

舰船 物理场

**JIANCHUAN
WULICHANG**

(第2版)

林春生 龚沈光 著

兵器工业出版社

舰船物理场

(第2版)

林春生 龚沈光 著

兵器工业出版社

内 容 简 介

全书共4篇10章。第一篇舰船磁场及海洋环境磁场,讲述地球磁场的构成、分布规律、地球及海洋环境变化磁场的信号特征;舰船磁场的产生机理、舰船磁场信号在时域、频域的特征分析,舰船消磁原理以及舰船磁场的数学建模和磁性舰船目标定位等内容。第二篇舰船声场及海洋环境噪声场,讲述舰船声场的来源、组成,舰船辐射噪声的特性、传播规律和舰船声场换算等;海洋自然与人工干扰噪声的分类、产生机理和信号特征。第三篇舰船水压场及海洋环境水压场,讲述舰船水压场的产生机理、计算方法、特征和实验研究方法,海洋环境水压场的产生机理、计算方法及特征。第四篇其他物理场概述,介绍舰船电场产生机理、特征、实验研究方法、电场隐身技术和海洋环境电场以及舰船重力场及海洋环境重力场的基本概念。

本书可作为高等学校相关专业本科生和研究生教材,也适用于海军指挥和技术干部培训,还可作为从事水中兵器、舰船隐身等领域科研、生产和应用方面的科研技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

舰船物理场/林春生,龚沈光著. —2版. —北京:兵器
工业出版社, 2007. 10
ISBN 978-7-80172-915-6

I. 舰… II. ①林…②龚… III. 舰船—海洋物理学
IV. U661

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第126914号

出版发行:兵器工业出版社
发行电话:010-68962596, 68962591
邮 编:100089
社 址:北京市海淀区车道沟10号
经 销:各地新华书店
印 刷:北京市登峰印刷厂
版 次:2007年10月第2版第1次印刷
印 数:1—2000

责任编辑:李翠兰
封面设计:李 晖
责任校对:郭 芳
责任印制:赵春云
开 本:787×1092 1/16
印 张:18.5
字 数:447千字
定 价:58.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

舰船物理场是指舰船存在时,在其周围的空间出现的不同物理性质的场,它是由舰船产生或者由舰船运动诱导的物理场参数变化在舰船周围空间的分布。例如,磁场、声场、水压场、电场、热场、重力场、光场、宇宙射线场等。当舰船不存在时,海洋环境中已经存在有各种场(通常称为背景场或者海洋环境场),例如地磁场、自然噪声场,风浪、潮汐、海流等引起的水压场等,所以,我们直接观察到的物理场是这些背景场与舰船物理场的合成场,而舰船物理场则是这种合成场与背景场之差。因此,舰船物理场的分布空间,就是舰船存在而引起的物理性质发生了变化的空间,舰船物理场的强度则以因舰船存在而引起的周围空间该物理场参量的增量来度量。

舰船物理场是一门研究舰船的各种物理场以及相应海洋环境背景场的规律的科学。它是为了满足海军武器装备发展的需要,逐步形成和发展起来的。对舰船物理场的最早需求是水中兵器技术的发展。早在第一次世界大战末期,就出现了利用舰船磁场引爆的非触发磁性水雷。在第二次世界大战中,除了广泛使用磁性水雷外,又相继出现了利用舰船声场引爆的声引信水雷和利用舰船水压场引爆的水压引信水雷。根据舰船同时存在多种物理场,且各种物理场具有相关关系的特点,将利用各种物理场信息的水雷引信按一定逻辑关系联合或组合在一起,构成了联合引信水雷或组合引信水雷,有效提高了非触发水雷的战术技术性能以及抗扫、抗自然干扰能力。为了充分利用舰船物理场信息,进一步提高水雷引信的抗扫、抗干扰能力和目标识别等战术技术性能,需要对舰船物理场以及相应海洋环境背景场的产生机理、传播规律和信号特征进行深入了解,这也有力地促进了舰船物理场学科的迅速发展。随着水雷引信技术的发展。反水雷技术也迅速发展。为了保护航行舰艇的安全或降低触雷的危险,各国海军积极发展各种反水雷技术。如针对各种非触发引信的扫雷具技术以及舰艇消磁、消电、消声隔振等舰艇隐身技术等。反水雷技术的发展要求用人工的方法模拟产生各种舰船物理场信号用于诱爆各种引信水雷,或者降低或抵消舰船物理场信号,从而降低舰艇引爆水雷的危险。这从另一个侧面提出了对舰船物理场学科的发展需求。水雷与反水雷技术相互对抗,相互促进,推动了舰船物理场研究的不断深入。

第二次世界大战以后,世界各军事强国在大力发展尖端武器的同时,也在积极发展包括各种水中兵器在内的常规兵器。在水雷兵器方面,除继续研究利用舰船磁场、声场、水压场外,还在积极研究一些新的舰船物理场如电场、重力场等。但是,各国现役水雷的非触发引信大多数仍然利用磁、声、水压三种物理场。20世纪70年代以来,出现了装有声、磁、水压三种引信并利用微机进行控制运算的组合引信,工作制度可任意组合,具有较强的抗扫雷、抗干扰、目标识别和爆炸点控制功能,且在硬件不变的前提下,通过修改软件可在一定范围内改进引信性能。这为开发利用这三种物理场提供了有效手段。可以预期,随着微电子技术和信息处理技术的发展,必然会出现性能更加完善可靠的水雷智能引信。

