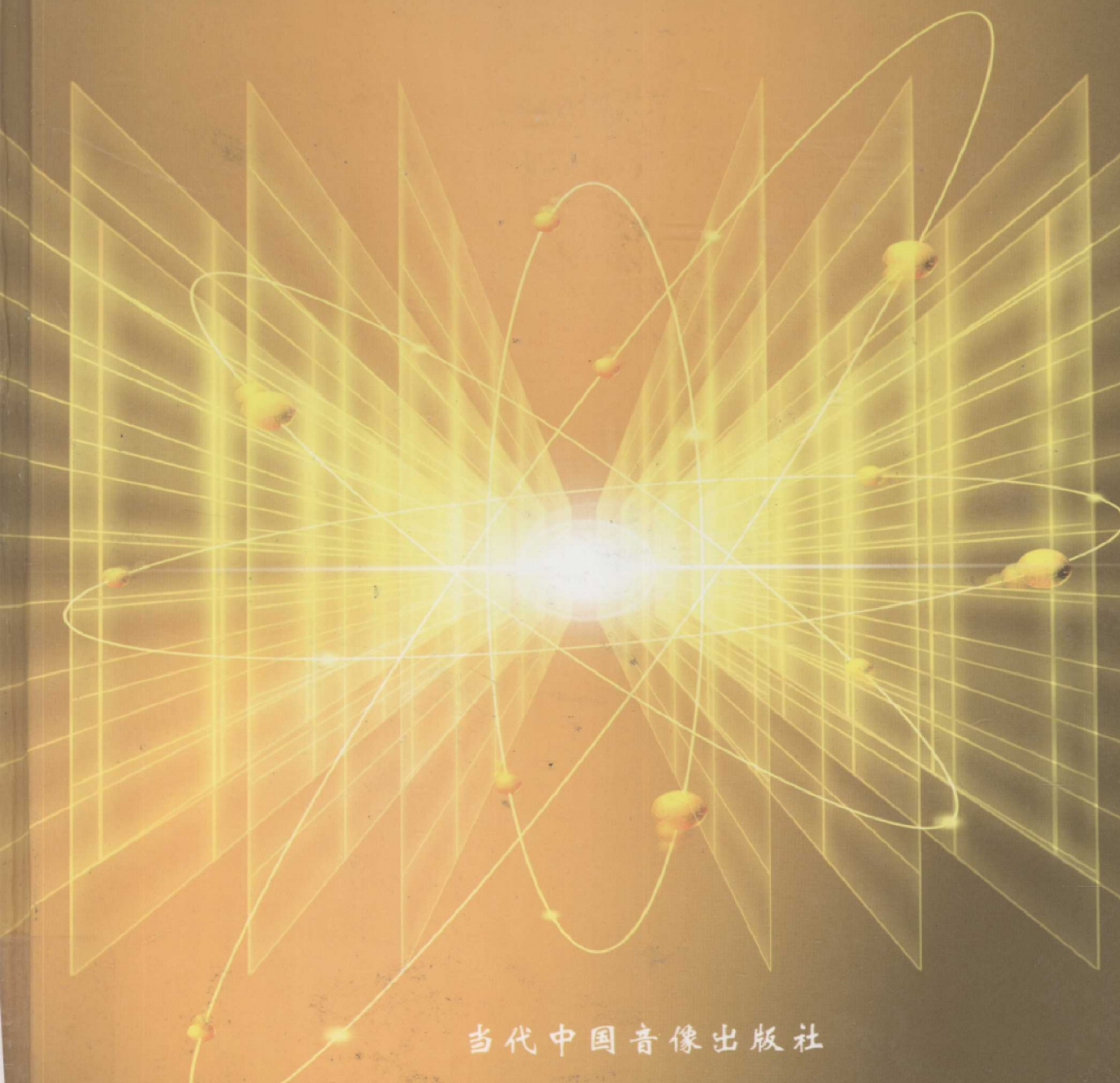


# 电力中性点接地方式选择、设计、施工、 运行与改造实用手册



当代中国音像出版社



# 电力中性点接地方式选择、 设计、施工、运行与 改造实用手册

李 健 于硕实 主编

TM7-63/L45444 第四册

当代中国音像出版社

## 第二章 土壤电阻率及其测量

土壤电阻率是决定接地电阻的主要因素,根据土壤类型以及土壤中所含水分的性质和含水量的多少,土壤电阻率可能在很大的范围内变化,表 10-2-1 给出了各种土壤和水的电阻率的参考值。由于实际情况的复杂性,同一种土壤在不同的地点会有不同的电阻率,所以土壤电阻率的确定主要靠实测。

