

中等专业学校试用教材

磁 法 勘 探

西安地质学院 主编

地质出版社

中等专业学校试用教材

磁 法 勘 探

西安地质学院 主编

地质出版社

磁 法 勘 探
西安地质学院 主编

•
国家地质总局教育司教材室编辑
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

•
1979年8月北京第一版·1979年8月北京第一次印刷
印数1—8,640册·定价1.40元
统一书号: 15038·教48

前 言

本书适用于中等地质学校地球物理探矿专业。

本书在编写中总结了以往教学实践中的经验，注意了以下几个问题：

1. 加强基本理论（包括磁法勘探的基础理论，及解释方法的基本原理）与基本技能。

2. 为适应磁法仪器技术发展的需要，比较系统地介绍了我国自制、地面用的电子式磁力仪。

3. 对水平磁异常的原理、仪器设备、及观测方法等，单独列为一章系统地介绍。

4. 在选材上力求理论联系实际，以我国为主。

全书讲授总学时计约 250—270 小时，编写内容偏多一点，各校在使用中可根据具体情况，在第八、九、十一、十二等各章中，重点地选择一些内容讲授。

本书第三、四章由赣州地质学校李光中编写，第五章并光泵磁力仪简介由西安地质学院陈大生编写，第六、七章由湖南地质学校王纪恒编写，第十二章由福建地质技工学校曹宝庭编写，其余各章均由西安地质学院李纪刚编写，并负责全书的编纂定稿。西安地质学院的杜英同志抄写了部分稿件，广东省水利电力局勘测设计院黄志森同志审阅了第十二章，提出了宝贵的意见，在此表示感谢。

由于水平有限，时间仓促，书中会有不少缺点和错误，希望读者批评指正。

编 者

一九七九年一月

目 录

绪 论	1
第一章 磁法勘探的基础知识	4
第一节 磁学基本知识	4
第二节 地球磁场	19
第三节 岩(矿)石的磁性	29
第二章 地面磁测中的几种磁力仪	36
第一节 CS2-61 型 悬丝式垂直磁力仪	36
第二节 刃口式垂直磁力仪	62
第三节 CRJ1-69 型地磁日变记录仪	68
第四节 地面核子旋进式磁力仪	74
第五节 地面磁通门磁力仪	89
第六节 光泵磁力仪	104
第三章 地面磁测的野外工作	114
第一节 比例尺和测网	114
第二节 测网的敷设	117
第三节 基点和基点网工作	120
第四节 磁测精度与质量评定	125
第五节 日变观测	131
第六节 仪器一致性试验	132
第四章 地面磁测数据的计算和图示	134
第一节 磁测数据的计算	134
第二节 磁测数据的图示	140
第五章 岩(矿)石磁参数的测定与整理	146
第一节 标本的采集	146
第二节 磁秤法测定标本磁参数的原理	148
第三节 磁秤法测定标本磁参数的方法和技术要求	158

第四节	岩(矿)石磁参数的整理统计	166
第五节	退磁作用	185
第六节	磁参数资料的应用	189
第六章	磁性体的磁场	195
第一节	磁测资料解释推断的一般概念	195
第二节	磁性体在地磁场中的磁化	197
第三节	计算磁性体磁场的基本公式	203
第四节	规则形状磁性体的磁场	209
第七章	磁异常的定性解释	240
第一节	磁异常特征的认识	240
第二节	磁性体的某些产状、形状之假设条件	249
第三节	磁性体形状的初步解释	254
第四节	磁性体产状的初步解释	260
第五节	精测剖面工作、异常检查工作	268
第八章	磁异常的定量解释	270
第一节	简单磁异常定量计算的几种方法	270
第二节	选择法	300
第三节	磁异常的解析延拓换算	321
第四节	磁异常曲线的处理	337
第五节	定量计算实例	367
第九章	磁异常的地质解释	376
第一节	磁异常性质的推断	376
第二节	低缓磁异常的解释	391
第三节	磁异常的验证与“剩余异常”的解释	395
第四节	磁异常地质解释的基本步骤	400
第十章	航磁异常的地面检查	402
第一节	航空磁测的特点	403
第二节	航磁异常的地面检查	409
第十一章	磁法勘探的应用	421
第一节	在磁铁矿床上的应用	421

第二节	在多金属矿床上的应用.....	429
第三节	在寻找铬铁矿床上的应用.....	435
第四节	在某些非金属矿床上的应用.....	437
第五节	在区域地质测量中的应用.....	440
第十二章	水平磁测	441
第一节	概述.....	442
第二节	CSS-1 型定向水平磁力仪.....	444
第三节	水平磁异常的观测、计算与图示.....	460
第四节	测量误差问题.....	473
结束语		485

