

625918

3563

13477

中等专业学校试用教材

水文地质物探方法

西安地质学院 等编



地质出版社

中等专业学校试用教材

水文地质物探方法

西安地质学院 等编

地质出版社

内 容 提 要

本书主要介绍我国水文工作中常用的物探方法。内容以地面电阻率法及视电阻率测井和自然电位测井为主,着重讲述方法原理、应用条件、资料的定性分析及其主要的定量解释方法等。对其它电法和电测井方法(如,激发极化法、频率测深、大地电磁法、侧向测井、感应测井等)以及地震、重力、磁法等物探方法也作了扼要的介绍。编写中注意了语言力求通俗,便于自学。

本书适于作中等地质学校水文地质及工程地质专业物探课试用教材,也可供水文物探工作人员参考。

水 文 地 质 物 探 方 法

西安地质学院 等编

责 任 编 辑 夏启超

地质部教育司教材室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本:850×1168 $1/16$ 印张:7 $11/16$ 插页4个 字数:197,000

1981年7月北京第一版·1981年7月北京第一次印刷

印数 1—5,100册·定价1,10元

统一书号:15038·教116

前 言

本教材是按地质部教育司下达的任务，为满足中等地质学校水文地质及工程地质专业的教学需要而编写的。

根据我国水文物探工作的现状，内容以地面直流电法中对称四极电测深及视电阻率测井和自然电位测井等常用方法为主，偏重于工作原理、资料的定性分析和应用。而对野外工作方法及仪器设备等只作极其简要的叙述。对于电法和测井中的新方法以及地震、重力、磁法等其它物探方法进行了适当的介绍，并注意吸取了生产单位积累的实践经验。为了便于自学，书中编有小字附注。

本教材授课总学时数约为80小时，其中必讲内容学时数与选讲内容学时数比例约为7:3。必讲内容讲课时数安排大体如下：

绪论——2学时，第一章电阻率法的基本知识——10学时，第二章电测深法——20学时，第三章电剖面法——6学时，第四章——电阻率法在水文及工程地质工作中的应用实例——4学时，第五章电法测井——10学时，第六章其它水文物探方法——4学时。为了使本教材有较大的适应性，各章节具有一定的独立性。在使用中除注明*号的内容可以作为选用外，尚可根据具体要求及时数安排，对其它内容作必要的删减。

本教材电法和测井部分由西安地质学院高延年编写，郑州地质学校夏启超作了最后的审定和修改、补充；刘训元、窦振华编写了重力、磁法部分；林清溪编写了地震部分。此外，郑州地质学校张书俊、夏启超及陕西物探队赵大运、樊钧等曾参加初稿的审查，提出了宝贵的修改意见，电法和测井部分的书稿抄写和绘图工作由李雪峰担任，西安地质学院绘图室绘了部分图件。在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平所限，在内容和编排上必有不少缺点和疏漏之处，希望读者给予批评指正。

编 者

1980.8.

目 录

绪 论	1
第一章 电阻率法的基本知识	6
§1 岩石电阻率及其主要的影响因素	6
一、岩石电阻率的概念	6
二、影响和决定岩石电阻率的主要因素	7
§2 稳定电流场的分布	13
一、一个点电源形成的正常场	14
二、正、负两个点电源形成的正常场	15
三、稳定电流场分布的基本规律	19
§3 视电阻率和勘探深度的概念	20
一、均匀各向同性半空间介质电阻率的测定	20
二、视电阻率的概念	21
三、有关电阻率法的勘探深度	23
* §4 电阻率法的仪器和设备	24
一、仪器	24
二、设备	25
第二章 电测深法	26
§1 电测深法的基本原理	26
一、电测深法的实质	26
二、电测深曲线与地电剖面的关系	29
* 三、等价原理	38
* 四、地形及非水平界面对电测深曲线的影响	41
五、应用电测深法的有利条件	46

