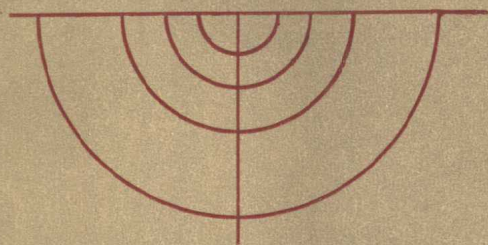


铁路勘测设计基础丛书

物理勘探基础知识

上册

铁道部第四勘测设计院编



人民铁道出版社

物理勘探基础知识

上册

铁道部第四勘测设计院编

人民铁道出版社

1979年·北京

内 容 简 介

本书分上、下二册。

上册介绍电法勘探，包括电探的基本原理，电探仪器，电测深法、电测剖面法、充电法和自然电场法的基本概念，野外工作方法，资料整理和分析等，并对激发极化法、频率电磁测深法、雷达勘探以及影响电探效果的因素作了简单介绍。

下册介绍地震勘探、磁法勘探及测井。

本书执笔者：第一篇电法勘探——罗和林同志，第二篇地震勘探——王瑞昌同志，第三篇磁法勘探——王英武同志，第四篇测井——温瑞美同志；全书由刘宝亨、顾兴亚同志汇总修改。

物理勘探基础知识

上 册

铁道部第四勘测设计院编

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

郑州铁路局印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张：7.125 字数：149 千

1979年6月第1版 1979年9月第1次印刷

印数：0001—15,000 册

统一书号：15043·6167 定价：0.58 元

目 录

结论.....	1
第一篇 电法勘探.....	6
第一章 电阻率法的基本原理.....	8
§1 岩石电阻率	8
§2 测量岩层电阻率的原理	11
§3 视电阻率的 概念.....	30
第二章 电探仪器.....	33
§1 测量的基本原理	33
§2 自动补偿仪的工作原理	41
§3 仪器操作方法	50
第三章 电测深法.....	53
§1 基本概念与测量装置类型	53
§2 电测深曲线的形状和特征	57
§3 野外工作方法与技术	63
§4 电测深资料的整理与定性解释	75
§5 电测深曲线定量解释	91
第四章 电测剖面法	131
§1 电测剖面法的基本概念.....	131
§2 电测剖面曲线的基本特征.....	133
§3 电测剖面法的野外工作方法与技术.....	157
§4 电测剖面法的资料整理.....	160
第五章 电探效果的影响因素	162
§1 地形影响.....	162
§2 屏蔽影响.....	171

§ 3	表面效应与表层不均匀影响.....	176
§ 4	各种干扰影响.....	177
第六章	充电法与自然电场法	180
§ 1	充电法.....	180
§ 2	充电等位线法.....	187
§ 3	自然电场法.....	192
第七章	水文、工程地质电法勘探中的新方法	201
§ 1	激发极化法.....	201
§ 2	频率电磁测深法.....	210
§ 3	雷达勘探.....	218

绪 论

物理勘探简称物探，是一种通过研究地层某些物理性质来查明地质构造的方法。它主要包括电法勘探（电探）、地震勘探（震探）、磁法勘探（磁探）、重力勘探、放射性勘探和测井等几种方法。在铁路工程地质与水文地质工作中，目前主要开展了电探、震探、磁探和电测井。本书着重介绍已开展的这几种物探方法。

用钻机或其它机械手段，从地下取出岩样，来认识地质构造，是直接的勘探方法。物探却不是这样，它不是从地下取出岩样，而是通过在地面上（测井除外）观测由地下介质引起的某种物理场的分布状态，取得某些物理信息，来反映地质构造，因而是一种间接的勘探方法。物理场的分布状态，与它所涉及的介质的物理性质、形状和位置有关。物理场是物质存在的一种形态，它具有质量、动量和能量。自然界各种物理场通常布满于无限空间，但一般不能被人们直接觉察。例如由地球本身形成的地磁场，充满我们的周围，我们并不觉察，但使用罗盘，可以观测到磁针有一定指向，反映出地磁场的存在。又如由广播电台发射的电磁场，充满我们的周围，我们并不觉察，但打开收音机，电磁场作用于接收天线，经过放大，收音机播出声音，反映出电磁场的存在。物探研究的物理场有二类，一类是天然物理场，如引力场、自然电场和前面例举的地磁场等；另一类是人工物理场，如人工电场、弹性振动场和前面例举的电磁场等。

