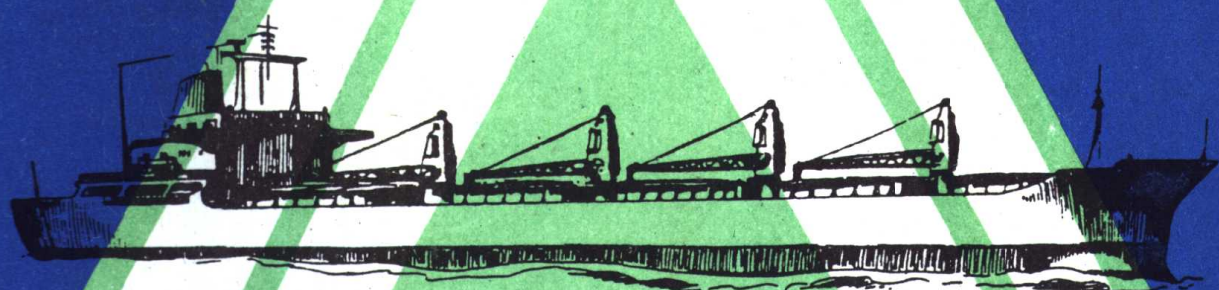


高等学校教材

磁罗经校正技术

(海洋船舶驾驶专业用)

鄢天金 编著



人民交通出版社

高等学校教材

CiluoJing Jiaozheng jishu

磁罗经校正技术

(海洋船舶驾驶专业用)

鄢天金 编著

人民交通出版社

(京)新登字091号

内 容 提 要

本书为高等海运院校海洋船舶驾驶专业教材,叙述了自差理论和罗经校正技术。自差理论着重分析各种船磁力对罗经的作用及其产生的自差规律;罗经校正着重于介绍较准确而通用的爱利法,同时对各种测力法校正自差也作了介绍。

本书第一、二、三章由关正军编写,其余章节均由鄢天金编写。

本书可供船员及罗经校正师等有关人员参考。

高等学校教材

磁罗经校正技术

(海洋船舶驾驶专业用)

鄢天金 编著

插图设计:王惠茹 正文设计:崔凤莲 责任校对:刘素燕

人民交通出版社出版

(100013北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京市平谷县大华山印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:7 字数:172千

1994年10月第1版

1994年10月第1版 第1次印刷

印数:0001—1030册: 定价:3.40元

ISBN 7-114-01903-3

U·01263

绪 论

现代船舶配备了各种各样先进的导航仪器，但指示船舶航向的仪器，仅有陀螺罗经和磁罗经两种，它们除了指示船舶航向外，还可为船舶进行定位和导航。

目前，许多大中型船舶除了安装性能优越的陀螺罗经外，均还安装有磁罗经，其原因在于：磁罗经这种传统的导航仪器不仅结构简单，而且性能可靠，无需依赖外界条件，仅借助于地磁场的作用力即可独立地工作。而陀螺罗经则必须要由电源供电，而且电路和机械结构均比较复杂容易发生故障。因此为了保证船舶在陀螺罗经发生故障的情况下，仍能安全地航行，以及对于仅安装磁罗经的小型船舶，国际海事组织(IMO)于1977年11月14日通过了“关于安装磁罗经的建议”的决议，建议中要求：

1. 一台标准罗经；
2. 一台操舵罗经或标准罗经为投影，反射罗经；
3. 标准罗经与操舵位置有可靠的联络方法；
4. 备用一台标准罗经；
5. 正确校正一台磁罗经，有剩余自差表和自差曲线；
6. 不论船舶什么情况，都要求有一台合适的操舵罗经。

当磁罗经安装在木质等非磁性材料制成的船舶上时，磁罗经能准确地指向磁北；但在钢铁船舶上，磁罗经除了受地磁力作用外，还受到船磁力的影响，后者使罗经指向偏离磁北，即产生了自差。磁罗经自差会影响到船舶的航行安全。早在19世纪，世界各国学者就开始对自差及其校正方法进行研究。1824年法国数学物理学家泊松提出了均匀磁体的磁场方程式即泊松方程式，为罗经自差学奠定了理论基础。1838年英国天文学家爱利提出了至今还普遍采用的消除半圆自差的方法即爱利法。此后船长佛林德尔提出了消除软半圆自差的佛氏铁。经各国科学家和航海家的研究和发展，磁罗经自差理论和自差校正形成一门专门科学。

因此，本课的目的就是要学生学习和掌握磁罗经自差的理论和校正自差的方法，以满足航海实践的需要。

目 录

绪论	
第一章 磁的基本概念	1
第一节 磁场	1
第二节 磁铁	2
第三节 磁铁的磁场强度	2
第四节 磁性物质的磁化	4
第五节 地磁场	5
第六节 磁针的力偶矩	10
第七节 磁铁对磁针的作用	11
第八节 罗盘动力学	12
第二章 船用磁罗经	15
第一节 磁罗经的分类	15
第二节 磁罗经的结构	15
第三节 方位仪	18
第四节 其它类型磁罗经	20
第三章 磁罗经的检查、保管与安装	23
第一节 磁罗经的检查	23
第二节 磁罗经的保管与使用	25
第三节 磁罗经的安装	25
第四章 船正平时的自差理论	27
第一节 坐标系统	27
第二节 地磁力对罗经的作用	27
第三节 船软铁受地磁磁化对罗经的作用	28
第四节 船硬铁作用力	30
第五节 泊松方程式	30
第六节 用特殊位置的软铁杆表示各软铁系数	30
第七节 商船罗经九个软铁系数三个硬铁力符号和大小	32
第八节 罗盘平面上与航向有关的作用力	33
第九节 各自差力产生自差的规律和性质	38
第十节 自差公式	41
第十一节 高阶自差系数	42
第五章 倾斜自差理论	48
第一节 横倾自差力和横倾自差公式	48
第二节 横倾自差性质	50

