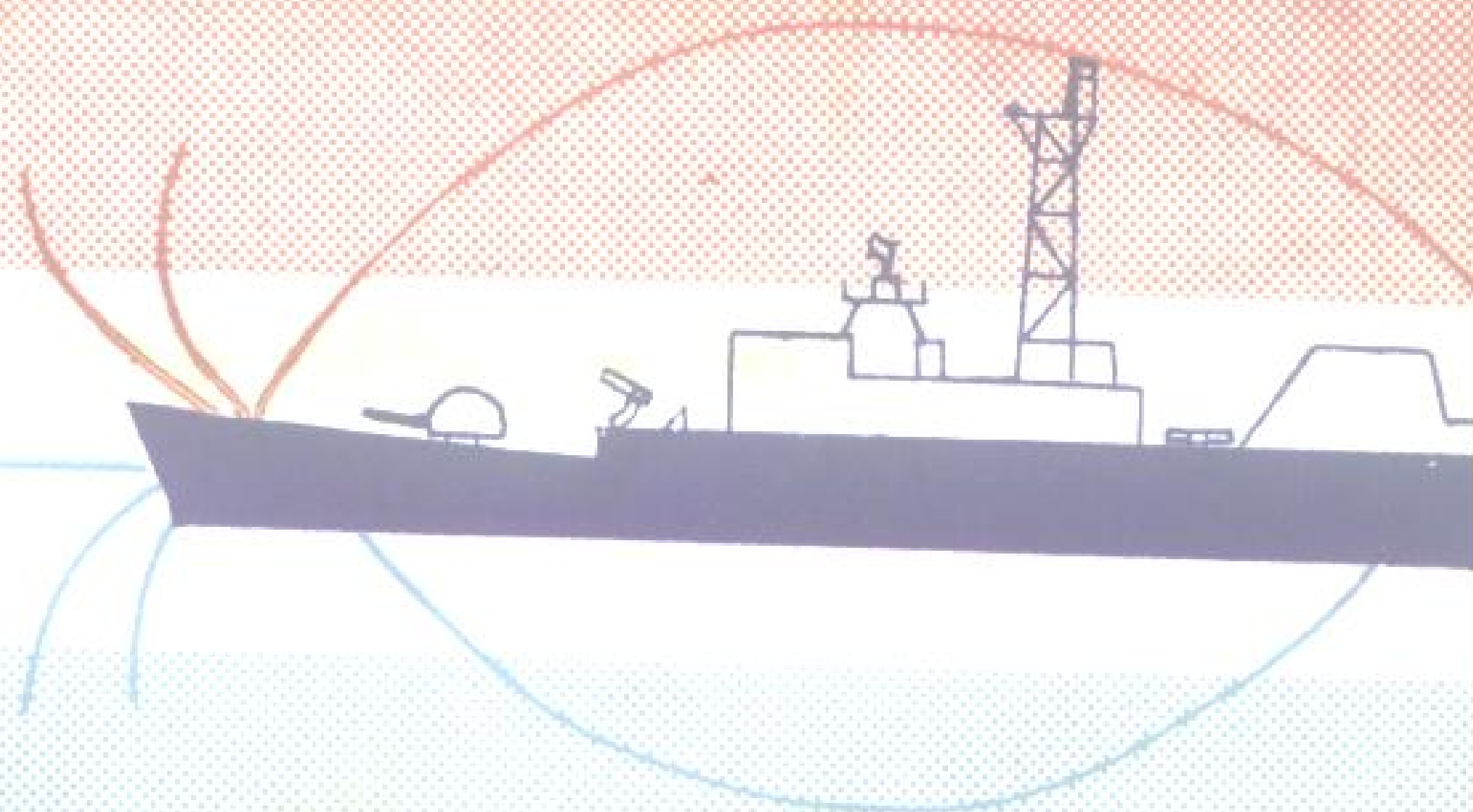


舰船磁防护 与声防护



栗有鼎 等编著

国防工业出版社

舰船磁防护与声防护

栗有鼎 等编著

国防工业出版社

内 容 提 要

本书是一本关于舰船磁防护与声防护问题的技术读物。书中介绍了舰船磁防护与声防护的基础理论知识及其技术应用。

全书共分二篇。第一篇为舰船磁防护；第二篇为舰船声防护。

本书可供从事舰船防护工作的干部、工程技术人员、海军有关勤务部门的指战员及有关院校的师生阅读参考。

舰船磁防护与声防护

栗有鼎 等编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 9 $7/8$ 255 千字

1985年3月第一版 1985年3月第一次印刷 印数： 001— 720册

统一书号：15034·2770 定价：1.85元

编者的话

在舰船周围存在着舰船物理场，这些物理场有磁场、声场、电场、电磁场、光场、热力场、重力场、水压场、宇宙射线场等。利用这些舰船物理场的特性，可以设计制造水中兵器 和 探测 设备，以打击和探测舰船；舰船为了自身的安全，必须采取相应防护措施，以增强自身的隐蔽性和免于遭受水中兵器的打击。世界各国在舰船物理场防护方面开展较多且较为成熟的要数舰船的磁防护与声防护。本书就是关于这两种防护的一本专门读物。

