

磁 法 勘 探

成都地质学院物探系编

只 限 国 内 发 行

地 质 出 版 社

100

Abstract







磁 法 勘 探

成都地质学院物探系编

地 质 出 版 社

磁 法 勘 探
成都地质学院物探系编
(只限国内发行)

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1976年2月北京第一版·1976年2月北京第一次印刷

印数1—8,600册·定价1.80元

统一书号: 15038·新 113

前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，我国社会主义革命和社会主义建设正在出现一个新的高潮。地质战线和其他工农业战线一样，正在蓬勃地向前发展。

磁法勘探是成本低、效率高、地质效果较好的一种地球物理勘探方法，它在我国地质调查的各个阶段，都能发挥较好的作用。为了适应磁法勘探在我国发展的需要，我们编写这本书，主要供从事金属与非金属矿地面物探工作的有关同志参考。

由于我们政治思想水平和业务水平不高，实践经验不足，编写时间仓促，在内容的选取上不尽能满足读者需要，书中一定存在不少缺点与错误，恳切希望同志们批评、指正。

在本书的编写过程中，地质与冶金部门的十几个生产和科研单位、兄弟院校，提供了许多宝贵资料，给了我们很大的指导和帮助，在此致以深切的谢意。

成都地质学院物探系《磁法勘探》编写组

目 录

第一章 磁学和地磁场的有关知识.....	1
第一节 有关的磁学知识	1
一、永磁体的磁场	1
二、磁场中的位能和磁位	4
三、物质的磁性	7
四、磁感应强度和导磁率	14
第二节 地磁要素及其在地表的分布	16
一、地磁要素	16
二、地磁要素在地表的分布	17
三、我国境内地磁要素的分布	18
第三节 地磁场的解析表示	19
第四节 地磁场随空间和时间的变化	21
一、空间变化	22
二、地磁场随时间的变化	23
第五节 正常地磁场和磁异常	27
第二章 磁法勘探仪器	30
第一节 磁法勘探仪器概述	30
第二节 悬丝式垂直磁秤	32
一、仪器的构造	32
二、仪器的工作原理	36
三、扭鼓的作用	39
第三节 刃口式磁秤	40
一、刃口式垂直磁秤	40
二、刃口式水平磁秤	42
第四节 垂直磁秤的误差分析	44
一、转向差的概念	45
二、水平不准对读数的影响及其消除办法	45

三、方位不准对读数的影响及其消除办法	49
第五节 CSX ₁ -70型袖珍磁力仪	53
一、仪器的工作原理	53
二、仪器的构造	55
第六节 核子旋进式磁力仪	56
一、核子旋进式磁力仪的基本原理	57
二、仪器结构及各部分的作用	58
三、操作方法及注意事项	62
第七节 磁饱和式磁力仪	64
一、磁饱和式磁力仪测量磁场变化的基本原理	64
二、仪器类型	75
第八节 其他类型磁力仪	78
一、光泵磁力仪	78
二、超导磁力仪	80
第三章 地面磁测工作方法	82
第一节 磁测任务和测网、比例尺	82
一、磁测任务的确定	82
二、比例尺和测网的概念	83
第二节 磁测精度和保证精度的措施	84
一、衡量磁测精度的标准	85
二、确定磁测精度的原则	87
三、保证精度的措施	89
第三节 磁测数据的整理和图示	97
一、磁测数据的整理	97
二、磁测结果的图示	101
第四节 磁测工作的质量评价	104
第四章 岩(矿)石的磁性及其研究方法	108
第一节 表示岩石磁性的物理量	108
一、感应磁化强度和磁化率	109
二、剩余磁化强度和总磁化强度	109
第二节 矿物的磁性	109
一、反磁性和顺磁性矿物	109
二、铁磁性矿物	110