§2 野外工作方法与技术46

- 一、测区及测网的选择46
- 二、供电电极距和测量电极距的选择47
- 三、野外工作的进行49
- 四、野外工作质量的检查与评定50

§3 电测深资料的定性解释51

- 一、电测深资料的初步整理52
- 二、电测深曲线的定性分析53
- 三、各种定性图件的绘制和解释56

§4 电测深资料的定量解释63

- 一、一理论曲线对比法(量板法)63
- 二、辅助量板法67
- 三、图解法76
- 四、中间层电阻率及各向异性系数的确定81

• §5 其它电测深法86

- 一、三极电测深86
- 二、环形电测深88

第三章 电剖面法90

§1 电剖面法的实质及其应用90

- 一、对称四极剖面法90
- 二、复合四极剖面法92
- 三、联合剖面法94
- 四、中间梯度法97

§2 剖面法各种图件的绘制99

- 一、 ρ_s 剖面图99
- 二、 ρ_s 剖面平面图99
- 三、等 ρ_s 平面图100

§3 电剖面法 ρ_s 曲线的影响因素及消除方法	100
一、地表电性不均匀体的影响及消除方法	100
二、地形对剖面法 ρ_s 曲线的影响	102
三、邻近不均匀体的影响和消除方法	106
第四章 电阻率法在水文及工程地质工作中的应用实例	108
一、寻找岩溶裂隙水	108
二、解决山前地带的供水问题	114
三、划分咸淡水分界线, 寻找浅层淡水	118
四、利用电测深法圈定深层淡水砂层富集带	121
五、地热调查	126
六、配合工程地质勘探	129
第五章 电法测井	135
§1 视电阻率测井 (JDZL)	135
一、视电阻率测井的基本原理	135
二、电极系	135
三、测量方式	139
四、视电阻率曲线特征及岩层界面的确定	139
§2 自然电位测井 (JDHZ)	145
一、自然电位 (电场) 产生的原因	145
二、自然电位曲线的形状和规律	148
§3 视电阻率和自然电位测井资料的解释及应用	150
一、确定含水层位置, 划分钻井地质剖面	150
二、划分咸、淡水界面, 确定地下水矿化度	152
* §4 其它测井方法	159
一、井液电阻率测井	159
二、微电极测井	162
三、侧向测井	164

四、感应测井	167
五、井中无线电波透视法	169
第六章 其它水文物探方法	171
* §1 其它地面电法	171
一、自然电场法	171
二、充电法	174
三、激发极化法	181
四、频率测深	188
五、大地电磁法	194
* §2 其它水文物探方法	195
一、地震勘探	195
二、重力勘探	209
三、磁法勘探	221
附录一 电阻率法常用的装置形式	231
附录二 DDC—2A型电子自动补偿仪面板结构及其操作	233
主要参考文献	238

绪 论

实践工作证明，在水文、工程地质勘探中地球物理勘探方法已获得日益广泛的应用。

地球物理勘探（简称物探）是一种重要的地质勘探手段。它是研究天然和人工的物理场的分布和变化来了解地质构造与寻找地下水及其它有用矿产的。

随着我国社会主义工农业高速发展，国家对各种矿产及地下水等资源的需要量大大增加，对各种工程建设的要求也非常迫切。加速勘查祖国地下水资源和各种工程基地是水文工程地质人员义不容辞的责任。合理使用物探方法可以加快水文工程地质勘探步伐，能够取得多快好省的地质效果。

物探方法之所以能用于研究各种地质问题，是因为不同的岩（矿）石往往具有不同的物理性质，或者说它们之间存在某种物理性质的明显差别。例如磁铁矿有磁性，致密的黄铜矿有较强的导电性等等。这种差别能够影响被寻找地质体周围某种天然或人工的物理场的分布。物探就是用专门的仪器测定这些物理场分布与均质条件下物理场分布的差异（即所谓异常），研究它与勘探地质对象的关系，从而解决一定的地质问题，这就是物探方法的实质。

在物探工作中所利用的岩（矿）石的物理性质，目前主要有：电性、弹性、放射性、磁性和密度。因此物探方法主要分为：电法勘探（利用岩石的电性差别），地震勘探（利用岩石的弹性差别），放射性勘探（利用岩石的放射性差别），磁力勘探（利用岩石的磁性差别），以及重力勘探（利用岩石的密度差别）。将上述方法应用于钻井中，称之为地球物理测井（简称测井）。如果我们把前五种方法统称为地面物探的话，那么在钻