本书是海军水中兵器类专业的专业基础课《舰船物理场》的教材，适应教学大纲 50 学时，全书约为 450 千字，平均 9 千字/学时。也可作为从事水中兵器、舰船隐身等领域科研、生产和应用的科研技术人员的参考用书。

本书的先修课程包括数理方程、水声学、流体力学、信号分析等。

本书共 4 篇 10 章、两个附录。第一篇舰船磁场及海洋环境磁场，包括第 1 章、第 2 章、第 3 章和第 4 章：第 1 章讲述地球磁场的构成、分布规律、地球及海洋环境变化磁场的信号特征等。地球磁场是舰船磁场的主要来源，舰船在地磁场中磁化产生舰船磁场，而变化磁场则直接构成了对各种磁探设备的直接干扰。第 2 章讲述舰船磁场的产生机理、舰船磁场信号在时域、频域的特征分析，舰船消磁原理等内容。第 3 章讲述舰船磁场的数学建模方法，内容包括舰船磁场的拉普拉斯边值问题、舰船磁场的旋转椭球体模型、舰船磁场的旋转椭球体与磁偶极子阵列混合模型等。第 4 章讲述磁性舰船目标定位技术。第二篇舰船声场及海洋环境噪声场，包括第 5 章和第 6 章：第 5 章讲述舰船声场的来源、组成，舰船辐射噪声的特性、传播规律和舰船声场换算等。第 6 章讲述海洋自然与人工干扰噪声的来源、产生机理和信号特征。第三篇舰船水压场及海洋环境水压场，包括第 7 章和第 8 章：第 7 章讲述舰船水压场的计算方法、特性和实验研究方法。第 8 章讲述海洋环境水压场的成因、计算方法及特性等。第四篇其他物理场概述，包括第 9 章和第 10 章：第 9 章讲述舰船电场、海洋环境电场产生机理及信号特征。第 10 章讲述舰船重力场及海洋环境重力场的基本概念。附录 A 讲述均匀磁化旋转椭球体磁场的计算方法；附录 B 讲述用逐步回归方法求解舰船磁偶极子阵列模型。

本书是在兵器工业出版社 1992 年 4 月出版的《舰船物理场》一书基础上，结合作者多年从事舰船物理场教学与科研的经验编写而成的，书中收入了舰船物理场学科近 10 多年来的科研成果。

本书第一、第二篇由林春生撰写，第三、第四篇由龚沈光撰写。中国船舶重工集团第 710 研究所杨昌茂研究员审阅了本书第一篇和附录，海军工程大学程锦房教授审阅了第二、第四篇，710 研究所郝力勤研究员审阅了第三、第四篇，他们对书稿进行了认真的审阅并提出了许多宝贵意见，在此谨向他们表示衷心的感谢。

限于作者的业务水平和认识局限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

作者

目 录

第一篇 舰船磁场及海洋环境磁场

1 地球磁场及海洋环境磁场	3
1.1 地磁场的构成	3
1.2 地磁要素	4
1.3 地磁图	5
1.4 变化磁场	12
1.5 电磁感应和电导率异常	22
思考题	24
参考文献	24
2 舰船磁场分析	25
2.1 铁磁性物体的磁化	25
2.2 舰船在地磁场中的磁化	30
2.3 舰船磁场构成	31
2.4 舰船磁场信号分析	37
2.5 舰船磁场矢量特征分析	39
2.6 舰船磁场信号的矩特征	43
2.7 舰船消磁概述	45
思考题	49
参考文献	50
3 舰船磁场建模与计算	51
3.1 舰船磁场的拉普拉斯方程边值问题	51
3.2 舰船磁场的均匀磁化旋转椭球体模型	54
3.3 舰船磁场的旋转椭球体与磁偶极子混合阵列模型	56
思考题	61
参考文献	62
4 舰船磁性定位	63
4.1 舰船磁性定位简介	63
4.2 舰船磁性定位原理	64
4.3 舰船磁性定位的数学模型	64
4.4 舰船磁性定位问题的解	67
4.5 舰船磁性定位计算举例	69

4.6 舰船磁性定位技术的性能分析	74
思考题	74
参考文献	74

第二篇 舰船声场及海洋环境噪声场

5 舰船声场	77
5.1 概述	77
5.2 舰船声场的来源和组成	79
5.3 舰船辐射噪声的特性和谱级	91
5.4 舰船辐射噪声的换算和计算	107
思考题	110
参考文献	110
6 海洋环境噪声场	111
6.1 概述	111
6.2 水动力噪声和热噪声	117
6.3 冰下噪声	125
6.4 生物噪声	126
6.5 地震噪声	129
6.6 工业噪声	131
6.7 水中爆炸噪声	134
思考题	139
参考文献	139

第三篇 舰船水压场及海洋环境水压场

7 舰船水压场	143
7.1 以中线面上的源汇代换舰船时, 舰船水压场的计算	143
7.2 考虑舰船横剖面面积实际分布时, 舰船水压场计算	158
7.3 舰船水压场特性分析	166
7.4 舰船水压场的实验研究	175
思考题	179
参考文献	180
8 海洋环境水压场	181
8.1 进行波水压场	181
8.2 海浪水压场	189
8.3 潮汐水压场	207
8.4 水流水压场	217
8.5 其他自然因素产生的海洋环境水压场简介	222
思考题	228
参考文献	229

