

高等学校教材試用本

电 法 勘 探

上 册

北京地质学院金屬物探教研室編

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校教材試用本

电 法 勘 探

上 册

北京地质学院金屬物探教研室編

只限学校内部使用



中国工业出版社

直流电法勘探为电法勘探的上册，其中包括视电阻率法、电测剖面、电测深、充电法、自然电场法、激发极化法以及等位线法、屏蔽电极法、坑道电法、水下电法等方法。各种交流电法将在本书下册中介绍。

本书可供各高等学校金属及放射性勘探专业师生作为教学用书，也可供有关地质及物探工作人员学习参考。

本书由北京地质学院金属物探教研室傅良魁主编，李金铭、罗延钟、张桂清等编写。

电 法 勘 探 上 册

北京地质学院金属物探教研室编

地质部地质书刊编辑部编辑（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $16^{1/8}$ · 字数 391,000
1961年12月北京第一版 · 1962年4月北京第三次印刷
印数 2,371—4,470 · 定价（10-5）1.95 元

*

统一书号：K 15165 · 1128（地质-91）

目 录

前言	5
緒論	6
第一章 电阻率法基础	14
§ 1 矿物、矿石和岩石的导电性	14
§ 2 均匀各向同性介质中点源的电场及电阻率的测定	23
§ 3 电流在均匀各向同性半空间中的分布	25
§ 4 视电阻率和各种电阻率法的装置类型及其物理实质	28
第二章 电阻率法仪器和装备	35
§ 1 补偿法测量原理及常用仪器	36
§ 2 偏轉法测量原理及常用仪器	50
§ 3 电阻率法装备	53
第三章 电测剖面法	57
§ 1 电测剖面法的理論	57
§ 2 电测剖面法的野外工作方法与技术	85
§ 3 电测剖面法的实际应用及地质效果	99
第四章 电测深法	108
§ 1 电测深法理論基础	109
§ 2 电测深法野外工作方法与技术	129
§ 3 各种成果图的繪制及初步認識	135
§ 4 电测深曲綫定量解释方法	142
§ 5 电测深法的应用	154
第五章 充电法	162
§ 1 充电法的理論	162
§ 2 充电法野外工作方法和技術	175
§ 3 充电法的应用	180
第六章 自然电场法	187
§ 1 矿物、矿石和岩石的电化	187
§ 2 自然电场法的理論	190
§ 3 自然电场法的野外工作方法与技术	202
§ 4 自然电场法的实际应用	213
第七章 激发极化法	221
§ 1 岩石和矿石的激发极化特性	221
§ 2 激发极化法的理論	226
§ 3 激发极化法的仪器和装备	238

§ 4	激发极化法的野外工作方法和技术	244
§ 5	激发极化法的实际应用及地质效果	247
第八章	其他方法	254
§ 1	等位綫法	254
§ 2	屏蔽电极法	256
§ 3	坑道电法	257
§ 4	水下电法	258

前 言

根据地质部的委托和指示，为了满足各地质院校金属与非金属物探专业目前的教学需要，编写出这本教材，作为试用的教科书。

本书是在我们几年来的教学经验基础上，以以往教学中所用讲义为底稿，经进一步修编而成。

在编写本书过程中，参考了E.M.克維亚特柯夫斯基著“电法勘探”（1958年，地质出版社）和A.И.扎博洛夫斯基著“电法勘探”（1943年俄文版）以及近年来国内外发表的有关电法勘探的新资料和新成就。

本书在系统上有以下几个主要特点：

一、在各章之间，总的系统上，将以岩矿电阻率作为主要物质基础的电阻率法和充电法依次编在前面，将以岩矿的电阻率和电化学性质作为主要物质基础的自然电场法和激发极化法依次地编于其后，而将以岩矿的电阻率，电化性，介电常数以及导磁系数等更多的物理性质作为基础的交流电法，编在最后（下册）。即从各方法所借以建立的岩矿物理参数的多少（由少到多）以及各方法所利用的物理场的复杂性（由简单到复杂）来确定书的体系；

二、在对各个章节内容的阐述与安排上，以地质对象的由简单到复杂为主要依据。其次，也注意到个别方法及其变种的由简单到复杂（如电剖面法中的三级剖面法，四级对称剖面法及偶极剖面法等）；

三、以目前我国常用的或正在推广应用的方法为重点（如电阻率法和自然电场法，充电法以及激发极化法等），而对目前在实践中应用较少的方法（如等位线法）则只略加介绍；

四、将目前我国常用的几种主要直流电法仪器集中在一章里系统讨论。这种新的体系和特点，是否符合辩证唯物主义的認識論，是否有利于读者的学习，有利于本門科学的发展，有利于指导生产和科学研究？希望讀者广泛讨论，多提意見，我們只是作为一种新的尝试，可能有不当之处。

