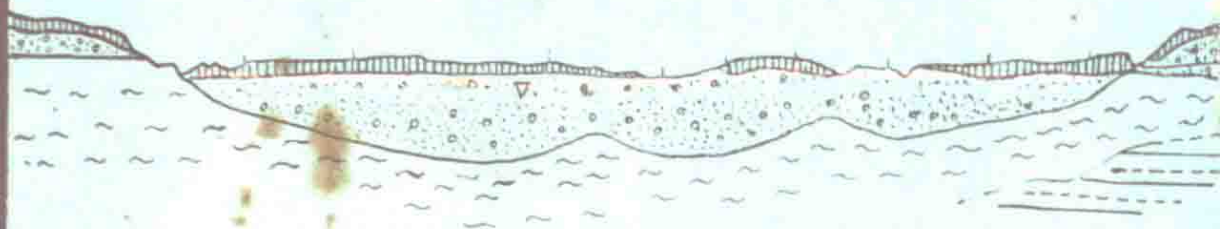


地下水的电法探测



甘 肅 人 民 出 版 社

编 者 的 话

我国北方的许多省份，气候较为干燥，地表水源一般均受气候条件的限制，往往不能保灌。在“**农业学大寨**”的群众运动中，广大贫下中农遵照毛主席“**水利是农业的命脉**”的伟大教导，在充分利用地表水源的同时，打井抗旱，截流引灌，积极开发地下水源。许多县、社在探测地下水源的工作中采用了电测法，准确地查明了地下水分布情况，大大提高了成井率。事实证明，电测地下水的方法，是一个行之有效、值得普遍推广的方法。

为了帮助农村电测人员、水利工作者系统地掌握电测知识，适应当前打井抗旱生产实践的需要，我们在党组织的关怀、支持和群众的帮助下，编写了这本《地下水的电法探测》，供初级电测人员使用。书中存在的缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 电法探测的基础知识…………… (1)

第一节 电场、电场强度、电位…………… (1)

第二节 物体的电阻和电阻率…………… (6)

第三节 电测地下水的基本原理和它所能
解决的水文地质问题…………… (14)

第二章 电测地下水的主要设 备及野外工作方法…………… (19)

第一节 仪器…………… (19)

第二节 其它主要设备…………… (41)

第三节 电测深的野外工作方法…………… (45)

第三章 电测深曲线的解释推断…………… (59)

第一节 电测深曲线的定性解释…………… (59)

第二节 电测深曲线的定量解释…………… (88)

第四章 寻找地下水的其它物探 方法简介…………… (118)

第一节 激发衰变场法简要介绍…………… (118)

✓ 第二节 测定地下水流向和流速的充电法…………… (124)

第三节 对称四极电剖面法简介…………… (132)

第五章 电法勘探解决水文地质任务的实例………… (136)

第一节 古浪大景公社泉滩截引工程………… (136)

✓ 第二节 永登地区寻找承压水………… (141)

第三节 武威地区区域性水文地质调查………… (148)

第四节 在咸水区寻找淡水………… (153)

第五节 阿拉善右旗寻找古河道………… (154)

第一章 电法探测的基础知识

本书首先介绍一些与电法探测有关的简单的电学知识，作为学习电测地下水入门的向导。

第一节 电场、电场强度、电位

大家知道，在磁铁附近放一块铁片时，这块铁片就会受到磁铁的吸引，这表明在磁铁周围空间存在着吸引铁片的磁场。如果在空间任一点处放置一个带正电的静电荷 $+q$ ，则这个正电荷也会在它的周围空间建立起电场。把另一个正电荷 $+q_0$ 放入到 $+q$ 的电场中，两个电荷之间便存在互相排斥的作用力，作用力的大小与电荷的多寡及距离的远近有关。负电荷周围也有电场，它对 $+q_0$ 是吸引的。有电源存在，就会在它的周围空间建立电场。

为了表示电场的强弱，需要用到电场强度的概念。假设 $+q_0$ 是一个很小的单位点电荷（即把它放入 $+q$ 的电场中时， $+q_0$ 的存在基本上不影响 $+q$ 的电场分布）把它放到 $+q$ 的电场中的某一点处，这时 $+q_0$ 就会受到 $+q$ 电场的作用力。如果用 F 表示这个作用力的大小，则该点的电场强度为：

