

中等专业学校教材試用本

普通地球物理勘探

(矿产地质勘探专业用)

北京地质学校編

只限学校內部使用



中国工业出版社

目 录

前 言

第一章 磁法勘探

- 第一节 磁法勘探的基本原理..... 5
 - §1. 磁学的基本知識..... 5
 - §2. 地磁..... 6
- 第二节 磁秤..... 9
 - §1. 基本原理..... 9
 - §2. 仪器结构..... 9
 - §3. 操作方法..... 10
- 第三节 野外工作..... 11
 - §1. 磁法勘探的任务, 比例尺及测网密度..... 11
 - §2. 测网的布置..... 12
 - §3. 仪器类型的选择..... 12
 - §4. 校正点与基点..... 12
 - §5. 磁测工作的进行..... 13
 - §6. 磁场变异的测量..... 13
 - §7. 野外岩石磁性的测定..... 14
- 第四节 地面磁测结果的资料整理..... 14
 - §1. 磁异常的計算和各项校正..... 14
 - §2. 测量结果误差的估計..... 16
 - §3. 磁测结果的图示..... 17
- 第五节 磁法勘探的地质解释..... 18
 - §1. 定性解释..... 19
 - §2. 定量解释..... 21
- 第六节 磁法勘探的应用..... 22
 - §1. 直接找矿..... 22
 - §2. 間接找矿..... 22
- 第七节 实例..... 23
 - §1. 接触式铁矿..... 23
 - §2. 硫化铜矿..... 23

第二章 重力勘探

- 第一节 重力勘探的基本原理.....
 - §1. 重力.....
 - §2. 正常重力和重力异常..... 28
 - §3. 岩石密度..... 28
- 第二节 重力勘探的仪器..... 29
 - §1. 重力仪..... 30
 - §2. 扭秤..... 31
- 第三节 野外工作..... 33
 - §1. 重力仪测量的野外工作..... 33

- §2. 扭秤测量的野外工作..... 34
- 第四节 重力勘探结果的资料整理..... 35
 - §1. 重力仪测量的资料整理..... 35
 - §2. 扭秤测量结果的图示..... 37
- 第五节 重力勘探的应用..... 37
 - §1. 研究大地构造..... 38
 - §2. 背斜与盐丘..... 38
 - §3. 普查勘探煤田..... 38
 - §4. 金属矿床..... 39
- 第六节 实例..... 39
 - §1. 煤田..... 39
 - §2. 背斜..... 40

第三章 电法勘探

- 第一节 电阻率法的理論基础..... 41
 - §1. 岩石电阻率..... 41
 - §2. 正常电场、一个和两个点电源的电场
。电位..... 43
 - §3. 视电阻率的概念..... 45
- 第二节 电阻率法的仪器设备..... 46
 - §1. 电位計的基本原理..... 46
 - §2. 9II-1 型电位計..... 46
 - §3. 其它装备..... 48
- 第三节 电阻率法..... 49
 - §1. 电测深..... 49
 - §2. 电剖面..... 55
- 第四节 自然电场法..... 62
 - §1. 自然电场产生的原因..... 62
 - §2. 自然电场法使用的仪器设备..... 63
 - §3. 测网密度..... 64
 - §4. 自然电场的图示及解释..... 64
 - §5. 自然电场的充电法..... 65
 - §6. 自然电场的电法的一般知識..... 65
 - §7. 用自然电场的电法的一般知識..... 65
 - §8. 用充电法确定地下水的流速和流向..... 66
- 第五节 激发电位法 (BII)..... 67
 - §1. 电子导体的激发极化过程..... 67
 - §2. 离子导体的激发极化过程..... 68
 - §3. 观测方法..... 68
 - §4. 实例..... 69
- 第六节 感应法..... 69

第四章 地震勘探

第一节 地震勘探的原理	70
§1. 地震波的概念	70
§2. 地震波在岩层中传播的速度	71
§3. 有关振动与波的一些概念	71
§4. 反射波和折射波的形成	72
§5. 时距曲线	73
第二节 地震勘探的仪器设备	74
第三节 地震勘探的野外工作	76
§1. 激发条件与接收条件	76
§2. 观测系统	77
§3. 观测网的布置	77
第四节 地震勘探的应用	78

第五章 放射性勘探

第一节 放射性测量的理论基础	81
§1. 原子构造及放射性	81
§2. 放射系列及天然放射性元素系列	81
§3. 放射性蜕变的种类及其性质	82
§4. 放射性蜕变的规律	82
§5. 放射性平衡及在找矿中的意义	85
§6. 放射性强度的测量单位及标准源的概念	86
§7. 自然界中放射性元素在岩石及矿石中的分布	87
第二节 地面伽玛测量	88
§1. γ 测量的原理	88
§2. 地面 γ 测量仪器	88
§3. γ 测量的野外工作方法	91
§4. γ 测量的实际材料图	95
第三节 射气测量	96
§1. 射气测量的理论基础	96
§2. 射气仪的一般介绍	96
§3. 射气测量的野外工作	96
§4. 射气测量图件的绘制	97
§5. 异常性质的判断	98

第六章 测井

第一节 电阻率测井法 (KC)	99
§1. 一点电源的电场中任意点的电位	99
§2. 电极系的表示方法和类型	99
§3. 均匀介质电阻率的测定	100
§4. 视电阻率及其与岩石电阻率的关系	101
§5. 视电阻率曲线的解释推断	102
§6. 影响 ρ_k 的因素	104
第二节 自然电位测井法 (ПС)	105
§1. 自然电位产生的原因	105
§2. 自然电位的形成及地层边界的决定	105
§3. 影响自然电位曲线的因素	106
第三节 测井仪器设备	107
§1. 半自动测井站	107
§2. 测井工作的辅助设备	108
第四节 其它电法测井	109
§1. 电解测井法 (ЭК)	109
§2. 单电极测井法 (J)	109
§3. 滑动接触法 (МСК)	110
§4. 电极电位法 (МЭП)	111
第五节 测井前井的准备	112
第六节 井内技术情况的检查	112
§1. 泥浆电阻率的测定	113
§2. 井斜测量	114
§3. 井壁取心	115
第七节 放射性测井	115
§1. 天然伽玛测井 (ГК)	116
§2. 中子伽玛测井 (НГК)	117
§3. 伽玛伽玛测井 (ГГК)	118
第八节 测井综合应用	118
§1. 测井在金属矿区的应用	118
§2. 测井在油田上的应用	118
§3. 测井在煤田上的应用	118
§4. 测井在水文地质及工程地质上的应用	118
§5. 井的对比和绘制构造图	118

