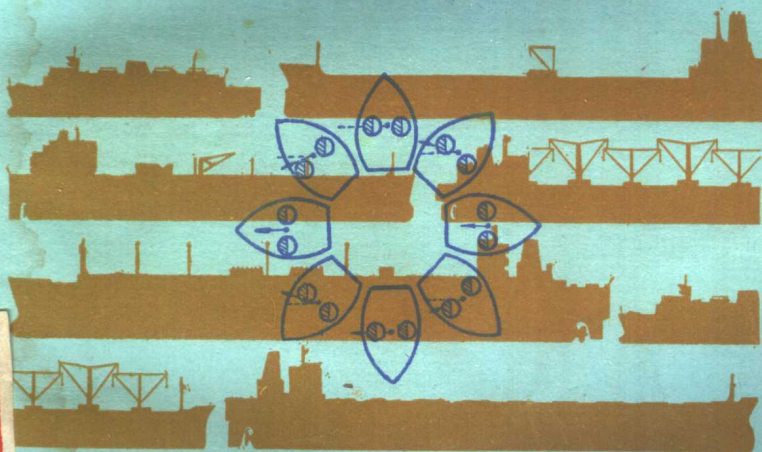


航海业务知识丛书

(航海仪器部分)

磁罗经自差的消除和测定

夏一麟 编



人民交通出版社



航海业务知识丛书
(航海仪器部分)

磁罗经自差的消除和测定

Ciluojing Zicha De Xiaochu He Ceding

夏 一 麟 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是航海业务知识丛书（航海仪器部分）的一个分册，全书共分两章。第一章介绍了磁的基本概念和有关知识；第二章着重介绍了磁罗经自差的产生原因及消除和测定方法。本书语言通俗易懂，适合于船舶驾驶人员及有关工作人员学习和参考。

航海业务知识丛书
(航海仪器部分)
磁罗经自差的消除和测定

夏 一 麟 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：2.125 字数：42千

1984年9月 第1版

1984年9月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,920册 定价：0.33元

前 言

随着交通运输事业的发展，迫切需要有一支与其相适应的、具有一定科学文化水平的职工队伍。搞好全员培训，加强职工技术教育，实为当务之急。当前矛盾是：学习不能都进学校，在职自学又缺少合适的书籍。因此中国航海学会为普及和提高广大海员的航海科学技术水平，以适应航海事业现代化的需要，特倡议组织编写航海知识丛书。中国航海学会编辑委员会与人民交通出版社于1980年在上海组成了航海知识丛书编审委员会，由陈有义、印文甫分别担任正副主任，王世忠、赵国维任秘书。编审委员会开展工作以来，已组织了企事业、学校等专业人员在业余时间分别进行编写，丛书将先后出版，陆续与读者见面。

航海知识丛书根据专业性质分为《航海业务知识丛书》和《轮机业务知识丛书》两套丛书。为了方便海员学习，力求结合实际，通俗易懂，并以小册子形式分专题出版。希望这两套丛书能不断为海员们业务技术学习作出贡献，同时也希望广大海员和航运单位共同来支持它和扶植它，使这两套丛书在不断更新中成为广大海员所喜爱的读物。

《航海知识丛书》编审委员会

目 录

第一章 磁的基本概念	1
一、磁铁	1
二、硬铁和软铁	1
三、磁铁各部分的名称	1
四、磁铁的一般性质	2
五、磁力与磁矩	2
六、磁场和磁场强度	3
七、磁针在均匀磁场中所受的力偶和指向	7
八、磁针摆动的周期	7
九、磁感与磁化	8
十、地磁三要素	9
第二章 磁罗经自差消除与测定	11
一、消除磁罗经自差的必要性	11
二、地磁对船铁的磁化	12
三、船磁对磁罗经影响的规定	14
四、纵硬铁产生的自差性质及其消除原理	14
五、横硬铁产生的自差性质及其消除原理	17
六、纵软铁和横软铁产生的自差性质及其消除原理	20
七、纵、横不对称软铁产生的自差性质	28
八、垂直硬铁、垂直软铁产生的倾斜自差及其消除方法	31

九、消除、测定罗经自差前的必要的检查和 准备工作.....	35
附：关于我国生产的指南II、III型磁罗经半 周期的检查法.....	38
十、消除罗经自差的程序和实际操作方法.....	39
十一、测定自差与制定自差表.....	47
十二、消除和测定自差的评定.....	56
附1：太阳磁方位与船时关系图.....	57
附2：求剩余自差系数及剩余自差计算表.....	58
附3：罗经自差原理及自差消除小结表.....	60
附4：自差曲线图.....	62

