

高等学校试用教材

磁罗经自差校正

(海洋船舶驾驶专业用)

酆天金 编著

人民交通出版社

高等学校试用教材

磁罗经自差校正

(海洋船舶驾驶专业用)

鄢 天 金 编著

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书为高等海运院校海洋船舶驾驶专业教材。其中包括自差理论和罗经自差校正。自差理论着重分析各种船磁力对罗经的作用及产生的自差；罗经自差校正着重介绍各国通用的爱利法，同时对各种测力法校正自差也作了介绍。

第八章和第十章供学生课外阅读。

本书可供本专业的中专师生、航海人员和罗经校正师等有关人员参考。

高等学校试用教材

磁罗经自差校正

(海洋船舶驾驶专业用)

酆 天 金 编著

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

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 $\frac{1}{16}$ 印张: 8.5 字数: 198 千

1980年12月 第1版

1980年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,000 册 定价: 0.92 元

绪 论

远在二千六百多年前，我们祖先就已经发现了天然磁石的物理性质。战国末期吕氏春秋的《精通篇》中记有“慈石召铁，或引之也。”“慈”即现今的“磁”。韩非子《有度篇》中记载有“故先王立司南，以端朝夕。”司南即指南针的祖先。指南针的发明是我国古代四大发明之一，是中华民族对人类文明的伟大贡献。到了汉代，司南是用天然磁石琢成勺形，放在光滑青石做成的“地盘”上以定方向。

随着社会的发展，要求提高仪器的灵敏度，古书上先后记载了指南鱼、指南针等名称，并且也广泛地应用于军事、航海和测量上。同时由于天然磁铁造形上的困难而进一步掌握了人造磁铁。宋代《武经总要》记载了宋庆历年间（1044年），军队出征所用的指南鱼是“用薄铁叶剪裁，长二寸阔五分，首尾锐如鱼形……以密器收之，用时置水碗于无风处，平放鱼在水面……以辨方向。”北宋宣和元年（1119年）朱彧著《萍洲可谈》记载当时广州海船“舟师识知理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针”。《萍洲可谈》是朱彧随其父亲朱服于1099~1102年间在广州做官所得的见闻而写的，可见罗经应用于航海已是在1099年以前的事了。宋代我国远洋航海已很发达，我国船舶经常航行于印度洋、波斯湾以至非洲东岸，罗经由此传入阿拉伯，而后由阿拉伯人传入欧洲。

指南针广泛地被应用，进一步发现了磁差。北宋沈括（1032~1096）著《梦溪笔谈》中记载“方家（即道士）以磁石摩（磨）针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也”，且叙述了当时提高指南针灵敏度的四种方法：浮于水面，放于指甲上，放于碗沿和悬吊腊粘蚕丝于针腰。该书所述磁针微偏东，不全南也，乃指指南端微偏东即现今的西磁差。到了明代我国就能精确地测出磁差的度数了，并知磁差因地而异。《明史天文志》记载磁差“各地不同，在京师则偏东五度四十分”。

指南针广泛应用于航海上，勇敢智慧的我国人民就发现了自差。明末方以智著《物理小识》曾提到“海咸烂铁，且妨磁也”说明了铁对磁针的影响。

各国用钢铁造船以后，磁罗经自差影响到船舶航行安全。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进行了至今还普遍采用的消除半圆自差的方法。此后船长佛林德尔提出了消除软半圆自差的佛氏铁。

由于我们祖先发明了指南针并为提高其灵敏度以应用于航海作出了辉煌的贡献，再经以后数学家和航海家的研究和发展，磁罗经自差理论和消除形成了一门科学。

尽管现代船舶应用有各种各样最先进科学的导航仪器，磁罗经由于它的可靠性，仍不失其为主要导航仪器之一。因此，我们必须了解磁罗经产生自差的原因及其消除方法，以保证航行安全。

目 录

绪 论

第一章 磁的基本概念及地磁	1
§1 磁场及其性质	1
§2 磁铁	2
§3 磁铁的磁场强度	3
§4 铁磁体的磁化	5
§5 地磁场及地磁要素	7
§6 磁针的力偶矩	11
§7 磁铁对磁针的作用	11
§8 罗盘动力学	14
§9 罗盘转动惯量和阻尼曲线的测定	16
第二章 船用磁罗经	17
§1 罗经柜的结构	17
§2 罗盆的结构	18
§3 罗盘的结构	19
§4 方位仪	20
§5 其它类型磁罗经	21
第三章 磁罗经的检查、保管与安装	23
§1 磁罗经的检查	23
§2 磁罗经的保管与使用	24
§3 标准罗经安装位置的选择	25
§4 罗经的安装	26
第四章 船正平时的自差	27
§1 坐标系统	27
§2 地磁力对罗经的作用	27
§3 船上软铁对罗经的作用	28
§4 船硬铁对罗经的作用	30
§5 泊松方程式	31
§6 均匀磁化体的磁位及用重力位表示的泊松方程式	31
§7 用特殊位置的软铁杆表示各软铁系数	35
§8 九个软铁系数同三个硬铁力的一般符号和大小比较	36
§9 磁子午线和垂直于磁子午线上的投影力	38
§10 罗盘平面上的作用力	40
§11 各自差力产生的自差与航向和磁纬度的关系	45