舰船磁防护与声防护是一种被动防护措施。它通过减弱舰船本身所产生的磁场与声场来增强舰船的防护能力。

建国三十多年来，各有关部门的同志在舰船磁防护与声防护的研究与应用方面做了不少的工作，可是至今还没有一本关于这方面的书籍问世。编写本书的目的就在于填补这一空白，为国内从事舰船磁防护与声防护工作的干部、工程技术人员、海军有关勤务部门的指战员以及有关院校的师生提供一本参考读物。本书力求系统完整，除了介绍舰船磁防护与声防护的技术理论知识外，还着重于向读者介绍舰船磁防护与声防护的措施、方法以及实施防护所必需的有关设备。

全书共分二篇。第一篇为舰船磁防护，重点介绍舰船磁场特性、磁场分析、消磁方法、消磁仪器与设备，并对舰船磁性防护性能的分析作适当介绍。第二篇为舰船声防护，重点介绍舰船声学的基本概念、噪声测量技术及噪声控制方法，同时还适当介绍主要用于潜艇的水声对抗设备。

本书是在陈树永同志的主持下集体编写而成的。参加过该书编写的人员有徐连富、蔡文良、粟有鼎、魏相文、刘智琛、鲍克诚、于俊修、温世良、洪曼丽、毛子佩、满运生、康宏生、吴彦顶、黄树枝、沈林森、曹茂椿等同志。全书由粟有鼎同志统编、修改、定稿。

由于编者水平有限，谬误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第一篇 舰船磁防护

第一章 舰船磁场	2
§ 1.1 地磁场	2
§ 1.2 稳态磁场的基本规律	9
§ 1.3 舰船磁场	13
§ 1.4 舰船磁场的换算方法	26
第二章 舰船临时线圈消磁	35
§ 2.1 舰船消磁的基本概念	35
§ 2.2 一般消磁	36
§ 2.3 综合消磁	41
§ 2.4 倒向综合消磁	46
§ 2.5 脉冲消磁	49
§ 2.6 舰船消磁后磁场的稳定性	52
第三章 消磁船、消磁站及其设备	55
§ 3.1 概述	55
§ 3.2 消磁船	56
§ 3.3 固定式消磁站	58
§ 3.4 环路消磁站	62
§ 3.5 消磁电源	65
§ 3.6 消磁电流自动控制仪	73
§ 3.7 脉冲消磁电源	74
第四章 舰船固定绕组消磁方法	76
§ 4.1 消磁绕组的补偿原理	76
§ 4.2 消磁绕组的调整原理	83
§ 4.3 消磁绕组的种类	87
第五章 消磁绕组设计方法简述	95
§ 5.1 消磁绕组设计的依据	95
§ 5.2 设计参数的选择	96

§ 5.3	消磁绕组的磁计算	98
§ 5.4	消磁绕组的电计算	100
第六章	舰船磁场测量技术	109
§ 6.1	舰船磁场测量方式	109
§ 6.2	饱和铁芯磁强计原理	115
第七章	消磁电流自动调整器	148
§ 7.1	概述	148
§ 7.2	利用电罗经控制的消磁电流自动调整器	159
§ 7.3	三轴磁强计控制的消磁电流自动调整器	166
§ 7.4	三轴磁强计控制的消磁电流自动调整器抗干扰原理 及其调试方法	175
§ 7.5	计算机控制的消磁电流自动调整器	183
§ 7.6	舰船磁罗经补偿装置	188
第八章	舰船磁性防护性能的评判	190
§ 8.1	磁性水雷引信灵敏度与舰船磁场的关系	190
§ 8.2	舰船消磁质量标准	191

第二篇 舰船声防护

第九章	噪声的一般概念和舰船噪声防护的意义	196
§ 9.1	噪声的一般概念	196
§ 9.2	舰船噪声防护的意义	203
第十章	舰船噪声测量	206
§ 10.1	空气噪声测量	207
§ 10.2	结构噪声测量	215
§ 10.3	舰船水下噪声测量	219
§ 10.4	舰船噪声特性及噪声评价	224
第十一章	舰船噪声控制方法	240
§ 11.1	主动式噪声控制方法	240
§ 11.2	吸声结构	245
§ 11.3	隔声结构	251
§ 11.4	隔声屏蔽罩结构	257
§ 11.5	消声器	259