緒 言

地球物理勘探就是利用地球物理的方法来研究地下的地质情况（例如各种不同的岩石和矿体的分布以及它們的埋藏位置和埋藏深度）而以找出隱伏的有用矿产为其目的。

在地球物理勘探中，首先是研究由地下岩石或矿体引起的某些物理現象，然后根据这些物理現象来判断地下的地质情况并发现矿体。

但是，地球物理勘探不能用来代替地质勘探找寻矿产。它是地质勘探的一个“兵种”，要把地质工作、地球物理工作、鑽探工作綜合使用起来，才能更合理地找到矿床。地球物理工作使用于整个勘探程序的最合适阶段，能为地质人員提出許多肉眼見不到的地下資料，帮助他們作出更有依据的臆断，最后使鑽探工作的布置目的更清楚，发现矿床的命中率就大为提高。当然，如果条件合适，我們也不否定地球物理工作在勘探程序上可以先跑在其它工作的前面，取得重要的找矿資料。

地球物理勘探方法的种类很多，它是以物理学原理应用于探矿，因此随着科学技术的发展几乎所有物理学的原理都能用上。这些方法可以按照它們所依据的岩石矿物具有的物理性质或特殊的应用范围来分类。現在就把各类方法作如下的說明：

一、磁法勘探：此类方法利用各种岩石矿物具有不同磁性，影响地面地磁場强度的变化，因此在地表测量磁場的强度，可以了解到一些地下岩体与矿体的埋藏情况。磁法已經很普遍地使用来寻找潛伏的磁性矿体，特别是磁鉄矿，效果很好。另外也常用来圈定被掩盖着的磁性岩体，例如超基性岩体。分辨出两种磁性不同岩体的接触面，进行所謂“地质填图”，也就是帮助地质人員在复盖地区填繪地质界綫。在沉积岩很厚地区，研究磁性結晶基底的起伏和构造，圈出火成岩体的范围，从而了解深处的大地构造。

这样，磁法的用处就最广，可以用来直接或間接找寻各种矿产，包括石油与煤田。

二、重力勘探：此类方法利用了岩石与矿体具有不同密度，影响地面重力加速度的变化，因此在地面上測定重力变化，可以了解地下密度不同矿体及岩体的埋藏情况。在合适的条件下，可以用重力测量找出密度特別高的潛伏矿体，如致密状的黄鉄矿体。沉积岩层很厚地区，重力勘探常被用来寻找岩层的各种构造和研究沉积岩以下結晶基岩的起伏、火成岩体的分布，为普查石油矿藏准备初步資料，目前重力勘探的主要用途也在此。

三、电法勘探：电法勘探的种类和名称最多，它們所利用的岩石矿物物理性质，目前主要有两种——电化学反应性和导电性。

（一）电化学反应性的方法：岩石矿物在地下的自然条件中，由于緩慢的化学变化，水溶液的滲濾等作用，引起了自然的电流。人們在地面可以从观测这种电場的分布，找寻矿体，或者追踪某种岩体的分布情况，間接来研究矿床問題，通常称之为自然电場法。此法常被利用来普查勘探埋藏不深的硫化物矿体，追踪炭质千枚岩层或某两种不同岩石的接触界面。另一种方法为激发电位法，也是依据岩石矿物的电化学反应性来研究矿床問題的。当从地面用人為的电流通入地下，由于各种岩石矿物具有不同的电化学反应性，激起不同强度的“电极极化”电位，因此当停止通电以后，地面土繼續有瞬息的电流通过，这种現象，可用来研究地下岩石矿体（特别是电子导体）的分布情况。

(二) 导电性的方法：一般是用人造电流在地面测量地下各种岩石的电阻率，从而推测它们的埋藏情况。电源为直流也可以是交流，前者必须直接接地，后者除直接接地外，也可以依靠感应输送电能入地。直流电法依照不同的工作目的，野外测量布置型式，就产生了许多不同名称的电法，例如，电测深法，各种电测剖面法，充电法等，但是基本原理是一致的。交流电法最常用的是感应法，测定的数据为磁场强度。

大多数电法用于普查勘探金属矿床，方法种类很多，在具体选择方法时要看具体地质条件与方法的特点而定，一般还必须综合其它地球物理方法的资料，尤其是充分研究地质工作的资料，这样才能弄清楚地下地质情况。电法勘探也用于研究深处的大地构造问题，例如电测深法。

四、地震勘探：由于弹性波在各种岩石中传播速度的不同，也就是弹性的差别，在它们的分界面上，会引起波的折射及反射。从地表用人工爆炸发生弹性波，并在地面上一系列的测点上接收这种反射和折射波，能据以了解深处一些岩层分界面的位置形状，也即岩层的构造情况。

地震勘探到目前为止还只适用于岩体成层的地区，特别是产石油地区，效果最大。显然地震勘探已成为普查勘探石油矿藏不可缺少的工具。至于地质情况比较复杂的地区，例如火成岩变质岩或剧烈破碎变动的地带，地震勘探还不能有效应用，因此就限制了地震勘探在金属矿地区的作用。

五、放射性勘探：利用各种岩石矿物含有或多或少的放射性物质，在地面上测量放射性的强度，研究地下地质情况和矿床分布。最明显的用法是寻找放射性矿床，如铀、钍之类。

放射性勘探方法还处于发展的阶段，有很大远景，尤其在于寻找非放射性矿物方面的发展，现在正在研究用放射性方法普查石油矿藏。

六、测井法：在钻孔中所使用的地球物理勘探方法统称为测井法。该类方法中包括了利用岩石矿物的各种不同的物理性质的不同方法，目前生产上最常用的有电法、放射性法，前者主要是视电阻率法和自然电场法，后者有伽玛法、中子法。这些方法在石油、煤田和金属矿上都显示着重要的作用，例如进行地质填图，划分地层，确定煤层边界、厚度和深度。同时，在勘探阶段采用有效的综合测井方法，可以大大加速勘探速度，为在煤田和金属矿推行局部或全部不取岩芯勘探提供有利的条件。