第三节	纵倾自差公式及性质	51
第六章	罗经校正	52
第一节	船舶罗经校正的必要性与原则	52
第二节	船正平校正倾斜自差原理	53
第三节	校正倾斜自差的方法	54
第四节	爱利法校正半圆自差原理	55
第五节	爱利法校正半圆自差的方法	57
第六节	爱利法的准确性	58
第七节	象限自差校正器	59
第八节	象限自差校正原理	61
第九节	校正罗经自差的合理程序	62
第十节	校正罗经的准备工作和实际步骤	63
第十一节	硬铁力 P 与软铁力 cZ 分别抵消法	64
第十二节	用佛氏铁联合校正 cZ 和 fZ	66
第十三节	用软铁球联合校正 Do 和 Eo	67
第十四节	恒定自差系数 A 的处理	70
第十五节	感应自差	71
第十六节	无感应自差磁罗经	73
第十七节	各类型校正软铁对 λ 值的影响	75
第十八节	指北力系数 λ_2 值的测定	76
第七章	自差测定和自差表计算	78
第一节	自差测定方法	78
第二节	自差系数的计算	81
第三节	由五个自差系数计算航用自差表	84
第四节	近似计算自差系数公式	85
第八章	自差的变化	86
第一节	船在不同磁纬度上产生的自差变化	86
第二节	船磁场本身变化而引起的自差变化	87
第三节	所用的观测仪器系统误差产生的自差变化	87
第九章	测力法校正自差	88
第一节	测力法校正半圆自差的基本原理	88
第二节	科仑格偏转仪及校正半圆倾斜自差实际步骤	90
第三节	汤姆逊偏转仪校正自差	92
第十章	消磁与电磁自差	95
第一节	船下磁场及消磁	95
第二节	电磁自差	98
第三节	电磁自差补偿原理	99
第四节	电磁自差校正方法	100
第五节	G型电磁自差补偿器及其补偿方法	102

第一章 磁的基本概念

第一节 磁 场

众所周之，相互靠近的两个磁体，具有同性相斥异性相吸的特性，由库仑定律知道，两磁体相互作用力的公式为：

$$F = K \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

作用力 F 的方向沿着两磁体的连线，式中 m_1 、 m_2 分别表示两磁体的磁量， r 表示两磁体间的距离， k 为比例系数。若采用电磁系单位，且在真空或空气介质中，则比例系数 $k=1$ ，上式可以写成：

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1-1)$$

若 r 用厘米，则 F 力为达因。

磁场是指磁场作用力所能达到的空间范围。磁场的性质可用“磁场强度”来描述，即在一磁体的磁量为 m 的磁场中，某点 r 处的磁场强度为作用于放置在该点的单位正磁量所受到的作用力。磁场强度通常用“ H ”表示，则磁场强度的表达式为：

$$H = \frac{m}{r^2} \quad (1-2)$$

磁场强度系一矢量，指向磁力线的切线方向。在电磁系单位中，磁场强度的单位为“奥斯特”，简称“奥”。在地磁学中，常用更小的单位“ γ ”，

$$\text{即 } 1\gamma = 10^{-6} \text{奥}$$

描述磁场性质的物理量磁场强度与磁介质无关，当讨论一块磁介质内部或外部的磁场强度时，除了要考虑外界已存在的磁场外，还要考虑磁介质被磁化后所产生的附加磁场，我们把上述两种磁场强度之和称为磁感应强度 B ，

$$\text{即 } B = H_0 + H' \quad (1-3)$$

式中 H_0 ——外磁场强度， H' ——附加磁场强度。

磁感应强度 B 的单位，在国际单位制中称为“特斯拉”，在电磁单位制中称为“高斯”，它们之间关系为：

$$1\text{高} = 10^{-4}\text{特}$$

若磁场中某一范围内，各点的磁场强度大小相等，方向相同，则该范围内的磁场称为均匀磁场，位于船体范围内的地磁场以及罗盘范围内的船磁场可视为均匀磁场。

第二节 磁 铁

磁铁可分为两类即天然磁铁和人造磁铁。天然磁铁为 Fe_3O_4 即磁铁矿。目前所应用的各种磁铁均为人造磁铁，即用人工方法将镍、钴、钨等金属材料经磁化而制成的。磁罗经中均使用条形磁铁，如图 1-1 所示。

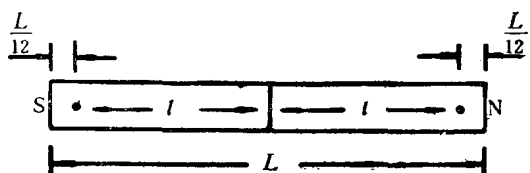


图1-1 磁铁

条形磁铁的磁极主要集中在磁棒的两端，我们将磁性最强的地方称为磁极。悬挂着的磁铁，指向地磁北极的一端称为指北极，用“N”表示，并涂成红色；指向地磁南极的一端，称为指南极，用“S”表示，并涂成蓝色或黄色等。两磁极间的连线称为磁轴，磁轴的方向规定从南（S）极向北（N）