§ 11.6	隔振措施	271
§ 11.7	阻尼结构	282
§ 11.8	螺旋桨噪声屏蔽结构	285
第十二章	水声对抗器具	287
§ 12.1	噪声干扰器	288
§ 12.2	潜艇噪声模拟器	292
参考文献		296

第一篇 舰船磁防护

舰船磁防护技术最初是随着磁性水雷的出现而发展起来的。而现在，开展舰船磁防护则不只是限于防止磁性水雷的攻击，它对于各种磁性探测装置、以磁性制导（近距离）的鱼雷和装有磁引信的深水炸弹等都能起到防护作用。

舰船磁防护俗称为舰船消磁。目前，舰船消磁的基本方法仍然是借助于带电线圈（绕组）所产生的磁场去消除（补偿）已存在的舰船磁场。其消磁方法有临时线圈消磁法和固定绕组补偿法等。

本篇除叙述了舰船磁场、消磁方法之外，还对测磁仪器、消磁设备以及舰船磁性防护性能的分析等都作了较为深入的介绍。

第一章 舰船磁场

§ 1.1 地 磁 场

地球是一个大的磁体，在其周围存在着地球磁场。

关于地磁的知识和罗盘的原理，在公元前一千多年以前，我国就已有应用。而关于此类事情的记载在欧洲要比我国落后上千年。

舰船磁场是由于地球磁场的作用而产生的。舰船消磁工作无论是磁场测量、临时线圈消磁、消磁系统的电流控制与调查等都与地磁场有关。因此在讨论舰船磁场以前，首先对地球磁场作一简单介绍。

1.1.1 地 磁 要 素

地球象是一块永久磁铁。地磁北极靠近地理南极，而地磁南极则靠近地理北极。人们把靠近地球北极的磁极称为北磁极，而靠近地理南极的磁极称为南磁极。（务必注意：按磁本质来说，这种北磁极的磁性和磁针的南极相同，而南磁极的磁性和磁针的北极相同。）北磁极的位置约在北纬 73° 、西经 100° 。南磁极的位置约在南纬 68° 、东经 143° 。地球磁轴和地轴大约差 11.5° 。图(1.1)表示了地球磁轴、地轴及地磁磁力线的分布概况。

地球磁场的特性可以用地磁场强度矢量 H_T 表示。从图 1.1 中可以看出： H_T 在地磁的两极与地平线相垂直，在磁赤道与地平线相平行，而在其它位置则与地平线成一角度。

如图 1.2 所示，在直角坐标系中用三个分量来表示 H_T 。坐标轴的取法如下： x 轴取平行于地理子午线方向，朝北为正，朝南为负； y 轴取平行于纬度方向，向东为正，向西为负； z 轴则取垂