地球物理勘探方法应特别注意其综合使用，并且必须结合具体地质条件灵活运用，因为只有极少数情况下，才有可能依靠单种方法能获得肯定成果。

磁法勘探是物探工作中应用最早的一种方法。远在二几千年以前，人类在生产实践中已开始认识到磁石的一些性质，但一直未被用来找矿。直到十七世纪中叶才出现了“矿山罗盘”，用来寻找磁性极强的磁铁矿。但由于当时生产力的低下，没有提出更多的寻找与勘探深部矿床的要求，所以，矿山罗盘在当时没有得到应用。十九世纪由于资本主义的兴起，各国重工业的发展，对矿产资源的需要逐渐增多，所以物探方法在生产中逐渐获得应用。但在当时的物探方法中主要是磁法勘探与重力勘探，电法勘探仅作了少许研究工作，工作的数量及质量也都是极低的。二十世纪初，许多资本主义国家的重工业迅速发展起来，愈来愈多地需要矿产资源，新的勘探方法作为资本家进一步对劳动人民剥削，以获得更多的利润的手段而得到发展。在这种情况下，促使已有的物探方法得到较广泛的应用。

在資本主義制度下，物探方法也是資本家剝削的手段，他們相互競爭、排擠，限制着物探方法的發展。

在社會主義制度下，物探工作在共產黨的領導下才得到迅速的發展並完全服務於社會主義建設的需要。

在半殖民地半封建的舊中國，物探與其它方法一樣沒有得到應用，當時只做了極少的零星的工作，而這些工作也未被重視及應用。因此，可以說解放前我國沒有物探工作。

解放後，在黨的領導下，全國人民在完成社會主義革命的同時，大力進行着社會主義建設。由於工業，特別是重工業的迅速發展，要求迅速查明我國豐富的礦產資源。作為地質勘探中多、快、好、省的物探方法，也得到了飛速的發展。在我國物探工作從無到有的過程中，在培養物探人員，傳授物探科學及技術，供應及幫助我國自制物探儀器等方面，得到了蘇聯的無私援助。在短短的幾年內，我們掌握了大部分物探方法，物探隊伍迅速發展，地質效果不斷提高。在地質工作的各個階段，各個方面，從小比例尺的區域地質填圖到詳細的勘探階段，不論是尋找金屬或非金屬礦產、油田構造、煤田構造，以及在水文地質與工程地質勘探方面都廣泛應用了物探。尤其是大躍進以來，掀起了在工業上全民大煉鋼鐵，在農業上全民大搞水利化的羣眾運動。近幾年來，一些縣與公社也成立了自己的土磁法隊、土電法隊。在找鐵、銅、煤以及在修水庫、找地下水方面發揮了很大的作用。

在今後的工作中，我們將貫徹地質部關於開展綜合地質普查勘探的指示，在黨的統一領導下，高舉三面紅旗，實行地質、物探、化探、探礦工程相結合，做到同規劃設計，同安排施工，同解釋驗證，同總結報告，提高工作質量，加快工作速度，降低勘探成本。我們有雄心壯志，一定要在最短的時間內，把我國的物探工作水平提高到世界的最前列。

第一章 磁法勘探

磁法勘探是地球物理勘探方法的一種。它研究磁力在地表的分布和解決各種地質問題的方法。自然界中岩石和礦石都具有強弱不同的磁性，這種岩礦磁性強弱的彼此各異，使磁力大小不同，造成磁異常。在磁法勘探的實際工作中，人們測量磁異常的數值，研究其分布的規律性，從而解決地質問題。

第一節 磁法勘探的基本原理

§1. 磁學的基本知識

一塊磁鐵，如用很細的絲，系在它的質量中心，它就會指向地磁的南北向，與地球的南北極略相符合。向南的一端，叫磁鐵的S極，或負極；指向北方的一端，叫N極，或正極。

兩個磁極之間，存在着一種吸力或斥力；按照庫倫定律：

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

这里 F 是二极间的力, m_1 、 m_2 各定为磁量, r 是二极间的距离, μ 是磁极间空隙中的磁导率。在真空中 $\mu=1$ 。对于空气和气体来说, μ 接近于 1。磁量的单位是这样定的, 如 r 用厘米来量, 力用达因来量, 那么磁质量就叫 C.G.S 单位。 F 如为正数, 力量是相斥的; 如是负数, 是相吸的。

一块磁铁, 其磁量与磁极距离的乘积, 称为磁铁的磁矩, 即

$$M = ml \quad (2)$$

这里, m 是每极的磁量, l 是两极距离, M 为磁矩。

磁法勘探中, 有一个最重要的物理量, 叫磁场强度。两个磁极之间, 所以发生吸力或斥力, 也可以看做一个磁极因为其它一个磁极所产生的磁场所起的作用。如一个单位正磁量在某一磁场中所受的力为一个达因, 那么这个磁场的强度, 叫一个奥斯特。根据库仑定律, 磁场强度可以用下式来表示 (当 $\mu=1$ 时)

$$T = \frac{m}{r^2} \quad (3)$$

磁场强度是一个向量, 它有大小, 也有方向。磁法勘探必须测出地面的磁场强度, 以奥斯特为单位表示磁场强度未免太大, 故改用十万分之一奥斯特做实用单位, 这个单位叫伽玛, 用 γ 代表。即

$$1 \gamma = \frac{1}{100,000} \text{ 奥斯特}$$

§ 2. 地磁

一、地磁场: 磁法勘探, 主要是测量地球面上的磁场强度, 所以我们必然的要知道地球本身的磁性, 然后才会了解我们测量得来的结果的意义。

对于地磁的研究与测量, 已有很长远的历史。大体来讲, 地球可以比做一个均匀磁化的球体, 一个磁极靠近北极, 另一个磁极靠近南极。

从罗盘的指向来讲, 罗盘中磁针指北的一端是正极, 叫磁北极, 所以在地球北极附近的地磁极, 因为能吸引磁针的 N 极, 那么它应为 S 极, 而地球南极应为地磁之 N 极。

经过多次测量证明: 地磁场和一般假设的位于地球中心的小磁铁所产生的磁场是近似的。磁力线由位于南半球的 N 极出来, 从北半球的 S 极进去 (图 1)。磁极不与地理极重合, 磁北极位于北纬

