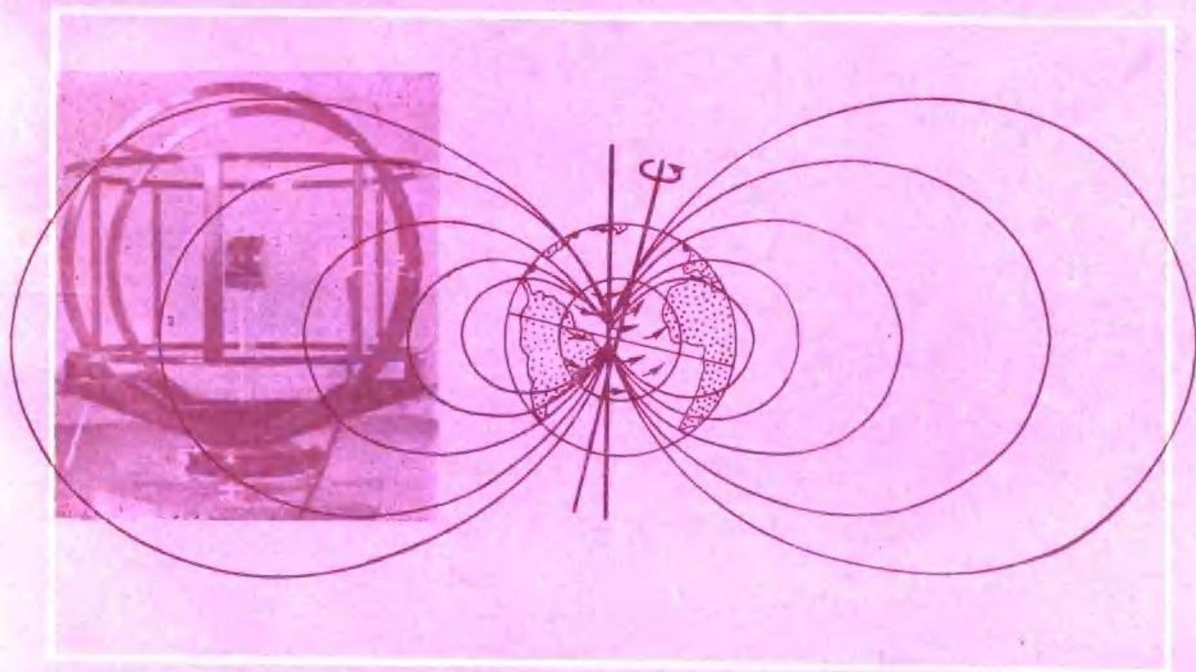


高等学校教材

磁法勘探教程

谭承泽 郭绍雍 主编



地质出版社

P671.2

高等学校教材

磁法勘探教程

谭承泽 主编
郭绍雍

地质出版社



内 容 提 要

全书共分八章，系统而又简明地介绍了地球的磁场、岩（矿）石的磁性、磁力仪、野外工作方法、磁性体磁场的正反演理论、磁异常的处理和转换以及磁测资料的地质解释等内容。

本教程与原有教程相比，在篇幅、内容和体系等方面都有较大的调整、删改和补充，重点介绍“三基”内容，使其更符合当前的教学需要。

本教程是金属物探专业学生的通用教材，也可供放射物探、石油物探专业的学生、地质学校教师 和 物 探工作者参考。

本书由申宁华主审，经地质矿产部磁法教材编审委员会1983年5月北京会议审定，同意作为高等学校教材出版。

高 等 学 校 教 材 磁 法 勘 探 教 程

谭承泽 主编

郭绍雍

责任编辑 严尧基

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：19³/₄ 字数：462,000
1984年11月北京第一版·1984年11月北京第一次印刷
印数：1—4,944册 定价：3.15 元
统一书号：13038·教 172

前 言

本教程是根据地质矿产部教育司一九八一年在武汉审订的金属物探专业“磁法勘探教学大纲”的要求，在原有两本教材的基础上，根据教学实践并参阅了近几年国外同类教材而改编的。

在本教程改编过程中力求注意以下几点：

1. 专业要求和少而精的原则。教程由原教材的七十万字，经删改和补充，编写成为四十五万字左右。

2. 突出“三基”内容。教程舍弃了那些与其它课程明显重复和尚不成熟的内容；对某些尚在发展中且教学难度大或不宜写入书本中的扩展内容，本书中仅介绍某些基本概念及原理，其它深化内容纳入教学参考书内。

3. 由教学实际出发。凡是在实验、教学实习中学生易于结合实际掌握的内容，本书尽量从简介绍；学生可通过作业、习题掌握的内容也作了删节，如磁性体磁场中的点极场等。

4. 适当地以新资料 and 新的有用成果充实教程内容。

5. 为使学生对磁测资料地质解释有系统的了解，本教程将磁法的地质应用一章，改写为磁测资料地质解释。

书中打星号(*)的内容供参考，一般可不讲授。本书按120学时讲授使用。

本书由谭承泽(绪论、一、二章)、郭绍雍(五、八章)、董学斌(三、四章，七章部分)、朱文孝(六章、七章部分)编写。全部书稿最后由谭承泽、郭绍雍修改统编，由申宁华主审。图件由武汉地质学院、武汉地质学院北京研究生部、长春地质学院、成都地质学院绘图室清绘。在编写过程中，教材编审委员曾提了宝贵的修改意见，在此，向对这本教材的编写和出版给予支持和帮助的所有单位和个人，表示衷心感谢。

由于我们经验不足，业务水平有限，编写和统编时间短促，书中的缺点和错误难免，欢迎读者批评指正。

编者

1983年9月

目 录

绪 论	1
第一章 地球的磁场	3
§ 1.1 地磁要素及其分布特征	3
1.1.1 地磁要素	3
1.1.2 地磁图	4
§ 1.2 基本磁场及磁异常	9
1.2.1 地磁场的解析表示	9
1.2.2 地磁场的构成及起源	15
1.2.3 正常磁场和磁异常	16
§ 1.3 变化磁场	17
1.3.1 地磁场的长期变化	17
1.3.2 地磁场的短期变化	18
〔附录〕磁学单位的 CGSM 制与 SI 制对照表	21
第二章 岩石的磁性	22
§ 2.1 物质磁性及其表示的物理量	22
2.1.1 物质的磁性	22
2.1.2 表示岩、矿石磁性的物理量	27
§ 2.2 岩石的磁性	27
2.2.1 矿物的磁性	27
2.2.2 各类岩石磁性的一般规律	28
§ 2.3 岩石的剩余磁性	30
2.3.1 岩石剩余磁性的类型	30
2.3.2 岩石剩余磁性的成因	31
2.3.3 岩石的反转磁化	32
2.3.4 研究岩石剩余磁性的意义	33
§ 2.4 影响岩、矿石磁性的因素	34
2.4.1 岩石磁性与磁性矿物的关系	34
2.4.2 岩石磁性与磁化场和温度的关系	36
2.4.3 影响岩、矿石磁性的其它因素	37
§ 2.5 物体磁化的消磁作用	39
2.5.1 消磁作用和视磁化率	39
2.5.2 几种规则形体的消磁系数	40
2.5.3 消磁作用对 J_r 方向的影响	45
2.5.4 消磁与剩磁的关系	46
第三章 磁力仪	47
§ 3.1 概述	47