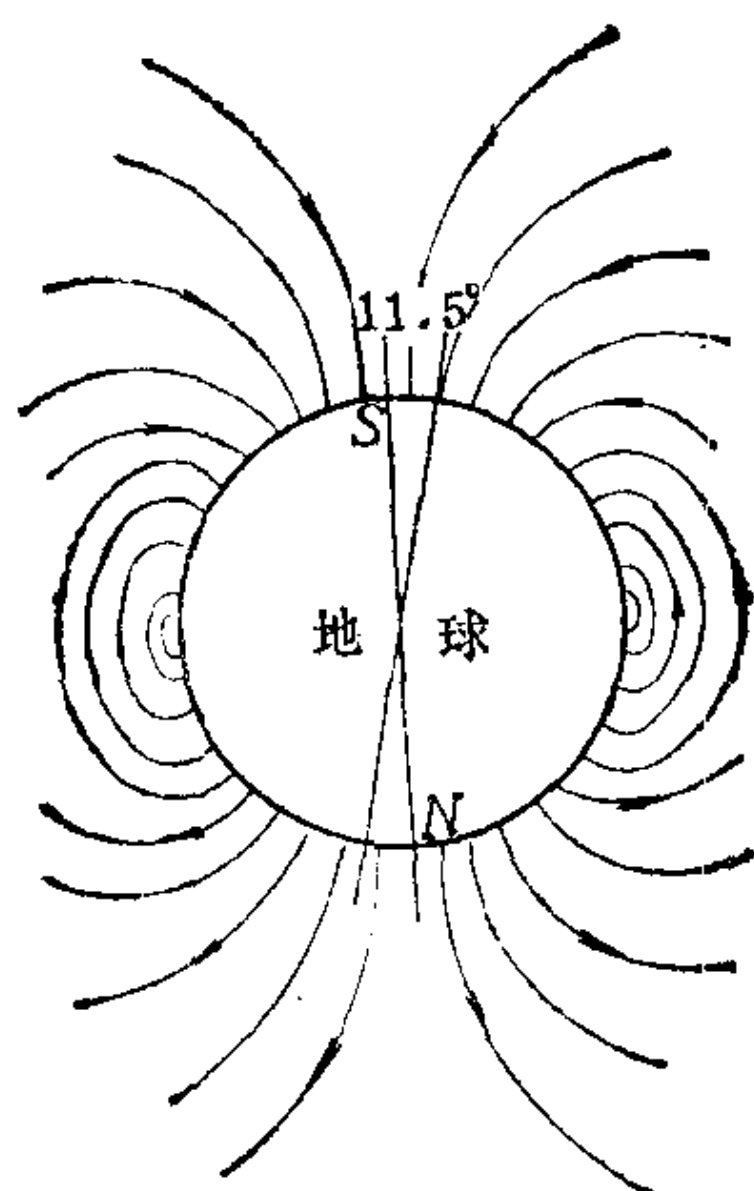


图1.1 地球磁场

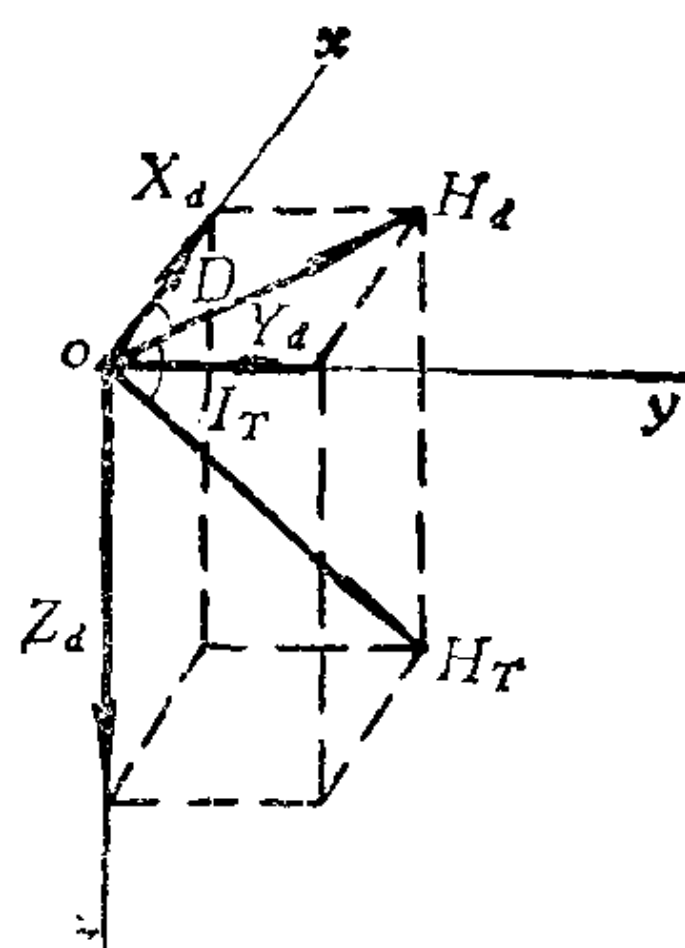


图1.2 地磁场强度矢量在直角坐标系中的表示法

直向下为正，向上为负。将坐标原点作为观察点，如上图所示： H_T 在 xoy 平面上的投影 H_d 称为地磁场的水平强度或水平分量。

H_T 在 x 轴上的投影用 X_d 表示，称为北分量；

H_T 在 y 轴上的投影用 Y_d 表示，称为东分量；

H_T 在 z 轴上的投影用 Z_d 表示，称为垂直分量；

H_T 所在的垂直面 zOH_d 称为地磁子午面。

H_T 和 xoy 平面的夹角称为磁倾角 I_T 。磁倾角在北半球为正，在南半球为负。

H_d 和 x 轴之夹角 D_0 称为磁偏角。磁偏角向东方向偏为正，向西偏为负。

所有 H_T 、 H_d 、 X_d 、 Y_d 、 Z_d 、 I_T 、 D_0 都是表示地球磁场强度矢量的数值和方向的量，这些参数称为地磁要素。在直角坐标系内这些参数之间的关系可用下述数字式表示：