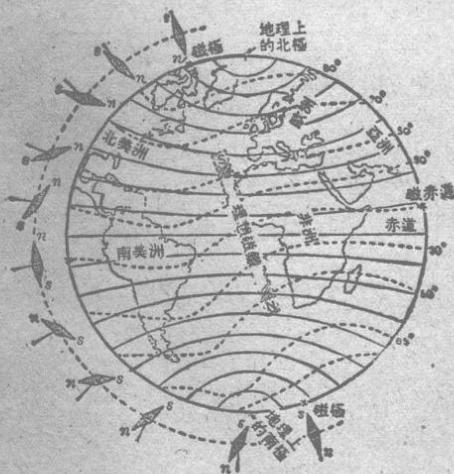


图 1 地球磁场示意图

72°西经96°附近, 磁南极位于南纬70°西经150°附近。地磁轴与地理轴有一夹角。磁场强度 T 在两极附近数值达 0.67 奥斯特左右, 在赤道附近则为 0.3—0.47 奥斯特。

二、地磁要素：地球面上每一点的磁场，可以用一个向量来代表，这个向量一般又分成几个分量。图2中，字母 T 表示地磁场总强度。坐标 O 点为原点，即地磁场总强度的作用点， x 轴向北， y 轴向东， z 轴向下。总场强 T 在 z 轴的投影 Z 称为 T 的垂直分量。 T 在 xoy 水平面上的 H 叫做 T 的水平分量。把通过 T 的垂直平面 $OZHT$ 面叫做磁子午面。地理子午面 xoz 与磁子午面的夹角 D 称为磁偏角（亦即 H 与 X 的夹角），从正北开始计算，规定向东为正，向西为负。 T 与水平面 xoy （即 T 与 H 间）的夹角 I 叫做磁倾角，从水平面向下计算为正。

以上 Z 、 D 、 I 和 H 称为地磁场的要素。

在磁法勘探中，一般是测量 Z ，有时也测量 H 与 D 。

三、地磁图：地磁图是表示地磁场各要素在地球表面上正常分布情况的一种图形，通常利用等量线的形式表示。等量线就是某一地磁要素具有相同数值的诸点连线。如等磁偏角线、等磁倾角线、等水平强度线及等垂直强度线等等，如图3为等垂直强度曲线图。

地磁图在磁法勘探中具有重要的意义，可以用它来研究某一测区的磁场，在大面积工作中用来确定正常梯度校正值。

四、地磁场的变异：地磁场的各个要素，都随着时间在变化；这种变化，使磁法勘探变成相当的复杂。在我们进行勘探工作的时候，我们不可能同时测许多点，所以需要想

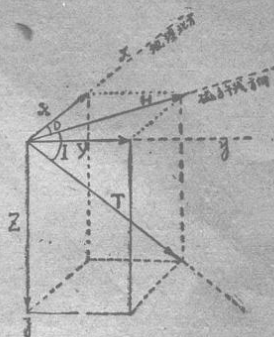


图2 地磁要素图

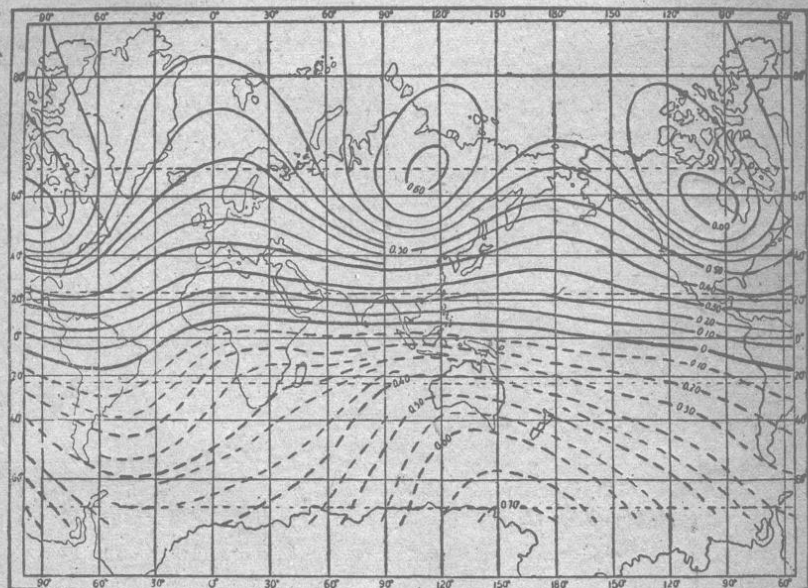


图3 地磁等垂直分量曲线图

法，把各点的测值，化算到同一个时间。

地磁場随时间的变化，有三种：长期变化、日变及磁暴。

根据地磁台多年观察证明，地磁場的长期变化是缓慢的，这种变化也是有周期性的，以数百年、数十年、数年为一周。引起变化的原因可能来自地球内部，与地震有关，这种变化在勘探工作中忽略不计。

地磁場的日变是最重要的。每日变动的形式，有些类似，但决不相同，其中偏角的变化，可能达数十分，水平或垂直分量可达数十个伽伐。变化的原因可能与大气中的游离层的变化有关。变化的特点是白天比夜间变化大，夏季比冬季变化大。这种变化对磁法勘探影响很大，一般均需作校正。

磁暴不但没有规律性，而且发生的变化是很大的；有时，在半小时内可以变化数百个伽伐。在这种时候，野外的勘探工作只好停顿下来。目前所知，磁暴的发生与太阳中黑子的活动有密切关系。

五、岩石的磁性：自然界的岩石受到古代及近代地磁場的磁化而具有一定的磁性，磁性的大小以磁化强度表示。但是在同一磁場强度下，不同的岩石，其磁化的能力也不同，也就是说，同样大小及同样形状的岩石，在强度相同的磁場中，磁化后所具有的磁化强度多少也可能不同。一般我们用磁化率这个物理量来表示岩石被地磁場磁化的能力大小，如果岩石被磁化后的磁化强度大，我们就说它磁化率大。在自然界中，磁铁矿的磁化率非常大，而石灰岩、石膏的磁化率非常小。下表是部分常见岩石的磁化率数据。