第四篇 其他物理场概述

9 舰船电场及海洋环境电场	233
9.1 舰船电场	233
9.2 舰船电场隐身技术	246
9.3 海洋环境电场	249
思考题	256
参考文献	256
10 舰船重力场及海洋环境重力场	257
10.1 重力场的含义和舰船重力场	257
10.2 海洋自然环境重力场	260
参考文献	262
附录 A 均匀磁化旋转椭球体磁场计算	263
A.1 正交曲线坐标系中的拉普拉斯方程	263
A.2 旋转椭球坐标系中的拉普拉斯方程	265
A.3 旋转椭球体的磁场计算	266
附录 B 用逐步回归方法求解磁偶极子阵列模型	274
B.1 直接回归法的局限性	274
B.2 逐步回归方法的基本原理	275
B.3 逐步回归方法的具体步骤	278

第一篇 舰船磁场及海洋环境磁场

现代舰船的船体和上层建筑以及各种武器装备一般均由钢铁制成。即使是采用非磁性材料（如铝、木材或玻璃钢等）制造船体的现代化扫雷舰艇及其他特殊用途的小型舰艇也仍需要钢铁或低磁钢制造各种武器装备。这些由钢铁或其他磁性材料制成的物体在地磁场中都要被磁化，产生舰船磁场。所谓舰船磁场，就是由于舰船的出现所造成的舰船周围空间磁场的变化量。

一般舰船尽管采取了现代化的消磁措施，但在其周围仍然存在一定强度的舰船磁场，而且其区域性较好，因而直到现在，利用舰船磁场的作用而动作的水雷磁引信仍然是水雷非触发引信中使用最普遍的类型之一。水雷磁引信按其所利用的物理场信号的形式划分，主要有下列三种。

①磁场引信：以舰船磁感应强度作为工作信号源的水雷引信。

②磁感应引信：以舰船磁感应强度随时间的变化率作为工作信号源的水雷引信。

③磁场梯度引信：以舰船磁感应强度的空间梯度作为工作信号源的水雷引信。

目前，新研制的水雷普遍使用磁场引信。而磁感应引信由于信号处理简单，曾经是使用最普遍的引信类型。20世纪70年代以前研制的水雷大多使用磁感应引信。磁场梯度引信的作用距离一般较近，可用于小型水雷上。

水雷所在的海域，除了不时出现的舰船磁场外，还始终存在着环境磁场，它主要包括地磁场、海水运动引起的磁场和地震、火山爆发等引起的磁场。环境磁场对于舰船磁场来说是一种背景干扰场。水雷磁引信必须区别舰船磁场和环境磁场才能正常工作。为此，应合理地选择引信的动作参数和拟定引信的工作制度。显然，缺乏对舰船磁场和环境磁场规律性的了解无法做到这一点。

为了与装有磁引信的非触发水雷作斗争，除了舰船本身采取消磁措施以外，还可以采取猎雷和扫雷两种手段。尽管猎雷技术具有独特的优点而且发展很快，但因种种条件的限制，到目前为止，用电磁扫雷具扫除水雷仍是一种主要的反水雷手段。对于扫雷技术人员来说，深入了解舰船磁场和环境磁场，是掌握水雷磁引信的性能特点，正确设计电磁扫雷具的必由之路。

本篇包括地球磁场和海洋环境磁场，舰船磁场产生机理与信号分析，舰船磁场建模与计算等内容。



1 地球磁场及海洋环境磁场

1.1 地磁场的构成^[1]

地球具有的磁场称为地磁场。地磁场近似于一个置于地心的偶极子的磁场。这是地磁场的最基本的特性。这个偶极子的磁轴 N_m , S_m 和地轴 N , S 斜交一个角度 θ_0 , $\theta_0 \approx 11.5^\circ$ 。图 1.1 是地心偶极子磁场的磁力线的分布情况。在地理北极 N 附近的磁极 N_m 称为地磁北极, 在地理南极 S 附近的磁极 S_m 称为地磁南极。 N_m 和 S_m 就是磁轴与地面的两个交点。应当指出, 地磁北极 N_m 与地磁南极 S_m 是按地理位置来说的。按照磁性来说, 偶极子的正极 n 与负极 s 应分别对应于地磁南极 S_m 与地磁北极 N_m 。图 1.1 中用箭头表示出偶极子的磁距方向。

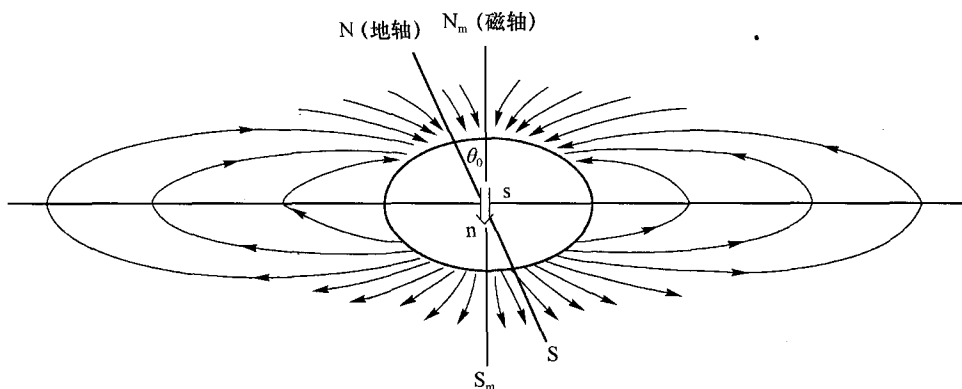


图 1.1 地心偶极子磁场

地磁场在地面上的平均磁感应强度约为 $0.5 \times 10^{-4} \text{T}$ (特斯拉)。在地磁学中, 通常采用 nT (纳特斯拉, 简称纳特) 为单位, $1 \text{nT} = 10^{-9} \text{T}$ ①。