极。同一磁铁两磁极的磁量是相等的，我们用磁量 m 表示，其南北极的磁性分别用 $-m$ 和 $+m$ 表示。磁铁磁极的位置视磁铁形状、金属材料、磁化过程和磁化程度而定，用 L 表示磁铁的全长，通常认为南北磁极距磁铁两端之长为 $L/12$ 。

一根磁铁磁性的大小除与外界磁化场的强弱有关外，还与磁铁材料的磁导率和几何尺寸等有关。在同样磁化场的条件下，材料的磁导率愈高，愈容易磁化，磁化后获得的剩磁愈强；反之磁化弱，剩磁也弱。而对于不同尺寸的铁磁材料，当材料愈粗愈短时，去磁系数愈大；反之，当材料细而长时，去磁系数变小。因此，当外磁场不变时，细长材料比短粗材料获得的磁性大。我们用磁矩表示磁铁的磁性大小，磁矩用字母 M 表示，即：

$$M = 2ml \quad (1-4)$$

式中 m 为磁极的磁量， $2l$ 为两磁极之间的距离。

磁矩的单位用电磁单位制通用符号CGSM表示。磁铁的磁矩会因温度的变化而改变。另外，震动、打击或接近其它磁铁等均会改变磁铁的磁性。

第三节 磁铁的磁场强度

磁铁的磁场为非均匀磁场，下面我们将对磁铁的三种位置情况加以讨论。

一、磁铁磁轴延长线上一点的场强

设有单位正磁量位于具有磁量为 $+m$ ， $-m$ 的磁铁的磁轴延长线上的 P_1 点，见图 1-2。该点与磁铁中心的距离 $OP_1 = r$ 磁铁两磁极间的半长为 l 。

按库仑定律，磁铁指北极的作用力为：

$$F_N = \frac{m}{(r-l)^2}$$

磁铁指南极的作用力为：

$$F_S = -\frac{m}{(r+l)^2}$$

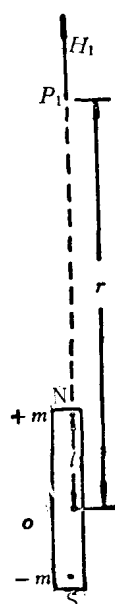


图1-2 磁轴延长线上场强

作用于 P_1 点的合力为:

$$\begin{aligned} H_1 &= F_N + F_S = \frac{m}{(r-l)^2} - \frac{m}{(r+l)^2} \\ &= m \left[\frac{r^2 + l^2 + 2rl - r^2 - l^2 + 2rl}{(r^2 - l^2)^2} \right] = \frac{4rlm}{(r^2 - l^2)^2} = \frac{4rlm}{r^4 \left(1 - \frac{l^2}{r^2}\right)^2} \\ &= \frac{2M}{r^3} \left[1 - \frac{l^2}{r^2} \right]^{-2} \end{aligned}$$

若磁铁的半长 l 远小于距离 r 时,则可以忽略 $\frac{l^2}{r^2}$ 项,得,

$$H_1 = \frac{2M}{r^3} \quad (1-5)$$

H_1 的方向沿着磁轴延长线。罗经柜中垂直磁铁对罗经的作用力即属此种位置。

二、磁铁磁轴垂直平分线上一点的场强

如图 1-3 所示,设有单位正磁量位于磁轴垂直平分线上的 P_2 点,磁铁中心 O 点至 P_2 点的距离为 r ,由图可见,磁铁指北极的作用力 F_N 与指南极的作用力 F_S ,两者大小相等,但其方向对称分布。力 F_N 和 F_S 在磁轴垂直平分线上的投影之和为零,而在平行于磁轴方向上的合力为:

$$H_2 = 2 \cdot F_{N,S} \cos \alpha$$

将 $\cos \alpha = \frac{l}{\rho}$, $F_{N,S} = \frac{m}{\rho^2}$ 代入 H_2 得, $H_2 = \frac{2ml}{\rho^3}$

式中: $\rho = (r^2 + l^2)^{\frac{1}{2}}$, $\rho^3 = (r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}$ 则

$$H_2 = \frac{2ml}{\rho^3} = \frac{M}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{M}{r^3} \left(1 + \frac{l^2}{r^2} \right)^{-\frac{3}{2}}$$

当磁铁半长 l 远小于 r 时,则忽略 $\frac{l^2}{r^2}$ 项后,得

$$H_2 = \frac{M}{r^3} \quad (1-6)$$

H_2 的方向与磁轴平行,并指向S端。比较 H_2 与 H_1 两式,不难看出,在相同条件下, H_2 之值是 H_1 的一半。罗经柜中纵横校正磁铁对罗经的作用力即属于 H_2 。