§12	自差公式	50
§13	高阶自差系数	52
第五章	倾斜自差理论	59
§1	横倾自差力和横倾自差公式	59
§2	横倾自差性质	61
§3	纵倾自差公式及性质	62
第六章	自差测定和自差表的计算	63
§1	自差测定的方法	63
§2	自差系数的计算	67
§3	由五个自差系数计算航用自差表	69
§4	近似计算自差系数的方法	71
第七章	自差的校正	72
§1	校正自差的必要性	72
§2	校正自差的原则	73
§3	倾斜自差的校正	73
§4	校正倾斜自差的方法	74
§5	半圆自差的校正原理	75
§6	将船导至校正所需的磁航向	78
§7	爱利法的准确性	79
§8	软铁力 cZ 和 fZ 的抵消法	80
§9	佛氏铁长度与系数关系图表	82
§10	cZ 和 fZ 力的联合抵消	83
§11	象限自差的消除原理	84
§12	校正象限自差的方法	87
§13	各类型校正软铁对 λ 值的影响及其选择	88
§14	$D'\lambda H$ 和 $E'\lambda H$ 力的联合抵消原理	89
§15	$D'\lambda H$ 和 $E'\lambda H$ 力联合抵消的方法	91
§16	恒定自差系数 A 的处理	92
§17	感应自差	93
§18	无感应自差磁罗经	95
§19	校正自差的程序	97
§20	校正自差的准备工作与实际步骤	98
§21	指北力系数 λ_2 值的测定	100
第八章	测力法校正自差	102
§1	LCL-130罗经方位圈的构造	102
§2	科郎格偏转仪	102
§3	倾斜罗盘的结构	103
§4	科郎格偏转仪测力的原理和步骤	104
§5	用科郎格偏转仪校正半圆自差及倾斜自差的原理	105
§6	科郎格偏转仪校正半圆自差的实际步骤	107

§ 7	科郎格偏转仪校正半圆自差的准确性及优缺点	108
§ 8	汤姆逊偏转仪校正自差及其步骤	109
§ 9	小船在任意正反航向上校正半圆自差	111
第九章	自差的变化	114
§ 1	船在不同磁纬度上产生的自差变化	114
§ 2	船磁场本身变化而引起的自差变化	115
§ 3	所用的观测仪器其系统误差产生变化	115
第十章	消磁与电磁自差	116
§ 1	船下磁场及消磁	116
§ 2	电磁自差	119
§ 3	电磁自差补偿原理	120
§ 4	电磁自差校正方法	122
§ 5	G型电磁自差补偿器及其补偿方法	123
附表一	罗经作用力及自差校正总表	125
附表二	弧 α 与每隔 15° 正弦函数的乘积表	126
附 录	罗经校正口诀	128

第一章 磁的基本概念及地磁

§1 磁场及其性质

相互靠近的两磁体，有同性相斥异性相吸的作用力。库仑得出计算两磁量的相互作用力的公式

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

式中 m_1 和 m_2 表示两磁量； r 表示两磁量间的距离； K 为一比例系数。

比例系数 K 视所采用的单位和两磁量之间的介质而定。以 $\frac{c}{\mu}$ 表 K ，则库仑定律为

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

式中 c 视所采用的单位而定；系数 μ 视介质而定，称之为“磁导率”。对真空和空气 $\mu = 1$ 。若采用电磁系单位， $c = 1$ ， r 用厘米，则 F 力为达因。因此，对真空来说，我们采用电磁系单位，则库仑定律可写成

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

磁场的主要性质是以“磁场强度”来表示。若相互作用的两磁量中，有一磁量为单位正磁量，它在另一磁量 m 的磁场中某点所受到的作用力，我们称为该点磁场的“磁场强度”，通常以 H 表示