最后，还应说明以下几点：

一、在本书选用其他著者的研究成果或其所发表的資料中，一般均以文献的方式指出，而未在个别图表中标明原著者，特別在选用实际生产成果的实例中，我們多半只指出它的国名，而不指出具体的矿区；

二、本书的编写时间是短促的，未及十分细致地系统研究个别章节中内容的选择及分量的比例等是否恰如其分，甚至个别词句以至标点符号等难免存有錯誤，希讀者指出；

三、由于編著者水平所限，本书在反映当代科学水平上，以及充分吸取我国多方面的丰富的生产实践經驗上，均感不足。誠希使用本书的各院校同行們，特別是在生产和科研部門工作的同志們，在閱过本书之后，多提改进意見，以便再版补充和更正，使本书更符合于教学和生产以及其他各方面的需要；

四、本书是由北京地质学院金属物探教研室傅良魁，李金銘、罗延钟，张桂青等编写。由王恕銘同志审校，而在完成本书最后的繪图和繁重的抄稿工作中，本教研室王雅如、杨旭、朱新莉、朱文孝以及北京矿业学院进修教师宁书年及东北工学院进修教师魏振声等全体同志参加了工作，在此一併致謝。

編 者 1961.5.25. 北京

緒 論

一、以地壳中岩石、矿物的电学性质为基础，利用电磁场（天然的和人工形成的有分布规律，研究地质构造和找寻有用矿藏的地球物理勘探方法，就叫“电法勘探”。有时简称为电法或电探。

自从人类对电磁现象及其所表现的各种客观规律获得初步了解时起就开始了从多方面利用它为人们的生产和生活服务。迄今无论在工业、农业或国防、交通以及医学等各种建设事业中，无不充分利用它们来加速工作效率、提高工作质量以及降低工作成本。当然，在研究地质构造和找寻有用矿藏的工作中，也不例外。尤其近二、三十年以来，发展十分迅速，并且越来越吸引着人们对电法勘探感到极大的兴趣。

作为电法勘探物质基础的岩石和矿物的电学性质，主要的有三种：电阻率、电学性质和介电性质，不同岩石和矿体在这些电性上的差异，能够在岩石和矿体中所存在的天然电磁场和人工电磁场上表现出来，只要这三种电性之一发生了变化，则在該岩石或矿体中的天然场或人工场也必相应地按照电磁场分布的规律发生改变。一般的說，电性参数改变的越大和越多，则电磁场分布形态的相应变化也越强烈和复杂。

因此，人们便可能通过对电磁场的观测和研究，确定岩石和矿体本身在地下存在的形态（大小，形状，埋藏深度等）及其电性参数值，以达到电法勘探的目的。

任何一种地质体，在不同程度上都同时具有这三种电学性质，人们可以利用一种电学性质来研究地质体，也可以利用两种或三种电学性质，即从多方面来研究地质体。而利用不同电学性质，从不同方面来研究地质体或观测与其有关的电磁场时，必然需要采用不同的仪器和不同的测量方法。因此人们为了更全面地，多快好省地确定出多种地质体的形态及其他各种特性，当然就需要用多种仪器和多种测量方法，于是，在电法勘探中，根据测量方法和测量对象的不同，又分成许多种方法，如通过测量由地质体自身所形成的天然电场的方法来研究和找寻这种地质体时，便称为“自然电场法”，再如，在天空中用飞机观测人工形成的电磁场，研究和找寻地下埋藏的地质体时，又称为“航空电测法”等等。目前在实践中已投入生产的电法勘探方法，有二十余种，而处于试验研究阶段的方法还有许多种。

二、虽然电法勘探方法目前有这么多，而从不同方面来看，有些方法是相类似的，为了研究的方便，可以把它们当作一类。但直到目前为止，还未确定出一种最理想的分类方法。有一种以电法勘探的工作场所作为分类标准，将电法分为四类：地下电法、地面电法、海洋电法及航空电法，在每一类中又包括许多种方法，这种分类法虽然在一定程度上反映了各类方法的复杂程度，和工作条件。但不能表明它们在本质上利用了那种电磁学规律。因此我们认为应以电磁场的存在形态作为分类标准，较为合理些。这时可分为三类：稳定场法（直流电法），过渡场法（或时间场）及交变场法（交流电法）。在每一类中，也包括许多种方法。各种方法的地质效果，决定于方法的原理，地质对象，以及地质条件的复杂程度等许多因素、有的方法用来找寻金属矿床可能最为有效，而用于查明地质构造时，可能得不到预期的结果。而对另一种方法来说，又可能恰恰相反，

