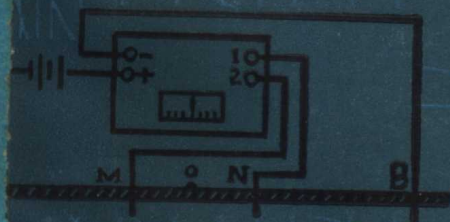


电测找水

(修 订 本)

山东省水利科学研究所编



山东科学技术出版社

电 测 找 水

(修 订 本)

山东省水利科学研究所编

山东科学技术出版社

一九八〇年·济南

电 测 找 水

(修 订 本)

山东省水利科学研究所编

*

山东科学技术出版社出版

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂德州厂印刷

*

787×1092毫米32开本 8.375印张 153千字

1980年4月第1版 1980年4月第1次印刷

印数: 1—800

书号 16195·36 定价0.70元

前 言

《电测找水》于1974年初版以来，山东省电测找水技术又有新的发展，方法不断改进，仪器不断更新，已成为水文地质勘探的重要手段。平原地区实行了打井先选点，下管先测眼的办法，成井率显著提高，山区电测寻找基岩裂隙水，取得了良好的效果，激发极化法找水正在推广。

为了适应新形势的需要，我们对《电测找水》进行了修订。在修订过程中除尽量保持了原书从实际出发，通俗易懂的特点外，还补充了理论方面的论述及新仪器、新方法的介绍，增加了激发极化法和电测找水的应用两部分，以期帮助读者对基本理论、工作方法及分析方法有一个比较系统的了解。

在修改过程中，有关地、县水利局、学校和水文、冶金地质队等单位给我们提出了不少宝贵意见，提供了资料，在此表示感谢。

编 者

1979年7月

目 录

前 言

一、电法勘探概论

- (一) 电法勘探的一般知识..... (1)
- (二) 岩层电阻率与各种因素的关系..... (2)
- (三) 电阻率法的基本原理..... (9)
- (四) 人工电场的电流分布..... (13)
- (五) 视电阻率的概念..... (19)

二、直流电法勘探仪器与装备

- (一) 电阻率法常用的仪器..... (22)
- (二) 激发极化法常用的仪器..... (24)
- (三) 其他设备..... (27)

三、垂向电测深法

- (一) 电测深法的基本原理..... (29)
- (二) 电测深的野外工作方法..... (33)
- (三) 电测深曲线的解释..... (42)
- (四) 其他形式的电测深..... (59)
- (五) 等值原理及岩石的各向异性..... (67)
- (六) 地形及特殊地质条件对电测深曲线的影响..... (69)

(七) 影响电测深效果的地电条件.....	(74)
-----------------------	------

四、电剖面法

(一) 电剖面法的物理实质及其电场的特点.....	(76)
(二) 联合剖面法.....	(79)
(三) 对称四极剖面法.....	(90)
(四) 对称四极剖面与联合剖面法比较.....	(96)
(五) 偶极剖面法.....	(98)
(六) 中间梯度法.....	(100)

五、电测找水的应用

(一) 电法勘探在第四系地层找水中的应用.....	(103)
(二) 鲁北平原深层淡水电测曲线的解释方法.....	(126)
(三) 电法勘探在山区找水中的应用.....	(140)

六、自然电场法和充电法

(一) 自然电场法.....	(175)
(二) 电脉冲自然电场法.....	(184)
(三) 充电法.....	(186)

七、激发极化法找水

(一) 激发极化法找水的发展概况.....	(193)
(二) 激发极化法的基本原理.....	(194)
(三) 激发极化法的参数.....	(202)
(四) 激发极化法在找水中可以解决的问题.....	(206)
(五) 激发极化法的野外工作方法.....	(216)
(六) 激发极化法的资料整理和解释.....	(219)

八、电测井

- (一) 电测井概述..... (225)
- (二) 电测井的主要设备..... (226)
- (三) 梯度电极系测井..... (234)
- (四) 电位电极系测井..... (242)
- (五) 二极法测井..... (243)
- (六) 自然电位法测井..... (246)
- (七) 各种测井方法的综合应用..... (251)
- (八) 水的矿化度的野外测定方法..... (255)

一、电法勘探概论

(一) 电法勘探的一般知识

不同的岩石具有不同的物理性质，例如导电性、磁性、弹性、密度等。在地面通过一定的仪器测出地下岩石的某一物理性质，根据物理性质的差异推断出地下的岩石性质和地质构造，达到找矿或找水的目的。这些方法统称地球物理勘探（简称物探）。