3.1.1 磁力仪的绝对测量和相对测量	47
3.1.2 对磁力仪性能的要求	48
§ 3.2 机械式磁力仪	48
3.2.1 悬丝式垂直磁力仪	48
3.2.2 悬丝式水平磁力仪	56
3.2.3 刃口式垂直磁力仪	58
§ 3.3 磁通门磁力仪	59
3.3.1 坡莫合金的磁化特点及磁灵敏元件的磁化现象	59
3.3.2 偶次谐波法观测磁场的原理	60
3.3.3 地面磁通门磁力仪的工作原理	62
3.3.4 航空磁通门磁力仪	63
§ 3.4 质子旋进式磁力仪	64
3.4.1 质子旋进现象	64
3.4.2 地面质子旋进磁力仪	65
3.4.3 海空质子旋进磁力仪	66
§ 3.5 光泵磁力仪和超导磁力仪	67
3.5.1 塞曼分裂、能级跃迁和光泵作用	67
3.5.2 跟踪式光泵磁力仪原理	69
3.5.3 自激式光泵磁力仪原理	70
*3.5.4 超导磁力仪简介	70
§ 3.6 测定岩(矿)石磁参数的磁力仪	72
3.6.1 无定向磁力仪	72
3.6.2 旋转磁力仪	73
3.6.3 磁化率仪	74
第四章 磁测工作方法	76
§ 4.1 测网、比例尺及磁测精度	76
4.1.1 测网和磁测比例尺	76
4.1.2 磁测精度	78
§ 4.2 地面磁测	81
4.2.1 野外观测	81
4.2.2 磁测数据的整理计算	82
4.2.3 磁异常图的绘制	85
§ 4.3 航空磁测工作方法和海洋磁测简介	87
4.3.1 比例尺、飞行高度和磁测精度	87
4.3.2 磁补偿和偏向飞行	87
4.3.3 测量飞行	88
4.3.4 航空磁测资料的整理和成图	88
4.3.5 航磁异常的地面查证	88
4.3.6 海洋磁测简介	89
§ 4.4 岩(矿)石磁性的测定和磁性参数的统计	89
4.4.1 岩(矿)石标本的采集	89
4.4.2 磁秤法测定标本的磁性	90

4.4.3 磁性参数的统计整理和图示	93
第五章 磁性体的磁场	97
§ 5.1 计算磁性体磁场的意义和条件	97
§ 5.2 计算磁性体磁场的基本公式	98
5.2.1 磁性体的磁位和磁场强度的积分公式	98
5.2.2 重磁位场的泊松公式	100
5.2.3 磁场各分量间的互算关系式	101
5.2.4 磁化强度矢量 J 与 J_s	103
§ 5.3 球体的磁场	104
5.3.1 球体的磁场表达式	104
5.3.2 球体磁场表达式的分析	106
5.3.3 球体磁场特征的分析	108
§ 5.4 板状体的磁场	112
5.4.1 磁荷面的磁场表达式	112
5.4.2 走向无限、延深有限厚板状体的磁场表达式	114
5.4.3 走向无限、延深无限厚板状体的磁场	116
5.4.4 走向无限、延深无限薄板状体的磁场	118
5.4.5 水平薄板状体的磁场	121
§ 5.5 水平圆柱体的磁场	122
5.5.1 无限长水平圆柱体的磁场	122
5.5.2 有限长水平圆柱体的磁场	124
§ 5.6 其它形状磁性体的磁场	127
5.6.1 台阶的磁场	127
5.6.2 背斜的磁场	129
5.6.3 长方体的磁场	130
§ 5.7 二度体磁异常的通式	132
5.7.1 任意磁化与沿坐标轴向磁化的磁场关系式	132
5.7.2 任意磁化与顺层磁化的磁场关系式	135
5.7.3 二度体磁异常的通式及其分析	136
§ 5.8 复杂条件下磁性体磁场的计算	139
5.8.1 任意截面二度体磁场的计算	139
5.8.2 任意三度体磁场的计算方法	144
5.8.3 非均匀磁化磁性体磁场的计算	145
§ 5.9 磁性体与其磁场对应关系的主要特点	146
5.9.1 磁性体与其磁场平面分布的对应关系	146
5.9.2 磁性体与其磁场的剖面对应关系	146
5.9.3 磁性体与其磁场空间等直线的对应关系	148
第六章 磁性体磁场的反演方法	149
§ 6.1 概述	149
6.1.1 磁性体磁场反演的目的和方法	149
6.1.2 磁性体磁场反演的多解性	149

§ 6.2 磁性体形状的判定	150
6.2.1 异常特征的分析法	150
6.2.2 根据 T_a 异常特征判断倾向	150
6.2.3 Z_a-H_a 参量图法	152
6.2.4 利用不同高度上场值的方法	156
§ 6.3 规则形体磁场的反演计算方法	160
6.3.1 特征点法	160
6.3.2 切线法	170
6.3.3 积分法	173
6.3.4 矢量法	177
*6.3.5 起伏地形条件下磁异常反演计算方法	182
§ 6.4 不规则形体磁场的反演计算方法	186
6.4.1 选择法的概述	186
6.4.2 量板法	187
6.4.3 剩余异常的计算和解释	191
6.4.4 最优化选择法	192
§ 6.5 磁异常的频谱及其解释	194
6.5.1 磁异常频谱换算的基本原理	195
6.5.2 几种规则形状磁性体异常的频谱	197
6.5.3 频谱曲线的定性分析	202
6.5.4 磁异常频谱的定量解释	207
第七章 磁异常的处理及转换	212
§ 7.1 磁异常处理和转换的目的及内容	212
7.1.1 处理和转换的目的	212
7.1.2 处理和转换的内容	213
§ 7.2 磁异常的圆滑和插值	213
7.2.1 磁异常的最小二乘圆滑	213
7.2.2 磁异常的插值	217
* § 7.3 磁异常空间转换的基本理论	218
7.3.1 第一边值问题和泊松积分	218
7.3.2 第二边值问题	222
7.3.3 不适定问题及数学插值模型的建立	223
§ 7.4 磁异常的空间延拓方法	224
7.4.1 二度异常的向上延拓	224
7.4.2 三度异常的向上延拓	227
7.4.3 二度异常的向下延拓	232
7.4.4 三度异常的向下延拓	234
7.4.5 延拓换算在磁异常解释中的应用	237
§ 7.5 磁异常各分量间的换算	239
7.5.1 同平面二度异常 Z_a 与 H_{ax} 的互算方法	239
7.5.2 同平面三度异常 Z_a 与 H_{ax} 的量板互算法	242
7.5.3 Z_a 和 H_a 异常互算的应用	244