三、位于磁铁磁轴任意一点的场强

位于磁铁磁轴任意位置上的场强均可由上述两种特殊位置的场强求得。如图 1-4 所示,

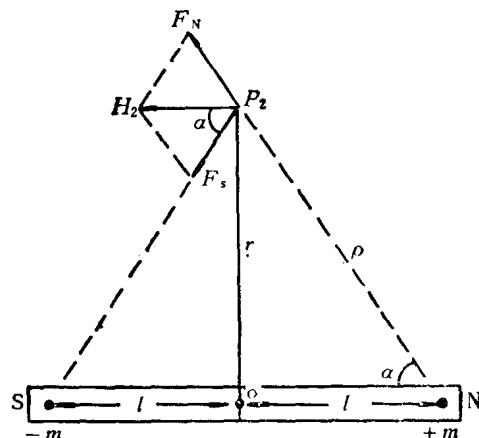


图1-3 磁轴垂线上场强

设任意一点位置 P 和磁铁中心 O 点的距离为 r ,磁轴北半轴和 OP 间的夹角为 φ ,磁铁磁矩 M 为一向量,其方向沿磁轴由 S 指向 N ,将其分解为沿 OP 方向的磁矩 M_1 和垂直于 OP 方向的磁矩 M_2 。其表达式分别为

$$M_1 = M \cos \varphi, M_2 = M \sin \varphi$$

则磁矩 M_1 和 M_2 在 P 点的磁场强度分别为

$$H_1 = \frac{2M_1}{r^3}, H_2 = \frac{M_2}{r^3}$$

若将 M_1 和 M_2 之值代入,则得

$$H_1 = \frac{2M}{r^3} \cos \varphi \quad H_2 = \frac{M}{r^3} \sin \varphi$$

当距离 r 足够大时,则 P 点的总磁场强度为

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} = \frac{M}{r^3} \sqrt{4 \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} = \frac{M}{r^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \varphi} \quad (1-7)$$

以 β 表示总磁场强度 H 和 H_1 之间的夹角,得

$$\tan \beta = \frac{H_2}{H_1} = \frac{M}{r^3} \sin \varphi / \frac{2M}{r^3} \cos \varphi = \frac{1}{2} \tan \varphi \quad (1-8)$$

当 $\varphi = 0^\circ$ 时, $H = \frac{2M}{r^3}$; $\varphi = 90^\circ$ 时, $H = \frac{M}{r^3}$ 与前面讨论的位于磁轴延长线上和磁轴垂直平分线上的场强完全一致。

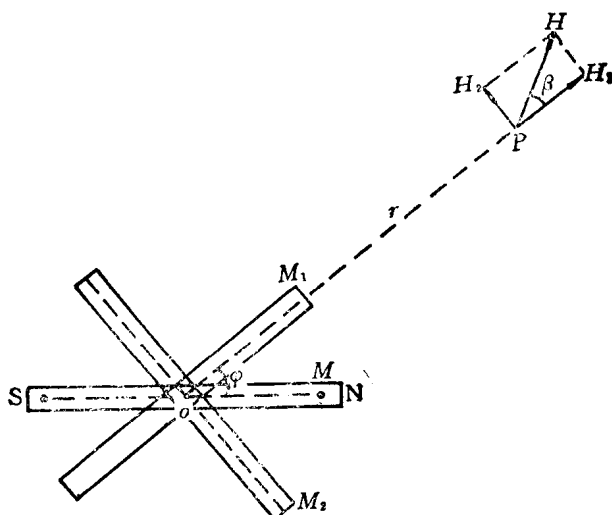


图1-4 任意位置场强

第四节 磁性物质的磁化

自然界内的物质按其导磁能力的大小,基本上可分为磁性物质和非磁性物质两大类。

一、磁性物质

磁性物质又称为铁磁性物质,铁、镍、钴及其合金等金属材料均属于磁性物质。磁性物质的磁导率 $\mu \gg 1$,其值可达数千乃至数万之巨。磁性物质被磁化后可呈现出较强的磁性。为何磁性物质具有被磁化的特性呢?原来磁性物质内部可分成许多小区域,这些小区域称为磁畴,并具有一定的磁性。在没有外磁场作用时,各个磁畴排列混乱,磁场相互抵消,不显示磁性。当加上外磁场后,磁畴顺着外磁场方向排列,就显示出磁性,随着外磁场的增强,磁畴完全转至外磁场方向,即显示出较强的磁性。

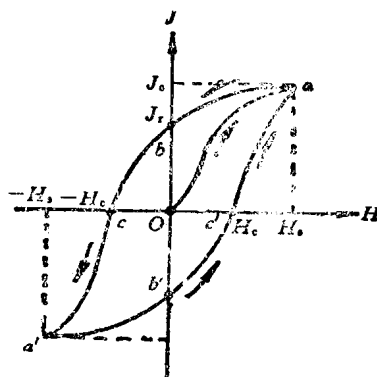


图1-5 磁滞回线

磁性物质被磁化的情况可用“磁滞回线”来描述,如图1-5所示。 J 为磁化强度,表示单位体积的磁矩,当磁场强度 H 从零逐渐增大时, J 沿 oa 段作非线性增加。当 H 增至 H_s 时, $J = J_s$,此时磁化达饱和状态,若使 H 由 H_s 减小至零,则 J 将沿曲线 ab 下降至 J_r ,并不等于零,

称磁化强度 J 为剩磁。为消除剩磁,必须加反向磁场,当反向磁场由零增至 $-H_c$ 时, J 降为零。通常把反向磁场强度 $-H_c$ 称为矫顽力,表示磁性物质抵抗去磁的能力。继续增大反向磁场至 $-H_s$ 时,磁化达到反向饱和点 a' ,若磁场强度 H 由 $-H_s$ 减小至零,再增大至 H_s 时,磁化强度 J 则沿曲线 $a'b'c'a$ 变化,形成一条闭合曲线。由图(1-5)可见,磁化强度 J 总是落后于外磁场强度 H 的变化,这种现象称为“磁滞”。当去掉外磁场后,磁性物质中仍保留有磁性,这是磁性物质的重要特性之一。