第一章 磁的基本概念

一、磁 铁

自然界里有一种矿石 (Fe_3O_4)，它能够吸引铁屑，如果把它做成细长条，用线把它吊起来，当它静止时，它总是指着一定的方向。这种能吸铁和指向的性质称为磁性。凡带有磁性的钢铁称为磁铁。现在应用的磁铁是用人工方法将钢铁或其他金属。例如镍、钴等磁化而成的，叫人造磁铁。用钴铁合金磁化以后，它的磁性比纯铁、纯钴要强得多。用铝镍钴合金磁化以后，它的磁性比钴铁合金磁铁还要强。

二、硬铁和软铁

有种铁很难受磁化，但它受了磁化以后也很难消失磁性，能保持磁性很久，这种铁称为硬铁。另有一种铁，它很容易受磁化，但它一离开磁源，很快就消失磁性，这种铁称为软铁。还有一种特殊的合金，它差不多完全不受磁化，也没有磁性，这种合金叫贫磁钢。

三、磁铁各部分的名称

磁罗经中常用的条形磁铁，叫做磁棒。在磁棒上磁性最强的地方叫做磁极。磁极位置在磁棒的两端约全长 (L) 的十二分之一的地方。一般就近似地说磁极在磁棒的两端。在磁铁中央还有一个不能吸引铁屑的部分，称为中性区。悬挂

的磁棒指南的一端叫磁南极，简称南极，用“S”或蓝色表示；指北的一端叫磁北极，简称北极，用“N”或红色表示。两磁极的连线叫磁轴线，磁轴线的方向规定为从S极到N极。

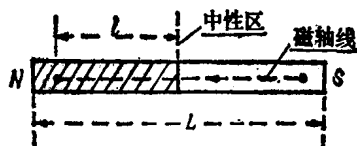


图 1

四、磁铁的一般性质

1. 同性极相斥、异性极相吸。磁棒的南、北两极放在一起时，必互相吸引；两个同名的磁极放在一起，必互相排斥。

2. 没有单磁极。如果把磁铁折成两段，折成的每一小段仍在两端出现两个异性磁极。在自然界里还没有发现单独存在的南磁极或北磁极。

3. 同一磁棒上的两个磁极的强度总是相等的。所谓磁极强度就是两个磁极如果对距它们距离相等的第三个磁极的作用力相同，就说它们的磁极强度相等；如果作用力不同，就说它们的磁极强度不等。

五、磁力与磁矩

1. 库仑定律：两磁极间的作用力(引力或斥力)的方向在两个磁极的连线上，大小跟它们的磁极强度的乘积成正比，跟它们之间的距离的平方成反比。

设两个磁极的磁极强度分别为 m_1 和 m_2 ，它们之间的

距离为 r ，作用力为 F ，那么在真空中的库仑定律可表示为

$$F = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}。$$

式中 k 是比例常数，它的大小和式中各量的单位有关。在厘米、克、秒制里（也叫 C.G.S. 制），磁极强度的单位是这样规定的：当两磁极强度相等的磁极在真空中相距 1 厘米时，如果它们之间的相互作用力正好是 1 达因，它们的磁极强度就各规定为 1 单位，叫 C.G.S. 制磁极强度单位，或简称为单位磁极。

在用 C.G.S. 制单位时，式中 $k=1$ ，因此真空中的库仑定律为

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}。$$

在应用公式时应注意：当两极同性， F 为正值，表示相斥；当两个磁极异性， F 为负值，表示相吸。

2. 磁铁的磁矩：磁铁的磁极强度与两极间的距离的乘积称为磁矩 (M)。

设磁极强度为 m ， l 是磁铁中心至磁极的距离，则

$$M = 2ml \quad (\text{单位是：C.G.S.M.})。$$

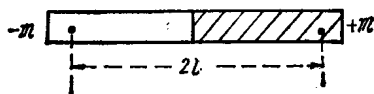


图 2

六、磁场和磁场强度

磁铁四周磁力所能到达的地方叫磁场。磁极间的相互作

用是通过磁场来进行的。磁场对磁极有磁场力的作用。

假设有一个单位正磁极 ($m = +1$)，在磁场中某点，这个单位正磁极所受到的作用力的大小，就是这点的磁场强度，磁力的方向即为磁场的方向。磁场强度是一个矢量，磁场强度用“ H ”表示。

$$H = \frac{F}{m}$$

在 C.G.S. 制单位里，磁场强度的单位是这样规定的：把具有 1 单位磁极强度的磁极放在磁场里某一点，如果作用在这个磁极上的磁场力正好是 1 达因，那么这一点的磁场强度就叫做 1 C.G.S. 制磁场强度单位，或者叫做 1 奥斯特，简称“奥”。