所以在实际工作中,为了更好地完成各种地质任务,应该合理地选用适当的方法。按此种分类的各种基本方法及其适用的主要地质对象。列于下表。

电法勘探方法分类表

种 类	方法的名称及其主要变种方法			主要地质对象
稳 定 场 法 (直 流 电 法)	电 阻 率 法	电测剖面法	中间梯度法	金属与非金属
			对称剖面法	金属、水文、 工程、地质
			联合剖面法	
			偶极剖面法	
			纯异常剖面法	
		电测深法	对称电测深法	油田、水文、 工程地质
			偶极电测深法	
	自然电场法			金属、水文，工程地质
	充 电 法			金属、水文，工程地质
	等 位 线 法			金 属

三、上表中所列的各种方法的基本物理实质简述如下:

直流电法勘探

在这类电法中,电源皆为恒定电流,目前我国运用很广,而且变种多。现在简述其中常用的几种方法:

自然电场法或简称 ΠC 法:此法是利用地壳内各种物理和化学作用形成的自然电场来解决不同的地质问题。这一方法的基础是:自然电场和地壳的地质特征间存在着一定的联系。目前,对于所观测的自然电场与某些类型矿床、岩石和水文地质现象间的联系已有所了解。

在石墨,无烟煤,含有硫化矿物的矿床以及其他一些岩石中,常常见到强烈的自然电场。这是因为电子导体和离子导体的界面上产生了电化学反应形成的。研究此种电场的特征就能确定这些矿体和岩石在地壳中的位置及其分布情况(图0·1)。

由于地下水的过滤作用能形成过滤电场。在钻孔中根据对过滤电场的研究可以分辨多孔性岩石。依此可用来解决某些水文地质问题。比如确定地下水流动的速度和方向(图0·2)。

电阻率法

在这种方法中,是以测定岩石的电阻率或利用所谓“视电阻率”这个参数来解

过渡场法	激 发 极 化 法		金属, 水文工程、地质
	建 立 场 法		油田、金属
交 变 场 法 (交 流 电 法)	低 频 传 导 类	电位差比法	金属
		地电流法	油田、金属
		线圈法	油田
		强度法	金属
	低 频 感 应 类	不接地迴线法	金属
		长导线法	金属
		频率测深法	金属
		航空电测法	金属
	高 频 电 法	阴影法	金属
		干涉法	金属
		无线电波法	金属
		射线法	金属

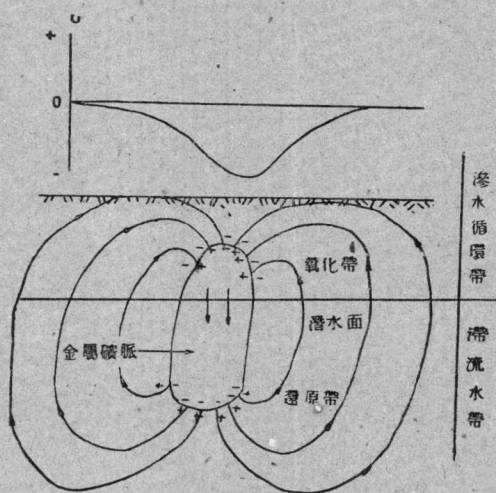


图 0.1 硫化矿体上的自然电场

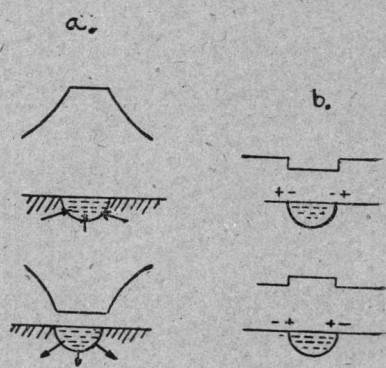


图 0.2 过滤作用形成的自然电场

决不同的地质勘探问题。

为了测定电阻率，在地面上从电源（E）经过电极（A和B）向地下供电（电流为I），另外，有电极M和N（称为测量电极），由此测出所在位置间的电位差 Δu （图0·3）

测得电流、电位差以及电极间的距离时，根据电场在空间的分布规律，可以确定电极间岩石的视电阻率值。并且能进一步根据视电阻率值的大小，了解所研究地区内岩石的地质性质及其分布。

如果测量视电阻率值是在一条直线（剖面）上进行，并且测量装置沿剖面移动，以此了解水平方向地质情况的变化，那么，这种电阻率法就称为电测剖面法。另外还有所谓垂向电测深法。

针对不同的地质任务，用以测量视电阻率值的装置就有所不同，目前在金属矿区应用较广的电测剖面法有如下几种：

中间梯度法

对称四极剖面法

联合三极剖面法（简称联合剖面）

偶极剖面法

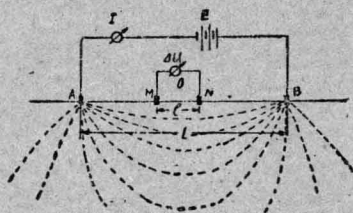


图 0·3 电阻率法线路图

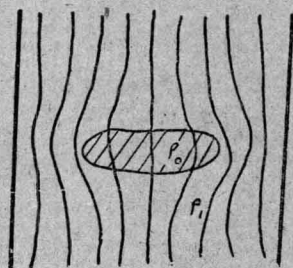


图 0·4 良导电性矿体上的等位线

垂向电测深法与电剖面法的区别在于电测深的观测点不动，亦即测量电极的中心点不移动。借改变供电电极的位置来了解测点处不同深度上电阻率的变化，以确定不同电性岩层的埋藏深度，进而研究岩层的起伏及不同岩层的空间分布等。

