

56.293
01898
~~02355~~

地质部地质研究所编

磁法勘探

广西冶金地质学校物探教研室磁法教研组编



地质出版社

物探工人自学参考读物

磁 法 勘 探

广西冶金地质学校物探教研室磁法教研组编

地质出版社

物探工人自学参考读物

磁法勘探

广西冶金地质学校物探教研室

磁法教研组编

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

1979年2月北京第一版·1979年2月北京第一次印刷

印数1—9,620册·定价2.10元

统一书号, 15038·新328

前 言

磁法勘探是一种使用广、地质效果较好的物探方法。随着国民经济的迅速发展，它在地质找矿勘探工作中的作用日益显著。

我们编写这本读物的目的，在于按照磁法工作的全过程，介绍磁法工作的基本原理、方法和技術，以适应具有初中文化程度和初步接触磁法工作的物探工人自学的需要。本书也可作为“七二一”工大师生及地质人员学习物探的参考书。

本书共分十章，包括必要的基础知识、地面磁测仪器、野外工作及磁异常的解釋推断，并编入了有关航磁异常的地面检查工作方面的内容，侧重于基本物理概念的分析和工作方法的叙述。编写中力求做到深入浅出、条理清楚、方法具体、释例详尽、通俗易懂。

本书由广西冶金地质学校物探教研室磁法教研组主编，由梁锦文、秦大森同志执笔编写。其中磁力仪部分章节和航磁异常的地面检查工作，分别由武汉地质学院物探系阎桂林同志和西安地质学院磁法教研组李纪刚同志编写。国家地质总局第二综合物探队参加了协编工作。在编写过程中，得到了广西、湖南、湖北等省（自治区）地质局物探队、中南冶金地质勘探公司606队、桂林冶金地质研究所等有关单位的大力协助。许多同志对编写提纲及内容提出了宝贵意见，在此深致谢意。

由于编者水平有限，实际经验不多，加之时间仓促，缺点在所难免，恳请读者指正。

广西冶金地质学校物探教研室磁法教研组

目 录

绪言	1
第一章 磁法勘探的基础知识	4
第一节 磁体的磁场	4
第二节 物质的磁化	13
第三节 地球的磁场	27
第二章 磁力仪	39
第一节 悬丝式垂直磁力仪	40
第二节 定向水平磁力仪	93
第三节 磁通门式磁力仪	111
第四节 核子旋进式磁力仪	121
第五节 其他磁力仪	131
第三章 磁测野外工作	135
第一节 测网和精度	136
第二节 野外施工	157
第三节 磁测数据的整理和图示	171
第四章 岩矿石磁性	205
第一节 岩矿石磁性的一般特征	206
第二节 磁秤法	218
第三节 岩矿石磁性参数数据的统计方法	243
第四节 磁参数资料整理及一般应用	255
第五章 磁性体磁场分析	266

第一节	地质体的磁化特征	267
第二节	几种单个规则形状磁性体的磁场	276
第三节	影响磁异常特征的基本因素的讨论	313
第六章	磁性体形状产状的初步推断	323
第一节	磁体形状的一些相对概念	323
第二节	确定磁性体形状的方法	328
第三节	磁性体产状的初步推断	333
第四节	圈定磁性体的边界问题	347
第七章	定量计算方法	357
第一节	简单磁异常的定量计算	358
第二节	选择法	375
第三节	磁异常曲线的处理	404
第四节	磁异常定量计算的若干问题	440
第八章	磁异常的地质解释	447
第一节	异常检查	448
第二节	区分矿与非矿异常的一般方法	452
第三节	剩余异常的解释	472
第四节	地质解释应注意的问题	482
第九章	航磁异常的地面检查工作	487
第一节	航空磁测工作	487
第二节	航磁异常的地面检查	492
第十章	磁法勘探的应用	511
第一节	在铁矿床上的应用	511
第二节	在多金属矿床上的应用	541
第三节	在非金属矿床中的应用	550
第四节	在区域地质测量和地质填图中的应用	552