实验证明,磁化强度 J 向量不一定与外磁场向量 H 重合。如图1-6所示,当磁化一长条形或圆柱形磁性材料时,若外磁场 H 方向与其纵轴不重合,则它的磁极总是在纵轴两端点附近,而与外磁场方向无关。若外磁场方向与其纵轴相垂直,我们可认为其退磁系数为无限大,亦即不能磁化。

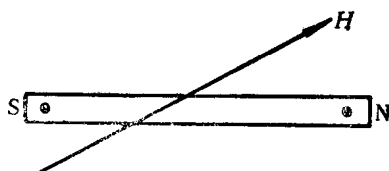


图1-6 磁化

磁性物质按其保留磁性的大小,又可分为硬铁和软铁两类。硬铁磁性材料需由较强的外磁场磁化,一经磁化后,其剩磁可保留较长时间不易消失,亦即硬铁的特点是剩磁 J_r 和矫顽力 H_c 均较大,相应的磁滞回线所包围的面积也较大;软铁磁性材料可在较弱磁场中被磁化,一旦外磁场消失,其磁性几乎也随之消失,软铁的特点是剩磁 J_r ,矫顽力 H_c 和磁滞回线的面积均较小。

实际上,硬铁和软铁很难严格地区分,通常将矫顽力 H_c 大于50 奥的磁性材料视为硬铁,如碳钢、钴钢、钨钢及其合金等;矫顽力 H_c 小于几奥的磁性材料视为软铁,如软铁、坡莫合金、矽钢等。

现代船舶均由硬铁和软铁金属材料制造,被地磁场磁化后,硬铁材料的磁性在相当长的时间内保持不变;而软铁材料在地磁场中将很快地获得磁性,其磁性并随着地磁场大小和方向的变化很快地发生改变。

二、非磁性物质

非磁性物质有金、银、铜、木、纸、铝、橡胶、玻璃等,其磁导率约为1。非磁性材料在磁场中被磁化后,所产生的附加磁场甚微,可予忽略,故可认为非磁性材料不能被磁化。因此在制造磁罗经时,为避免对其产生附加的磁性干扰,除了指向元件和校正器外,其余所有的材料均采用非磁性材料。

第五节 地 磁 场

地球可认为是一个均匀磁化的球体,在其周围空间存在着磁场。实际观测表明,地磁极位于地理南北极附近,而且位于地球深处。地磁极的地理位置是不固定的,逐年缓慢地变化,据观测,1950年地磁极的地理坐标为:

北磁极: 72°N , 96°W

南磁极: 73°S , 156°E

而1970年地磁极的地理坐标则为:

北磁极: 76°N , 101°W

南磁极: 60°S , 140°E

值得注意的是,南半球的南磁极具有正磁量,而北半球的北磁极却具有负磁量,因此,

围绕地球空间的磁力线是从南半球走向北半球的，如图 1-7 所示。地面上任意一点的地磁场方向，可用一根自由悬挂的顺着地磁总力 T 指向的磁针来测定。通过磁针磁轴的垂面，称为该地的磁子午面，磁子午面与地理子午面的水平夹角，称为磁差 (Var)，如图 1-8 所示。

将地磁总力 T 分解为作用于磁子午面的水平磁力 H 和垂直磁力 Z ，即得：

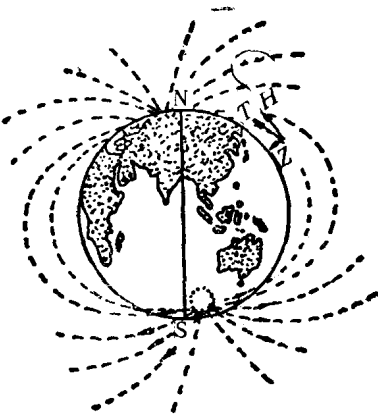


图1-7 地磁场

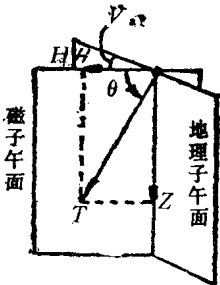


图1-8 地磁要素

$$\left. \begin{aligned} H &= T \cos \theta & Z &= T \sin \theta \\ \frac{Z}{H} &= \operatorname{tg} \theta \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

水平磁力 H 和地磁总力 T 之间的夹角 θ ，称为磁倾角。在北半球， θ 角在水平面之下，其符号定为正 (+)；反之，在南半球， θ 角在水平面之上，其符号定为负 (-)。在地球表面上，磁倾角为零各点的连线称为磁赤道。自磁赤道向两极，磁倾角 θ 逐渐增大，在磁北极，磁倾角为 $+90^\circ$ ；在磁南极，磁倾角为 -90° 。自磁赤道至磁极相应地称为磁纬度。

在水平磁力 H 的作用下，罗盘指向磁北。水平磁力在磁赤道处最大，约为 0.4 奥，而垂直磁力 Z 在磁赤道处为零。在磁极处，垂直磁力 Z 为最大，约为 0.7 奥。而水平磁力 H 为零，因而导致磁罗经在磁极附近是不能指向的。