7.5.4 三度 ΔT 异常换算成 Z_a 、 H_{ax}	245
§ 7.6 磁异常导数的换算	246
7.6.1 磁异常水平和垂直导数的物理意义及其计算方法	246
7.6.2 磁异常导数的应用	247
7.6.3 磁异常垂向二阶导数的计算	249
7.6.4 磁异常垂向二阶导数的应用	251
§ 7.7 三度异常转换为二度异常的方法	253
7.7.1 积分平均法	253
7.7.2 叠加法	255
§ 7.8 磁异常观测面的曲化平方法	256
7.8.1 磁异常的地形影响及克服途径	256
7.8.2 二度异常的曲化平算法	257
§ 7.9 频率域中磁异常的转换及处理	263
7.9.1 磁异常变换中褶积定理的应用	263
7.9.2 磁场的频率域换算	264
7.9.3 几种磁异常变换的频率响应特征	271
7.9.4 磁异常数字滤波综述	271
第八章 磁测资料的地质解释	279
§ 8.1 磁测资料地质解释的方法和步骤	279
8.1.1 磁测资料地质解释的概念、意义及其与定性和定量解释的关系	279
8.1.2 磁测资料地质解释的内容、方法和步骤	279
§ 8.2 区域地质测量中磁测资料的地质解释	281
8.2.1 区域地质测量的基本目的和对磁异常解释的基本要求	281
8.2.2 根据磁异常圈定岩体和不同岩性区的依据和方法	282
8.2.3 根据磁异常推断断裂、破碎带以及褶皱等的依据和方法	285
8.2.4 成矿区的圈定与划分	289
§ 8.3 普查找矿中磁异常的地质解释	290
8.3.1 矿产普查的任务、要求及磁异常解释的任务	290
8.3.2 直接普查磁性铁矿时磁异常的地质解释	291
8.3.3 间接找矿时磁异常的地质解释	295
§ 8.4 矿产的详查勘探中磁异常的地质解释	297
8.4.1 矿产勘探的目的、任务及其对磁异常地质解释的要求	297
8.4.2 初步勘探中磁异常的地质解释	297
§ 8.5 应用实例	299
8.5.1 一个重磁异常解释推断实例	299
8.5.2 寻找非铁矿种的实例	304
主要参考文献	307

绪 论

根据岩、矿石的物理性质，通过观测和分析地球物理场，研究地质构造和矿产资源分布等的物理方法，通称为地球物理探矿法（简称物探法），或称之为应用地球物理方法。磁法勘探（简称磁法）是其中的一种方法，它通过分析岩、矿石的磁性差异及磁场特征，研究地质体构造和分布形态，其发展和应用较其它物探方法为早。

两千多年以前，我国就认识并利用了天然磁石的吸铁性和指极性。如《三辅皇图》一书中有：“阿房前殿，以木兰为梁，磁石为门，怀刃者止之”。《晋书》马隆传中有：“夹道累磁石，贼负铁铠者，不得前”。天然磁石是否有如此大的吸引力固为怀疑，但磁石之吸铁性已被利用则无可置疑。磁偏角的发现也很早，十一世纪前北宋沈括（1031—1095年）的《梦溪笔谈》中指出：“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也”。北宋宣和元年（1119年），朱彧著《萍洲可谈》中指出：“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针”。北宋时已将指南针用于航海。

我国古代关于磁性性质的知识传入欧洲后，1600年，英国人威廉·吉尔伯特（William Gilbert），把一个均匀磁化的铁球看作是地球，用一个小磁针在其周围进行试验测量后指出，磁针能指南北，是由于地球本身仿佛象一个稍不规则的大磁铁，地球的北磁极吸引磁针的N极，南磁极吸引磁针的S极；他的结论是：地球的磁场，与一个置于地心并接近于地球旋转轴方向放置的永久磁铁的磁场是等效的。从这时起，人们就开始了对地磁现象的理论研究。

早在十七世纪人们已注意到磁铁矿附近的地磁场特别强。当时用简易的罗盘观测磁场来探寻铁矿。1870年，瑞典的泰朗（Thalen）和铁贝尔（Tiberg）制成了可测定地表不同地点的地磁场相对变化值的磁力仪（亦称万能磁力仪），之后，运用这种磁力仪开展了较广泛的磁法找矿工作。有人认为这是应用地球物理学开始发展的一个重要标志。1915年阿道夫·施密特（Adolf Schmidt）制成刃口式垂直磁秤后，磁法不仅在寻找磁铁矿中，而且在圈定磁性岩体、地质构造以及与油田有关的盐丘中得到应用。本世纪三十年代苏联 A. A. 罗加乔夫（A. A. Логачев）试用成功感应式航空磁力仪。磁法在世界范围内得到发展。

我国的磁法工作是本世纪三十年代在云南省开始的，但直到全国解放的前十多年中，磁法工作仅停留在科学试验阶段。全国解放后，我国的物探工作得到了大发展。地面磁测、航空磁测、井中磁测和海洋磁测均已相继展开。磁法的地质效果显著，特别是用于找铁矿是卓有成效的，为举世所公认。

国内外大量实践经验表明，将磁法用于各种比例尺的地质填图，都能得出有意义的地质结论。如小比例尺的磁场图能清晰反映地台区、地槽区、洋底、结晶基底的深拗陷区或其出露区的异常场特征。在中、大比例尺的填图中，大多数情况下，磁异常图能清楚地反映断裂带、巨大岩块的相对隆起与拗陷以及平移断层；根据磁异常往往还可以计算出垂向和水平位移的幅度；能不同程度地显示出与围岩有磁性差异的那些岩石的轮廓；圈定含铁磁性矿物的接触带。在找矿中，除用磁法成功地寻找磁铁矿外，还可利用与磁性矿物的