岩石名称	K以 10^{-6} C.G.S.M为单位		岩石名称	K以 10^{-6} C.G.S.M为单位	
	范	围 平均		范	围 平均
沉积岩：			橄欖岩	500—70000	10000
石灰岩	0—25	5	蛇紋石化橄欖岩	900—70000	2000
砂頁岩	0—50	10	变质岩：		
石膏	-1—1	0	石英岩	0	0
火成岩：			大理岩	0—10	5
花崗岩	0—5000	500	片麻岩	0—100	25
花崗閃長岩	200—2000	1000	角 岩	0—20000	2000
正長岩	0—5000	2000	片 岩	0—5000	1000
輝長岩	100—10000	2000	矿 石：		
玢 岩	0—20000	2000	磁铁矿	10000—1600000	200000
玄武岩	100—5000	1000	赤铁矿	40—300	100

从上表中可见，火成岩的磁化率比沉积岩大，而火成岩中基性火成岩又比酸性火成岩大。并且各种岩石的磁化率值互相重复，而同一岩石的磁化率值又有所不同。由于这个特征，使得同一种岩石可以在地面上造成不同强度的磁場，例如地下的花崗岩可能在地面上产生接近于零的磁場，也可能在地面上产生100r的磁場。

六、正常磁場和磁力異常：对于地磁場多年来的研究指出：地磁場大体上与均匀磁化球体的磁場近似，但并不完全一样，在地球上任一点的地磁場总强度 T 都可用下式表示：

$$T = T_0 + \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 \quad (4)$$

其中 T_0 ——理論上相当于一个均匀磁化球体的磁場；

ΔT_1 ——称为大陆异常，面积达几千平方公里；

ΔT_2 ——称为区域异常，和大地构造单元有关，分布面积为几十到几百平方公里；

ΔT_3 ——称为局部异常，与构造及矿床有关，分布面积从几平方米到几平方公里。

自然界中一切場均是正常的，但为了某种勘探目的，把一些場看成正常，另外一些場看成为异常。正常和异常是相对的，一般在区域地质测量时把 $T_0 + \Delta T_1$ 看为正常場；把 $\Delta T_2 + \Delta T_3$ 看成磁异常，而在寻找局部构造或找矿时，把 $T_0 + \Delta T_1 + \Delta T_2$ 看为正常場，把 ΔT_3 看为磁异常。

第二节 磁 秤

磁法勘探的基本仪器有：（1）万能磁力仪，用来确定偏角，确定水平分量的大小和垂直分量的增量，（2）测定地磁場垂直分量增量的垂直磁秤，（3）测定地磁場水平分量增量的水平磁秤，（4）用于航空磁力测量的航空磁力仪。

这里講述目前地面磁测通用的悬絲式磁秤，它是垂直磁秤，是一种进行相对测量的仪器，即是只测两点間磁場垂直分量的差值，而不求其絕對的数值。

§ 1. 基本原理

悬絲式垂直磁秤的中心部分（磁系），是一磁棒与水平安放的金屬悬絲，两者固結在梯形鋁块上，如图 4 所示，因此，磁棒可以作以悬絲为軸的旋轉。

为了消除水平分量的影响，应将磁棒之旋轉面置于与磁子午面成垂直的方向上（东西方向），当磁棒受垂直分量作用时，它就要作繞悬絲的轉动。

由于我国位于北半球，而北半球靠近地磁 S 极，它对于磁棒是吸引其 N 极向下，这样就产生一磁力的力矩，造成 N 极向下，S 极向上的偏轉，与此同时，我們在制造仪器时，使磁棒的 S 极稍长于 N 极，这样磁棒的重心偏于 S 极，因此地球的重力作用在 S 极一边，将会产生一个重力力矩，使磁棒作 N 极向上，S 极向下的偏轉，除了磁力及重力作用于磁棒上，另外还有悬絲的扭力，当磁棒作 N 极向下，S 极向上的旋轉时，扭力矩之方向与重力矩相同，它們与磁力矩因方向不同而达到平衡：

$$\text{磁力矩} = \text{重力矩} + \text{扭力矩}$$

这时磁棒就会在某一位置上停住，而磁棒与水平綫有一夹角 α ，如果在另一个地方，磁場改变了（增大或减小），則作用在磁棒上的磁力矩的大小也发生改变，因而磁棒将在一个新的平衡位置停住，这时 α 角也就变了。如此看来，我們通过 α 的改变就能测出磁場增大或减小的数值。

α 角度是借助光学系统和磁棒上部的小鏡来观察的。当 α 改变后，光綫照射的位置也发生变化，这种位置的变化又通过光系内部刻度尺上的讀数反映出来，因此刻度尺上讀数的变化就反映了垂直分量的变化，也就是說 ΔS 与 ΔZ 成正比例，即： $\Delta S \propto \Delta Z$ ，于是

$$\Delta Z = \varepsilon_z (S - S_0) \quad (4, a)$$

式中 ΔZ 为两点間垂直分量的差值，单位是伽佶， S 、 S_0 分别为此两点上刻度尺上的讀数，单位是格， ε_z 为仪器常数，称作格值，单位是伽佶/1格。

§ 2. 仪器结构

一、磁系：如图 4 所示。梯形的鋁制框被扁的金屬悬絲悬挂起来，悬絲的一端与扭鼓

連接，另一端緊張在彈簧上，这样可以保持懸絲處於拉直狀態。

磁棒穿過梯形鋁框，S極長，N極短，在N極裝有溫度螺絲，鋁框上有一反光小鏡，小鏡下面是調儀器格值的靈敏度螺絲。

二、扭鼓：扭鼓由鼓輪及旋鈕組成，一則用以固定懸絲，二則當磁棒偏轉角度太大時，可利用扭鼓扭轉懸絲，使扭力矩改變，磁棒達到新的平衡，以改變偏角 α ，到可以讀

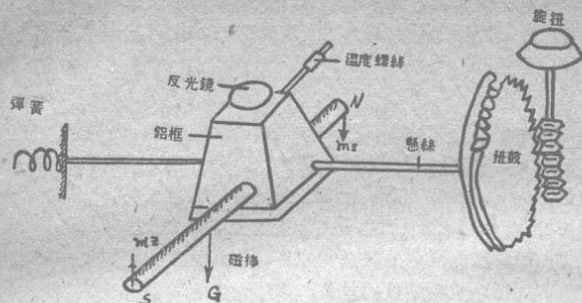


圖 4 懸絲式磁秤的磁系

數為止。扭鼓沿逆時針旋轉，最大不得超過 $\pm 24^\circ$ 。利用扭鼓工作時，測量數據應根據扭鼓扭鼓所抵消的磁場進行改正。扭鼓上每一格相當改變的讀數叫做扭鼓常數。扭鼓度乘以扭鼓常數即扭鼓改正值，扭鼓的全部測量範圍大約 25 000 伽侖。