在不同的地理位置，磁差是不相同的。磁差的变化范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。纬度越高，磁差越大。磁差可分为东、西磁差，当磁北在真北东面时，称为东磁差，在西面时，称为西磁差。

通常把地磁水平磁力 H ，磁倾角 θ 和磁差称为地磁三要素。

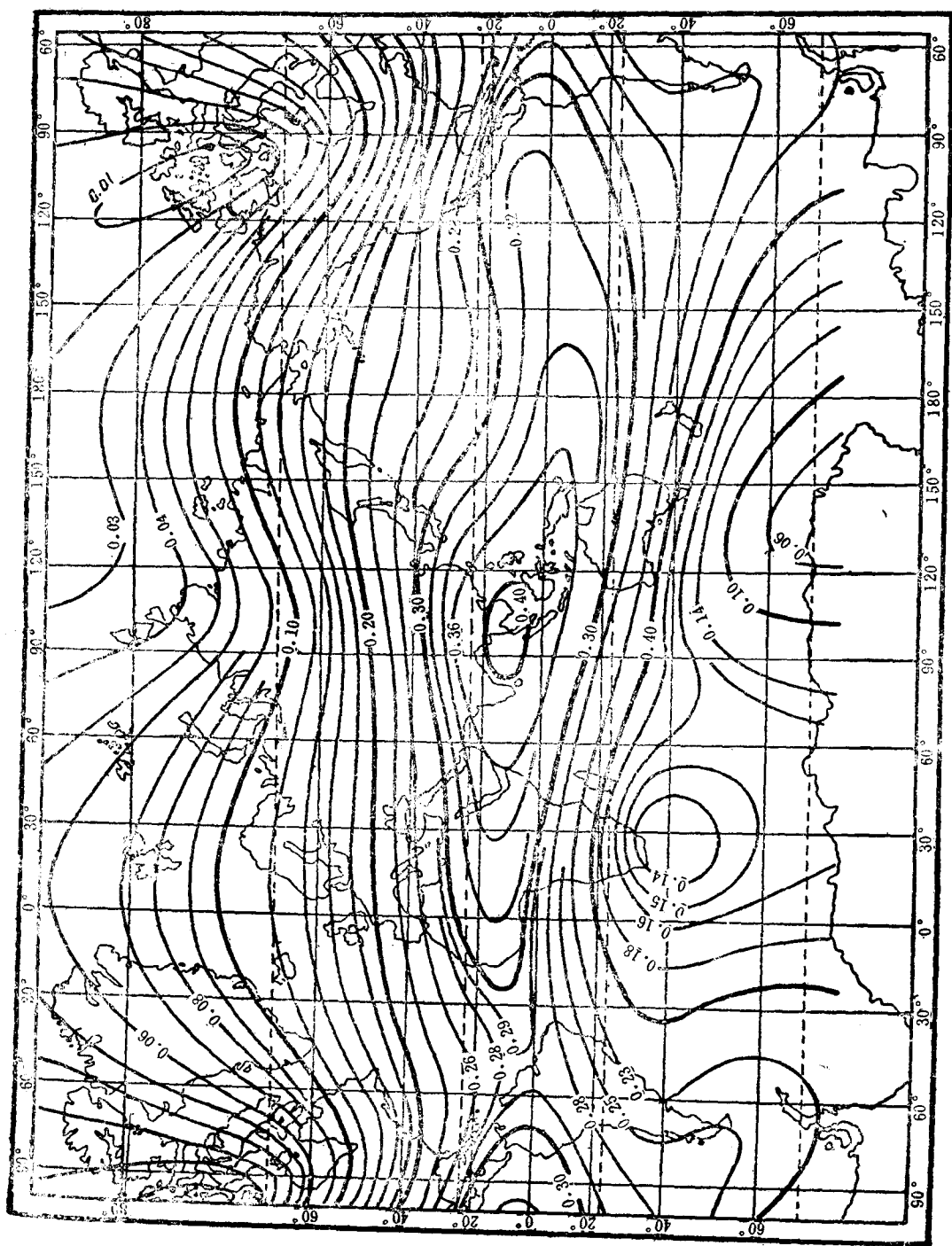
在海图或地图上将同一地磁要素相同值的各点连成等值线，这种曲线图称为地磁图。目前，航海上所使用的地磁图有等磁差线图(图 1-9)、等水平力线图(图 1-10)、等垂直力线图(图 1-11)，还有等磁倾角线图和等地磁总力线图。

表 1-1 为我国若干城市地磁要素值。

部分城市地磁要素值

表1-1

城	市	水平分力(奥)	垂直分力(奥)	磁 差(西)	磁 倾 角(正)
北	京	0.298	0.460	5°40'	57°00'
大	连	0.299	0.433	6°35'	55°20'
青	岛	0.314	0.405	4°40'	52°00'
武	汉	0.341	0.341	4°25'	45°10'
定	海	0.344	0.322	4°10'	43°00'
上	海	0.348	0.344	2°55'	44°30'
汕	兴	0.376	0.235	1°20'	32°00'
广	州	0.381	0.235	1°10'	31°20'
洪	江	0.388	0.205	0°45'	28°00'
榆	林	0.398	0.156	0°20'	21°30'