第三节	岩石的磁性	111
一、	岩石的磁性特点	111
二、	岩石的剩磁成因	113
三、	反磁化现象	114
第四节	影响岩石磁性的因素	116
一、	岩石磁性同矿物成分的关系	116
二、	岩石磁性同磁化场和温度的关系	117
三、	其他因素的影响	118
第五节	磁化强度 (J_r) 与物体形状的关系	118
一、	视磁化率和消磁作用	119
二、	消磁作用对 J_r 方向的影响	123
第六节	测定岩 (矿) 石磁性的方法	124
一、	测定岩 (矿) 石磁性的内容和方法	124
二、	磁秤法	125
三、	岩心标本磁性的测定	134
第七节	岩石磁性数据的统计整理方法	136
一、	K 和 J_r 最常见值及其变化范围的确定	137
二、	磁性测定结果的表示方法	139
第八节	磁化强度大小和方向的确定	139
第五章	磁性体磁场的分析	145
第一节	磁法勘探资料解释和正反问题的概念	145
第二节	计算磁性体磁异常的基本公式	147
一、	磁荷面积分公式	147
二、	泊松公式	149
第三节	球体磁场的分析	151
一、	单极的磁场	151
二、	双极的磁场	154
三、	球体的磁场	156
四、	球体磁场的分析	160
第四节	水平圆柱体磁场的分析	165
一、	单极线的磁场	166
二、	双极线的磁场	168
三、	水平圆柱体的磁场	169

四、水平圆柱体磁场的分析	172
五、二度体不同磁化倾角时磁异常间的关系	175
第五节 板状体的磁场	177
一、斜交磁化薄板	177
二、顺层磁化厚板	180
三、斜交磁化厚板	183
四、水平薄板、有限延深厚板和接触带的磁场	184
五、板状体磁场的分析	189
第六节 三度有限薄板的磁场	194
第七节 磁性体与其磁场对应关系的主要特点	198
第六章 磁异常解释的定量计算	201
第一节 磁异常解释的初步定量分析	201
一、由磁异常确定地质体的形状	202
二、关于确定地质体的位置和范围	206
三、关于地质体埋深和磁化强度的初步估计	207
四、关于确定地质体倾向（或倾角）的多解性	208
第二节 磁异常解释的定量计算方法	211
一、特征点法	211
二、切线法	219
三、任意点法	221
四、向量法	224
五、积分法	226
六、磁场空间分布法	228
第三节 磁异常解释定量计算方法的评述	230
一、用简单公式作定量计算的有效性	230
二、各定量计算方法的评价	232
第四节 磁异常解释定量计算实例	236
一、求中心埋深	236
二、关于上顶埋深	237
第七章 复杂磁异常的处理	240
第一节 多个磁体异常重叠的影响及其处理方法概述	241
一、多层（或多个）矿体的存在	241
二、磁性围岩的影响	242

三、浅部磁性不均匀的影响	243
第二节 磁测曲线的匀滑方法	245
一、利用线性函数的匀滑法 (平均法)	245
二、利用抛物线函数的匀滑法	247
第三节 磁异常的空间换算	248
一、磁异常的向上换算	248
二、磁异常的向下换算	255
第四节 磁异常分量 Z_a 和 H_a 之间的换算	266
第五节 磁异常梯度法	270
第六节 关于磁异常变换方法的频率理论	273
一、磁异常变换方法的一般形式	273
二、异常变换与滤波问题的类似	274
三、几种常用变换方法的滤波作用	276
四、最佳变换问题	279
第七节 选择法与剩余异常	281
一、二度量板的原理与制作	282
二、用扇形量板进行选择法计算的步骤	285
三、叠加场的处理与剩余异常	286
第八节 将三度体异常化为二度体异常的方法	289
第九节 磁异常的地形改正	293
一、地形起伏对磁异常的影响	293
二、保角变换方法概述	294
三、保角变换的模拟	295
第十节 复杂磁异常的实地考察	298
附录 电子计算机在磁异常变换和	
正反问题中的应用	302
一、任意形状三度体磁异常的计算	302
二、有关磁异常变换中的一些问题	308
三、磁异常定量计算中的最优化选择法	311
第八章 航空磁测的有关知识	317
第一节 航空磁测的一般知识	317
一、航空磁测的特点	317