绪 论

一、磁法勘探的实质及内容

磁法，它是地球物理勘探的一种方法。我们知道，地壳里的岩石、矿体均具有一定的磁性。在一定的地质条件下，岩石、矿体所具有的磁性差异，会在地表形成一定特点的磁场，一般称之为“磁异常”。磁法勘探就是测定并分析研究这些磁异常，寻找出它与地下地质构造的关系，作出关于地下地质情况及矿产分布的有关结论。

自然界的地质体（岩体、矿体），它们具有的磁性是与地球磁场有关系的。它们之间存在的明显的磁性差异，正是磁法能否应用于解决地质问题的地球物理前提条件。所以，地磁场及岩石磁性是磁法勘探的基础。

仪器，它是圈定磁异常的重要工具；野外工作方法与技术要求，是正确布置磁法工作的指导，对取得磁法勘探的地质效果有着密切的关系。掌握各种磁法仪器的原理结构、操作规程，以及野外工作与方法是学习磁法勘探的主要内容。

地面磁异常的分布，它决定于地下磁性地质体的形状、大小、产状、磁性特征及干扰因素等。利用数学、物理的方法研究这两者之间的对应规律和本质联系，并由此推演出一些解释推断磁异常的方法，这是磁法勘探的基本理论问题，也是学习磁法的重要内容。

磁法勘探与地质学、数学、物理、地磁学及电子学等学科有着密切的联系。

二、磁法勘探的发展简况

磁法勘探是在地球物理勘探方法之中，应用最早的一种方法。

从国外来说,在上世纪七十年代中开始研究磁法寻找铁矿,到本世纪初才有了灵敏度较高的磁秤。自三十年代以来,航空磁测开始得到发展,直至目前美国等一些西方国家的金属矿物探中,磁法仍然是最主要的方法。

我国在本世纪三十年代中,由顾功叙等老一辈的地球物理学家,开始在某些铁矿地区利用磁法零星地作了一些工作。由于社会制度的腐败与落后,其工作的结果既无人去证实,亦无人去利用。解放以前,我国地球物理勘探的科研和应用,基础都几乎等于零。只是到了解放以后,在社会主义的新中国,地球物理勘探随着整个地质勘探工作的大发展,而获得了广泛地应用。其发展大致经历了这样的阶段:

开创摸索阶段:建国初期,物探科学技术方面所遇到的问题,主要地是大量引进国外已有的技术和设备,结合我国的具体条件应用于找矿。在进入社会主义革命和社会主义建设时期,国民经济有计划地按比例的发展,钢铁基地的建立与扩大,需要探明大量的金属矿床。开始我们用磁法发现了一些隐伏矿体,如大冶铁矿外围的磁铁矿、内蒙白云鄂博主矿体以西的广大覆盖区内的铁矿,鞍山铁矿外围大面积的隐伏矿体等等。极个别含有色金属的磁性矿体,用磁法也发现了它的隐伏延伸部分。此外,煤田测井在河南、四川取得了一定效果,至于用磁测方法寻找导电的金属矿体、硫化矿体、则作用不大。这个阶段大约延续了四一五年。

大面积普查阶段:当时地质找矿到处要求物探配合,可是物探除磁法外的其它方法,都不象人们想象的那样有效,即从物理学原理上反映隐伏矿体是极有限的,因为物探必须具备物理前提。为了改变这一被动局面,必须根据物探本身的特点,与地质密切配合,不能搞形式主义,要讲求实效,因此采取了因事制宜、因地制宜的方法。进而提出了物探应跑在地质前面,进行大面积普查,以发挥其普查和指出找矿线索的先行作用,特别是对于隐伏矿体。这样就决定了金属矿物探的战略转变。航空磁测以很高的测量速度,按地理图幅在短期内完成了很大面积的磁测飞行,取

得了大量资料，发现了很多磁异常。同时也进行了大面积的地面磁测。实际效果很好，先后发现了不少经济价值较高的磁性矿床，成为普查金属矿不可缺少的手段，受到人们的极大重视。此外，在发现隐伏的磁性岩体和相关的地质构造方面，也曾取得了一定成效，比较突出是郯城—庐江大断裂的发现，它是隐伏在我国东部地区沿海平原下面的几乎全部被覆盖的大断裂。