井或坑道中工作的物探方法又可以称为地下物探。随着科学技术的不断发展，物探不仅在地面和钻井、坑道中进行工作，而且逐步发展到空中和海洋。后两种又分别称为航空物探与海洋物探。

在综合地质勘探工作中，物探是一种比较好的勘探方法。它不同于一般的地质方法，物探方法不是直接观察岩（矿）石或地下水本身，而是观测研究岩（矿）石和含水地质构造所引起的某些地球物理现象。因此它具有一定的“透视性”，可以通过复盖层了解深部的地质情况，在地质勘探中具有独特的作用。物探与其它地质方法合理地配合，可以大大地提高地质勘探效率，降低成本，所以它在地质勘探中占有相当重要的地位，已成为不可缺少的手段。

但是物探毕竟是一种间接找矿的方法，它具有“条件性”和“多解性”的缺欠，也就是说勘探对象相对于埋藏深度应有一定的规模，与其周围岩石应具有一定的物性差异，才能使其周围空间的物理场发生畸变，产生明显的异常。一般地讲，物性差异愈大、勘探地质体规模愈大、埋深愈浅，异常愈明显，对物探工作愈有利。由于物探是依据岩（矿）石物理性质的差异，利用研究物理场的方法来了解勘探对象的，当不同岩（矿）石具有某种相同（或相近）的物理性质时，产生的物理现象必然也相同（或相近）。因此除少数简单情况外，很难凭借某一种物探异常作出单一的地质结论。常常需要综合应用几种物探方法，并紧密地结合地质资料的研究，才能取得比较肯定的解释结果。综合应用物探方法时，应本着节省的原则，力求用最恰当的方法和最少的工作量，最大限度地完成地质任务。选择方法的目的性要明确，各方法资料能互相补充，彼此验证而又不显得重复。合理地选择物探方法必须依据具体的地质和物性条件。只有合理地采用有效的物探方法，结合已有地质、物性资料进行深入细致的综合研究，及时采用山地工程查证物探异常的性质，才能更好地发挥物探工作在地质勘探中的作用。由此可见，物探工作绝不能代替所有的地质勘探工作，它的作用仅在于加速勘探工作的进程，提高地质勘探的

质量，使山地工程布置更加合理。

水文物探是一种综合性的物探工作。其中电法勘探中的电阻率法和测井中的电测井，目前在水文物探中占有相当大的比重。它们在解决一切水文地质及工程地质问题中几乎都能得到一定的效果，并在群众性物探找水中得到应用和普及。

电法勘探的种类繁多，其中地面电法就包括有很多种（见表1）。目前在水文、工程地质中应用最广泛的是地面直流电法中的对称四极电测探以及电法测井中的视电阻率测井和自然电位测井等。本课程将重点介绍这方面的内容。

物探在水文、工程地质中主要可以解决如下问题：

1. 探测地质构造，了解基岩起伏及风化层厚度；
2. 测定含水层的分布、厚度、埋藏深度，区分和圈定咸淡水分布范围；
3. 寻找古河道，查明岩溶及断裂破碎带位置及其发育情况；
4. 确定水库蓄水池漏水地段及浮土下泉水出露地点，并提供泉水类型；
5. 测定地下水流向、流速及抽、注水试验中的降落漏斗形状和影响半径；
6. 划分钻井地质剖面 and 咸淡水界面，确定含水层的位置、厚度以及地下水的矿化度等。

物探早在十八、十九世纪就已经出现，到二十世纪初期才发展成为一门独立的科学技术。当时资本主义大工业发展得很快，用一般地质手段寻找地下矿产已无法满足要求，急切要求采用新的方法和技术勘探地表以下的矿产资源，随着其它科学技术的发展，物探方法则应运而生并得到迅速地发展。在世界范围内，物探工作主要用于石油及天然气地质普查与勘探方面，到了二十世纪三十年代以后，物探方法才开始扩大到解决某些水文地质及工程地质问题。