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (1-1)$$

因为力 F 是一个矢量，因而电场强度 E 也是矢量，它在数量上就等于单位正电荷在电场中所受到的作用力的大小，在方向上和单位正电荷所受作用力的方向相同。根据库仑定律，两个电荷间作用力的大小：

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

式中 K 是一个系数， q_0 和 q 是电荷量， r 是两个电荷间的距离。

把(1-2)式代入到(1-1)式，得到：

$$E = K \frac{q}{r^2} \quad (1-3)$$

由此可见，电场中某点处的电场强度，在数量上与产生电场的电荷的大小成正比，与该点和场源的距离的平方成反比。

为了形象直观地描绘电场，在电法探测中经常用到电力线的概念。电力线和电场强度之间有如下关系：

1. 电力线上任何一点切线的正方向就是该点处场强 E 的方向，

2. 电力线密集的地方 E 值大，稀疏的地方 E 值小。单位横截面积上电力线的数目与电场强度 E 的大小成正比。

图1-1表示出带负电荷球体的电力线分布情况。图中箭头所指为电场强度 E 的方向。

图1-2和图1-3分别表示两个等值异号和两个等值负电荷之间的电力线。

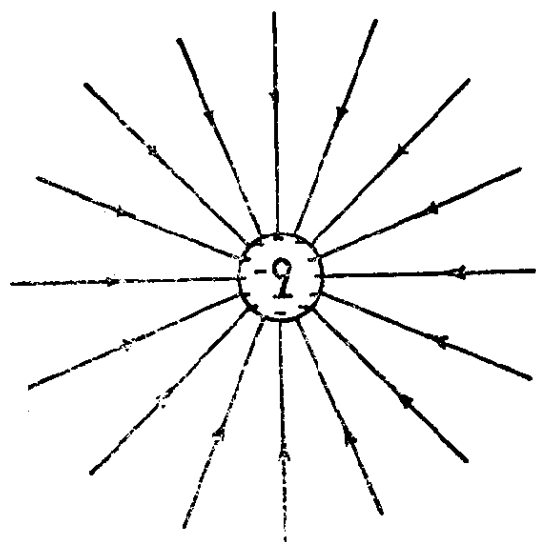


图1—1 带负电球体上的电力线

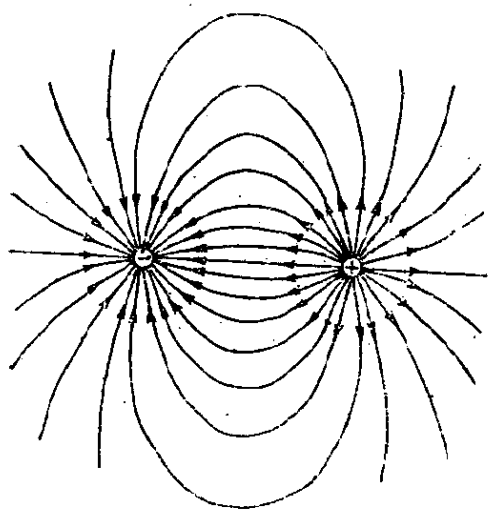


图1—2 两个等值异号电荷间的电力线

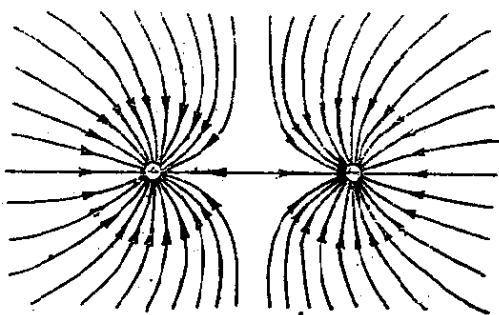


图1—3 两个等值负电荷间的电力线

现在需要说明电位的概念。

如果把水位较低的河水提到高处进行灌溉，就必须克服

引力作用而耗费其它形式的能量（如人和机械的能量等），这时高处的水流就比河水有了较高的水位。如果这时任其自然流动，则水流便在水头差的作用下，由高水位向低水位流动。电位的概念与此类似，设在 $+q$ 的电场中，把一个试验电荷 $+q_0$ 从图1-4中的点1移动到点2，则外力必须克服电场的斥力而做功，外力所给的能量便储存在 $+q$ 和 $+q_0$ 的系统中，这时点2的电位 V_2 就高于点1的电位 V_1 。两点之间的电位差：