目前常用的电测深法有：

1. 对称四极测深法（或垂向电测深法）；
2. 赤道电测深法；
3. 轴向电测深法。

等位线法

在这种方法中，实际上是通过在地表观测点电源场的电位分布，从等位线的形态出发，研究地下介质的不均匀性对电场的影响，以此了解地下地质情况（图0·4）。

充电法

本法实质上是將天然出露或人工所揭露的良导电性勘探对象，直接与电极相连，使它成为电流源，我们在地面上或在钻孔中用不同的方法研究这种充电体的电场，并根据电

场的分布特点来了解充电体本身以及周围的地质情况(图0·5)。

如果我们将食盐盐包(其水溶液为低阻物)放在地下水中并使它带电,则可以根据地面上电场分布形态了解地下水的运动(图0·5b)。

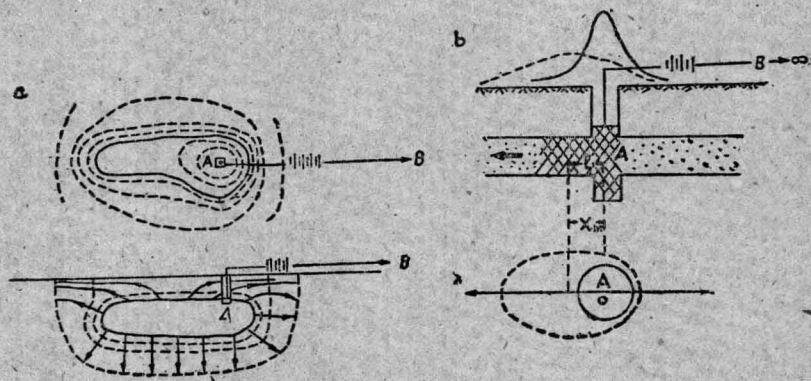


图 0·5 充电体在地面的等位线

(如硫化矿以及其他金属矿床等)和离子导电岩石的激发极化场不同,因之可以根据在地面或坑道中测量并研究这种场的特点,来了解地下地质状况,这就是激发极化法。

交流电法勘探

交流电法中所用电源的频率是极不一致的。一般是从几十周到几十兆周。而供电方式亦不同,有的是直接将电流传入地下,有的则以感应的方式来激发。依其频率及供电方式的不同。

一般用于金属矿区的交流电法有如下几种:

强度法

它是在探测区地面上研究低频电流场的磁场(垂直及水平分量)。电流是由发电机(G)经A, B电极而流入地下(图0·6)。利用框状天线,电子管伏特计在正方形ADCBC'D'区内沿矩形网观测磁场各分量。将观测结果与在均匀介质中磁场分布图比较,研究磁场的畸变从而确定引起畸变的地质对象。

无限长导线法

低频电流经布置在地面上的长直导线输入地下,在导线之中央部分沿垂直于导线的测线上用类似于强度法的装置测量磁场的水平分量。若平行于导线方向有良导性矿体,那么它在交流磁场作用下,感应出二次电流,畸变了一次磁场,这样便可根据研究磁场水平分量的畸变找到矿体。

大地电流法

地磁场的连续变化,在地壳中能感应出交变的大地电流来。在电性均匀的不大的范围内,完全可以认为电流密度是均匀的。而在地质构造所引起的电性不均匀地带,大地电流的分布将相应变化。我们研究不同地段上大地电流的分布规律,就可以了解地下地质结构。

感应法

① 激发极化法属于过渡场类,本书中将其编于直流电法勘探中。

激发极化法①

(激发电位法)。

地下的岩石或矿体在电流作用下受到极化(人工激发极化),当断电后,由于极化的结果,便产生了二次电场,即所谓激发极化场。由于电子导电的金属

感应法的装置原理图示于图0·7。用特殊的振荡器产生高频的（约几万周）交变电磁场。地壳中的导电岩石在此磁场的作用下，感应出二次电流，该电流又产生二次磁场，人们用特殊的接收装置来研究二次磁场。如测量出接收机线圈的空间位置，就能确定产生感应电流的矿体的位置。