表 10-2-1 土壤和水的电阻率参考值

| 类别 | 名 称             | 电阻率近似值<br>( $\Omega \cdot m$ ) | 不同情况下电阻率的变化范围<br>( $\Omega \cdot m$ ) |                  |             |
|----|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------|------------------|-------------|
|    |                 |                                | 较湿时(一般<br>地区多雨区)                      | 较干时(少雨<br>区、沙漠区) | 地下水<br>含盐碱时 |
| 土  | 陶粘土             | 10                             | 5 ~ 20                                | 10 ~ 100         | 3 ~ 10      |
|    | 泥炭、泥灰岩、沼泽地      | 20                             | 10 ~ 30                               | 50 ~ 300         | 3 ~ 30      |
|    | 捣碎的木炭           | 40                             | —                                     | —                | —           |
|    | 黑土、园田土、陶土、白垩土   | 50                             | } 30 ~ 100                            | 50 ~ 300         | 10 ~ 30     |
|    | 粘 土             | 60                             |                                       |                  |             |
|    | 砂质粘土            | 100                            | 30 ~ 300                              | 80 ~ 1000        | 10 ~ 30     |
|    | 黄 土             | 200                            | 100 ~ 200                             | 250              | 30          |
|    | 含砂粘土、砂土         | 300                            | 100 ~ 1000                            | 1000 以上          | 30 ~ 100    |
|    | 河滩中的砂           | —                              | 300                                   | —                | —           |
|    | 煤               | —                              | 350                                   | —                | —           |
|    | 多石土壤            | 400                            | —                                     | —                | —           |
|    | 上层红色风化粘土、下层红色页岩 | 500(30%湿度)                     | —                                     | —                | —           |
|    | 表层土夹石、下层砾石      | 600(15%湿度)                     | —                                     | —                | —           |

# 第十篇 接地装置试验

| 类别  | 名 称                                         | 电阻率近似值<br>( $\Omega \cdot m$ ) | 不同情况下电阻率的变化范围<br>( $\Omega \cdot m$ ) |              |         |
|-----|---------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------|---------|
|     |                                             |                                | 较湿时(一般地区多雨区)                          | 较干时(少雨区、沙漠区) | 地下水含盐碱时 |
| 砂   | 砂、砂砾                                        | 1000                           | 250 ~ 1000                            | 1000 ~ 2500  | —       |
|     | 砂层深度大于 10m、地下水较深的草原地面<br>粘土深度不大于 1.5m、底层多岩石 | } 1000                         | —                                     | —            | —       |
| 岩石  | 砾石、碎石                                       | 5000                           | —                                     | —            | —       |
|     | 多岩山地                                        | 5000                           | —                                     | —            | —       |
|     | 花岗石                                         | 200000                         | —                                     | —            | —       |
| 混凝土 | 在水中                                         | 40 ~ 55                        | —                                     | —            | —       |
|     | 在湿土中                                        | 100 ~ 200                      | —                                     | —            | —       |
|     | 在干土中                                        | 500 ~ 1300                     | —                                     | —            | —       |
|     | 在干燥的大气中                                     | 12000 ~ 18000                  | —                                     | —            | —       |
| 矿   | 金属矿石                                        | 0.01 ~ 1                       | —                                     | —            | —       |
| 水   | 海 水                                         | 1 ~ 5                          | —                                     | —            | —       |
|     | 湖水、池水                                       | 30                             | —                                     | —            | —       |
|     | 泥水、泥炭中的冰                                    | 15 ~ 20                        | —                                     | —            | —       |
|     | 泉 水                                         | 40 ~ 50                        | —                                     | —            | —       |
|     | 地下水                                         | 20 ~ 70                        | —                                     | —            | —       |
|     | 溪 水                                         | 50 ~ 100                       | —                                     | —            | —       |
|     | 河 水                                         | 30 ~ 280                       | —                                     | —            | —       |
|     | 污秽的水                                        | 300                            | —                                     | —            | —       |
|     | 蒸馏水                                         | 1000000                        | —                                     | —            | —       |

## 第一节 土壤均匀情况下电阻率的测量

土壤电阻率( $\rho$ )的测量有三极法和四极法两种。

### 一、三极法

三极法是一种按电极的接地电阻计算公式来反推  $\rho$  值的方法,在测量时常用垂直接地电极。 $\rho$  的反推公式为:

• 1204 •

$$\rho = 2\pi Rl / \ln \frac{2l}{a} \quad (10-2-1)$$

或 
$$\rho = 2\pi Rl / \left( \ln \frac{4l}{a} - 1 \right) \quad (10-2-2)$$

即土壤电阻率可以根据垂直接地电极的尺寸及用三极法测得的接地电阻值按式(10-2-1)或式(10-2-2)算出。

用三极法测土壤电阻率的最大缺点是,在所测得的接地电阻  $R$  中包括有棒和土壤间的接触电阻,而该接触电阻和棒对土壤接触的紧密程度(是否能晃动)有很大关系,因此用三极法测得的土壤电阻率往往会有很大的误差。

为了消除接触电阻的影响可采用四极法。

## 二、四极法

四极法是一种用两个电极使土壤中流过电流,再用另两个电极测出其附近某两点间土壤的电位差,从而算出  $\rho$  值的方法。下面先来分析土壤中有两个点电流源  $+I$  和  $-I$  的情况。