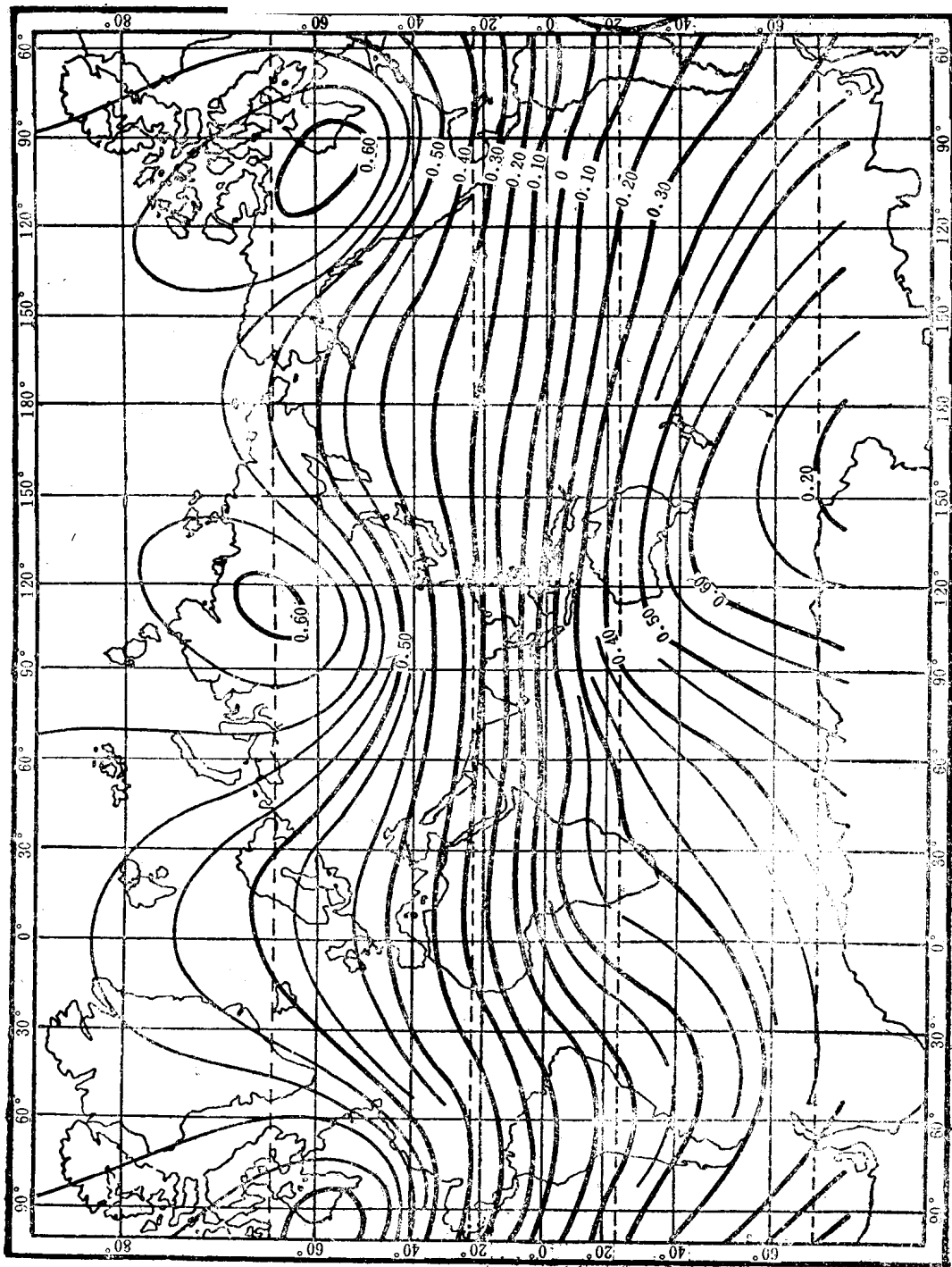


图1-11 等垂直力线图

由长期的观测可发现,地磁场是随时间发生变化的,即有数值上的变化,也有方向上的变化,并可分为长期变化和短期变化两种。

地磁场长期变化的特点是变化非常缓慢,以致需要几百年的时间,才能看出它的规律性。图1-12为1540~1890年间伦敦磁差及磁倾角变化曲线。由图可以看出,伦敦磁差大约需500年可完成一次循环,其变化范围最大可达 24° 。

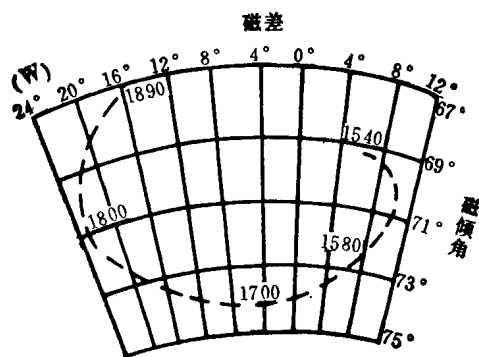


图1-12 伦敦磁差及 θ 变化

由于地磁场逐年发生变化,因此,各地磁图上标注的数据只适用于某一特定时期。通常,地磁图每隔5年左右需重新绘制一次。在实际使用时,为获得较准确的数据,应根据年变率修正地磁图上标注的数据。

短期变化又有周期性变化和干扰性变化之分。周期性变化是指由于地球的自转,太阳和月亮在一天中相对地球发生了位置变化,以致对地磁场产生周期性的影响。该影响通常是比较小的,在航海时,可以忽略不计。