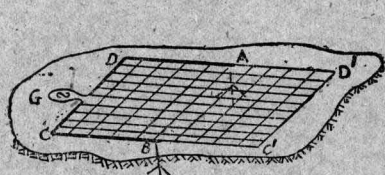


图 0·6 强度法供电装置和测网分布图

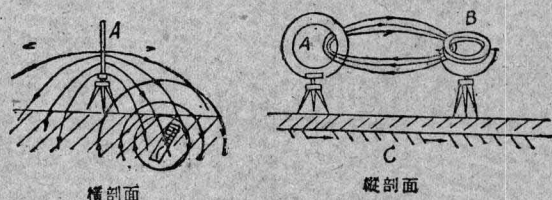


图 0·7 感应法装置原理图

有一种低频感应法，目前人们盛称其为多频振幅相位法。在这种方法中，通常是用特种振荡器在地面发射多种（一般在三种以上）低频（几十到几千周）电磁波。在地面上沿横剖面用特制的接收机测定相邻点间不同频率的振幅比和相位差。根据这些地段上的振幅频率特性和相位频率特性，可依其导电性来对异常进行分类。目前看来这种方法在多数情况下是很有前途的，它能找到埋藏较深的致密的电子导电矿体。

无线电波透视法或阴影法。

方法的原理在于高导电性的地质体强烈吸收电磁波。当金属矿体在发射机和接收机之间（如矿体在坑道和地面或在二钻孔之间），用接收机沿地面和钻孔观测发射机在不同位置时场强的分布。便可根据电磁波强度急剧减弱的地段，即所谓“阴影”区来确定矿体的空间位置及大小（图0·8）。

干涉法

装置如图0·9所示。在S点放一高频振荡器，在距振荡器不同的点B₁、B₂及其他各点上测量电磁场的强度。如果地下某一深度有反射电磁波的平面，那么在测点上，可观测到接收强度的加强和减弱。知道了最大接收强度和最小强度点接收机的位置和波长，用简单的计算就可以确定良导电性反射层的埋藏深度。

无线电波法

在这种方法中，其原理是基于不同的岩层对无线电广播电台发射的电磁波的吸收作用及感应产生的二次场强度的不同，人们可以借测量电磁场强度来了解各种岩层的分布，解决地质填图和划分地层界限问题。

频率测深法

本法的装置是在地面上放置一种特殊振荡器，向地下发送不同频率的电磁波，整个装置不动，仅改变电源频率，在测点上测出电磁波的强度，由于不同频率的电磁波在地下的分布状态不同，所以在地表研究不同频率的电磁场分布时，可以了解岩石在垂直

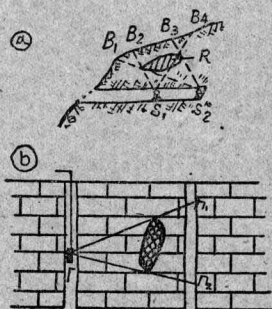


图 0·8 阴影法装置图

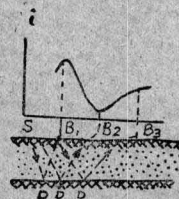


图 0·9 干涉法装置图

方向上的变化。

四、电法勘探是一门新的自然科学，虽然在1815年P. 福克斯在库瓦尔铜矿上观察到了由矿体产生的天然电流场（或自然电场），但当时仅限于科学研究性质，并未实际应用。直到二十世纪初，由于世界上许多国家工业发展得十分迅速，需要愈来愈多的矿产原料，电法勘探才相应地走出了科学研究范围，而跨进了实际应用的阶段。

在二十世纪的二十年代，电法勘探的理论和实践的系統，已初步形成。法国地球物理学家K. 什柳姆别尔热在1920年总结并发展了关于电法勘探的经验和著作，提出了他在调查地质构造和找寻金属矿床时，所获得的良好结果和工作经验。同时瑞典科学家A. 隆德别尔格在1919—1922年间更进一步地创立了电法勘探的理论基础。

苏联的电法勘探工作是从1924年开始的。即在苏联人民推翻沙皇政权以后才发展起来，当时在著名物理学家A. A. 彼德罗夫斯基领导下组成了电法勘探队，在阿尔泰金属矿区应用了自然电场法；在乌拉尔金属矿区应用了等位綫法，经过两年生产试验阶段，从1926年起，这两种方法便普遍应用到实际工作中去了，同时，1925年在乌拉尔还试验成功了强度法。其后，在1929年和1930年间，电测深法，剖面法以及感应法均投入了实际勘探工作，在1937年以前，对许多电法勘探方法，都进行过试验研究，并用于生产。现在，电法勘探在苏联已经成为找寻金属矿床及勘查地质构造工作中，不可缺少的一个有力工具。在电法勘探工作的规模和取得的地质效果等方面都远远地超过了其它各资本主义国家。

我国电法勘探的发展，只能从人民掌握了政权以后算起，在旧中国的半殖民地、半封建的政治经济情况下，工业十分落后，尤其矿山工业多被帝国主义所掌握，腐败的官僚政府那里想到中国的发展前途，仅有极少数人作了些基本上属于科学研究性质电法勘探的试验工作。