二、航空磁测的应用范围	318
三、航空磁测的野外工作方法的几个基本问题	318
第二节 总磁场异常 ΔT 的性质与特点	321
一、 ΔT 与 $\vec{T}_a$ 的关系	321
二、 ΔT 与 Z_a 、 H_a 的关系	322
三、 ΔT 与 $Z_a^\perp$ 、 $H_a^\perp$ 的关系	324
第三节 几种规则磁性体的 ΔT 异常	325
一、向下延深很大的直立柱体(单极)的 ΔT	326
二、球形磁性体的 ΔT	326
三、水平圆柱体的 ΔT	327
四、薄板状磁性体的 ΔT	328
第四节 关于 ΔT 曲线的反演方法	330
第五节 航空磁测资料解释的一般内容和方法	332
一、应注意的几个问题	333
二、航磁应用中的一些基本知识	333
三、关于航磁异常的检查 and 评价	338
第九章 井中磁测	342
第一节 井中磁测概述	342
一、井中磁测的特点	342
二、磁测井仪器特点	342
三、资料的整理及图示	344
第二节 井中磁异常的分析	347
一、单磁极的磁场	348
二、球体的磁场	351
三、水平圆柱体的磁场	355
四、薄板的磁场	357
五、磁性体的内磁场	359
第三节 井中磁测结果的解释和实例	366
一、实测曲线的处理	366
二、区分矿与非矿异常	367
三、研究矿体与钻孔的相对关系	372
四、确定钻孔所在矿体部位及矿体产状	378
五、井中磁测定量解释方法	380

第十章 磁测成果的分析 and 磁法勘探的应用	383
第一节 对磁异常进行地质解释的内容、原则和方法	384
一、磁异常地质解释的内容和原则	384
二、磁异常地质解释的方法和步骤	387
第二节 矿与非矿异常的区分	393
一、研究磁异常所处的地段是否对成矿有利	394
二、利用矿体磁性强、体积小等特点区分矿与 非矿异常	395
三、利用综合物探方法	399
四、实例	402
第三节 磁异常解释中的几个认识问题	408
一、高值异常与低值异常	410
二、大异常与小异常	410
三、正异常与负异常	416
四、局部异常与整体异常	416
五、规则异常与不规则异常	418
六、“老”异常与“新”异常	422
七、火山岩地区的磁异常	424
第四节 磁法勘探的实际应用	426
一、磁法勘探的应用范围	426
二、磁法勘探在铁矿床上的应用	427
三、磁法在间接找矿中的实例	442
四、磁法勘探在地质填图中的作用	447

第一章 磁学和地磁场的有关知识

在自然界中，在地球本身的磁场作用下，许多岩石和矿石都不同程度地被磁化而具有磁性。具有磁性的地质体（矿体或岩体），在其周围空间存在一定特点的磁场。这种由磁性地质体引起的磁场，叠加在正常地磁场上，称为磁异常。

磁法勘探的主要任务就是测定并分析研究磁异常，找出磁异常与地下岩石、地质构造和有用矿产的关系，作出地下地质情况和矿产分布的有关结论。

研究和掌握磁异常和磁性地质体的对应规律和本质联系，是磁法勘探最重要的问题。磁法勘探是在地磁场中进行的，磁异常不仅叠加在地磁场上，而且其特征与地磁场对岩、矿体的磁化特点也有关系，因此我们首先需要讨论什么是地磁场。为了读者阅读方便，我们在讨论地磁场之前，先扼要地介绍磁法勘探中有关的磁学知识。

第一节 有关的磁学知识

一、永磁体的磁场

（一）磁体和磁极

人类对于磁现象的认识是从磁石吸铁开始的。磁石（俗称铁矿石）是化学成分为四氧化三铁（ Fe_3O_4 ）的天然产出的矿石，正式的名称叫做磁铁矿。凡是象磁石那样能够吸铁（实际上还能吸引钴、镍以及某些合金）的物体，统称为磁体。磁体能够吸引铁、钴、镍等物质的特性，称为磁性。磁铁矿石是天然磁体；而现代所用的磁体大都是由人工方法用钢或其他合金制成的，叫做