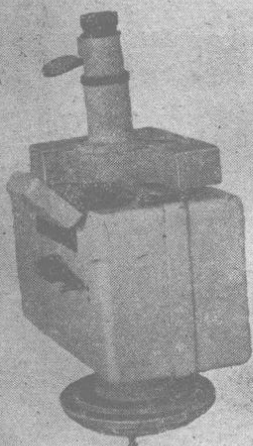


圖 5 懸絲式磁秤外觀圖

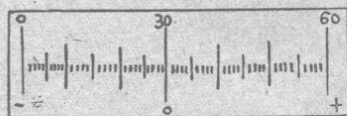


圖 6 懸絲式磁秤讀數標尺

三、彈簧：起緊張和保護絲的作用。

四、內殼：整個磁系是被裝在內殼中，在內殼一側之內壁上安裝有溫度計，內殼上方有互相垂直的二個水泡，以及扭鼓刻度和旋鈕。

除上述各部分外，儀器尚有：光系部分、

底座部分、三角架部分（三角架上有：腳架鎖盤、刻度盤和水泡）。儀器外觀見圖 5。

§ 3. 操作方法

- (一) 擺三角架於測點上，調平腳架；
- (二) 將羅盤放置在腳架盤上對方位，使指針對准羅盤之南北；
- (三) 取下羅盤，將磁秤緊鎖在腳架盤上，調平磁秤；

(四) 打开插把，从目鏡中觀測讀數，讀完數后关上插把；

讀數方法如图 6 所示；

三条标綫之間距离相等，相距各为30格，通常以中間的标綫为讀數标記，但当磁場过强时，讀數之标記将不是中間那一条，而是我們看到的两边任一条。此时若以“-”綫讀數即要加一常数（30格），以“+”綫讀數应減掉該常数；

(五) 将磁秤轉180°，重复步驟 4；

(六) 松开脚架盘鎖扣，取下仪器。这样就完成了一个測点的觀測工作。

第三节 野外工作

磁法勘探，可分普查与詳查两种，前者是針對某一地区作一个概括性的了解。后者是对一个小区域作詳細的研究。

野外工作在磁法勘探整个过程中占很重要的地位，如何使磁法勘探取得最大的地质效果，它的野外工作方法起着决定性的作用。

野外工作方法的基本問題，包括了測量的詳細程度（測量的比例尺），測量要素的选择，測綫測点（測网）、測量精度的选择，仪器的选择，如何进行測量，以及为了进行地质解释所必須采取的一些輔助工作等。所有这些問題的确定，都必須根据国家所給的地质任务，工作地区的地质情况，以最少的开支而取得最大效果的原則下决定。以下将分别叙述这些問題。

§ 1. 磁法勘探的任务，比例尺及測网密度

磁測工作的任务，按解决地质問題的性質有二：一是直接找矿，包括探明有意义的隱伏矿体，追踪已发现的磁性矿化带和詳細研究已发现的矿体露头及异常体的形状（傾斜、頂部埋藏深度及厚度，向下延伸和沿走向的連續情况）。另一个目的不是直接找矿，而是找出成矿的有希望地带，例如，在找接触式鉄矿时，就是找接触界綫。

磁法測网的选择，在詳查时比較簡單，普查时比較困难；普查时，若侵入体很大，接触界綫較清楚，布置測网簡單；当侵入体不大，出露不明显或甚至全被表土所掩盖，布置測网比較困难。总之，測网的大小应该服从找矿的要求。

比例尺、点距和綫距都必須在工作設計中規定下来，一般的比例尺測网选择方法列表如下：

比 例 尺	測綫間的平均距离变动范围20% (以米数計算)	測綫上的点距 (以米計算)
1: 1000000	10000	1000—2000
1: 500000	5000	500—1000
1: 200000	2000	200—400
1: 100000	1000	100—200
1: 50000	500	50—100
1: 25000	250	25—50
1: 10000	100	10—40
1: 5000	50	5—20
1: 2000	20	4—10
1: 1000	10	2—5

既然比例尺的选择决定了测网密度，因此比例尺选择应根据所给地质任务研究的詳細程度，以最少工作量而又不漏掉有价值的矿体与异常。同时应注意測綫上測点之間的距离并不是死板的，它决定于地质构造的复杂性，如为了完善地反映磁异常的曲綫，应在矿体頂部將測点加密，或作必要的补充測量。

§ 2. 測网的布置

一、地面普查工作目測布置：在用磁法勘探作地面普查时，在很多情况下可以只用目測来布置測綫。这时需利用比工作比例尺更大的地形图，沿着大路、小路、河流进行。測綫长度在山区、森林地带不应超过 2—3 公里，在平原地区不应该超过 5 公里。在測綫上每隔一定距离应作一标记，此标记可用天然的或人工的标记布置在測綫上，以便控制目測布置的正确性。如 1:50000 比例尺可以 400—500 米設一标记。其距离閉合差不应超过图上 2.5 毫米所相应的长度，即应保证点位在图上准到 2.5 毫米以内，方向閉合差以測綫与基綫交点和应对准基綫点間的距离計算，不应超过 1/4 綫距，否則应重測。

布置之測綫应以直綫画在地形图上，并注上測綫号码。工作进行时，观测者以步測距离来定測点，并将測点按順序編号码注在地形图上，又要將实际作过的測綫分布图繪入野外记录本的方格紙上。

二、測网的仪器布置：在普查勘探阶段，必須用測量仪器布置測网，測网形状一般采用矩形。这时就必须先布置基綫，基綫尽可能沿磁异常軸布置，或平行矿体走向布置。然后沿基綫两端布置封閉多边形，通常为矩形。在基綫上定基綫点，各点間距离等于測綫距。