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

因此，我们可以用文字说明“磁场强度”，即磁场中某点的磁场强度是以作用于放在该点的单位正磁量所受到的作用力。磁场强度是矢量。

在电磁系单位中，磁场强度的单位用“奥斯忒”。在地磁学中，有时用十万分之一奥斯忒单位，通常用 γ 表示

$$1\gamma = 10^{-8} \text{ 奥斯忒}$$

一块磁介质内部或外部的磁场强度等于已知的外电流所产生的磁场(磁化场)强度 H_0 与被磁化了的物质所产生的磁化强度 H' 之和。我们称合磁场强度

$$B = H_0 + H'$$

为磁感强度。

磁感强度 B 的单位，在国际单位制中叫做特斯拉 (Tesla)，它与高斯的关系为

$$1 \text{ 高} = 10^{-4} \text{ 特}$$

在磁场的某一范围内的各点上，磁场强度在数量上相同，在方向上均相互平行时，称这范围内的磁场为“均匀磁场”。

在复杂的磁场中，应用公式(1-2)是不可能的，用“磁位”这个概念来计算磁场力较为方便。“磁位”即单位正磁量从无限远移到磁场中某点所作的功，一般用 U 表示之。

我们已知机械功的公式

$$dA = f \cdot dS$$

用磁场中相应的量代入，即

$$dA = dU, \quad f = H, \quad dS = dr$$

便得磁位式

$$dU = -H \cdot dr \quad (1-3)$$

其模为

$$dU = -H dr \cos(\widehat{H, dr}) \quad (1-4)$$

以上两式中的负号表示克服磁场力所作的功。

将(1-2)式的值代入上式，并考虑库仑定律 H 与 r 的方向是重合的，则

$$dU = -m \frac{dr}{r^2}$$

将上式自 ∞ 至 r 求积分得

$$U = -m \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = -\frac{m}{r} \Big|_{\infty}^r = \frac{m}{r} \quad (1-5)$$

(1-3)式也可以用矢量投影法表示

$$H = Xi + Yj + Zk$$

$$dr = dxi + dyj + dzk$$

由于两者为标量积，则 $ii = 1$ ， $ij = 0 \dots \dots$ ，因此磁位式可写成

$$dU = -Xdx - Ydy - Zdz$$

U 是坐标 x 、 y 、 z 的函数，其全微分式为

$$dU = \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy + \frac{\partial U}{\partial z} dz$$

将以上两式进行比较，得

$$X = -\frac{\partial U}{\partial x}$$

$$Y = -\frac{\partial U}{\partial y} \quad (1-6)$$

$$Z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

函数 U 称为位函数，其对各坐标的负偏导数分别等于磁场强度在各坐标上的投影。

§2 磁 铁

磁铁有天然磁铁和人造磁铁。天然磁铁为 Fe_3O_4 即磁铁矿。人造磁铁常见的是用钨钢、钴钢、镍铝钢等经磁化而制成的。

在使用永久磁铁时，要注意到磁铁的磁矩会因温度的变化、震动、打击，以及和其他磁

铁接触而发生变化。因此为保护磁铁的磁性，应使它免受震动、打击或人为电磁场的影响，在保存磁铁时，应使磁铁的异名极相靠近。

磁铁的磁矩随温度的增加而减小，随温度减小而增大。磁铁磁矩的稳定性由制造磁铁所用钢的品质来定。震动及其他外来因素的影响愈小，磁铁的矫顽力愈大。

镍铝钢的磁铁，只有铸造品，因为除了研磨外，任何方法是不能对它进行加工的。钴钢的取材高贵，只有对精密测量仪器才能用它制磁铁。用低矫顽力钢作的磁铁是不稳定的，并且磁矩会随着外来的影响而剧烈改变，特别是震动或接近其他的磁铁。

磁铁通常以“磁矩”来表征其物理量。磁铁的磁矩是同名磁量与两磁极间距离之乘积，以 m 表示同名磁量，而以 $2l$ 表示两磁极间的距离，如图 1，则磁矩 M 为

$$M = 2ml \quad (1-7)$$

磁铁磁极的位置视其形状、制造磁铁所用的钢的种类、磁化过程和磁化程度而定。以 L 表示磁铁的全长时，可大约认为

$$2l = 0.8L$$

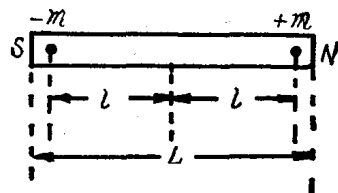


图 1

§3 磁铁的磁场强度

为了推导出磁铁的磁场强度公式，我们将磁量对于磁铁的三种位置的情况加以研究。

一、磁量位于磁铁的磁轴延长线上

设有单位正磁量位于具有正磁量 $+m$ 和负磁量 $-m$ 相距为 $2l$ 的磁铁的磁轴 NS 延长线上 P_1 点，该点与磁铁中点的距离 $OP_1 = r$ ，见图 2。

按库仑定律，由磁铁 N 极的作用力为

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

由 S 极的作用力为

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

作用于 P_1 点的合力为

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

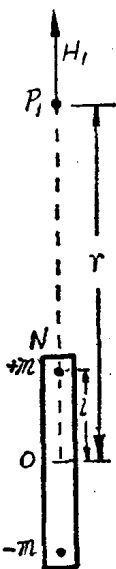


图 2

如果 $\frac{l^2}{r^2}$ 小于 1, 即磁铁的半长比距离 r 为小, 依牛顿二项式定理

$$(1+x)^n = 1 + \frac{n}{1}x + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2}x^2 + \dots \quad (**)$$

