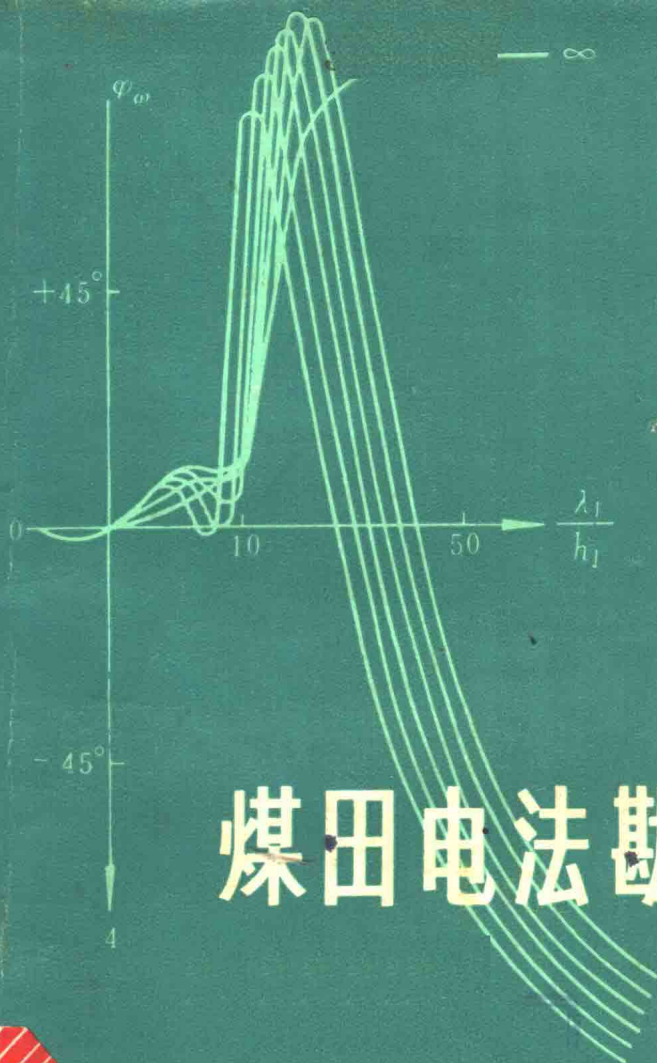




# 煤田电法勘探

624

煤炭工业出版社

# 煤 田 电 法 勘 探

安徽省煤田地质物测队电法队 编  
四川矿业学院物探教研室

煤 炭 工 业 出 版 社

**煤田电法勘探**  
安徽省煤田地质物测队电法队 编  
四川矿业学院物探教研室 编

•  
**煤炭工业出版社 出版**

(北京安定门外和平北路18号)

**燃料化学工业出版社印刷二厂 印刷**  
**新华书店北京发行所 发行**

•  
开本  $787 \times 1092 \frac{1}{32}$  印张  $10 \frac{1}{4}$   
字数 225 千字 印数 1,300  
1976年5月第1版 1976年5月第1次印刷  
书号15035·2045 定价 0.82 元

# 毛主席语录

独立自主，自力更生。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

## 前 言

我国煤田电法勘探工作，在党中央、毛主席的英明领导下，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，二十年来，特别是无产阶级专政革命以来，有了迅猛的发展。从单纯地用于普查找煤发展到能够配合勘探阶段解决一些地质问题，在解决煤矿区的某些水文地质和供水水源勘探问题方面，取得了比较显著的效果；在方法上，也从早期较单一的电测深法发展到能使用多种直流电法并开始试用频率测深，无线电波透视等交流电法来解决矿区的多种地质问题。伟大的无产阶级文化大革命和批林批孔运动，彻底批判了刘少奇、林彪的反革命修正主义路线，使煤田电法勘探工作出现了新的面貌。在党的独立自主，自力更生方针指引下，研究试制成功了DJC-2型电法仪、频率测深仪、无线电波透视仪等适合煤田勘探特点的仪器，特别是加强了江南地区的电法普查工作，为扭转北煤南运，保证煤炭工业的合理布局，提供了必要的地质资料。