电探是利用电场研究岩层的电性差异来认识地质构造的方法。在铁路地质工作中以电阻率法应用最多，它通过插在

地表的电极，将电流通入地下，建立起人工电场，测定电场的分布，可以计算出地下岩层的电阻率，改变电极之间的距离，电流就有不同的分布范围，从而可以研究不同深度的岩层。

震探是利用弹性振动场研究岩层的弹性差异来认识地质构造的方法。它观测由爆炸或敲击产生的地震波的传播情况，记录地震波从激发经过某一折射或反射路程，传播到埋设在地表的检波器的旅行时间和振动状态，计算出折射或反射界面的空间位置和传播速度，从而可以测得相当范围内的地层层列关系。

磁探是利用地磁场研究岩层磁性差异来认识地质构造的方法。地球是一个大磁体，具有不同磁性的岩层在地磁场的作用下，产生不同的磁化强度，引起地磁场的局部改变（异常），观测这种变化，可以查明不同磁性岩层的分布状态。

测井是在钻孔中研究井壁周围岩层状态和性质的物探方法。测井的基本原理与各类地面物探方法一样。通过测井可以详细查明钻孔的地层剖面。

实践表明，大多数岩层之间都具有明显的电性、弹性等物理性质差异，例如一般土壤电阻率多为数十至数百欧姆·米，而岩石电阻率多为数百至数万欧姆·米；软弱岩层的弹性波速度多为1.5公里/秒~3公里/秒，而坚硬岩层的弹性波速度多为4.5公里/秒~7公里/秒；沉积岩的磁化率接近于0，而基性岩浆岩的磁化率高达1000CGMS单位以上。又如断层破碎带常由于岩块破碎或充填大量泥土或水，而使其物性与两盘岩层有明显差异；地下水的电阻率较低，使得含地下水和不含地下水的岩层电阻率有很大差别等等。这些例子说明，可以用物探来研究许多地质问题。

物探是一种大体积的宏观性质的勘探方法。由于物理场

是广泛分布的，它研究岩层不是针对一点一线，而是着眼于一个相当范围的岩体，所以它能反映岩层的整体状态，从工程的观点看，比钻孔或取样所代表的局部岩层状态更符合实际条件。

此外，物探还具有勘探深度大、装备轻便、工作效率高和成本低的特点，因此已成为地质勘探的重要手段。充分发挥物探的作用，有助于多快好省地完成铁路勘测设计任务。

但是事物总是一分为二的。物探也有它的局限性，主要是它的条件性和多解性。

由物探的基本原理可见，物探能否奏效，首先决定于探测对象是否具有可被利用的物理性质差异和足以改变物理场分布状况的体积。例如石灰岩与花岗岩，它们的地震波速如果都是5000米/秒的话，震探就不能区分它们；如果一个石灰岩溶洞，体积不大，埋藏较深，虽然溶洞中水的电阻率比石灰岩低得多，但它的存在不足以改变电场在地面上的分布状态，电探就不能发现它。这反映了物探的条件性。

此外，同一物理现象，可以由多种不同因素所引起，例如地层视电阻率的升高，可以由地层电阻率升高引起，也可以由高电阻率介质的体积增大或埋藏变浅引起；又如地震波初至时间的延长，可以由地震波旅行路程的延长引起，也可以由地层地震波速度的降低引起。这反映了物探的多解性。要取得单值解，就必须掌握一定的物性参数。

综上所述，物探完成地质勘探任务是由二个过程组成的。首先是物理过程，物探的直接结果首先是探测对象某种物理条件的反映。然后再找出与这些物理条件对应的地质条件，这是地质过程。对待物探工作，不可强调地质过程忽略物理过程，否则物探就失去了基础；反之强调物理过程忽略

地质过程，物探就脱离了实际。因此两者必须紧密联系在一起，往往要反复交叉进行分析研究，才能求得正确结论。为了作好物探工作，物探与地质必须密切配合。提出的物探任务要具备必要的物理前提，要有一定的已知条件，提供物探必须的参数；物探的解释工作要紧密结合实际地质情况，深入调查研究。物探还应尽可能利用岩层的多种物理性质，开展综合物探，从几个不同角度去观察未知地质体，针对物探条件性、多解性的特点，从多方面入手，作出正确的地质结论。