把 $\left(1 - \frac{l^2}{r^2}\right)^{-2}$ 展开, 便得

$$H_1 = \frac{2M}{r^3} \left[1 + 2\frac{l^2}{r^2} + 3\frac{l^4}{r^4} + 4\frac{l^6}{r^6} + \dots \right]$$

取展式中前两项, 则

$$H_1 = \frac{2M}{r^3} \left[1 + \frac{2l^2}{r^2} \right]$$

当磁铁半轴长 l 远小于 r 时, $2\frac{l^2}{r^2}$ 项可略而不计, 便得

$$H_1 = \frac{2M}{r^3} \quad (1-8)$$

H_1 的指向为 SN 的延长线。罗经柜中垂直磁铁对罗经作用力, 即属此种位置。

二、磁量位于磁轴的垂直平分线上

如图 3, 磁铁 N 极对 P_2 点的作用力 f_N 等于 S 极对 P_2 点的作用力 f_s , 它们的合力 H_2 平行于磁铁轴, 力 f_N 和 f_s 在垂直平分线上的投影之和等于零。

由图 3 得

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

因为

$$\cos \alpha = \frac{l}{\rho} \text{ 和 } f_{N,S} = \frac{m}{\rho^2}, \text{ 代入上式中, 得}$$

$$H_2 = \frac{2ml}{\rho^3}$$

从图上知

$$\rho = \sqrt{r^2 + l^2}$$

则

$$\rho^3 = (r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}$$

因而

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

当 $\frac{l^2}{r^2} < 1$ 时, 依公式 (*) 将 $\left(1 + \frac{l^2}{r^2}\right)^{-\frac{3}{2}}$ 展开, 即得

$$H_2 = \frac{M}{r^3} \left[1 - \frac{3}{2} \frac{l^2}{r^2} + \frac{15}{8} \frac{l^4}{r^4} - \frac{105}{48} \frac{l^6}{r^6} + \dots \right]$$

取展开式中前两项, 则

$$H_2 = \frac{M}{r^3} \left[1 - \frac{3}{2} \frac{l^2}{r^2} \right]$$

若磁轴半长 l 远小于 r , $\frac{3}{2} \frac{l^2}{r^2}$ 项之后的各项可略而不计, 则

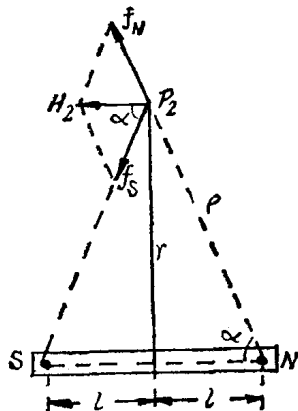


图 3

$$H_2 = \frac{M}{r^3} \quad (1-9)$$

以这个公式与(1-8)式比较, 即可看出, 在相同的条件下, 这一位置的磁铁的磁场强度要比第一种位置小一半。其方向平行于磁轴且指向于S端。罗经柜中纵横消除磁铁对罗经的作用即属此种位置。

三、磁量位于相对磁铁的任意一点上

相对于磁铁的任意一点P和磁铁中点O的距离为r(图4), 以 φ 表示磁轴北半轴和r方向间的夹角。

磁铁NS的磁矩M为一向量, 其方向沿磁轴由S至N。因而我们可将磁矩分解为沿r方向的磁矩 M_1 和垂直于r方向的磁矩 M_2 。它们分别为

$$M_1 = M \cos \varphi \text{ 和 } M_2 = M \sin \varphi$$

根据公式(1-8)和(1-9), 两个分磁矩在P点的磁场强度为

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

将 M_1 和 M_2 的值代入, 使得

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

在距磁铁足够远的任意点上的总磁场强度为

$$\begin{aligned} H &= \sqrt{H_1^2 + H_2^2} = \frac{M}{r^3} \sqrt{4 \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} \\ &= \frac{M}{r^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \varphi} \end{aligned}$$

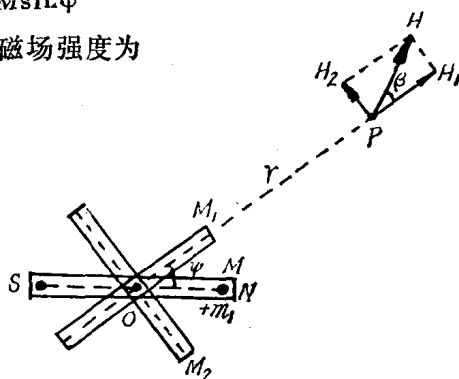


图 4

(1-10)

以 β 表示总磁场强度H和 H_1 之间的夹角, 得

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H_2}{H_1} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \varphi$$