干扰性变化是指无规律突然发生的变化。但有些干扰使地磁场强度变化相当大,例如磁暴,当其发生时,地磁场幅值变化可达几千伽马,磁差的变动可达几度至几十度,持续时间从几小时到几天。还有的海区,由于地下蕴藏大量矿石,以致使该地磁场发生了显著变化,通常称之为“异常磁区”,在有关海图和航路指南中都载有各地异常磁区的资料。

第六节 磁针的力偶矩

在岸上,由支轴支承的水平磁针在地磁水平分力 H 的作用下,停在磁子午线上。设磁针N端磁量为 $+m$,则地磁作用力为 $+mH$;磁针S端磁量为 $-m$,则地磁作用力为 $-mH$ 。

若将磁针偏转一个角度 δ ,则力 $+mH$ 和 $-mH$ 构成一个力偶,见图1-13,则力偶矩为:

$$P = mH \cdot 2l \sin \delta = MH \sin \delta \quad (1-10)$$

若磁针呈平衡状态,它与磁子午线成一角度 Δ , Δ 称为停滞角,该角度主要由轴尖的摩擦力而引起,则摩擦力偶矩 Q 与磁针力偶矩相平衡,即:

$$Q = MH \sin \Delta$$

$$\sin \Delta = \frac{Q}{MH}$$

因角 Δ 是很小的,所以,

$$\Delta = \frac{Q}{MH} \quad (1-11)$$

由此式可知,罗盘的停滞角是与指北力 H 和罗盘的磁矩 M 成反比的,即指北力和磁矩愈大,停滞角就愈小。

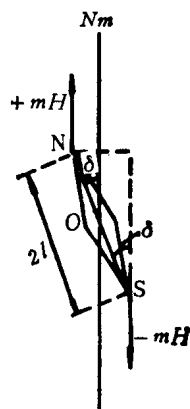


图1-13 磁针力偶

第七节 磁铁对磁针的作用

计算磁铁与磁针在地磁场内相互作用的问题,是很复杂的,根据实际需要,仅讨论几种特殊情况。

一、正切第一位置

把磁铁与磁针放在同一平面内,磁铁轴垂直于磁子午线,而磁针位于磁铁轴的延长线上,磁铁与磁针的此种相对位置,称为正切第一位置,如图 1-14 所示。此时,磁针除了受地磁水平分力 H 的作用外,还受磁铁在磁针处的磁场强度 H_1 的作用。当磁铁的长度远小于磁铁中心至磁针中心的距离 r 时,可认为磁铁在磁针处磁场为均匀磁场。

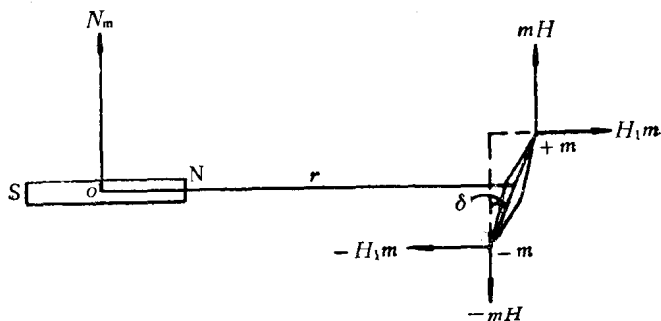


图 1-14 正切第一位置

当磁针在 H 和 H_1 两力的作用下,偏离磁北,而静止在 δ 角时,由水平分力 H 对磁针产生的力偶矩与磁铁力对磁针产生的力偶矩相平衡,即:

$$mH \cdot 2l \sin \delta = mH_1 2l \cos \delta$$

则:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{H_1}{H}$$

式中 $2l$ 为磁针两磁极间长度,将 $H_1 = \frac{2M}{r^3}$ 代入上式,得

$$H \operatorname{tg} \delta = \frac{2M}{r^3} \quad (1-12)$$

由(1-12)式可知,磁针的偏转角 δ 仅与地磁水平分力 H 、磁铁的磁矩 M 和距离 r 有关,而与磁针本身的磁矩无关。这样,在今后我们讨论磁针偏转角度时,可以把磁针看做一单位正磁量,仅讨论在磁针中心处的磁场强度即可。正切第一位置也如图 1-15 所示。

此时,磁针偏转角度 δ 的正切值为:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{H_1}{H}$$

$$\text{则: } H \operatorname{tg} \delta = \frac{2M}{r^3}$$

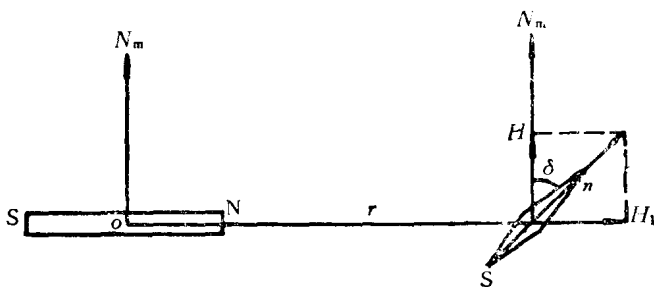


图 1-15 正切第一位置

上式与(1-12)式是完全相同的,但推导过程却简便多了。

若按正切第一位置放置好磁铁和磁针,我们即可测定磁铁的磁矩等数据,由公式