物探方法主要有电法勘探（利用岩石电性差别）、重力勘探（利用岩石的密度差别）、磁力勘探（利用岩石的磁性差别）、地震勘探（利用岩石的弹性差别）等。此外，还有在钻孔或井中利用仪器测定岩石各种物理性质来了解地质情况的方法，称为地球物理测井（简称测井）。

电法勘探根据引起电场的原因可分为两大类：一类属于人工电场法，即人工将电流通入地下形成电场，来研究地下地质情况；另一类属于自然电场法，即利用地下天然存在的电场来研究地下地质情况。

人工电场法又分为直流电场法和交流电场法。由于直流电场场源可以人为地产生和控制，所以使我们有可能根据研究地质任务的不同，而制定出不同的方法。目前，在实际找

水工作中得到较多应用的，有如下几种主要方法：

1. 人工电场法

(1) 电阻率法：①电测深法，②电剖面法，③中间梯度法。

(2) 激发极化法：可应用上述电阻率法中的各种方法。

(3) 充电法。

2. 自然电场法

实践证明，只要正确掌握直流电法勘探的理论和方法，因地制宜的加以运用，就能收到明显的找水效果，并能解决以下问题：

(1) 在平原地区松散地层能查明古河道的分布，寻找砂砾石含水层，圈定咸、淡水的范围，推断咸、淡水界面，分析地下水的矿化度。

(2) 在山丘地区能确定地质构造、岩溶、裂隙带的位置、走向、倾向和范围，以及基岩深部裂隙发育状况。

(3) 电测井可在钻孔或人工井中确定含水层的部位、厚度，更准确的划分咸、淡水界面和地下水矿化度。

(二) 岩层电阻率与各种因素的关系

岩层导电性的差异，是电法勘探工作的物理前提。电阻率法就是借研究岩层电阻率值的差异，来解决有关地质问题，达到找矿、找水的目的。因此，研究岩层在自然条件下

的电阻率及其影响因素，是一个首要问题。在电法勘探中，通常用 ρ 来代表地层电阻率，其关系式为：

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 L —— 岩石的长度。

S —— 岩石的截面积。

R —— 岩石的电阻。

当 R 以欧姆为单位，长度 L 以米为单位，截面积 S 以平方米为单位时， ρ 就表示电流通过长度为 1 米，截面积为 1 平方米的岩层时所受到的阻力，单位为欧姆·米。影响岩层电阻率大小的主要因素有以下几个方面：

1. 岩层电阻率与矿物成分及组成结构的关系

构成岩层的主要矿物的电阻率如表 1。从表 1 中可以看出，除了少数金属硫化矿物和某些金属氧化物及石墨等属于低电阻率以外，几乎全部最重要的造岩矿物如石英、长石、云母、方解石等的电阻率都很高。这是由于结晶体的电离作用很小，没有足够数量的自由电子的缘故。

岩石含有导电矿物时，电阻率不仅与导电矿物的含量有关，而且受结构的影响。当导电矿物呈团状、浸染状或被不导电的颗粒包围时，即使在岩石中所含的百分比很大，但岩石电阻率仍很少受其影响；若导电矿物颗粒在岩石中呈互连接构成细脉时，即使在岩石中含量不多，也能使电阻率大大降低。在电测找水中，常遇到的沉积岩和部分火成岩、变质岩，都是由高电阻率的造岩矿物所组成，故多数岩层的电

表1 岩层主要矿物的电阻率

矿物名称	电阻率(欧姆·米)	矿物名称	电阻率(欧姆·米)
云母	$10^{14} \sim 10^{15}$	黄铁矿	$10^{-4} \sim 10^{-3}$
石英	$10^{12} \sim 10^{14}$	黄铜矿	$10^{-3} \sim 10^{-1}$
长石	$10^{11} \sim 10^{12}$	磁铁矿	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
白云母	$10^{10} \sim 10^{12}$	软锰矿	$1 \sim 10$
方解石	$10^7 \sim 10^{12}$	煤	$10^2 \sim 10^6$
硬石膏	$10^7 \sim 10^{10}$	无烟煤	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
褐铁矿	$10^8 \sim 10^9$	方铅矿	$10^{-5} \sim 10^{-2}$
赤铁矿	$10^4 \sim 10^6$	石墨	$10^{-8} \sim 10^{-4}$
菱铁矿	$10^1 \sim 10^3$		