绪 言

什么是磁法勘探

埋藏在地下的矿产不但种类多，富集的形式也非常复杂。有的矿体在地表有露头；多数矿体不出露地表，属于“盲矿”，用一般的地质手段寻找有困难。这就需要借助于一些精密仪器来观测各种物理场，如地磁场、重力场及电场等的变化规律，从而间接寻找地下的矿体。这种找矿方法叫做地球物理探矿法（以下简称物探）。磁法勘探就是其中的一种方法。

磁法勘探是以地壳中岩矿石的磁性差异为基础的。由于这种差异的存在，在地表就形成有一定特点的磁场，叠加在地球所产生的磁场之上，形成磁异常。通过测定和分析这些磁异常，研究它与地下地质构造的关系，从而作出关于地下地质情况及矿产分布的有关结论。这就是磁法勘探的实质和主要任务。

了解和掌握磁测仪器的原理、结构、操作规程和野外工作方法；测定和研究岩矿石的磁性；掌握磁性体磁场的基本知识，从理论上研究磁异常和地质现象之间的一般规律；以辩证唯物主义观点为指导，应用有关理论对磁测资料进行解释推断——这是我们学习磁法勘探的主要内容。

磁法勘探可分为航空磁测、地面磁测和井中磁测。本书主要介绍地面磁测方法。

我国磁法勘探发展简况

作为磁法勘探理论基础之一的地磁学，最早发明于我国。远在两千多年前，我国劳动人民就发现了磁现象，并据此发明了指南针。但是由于封建制度的长期统治，阻碍了我国科学技术的发展。

就磁法勘探这门应用科学本身而言，最早开始于欧洲。十七世纪在瑞典，十八世纪在俄国就有人根据地磁场的变化找铁矿。从十九世纪开始，先后在瑞典、德国出现了专门的磁法勘探仪器。到二十世纪初期，先后在苏联、美国出现了较高精度的磁力仪。近年来，由于物探中不断引入最新的科学成果，磁法勘探无论在仪器方面还是解释推断方面都进入了一个新的发展阶段。

解放前，我国除了几个人在极少数地区用磁法零星地作了一些工作外，几乎是一片空白。解放以后，在中国共产党的领导下，在毛主席革命路线的指引下，磁法勘探和整个地质事业一样，得到很大的发展。第一个五年计划期间，成立了专门的地球物理勘探机构，在地质院校中设立了物探专业，建立了自己的地质仪器制造厂。二十多年来，我国的磁法勘探事业规模越来越大，水平日益提高。在仪器制作方面，国产悬丝式、刃口式磁力仪已经在我国普遍使用，并满足了野外生产工作需要。另外，还试制成功了一些新型的航空、地面及井中磁测仪器，例如核子旋进式磁力仪、磁通门式磁力仪及光泵磁力仪等，超导磁力仪正在研制之中。在解释理论方面，我国磁法工作者结合我国实际情况，创造了适合我国特点的斜磁化解释理论，并且从只研究二度异常进入研究三度异常，从只研究均匀磁化进入研究非均匀磁化的

解释理论阶段。

目前，我国磁法勘探正在赶超世界先进水平。测量仪器正向高精度、高效率、轻便的自动化电子仪器方面发展。在工作方法上，开展不同比例尺、不同高度的航空磁测，获得更丰富的磁场空间分布资料，并且密切结合地质和地面磁测，进一步加快找矿速度。电子计算机的广泛应用，将大大提高解释的速度和精度，从而大大提高磁法勘探的理论水平和应用范围。

磁法勘探在地质工作中的作用和地位

地质部门是个侦察部门——地下情况的侦察部门。它的工作搞不好，一马挡路，万马不能前行。地质工作进展如何，直接关系到基础工业的布局、规模和发展速度，对经济建设全局影响极大。