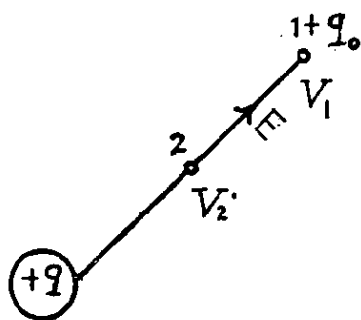


图1-4 把电荷 $+q_0$ 从点1移动到点2外力所作的功

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

如果 $+q_0$ 是从无限远处移到点2的，因为无限远处 $+q$ 的电位为零，则外力所做的功便是点2处的电位。在本例中，假设外力所做的功为 W ，则点2和点1处的电位分别为：

$$V_2 = \frac{W_2}{q_0}, \quad V_1 = \frac{W_1}{q_0}$$

则

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{W_2 - W_1}{q_0} \quad (1-4)$$

功 W 的单位是焦耳，电量 q_0 的单位是库仑，电位或电位差的单位是伏特，即

$$1 \text{ 伏特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

在电法探测中经常用到单位是毫伏，一伏特 等于1,000毫伏。

电位相等的空间各点的轨迹叫做等位面。和电力一样，等位面也可形象地描绘电场。图1-5中的虚线示出两个同号及异号电荷间的等位面。

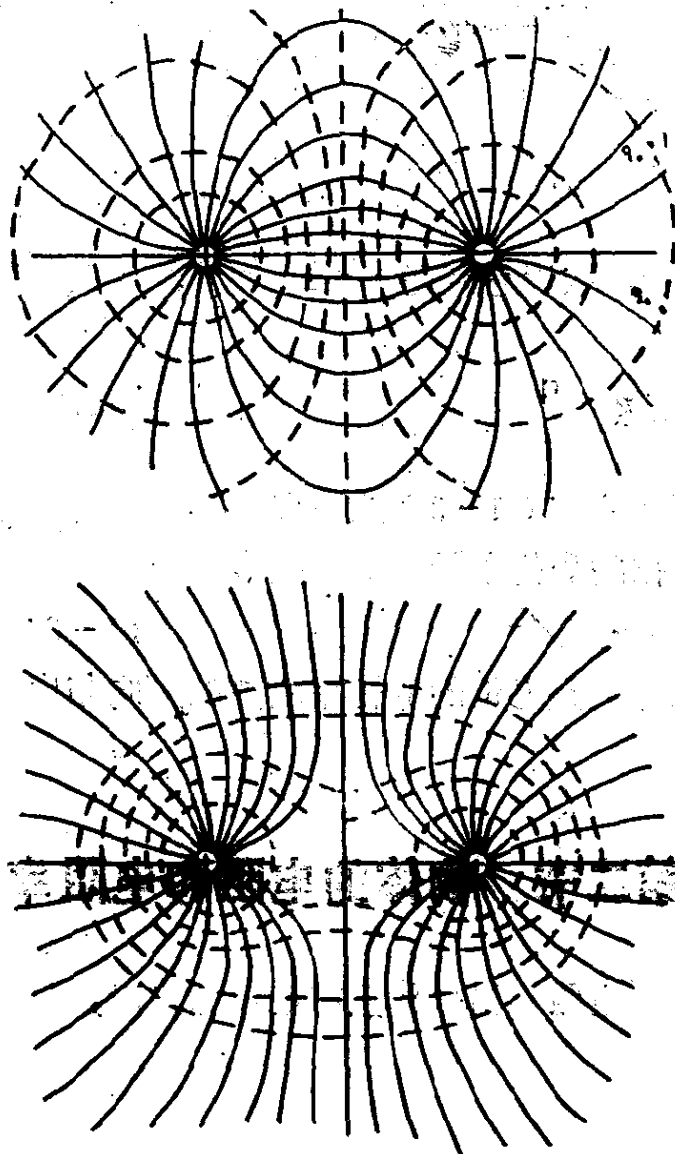


图1-5 两个同值异号及同值正电荷间的等位面（虚线）

由图可见，等位面 and 电力线（实线）是互相垂直的。因此，作出电力线后就可作出相应的等位面。

如果把试验电荷沿着等位面移动，则外力不需作功。这是因为始末位置上电位差 $\Delta V = 0$ ，因而 $W_2 - W_1 = 0$ 。换句话说，如果把电荷 q_0 从点1移动到点2，则两点间的电位差与它们所走的路径无关，而只与它们的始、末位置有关。

由（1-4）式，电场中某点处的电位

$$V = \frac{W}{q_0}$$

因为 $W = F \cdot r$ ，按库仑定律 $F = K \frac{q q_0}{r^2}$ ，代入后得到：