共生关系，寻找其它金属和非金属矿产。许多情况下，根据大比例尺的磁测结果和精测剖面，可以计算磁性体的埋深和产状要素（厚度、倾角和延深）；在有利条件下，有时能直接指示强磁性矿床的存在。在勘探中，研究剩余磁异常和钻孔中的磁异常，可以发现钻孔附近、钻孔与钻孔之间及其深部的磁性盲矿体。在水文地质和工程地质调查中，磁法主要是配合地质测量进行基岩和断裂的探测工作，条件有利时，应用微磁测可确定岩石的裂隙和节理方向、古河床的流向等。

对岩石天然剩余磁化强度特性的研究，人们发现了地球磁极曾发生倒转和变化；利用这种研究结果，能定量地获得以往时期的地磁极坐标位置与标本形成时期取样产地的古纬度；还可以应用于地层对比及考古年代鉴定等。古地磁的研究，复活了大陆漂移学说，发展了海底扩张和板块构造学说，从而推动了地质学理论的大变革和大发展。

应用地球物理学中的地磁和地磁测量部分包括地磁学、岩石磁学、古地磁学和磁法勘探。本书中只能涉及磁法勘探与前三者有关的一些基本概念。学习本教程的内容，学生应具有地质学、高等数学、物理学和场论等专业基础知识。

随着现代科学技术的发展，磁法勘探的仪器精度越来越高，可将磁力仪装置在人造卫星中进行遥测；可在空中、海上、井中和地面进行磁测。电子计算机在磁测资料处理和解释中的广泛应用，使繁杂的计算自动化，使过去手工无法解决的复杂形体磁场的计算成为可能。仪器精度的提高，方法的改进，解释理论和方法的不断发展和完善，提高了磁测资料地质解释的能力。

为了使磁法勘探在我国四化建设中发挥应有的作用，必须加强我国磁法勘探工作中薄弱环节的研究，并解决实际存在的一些问题。如磁法的理论研究和岩、矿石磁性的实验研究仍较薄弱；如何合理运用磁法，正确对磁测结果进行处理和地质解释等，不断提高磁法的地质效果，充分发挥磁法在综合找矿中的作用，扩大磁法的应用范围，为我国的社会主义建设事业作出更大贡献。

第一章 地球的磁场

地球周围存在着的磁场，称为地磁场。地磁场是一个矢量场。在地球上某一点，悬挂一个磁针，悬丝通过磁针的重心，使磁针可以自由摆动，当磁针静止时，磁针的S极到N极的指向表示这一点地磁场的方向。地磁场的强度和方向依观测点的位置而定，并且随时间变化而发生变化。地磁场的分布范围很广，从地核到磁层边缘到处都有分布。研究地磁场的分布和变化规律，以及地磁场的起源等问题是地磁学研究的范畴。在磁法勘探中，设计测区的磁测工作、对磁测资料的整理和分析解释工作，都必须考虑地磁场的分布特征和变化规律，因而，地磁场的有关知识是磁法勘探的基础。本章的目的是使学生掌握有关地磁场的基本知识。

§ 1.1 地磁要素及其分布特征

1.1.1 地磁要素

研究地磁场的分布特征，首先要从数量上来表示某一点地磁场强度的大小和方向。设某一点地磁场的总强度为 T ，为了确定 T 的方位，习惯上以该点的地理子午线或地理北极做为参考方向。一般用 T 和 T 在直角坐标系的分量和方向角来表示地磁场的大小和方向。

直角坐标系的选取是以观测点为坐标原点，x、y、z三个垂直轴的正向分别指地理北、东和垂直向下，如图1.1.1所示。 T 在z轴上的分量，称为垂直分量，以 Z 表示，指向下为正，指向上为负。 T 在水平面(xoy面)上的分量，称为水平分量，以 H 表示。 T 和水平面之间的夹角表示 T 的倾角，称为磁倾角，以 I 表示，当 T 向下倾时， I 为正， T 向上倾时， I 为负。 H 的指向为磁北方向，磁北方向的延长线，称为磁子午线。观测点的 H 的方位由磁子午线（磁北）和该点地理子午线（地理北）之间的夹角来确定，这个夹角称为磁偏角，以 D 表示，磁北自地理北向东偏，磁偏角 D 为正，反之，向西偏时， D 为负。水平分量 H 在 X 和 Y 轴上的分量，分别称为北向分量和东向分量，并分别以 X 和 Y 表示。 T 、 Z 、 H 、 I 、 D 、 X 、 Y 各量都是表示某点地磁场大小和方向特征的物理量，称为地磁要素。其中 T 、 Z 、 H 、 I 都和球面上一点的特征方向——径向方向直接有关，它们是地磁场的固有物理量； D 、 X 、 Y 是在所选择的坐标系中用以确定 H 的方位、表示 H 大小的必要的参考量，一般称这三个量为地磁场的相对物理量。综上七个地磁要素之间的关系在式(1.1.1)中列出：

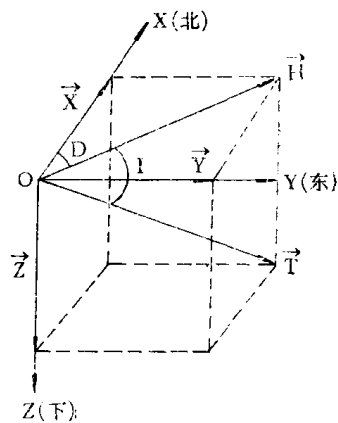


图 1.1.1 地磁要素图

$$\left. \begin{aligned} H &= T \cos I, Z = T \sin I = H \operatorname{tg} I, \\ X &= H \cos D, Y = H \sin D \\ X^2 + Y^2 &= H^2, X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2 = T^2 \end{aligned} \right\} \quad (1.1.1)$$

描述地磁场的特征需要已知三个独立要素, 如 X 、 Y 、 Z 或 H 、 D 、 I 或 T 、 D 、 I 等。其它要素可按式(1.1.1)求得。

关于地磁场强度的单位, 通常以“奥斯特”表示, 简称为“奥”, 也可以用“O.”表示。磁场的更小单位用“伽伐”或“ γ ”表示, 它的大小是: $1\text{伽伐}=10^{-5}\text{奥}$ 。伽伐是磁法勘探中常用的单位。奥和伽伐属于CGS电磁单位制。目前, 国际上统一使用“国际单位制”(简称为“SI”)用“特斯拉”(简称“特”)或以“T”表示磁感应强度(B)的单位。

$$1\text{特}=10^4\text{高斯}, \text{或 } 1\text{高斯}=10^{-4}\text{特}.$$

$$1\text{纳特(nT)}=10^{-9}\text{特(T)}=10^{-5}\text{高斯}=1\text{伽伐}.$$

高斯和奥斯特分别用以表示介质中的磁感应强度和磁化场强度的单位, 同属于CGS电磁单位制, 二者有相同量纲, 并且在真空、空气和水中的磁感应强度和磁化场强度的数值相等。因此, 在表示空气或水中磁场的单位上, 高斯和奥斯特可以通用。