$$X_d = H_d \cos D_0$$

$$Y_d = H_d \sin D_0$$

$$Z_d = H_d \tan I_T$$

$$X_d^2 + Y_d^2 = H_d^2$$

$$Z_d^2 + H_d^2 = H_T^2$$

$$X_d^2 + Y_d^2 + Z_d^2 = H_T^2$$

$$\tan D_0 = Y_d / X_d$$

$$H_T = H_d \sec I_T$$

$$H_T = Z_d \csc I_T$$

1.1.2 地 磁 图

为了便于清晰地想像与分析地磁各要素的情况，这些地磁要素可用一种图线表示法来加以注明。这就是在地图上将这些要素有相同数值的各点连成一种曲线而形成所谓等值线图。诸如将偏角数值相同的各点连结起来的曲线取名为等偏线，在等偏线上的各点符合下列条件：

$$D_0 = \text{const} \quad \text{const表示某一常数}$$

同样，对于符合 $I_T = \text{const}$ 的各线叫做等倾线。对于符合 $Z_a = \text{const}$ 的线叫做垂直等强线。对于符合 $H_a = \text{const}$ 的线叫做水平等强线，余类推。

这种等值线图的描绘在很大程度上简化了研究地磁场的方法，同时也是地磁测量资料的实际应用。这种地磁图可以把整个地球或个别地区的地磁情况从数量上以及从性质上很清晰地显示出来。

图 1.3 与图 1.4 分别为世界地磁垂直等强线与水平等强线图。

从图中可以看出南北两磁极处的地磁水平分量等于零，在由北极到南极的过程中，地磁水平分量的数值由零变到最大，再由最大重新变到零。

等倾线在本书中没有示出。可以想像它与纬度圈大致是平行的。零值等倾线绕地球一周并通过赤道附近。由赤道向两极，磁倾角由零变到 90° ，零值等倾线称为磁赤道。

地磁垂直分量在南北两磁极处数值为最大，大约分别为 0.674 奥斯特和 0.634 奥斯特。而在赤道附近则变为零。由赤道向两极，垂直分量逐渐增大。图 1.3 和图 1.4 所示之世界地磁图，初看起来是一种比较规则的图形，但实际考察一下各国及各地区的地磁状况，就会发现它们与世界地磁图上所反映的有较大的差异。在某些地区，世界地磁图上所见到的那种等值线的变化规律被显著地破坏了。人们不难看到，这些局部地区的地磁等值线具有非常离