人造磁铁。天然磁体和人造磁铁都是能长期保持磁性的永磁体。在磁法勘探中常把有磁性的矿体和岩体统称为磁性地质体或磁性体。

对磁体的磁性进行观察，发现它们一般总有两个磁性最强的端点，中间部分几乎没有磁性。磁体上的这两个端点叫做磁极。把条形磁铁水平地悬挂或支持起来，它就会转动。当它静止时，总是一个磁极近似地指向北方，另一个磁极近似地指向南方。这说明磁体的两个磁极具有不同的指向性。磁体上指北的磁极叫做指北极或正磁极，简称北极，用符号N表示；指南的磁极叫做指南极或负磁极，简称南极，用S表示。把一个条形磁铁分成两段，每一段仍然是具有N和S两个磁极的磁铁。再分下去，每一小段也是如此，永远得不到具有单独磁极的磁铁。

（二）磁力和库仑定律

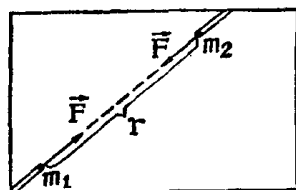
磁体的磁极不但有特别明显的吸铁作用，而且不同磁体的磁极之间还有相互吸引或排斥的作用。异性磁极相吸，同性磁极相斥。这种作用称为磁力。由于磁极的磁性有强弱，因而磁力也有大小。

磁体的磁性、磁极、磁极间的相互作用等是人类对磁体进行观察初期发现的现象。当时对于磁性的来源和本质还没有正确的认识。为了解释这些现象，与电现象进行了类比。由于在带电体上存在着电荷，而电荷与磁极有许多类似之处，于是认为磁体中存在着一种“磁荷”。“磁荷”也有正、负之分，“正磁荷”聚集在N极，“负磁荷”聚集在S极。又用“磁量”一词表示磁荷的数量。磁极的“磁荷”多（即磁量大），磁性就强，对于另一磁极的作用力也就大（两磁极的距离一定时）。也就是说，磁体的磁性起源于“磁荷”。现在人们已经知道，“磁荷”是不存在的，但在磁法勘探中为了讨论和计算问题简便起见，仍利用“磁荷”这个概念。

为了研究不同磁体的磁极之间的相互作用力，库仑进行了系统的实验，并总结出一条规律。这条规律称为库仑定律，它的基

本内容是：两个点磁极间的吸引力或排斥力的方向在两个点磁极的连线上，其大小与两磁极磁量的乘积成正比，与磁极间的距离平方成反比（图1—1）。

用 m_1 和 m_2 分别代表两个点磁极的磁量， r 代表它们之间的距离， $\vec{F}$ 表示作用力，则库仑定律的数学表达式为：



$$F = C \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1-1) \quad \text{图 1-1 点磁极间的作用力}$$

式中的 C 是比例常数。当两磁极的极性相同时（同为 N 极或 S 极）， F 为正值，表示斥力；当二者异号时， F 为负值，表示为引力。 F 的数值和式中各量的单位有关。在 CGS 制（厘米、克、秒制）中规定：当两个磁量相等的点磁极在真空中相距 1 厘米时，如果相互的作用力为 1 达因，它们各自的磁量就是 1 CGS 制磁量单位。磁量为 1 CGS 单位的磁荷叫做单位磁荷。

采用 CGS 制磁量单位时，适用于真空中的磁库仑定律可简化为：

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

这是因为，在这种条件下比例常数 $C = 1$ 。当空间充满某种均匀介质时，情形就不同了。这时 $C = \frac{1}{\mu}$ ； μ 代表介质的导磁率，是一个与介质磁性有关的物理量（以后再讨论）。因此，采用 CGS 单位制时，库仑定律的表达式一般应写成：

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{\mu \cdot r^2} \quad (1-3)$$

（三）磁场和磁场强度

将磁现象与静电现象相类比：在电荷周围总是存在着电场，电荷之间的相互作用是通过它们的电场而进行的；同样，磁极的周围存在着磁场，磁极之间的相互作用也是通过它们的磁场而进行