遵照毛主席“要认真总结经验”的教导，在原燃化部煤炭开发组的组织与领导下，我们编写了《煤田电法勘探》这本书，以满足煤田地质勘探部门各方面学习电法勘探技术的需要。在编写当中，我们力求突出煤田勘探的特点，充分反映我国二十年来煤田电法勘探的主要技术经验，写得通俗易懂，便于地质人员和初学物探的同志自学参考。但由于我们水平不高，书中难免出现一些错误和缺点，热忱地希望读者批评指正。

# 目 录

## 前言

|            |                      |     |
|------------|----------------------|-----|
| <b>第一章</b> | <b>直流电法勘探基本知识</b>    | 1   |
| 第一节        | 岩石电阻率                | 1   |
| 第二节        | 稳定电流场                | 9   |
| 第三节        | 电流在地下半空间的分布          | 13  |
| 第四节        | 视电阻率的概念              | 19  |
| <b>第二章</b> | <b>直流电法勘探仪器</b>      | 24  |
| 第一节        | 补偿法测量原理及仪器           | 25  |
| 第二节        | 电子自动补偿法原理及仪器         | 30  |
| 第三节        | 直流电法仪器的校验            | 49  |
| <b>第三章</b> | <b>电测深法基础及野外工作方法</b> | 57  |
| 第一节        | 电测深法的物理实质            | 57  |
| 第二节        | 电测深曲线分类              | 62  |
| 第三节        | 电性标准层                | 66  |
| 第四节        | 电测深野外工作方法            | 67  |
| 第五节        | 影响观测质量的干扰因素及消除方法     | 75  |
| <b>第四章</b> | <b>电测深曲线的定性解释</b>    | 82  |
| 第一节        | 电测深实测曲线的定性分析         | 82  |
| 第二节        | 电测深定性图的绘制及其解释        | 109 |
| 第三节        | 各种构造形态的异常特点          | 118 |
| 第四节        | 岩溶在电测深曲线上的反映         | 124 |
| <b>第五章</b> | <b>电测深曲线的定量解释</b>    | 127 |
| 第一节        | 理论量板                 | 127 |

|            |                            |            |
|------------|----------------------------|------------|
| 第二节        | 电测深曲线的图解构制法 .....          | 135        |
| 第三节        | 理论量板法定量解释 .....            | 150        |
| 第四节        | 辅助量板及其在定量解释中的应用 .....      | 159        |
| 第五节        | 切线法 .....                  | 165        |
| 第六节        | 理论列线图及其定量解释 .....          | 171        |
| 第七节        | 平均电阻率法 .....               | 176        |
| 第八节        | 其它定量解释方法 .....             | 178        |
| 第九节        | 岩石各向异性对定量解释结果的影响 .....     | 182        |
| <b>第六章</b> | <b>岩石电阻率参数的确定 .....</b>    | <b>188</b> |
| 第一节        | 根据电测井和孔旁测深资料确定电参数 .....    | 188        |
| 第二节        | 根据实测电测深曲线直接确定电参数 .....     | 193        |
| 第三节        | 在岩石露头上测定电参数 .....          | 194        |
| <b>第七章</b> | <b>电测深法在煤田勘探中的应用 .....</b> | <b>197</b> |
| <b>第八章</b> | <b>电剖面法 .....</b>          | <b>211</b> |
| 第一节        | 电剖面法的物理实质及其特点 .....        | 211        |
| 第二节        | 电剖面法的特点 .....              | 212        |
| 第三节        | 联合剖面法 .....                | 215        |
| 第四节        | 对称四极剖面法 .....              | 226        |
| 第五节        | 偶极剖面法 .....                | 232        |
| 第六节        | 中间梯度法 .....                | 236        |
| 第七节        | 电剖面法测网的布置 .....            | 239        |
| <b>第九章</b> | <b>自然电场法 .....</b>         | <b>241</b> |
| 第一节        | 自然电场的形成 .....              | 241        |
| 第二节        | 自然电场法的工作方法 .....           | 244        |
| 第三节        | 自然电场法在煤田勘探中的应用 .....       | 249        |
| <b>第十章</b> | <b>充电法 .....</b>           | <b>255</b> |
| 第一节        | 充电法的工作原理及使用条件 .....        | 255        |
| 第二节        | 充电法的野外工作方法 .....           | 256        |
| 第三节        | 充电法的成果解释 .....             | 260        |