地磁场是由各种不同来源的磁场叠加构成的。按其性质, 可把地磁场 B_T 区分为两大部分: 一部分是主要来源于地球内部的稳定磁场 B_S , 另一部分是主要起源于地球外部的变化磁场 ΔB_T , 即

$$B_T = B_S + \Delta B_T$$

变化磁场比稳定磁场弱得多。一般情况下, 变化磁场的幅度不超过地球磁感应强度的 1%, 最大的变化磁场也只有地球磁感应强度的 2% ~ 4%。因此, 稳定磁场是地磁场的主要部分。

① 在高斯制中, 磁感应强度的单位是高斯(Gs), $1 \text{Gs} = 10^{-4} \text{T}$, 过去在地磁学中以 γ 为单位 $1\gamma = 10^{-5} \text{Gs}$, 故 $1 \text{nT} = 1\gamma$

根据地球磁场的产生机理，可以把稳定磁场和变化磁场划分为起源于地球内部和地球外部两部分：

$$B_s = B_i + B_e$$
$$\Delta B_s = \Delta B_i + \Delta B_e$$

其中 B_i 是起源于地球内部的稳定磁场，称为地磁场的内源场，占地球稳定磁场磁感应强度的 99% 以上。 B_e 是起源于地球外部的稳定磁场，称为地磁场的外源场，只占地球稳定磁场磁感应强度 1% 以下。由此可见，地球的稳定磁场主要是起源于地球内部。

ΔB_i 是变化磁场的内源场，约占变化磁场的 1/3； ΔB_e 是变化磁场的外源场，约占变化磁场的 2/3。外源变化磁场起源于地球外部的各种电流体系。这种外部电流体系的磁场还会在具有导电性质的地球内部感应出一个内部电流体系，后者就是产生内源变化磁场的原因。内源变化磁场只是外源变化磁场的感应磁场，因此，变化磁场的根本起源是地球外部的各种电流体系。

内源稳定磁场是地球磁场的主要部分。为了使用方便，经常把内源稳定磁场 B_i 表示成地心偶极子磁场 B_0 、非偶极子磁场 B_m 和异常磁场 B_a 三个组成部分。

$$B_i = B_0 + B_m + B_a$$

地心偶极子磁场是一个等效场，它是在以一个轴线与地磁轴重叠的磁偶极子来近似描述地球磁场时，用数学方法求出的最佳拟合磁场。一般认为，地核（外核）物质的对流运动所形成的涡流电流是地心偶极子磁场的成因。

精确的地磁测量表明，各个地磁要素在地面上的分布，在相当广的地域内并不符合地心偶极子磁场的分布规律，二者之间存在较为显著的差异。从世界正常磁场地磁图中减去按地心偶极子磁场计算出来的地面各点磁场数值，这种差值即为非偶极子磁场，也称为大陆磁场、大陆磁异常或剩余磁场。非偶极子磁场的成因还不很清楚。一般认为，在地核和地幔边界附近可能存在着物质的对流运动，并形成涡流电流，从而产生非偶极子磁场。人造地球卫星高空磁测结果表明，非偶极子磁场随高度的增加衰减得很慢，这是非偶极子磁场可能起源于地球深部的一个依据。

异常磁场是地壳岩层不连续物质的磁化所产生的磁场差异，一般与地壳岩层分布的各种矿藏物质（如铁矿、石油）、人造工程（如古墓、地下工程）和工业设施有关。异常磁场的分布范围一般较小，为几平方千米到几百平方千米，磁场梯度较大。

偶极子磁场和非偶极子磁场是地磁场的主要部分，二者的起源很可能密切相关，在地磁学中习惯于把二者之和称为地球的基本磁场 B_n ，即

$$B_n = B_0 + B_m$$

地球的基本磁场起源于地球内部，是地球磁场的主要成分，是一种相对稳定的磁场，随时间变化极为缓慢，变化幅度较小，为了与短周期的地球变化磁场相区别，一般称其为地磁场的长期变化。地球的变化磁场则是起源于地球外部、并叠加在基本磁场之上的各种短周期的地磁场变化。变化磁场并不总是存在的，在不同时间、不同地点，地球变化磁场的大小和形态各不相同。

1.2 地磁要素

地磁场是矢量，一般用三维坐标系来描述，用于表示地磁矢量的坐标量称为地磁要素。

常用的坐标系有直角坐标系、球坐标系和柱坐标系三种。

1.2.1 直角坐标系 (X, Y, Z)

在图 1.2 中, O 点是观测点, xyz 是以 O 为原点的直角坐标系。其中, x 轴指北 与地理子午线 (地理经度线) 同向, 以向北为正; y 轴指东, 与纬度圈同向, 以向东为正; z 轴垂直于地平面而指向地心, 以向下为正。 xOy 平面就是地平面或水平面。