在1936年丁毅等在安徽某铁矿上进行了电法勘探的试验工作，其后在1939—1942年间顾功叙先生在贵州某铁矿上用电阻率法进行了工作，并在1941年同张鸿吉在云南铁矿区，以及同王子昌先生于1943年在云南某铅锌矿区及某铜矿区皆用自然电场法作过电法勘探工作，其后在1945年顾功叙先生又曾在贵州某铁矿上，用电阻率法进行了电法勘探。除此之外，未能用更多的方法，在其它矿区进行过生产或试验。

全国解放后，和其它各方面的发展建设一样，电法勘探工作也得到了迅速发展。国家设立了领导和发展物探工作的专门机构，在全国各矿区立即开始了电法勘探的生产工作。1950年在辽宁省鞍山铁矿区曾用电测剖面法进行了工作。在1951—1952年间，我国制出迄今还广泛使用着的电法勘探仪器——自然电场法便携式电位计。其后，在1953年又制造了电阻率法仪器——交流地阻仪，并于同年在西北等地矿区进行了生产。而且根据电法勘探工作的急剧发展，于1954年大批制造了仿造苏联ЭП—1型电位计，以适应全国需要。自此，全国各主要勘探区，都组织了电法勘探队，并且逐年迅速增加其他各种新的电法勘探方法，到1955年除各种电阻率法和自然电场法外，等位綫法和充电法等均大量投入了生产，同年又在鄂尔多斯平原投入了大地电流法。还制成了感应法仪器和强度法仪器，并在一些矿区进行了试验工作，1957年在东北一个铅锌矿区组成了激发极化法试验研究队。至此，我国几乎运用了世冲上所有有效的电法勘探方法，投入了生产和野外

及室內的試驗研究。并对一些有发展前途的新方法也进行了理論和实验研究。

经过建国以来十二年的发展，目前电法勘探在我国各地质工作领域中已经成为应用十分普遍的一种地球物理勘探方法了。无论在找寻金属和非金属矿床，或在石油天然气矿产以及水文工程地质勘查中，都获得了显著的地质效果，加速了地质勘探进度，提高了勘探质量，减少了勘探成本。对整个社会主义建设事业起了一定的积极作用。

应当指出，我国的电法勘探或其它各种地球物理勘探方法之所以能够发展得如此迅速，除党的正确领导及人民群众的大力支持外，还与其它社会主义国家，特别是苏联在这方面的无私帮助分不开。自我国的电法勘探工作迅速发展的时候起，苏联就相继派来了专家和教授，将他们的丰富经验，毫无保留地介绍到我国来，在提高生产质量和培养干部以及在仪器设备的制造方面，给以很大帮助。此外匈牙利和波兰等兄弟国家也都曾先后派遣专家来我国，帮助开展大地电流法及水文工程电测等工作，所有这些，都表现了无产阶级伟大的国际主义精神。毫无疑问，在今后发展我国的电法勘探工作中，还必须继续不断地向各兄弟国家的先进经验学习。

五、综上所述，不难看出，只有在共产党领导下的人民大众掌握了国家政权的情况下，电法勘探才获得了迅速发展，并为人民的幸福服务，而且今后必将以更大的速度向前发展，在我国社会主义的建设中，发挥它的更大的作用。

还应指出，在电法勘探上述各种方法的实际工作中，能否取得良好的地质效果，除取决于合理的应用各种电法勘探方法以外，还决定于是否与其它地球物理勘探方法及地质勘探和化探，钻探等工作密切的配合。否则，在许多情况下，由于地质构造和矿产地质条件的复杂性，便可能得不到完美的结果，以致造成人力，物力的损失。由于一种岩石或矿石，同时具有多种不同的物理性质，而且在天然存在条件下，每种物理性质的变化可能相差很大，既或同是一种矿床，由于它生成条件及其成份、品位的不同，其物理性质也必不同，人们在找寻这种矿床时，必须适应它的这种变化，并从多方面了解到它的变化规律时，才能获得预期的完整效果，因此，为达到理想的目标，通常必须根据不同的地质、矿产条件，适当地配合应用各种地质、物探、化探等方法。这一点无论对物探工作者还是对地质工作者，都应当密切注意，在实际工作中过分强调或固执地迷信某种单一（如工作者自己较熟悉或惯用的）方法，一定要造成工作上少慢差费的严重失败。这种教训在苏联发展电法勘探的初期曾经发生过，我们应当很好的吸取这方面的经验。

第一章 电阻率法基础

§ 1 矿物、矿石和岩石的导电性

矿物、矿石和岩石的导电性是电法勘探的一个主要物质基础，许多电法勘探方法的地质效果是由不同的岩石和矿石的导电性具有不同程度的差异所决定的，一般讲，这种差异越大，电法勘探的效果越好。