在每个基綫点上用經緯仪定出与基綫垂直的測綫，然后逐点定出測点位置。測綫布置的是否正确，可由封閉多边形来控制。

布置好的測区图，应繪在地形图上，并繪入野外记录本方格紙上。

但应注意測綫或測点之間的距离，在特殊情况下，有时为了更完善地反映磁异常曲綫，在磁异常变化大的地方加密測网，作必要的补充測量。

§ 3. 仪器类型的选择

地面磁法勘探中，随着不同的任务，常使用悬絲式磁力仪、刃口式磁力仪，以及 M-1 式万能磁力仪。在弱磁場区，有时还采用水平磁力仪。

强磁場区，如磁铁矿体、超基性火成岩体等，异常值常为数千至数万伽侖，則使用簡單經濟而效率高的 M-1 式磁力仪，但其缺点是不能測量 100 伽侖以下的磁异常。

弱磁性区，如找石油构造，圈定火成岩，找接触带、断层、弱磁性鉄矿、弱磁性的鋁土矿，研究古老地形等，則采用悬絲式磁秤及刃口式磁秤。

§ 4. 校正点与基点

一、校正点：校正点是用来检查工作过程中由于温度、日变、零点掉格等原因引起磁秤讀数偏差的标准，从而进行校正，它也是每天工作的起始点（以便求得工作地段各測点相对于它的增量或磁异常）。因而要求校正点应选择在校队附近，尽可能选在正常場中（这时相对于它的增量即为磁异常）。在不可能达到这个要求的情况下也可以选在异常場中。在校正点周围磁場应平穩，还应注意周围是否有地面干扰的东西，如鉄器、机器、汽車、建筑物……等等应避免。

每天早晚出工收工时，都必須在校正点上進行測量。

当队部驻地改变时，应重新在驻地附近选择一校正点，并测出第一个校正点与以后选择的所有校正点的磁差。测量这个差数要求的精度较高，所以应以一台仪器进行两次闭合测量或用数台仪器进行一次闭合观测。

最后计算整个工作地区的磁异常时，就可以在许多校正点中选择一个作为正常场。

二、基点：通常由于仪器性能的变化而造成的零点位移，在一定的时间间隔内，可以看作与时间成线性的比例关系（如图7所示），因而就可以用校正点与测点观测时间的间隔来进行校正。但这种线性关系严格说来并不十分正确，在要求测量精度更高的情况下就不能以线性关系来进行校正，为此就需要建立一个基点网，网上的基点即被用来控制测点的精度。

基点应选择在场的梯度小（在仪器精度范围内），有明显标志、能很快找着的地方，而且尽量选在交通方便的地方。

当基点选定后，应以尽可能高的精度测量出各基点与校正点之间的磁差值。为了保证高的精度，应用一台仪器往返两次重复测量，或用两台仪器进行重复测量。为了减小温度、日变的影响，应选择温度变化最小的时刻进行测量，并尽量地缩短测量时间。

§5. 磁测工作的进行

在进行磁测之前，必须先将基点网和测点网布置好，选择好校正点。

工作开始，每天以校正点为起始点按指定的测线进行观测，最后回到校正点。观测结果并作初步整理，整理时间不得迟于第二天。发现工作结果有可疑点时，应布置重复测量。在磁异常变化大的地区，应布置点线加密的补充测量。操作者也可主动地在工作进行中对于异常变化大的地段进行测点加密的测量。

读数记在下表内。

点号	距前一点的距离	观测时间		温度	扭鼓度	读数			备注
		小时	分			N向东	N向西	平均	

如果在同一个测区，有几台仪器一起工作，为了使仪器性能一致，应经一定时期，在约为20个公共点数上作一次测量来检查仪器。

§6. 磁场变异的测量

地磁场的日变，尤其是在弱磁场区工作时，会严重影响磁异常的轮廓和强度，使地质解释错误。因此工作时要测定日变，以便对每日的磁测结果进行校正。

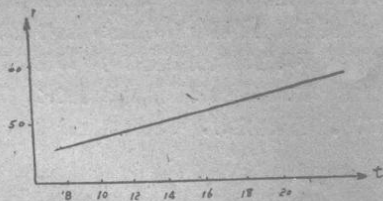


图7 零点位移曲线

測量日變的方法，是用一台專門的儀器在工作日內經常在某一點上進行磁場變化的測量。

§ 7. 野外岩石磁性的測定

岩石的磁性，決定於其中磁性礦物的含量。岩石磁性的強度與岩石中發現磁性礦物之存在狀態及含量有着密切的關係，因此必須在我們磁測地區直接得到的岩石中，來進行岩石磁性測定，從而幫助我們推斷及了解異常的性質。

要正確地了解岩石的磁性，就必須對大量岩石標本進行測定，這些標本都是在工作地區各個不同之地質剖面上打的，即使是同一種岩性的岩石，也要在不同地區選擇幾塊進行測定，從而幫助我們了解岩性的變化。所打的標本要成一定的幾何形狀（如正方形和矩形）。野外測定時，可以利用垂直磁秤，來估計出岩石的磁化強度。

第四節 地面磁測結果的資料整理

磁測工作使用儀器在測点上觀測完畢後還需進行大量的測量結果的資料整理工作，最後才能進行地質解釋工作，現闡述於後。

§ 1. 磁異常的計算和各項校正

磁法勘探是地磁場相對值的測量，就是測量某些點對某一點的磁場強度的差異，所以從儀器觀測中取得的数据，必須經過計算，求出各個測點對同一校正點磁場強度的差值，但儀器讀數是以“格”為單位，必須將它換算成地磁場的實用單位“伽侖”，這是計算中的第一步驟。同時在觀測過程中，每個測點的情況都不一定相同，就要加以各項校正。在磁場變化較大的地區，讀數超出儀器的測程範圍，就要加上扭鼓（就懸絲式磁秤而言）來增加測程，在使用扭鼓的測點，在計算時就要加扭鼓校正。因地磁場的日變，不同時間所觀測的讀數都不同，溫度的改變能使磁秤的磁矩發生變化，在不同溫度下，儀器的讀數亦不同，要將野外觀測讀數，換算為與校正點讀數同一時間、同一溫度情況下的讀數，就要加日變校正和溫度校正。儀器在使用過程中，也會產生零點位移現象，要加以零點校正。在大區域的磁測工作中，地磁場正常梯度的變化甚大，使我們所尋找的局部異常，不能明顯地表現出來，所以還要加上地磁場正常梯度校正。

上述各項校正並不是所有磁測工作都要計算的，而是按各項磁測工作的精度要求不同而異，在強磁區的測量中，可以完全不加校正（扭鼓校正除外），在弱磁區的精密測量中，則要計算上述各項校正。