条形磁铁所产生的磁场是不均匀的，但是其中有二个位置是可以简单的方法计算出它所产生的磁场强度的。这二个位置是高斯首先研究的，所以称为高斯位置。

1. 高斯第一位置：在磁轴的延长线上 A 点的磁场强度

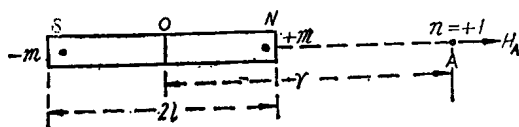


图 3

设磁铁长是 $2l$ ，磁极强度是 m ， A 点与磁铁中心的距离 AO 长是 r ， A 点是一个单位正磁极。

磁棒 N 极对 A 点的作用力是

$$F_1 = \frac{m \cdot (+1)}{(r-l)^2} \quad H_1 = \frac{F_1}{+1} = \frac{+m}{(r-l)^2}$$

磁棒 S 极对 A 点的作用力是

$$F_2 = -\frac{m \cdot (+1)}{(r+l)^2} \quad H_2 = \frac{F_2}{+1} = \frac{-m}{(r+l)^2}.$$

若 H_A 是 A 点的磁场强度，它是 H_1 和 H_2 的矢量和，

则

$$\begin{aligned} H_A &= \frac{m}{(r-l)^2} - \frac{m}{(r+l)^2} = \frac{4mlr}{(r^2-l^2)^2} = \frac{2Mr}{r^4 \left(1 - \frac{l^2}{r^2}\right)^2} \\ &= \frac{2M}{r^3} \left[1 - \frac{l^2}{r^2}\right]^{-2} \\ &= \frac{2M}{r^3} \left[1 + 2\frac{l^2}{r^2} + 3\frac{l^4}{r^4} + 4\frac{l^6}{r^6} + \dots\right]. \end{aligned}$$

假如磁棒较短而距离较长，也就是 r 比 l 大得多的话，

则 $\frac{l^2}{r^2}$ 可以忽略不计。

$$\text{则} \quad H_A \approx \frac{2M}{r^3}$$

(式中 $M = 2ml$)。

2. 高斯第二位置：在磁轴线的垂直平分线上 B 点的磁场强度

距离磁棒中央垂直线为 r 的 B 点，磁棒两极产生的磁场为 H_N 和 H_S 。

$$H_N = H_S = \frac{m}{R^2}$$

式中 R 为 B 点至 N 极或 S 极的距离。

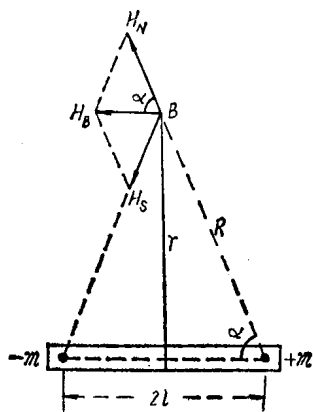


图 4

两者的合磁场是 H_B 。

即

$$\frac{1}{2} H_B = H_N \cos \alpha$$

$$H_B = 2 H_N \cos \alpha = 2 \cdot \frac{m}{R^2} \cdot \frac{l}{R} \left(\text{因为 } \cos \alpha = \frac{l}{R} \right)$$

$$= \frac{2ml}{R^3} = \frac{M}{R^3} = \frac{M}{(\sqrt{r^2 + l^2})^3}$$

(因为 $R = \sqrt{r^2 + l^2}$)

$$= \frac{M}{(r^2 + l^2)^{3/2}} = \frac{M}{r^3 \left(1 + \frac{l^2}{r^2} \right)^{3/2}}$$

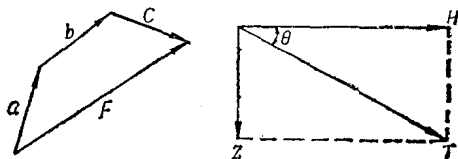
$$= \frac{M}{r^3} \left(1 + \frac{l^2}{r^2} \right)^{-3/2}。$$