物探这门学科的发展，是在大量生产实践的基础上，不断积累经验，逐步提高的。几百年前人们已经发现一些大铁矿干扰了罗盘的指向，利用这种现象，1640年在瑞典用罗盘进行了铁矿探测，这就是最原始的物探。到19世纪制造出了专门的勘探矿产的物探仪器，1815年自然电场法被用于探测金属矿。但是现代物探的基础理论和方法系统，一直到本世纪三十年代才逐步建立起来。随着当时石油开发的迅速进展，物探在勘探石油与天然气方面发挥了重要作用，重力勘探和地震勘探得到较大改进。四十年代以来物探被广泛用于各种地质普查和矿产勘探。第二次世界大战之后，随着大量恢复和建设工程的需要，物探被引进解决水文地质及工程地质问题。

解放前的旧中国，在帝国主义、封建主义、官僚资本主义的反动统治下，科学技术十分落后，物探仅作过极少量的磁探和电探的试验性工作。解放后，在伟大领袖和导师毛主席和中国共产党的英明领导下，社会主义革命和社会主义建设事业蓬勃发展，物探已经广泛地应用于地质工作的各个方面和各个阶段。随着电子技术的普及和提高，物探技术和物探仪器也有了很大改革。

从1952年起,物探开始用于铁路工程建设。最初主要使用电探,1962年后震探和电测井也得到推广,在有条件地区还开展了磁探和放射性测井。近几年来加强了浅层反射、频率测深、激发极化法和钻孔无线电波透视等新方法的研究试验。同时,扩大了物探的应用范围,不仅用于地质勘探,还被引用于试验解决工程技术问题,如鉴别桥梁管柱基础的混凝土质量、测定隧道围岩分类、测定隧道施工的破坏断面和锚杆加固质量等。此外还进行了部分解释方法的研究,编制了我国的电测深量板。

与矿物物探相比,铁路工程物探历史短,经验少,而且勘探对象繁多,条件复杂,定量精度要求高,勘探深度较浅,这些都是铁路工程物探的特殊问题,有待物探人员和地质人员去解决。在以英明领袖华主席为首的党中央的领导下,在向四个现代化的进军中,铁路物探工作一定能取得更大发展,为多快好省地建设铁路作出贡献。

第一篇 电 法 勘 探

电法勘探包括多种工作方法，一般分为天然电场法和人工电场法两类。在人工电场法中又按建立电场所用电源的不同，分为直流电场法和交流电场法两种。常用的方法主要有：

一、天然电场法

1. 局部自然电场法（简称自然电场法）

2. 大地电流法

二、人工电场法

（一）直流电场法

1. 电阻率法

（1）电测深法

（2）电剖面法

2. 充电法

3. 激发极化法*

（二）交流电场法

1. 等位线法

2. 强度法

3. 回线法

4. 感应法

5. 电波法

6. 电磁测深法

由于交流电场法的理论基础和观测仪器尚不够完备，在

* 激发极化法起初采用直流电源，六十年代以来发展到采用交流电源，目前分为时间域和频率域激发极化法两种。

铁路地质工作中还没有得到采用。但交流电场法是一种很有发展前途的方法，它研究的物性参数多，技术方法多，并且有利于深度不大的勘探，所以应大力开展研究试验。目前铁路地质工作中应用较多的方法是电阻率法，其次是充电法和自然电场法，本篇将着重介绍这些方法。

第一章 电阻率法的基本原理

§ 1 岩石电阻率

自然界中不同岩石的导电性能一般是不相同的，例如湿土容易导电，它的电阻率低，花岗岩不容易导电，它的电阻率高。电阻率法就是利用岩石物理性质（物性）的这种差别，把不同导电性能的岩石区别开，从而达到勘探的目的。

由物理学知道，导体对于电流的阻力——电阻 R ，不仅与导体的长短、粗细有关，而且还与组成导体的材料有关。实验表明，导体的电阻与导体长度 l 成正比，与横截面积 S 成反比。即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-1)$$