六十年代—七十年代：自力更生的发展我国的物探事业，在仪器方面制造了各种机械式磁力仪，全部代换了国外进口的同类型仪器。同时也研制和生产了几种类型的电子式磁力仪。此外，其它物探方法的仪器设备，也都是自己制造。在野外工作方法方面，我们在总结经验的基础上，制定了适合我国情况的《工作规范》，使野外磁测工作有了自己的可遵循的准绳。在解释推断的理论上，系统地建立起一套在斜磁化下磁异常的解釋理論和方法，对提高磁法工作者的解释水平，起了积极的作用。在地质效果上，在一些省内由于不断地总结经验教训，并能结合具体情况进行分析，大胆实践，磁法取得了很好的找矿效果。在这个时期中引进电子计算技术，目前已比较广泛地应用于磁法的数据处理，解释推断等方面。随着电子计算技术的不断进展，还会得到日新月异的发展。

第一章 磁法勘探的基础知识

磁法，是利用地质体（矿体、岩体）具有的磁性这一物理性质，来进行找矿的方法。众所周知，地质体它是赋存在地壳之中，而地球也是一个大磁体。这样，磁性地质体所产生的磁场（通常称为磁异常）不仅是叠加在地球磁场之上，且其特征也是与地球磁场有联系的。同时，地质体的磁性也来源于地球的磁场。

本章主要介绍：一、有关磁学的一些基本物理概念；二、地球磁场；三、岩石的磁性。它们是磁法勘探的基础知识。

第一节 磁学基本知识

一、磁

“人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史”。勤劳勇敢的我国人民，早在公元前三世纪就发现了磁现象。我国最早记载着磁石吸铁现象的典籍是《吕览》精通篇一文，书中将“磁”字写作“慈”。其后文字记载就较多了。

我国是应用“磁”现象最早的国家。战国时代，我国劳动人民已用天然磁石琢成指南针，当时称为司南。到宋代已经能制造人工磁铁了。其记载中说：“以铁剪成鱼形，经淬火及磁化手续而赋磁性，令浮水面以指南北”。指南针是我国的四大发明之一，是对人类的科学文化作出的最早贡献。宋代著名学者沈括，在他所著《梦溪笔谈》中曾记载：“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也”。说明了我国劳动人民不但发明了指南针，用于生产实践中，而且发现了地磁现象——磁偏角，这是世界上最早的记载。

(一) 磁极 磁针何以能指南北? 是因为其上赋有磁极。又何以得知磁极? 若将磁针放于铁粉之中, 取出后可见靠近其两端部的地方, 吸附的铁粉最多, 此处就是磁极。磁针指北之极我们称为指北极, 或简称为北极(N极)。其指南之极, 称为指南极, 或简称为南极(S极)。并且规定N极为正, S极为负, 以示区分它们的极性。联结磁针两极之直线为磁轴, 它的正方向规定为从S极至N极。同时, 磁极不可单独存在, 两个异性磁极同存于一个磁体之中。

(二) 磁极相互作用 以一磁铁接近磁针, 如图1—1所示, 当磁铁的N极去接近磁针的N极时, 则见后者立被排斥, 沿箭头的指向偏转。反之, 若以磁铁的S极去接近磁针的N极, 则见后者立被吸引。这一现象说明了磁极之相互作用的规律是: 同性极相排斥、异性极相吸引。

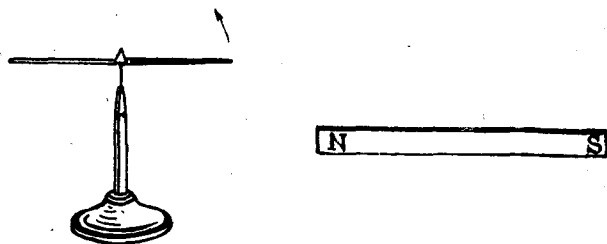


图 1—1

磁极相互作用力的大小, 是与两磁极之强弱有关系的。表示磁极之强度的物理量, 称为磁量, 通常以字母 m 表示它。

二、磁库伦定律

任何一个磁体, 比如磁铁, 均具有两个异性磁极。如果我们将此磁体再细分成若干个, 则每一个小磁体, 它都具有两个异性磁极, 不论把磁体分成多么小, 均是如此。

为了量度两磁极之间相互之作用力, 可用细而长之磁棒, 这样假定磁极之位置, 系在其端末之点, 视为点极。如图1—2所示, 棒既甚长, 远端之影响即可忽略。1785年库伦 (Coulomb)

由实验结果，推断：两个点极间之作用力（吸引力或排斥力）的大小，系与两个磁极之磁量的乘积成正比，而与其距离之平方成反比例。它表示为：

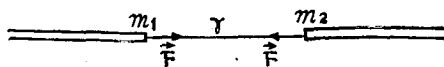


图 1—2

$$F = c \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1.1)$$

式中， F 表示两个磁极间之作用力，它是矢量，即不但有大小、且有方向。 m_1 与 m_2 为两磁极的磁量， r 为两磁极之间的距离， c 为比例系数，其值视各量所用之单位和磁极所处之介质而定。