公式(1-10), 当 $\varphi = 0^\circ$, 则得公式(1-8); 当 $\varphi = 90^\circ$, 则得(1-9)式。

§4 铁磁体的磁化

属于单位体积的磁矩称为磁化强度(J)。磁化强度用下式表示

$$J = \frac{dM}{dv} \quad (1-11)$$

式中dM为体积元dv的磁矩。

若磁化物体各处的磁化强度向量J均相同, 则这个均匀磁化体的磁矩为

$$M = Jv \quad (1-12)$$

(1-12)式与(1-7)式是相同的, (1-7)式是形状磁矩, 而(1-12)式是物理磁矩。

磁化物体在变化的弱磁场中被磁化时, 可近似地认为该物体的磁化强度与磁化场的强度H成比例, 以 χ' 表示比例系数, 则

$$J = \chi' H \quad (1-13)$$

式中 κ' 称为“视磁化率”。

视磁化率依材料的磁性质和制造的形状而异，其值以下式表示

$$\kappa' = \frac{\kappa}{1 + \kappa N} \quad (1-14)$$

式中 κ 表示材料的磁化率； N 表示退磁系数，它视形状与外磁场强度的方向而定，对于均匀磁化球体来说， $N = 4\pi/3$ 。

实验证明， J 的向量不一定与外磁场向量 H 重合。因而，长条形或圆柱形的铁磁体被磁化后，它的磁极（除外磁场方向与磁化体的纵轴成垂直外）总是在纵轴的两端点附近，而和外磁场的方向无关。外磁场方向垂直于磁化体的纵轴者，我们可以认为其退磁系数为无限大，亦即无磁化。

铁磁体的视磁化率是随外磁场强度 H 而变的。实验证明，磁化强度 J 在开始磁化时是随外磁场强度 H 作非线性增加的，当 H 达到一定的强度 H_s 后， J 的值不再因 H 的增加而改变，即达到饱和状态，如图 5 中 Oa 段以后所表示的情况。如果到了饱和状态以后，使 H 减少，这时 J 的值也要减少，但 J 并不沿着 Oa 曲线下降，而是沿另一条曲线 ab 下降。到 $H = 0$ 时，磁化强度并不完全消失，磁体中保留着剩余的磁化强度 $J_r = Ob$ 。到 b 点以后，按下

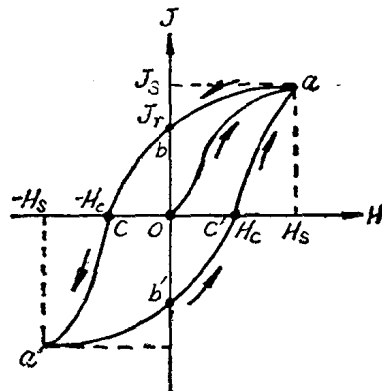


图 5

列顺序继续改变外磁场强度 H : $0 \rightarrow -H_c$, $-H_c \rightarrow -H_s$, $-H_s \rightarrow 0$, $0 \rightarrow +H_c$, $+H_c \rightarrow +H_s$, 则磁化强度 J 将分别沿着曲线 $b \rightarrow c$, $c \rightarrow a'$, $a' \rightarrow b'$, $b' \rightarrow c'$, $c' \rightarrow a$ 形成闭合曲线。从上述情形看来，磁化强度 J 总是多少要落后于外磁场强度 H 的变化。这种磁化强度落后于外磁场强度的现象叫“磁滞”，是铁磁质的重要特性之一。如图 5 所示，闭合曲线 $abca'b'c'a$ 称为磁滞回线。外磁场撤去后，磁体中保留的剩余磁化强度 J 称为“剩磁化强度”或“剩磁”，即铁磁体中保留的磁性。使磁化强度为零时所需要的反向外磁场强度的值 H_c ，称为“矫顽力”。

有剩磁的铁磁体被磁化时，公式(1-13)应为

$$J = \kappa' H + J_r \quad (1-15)$$

矫顽力愈大，磁化体的剩磁化强度 J_r 就愈大，其磁滞回线所包围的面积亦愈大。

所以，铁磁材料中有硬铁与软铁之分，硬铁的磁滞回线所包围的面积大，软铁的磁滞回线所包围的面积非常窄小。也就是说，硬铁磁化较软铁磁化来得困难，硬铁在磁场中磁化后，剩磁可保留很长时间不易消失；而软铁可以在弱磁场中被磁化，一旦外磁场消失，则其磁性亦将几乎随之消失。

在实际上，严格区分硬铁和软铁的界限是有困难的，一般认为矫顽力大于50奥斯的铁磁材料均属于硬铁材料，如碳钢、钨钢、钴钢等。由于这些材料一经在外磁场中磁化后，常保留相当强的剩磁而不易失去，故可用来制成永久磁铁。