1.1.2 地磁图

为了表示地磁场的地理分布特征, 可以根据地磁测量的资料, 将所测得的地磁要素值按测点的经纬度标在地图上, 把数据相同的点连成光滑的曲线, 就编绘成了地磁要素的

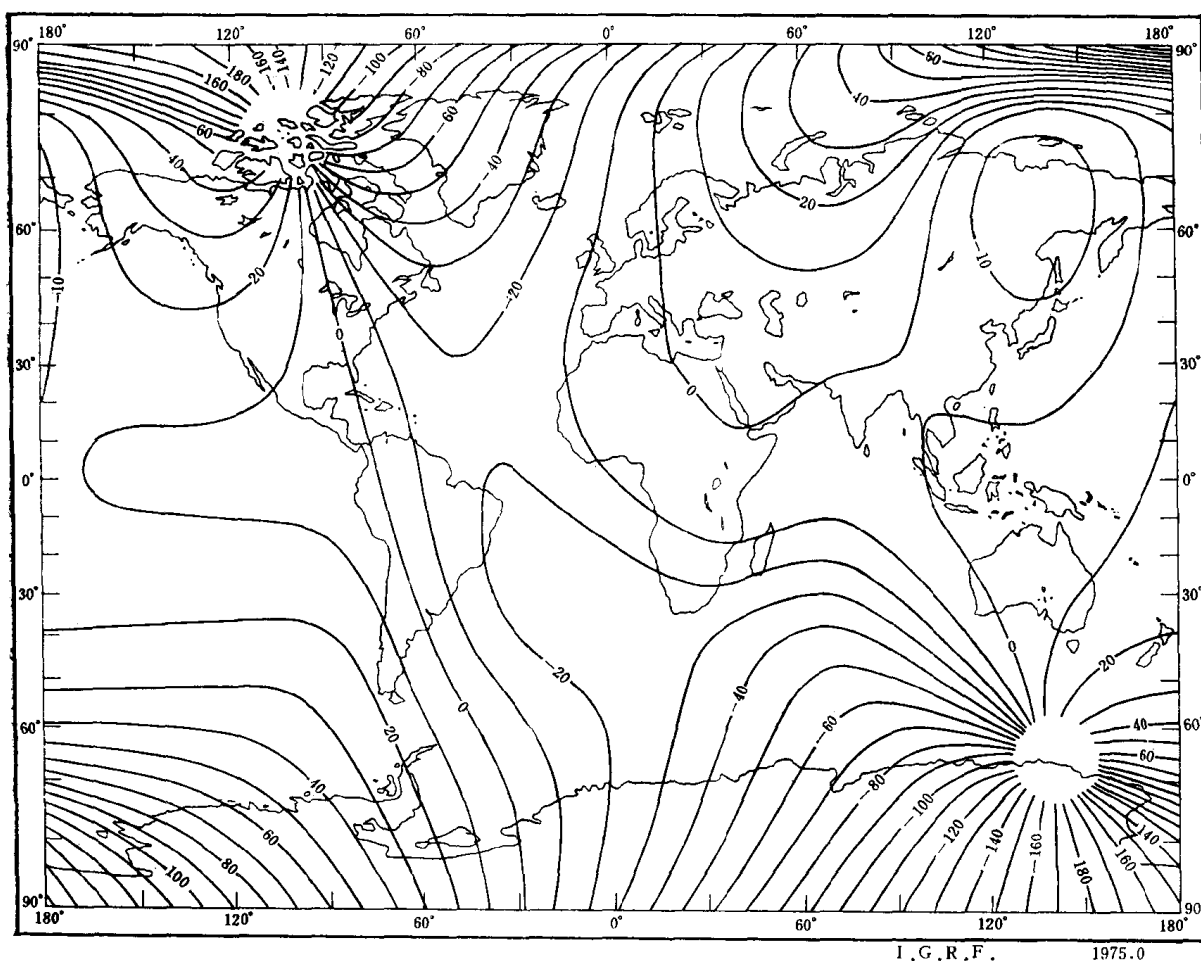


图 1.1.2 等偏线图
(单位: 度)

等值线图, 这种图称为地磁图。因此, 可以按要素 D 、 I 、 H 、 Z 、 T 、 X 、 Y 分别绘制成等偏线图、等倾线图、等水平强度图、等垂直强度图、等总强度图、等北向分量图和等东向分量图。通常编制各分量的世界地磁图, 表示地磁场在全球范围的分布, 或编制本国的地磁图。图 1.1.2 至 1.1.5 所示为 D 、 I 、 H 、 Z 的世界地磁图。

因为地磁场随时间发生缓慢变化, 各地的地磁测量都是在不同年代和日期进行的, 而地磁图应表示地磁场在同一时刻的地理分布, 所以要把测量的数据统一归化到某一共同时刻的要素值, 这种手续称为地磁资料的通化。共同时刻, 一般采用一年的中期, 即七月一日零时零分。世界地磁图通常每五年或十年编制一次。各国家也编制本国的地磁图, 我国编制的中国地磁图自 1950 年以来, 每十年编制一次。

编制地磁图的方法, 一般采用图解法或球谐分析法, 图解法方法简单, 在已标明要素值的地图上, 用直线把等值点依次连接起来, 在地磁资料精度范围内把折线进行光滑。球谐分析法可利用全球范围获得的各类型的地磁资料 (取自陆地、海洋、航空以及卫星的资料), 用迭代法建立起表示地磁场在整个地球上分布的球谐表达式, 由于场源未知, 可称之为地磁场球谐模式表达式。根据这种模式求得的球谐系数, 计算各地地磁要素值, 编制世界地磁图或某一地区的地磁图。