$$V = K \frac{q}{r} \quad (1-5)$$

对比（1-5）式和（1-3）式可以看出，在均匀电场中，单位距离上电位的变化率就是电场强度。即

$$E = -V/r \quad (1-6)$$

式中负号的意义是电位的变化率增加的方向与电场强度的方向相反。

第二节 物体的电阻和电阻率

（一）电阻 当导体上有电流通过时，根据欧姆定律：

$$R = \frac{V}{I} \quad (1-7)$$

式中 R 是导体的电阻，单位是欧姆，

V 是电压，即电位差，单位是伏特，

I 是电流强度，单位是安培。

导体的电阻 R 与导体的性质、导体的长度和截面积有关。即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-8)$$

式中 l ——导体的长度，单位是米，

S ——导体的横截面积，单位是平方米，

ρ ——导体的电阻率，单位是欧姆米。

在串联和并联电路中，线路的总电阻是不相同的。如图1-6所示，把两个或两个以上的电阻首尾相接，其间没有分

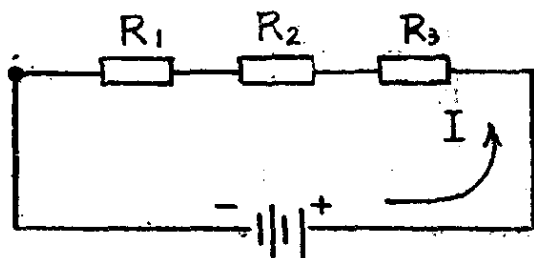


图1-6 串联电路

岔的支路，这种联接方式叫做电阻的串联。串联电路的总电阻是各个电阻值之和。即

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-9)$$

可见串联后的线路总电阻是增加的。

如图1-7所示，将两个或两个以上电阻的首端和尾端分别联在一起，这种联结方式叫做电阻的并联。并联后线路总电阻的倒数为各个电阻的倒数之和。即

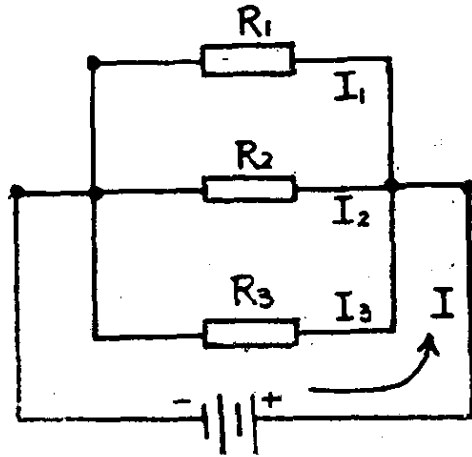


图1-7 并联电路

$$\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{\text{总}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \quad (1-10)$$