阻率与矿物成分关系不大，而主要取决于岩层的孔隙度和其中充填强导电性的水分的多少。只有在岩层中含有很多石墨及碳化程度很高的煤时，才会影响到岩层的电阻率。

2. 岩层电阻率与温度及地下水矿化度的关系

绝大多数岩层，都是由电阻率高达 10^6 欧姆·米以上的造岩矿物所组成。因此，岩层处于干燥状况时，电阻率都很高。但岩层一般都具有一定的孔隙或裂隙，并含有或多或少的水分，因而使其电阻率降低。在地下水面以下，岩层的孔隙几乎充满了水。地下水都溶有一定的盐分，其电阻率都比较低，见表2。由于盐类离子导电作用，岩层电阻率变低。因此，含水量的多少，便成为影响岩层电阻率大小的主导因素，见表3。

表2 几种水的电阻率

名 称	雨 水	河 水	地下淡水	地下咸水	海 水	矿井水
电 阻 率 (欧姆·米)	>100	10~10 ²	<100	10 ⁻¹ ~10 ⁰	10 ⁻¹ ~10 ⁰	10 ⁰

表3 几种岩石的电阻率

名 称		电 阻 率 (欧姆·米)	名 称		电 阻 率 (欧姆·米)
饱 和 咸 水 的	砂 砾 石	9~60	饱 和 淡 水 的	砂 砾 石	45~150
	中 粗 砂	4~15		中 粗 砂	20~75
	粉 细 砂	3~8		粉 细 砂	15~40
	粘 土	2.5~5		粘 土	10~20

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。水的矿化度越大，含水地层的电阻率 越小。在平原地区，水质对电阻率的影响比岩层种类的影响要大得多。例如含淡水的中、细、粉砂的电阻率一般为15~60欧姆·米，含咸水的中、细、粉砂的电阻率一般为3~15欧姆·米。如果水质相同，粉砂的电阻率仅比细砂的电阻率小30%左右。可见水质对电阻率的影响是第一位的。

岩层的含水状况，与其孔隙度、裂隙率、可溶性岩石的岩溶发育程度有关。如岩溶裂隙在地下水面以下，则岩层电阻率降低，出现相对低阻反映；如在地下水面以上，其电阻率

呈相对高阻反映。根据上述情况，可以用电阻率法来研究岩溶、裂隙发育状况，推断岩层中的裂隙带或断裂带的位置，达到寻找基岩裂隙水的目的。一般说来，孔隙度小的岩石电阻率较高。例如火成岩、深变质岩、化学沉积岩及致密砂岩等岩石，电阻率一般达数百欧姆·米或更高。孔隙度大而透水性小的岩石电阻率较低。例如粘性土及泥质岩石的电阻率一般为几欧姆·米至几十欧姆·米。含淡水的第四系粘土，电阻率一般为8~20欧姆·米；第三系粘土及泥岩，电阻率一般为5~15欧姆·米；中生代和上古生代以页岩为主的岩石，电阻率一般为30~50欧姆·米；以砂岩为主或夹灰岩薄层时，电阻率达50~300欧姆·米。孔隙度大而透水性也大的岩石，电阻率变化较大，受水质的影响较为显著。

3. 岩层电阻率与温度的关系

温度升高，岩层水分离子活动加强，导致岩层电阻率下降。根据实验，温度增加1度，能使电阻率降低百分之几。深度在一、二百米以内的地层，温度变化较小；深度越大温度越高。根据一般规律，深度每增加100米，地温增加3度。电测找水勘探深度较浅，所以就不必考虑温度对电阻率的影响。

4. 岩层电阻率与层理的关系

大多数沉积岩具有明显的层状构造。这种层状构造的岩石，具有明显的各向异性，即电流沿层理方向流动时的电阻率 ρ_1 小于沿垂直层理方向流动时的电阻率 ρ_0 。

层状构造的岩石的各向异性，一般用各向异性系数 λ 表

示。

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_i}}$$

各种沉积岩的 λ 经验系数值如表4所示。电测找水在野外测量及资料分析时都要重视 λ 的变化。

表4 几种沉积岩的 λ 经验系数值

岩 石 名 称	λ	P_n/P_i
层理不明显的粘土	1.02~1.05	1.04~1.10
具有砂夹层的粘土	1.05~1.15	1.10~1.32
成 层 砂 岩	1.10~1.29	1.20~1.65
泥 板 岩	1.10~1.58	1.20~2.50
泥 质 砂 岩	1.41~2.24	2.00~5.00
烟 煤	1.73~2.55	3.00~6.50
无 烟 煤	2.00~2.55	4.00~6.50
石墨页岩及碳质页岩	2.00~2.74	4.00~7.50