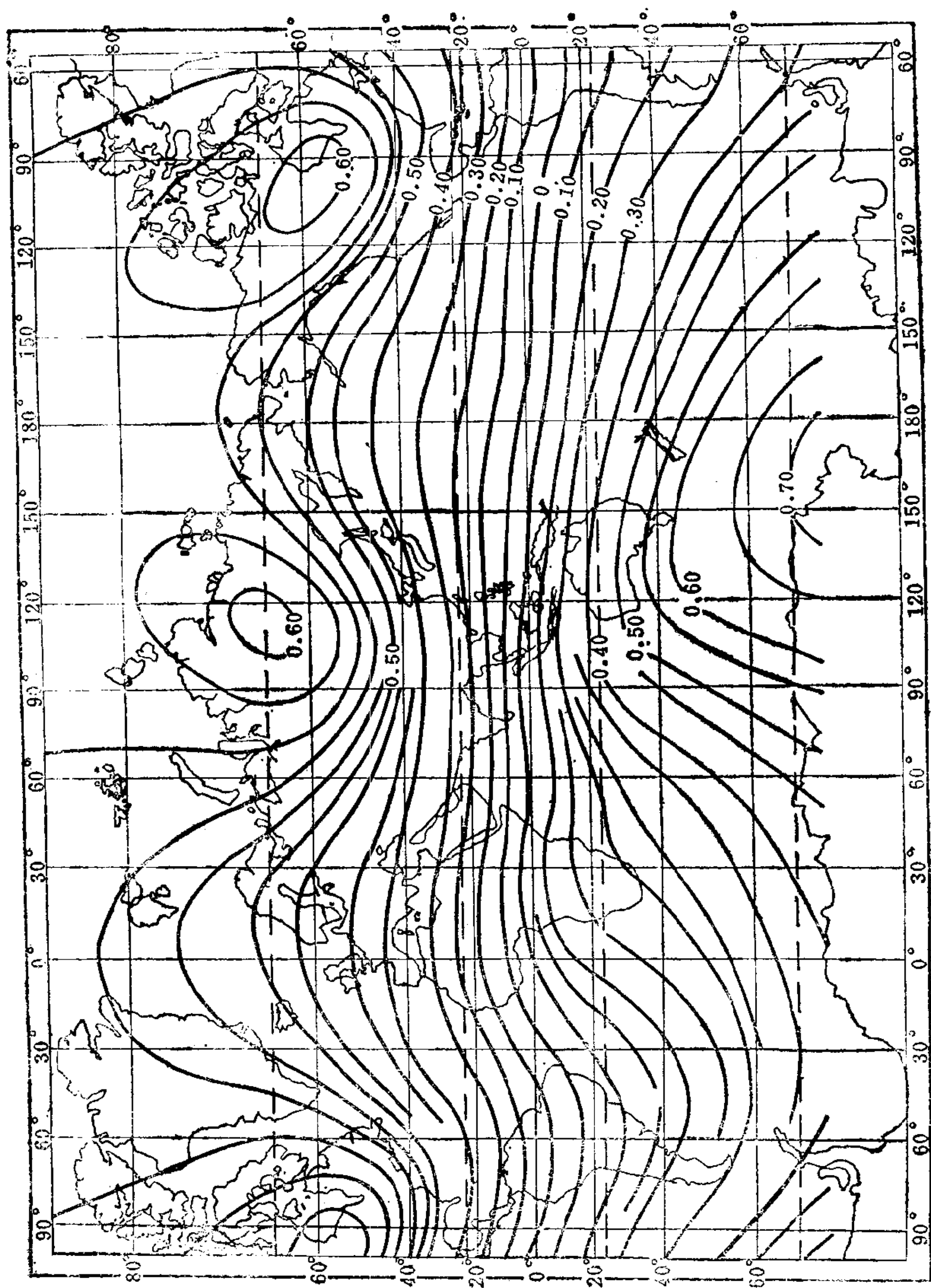


图1.3 地磁场垂直分量等强线图

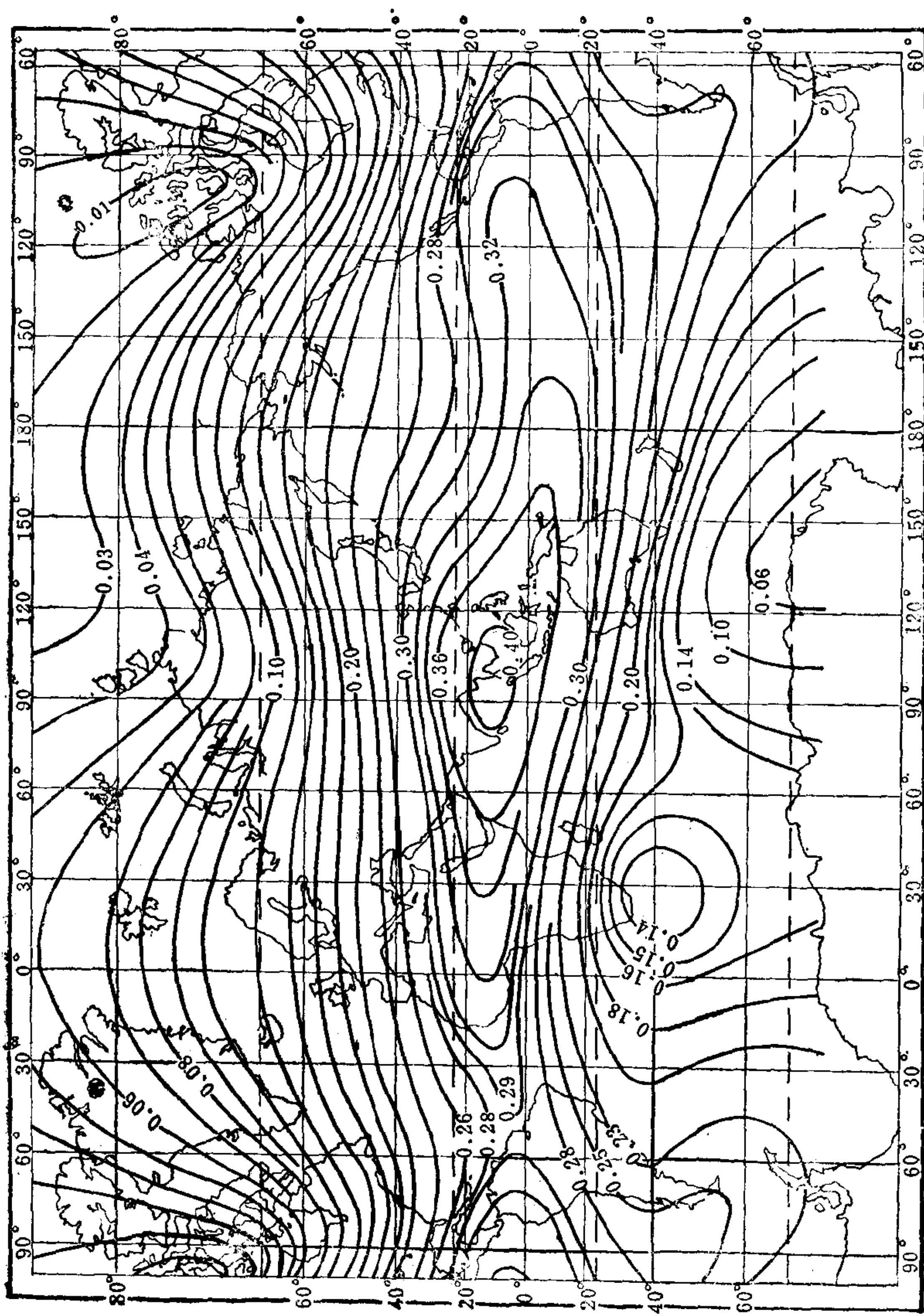


图1.4 地磁场水平分量等强线图

奇的复杂形态，这就是磁畸，或者叫做地磁异常。

实际上地球磁场 H_T 是由下列几部分磁场组成的。即地球均匀磁化所产生的部分 H'_0 ；由于地球内部各地层构造不均匀而产生的种种内在原因所引起的部分 H_m ；因地壳各表层磁化所引起的部分 H_a ；由外在原因而引起的部分 H_e 以及包括地球外来源一起算在内的变化磁场 δH ，即：

$$H_T = H'_0 + H_m + H_a + H_e + \delta H$$

H_m 所包含的是大地区范围的，通常称为大陆磁场， H_a 为地球异常磁场。

有人把所观测的地磁场归结为正常磁场 H_n 和异常磁场 H_a 两部分，则可写为：

$$H_T = H_n + H_a$$

H_n 包括均匀磁化磁场，大陆磁场及外在的各个磁场之和。即：

$$H_n = H'_0 + H_m + H_e$$

判明地磁异常的基本标准是地磁要素的梯度在一个地区内是否有显著的变化。据说在苏联的库尔斯克地区有着世界上最为显著的大面积的地磁异常状况。在那里，地磁垂直分量可达 1800 毫奥*以上（正常时最大约为 670 毫奥）。由于这些地区磁异常的影响，使得正常地磁等强线的规律性的分布遭到了显著的破坏。

这种地磁异常的存在，是由于地壳构造的不均匀性所引起的。现在可以肯定地认为：地下具有磁性的矿石（如磁铁矿 Fe_3O_4 等）是造成地磁异常的原因之一。这些矿石在地磁场中受到磁化而形成副磁场，即所谓异常磁场。

在磁性防护工作中，通常需要了解舰船活动海域及研究试验基地的地磁场及其异常数据。表 1.1 列出我国若干城市的地磁场水平分量和垂直分量的正常值。

* 毫奥为毫奥斯特的简称，1 毫奥 = 1/1000 奥斯特，在舰船消磁中常常用到。

表1.1 我国若干城市地磁场正常值 (1970年)