如果两个磁极同性，则 (1.1) 式中 F 表示为排斥力，其符号为正。反之，两个磁极异性，则 F 之符号为负，表示为吸引力。力之方向乃沿两磁极之连线而作用。

(1, 1) 式中，磁极磁量的单位是这样规定的：在厘米·克·秒电磁单位制 (CGSM) 中，若两个等值之磁极，在真空中相距 1 厘米，其相互之作用力为 1 达因，则两磁极之磁量各为 1CGSM 单位，此时比例系数 c 等于 1。

若两磁极处于空气中，比例系数 c 亦近似等于 1。所以，磁库伦定律的一般表达式为：

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (\text{达因}) \quad (1.2)$$

三、磁场与磁场强度

上述式 (1, 2) 是静磁学的基本公式，亦是静磁学的出发点。在静磁学中，前人仿照电荷的概念，认为磁体中也存在着“磁荷”。它与电荷有许多类似之处，“磁荷”有正、负之分，正磁荷聚集在 N 极，负磁荷聚集在 S 极。以磁量一词用以表示“磁荷”的数量。从“磁荷”的观点出发，定义了磁量、磁场强度等物理

量，并建立了磁库伦定律。

(一) 磁场 磁库伦定律表明，两个磁极在相距一定的距离上，它们之间存在着一定大小的相互作用力。这种相互作用是通过在磁极周围的空間内存在的磁场来实现的；然而，也正是通过这种相互作用，使我们认识到磁场的存在。所谓磁场系指有磁力作用的物质空间。它和重力场、电场一样，也是看不见、摸不着，而是客观存在、可以测量出来的。它是一种特殊形式的物质。

(二) 磁场强度 在磁体周围空间的一定范围内存在着磁场，在磁场内置一磁极，它所受之力，与其所在位置和所具之磁量而异。如果将同一个磁极置于场内不同的点上，它所受到的作用力是不一样的，距离场源（产生磁场的磁体）近，所受之力强；距离场源远，所受之力弱。这就是说，磁体周围空间内各个点上存在的磁场是有强弱之分的。为了表征磁场的这个物理性质，而引入磁场强度这个物理量。

在静磁学中，其定义为：一个单位正磁荷在磁场中某点所受之力，称为该点的磁场强度。

假如，一个正磁极的磁量为 m_0 ，它在磁场中某点所受之力为 F ，则该点的磁场强度表示为：

$$T = \frac{F}{m_0} \quad (1.3)$$

磁场强度是一个具有方向的物理量，符号表示为 $\vec{T}$ ，并规定为正磁荷所受力的方向，就是该点 $\vec{T}$ 的方向。

根据磁库伦定律，可将公式 (1, 3) 变换成：

$$T = \frac{F}{m_0} = \frac{m \cdot m_0}{r^2} \cdot \frac{1}{m_0} = \frac{m}{r^2} \quad (1.4)$$

(1, 4) 式表明，场中某点的磁场强度是与场源的磁量 m 成正比、与该点到场源的距离平方成反比。

磁场强度的单位，在绝对电磁单位制（即厘米·克·秒电磁单位）中是这样定义的：1CGSM 单位的正磁荷（N 极磁荷），在磁场中某点所受之作用力为 1 达因，则该点的磁场强度为 1 CGSM

单位, 或称为 1 奥斯特 (Oe)。在磁法勘探工作中, 是取 1 奥斯特的十万分之一, 作为磁场强度的实际测量单位, 叫做伽玛 (γ) 即

$$1 \text{ 伽玛} = 10^{-5} \text{ 奥斯特}$$

在一个磁体周围空间内分布着磁场, 如果该空间内还有另一个磁体, 在其周围同样地分布着由它产生的磁场。因此, 在它们共同影响之范围内, 同时存在两个磁场。且一个磁体的磁场之分布, 并不因另一个磁体之存在而变更。这时, 区域内某点的磁场强度, 则是两个磁体在该点的磁场强度之向量相加, 或说它是两个磁场的叠加。磁场强度的叠加, 应遵守力的合成法则, 即平行四边形法则。

如果在区域内, 各点上磁场强度的数值均相等, 其方向又均平行一致, 则在此区域内之磁场称为均匀磁场。此两个条件有一不满足者, 则是非均匀磁场。

(三) 磁位 在磁体周围空间的磁场, 其区域内某一点的磁场分布, 是和该点的位置有关的。或者说磁场是位置的函数。因此, 表征磁场特征的物理量除磁场强度之外, 还有磁位。