在电法勘探中，通常用电阻率(ρ)来表示矿物和岩石的导电性，其单位为欧姆米。如对一块长为 L 截面为 S 的六面体岩石或矿石标本而言，当沿 L 方向通电时，若其电阻为 R ，则

$$\rho = R \cdot \frac{S}{L} \text{ 欧姆米} \quad (1.1)$$

矿物和岩石所以能够导电，主要有三种原因 [1.3]，即电子导电及颗粒孔隙中水溶液的离子导电和晶体离子导电，通常在有用的金属矿物中（黄铁矿等），以电子导电为主，对造岩矿物而言（如方解石等），则晶体离子导电起作用，这种导电性很微弱，通常在强电场作用下才明显的表现出来，而在电法勘探中，目前主要是用弱电场，因此，这里我们不详细来讨论这种导电性。在各种岩石中，由于它们可能是由各种矿物所组成的，因此可以同时具有上述三种导电性，但在一般情况下，多数岩石均以液体离子导电为主，特别那些坚硬无隙的岩石，如无液体离子导电作用，它们通常表现出实际上是无穷大的电阻率。

经验证明，不同岩石和矿物的电阻率值常在很大的范围内变化，这是由于决定电阻率值的因素较多，并当其中某种因素稍加改变时，都可能引起电阻率值的强烈变化，这些因素当中最主要的有以下几种：（一）组成岩石和矿石的矿物成分，（二）组成岩石和矿石的矿物颗粒的结构状态，（三）温度，（四）湿度。现分述如下：

一、矿物、矿石和岩石的导电性与其成分的关系

实践证明，不同岩石和矿物的电阻率值常在很大范围内变化，低者近于零，高者近于无穷大。我们知道，岩石是由矿物或矿石所组成的，所以不难想像，岩石的电阻率应当主要由组成它的矿物成份及其电阻率所决定，故在研究岩石电阻率之前，我们先来讨论矿物和矿石的电阻率，根据测定结果 [1.1]，各种常见矿物和矿石的电阻率值如表 1.1 所示，表中分三个电阻率范围，在每个范围中的矿物和矿石，都有一定的规律性，如果我们将电阻率小于 1 欧姆米的各种矿物作为一组，并认为是良导电性的矿物，而电阻率在 $1-10^6$ 欧姆米范围内的各种矿物作为第二组（中导电性），电阻率大于 10^6 欧姆米的各种矿物作为第三组（劣导电性）。

由表可见，决大多数的硫化物、石墨及部分氧化物矿石的电阻率值均很底（小于 1 欧姆米），大部分氧化物及含铁硅酸盐的电阻率值则在 $1-10^6$ 欧姆米范围内变化，而造岩矿物的电阻率值为最高，一般皆大于 10^6 欧姆米，由于组成成分的不同，每种矿物的电阻率值一般都在几千欧姆米范围内变化，有的甚至更大，如赤铁矿和铬铁矿就属于

表 1.1 矿物电阻率值表

$10^{-6} \rightarrow 10^{-3}$ 欧姆·米	$10^{-3} - 1$ 欧姆·米	$1 \rightarrow 10^3$ 欧姆·米	$10^3 \rightarrow 10^6$ 欧姆·米	$> 10^6$ 欧姆·米
斑銅矿 石墨 銅蓝 磁鉄矿 磁黄鉄矿	毒砂 方鉛矿 赤鉄矿 赤銅矿 白鉄矿 輝鉬矿 黄鉄矿 輝銅矿 黄銅矿	輝梯矿 輝金矿 黑鎢矿 赤鉄矿 錫石 軟錳矿 菱鉄矿 鉻鉄矿	赤鉄矿 鈦鉄矿 辰砂 褐鉄矿 蛇紋石 閃鋅矿 鉻鉄矿	角閃石 石膏 石榴石 方解石 石英 霞石 石油 輝石 长石 云母 螢石

这类矿物，所以一般不能說某种矿物具有固定不变的电阻率值，而只能說在一定的范围内，这一性质对电法勘探的实际工作有重要意义。后面我們將要詳細討論。

其次，大家知道，岩石是由矿物組成的，既然矿物电阻率值有如上述那样大范围的变化，因此不同岩石的电阻率值必然也有較大的差別和变化。

列于表 1.2 中的是几种常見岩石的电阻率 [1.1]

表 1.2 岩石电阻率值表

岩 石 名 称	电 阻 率 值	单 位
硬石膏	$10^4 - 10^6$	欧姆米
板岩	$10^1 - 10^3$	"
粘土	$10^0 - 2 \times 10^2$	"
白云岩	$5 \times 10^1 - 6 \times 10^3$	"
石灰岩	$6 \times 10^2 - 6 \times 10^3$	"
砾岩	$2 \times 10^1 - 2 \times 10^3$	"
砂岩	$10^{-1} - 10^3$	"
泥质頁岩	$6 \times 10^1 - 10^3$	"
无烟煤	$10^{-4} - 10^0$	"
肥煤	$10^3 - 10^4$	"
褐煤	$10^1 - 2 \times 10^2$	"
玄武岩	$6 \times 10^2 - 10^5$	"
輝长岩	$6 \times 10^2 - 10^5$	"
片麻岩	$6 \times 10^2 - 10^4$	"
花崗岩	$6 \times 10^2 - 10^5$	"
輝綠岩	$6 \times 10^2 - 10^2$	"