可见并联后总的电阻值是减小的。

(二) 电阻率 如图1-8所示，设有一块一立方米的岩石，垂直于顶面通电时，据(1-8)式，其电阻值

$$R = \rho \frac{1}{S} = \rho$$

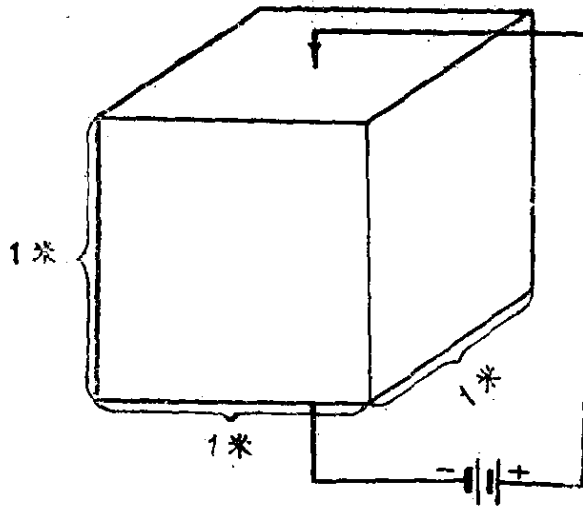


图1-8 单位体积的岩石的电阻

因此，岩石的电阻率在数值上就等于单位体积的岩石的电阻。电阻率的倒数 $1/\rho$ 称为电导率，它表示物体导电能力的强、弱。

物体的电阻率与物体的形状、尺寸无关，只与物体的性质有关。一般来说，不同性质的物体具有不同的电阻率。因此，据在地面上测得的不同的电阻率，就可判断地下岩层的性质，进而达到寻找地下水的目的。

表1—1 为河西走廊与水文地质有关的常见岩层的电阻率。由表可见，含水的和不含水的砂卵石层的电阻率有明显的差别，并且隔水的粘土层与上覆地层的电阻率也显著不同。因此可以用电测法来确定潜水面的埋深、含水层厚度及隔水层顶面埋深。

如果岩石对于不同方向供电时，具有相同的电阻率，这种岩石是各向同性的；反之，如果岩石对于不同方向供电时具有不同的电阻率，就叫做各向异性岩石。

表1—1

岩 层 名 称	电 阻 率 (欧姆米)
黄 土 层	$\rho < 200$
不含水的砂卵石	$\rho > 600$
含水砂卵石层	$150 < \rho < 500$
隔水的粘土层	$5 < \rho < 30$
白垩系粘土	$5 < \rho < 10$

如图1—9, 假设岩层是由厚度为 h_i 、电阻率各自为 ρ_i 的 m 个水平薄岩层所组成(这里脚注 i 代表由地面算起的层次)。当垂直于层面通电时, 各个电阻率不同的薄层就组成

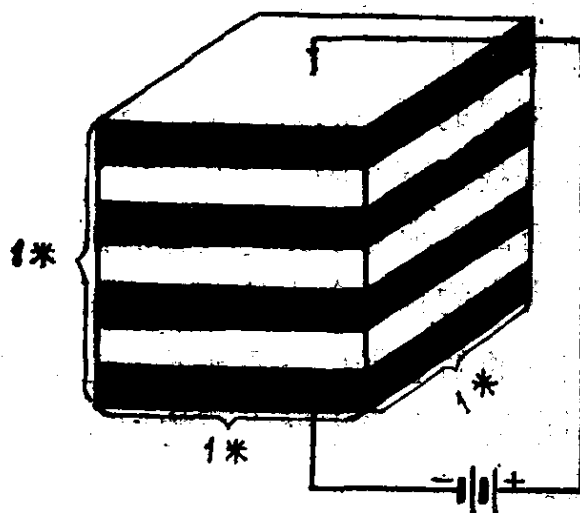


图1—9 各向异性岩层

一个串联电路。我们用字母 T 来表示这个串连电路的总电

阻,根据(1—8)和(1—9)式,并注意到岩层截面积 $S_i = 1$,
 $l_i = h_i$,则这个串连电路的总电阻

$$\begin{aligned} T &= \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3 + \cdots + \rho_m h_m \\ &= T_1 + T_2 + T_3 + \cdots + T_m \end{aligned} \quad (1-11)$$

我们称 T 为各向异性岩石层的横向电阻。

如果我们平行于层面供电,那么,各个不同电阻率的薄层就组成一个并联电路。根据(1—8)和(1—10)式,并注意到截面积 $S_i = h_i \times 1$, $l_i = 1$,则这个并联电路的电导

$$\begin{aligned} S &= 1/R_{\text{总}} = h_1/\rho_1 + h_2/\rho_2 + h_3/\rho_3 + \cdots + h_m/\rho_m = S_1 \\ &+ S_2 + S_3 + \cdots + S_m \end{aligned} \quad (1-12)$$