实际分析岩层电阻率时，要有机的联系起来，综观各个因素，抓住不同条件下的主要因素。自然界中的岩层、岩石及其成分、结构、构造十分复杂，所处环境又在不断的变化，所以，不可能肯定某种岩层、岩石的固定电阻率值，但是某种岩石电阻率大体有个变化范围，见表5。

表5 几种常见岩石电阻率变化范围

名 称	电阻率 (欧姆·米)	名 称	电阻率 (欧姆·米)
片 麻 岩	$2 \times 10^2 \sim 3.4 \times 10^4$	泥 灰 岩	$0.5 \sim > 10$
花 岗 岩	$3 \times 10^2 \sim > 10^4$	泥 岩	$4 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^2$
石 英 岩	$10 \sim 2 \times 10^5$	砾 岩	$2.5 \times 10 \sim 1.15 \times 10^4$
大 理 岩	$10 \sim 10^5$	砂 岩	$1 \sim 5 \times 10^7$
石 灰 岩	$6 \times 10 \sim 5 \times 10^5$	板 岩	$10 \sim 10^8$

综上所述，有以下几点规律：

第一，岩层电阻率主要取决于含水状况和地下水矿化度的大小：干燥时电阻率高，反之则低；矿化度高电阻率低，矿化度低则电阻率高。

第二，火成岩电阻率一般高于沉积岩，而沉积岩中水化学沉积岩石，如岩盐、石膏等的电阻率最大；致密完整岩层的电阻率高于松散或破碎且含水的岩层。

第三，平原地区粘土的电阻率低于砂、砾石层的电阻率；一般说来在第四系沉积层中，砂、砾石颗粒越粗，孔隙越大，电阻率就越高。

由于自然界的复杂性，在分析具体地区岩层电阻率时，一定要结合本地区的水文地质条件，综合研究，才能得到比较符合实际的结果。

(三) 电阻率法的基本原理

地层电阻率的测定，是通过两个供电电极A、B中间接上直流电源，向地下供电形成人工电场，同时测量地表所产生的电位差，然后计算出电阻率。要了解测定的原理，就需要了解电流场在地层中的分布情况。

在一定范围内，大地的表面可以看做是一个平面，在其上方的空气是不导电的。如果从地面向下完全是同一种岩层，其导电性能在各个方向上是一致的。这种导电介质叫做“半无限均匀介质”。

为了研究方便，假设地面上有一个电极A往地下供给电流，而把另一供电电极B放到很远的地方（可以认为“无穷远”），则B电极的影响可忽略不计，A电极即可看成一个点电源。这时从A电极流出的电力线为辐射状的直线，如图1所示。当A极流出的电流强度为 I 时，在地面上距离A点

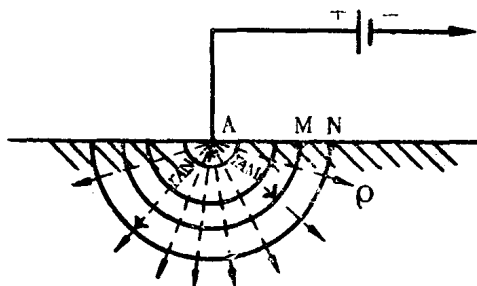


图1

---→ 电流线 ~ 等位线

为 r 米的任意一点 M 的电流密度 J_M ，等于总电流强度被半径为 r_{AM} 的半球面积除，即：

$$J_M = \frac{I}{2\pi r_{AM}^2}$$

根据欧姆定律，电场中某一点 M 的电场强度 E_M ，在数值上为该点电流密度 J_M 与电阻率 ρ 的乘积，即：

$$E_M = \frac{I\rho}{2\pi r_{AM}^2}$$

根据电学定义，如果以积分形式表示电位与电场强度的关系，则 M 点的电位为：

$$U_M = \int_{r_{AM}}^{\infty} E_M dr = \int_{r_{AM}}^{\infty} \frac{I\rho}{2\pi r_{AM}^2} dr = \frac{I\rho}{2\pi r_{AM}}$$

同理， N 点的电位：

$$U_N = \frac{I\rho}{2\pi r_{AN}}$$

MN 两点间的电位差为：

$$\begin{aligned}\Delta U_{MN} &= U_M - U_N = \frac{I\rho}{2\pi r_{AM}} - \frac{I\rho}{2\pi r_{AN}} \\ &= \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{AN}} \right)\end{aligned}$$

从图1看出， A 、 M 、 N 三点在同一直线上时，则 r_{AN}