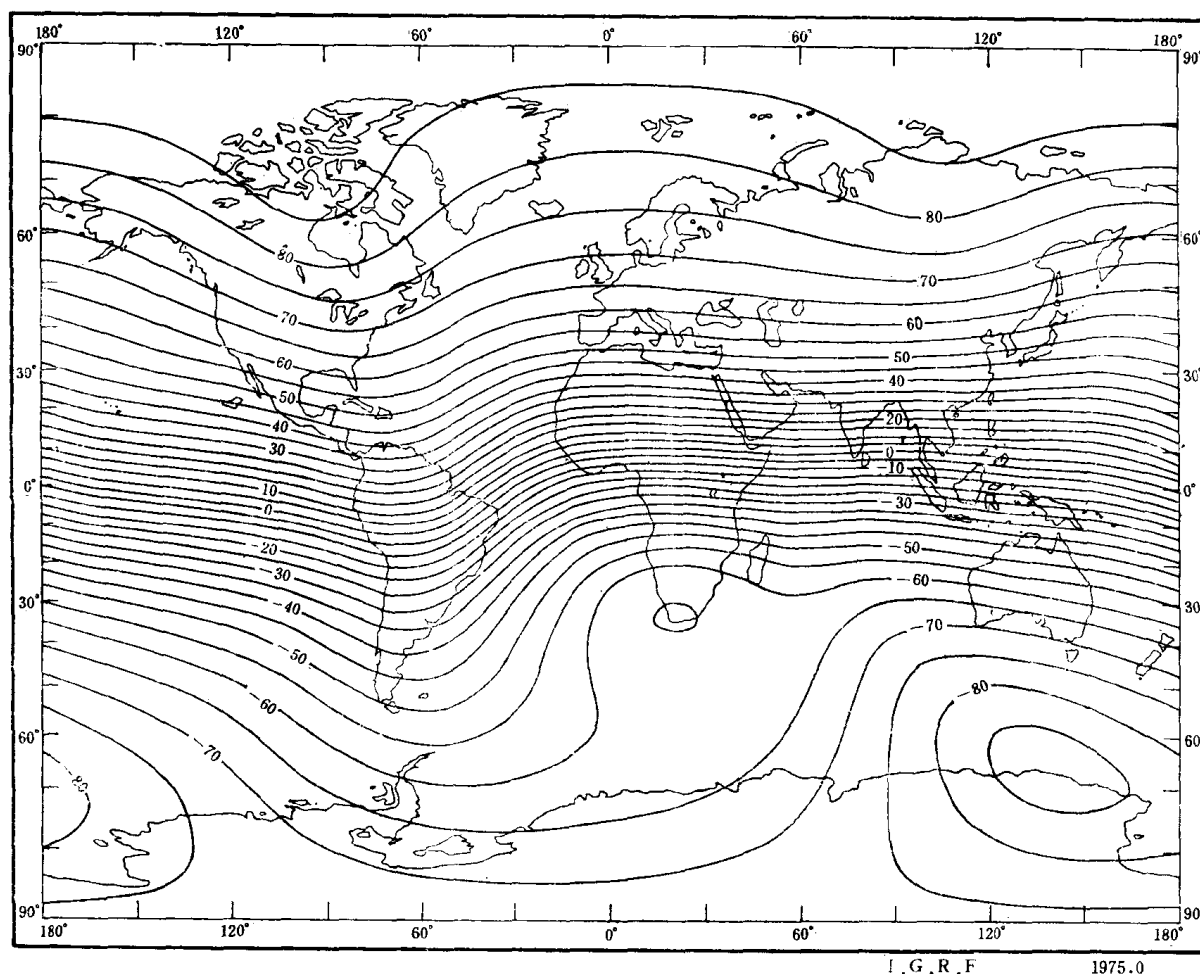


图 1.1.3 等倾线图

(单位: 度)

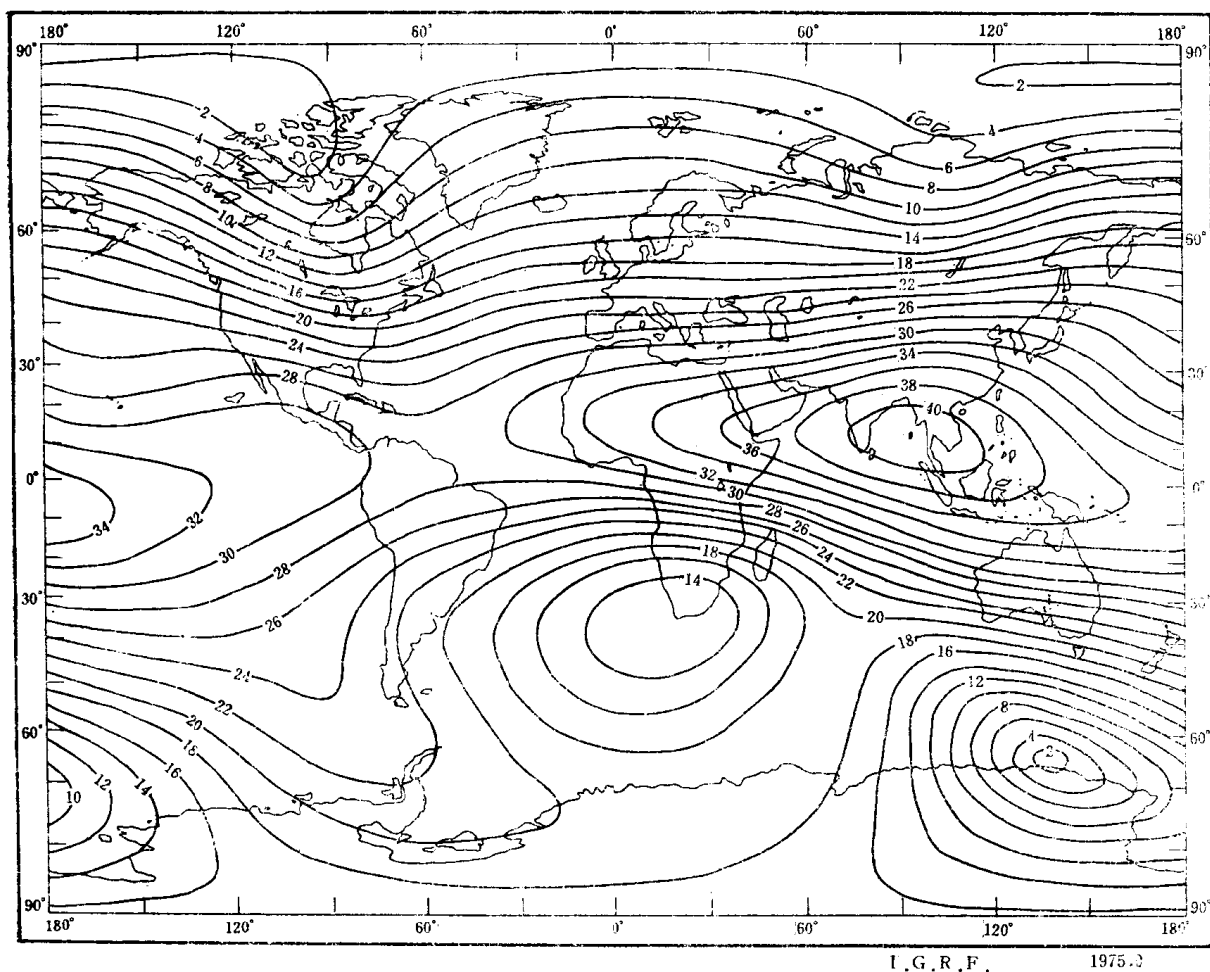


图 1.1.4 等水平强度图
(单位: 10^{-2} 奥)