电阻的单位为欧姆（ Ω ），简称欧。欧的一千倍称为千欧（ $k\Omega$ ），欧的一百万倍称为兆欧（ $M\Omega$ ）。

1—1 式中的比例系数 ρ 称为电阻率，它表征导体的导电性能，由导体材料性质决定。电阻率在数值上等于单位横截面积条件下，单位长度的电阻。规定横截面积 1米^2 ，长度 1米 的岩石的电阻为岩石电阻率，单位欧姆·米（ $\Omega\cdot\text{m}$ ）。岩石电阻率的倒数 $1/\rho$ 叫作岩石电导率 γ ，也表征岩石的导电性能。表 1—1 是常见岩石的电阻率表。

表 1—1 的数字表明，一般不同岩石具有不同的电阻率，但同时同一种岩石，电阻率变化范围很大。这说明决定岩石电阻率的因素不是单一的，自然条件下影响岩石电阻率的因素很多，但最主要的是下列两种因素：

常见岩石电阻率表

表 1—1

岩石名称	电阻率 ($\Omega \cdot m$)	岩石名称	电阻率 ($\Omega \cdot m$)
粘性土	$10 \sim 10^3$	片麻岩	$2 \times 10^2 \sim 5 \times 10^4$
砂性土	$10 \sim 10^3$	白云岩	$10^2 \sim 10^4$
干砂、卵石	$10^3 \sim 10^5$	盐岩	$10^4 \sim 10^8$
湿砂	$10^2 \sim 10^3$	石膏	$10^2 \sim 10^8$
泥质页岩	$20 \sim 10^3$	黄铜矿	$10^{-4} \sim 10^{-1}$
红砂岩	$10 \sim 10^3$	赤铁矿	$1 \sim 10^8$
致密砂岩	$10^2 \sim 10^3$	磁铁矿	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
泥灰岩	$50 \sim 8 \times 10^2$	石英	$> 10^8$
石灰岩	$3 \times 10^2 \sim 10^4$	长石	$> 10^8$
花岗岩	$2 \times 10^2 \sim 10^5$	云母	$> 10^8$
玄武岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	雨水	$> 10^8$
闪长岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	河水	$10 \sim 10^3$
正长岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	海水	$5 \times 10^{-2} \sim 1$
辉长岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	地下水	$10^{-1} \sim 3 \times 10^3$
玢岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	冰	$10^4 \sim 10^8$
橄榄岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	空气	∞
片岩	$2 \times 10^2 \sim 10^4$	石墨	$10^{-6} \sim 10^{-4}$
无烟煤	$10^{-4} \sim 10^{-1}$		

1. 矿物成分与结构

岩石是由矿物颗粒组成的，各种矿物的导电性能不同，必然使岩石的电阻率产生差别。例如含有大量黄铁矿等导电矿物的硫化物矿石电阻率一般较低，含有大量石英、长石、云母等非导电矿物的花岗岩电阻率一般较高。岩石中所含导电矿物愈多，电阻率愈低；所含导电矿物愈少，电阻率愈高。除了导电矿物的含量影响电阻率外，这些矿物在岩石中的分布状态也影响电阻率。当导电矿物分散地包围在非导电矿物之中时，电阻率较高，导电矿物能连续分布时，电阻率较低。自然界中除石墨和炭化程度很高的煤层外，一般岩石

中所含导电矿物均很少，所以多数岩石电阻率都较高。

2. 含水条件

非导电矿物如石英的电阻率常高达 $10^{12} \sim 10^{15}$ 欧姆·米，但自然界中岩石电阻率很少超过 10^5 欧姆·米，有的岩浆岩电阻率甚至低到数百欧姆·米。这是由于自然条件下，岩石的孔隙或裂隙中或多或少的含有水分，尤其是处于地下水位以下的岩层，孔隙中充满了含有各种盐类成分的矿化水，矿化水的导电性能较好，因而使岩石电阻率降低。

一般岩石愈致密，孔隙度愈小，所含水分愈少，电阻率愈高；岩石结构愈疏松，孔隙度愈大，所含水分愈多，电阻率愈低。一些孔隙度大渗透性强的岩层（如砂层、砾石层等），其电阻率更明显地决定于含水条件，当它们饱含矿化度高的地下水时，电阻率只有几十甚至几个欧姆·米；当它们位于地下水面以上十分干燥时，则电阻率可达几百甚至几千欧姆·米。