地 名	水平分量 (毫奥)	垂直分量 (毫奥)	地 名	水平分量 (毫奥)	垂直分量 (毫奥)
旅顺	299	433	定海	344	324
锦西	287	455	温州	354	299
营口	287	451	台北	364	257
烟台	306	418	高雄	373	225
卫海	306	416	厦门	370	251
塘沽	298	442	汕头	376	236
青岛	315	403	香港	382	220
武汉	348	343	广州	380	234
九江	351	329	海口	392	186
南京	338	356	湛江	392	186
连云港	323	389	榆林	397	156
上海	340	340	西沙	395~400	120~148
宁波	345	320	南沙	392~403	-100~-60

在舰船的消磁工作中,如建立舰船磁场测量基地、磁性处理基地及建立消磁实验基地等,都必须对地磁状况予以充分重视。因为这些设施的建立都必须在排除地磁异常的情况下才能进行。

1.1.3 地 磁 变 化

地磁各要素不是恒定的,而是随时间不断变化的。所以地磁图的绘制,必须标明制定的年代。所谓地磁变化就是地磁场强度实测数值与它在一年或一月的长时间内平均值的几何差数。

地磁变化可分为两种。即无干扰变化与干扰变化。无干扰变化很有规则,受一定规律的支配。而干扰变化是零乱的无周期的而且其变化振幅和相位都是不断改变的。

无干扰变化有明显的周期。按其周期分类可有年变化、太阳日变化、太阴日变化。

各种地磁要素的年平均值在很多年中所起的变化称为长期变化。

以太阳日(地球自转,太阳相邻两次通过地球同一经线的时间相隔24小时)为周期的变化,叫做太阳日变化。由它所引起的

地磁场分量的变化幅度不超过 1 毫奥。其变化规律是白天比黑夜强，夏季比冬季强。

以太阴日（月亮相邻两次通过地球某一经线的时间间隔 24 小时 50 分）为周期的地磁变化称为太阴日变化。它所引起的地磁场分量的变化幅度较小。最大只有 1 ~ 2 伽马（1 伽马 = 10^{-2} 毫奥 = 10^{-5} 奥斯特）。