|             |                       |            |
|-------------|-----------------------|------------|
| 第四节         | 充电法在煤田勘探上的应用 .....    | 271        |
| <b>第十一章</b> | <b>激发极化法 .....</b>    | <b>277</b> |
| 第一节         | 激发极化电位形成的物理化学过程 ..... | 277        |
| 第二节         | 激发极化法野外工作方法及应用 .....  | 281        |
| 第三节         | 激发极化衰减时法 .....        | 284        |
| <b>第十二章</b> | <b>频率电磁测深法 .....</b>  | <b>293</b> |
| 第一节         | 交流电磁场的基本概念 .....      | 293        |
| 第二节         | 交变电磁场中岩石的电学性质 .....   | 295        |
| 第三节         | 频率电磁测深法基本概念 .....     | 299        |
| 第四节         | 频率电磁测深理论曲线性质 .....    | 302        |
| 第五节         | 频率电磁测深法野外工作方法 .....   | 313        |
| 第六节         | 频率测深法在煤田上的试验及效果 ..... | 316        |

## 第一章 直流电法勘探基本知识

电法勘探是通过对地下半空间天然或人工电场分布规律的研究，来寻找隐伏矿体和解决有关地质问题的一种物探方法。和其他地面物探方法相比，电法勘探具有方法多样化的优点，而且由于仪器设备比较简单及工作效率较高，因此被广泛用于各种矿产的普查勘探和水文地质、工程地质、供水水源勘探等各个方面，取得了很多好的成果。

电法勘探根据所研究的电场性质不同，分为直流电法和交流电法两大类。直流电法所研究的是地下半空间的天然或人工的直流电场。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问题任务的不同而制定出不同的方法，目前在实际中得到较多应用的有如下几种主要方法：

### 一、人工电场法

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、自然电场法

## 第一节 岩石电阻率

在电法勘探中，岩石导电性的差异是进行工作的物理前提。而电阻率法是借研究岩石电阻率的差异，来解决各种地质问题的一种方法。因此，在理论和实践中，充分研究岩石

的电阻率及其影响因素，是一个十分重要的问题。

为了说明岩石电阻率的概念，我们取一立方米体积的岩石，当电流垂直于界面通过时，则岩石所呈现的电阻大小与岩石的长度成正比，与其截面积成反比（如图1-1）。这一比例关系可写成以下公式：

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

式中  $l$  —— 岩石长度；  
 $S$  —— 岩石截面积；  
 $\rho$  —— 岩石电阻率。

当电阻  $R$  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，则电阻率  $\rho$  的单位为欧姆·米 ( $\Omega M$ )。

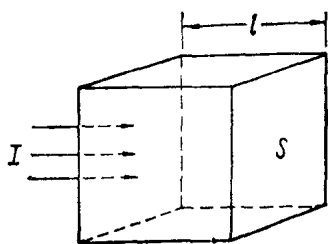


图 1-1

岩石电阻率的大小，受着很多因素的影响，如岩石的矿物成分、结构、湿度和温度等等。因此，同一种岩石，其电阻率并不是一个固定的数值，而是在一个较大的范围内变化；而不同的岩石，有时却有相同或相近的电阻率。因此，在电法勘探

工作中，不能仅仅依靠一般的岩石电性参数来作为布置和进行电法工作的依据，而必须对具体地区、不同条件下的岩石电阻率作具体的测定和研究，方能对所施工地区的岩石电性情况有一正确的概念。

煤田内主要是各种沉积岩。沉积岩的主要导电方式是离子导电，因此，沉积岩石的电阻率在很大程度上决定于其含

水情况。如第四系砾石层，在非常干燥的情况下，电阻率可高达数千甚至上万欧姆·米，而当它饱含地下水，特别是饱含矿化度较高的地下水时，电阻率就可以降到几十甚至几个欧姆·米。因此，在煤田电法工作中，要特别注意岩石的含水情况这一因素。