我们称 S 值为各向异性岩层的总纵向电导。

在电法探测中,还引入了岩层组平均横向电阻率和平均纵向电阻率的概念。

如果把各向异性岩层看作是均匀的,同时就垂直于层理面通电时与各向异性岩层有相同的电阻值,在这种情况下确定的电阻率叫做岩层组的平均横向电阻率。根据这个定义,当有 m 层电阻率不同的各向异性岩层组时,则这个层组的平均横向电阻率为

$$\rho_n = \frac{h_1 \rho_1 + h_2 \rho_2 + h_3 \rho_3 + \cdots + h_m \rho_m}{h_1 + h_2 + h_3 + \cdots + h_m} = \frac{T}{H} \quad (1-13)$$

式中 h_1, h_2 等为每个薄层的厚度, ρ_1, ρ_2 等为每个薄层的电阻率, T 是横向电阻, H 是岩层组的总厚度。

同理,如果把各向异性岩层看作是均匀的,同时就平行于层面通电时与各向异性岩层有相同的电阻值,在这种情况下定出的电阻率叫做岩层组的平均纵向电阻率。如用 ρ_l 表示

岩层的平均纵向电阻率，则

$$\rho_t = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \cdots + h_m}{h_1/\rho_1 + h_2/\rho_2 + h_3/\rho_3 + \cdots + h_m/\rho_m} = \frac{H}{S} \quad (1-14)$$

式中S值为岩层组的总纵向电导。

平均横向电阻率和平均纵向电阻率比值的开平方

$$\lambda = \sqrt{\rho_n / \rho_t} \quad (1-15)$$

称为岩层组的各向异性系数。容易证明，对于均匀岩层 $\lambda=1$ ；对于各向异性岩层 λ 值恒大于1。表1—2为几种常见沉积岩层的各向异性系数。

表1—2

岩 石 名 称	ρ_n / ρ_t	λ
层 状 粘 土	1.04—1.10	1.02—1.05
层 状 砂 岩	1.20—2.56	1.10—1.60
泥 质 板 岩	1.20—2.50	1.10—1.59
泥 质 页 岩	2.20—5.00	1.41—2.25
炭 质 页 岩	4.00—7.86	2.00—2.80

对于各向异性岩层，通常用一个等效的均匀层来代替它，这个等效层的电阻率用 ρ_m 表示，则

$$\rho_m = \sqrt{\rho_n \cdot \rho_t} \quad (1-16)$$

ρ_m 称为各向异性岩层的均方电阻率。

由(1-13)至(1-16)式可以看出:

$$\lambda = \sqrt{\frac{T}{H}} = \frac{\rho_n}{\rho_m} = \frac{\rho_m}{\rho_t} \quad (1-17)$$

在定量解释中,如果中间层的电阻率采用 ρ_m ,则必须把得到的厚度值除以各向异性系数,否则将会给解释结果造成误差。 λ 值一般需要用电测井的资料来确定,如果没有电测井资料,可根据较多的井旁测深点,近似求取 λ 的值。如在某区电测时,发现解释结果均比实际深度或厚度大某一个系数时,在结果中就除以这个系数。

在自然界中,各种岩石的电阻率通常在很大的范围内变化,即使是同一种岩性,因为各种因素的影响,电阻率也是不相同的。影响岩层电阻率的主要因素有以下几个方面:

1. 组成岩石的矿物成份

当岩石的矿物组份不同时,其电阻率也不相同。例如花岗岩的电阻率显著地高于红粘土,就是因为两者的矿物组份不同的缘故。

2. 岩石孔隙度和富水性

这是影响岩层电阻率的重要因素,与电测地下水的关系也最为密切。一般来说:

①孔隙度大,电阻率就低。所谓孔隙度,就是单位岩石体积中孔隙体积所占的百分比。一般卵石的孔隙度为20—40%,砂为30—60%,粘土为10—60%。