物探是地质找矿的一种手段，特别是找寻盲矿体，具有独特的效果。在物探诸方法中，磁法勘探又具有成本低、效率高、地质效果好的特点。实践证明，物探特别是磁法，在整个地质找矿工作的全过程中都能应用。例如，在小比例尺地质填图时，根据磁测结果，可划分各类岩石的分布范围，查明控制成矿的构造，进而圈出找矿有望地段；利用大比例尺地面磁测资料可直接找磁性金属矿床，在条件有利时，可以推定磁性矿体的形状及产状，估算矿体的体积；对于已经作初步勘探的矿区，研究剩余磁异常，可以寻找钻孔之间及深部的盲矿体等。

我们要以“世上无难事，只要肯登攀”的革命精神，掌握磁法勘探的基本理论和技能，以学习和工作的优异成绩响应英明领袖华主席的号召：“高举毛泽东思想伟大红旗，加强地质工作，为实现四个现代化作出贡献。”

第一章 磁法勘探的基础知识

第一节 磁体的磁场

我国早在公元前三世纪就发现了“磁”的现象。古代最早提到磁石吸铁现象的典籍中“磁”字写作“慈”，意味着磁石吸铁好象母亲抱孩子一样，所以叫“磁石”。在欧洲，许多论著中也都记载着位于小亚细亚的马格涅西亚城附近发现的一种能吸铁的黑色石头。因此，这种石头就得了“马格涅特”的名字，也就是磁石。它们都具有一种奇异的特性，下面我们来详细地描述它。

磁 极

大家知道，用一块天然的磁石（俗称吸铁石）或一条由铁铝碳合金铸成的条形磁铁去靠近或接触铁屑，便会发现它们能吸住铁屑。这种能吸引铁质物体的性质，称为磁性。具有磁性的物体，叫做磁体。大家熟知的磁铁矿石是天然磁体，而由人工方法用钢或其他合金制成的是人造磁体。在磁法勘探中，常把有磁性的矿体或岩体统称为磁性地质体或磁性体。

如果把铁屑撒在条形磁铁上，我们会发现中间所吸铁屑较少，而两端吸的铁屑最多（图1—1），这两端称为磁极。

若把条形磁铁象图1—2那样悬挂起来，使它能在水平面上自由转动。那么，当它静止时，就可以观察到它总是一个磁极指北，另一个磁极指南。人们把指北的磁极叫做北极，用 N 表示；指南的磁极叫做南极，用 S 表示。一个磁体，无论它是大是小，是长是短，总是有 N 极和 S 极同时出现。事实证明，磁体的磁极总是成对存在，没有单一磁极的磁体。

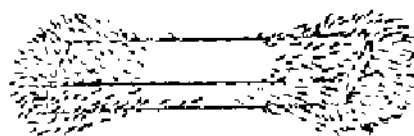


图 1—1 吸有铁屑的条形磁铁

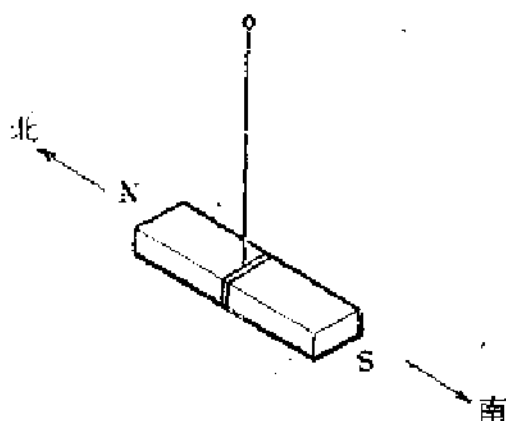


图 1—2 悬挂起来的条形磁铁

磁库仑定律

实验证明，不同磁体的磁极能相互作用。 N 极和 N 极相互排斥， S 极和 S 极也相互排斥，只有 N 极和 S 极相互吸引，就是说“同性相斥，异性相吸”。这种磁极间的斥力和吸力，统称为磁力。磁力的大小与磁极磁性的强弱及磁极间的距离等因素有关。

磁极磁性的强弱用“磁荷”表示，“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”或“磁荷量”表示磁荷数量的多少，用 m 表示。磁极的磁荷越多，即磁量 m 越大，磁极的磁性就越强。