表 1-1 煤田中各种常见岩石的电阻率

| 岩石名称 | 电阻率 (欧姆·米)                         | 岩石名称 | 电阻率 (欧姆·米)                |
|------|------------------------------------|------|---------------------------|
| 石灰岩  | $6 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$ | 花岗岩  | $6 \times 10^2 \sim 10^5$ |
| 砂岩   | $10^{-1} \sim 10^3$                | 片麻岩  | $6 \times 10^2 \sim 10^4$ |
| 砾岩   | $2 \times 1 \sim 2 \times 10^3$    | 无烟煤  | $10^{-4} \sim 10^3$       |
| 泥岩   | $6 \times 10^1 \sim 10^3$          | 肥煤   | $10^2 \sim 10^4$          |
| 粘土   | $1 \sim 2 \times 10^2$             | 褐煤   | $10 \sim 2 \times 10^2$   |
| 板岩   | $10 \sim 10^3$                     |      |                           |

### 一、岩石电阻率和组成岩石的矿物成分及结构的关系

如大家所知道的，岩石是由一种或多种矿物组成的，因此，岩石的电阻率便直接与组成岩石的矿物的电阻率有关。矿物的电阻率一般也不是一个稳定的数值，而有一个变化的范围。矿物中硫化物和某些氧化物、石墨等电阻率最低，而碳酸盐、硅酸盐等主要造岩矿物的电阻率都很高。

研究结果表明，岩石的电阻率主要决定于在岩石中互相连通的矿物的电阻率，至于被孤立包裹于其它介质中的矿物，则对所组成的岩石电阻率的影响很小。如一些电阻率很低、导电性能很好的金属硫化矿物（黄铁矿、黄铜矿等），当它们在岩石中呈团状或浸染状而被其他高电阻的矿物包裹时，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，电阻率仍很高。但这些良导电矿物在岩石中呈互相连接

的连续分布时，即使在岩石中含量不多，也将使岩石电阻率大大降低。烟煤的电阻率较高。南方不少地区的烟煤中含有大量黄铁矿结核，由于它们是呈孤立的包裹体形式存在，因此，并不能使烟煤的电阻率显著降低。

各类岩石中，一般说来，岩浆岩的电阻率大多比沉积岩高，而变质岩的电阻率又多数比岩浆岩高。在沉积岩中，一般泥质岩石电阻率最低，砂岩、砾岩较高，水化学沉积岩石（如石炭岩、白云岩等）电阻率最高（表1-1）。但在一定的地质、水文地质条件下，有的变质岩电阻率也可能和沉积岩相近（如云南某些地区的绿泥片岩），有的岩浆岩电阻率有时也较低，如某些地区有大量气泡状和杏仁状结构的玄武岩，风化后电阻率较低。

## 二、岩石电阻率与其含水性的关系

前面已经谈到，岩石电阻率与其含水性有着密切的关系，特别是沉积岩，由于它在自然状态下主要是离子导电，因此，含水性情况如何，便成了影响沉积岩电阻率的决定性因素。岩石在天然状态下所含的水溶液，一般都含有数量不同的盐类，其电阻率都比较低（各种水的电阻率如表1-2），因此，岩石中含水量的多少便成为影响岩石电阻率大小的主导因素。

表 1-2

| 名 称       | 雨 水  | 河 水              | 潜 水  | 海 水                 | 矿 井 水  |
|-----------|------|------------------|------|---------------------|--------|
| 电阻率（欧姆·米） | >100 | $10^1 \sim 10^2$ | <100 | $10^{-1} \sim 10^0$ | $10^0$ |

当然其电阻率的大小还要看水溶液在岩石中的分布情况。如水溶液在岩石中呈分散和不连通的方式存在，则对岩

石电阻率影响较小，而呈互相连通的状态分布时，则对岩石电阻率的影响较大，使岩石的电阻率大大降低。

岩石的含水性（以湿度表示）与岩石的孔隙度（对具有孔隙的沉积岩），以及裂隙率（对岩浆岩、变质岩和部分沉积岩），可溶性岩石的岩溶发育程度有关。可溶性岩石如溶洞发育，且溶洞在地下水面以下，则在溶洞发育地段的岩石电阻率出现区域性的降低，呈现相对的低阻反映。溶洞在地下水面以上，则使该地段岩石电阻率出现区域性的增高，呈现相对的高阻反映。对于固结岩石来说，其裂隙愈多，并且充水的话，便使该地段的岩石电阻率降低，出现低阻反映。根据上述情况，在其他条件也适合的时候，可以用电阻率法来研究岩溶发育情况和寻找固结岩石中的裂隙带或断裂带。