的。象电场一样，磁场也是看不见、摸不着的，因而是一种特殊形式的物质，可以通过它的磁力作用认识它的存在。可以说，磁场是磁力作用的物质空间。

为了描述磁场的性质，我们引入磁场强度的概念。所谓磁场强度，即单位正磁荷在磁场中所受的力。显然，磁场强度与磁力是密切相关的，它也是矢量。如果用 $\vec{T}$ 表示磁场强度，则在磁量为 m 的点磁极所产生的磁场中任意一点 P 处的磁场强度，即单位正磁荷在该点所受之力，其数值可表示为

$$T = \frac{F}{m_0} = \frac{m}{r^2} \quad (1-4)$$

m_0 为置于 P 点的正磁极的磁量。 T 的方向则与正磁荷在该点所受磁力的方向相同。由 (1-4) 式可以看出，对于磁场中的给定点，磁场强度是一个恒量；对于不同的点，磁场强度的数值则由于 r 的改变而有所不同。

磁场强度的单位在 CGS 制中叫做奥斯特，符号为 Oe。规定单位正磁荷在磁场中某点所受的磁力为 1 达因时，该点的磁场强度为 1 奥斯特。在磁法勘探中，由于这个单位太大，一般都取十万分之一奥斯特作为单位，称为伽伐，用符号 γ 表示。

$$1 \gamma = \frac{1}{100,000} \text{ 奥斯特} = 10^{-5} \text{ 奥斯特}$$

$$1 \text{ 奥斯特} = 100,000 \gamma = 10^5 \gamma$$

在磁场里，我们可以画这样的一些线（直线或曲线），使线上任一点的切线方向都与该点处的磁场强度方向一致。这些线叫做磁力线。我们规定：磁力线的疏密与磁场强度的大小成正比。因此，它可以帮助我们形象地了解磁场的分布和变化的情况。图 1—2 所示是条形磁铁周围磁力线的分布。

二、磁场中的位能和磁位

在静电场中，电荷在一定的位处具有一定的位能，电荷移动时电场力所做的功是电位能的改变量。同样地，在磁场中，磁荷在一定的位处也具有一定的位能，磁荷移动时磁场力所做的

功是磁位能的改变量。与电场和重力场相似，此功仅与磁荷的磁量以及路径的起点和终点的位置有关，而与路径无关。磁位能的大小是相对的。为了说明磁荷在磁场中某一点位能的大小，必须有一个作为参考的零值点。通常我们规定磁荷在无穷远处的磁位能为零。根据这个

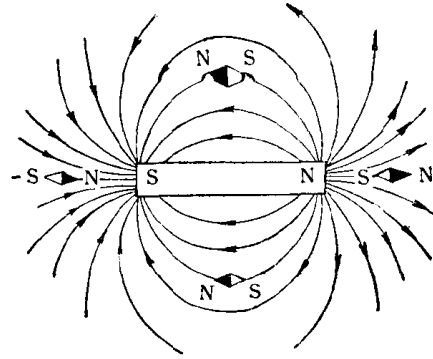


图 1—2 条形磁铁的磁力线分布

规定，磁荷在磁场中某点的位能就等于磁场力使它自该点经过任意路径移动到无穷远处所作的功。

现在我们考虑单位正磁荷在磁场中的情况。为此，引入另一个物理量来表示单位正磁荷 (m_0) 在磁场中某点的磁位能，并称之为磁位。磁场中某点的磁位就是磁场力将单位正磁荷从该点经过任意路径移到无穷远处所做的功。设在点磁极的磁场中，用 U 代表磁位， m 代表磁极的磁量， r 代表磁场中某点与该磁极的距离，如图1—3所示。由于单位正磁荷所受的磁场力就是磁场强度 m/r^2 ，而且它不是恒量；因此，按照磁位的定义，应有：

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

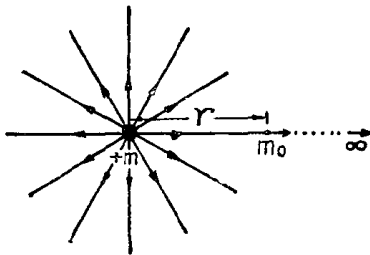


图 1—3 点磁极的磁位

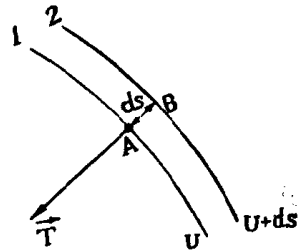


图 1—4 磁场强度和磁位差的关系