、航海上的距离单位

航海上度量距离的长度单位是海里(n mile), 它等于地球椭圆子午线上纬度 $1'$ 所对应的弧长。

如图1—17所示, 椭圆子午线 $P_N B A P_S$ 上A点的纬度为 φ , B点的纬度为 $\varphi + 1'$, 那么椭圆子午线弧长 AB 等于纬度为 φ 处的 $1n \text{ mile}$ 长度。

由于地球椭圆子午圈是一个椭圆, 它在不同纬度处的曲率不同, 因此, 纬度 $1'$ 的子午线弧长在不同纬度上是不相等的。经数学推导得出, 地球椭圆子午线上纬度 $1'$ 的弧长, 即