一般说来，孔隙度小的岩石，电阻率较高（如岩浆岩、大部分变质岩和沉积岩中的石灰岩等），可达数百甚至上千欧姆·米；而孔隙度大渗透性小的岩石（如黄土、粘土、各种泥岩等），电阻率一般较低，多为几个到几十欧姆·米；对于孔隙度大而渗透性强的岩石（如砾岩、砂层、砾石层等），其电阻率则随水文地质条件不同而有较大的变化范围。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，则电阻率可以达到几百甚至几千欧姆·米。

岩石中水溶液的电阻率与所含盐类的浓度有明显的关系，含盐浓度大则电阻率显著降低。由图 1-2 水溶液的电阻率与其含盐量的关系曲线可知，水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，而在含盐量由每公升千分之几到十分之几克之间变化时，水电阻率相应的变化也最大。因此，岩石在同样含水的情况下，由于所处的水文地质

条件不同，所含水的含盐浓度不一样，则其电阻率也会有所差别。

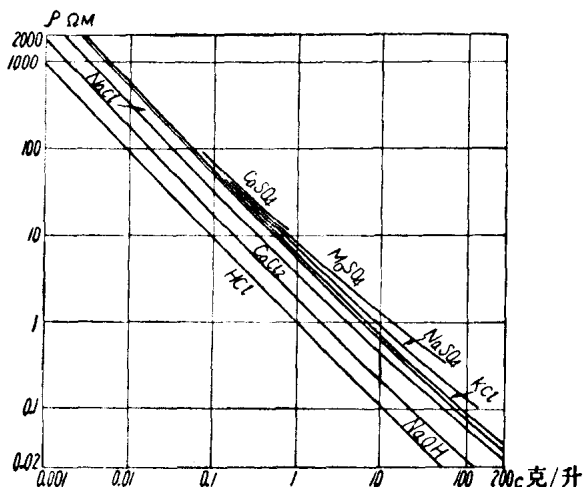


图 1-2

### 三、岩石电阻率与层理的关系

对于大多数沉积岩和变质岩来讲，如砂岩、泥岩、片岩、板岩以及煤层等，它们由很多薄层相互交替组成。这种岩石，其电阻率具有明显的方向性，即沿层理方向和垂直层理的方向呈现的导电性是不一样的。在电法勘探中把这种随方向不同而导电性也不同的现象称为岩石电阻率的各向异性。

为了进一步说明这种各向异性岩石的特点，我们假设岩石是由电阻率分别为 $\rho_1$ 、 $\rho_2$ ，厚度为 $h_1$ 、 $h_2$ 的两种薄层所组成（图1-3）。

从电阻的观点上看，当电流沿薄层层理方向通过时，岩石电阻 $R$ 应等于两薄层电阻 $R_1$ 、 $R_2$ 的并联值。若电流垂直

岩石层理方向通过，则岩石的电阻  $R_n$  应为两薄层电阻  $R_1$ 、 $R_2$  的串联值。于是，根据电学知识很容易地推导出平行和垂直层理方向上岩石电阻率的大小：

平行层理方向：

$$\rho_t = \frac{h_1 + h_2}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2}} = \frac{h_1 + h_2}{S_1 + S_2}$$

(1-2)

其中  $\rho_t$  称为岩层的纵向电阻率；

$$S_1 = \frac{h_1}{\rho_1} \text{ 称为第一层的纵向}$$

电导；

$$S_2 = \frac{h_2}{\rho_2} \text{ 称为第二层的纵向}$$

电导。

垂直层理方向：

$$\rho_n = \frac{h_1 \rho_1 + h_2 \rho_2}{h_1 + h_2} = \frac{T_1 + T_2}{h_1 + h_2} \quad (1-3)$$