矫顽力小于几个奥斯的材料，如软铁、坡莫合金、矽钢等属于软铁材料。

现代船舶都是由软铁和硬铁金属建造的，其硬铁材料一经磁化就会长久保持恒定的磁性，在相当长的时期内，它不随地磁场（弱磁场）的作用而改变。软铁则随地磁场的作用很

快地获得磁性，而且磁性很快地随着地磁场的大小和相对方向的变化而改变。

§5 地磁场及地磁要素

地球好似一个均匀磁化球体，它的磁化轴接近于地球旋转轴。实际观测指出，地磁极是处于地球的深处。两极在地球表面投影的地理座标在1950年是

北磁极：北纬72°，西经96°，

南磁极：南纬73°，东经156°。

地磁极的地理位置不是固定的，而是年年在缓慢地变化。在南半球的磁极附近集中的是正磁量，在北半球的磁极附近集中的是负磁量，因此，围绕地球空间的地磁磁力线是从南半球走向北半球的(图6)。

地球的磁场是很容易用一根磁针来发现的。地磁场在地球深处也同在地球表面一样地存在。

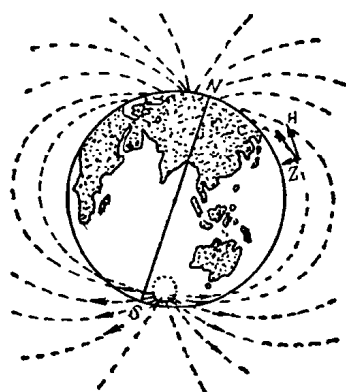


图 6

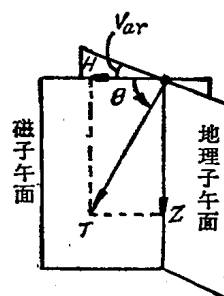


图 7

地面任意一点的地磁场方向，可以凭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”，物理学名词称“偏差”。

将力 T 分解为作用于地磁子午面的水平分量 H 和竖直分量 Z (图7)，即得

$$\left. \begin{aligned} T^2 &= H^2 + Z^2 \\ H &= T \cos \theta \quad Z = T \sin \theta \\ \frac{Z}{H} &= \operatorname{tg} \theta \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

水平分量 H 和总力 T 之间的夹角 θ ，称为“磁倾角”。在北半球 θ 在水平之下，并认定为正值(+ θ)；南半球 θ 在水平之上，为 $-\theta$ 。

H 、 θ 和磁差的量，称为“地磁三要素”。只要知道这些量即可计算出其他的量。

在地球空间，磁罗经能够指北是由水平分量 H 的作用。

在海图和地图上将同一地磁要素的相同值的地方连成等值线，这种图称为地磁要素图。磁差的等值线图称为“等磁差线图”或“等偏差线图”，如图8。水平和竖直分量的等值线图，称为“等水平力线图”和“等竖直力线图”，如图9和图10。