为了计算两个磁体磁极间的相互作用力，必须采用很长而且很细的磁体，以排除其余两个磁极的影响。这时只要把所

研究的两个磁极之间的距离调得相当近，则其他两极就距离它们比较远，影响就可忽略不计了。并且细长磁体的磁极比较小，磁性比较集中，可以看成是点磁极，如图1—3a所示。

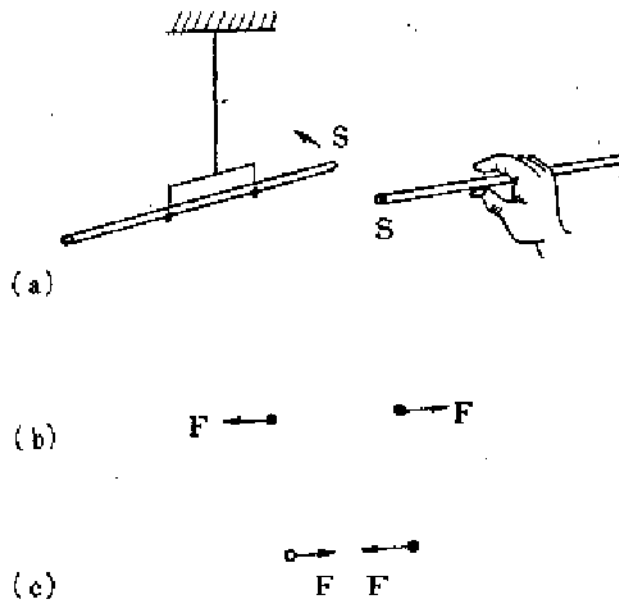


图 1—3 点磁极的相互作用

a—作用示意图，b—同性相斥，c—异性相吸

库仑通过实验总结出—条规律，称为磁的库仑定律。它的基本内容是：两个磁极间的吸力或斥力与它们的磁量的乘积成正比，与它们之间的距离平方成反比。作用力的方向在两个点磁极的连线上，同性磁极向外（图1—3b），异性磁极向内（图1—3c）。

若用 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， F 表示作用力，则磁库仑定律可用公式表示为

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

式中 K 是比例常数。作用力 F 是一个矢量，通常在字母 F 上加一箭头，用 \vec{F} 来表示。 \vec{F} 不但有大小，而且有方向。当两磁极的极性相同时， F 为正值，表示斥力；当极性相反时， F 为负值，表示吸力。

在CGSM制（厘米、克、秒、电磁单位制）^①中规定：当两个磁量相等的点磁极在真空中相距为1厘米时，如果相互作用力为1达因，它们各自的磁量就是1CGSM制磁量单位，用CGSM(m)表示。磁量为1CGSM(m)单位的磁荷叫单位磁荷。

K 的数值和式中各量的单位有关。采用CGSM单位制时，在真空中 $K=1$ ；在空气中， $K \approx 1$ 。因此，磁库仑定律可简化为

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

磁场强度

磁极之间有力的作用，这种力和我们常见的力不同。磁力能够“超距”地直接作用在另一个磁极上。磁力作用的空间，称为磁场。象重力场和电场一样，磁场也是看不见摸不着的，是一种特殊形式的物质。然而，通过它的磁力作用，可以认识它的存在。磁极的相互作用就是通过磁体周围的磁场直接进行的。

将一个点磁荷放在磁体周围不同的位置上，它受磁场作

① 在物理学中，距离以厘米（ cm ）表示，质量以克（ g ）为单位，时间用秒（ s ）计算所推算出来的单位制，将它们的字头排在一起写作CGS，叫厘米、克、秒单位制。在CGS单位制中，力的单位为达因，1达因约等于1毫克质量的重量。

用的情况是不同的。它既受到这个磁极的排斥，也受到另一个磁极的吸引；离这个磁极近些，作用力就大些；离那个磁极远些，作用力就小些。就是说，点磁荷在磁场中不同点上所受到的力（大小和方向）是不同的。为了描述磁场的力的特性，我们引入一个磁场强度的概念。