在我国，解放前经济极端贫困，各种科学技术十分落后，物探仅仅做过一些零星的地面磁法和电法的试验工作，水文物探还

地面电法分类表

表1

类别	场源性质	方法名称		方法的主要变种	主要应用范围
直流电法 (稳定电流场法)	天然电场	自然电场法			金属、水文 工程地质
	人工电场	电阻率法	电测深法	对称四极测深法	石油、煤田 构造、金属、 水文工程地质
				三极测深法	
				偶极测深法	
				环形测深法	
			电剖面法	对称四极剖面法	金属、非金属、 水文工程地质 地质填图
				复合四极剖面法	
				联合剖面法	
				偶极剖面法	
		中间梯度法			
	充电法			金属、水文地质	
人工电(磁)场	激发极化法		直流激发极化(时间域)	金属、水文地质	
			交流激发极化(频率域)	金属	
			磁激发极化法		
交流电法 (交变电磁场法)	人工电磁场	低频感应类	不接地回线法		金属、构造、 地质填图
			偶极剖面法		
			频率测深法		
			脉冲瞬变法		
		高频感应类	无线电相位法		地质填图
			电磁波法	无线电波透视法	
		地质雷达			

是一个空白。新中国成立以后，随着社会主义建设事业的发展，物探技术也得到了迅速的发展，并且在水文、工程地质方面也得到了广泛的应用。全国各地都建立了水文物探专业队伍，许多省

市开展了群众性的电法找水工作。随着我国科学技术的不断发展，物探技术日臻完善，水平不断提高。二十多年来在水文、工程地质及其它地质勘探中发挥了重要的作用，取得了良好的地质效果。但是水文物探工作具有一定的局限性，其结果多处于定性解释阶段。同时许多新的领域还有待于进一步探索，一些方法的理论尚需进一步完善，所有这些都需要水文物探人员去努力解决。在党中央的领导下，目前已进入为把我国建设成为现代化社会主义强国的新的历史时期，水文物探工作必将得到迅猛的发展，为早日实现祖国的四个现代化作出更大的贡献。

第一章 电阻率法的基本知识

电阻率法是直流电法勘探中应用广泛的一组基本方法。它是
以岩石电阻率差别为基础，通过研究人工稳定电流场在地下介
质中的分布和变化规律，来研究地质构造，寻找地下水和有用矿
产的。用电阻率法解决地质问题，必须了解和掌握岩石在天然状
态下的电阻率和稳定电流场在地下的分布。

§1 岩石电阻率及其主要的影响因素

一、 岩石电阻率的概念

自然界中不同岩石往往具有不同的导电性能，有容易导电
的，有不容易导电的。岩石的导电性能常用电阻率表示。

由物理学中得知，在一定温度条件下，一段物体的电阻(R)
与它沿电流方向的长度(l)成正比，与它垂直电流方向的横截
面积(S)成反比。电阻公式为：

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

其中比例常数 ρ 叫做组成该物体的物质的电阻率。电阻率与电阻
的概念不同，它仅是表征物质本身对电流传导的阻碍能力，而与
物体的几何形状、大小以及电流在物质中的分布情况等无关。

岩石电阻率是表示岩石阻碍电流传导能力的物理量。岩石电
阻率愈大，导电性愈差，电阻率愈小，导电性愈好。

某一岩石的电阻率在数值上等于电流垂直通过该岩石制成的
边长为1米的立方体岩块时所呈现的电阻值如图1-1。其单位
为欧姆·米，用符号“ $\Omega \cdot M$ ”表示。

下面我们列举一些常见岩石的电阻率值。

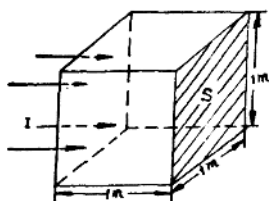


图 1-1 岩石电阻率的示意图

从表 1-1 中看出, 岩石电阻率不象纯金属材料那样有一个固定的数值, 而是在一个较大的范围内变化。所以, 表中只能给出电阻率一个大小变化的级次。

这一事实告诉我们, 当研究某一

工作地区的岩石电性时, 不仅要掌握各种岩石电阻率的具体数值和差异, 而且要了解各种岩石电阻率的稳定程度及其变化的规律。只有当工作地区各岩层有不同的相对稳定的电阻率时, 用电阻率法研究该区的地质构造和解决水文及工程地质问题才有可能。为此有必要研究一下引起岩石电阻率变化的因素。