一、基本項計算：

磁秤在測点上工作讀得讀數為 S ，早校正點讀數 S_0 ，磁秤的格值為 e_s ，基本項之伽侖值為：

$$\Delta Z = e_s (S - S_0) \quad (5)$$

二、溫度校正：精密磁秤的磁系（如懸絲式）雖已有溫度補償裝置，但由於它還不能恰好完全補償掉溫度的影響，因此即使在岩石磁性均勻的地區進行觀測，也會因在不同時間觀測，由於溫度隨時間而變化引起的溫度影響而造成假異常，所以要進行溫度校正。溫度校正值為：

$$\Delta Z_1 = -\tau (t - t_0) \quad (6)$$

式中 τ 是溫度係數，它本身可正可負，由當時儀器之性能決定， t 是觀測時儀器內壳

溫度， t_0 是早校正点觀測時儀器內壳溫度， τ 前面的負號表示溫度影響值 $\tau(t-t_0)$ 應從基本項中減掉。影響值可正可負，由 τ 及 $(t-t_0)$ 之符號決定。

三、日變校正：由於地磁場隨時間的變化，即使在岩石磁性完全均勻的地區也會造成假異常，因此就必須進行日變校正，其方法是：

在日變曲線上讀出相對於每個測點觀測時間的讀數與早校正點觀測時間之差，乘以日變站儀器的格值，並加負號，如圖8中，設觀測點觀測時間為10時，在日變曲線上讀數為3，早校正點時間為6時，在日變曲線上讀數為4，日變站儀器格值為25伽偶/1格則日變改正值等於：

$$\Delta Z_2 = -(3-4)25 = 25 \text{ 伽偶}$$

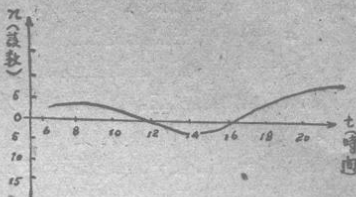


圖 8 日變校正的曲線

四、零點位移校正：進行過日變、溫度校正後，如果早晚開工收工校正點之伽偶值還有差別，則此差別是由於儀器零點位移產生的，必須加以校正，校正時我們認為儀器零點位移與時間成線性關係，所以校正值為：

$$\Delta Z_3 = -\frac{\Delta Z a}{\Delta t} (t-t_0) \quad (7)$$

式中 $\Delta Z a$ ——早校正點經過日變、溫度校正後之伽偶數減掉收工時校正點讀數經日變、溫度校正後的伽偶之差；

Δt ——早、晚校正點觀測時間差， $\frac{\Delta Z a}{\Delta t}$ 是單位時間儀器的零點位移；

t ——進行零點位移校正的觀測點觀測時間；

t_0 ——早上工作時在校正點觀測之時間。

如 $\Delta Z a = 20$ 伽偶， $\Delta t = 10$ 小時， t 為14點鐘， t_0 為8點鐘，則：

$$\Delta Z_3 = -\frac{20}{10}(14-8) = -12 \text{ 伽偶}$$

五、地磁場正常梯度校正：地磁場垂直分量正常值由南向北（指北半球）不斷增加，而水平分量逐漸減小，所以在大面積進行磁測時要進行此項校正。校正值為：

$$\Delta Z_4 = -\frac{\Delta Z}{\Delta x} (x-x_0) \quad (8)$$

式中 $\frac{\Delta Z}{\Delta x}$ ——地磁場垂直分量之正常梯度值；

x ——觀測點在南北方向之座標；

x_0 ——校正點在南北方向之座標；

$x-x_0$ ——觀測點與校正點南北距離。

當觀測點在校正點之北面，此時 ΔZ_4 為負值，觀測點在校正點之南面， ΔZ_4 為正值。

六、扭鼓校正：當磁秤由甲點携至乙點，若兩地之磁場強度變化很大，則當磁棒靜止時，由於傾斜角度過大而使讀數之標線超出刻度尺以外，以致無法讀數，這時需旋轉扭鼓

使扭鼓一側的懸絲向相反磁轉矩方向轉一角度，而增加懸絲扭力矩，以平衡一定量的磁轉矩而減小磁系之傾斜度，故而要进行扭鼓校正。校正值为：

$$\Delta Z_5 = \epsilon_{扭}(n - n_0) \quad (9)$$

式中 $\epsilon_{扭}$ ——扭鼓常数（即扭鼓上每一度相当改变的 r 值）；

n ——早校正点上的扭鼓讀数；

n_0 ——观测点观测时扭鼓讀数。

綜合以上各項校正，則磁异常即为观测值与各校正值的代数和（各項校正本身有正有負）。

磁异常 = 观测值 + 溫度校正 + 日变校正 + 零点位移校正 + 地磁場正常梯度校正 + 扭鼓校正。如下式所示：

$$\Delta Z = \Delta(\gamma) + \Delta Z_1 + \Delta Z_2 + \Delta Z_3 + \Delta Z_4 + \Delta Z_5 \quad (10)$$

整理时依下表进行：

测点号	$\Delta(\gamma)$	改 正 (γ)						正 常 梯 度 校 正	ΔZ	总基校正	Z_a	备 注
		扭鼓校正	日 校 正	变 校 正	溫 度 校 正	零 点 校 正	总 正 校 值					

表中倒数第三项总基校正是测区面积较大，因而在此测区内有很多分校正点，最后繪制图表时以总基点为零，进行总基改正。 ΔZ 是磁异常值。

§ 2. 測量結果誤差的估計

野外工作质量好，主要从它的地质效果方面来評定。具体說來就是：所要寻找的地质体存在与否的結論的完整性与可靠性；关于存在的地质体的空間位置（埋藏要素）的結論的可靠性。可以看出，对质量的要求主要决定于提交給物探队的任务和物探成果被利用的程度。

为了估計測量誤差，必須在测区内进行一定数量的重复測量，根据重复測量結果进行均方誤差計算：

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{2n}} \quad (11)$$

式中 m ——均方誤差；

n ——示重复观测的点数；

δ ——同一点初次观测与重复观测值之差。

$$\sum \delta^2 = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots + \delta_n^2$$

均方誤差的大小由偶然誤差来决定，产生偶然誤差的因素如下：

（一）观测时讀錯了数，計錯了数，这种誤差又称为过失誤差；

（二）由于在观测中沒有严格执行操作規程（如水泡不平，方位不准）而造成的誤差（也属于过失誤差）；

（三）由于在不同時間測量，因地磁場随時間变化而造成校正不完全的誤差；