磁场中某一点的磁场强度，就是放在那一点上的单位正磁荷所受到的力。如果那一点上的磁量为 m_0 ，所受到的磁力为 F ，则该点的磁场强度 T 的大小可用下式表示，

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

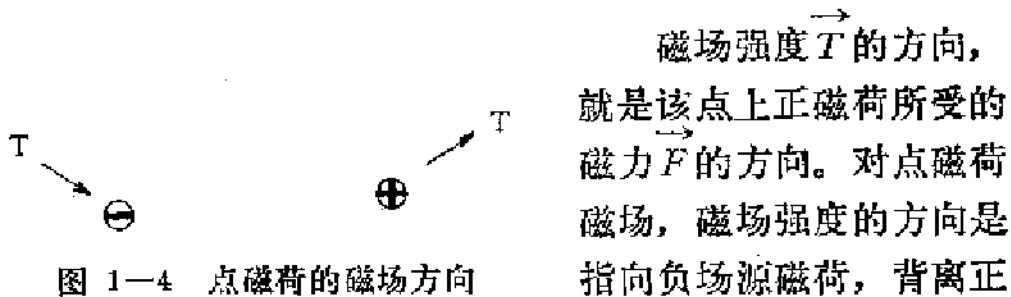


图 1—4 点磁荷的磁场方向

磁场强度的单位

磁场强度的单位是这样规定的：把单位正磁荷放在磁场中某点上，如果它所受到的磁力是 1 达因，则这一点的磁场强度就是 1CGSM 单位，它的专门名称叫做 1 奥斯特，用符号 O 表示。

在磁法勘探工作中，测量的磁场强度的变化在 0.0001 至 0.1 奥斯特之间，用奥斯特单位太大，实际应用上都取十万分之一奥斯特作为单位，叫做伽玛，用希腊字母 γ 表示。这样，

$$1 \text{ 伽玛} = \frac{1}{100000} \text{ 奥斯特} = 10^{-5} \text{ 奥斯特}$$

或 $1 O_e = 100000 \gamma = 10^5 \gamma$

例如, $0.001 O_e = 0.001 \times 10^5 \gamma = 100 \gamma$, 即0.001奥斯特就是100伽玛。

磁力线

为了直观地了解磁场的分布情况, 我们做以下的实验。

将小指南针按一定间隔放在条形磁铁周围。由于磁铁磁场对小磁针的作用, 每一个小磁针便自然排列如图1—5所示的有规律的分布。这些小磁针的N极的指向就是磁场的方向。如果我们顺着小磁针排列的方向, 画出一些曲线, 使这些曲线上每一点的切线方向和该点的磁场方向一致, 那么这些曲线就是磁力线。永久磁体的磁力线总是从磁体的N极出发, 回聚到S极的。由于在磁场中任一点, 磁场强度只有一个方向, 所以磁力线是永不相交的。图1—6就是永久磁铁的磁力线。