常见岩石电阻率表

表 1-1

岩类	岩石名称	电阻率($\Omega \cdot M$)	岩石名称	电阻率($\Omega \cdot M$)
沉积岩	粘土	$10^{-1} - 10$	砂岩	$10 - 10^3$
	干粘土	$10 - 10^2$	砾岩	$10 - 10^4$
	砂	$10^0 - 10^3$	泥灰岩	$10^0 - 10^2$
	泥岩	$10 - 10^2$	石灰岩	$10^2 - 10^4$
	页岩	$10 - 10^2$	硬石膏	$10^4 - 10^6$
	粉砂岩	$10 - 10^2$	食盐	$10^4 - 10^6$
岩浆岩	花岗岩	$10^2 - 10^5$	辉绿岩	$10^2 - 10^6$
	正长岩	$10^2 - 10^5$	玄武岩	$10^2 - 10^5$
	闪长岩	$10^2 - 10^5$	辉长岩	$10^2 - 10^5$
变质岩	泥质板岩	$10 - 10^3$	大理岩	$10^2 - 10^5$
	片麻岩	$10^2 - 10^4$	石英岩	$10^3 - 10^5$

二、影响和决定岩石电阻率的主要因素

岩石是由矿物组成的, 岩石中有孔隙、裂隙或溶隙, 在这些空隙中充填有空气和各种水溶液。所以岩石的电阻率与组成岩石的矿物成份、结构构造、孔隙度以及所含水溶液的矿化度和数量等有关。

(一) 岩石电阻率与矿物成份的关系

矿物的电阻率不是固定的，它随着组成矿物成份及内部结构的不同而在相当大的范围内变化，因此岩石的电阻率也有一定的变化。从表 1-2 可以看出，除金属硫化物和某些氧化矿物以及石墨等电阻率很低外，几乎全部最重要的造岩矿物——石英、长石、云母、方解石、角闪石等电阻率都很高（一般可大于 $10^8 \Omega \cdot M$ ）。

矿物电阻率表 表 1-2

电阻率变化范围($\Omega \cdot M$)	矿物名称
$10^{-6} - 10^{-3}$	斑铜矿、石墨、铜蓝、磁铁矿、磁黄铁矿等
$10^{-3} - 1$	毒砂、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、赤铁矿、赤铜矿等
$1 - 10^3$	辉铋矿、黑钨矿、赤铁矿、锡石、软锰矿、菱铁矿等
$10^3 - 10^6$	钛铁矿、赤铁矿、辰砂、蛇纹石、褐铁矿、闪锌矿等
$> 10^6$	角闪石、石英、长石、云母、方解石、辉石、石膏、萤石等

沉积岩、岩浆岩和变质岩大多数是由高电阻率的造岩矿物所组成的，在干燥状态下有非常高的电阻率。只有少数含有相当数量连续的良好导电矿物的岩石才会有很低的电阻率值。因此，岩石的电阻率一般与矿物成份关系不大，而主要取决于岩石空隙中地下水的含量和性质。

(二) 岩石电阻率与空隙水矿化度和含量的关系

岩石空隙是地下水的通道和蓄存的场所。地下水常溶有各种盐类，单位体积的水中所含盐类的总量叫做水的矿化度，以克/升为单位表示。从表 1-3 可以看出，水溶液的电阻率与溶盐成分关系不大，基本上取决于水的矿化度，矿化度越高，电阻率越低。地下水的矿化度变化范围很大，在淡水中为 10^{-1} 克/升，矿化度高时可达10克/升以上，所以地下水电阻率一般在零点几到几十欧姆·米之间变化。

水溶液呈良导性物质存在于岩石孔隙中，彼此连通，这就大