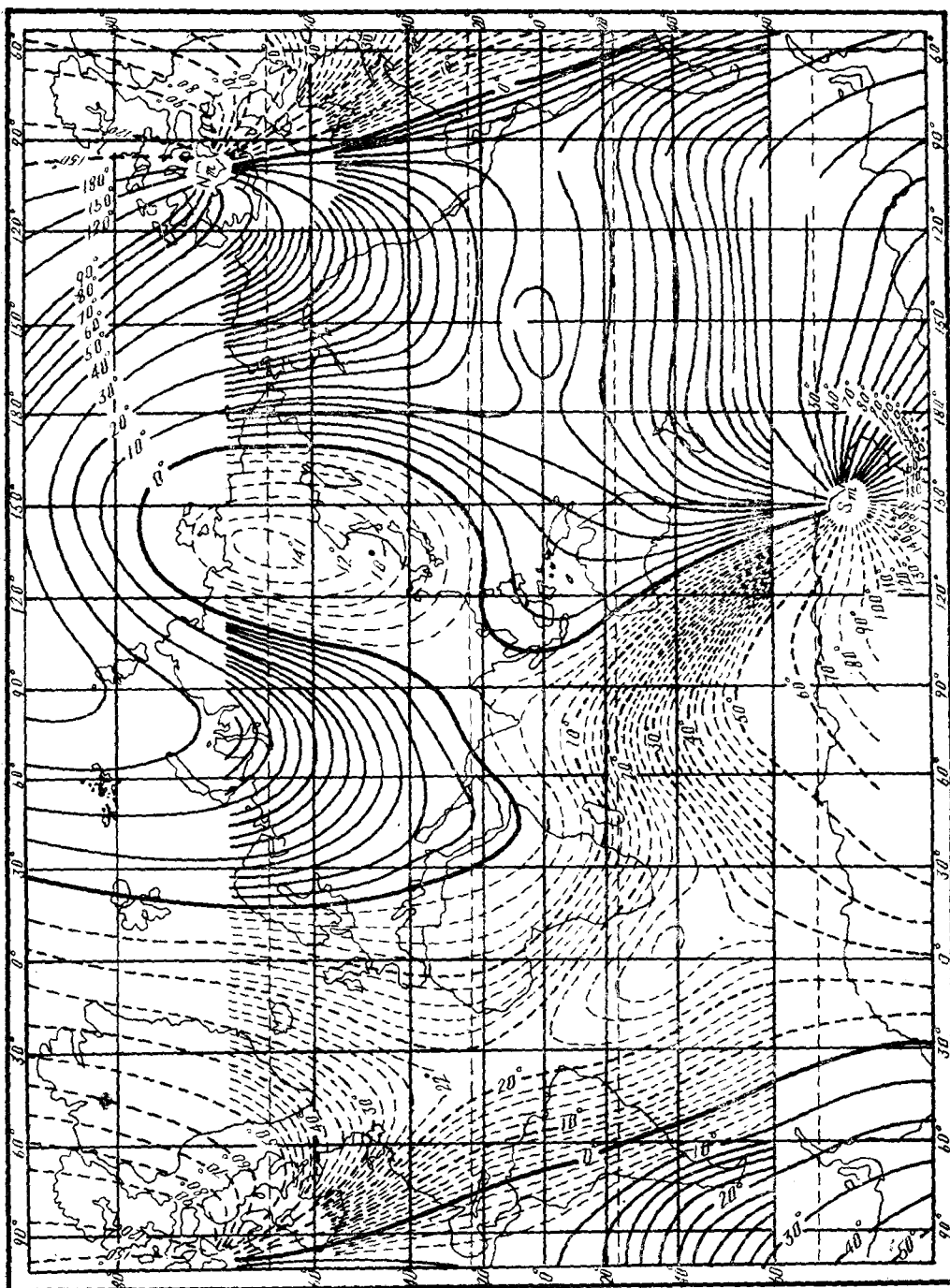


图 8

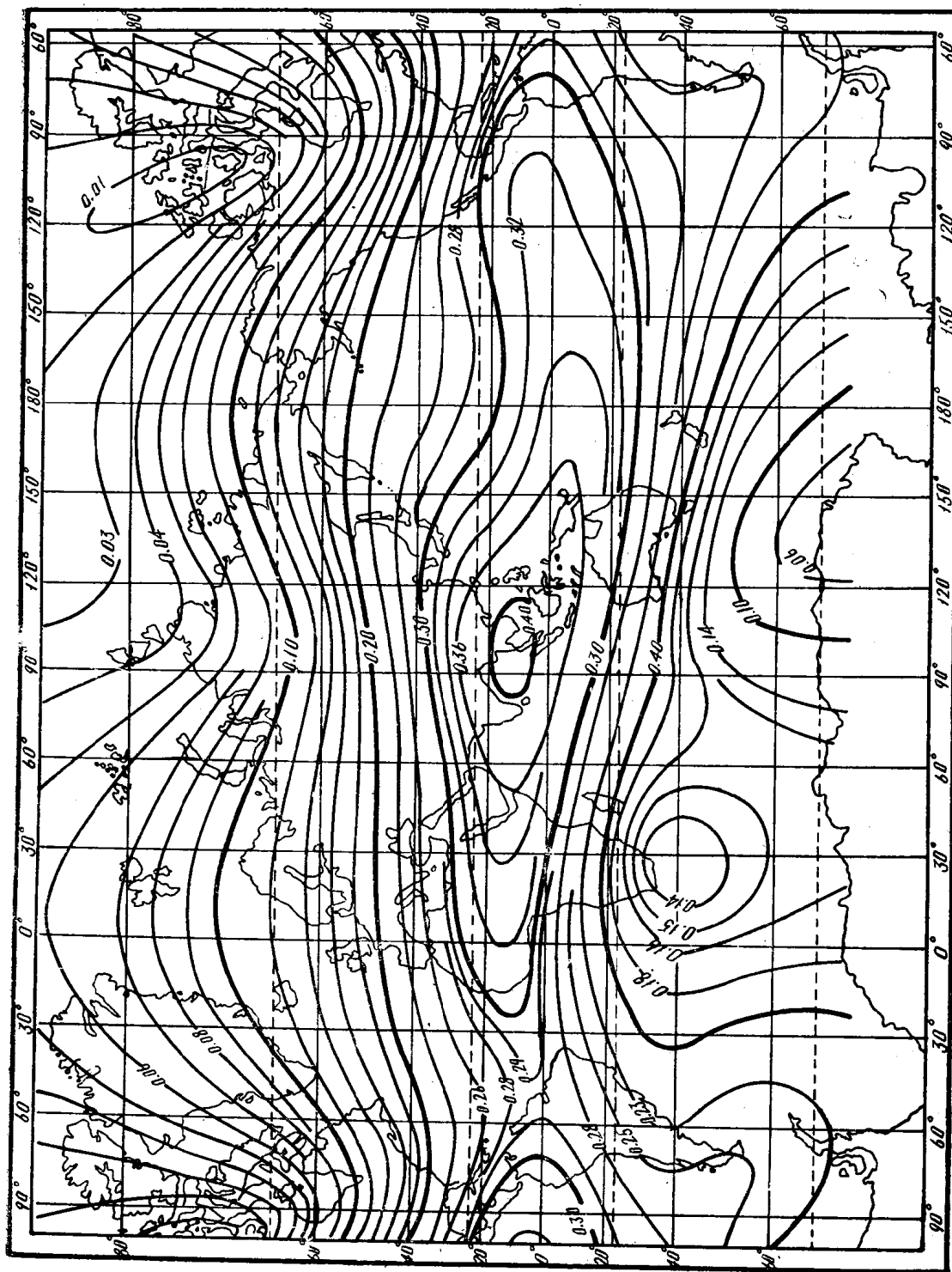