用 B 表示 O 点地球磁场的磁感应强度矢量, 其模 B 称为地磁场的磁感应强度。 B 在 x 、 y 与 z 轴上的投影 X 、 Y 与 Z 分别称为磁感应强度的北向分量、东向分量和垂直分量。

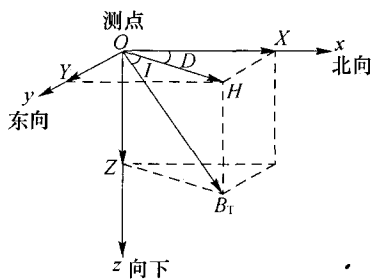


图 1.2 地磁要素

1.2.2 柱坐标系 (H, D, Z)

B 在水平面上的投影 H 称为地磁场的水平磁感应强度或水平分量。水平分量是一个只有大小、没有正负的量。 B 在水平面上的投影与地理北方向的夹角 D 称为磁偏角。磁偏角也就是磁子午面与地理子午面的夹角。按照规定, D 向东偏为正, 向西偏为负。垂直分量 Z 的约定与直角坐标系相同。

1.2.3 球坐标系 (B, I, D)

B 是磁感应矢量 B 的模, B 与水平面的夹角 I 称为磁倾角。按照规定, B 下倾时 I 为正, 上仰时 I 为负。在北半球大部分地区磁倾角 I 为正。磁偏角 D 的约定与柱坐标系相同。

上列的 I 、 D 、 H 、 X 、 Y 、 Z 、 B 七个物理量都叫做地磁要素, 它们之间有如下关系:

$$B = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad H = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad \tan D = \frac{Y}{X} \quad \tan I = \frac{Z}{H}$$

要想确定地面上一点的地磁场的强度与方向, 至少要测出任意三个彼此独立的地磁要素, 称为地磁三要素。

1.3 地磁图

为了定量描述地磁场的分布规律, 一般将地磁要素绘成等值线图, 也就是在地图上将某种地磁要素在同一参考时刻具有相同数值的各点连成的曲线所形成的图。例如, 将磁偏角数值相同的各点连起来的曲线就是等偏线图。其他则有等倾线图、水平强度等值线图及垂直强度等值线图等。这种地磁图可以把整个地球或个别区域的地磁场的数值和特征清晰地显示出来。

地磁要素是随时间变化的, 因而必须把观测数值都换算到某一特定日期, 这种步骤叫做通化。世界地磁图通常每 5 年画一次, 日期一般选在某一年的 1 月 1 日, 也有选在某一年的 7 月 1 日的。前者称为某一年零年地磁图, 后者称为某一年地磁图或某一年代地磁图。例如 1980.0 年地磁图就要求把所有地磁要素的数值都通化为 1980 年 1 月 1 日 0 时 0 分的数值。

1.3.1 世界地磁图

世界地磁图表示了地球表面各地磁要素的分布情况。图 1.3 ~ 图 1.7 分别是 1980.0 年的等偏线图、等倾线图、水平强度等值线图、垂直强度等值线图及总强度等值线图。

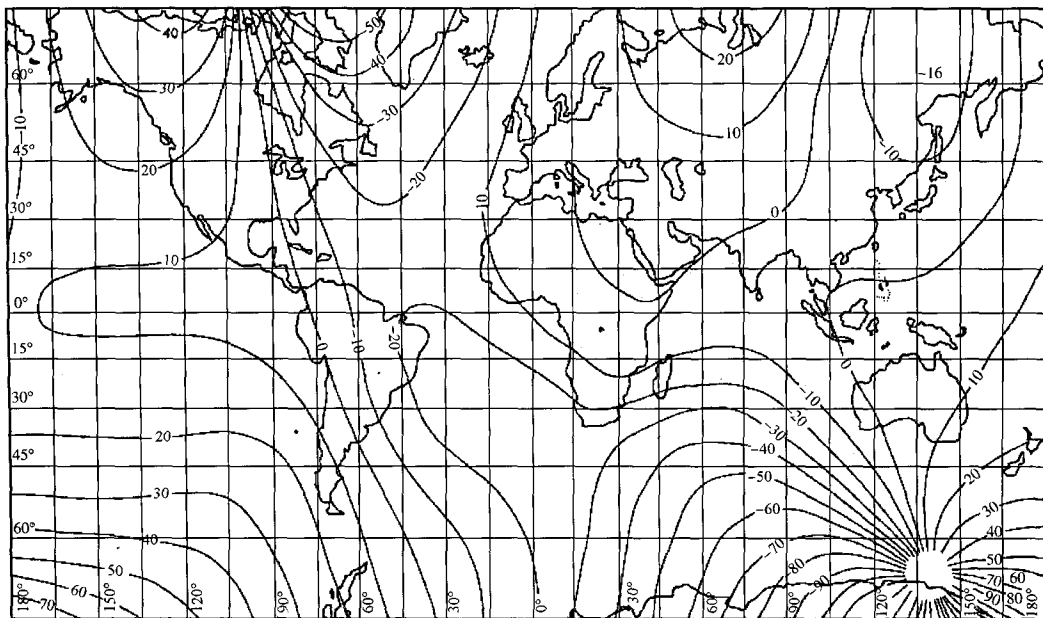


图 1.3 地磁场偏角等值线图 (1980.0 年) 单位为 ($^{\circ}$)