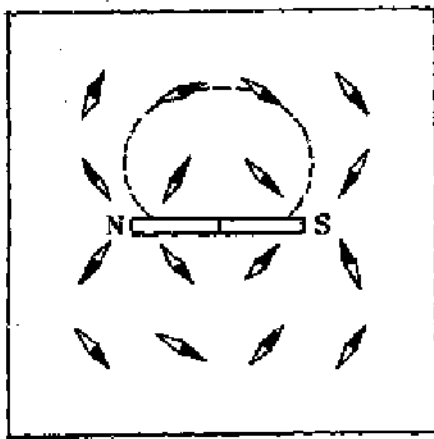


图 1—5 磁铁周围的磁场特征

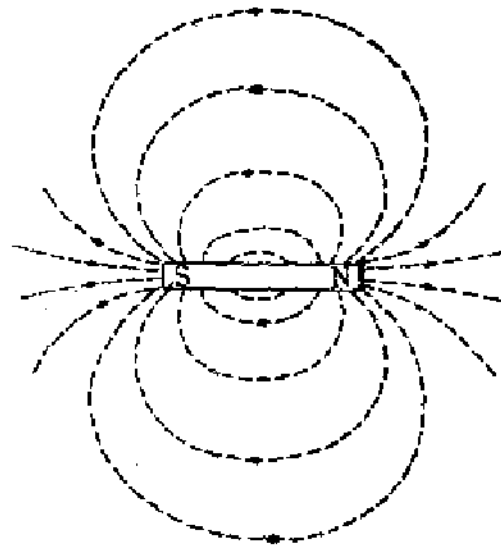


图 1—6 磁力线

应该指出, 磁力线是假设的, 目的是为了形象地描述磁场的特征, 不要误以为磁场中真有这样一些线存在。

磁力线不仅能显示磁场强度的方向，也能用磁力线的稀密程度来表示磁场强度的大小。磁力线较密的地方，磁场强度就较大；磁力线越稀，磁场强度就越小。

凡空间各点的磁场强度大小和方向相同的磁场叫均匀磁场。均匀磁场的磁力线是一簇均匀（处处稀密程度相同）的平行线。磁场中各点磁场强度不一致的称为非均匀磁场。

磁偶极子

从库仑定律可知，在一个磁量为 m 的点磁极磁场中，若在距离这个点磁极为 r 厘米处放上一个磁量 $+1\text{CGSM}(m)$ 的试验磁极，那么它所受到的磁力为 $F = \frac{m \times 1}{r^2}$ ，故该点的磁场强度就是

$$T = \frac{m}{r^2} \quad (1.4)$$

这就是场源点磁荷的磁场公式。

由若干磁极共同形成的磁场是比较复杂的。实践证明， n 个点磁荷在某一点 P 产生的磁场强度，等于每个点磁荷单独在该点产生的磁场强度的矢量和，这个性质叫做磁场的叠加原理，可表为

$$\vec{T} = \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \dots + \vec{T}_n \quad (1.5)$$

对于方向平行的分量来说，公式 (1.5) 按代数和运算。

磁场的叠加原理，是磁荷磁场的基本性质之一。利用这一原理可以计算任何磁性体产生的磁场强度，因为任何磁体都可以看作是许多点磁荷的集合。

对于一个磁体来说，它总是有两个磁极。因此磁体周围任一点的磁场强度，都是由磁体的两个磁极分别在该点引起

的磁场强度的合成。计算各个单个磁极的磁场仍可按 (1.4) 式进行。

例如一条形磁铁，设它的两极间的距离为 $2l$ ，计算在两极连线的延线上，距其中心 O 为 r 厘米 (r 比 l 大很多) 处一点 A 的磁场强度。由于 A 点是在磁铁的 S 极和 N 极的磁场里，单位正磁荷在这个点上要受到两个方向相反、大小不同的力，如图 1-7 所示。这两个分力是： S 极引起的分力

$$T_s = \frac{m}{r_s^2} = \frac{m}{(r-l)^2}$$

方向向下； N 极引起的分力是

$$T_N = \frac{m}{r_N^2} = \frac{m}{(r+l)^2}$$

方向向上。

考虑到力的方向，规定向下为正，则 A 点的磁场强度为

$$T_A = T_s - T_N = \frac{m}{(r-l)^2} - \frac{m}{(r+l)^2} = \frac{4rlm}{(r^2-l^2)^2}$$

$$\text{当 } r \gg l \text{ 时 } \quad T_A = \frac{4rlm}{r^4} = \frac{4lm}{r^3} \quad (1.6)$$

它的方向是指向磁铁的，即 T_A 是向下的。

如果点 B 在条形磁铁的中垂线上，它到磁铁的中心 O 的距离为 r (同样 $r \gg l$)，这时 T_s 和 T_N 两个分力方向不同。但由于 B 点到 S 极之距离 r_s 与到 N 极之距离 r_N 相等，所以两个分力的大小是相等的，即

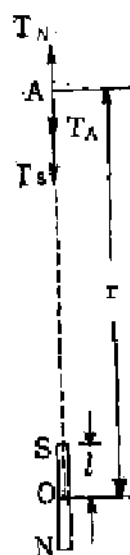


图 1-7 条形磁铁磁轴延线上的磁场