干扰变化也称磁扰。一般磁扰，周期变化的振幅只不过几十伽马。但是有些磁扰，地磁强度变化的幅度相当大。这种磁扰称为磁暴。磁暴时，地磁场变化的振幅可达到几百伽马，甚至几千伽马。延续时间可能有几小时以至好几天。这类磁扰无论对于舰船消磁的工作，还是对于水雷引信的动作都会产生严重的影响。

§ 1.2 稳态磁场的基本规律

稳态磁场相对于观察者来说是不动的，而且不随时间变化。或者概略地说，磁场随时间的变化率足够小以致于达到在工程上可以忽略的程度，这样的磁场可以视为稳态磁场。诸如导体内恒定电流的磁场、地磁场及静止舰船的磁场等，在工程中都常作为稳态磁场来处理。

1.2.1 磁场与磁位

根据麦克斯韦第一方程的微分形式，则有

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J}_c + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

式中 $\mathbf{H}$ ——电流所产生的磁场； $\mathbf{J}_c$ ——传导电流密度； $\mathbf{D}$ ——电位移矢量； t ——时间。

在只有传导电流 $\mathbf{J}_c$ 而没有位移电流时，上述公式便成为

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J}_c$$

该方程式说明电流的磁场是有旋度的。有旋场不可能是位场。即不可能引入一个位函数 φ 以满足

$$\mathbf{H} = -\text{grad } \varphi$$

因为，如果上式成立，则有下列恒等式出现，即

$$\text{rot}(\text{grad } \varphi) = 0$$

这样就与 $\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J}$ 相矛盾。所以在有电流存在或有磁质存在的空间是不能引用位场的概念的。

然而在舰船消磁工作中，磁场的测量与分析主要在不包含电流及磁质的空间进行。这时由于 $\mathbf{J}_r = 0$ 则有

$$\text{rot } \mathbf{H} = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\oint \mathbf{H} d\mathbf{l}}{\Delta s} = 0$$

式中 $d\mathbf{l}$ 与 Δs 分别为线元与面积元。

上式表明，在不包含电流及磁质的空间里，稳态磁场具有无旋度的特征。同时表明，这时的矢量 $\mathbf{H}$ 沿任何闭合轮廓的线积分等于 0。即如图 1.5 所示，从 A 点到 B 点所取的矢量 $\mathbf{H}$ 的线积

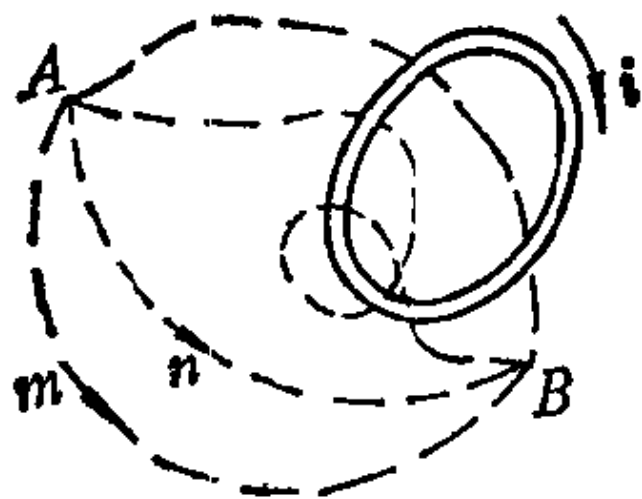


图1.5 $\mathbf{H}$ 矢量沿电流外 $AnBmA$ 的闭路积分

分与取积分所选择的途径毫不相干。而只是取决于 A 点和 B 点在该磁场内的位置，即

$$\int_{AnB} \mathbf{H} d\mathbf{l} = \int_{AmB} \mathbf{H} d\mathbf{l}$$

在这种情况下，使我们能够引用一个磁位的概念。这时便可把 $\mathbf{H}$ 写成

$$\mathbf{H} = -\text{grad } \varphi$$

物理量 φ 称为磁场的标量位。在直角坐标系中，磁场的各个分量有如下关系式