根据各地的地磁要素随时间变化的观测资料, 可以求出相应要素在各地的年变化平均值, 称为地磁要素的年变率。依照地磁图的编图方法, 可以编制相应年代的要素年变率等值线图, 如图1.1.6所示。通过等年变率图可以了解各地磁要素在地表地理位置上的增减速度和增减趋势。这类图一般可以适用五年, 与地磁图合用, 可求得五年中某一年代的地磁要素值。

地磁图的比例尺愈大, 图的精度愈高。两条等值线间的最小间距一般应为地磁资料精度的10倍。

1. 地磁场地理分布的一般特征

世界地磁图 (图1.1.2至1.1.5) 基本上反映来自地球核部场源各地磁要素的地理分布。以下列举其分布特征:

从等倾线图可见, 等倾线大致和纬度线平行分布。零倾线 ($I=0^\circ$) 在地理赤道附近, 称为磁赤道。在磁赤道以北, 磁针的N极向下倾, 相应的倾角为正 ($I>0^\circ$); 在磁赤道以南, 磁针的N极上仰, 倾角为负 ($I<0^\circ$); 磁倾角随纬度增高而增大, 在北半球高纬度区内, 出现有一个 $I=+90^\circ$ 的地点, 称为北磁极; 同样在南半球高纬度地区出现 $I=-90^\circ$ 的地点, 称为南磁极。

等偏线在南北半球两个高纬度区分别汇聚在南、北两磁极, 在这两点上磁北的方向

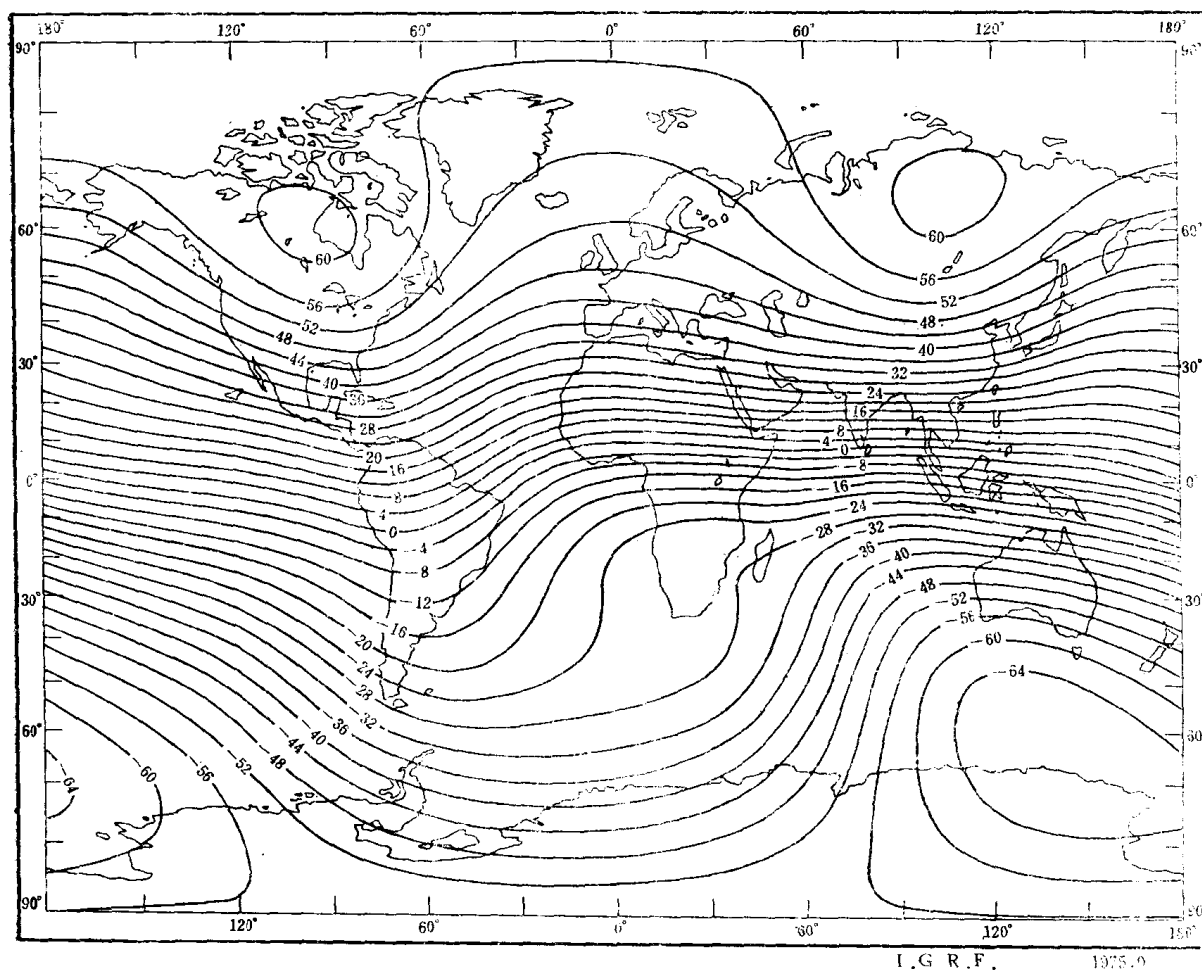


图 1.1.5 等垂直强度图
(单位: 10^{-3} 奥)

可以从 0° 变到 360° , 即没有固定的磁偏角值, 可见磁偏角在南、北两磁极处失去意义。全图有两条零偏线($D=0^\circ$)分布, 把全球分为负偏角区(向西偏为负, $D<0^\circ$)和正偏角区(向东偏为正, $D>0^\circ$)两个部分。

垂直强度 Z 的等值线大致和等倾线的分布相似, 与纬度线大体平行分布, 随纬度增高 Z 的强度增大, 在南北两磁极处 Z 值最大, 约 0.6 至 0.7 奥, 在磁赤道 Z 值为零。