图 9

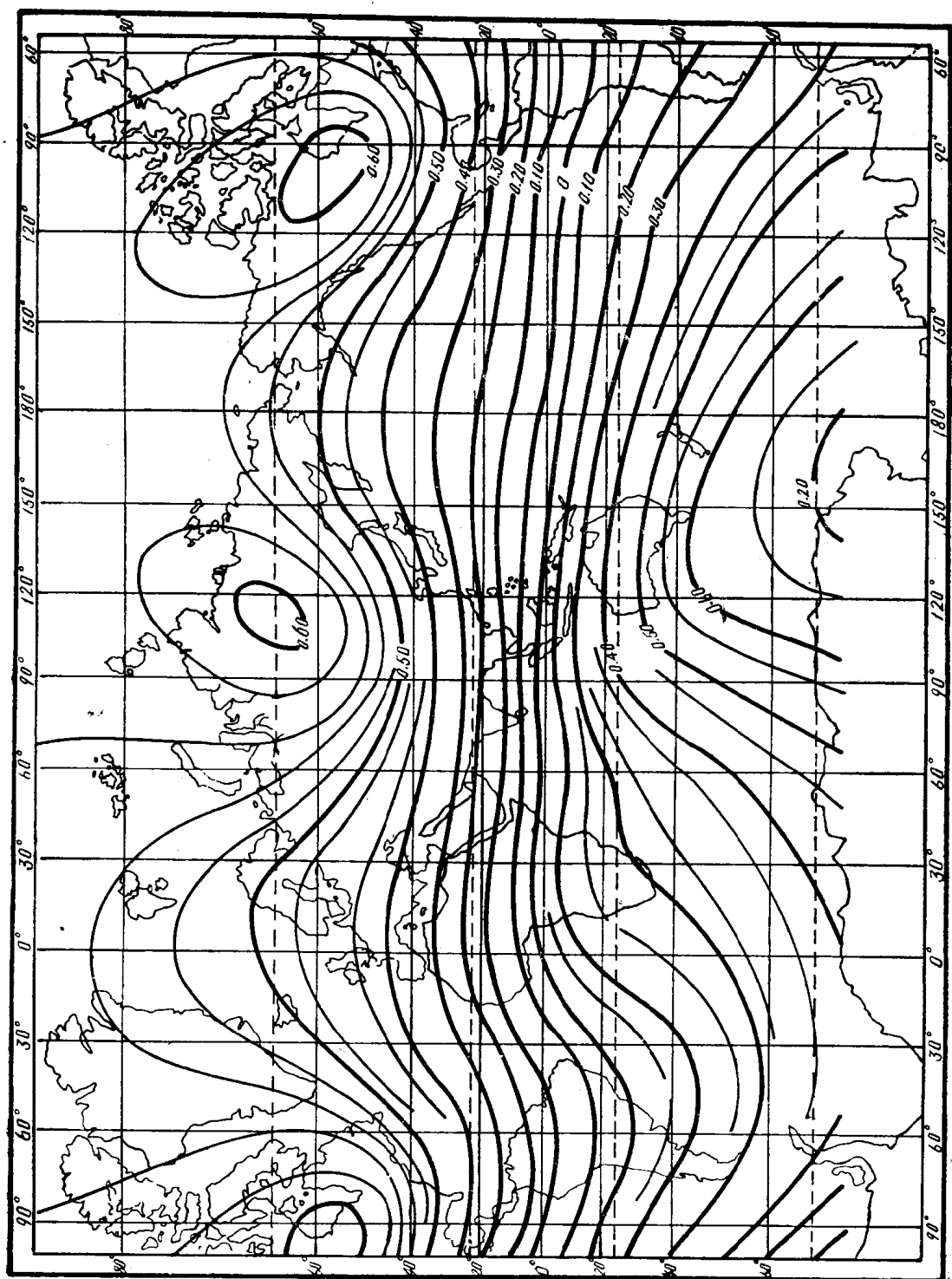


图 10