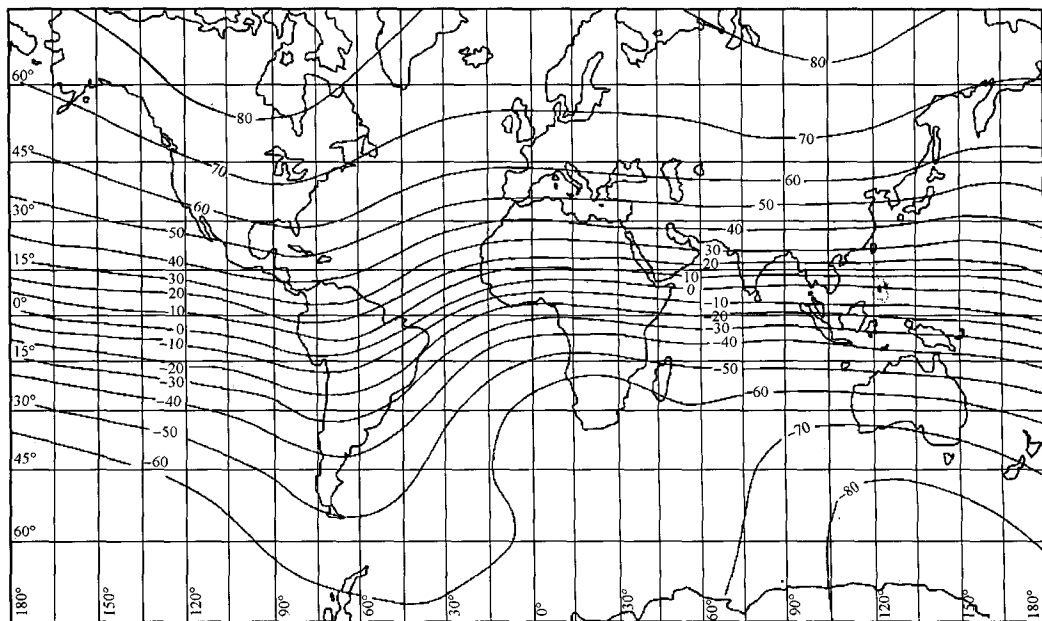


图 1.4 世界地磁场倾角等值线图 (1980.0 年) 单位为 ($^{\circ}$)