水平强度 H , 在赤道附近最大, 约为 0.4 奥, 随纬度向极地逐渐减小, 在两磁极处水平强度 $H=0$ 。除南北两磁极区外, 全球各点的 H 都指向北。

归纳上述地磁要素分布特征, 得到地磁场的基本规律如下:

(1) 地球有两个磁极, 分别位于地理南北两极附近。在1980年的世界地磁图上, 北磁极位于 $78.2^\circ N, 102.9^\circ W$; 南磁极位于 $65.6^\circ S, 139.4^\circ E$ 。在南、北两磁极处, 磁倾角 I 分别为 $\mp 90^\circ$ 、垂直强度 Z 有最大值、水平强度 H 为零、磁偏角 D 没有确定值。

(2) 水平强度(H)在地表上任何一点(除两磁极点外)都指向北。垂直强度(Z)在北半球指向下, 为正值; 在南半球指向球外(向上), 为负值, 说明地球磁极位于北半球的是S极, 位于南半球的是N极。

(3) 地球南北两磁极处的总磁场强度为 $0.6-0.7$ 奥斯特, 在磁赤道处的总强度为 $0.3-0.4$ 奥斯特, 前者约为后者的两倍, 磁倾角随磁纬度按一定关系变化。这些特征和均匀磁

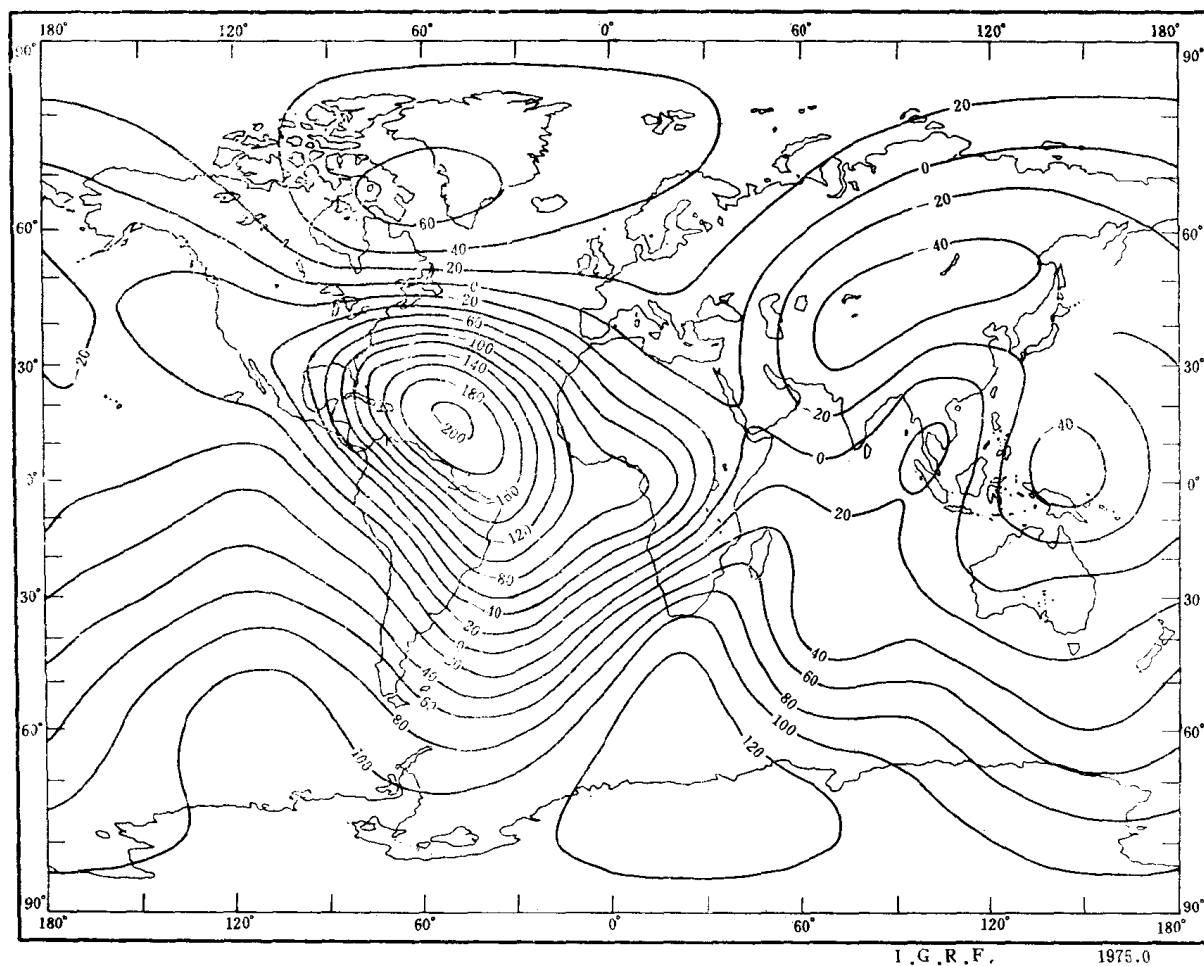


图 1.1.6 垂直强度等年变率图
(单位: $\gamma/\text{年}$)

化球体或中心偶极子的磁场分布特征基本一致。

(4) 南磁极和北磁极与地球的地理南、北两极并不重合,可以认为是地球中心磁偶极子轴与地球转轴相斜交。

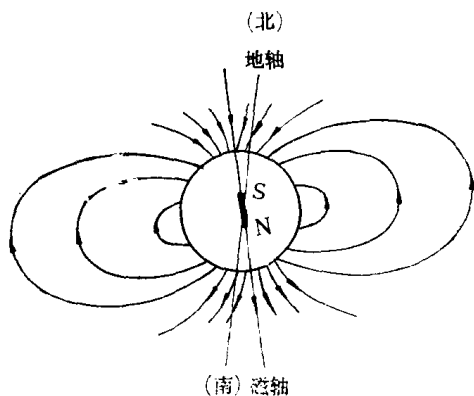


图 1.1.7 斜交中心偶极子场示意图

大变化在0.6奥以上。

(2) 水平强度由南至北, H 值由0.4奥降至0.21奥, H 值最大变化在 0.13 奥以上。

根据以上的规律,可以认为地球基本磁场的模式是一个位于地球中心并与地球转轴斜交的磁偶极子的磁场,如图 1.1.7 所示。磁轴和地轴斜交 11.5° 的中心偶极子场与地磁要素分布吻合的最好。

2. 我国境内地磁要素的地理分布

由我国编制的中国地磁图表明有以下特点:

(1) 垂直强度由南至北, Z 值由 -0.10 奥增至0.56奥, Z 值在我国境内的最大变化在0.6奥以上。