其中  $\rho_n$  称为岩石的横向电阻率；

$$T_1 = h_1 \rho_1 \text{ 称为第一层的横向电阻；}$$

$$T_2 = h_2 \rho_2 \text{ 称为第二层的横向电阻。}$$

由公式 (1-2)、(1-3) 可以看出， $\rho_n > \rho_t$ ，即垂直层理方向的电阻率  $\rho_n$ ，始终大于平行层理方向的电阻率  $\rho_t$ 。

为了描述岩石各向异性的大小，通常用各向异性系数  $\lambda$  来表示：

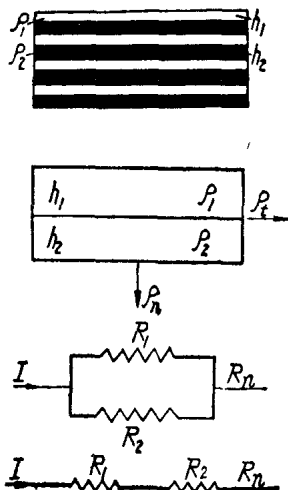


图 1-3

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_t}} \quad (1-4)$$

由于  $\rho_n > \rho_t$  因此  $\lambda > 1$

值得注意的是,由于岩石本身层理结构产生的各向异性,称为微观各向异性,用 $\lambda_\mu$ 来表示。在电法勘探中对于由足够厚的电阻相近的均匀各向同性岩层组成的岩层组,从电性上可视为一个电性层,而此多种岩层构成的电性层也会表现出各向异性来,我们把这种岩层组的各向异性称为宏观各向异性,用 $\lambda_M$ 来表示。在实际工作中,一般无法区分这两种各向异性,只需考虑其总的各向异性的影响就可以了。

为了更明确的表示出各向异性岩层电阻率与各向同性岩层电阻率的区别,通常引入“平均电阻率”的概念:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_t \cdot \rho_n} \quad (1-5)$$

在自然界中,同一种岩层由于所处的地质、水文地质条件的不同,因此其各向异性系数 $\lambda$ 便不是一个固定的数值,而往往在一定范围内变化(如表1-3)。有些岩石(如石墨化炭质泥岩)各向异性非常显著, $\lambda$ 值变化很大。在煤田勘探中,对岩层的各向异性问题要引起足够的注意,因为一般煤系地层经常是由砂岩、泥岩、煤层交替组成,各向异性是显著的,如果忽略各向异性的影响往往会造成解释上的误差。

表 1-3

| 岩石名称      | 粘 土       | 砂 岩     | 板 岩      | 泥 岩       | 无 烟 煤     | 石墨化炭质泥岩 |
|-----------|-----------|---------|----------|-----------|-----------|---------|
| $\lambda$ | 1.02~1.05 | 1.1~1.6 | 1.1~1.59 | 1.41~2.25 | 2.00~2.55 | 2.0~2.8 |

除上面所谈到的决定岩石电阻率的几种主要因素外,岩石电阻率还受温度变化的影响。由于沉积岩主要是离子导电,

其电阻率受含水情况影响较大，而含盐水溶液电阻率与温度有密切关系，因此，岩石电阻率将随温度的升高而有所降低。至于地壳的温度随深度而增加，对岩石电阻率的影响并不显著，特别是在研究中等深度的煤田地质问题时，在实际工作中并不去注意它的影响。

## 第二节 稳定电流场

用电阻率法来了解地下地质情况时，首先要是在所研究的地区地下建立起人工直流电场。在这一节里简要的介绍一下人工电场的建立过程及其分布规律。

电法勘探实际是研究地面以下三度导电半空间中直流电场的分布规律（图1-4）。假设地下是由均匀各向同性导电介质所组成（电阻率为 $\rho$ ），那么，如由地面A点向地下通入直流电流，在地下任何一点电场的特点应满足下列公式：

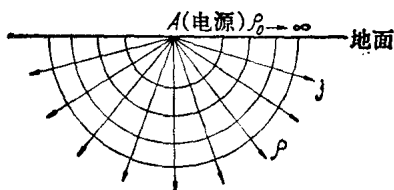


图 1-4

A—通入地下的直流电源；  
 $\rho_0$ —空气电阻率

地下任意一点的电位值：

$$U = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (1-6)$$

任意一点的电场强度及电流密度分别为：