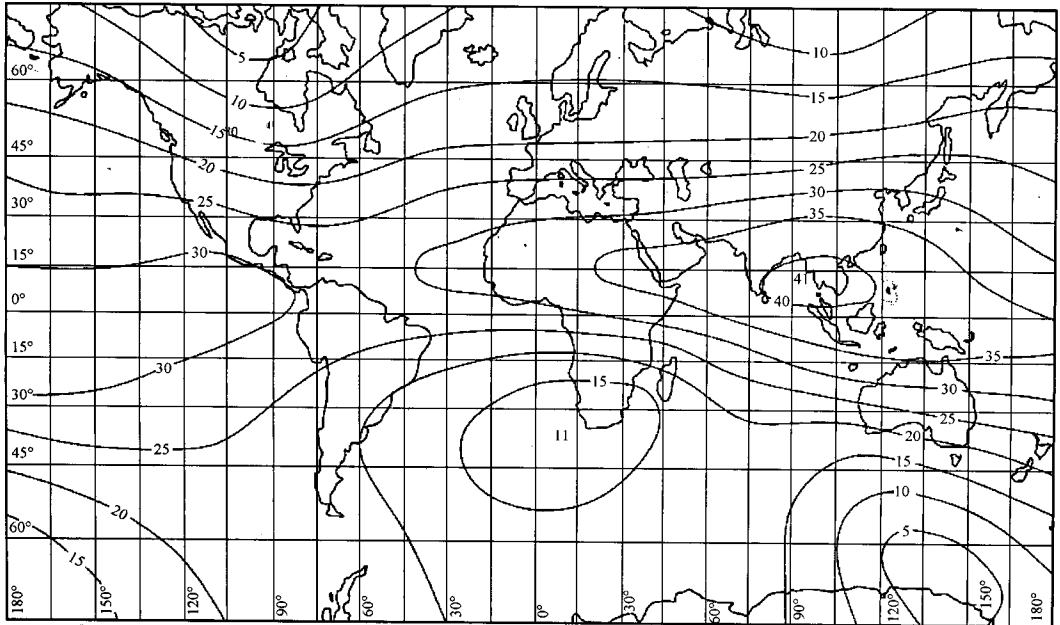


图 1.5 世界地磁场水平强度等值线图 (1980.0 年) 单位: μT

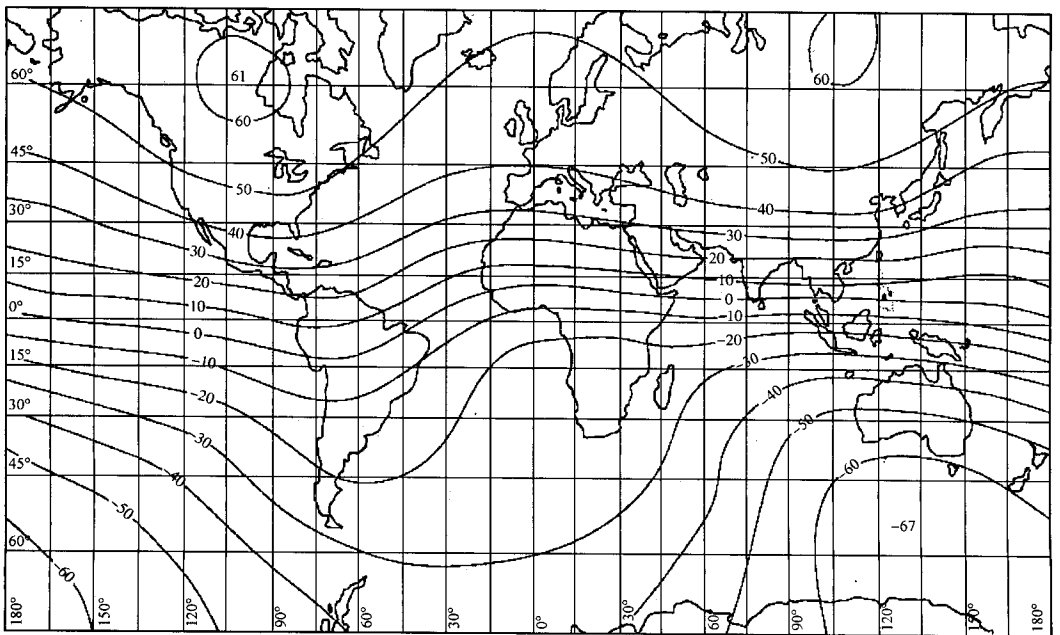


图 1.6 世界地磁场垂直强度等值线图 (1980.0 年) 单位: μT

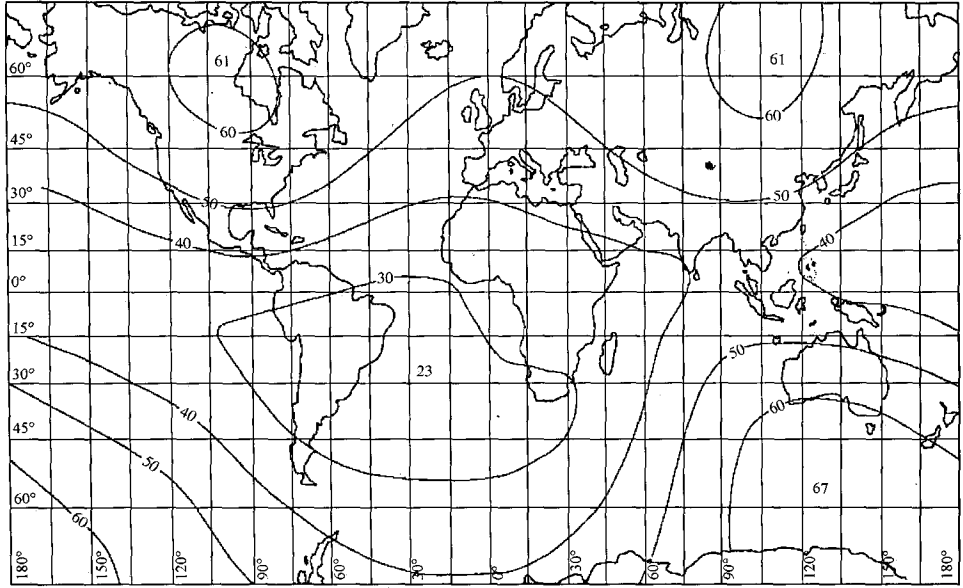


图 1.7 世界地磁场总强度等值线图 (1980.0 年) 单位为 ($^{\circ}$)

等偏线是从一点出发汇聚于另一点的曲线簇。有两条 $D=0^{\circ}$ 的零偏线，把磁偏角分为正负两个区域。等偏线在南北两半球上汇聚于四个点，两个点是磁极，两个点是地极。

等倾线是大致沿纬度分布的一系列平行曲线，分布均匀而规则。零值等倾线称为磁赤道或倾角磁赤道。由赤道至两极，倾角由 0° 逐渐增到 $\pm 90^{\circ}$ 。磁极就是倾角 $I = \pm 90^{\circ}$ 的两点。

水平强度等值线大致是沿地理纬度排列的曲线簇。从北磁极到南磁极，其数值先由零逐渐增到最大，再逐渐减小到零。最大值在赤道附近，但在不同的子午线上最大值不尽相同，其中最大的值为 $0.4 \times 10^{-4} \text{ T}$ ，在巽他群岛附近。

垂直强度等值线也是大致沿纬度排列的曲线簇。在南北两极处数值最大，约为 $(0.6 \sim 0.7) \times 10^{-4} \text{ T}$ ，而在赤道附近为零。

从世界地磁图上可见，各个地磁要素的等值线分布是不均匀的，甚至在某些地区形成封闭的曲线。这正说明了非偶极子磁场的存在。

不仅地磁要素的量值随时间变化，而且南北磁极的位置也随时间变化。表 1.1 列出了由不同年代的观测结果推算出来的磁极位置。

表 1.1 各年代的磁极位置

年 代	北磁极		南磁极	
	北纬	西经	南纬	东经
1600	78°42'	59°00'	81°16'	169°30'
1700	75°51'	68°48'	77°12'	150°15'
1829	73°21'	93°56'	72°40'	150°45'
1900	69°18'	96°37'		
1950	72°	96°	70°	150°
1960	74°54'	101°00'	67°06'	142°42'
1970	76°12'	101°00'	66°00'	139°06'
1980	78°12'	102°54'	65°36'	139°24'