当 $r \gg l$ 时, $\frac{l^2}{r^2}$ 可以忽略不计, 所以

$$H_B \approx \frac{M}{r^3}。$$

3. 磁场强度的合成与分解

磁场强度是矢量, 因此它的计算可以按照矢量的计算来进行。根据需要可以把一个矢量分解为几个矢量; 也可把几个矢量合成为一个矢量。如图 5 所示。



磁场强度的合成与分解

图 5

七、磁针在均匀磁场中所受的力偶和指向

若磁针在均匀磁场 H 中，磁针与 H 偏开一个 θ 角，磁针两极受磁场的作用力（图 6）是：

$$F_N = +mH$$

$$F_S = -mH$$

并且 F_N 和 F_S 两力平行，方向相反。对磁针产生平行力矩，故力偶 L 为

$$L = F_N \cdot 2l \sin \theta$$

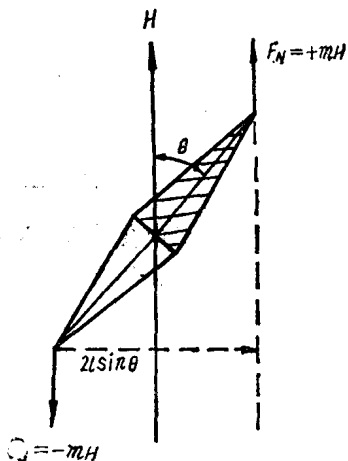
$$= 2mlH \cdot \sin \theta,$$

$$L = MH \sin \theta.$$

在力偶 L 的作用下，磁针产生转动。如果在开始时，磁针与磁场 H 的夹角 $\theta = 0^\circ$ ，则力偶

$$L = MH \sin 0^\circ = 0.$$

所以磁针就不转动，而停在磁场 H 的方向上。



磁针在磁场中所受的力偶

图 6

这就是说：能够自由转动的磁针，停止在磁场里的方向总是和磁场强度的方向相一致，而与磁针本身的磁性强弱无关。这也就是指南针指示方向的原理。在研究磁罗经的问题时，就可以只研究磁场的方向，而不涉及磁罗经磁性的强弱。

八、磁针摆动的周期

假如有一个可以自由转动的磁针，水平放置在磁场内并

在力偶作用下摆动，它的摆动周期（ T ）可用下式来表示：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}}$$

式中： I ——磁针的摆动惯量，

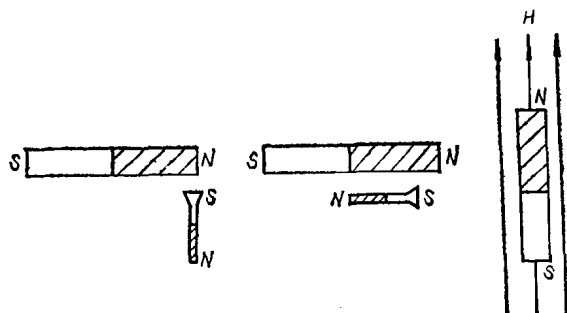
M ——磁针的磁矩，

H ——磁场强度。

不同的磁矩 M ，有不同的摆动周期，所以根据摆动周期的长短，可判断磁针磁性的强弱。

九、磁感与磁化

钢铁在磁场中会受磁场磁化而带有磁性，这现象叫做磁感应。钢铁被磁化的极性与磁场的方向有关。与磁铁接近的一端要被磁化为相反的极性。若把软铁放在磁场里，则这软铁向着磁场 H 方向的一端出现 N 极性。如图7所示。



钢铁在磁场中被磁化

图 7

钢铁在均匀磁场中被磁化的程度，不仅与钢铁本身的特性及外磁场的强度有关，而且还与钢铁在磁场中所处的位置有关。对条形铁棒来说，如磁化力 H 的方向与铁棒轴线不

一致，则可把 H 分解成与铁棒轴线方向一致的 $H\cos\theta$ 和与铁棒轴线垂直的 $H\sin\theta$ 两个分量，而铁棒只受 $H\cos\theta$ 的磁化，而 $H\sin\theta$ 则不起磁化作用（图 8）。