岩石中水溶液的电阻率与所含盐类的浓度有明显关系，含盐浓度愈大电阻

率愈低。由图 1—

1 水溶液电阻率和其含盐量的关系曲线可知，溶液电阻率与所含盐的种类关系不大，主要受含盐量浓度的影响。因此，岩石在同样的含水情况下，由于水的含盐浓度不同，电阻率

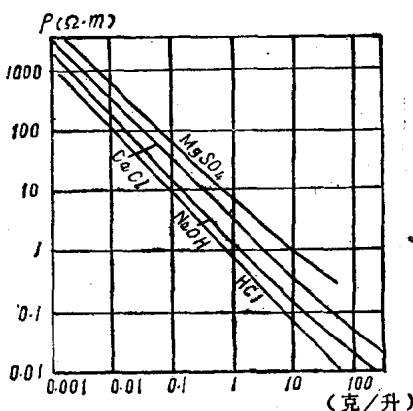


图 1—1 盐溶液电阻率与浓度的关系

也会有差别。电探利用这一点，常可区分出咸、淡水的界限。

岩石在含水的条件下，主要是靠水溶液中的离子导电。由于盐的溶解度与温度成正比，所以水溶液的电导率也与溶液温度成正比，例如同一种溶液， 27°C 时的电导率比 0°C 时要高一倍。当岩石中的水分冻结时，岩石电阻率将发生突变而急剧增高，例如冻土的电阻率与未冻结时比较，可相差数百倍之巨。

我国东北、西北、内蒙、西藏部分地区，冰冻时间较长，冻层厚度较大，在这些地区温度的显著变化，对测量岩石电阻率是有影响的。其它地区，由于温度对岩石电阻率的影响很有限，一般多不考虑。

§ 2 测量岩层电阻率的原理

不同岩层通常有不同的电阻率，所以岩层电阻率的变化，一般反映了岩层的变化或某种地质条件的变化。用电探的方法测量不同位置、不同深度的岩层电阻率，通过分析这些岩层电阻率的变化可以间接了解地质构造。测量地下岩层电阻率的方法，是从地表往地下通入电流，建立起人工电场，通过测量电场在地表的分布状态，计算出岩层电阻率。

电场是探测岩层电阻率的手段，要了解电探，必须对电场有所认识，在这一节里我们首先复习物理学中有关静电场的基本概念，再用这些概念解决测量岩层电阻率的理论基础问题。

一、静电场的基本概念

(一) 库仑定律

人们在实践中发现二个带电的金属小球之间存在相互作用力。库仑研究了两个电荷之间作用力的关系，得知同号电

荷互相排斥，异号电荷互相吸引；它们之间作用力的大小与所带电荷多少有关，还与两电荷之间的距离有关（参见图1—2）。这种关系归结为库仑定律：两个点电荷相互作用力 F 的大小与两电荷的电量的乘积 $Q \cdot q_0$ 成正比，与两电荷之间的距离 r 的平方成反比。即

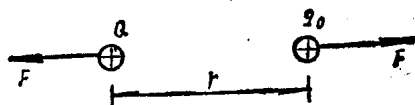


图1—2 电荷间的相互作用力

$$F = K \frac{Q \cdot q_0}{r^2} \quad (1-2)$$

式中 K 为比例系数，与电荷所处介质有关，

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

这里 ϵ_0 为介电常数。

在实用单位制中，力 F 的单位为牛顿，距离 r 的单位为米，电量 (Q, q_0) 的单位为库仑，简称库。

(二) 电场和场强

电荷之间存在相互作用力的事实表明，电荷周围存在能传递能量的物质，这种物质就是电场。电场随电荷的存在而存在，电场的存在表现为它对其它电荷有力的作用，而且这个力的大小和方向一般是随位置不同而异。为了描述电场，人们用电场强度（简称场强）作为表征某点电场强弱（作用力大小）的物理量。规定电场作用于单位正电荷上的力为该点的场强*。即

$$E = \frac{F}{q_0} = K \cdot Q \cdot \frac{1}{r^2} \quad (1-3)$$

* 电场对电荷表现的作用力还与受力电荷 q_0 所带电量多少和符号有关。为了研究电场的方便规定受力电荷 q_0 的量很小，以致完全不会影响原来的电场。