1.3.2 中国地磁图

解放后，在全国各地设立了一定数量的地磁基准观测台与野外观测点，并成立了航空地球磁场测量机构。该机构把观测结果汇聚在一起，绘制成相应年代的地磁图。图 1.8 ~ 图 1.12 是我国 1970.0 年的地磁图。从图上可看出各地磁要素的分布特点：

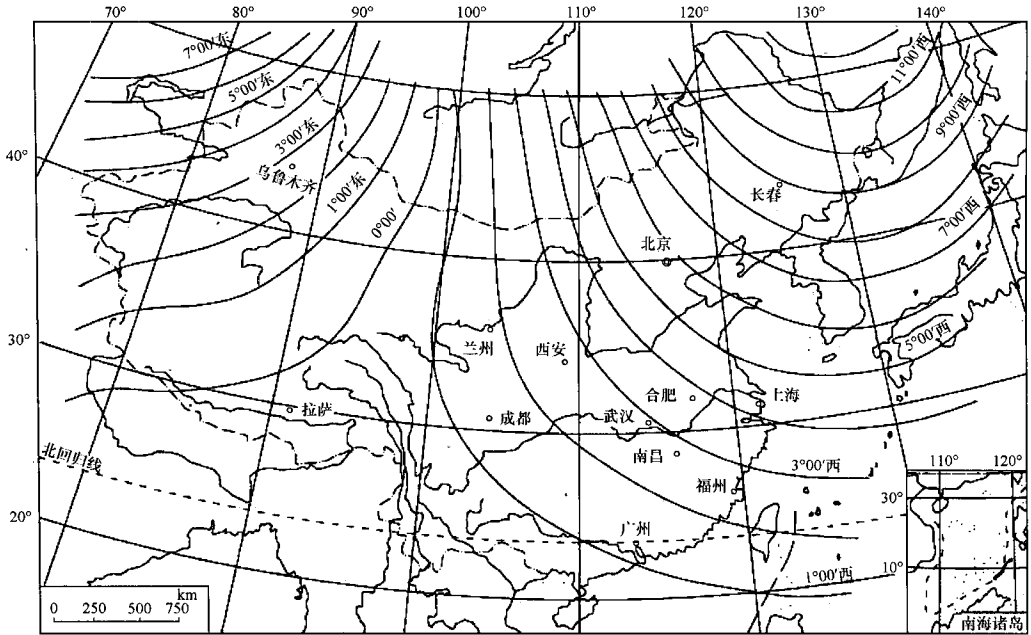


图 1.8 中国地磁场偏角等值线图 (1970.0 年)

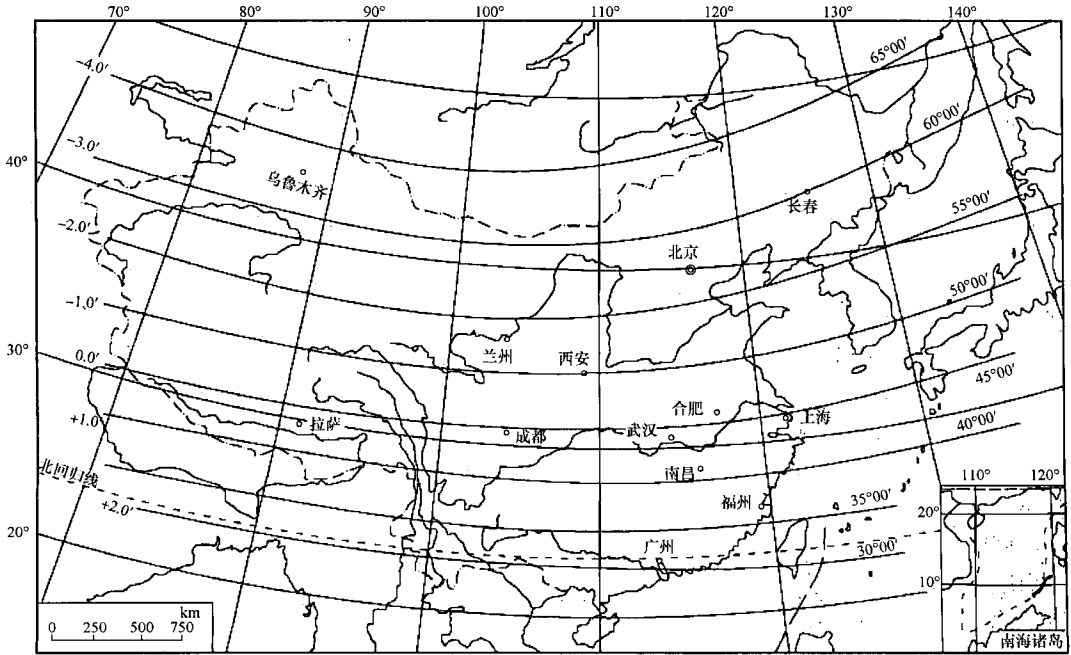


图 1.9 中国地磁场倾角等值线图 (1970.0 年)