磁位的定义 在场中某点将一个单位正磁荷, 由该点沿任意路线移至无穷远处, 场力所做的功就称为该点的磁位。通常以符号 U 表示。

如图 1-3 所示, 设场源的磁量为 m , P 点至场源的距离为

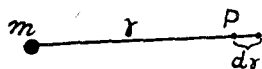


图 1-3

r , 则单位正磁荷在 P 点所受之场力是 $F = \frac{m}{r^2}$ 。如将它移动一个 dr 距离, 其场力所作之功为 $W = F \cdot dr = \frac{m}{r^2} \cdot dr$ 。按上述定义 P 点的磁位为:

$$U_p = \int_r^{\infty} \frac{m}{r^2} \cdot dr = \frac{m}{r} \quad (1.5)$$

磁位，它是一个标量。磁场也是位场。

磁位与磁场强度的关系如图 1-4 所示 U 和 $U-dU$ 表示两个等位面，其间相距为 dS 。如将单位正磁荷从 B 点移至 A 点，则场力所作的功为： $T \cdot dS = (U - dU) - U = -dU$

$$\text{或} \quad T = -\frac{dU}{dS} \quad (1.6)$$

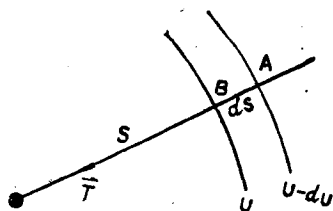


图 1-4

它表明，场中某点的磁场强度 $+m$ 度，在数值上等于磁位沿距离方向的变化率。其负号表示磁位增加的方向和磁场强度的方向相反。

在直角坐标系中，磁场强度 T 在三个坐标轴上的分量，可分别表示为：

$$T_x = -\frac{\partial U}{\partial x}, \quad T_y = -\frac{\partial U}{\partial y}, \quad T_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

$$\text{或} \quad \vec{T} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z} \vec{k}\right) \quad (1.7)$$

式中， $\vec{i}$ ， $\vec{j}$ ， $\vec{k}$ 分别为 x 、 y 、 z 轴上的单位矢量。

(四) 磁力线 磁场之分布情形，可由场中各点之磁场强度决定。同时，还可以用磁力线形象地表示磁场之分布。比如：置玻璃板于磁铁之上，在其上均匀地撒布铁屑，继之轻敲玻璃板，使铁屑可自由转动，则各铁屑将相互联结成线，显示出磁力线的形状。如图 1-5 所示。

磁力线之特性有：

1. 在磁铁外部，磁力线系自 N 极出而入于 S 极。磁力线的方向表明正磁荷移动的方向。磁力线上任一点的切线方向，就是该点磁场强度的方向。

2. 两磁力线不会相交。若相交则该点之磁场强度将有两个方向，显然这是与磁场强度的定义不相符的。

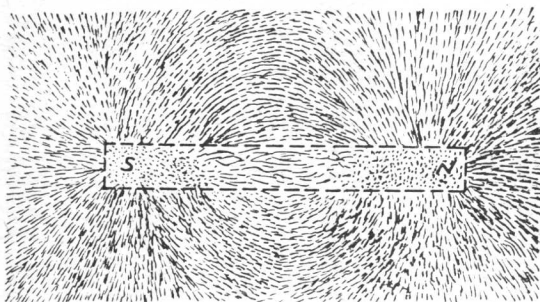


图 1—5

3. 磁力线密的地方，表明该处磁场强。由图 1—5 显见，在磁极处磁力线密集。因此，可藉以通过与磁力线相垂直的单位面积上的磁力线之数目，表示场强度的大小。

四、磁铁的磁场

(一) 磁矩 若将条形磁铁置于均匀磁场内，其两极受到磁场的作用力大小相等、方向相反。也就是说作用在磁铁上的作用力是一对力偶，有使磁铁转动之趋势。所以，条形磁铁在磁场中所受之作用力，不仅与磁极的磁量有关，还与磁铁的长度有关。为了表征这种关系，我们取磁量与两极距离之乘积，定义为磁铁的磁矩，以符号 M 表示之。即

$$M = m \cdot 2l \quad (1.8)$$

式中， m 是磁极的磁量， $2l$ 是两磁极之间的距离（或磁铁的长度）。

磁矩 M 是一个矢量，其方向规定为由 S 极至 N 极的方向，即以磁轴的方向代表之。它是表示磁铁总体磁性强弱的物理量。

一个条形磁铁所产生的磁场，是不均匀的，如两极强、中间弱。其中两个位置上的磁场强度，我们可用近似地方法计算求