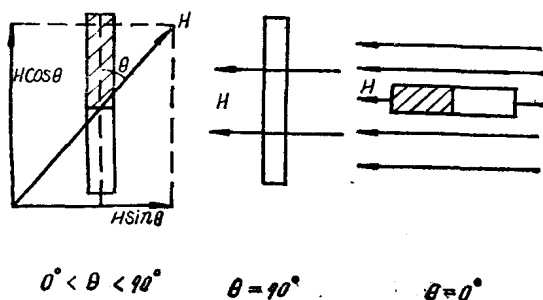


图 8

所以当铁棒与磁化磁场方向一致 ($\theta = 0^\circ$) 时，铁棒所获得的磁性为最强，而当铁棒与磁化磁场方向垂直 ($\theta = 90^\circ$) 时铁棒则不受磁化。

十、地磁三要素

根据实际观测的结果知道地球表面和周围空间有磁场存在，这种磁场叫地磁场，地球体积很大，对某一个地区来说，地磁场都是均匀的。因此认为地磁场是一个均匀的弱磁场。

地磁场强度也叫“地磁全力”，用 T 表示。世界上各地磁场强度的大小和方向都不相同。为了讨论问题方便起见，把某地的地磁场强度 T 沿着水平方向和垂直于地心的方向分解为地磁水平强度 H 和垂直强度 Z 。 H 和 Z 也叫做地磁水平分力和地磁垂直分力。 H 和 T 的夹角 θ 叫地磁倾角。

过 H 作一个垂直平面，它与地球表面的交线叫磁子午线。某地的磁子午线和地球真子午线的夹角 c 叫该地的磁差。

人们把地磁场强度、磁倾角、磁差叫地磁三要素。

各力的关系为 (图 9)

$$T^2 = H^2 + Z^2$$

$$H = T \cdot \cos \theta$$

$$Z = T \cdot \sin \theta$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{Z}{H}.$$

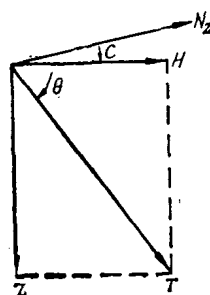


图 9

T -地磁场强度(地磁全力);
 H -地磁水平分量; Z -地磁
 垂直分量; N_z -真子午线;
 c -磁差角; θ -磁倾角

地磁水平分力 H 在世界各地都是指向磁北，是使磁针指北的力，也叫做“磁北力”。 H 力愈强，磁针向北的指向性也愈

强。 H 力在磁赤道附近最强，随着磁纬度的增加而逐渐减小；到地磁极附近， H 力几乎等于零，因此磁罗经在磁极附近是不能指向的。

地磁垂直分力 Z 的作用方向，在磁北纬向下，而在磁南纬则向上， Z 力在磁赤道上等于零，而在两极为最大。 Z 力对于磁罗经的指示方向来说是没有作用的。

注：由磁倾角相等的各点的连线叫“等倾角线”，也叫磁纬线。磁倾角为 0° 的连线称磁赤道，地磁北极为 $90^\circ(+)$ ，地磁南极为 $90^\circ(-)$ ，自磁赤道至地磁极相应称磁纬度。磁纬度与地理纬度是不一致的。以下所称纬度均指磁纬度。

第二章 磁罗经自差消除与测定

一、消除磁罗经自差的必要性

在木造的和没有其他铁器的船上，磁罗经只受到地磁力的作用，它能够正确地指向磁北。而钢铁制造的船舶，受地磁感应磁化以后，船体获得了磁性，对磁罗经就会产生影响，这种影响使磁罗经不能指向磁北，罗经所指的北叫罗北，罗北和磁北之间有一个差角，这个差角叫做“罗经自差”，用“ δ ”表示。

现代船舶对磁罗经影响所产生的自差最大可达几十度甚至自差力（产生自差的力）的部分或全部会严重减弱罗经指北力，这样在某些航向上罗经就不能稳定指向或者使磁罗经失去指北能力，有时不足以克服轴针轴帽间的摩擦力，使罗经产生呆滞现象，罗盘跟船一起转向，即船在转向，罗经航向不改变或变化迟缓。

只有当自差小于 $5\sim 6^\circ$ 时才能稳定指向，所以消除自差的工作是一项必不可少的工作。

凡船进厂大修、设备改装、船被火烧、长时间搁浅、触礁、严重碰撞、或装过磁性物质以后航行纬度变化较大时都会使船磁有较大改变，所以要重新消除和测定自差。

磁罗经是古老的指向仪器，但它具有构造简单，不易损坏、使用方便等优点，所以即使现代船舶都有了陀螺罗经，但当一旦陀螺罗经发生故障还得靠磁罗经来指向，因此航海