由表可見，火成岩的电阻率一般均較沉积岩电阻率高，在火成岩中結晶或变质的岩石电阻率最高。

此外，我們还可以看到，各种岩石电阻率的最低值和最高值間之差，比各种矿物相应的数值小得多，即不同岩石电阻率的差異范围，比不同矿物电阻率的差異范围小很多。

而对每一种岩石来讲,其电阻率的变化范围也比某一种矿物电阻率变化范围小。这主要是因为岩石是许多种不同矿物的组合体,在组合体中电阻率差别较大的个别矿物的导电性,表现得就不明显了。

二、矿石和岩石导电性与组成矿物颗粒结构的关系

大多数岩石和矿石,尤其是沉积岩(如砂岩),一般可视为由均匀相連的胶結物 and 不同形状的矿物颗粒所組成,这些矿物颗粒的形状和所占成分的百分比,也将显著地影响着岩石或矿石的导电性,如令矿物颗粒的电阻率为 ρ_0 ,胶結物的电阻率为 ρ_1 ,则当岩石或矿石仅由这两种矿物組成,并且矿物颗粒的形状为球形时,则其电阻率值可由下式决定 [1.2]:

$$\rho = \rho_1 \frac{(\rho_1 + 2\rho_0) - (\rho_1 - \rho_0)V}{(\rho_1 + 2\rho_0) + 2(\rho_1 - \rho_0)V} \quad (1.2)$$

式中 V ——为岩石单位体积內矿物颗粒所占体积的百分比。

对給定的 ρ_1 和 ρ_0 关系,按公式(12)計算的結果列于图1.1。

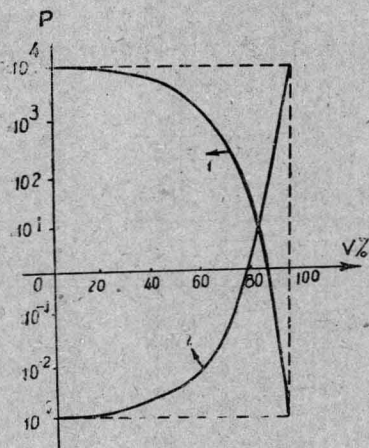


图 1.1 具有球状的矿物颗粒时,岩石电阻率与低电阻率矿物含量的关系

1. $\rho_0 = 10^{-3}$ 欧姆米; 2. $\rho_0 = 10^4$ 欧姆米;
 $\rho_1 = 10^4$ 欧姆米; $\rho_1 = 10^{-3}$ 欧姆米

由图可見,对良导电性的颗粒曲线1而言,当低电阻率的球状颗粒的体积百分比 $V < 60\%$ 时,岩石的电阻率值,几乎由高电阻率的胶結物所决定,在这种情况下,尽管球形颗粒的电阻率非常低,但它对岩石电阻率值的影响是不显著的,相反,胶結物对岩石电阻率影响则起主要作用,这是因为许多球状颗粒都是互相孤立的或不相連接的,未能充分起到它們的良导电性的作用。

只有当 V 增加到接近80%时,这时各良导电性的球状颗粒几乎相互連接起来,岩石的电阻率才很快地随 V 的繼續增加而降低。

其次,对不良导电性的颗粒曲线2而言,当 $V < 60\%$ 时,高电阻率的球形颗粒,由于孤立不連接,亦未起到明显的劣导电性的作用,在这个范围内,随着颗粒体积的增加,岩石电阻率未能很快增大,也只当 $V > 60\%$ 以后,岩石的 ρ 值才表现出显著的增高。

綜上所述,我們可得出結論,无论球形颗粒的导电性强或弱,当其含量在小于60%的范围内改变时,不能显著地影响岩石的电阻率,只当其含量在更高的范围内改变时,才能引起岩石电阻率的强烈变化。而对連接着的胶結物而言,所起的导电作用恰相反,无论其导电性好或坏,都能在含量很少的情况下改变时对岩石电阻率值发生极大的影响,而在含量很高的范围内改变时,則影响很小,总之,矿物对岩石导电性影响的大小,取决于它的連接状况,連接者起的作用大,孤立者起的作用小。

对于片状颗粒而言,其形状接近于压扁的旋轉椭球体(椭球三个半軸的关系为 $a = b > c$),这时岩石电阻率值具有方向性 [1.2]

$$\rho_a = \rho_b = \frac{\rho_0 \rho_1}{\rho_0(1-V) + \rho_1 V} \quad (1.3)$$