参看图 10-2-1,点电流源  $+I$  及其镜象分别位于图中点 1 和点 5 处,由它引起的点 2 和点 3 间的电位差  $V'_{23}$  为

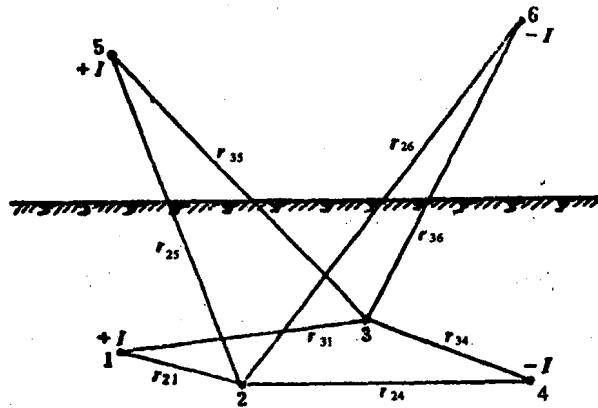


图 10-2-1 四极法的原理

$$V'_{23} = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{r_{21}} + \frac{1}{r_{25}} - \frac{1}{r_{31}} - \frac{1}{r_{35}} \right) \quad (10-2-3)$$

点电流源  $-I$  及其镜象则分别位于图中点 4 和点 6 处,由它而引起的点 2 和点 3 间的电位差  $V_{23}'$  为

$$V_{23}'' = -\frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{r_{24}} + \frac{1}{r_{26}} - \frac{1}{r_{34}} - \frac{1}{r_{36}} \right) \quad (10-2-4)$$

即当电流从 1 流入, 自 4 流出时, 点 2 和点 3 间的电位差将为

$$V_{23} = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{r_{21}} + \frac{1}{r_{25}} - \frac{1}{r_{31}} - \frac{1}{r_{35}} - \frac{1}{r_{24}} - \frac{1}{r_{26}} + \frac{1}{r_{34}} + \frac{1}{r_{36}} \right) \quad (10-2-5)$$

### (一)等距四极法

如果图 10-2-1 中的 1、2、3、4 四个点位于同一深度  $h$  的一条线上, 且有  $r_{12} = r_{23} = r_{34} = a$ , 如图 10-2-2 所示, 即为等距四极法 (或称 Wenner 四极法), 此时式 (10-2-5) 可改写为

$$V_{23} = \frac{\rho I}{4\pi} \left[ \frac{1}{a} + \frac{2}{\sqrt{a^2 + (2h)^2}} + \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2h)^2}} \right] \quad (10-2-6)$$

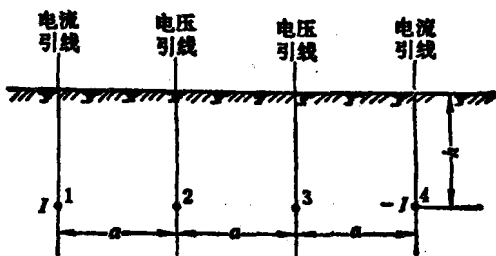


图 10-2-2 等距四极法

这样在测得  $I$  和  $V_{23}$ , 后即可得土壤电阻率  $\rho$  为

$$\rho = \frac{4\pi a \frac{V_{23}}{I}}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + (2h)^2}} - \frac{2a}{\sqrt{(2a)^2 + (2h)^2}}} \quad (10-2-7)$$

事实上电流线和电压线的引入均会给式 (10-2-7) 的计算带来误差, 为了减小误差又便于工程实际使用, 可把电压极和电流极直接打在大地表层, 并取  $a \geq 10h$ , 此时式 (10-2-7) 可改写为

$$\rho = 2\pi a \frac{V_{23}}{I} = 2\pi a R \quad (10-2-8)$$

测量时可用电流电压法分别测得电流和电压进行计算 [图 10-2-3(a)], 也可用接地摇表直接测出  $R$  进行计算 [图 10-2-3(b)]。

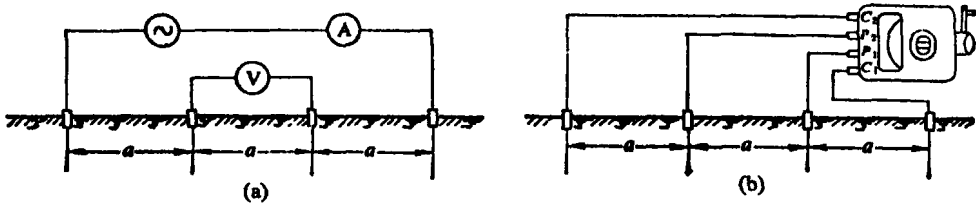


图 10-2-3 四极法的工程实际应用

(a) 电流电压法; (b) 接地摇表法

用四极法进行接地电阻测量时,电极 1、2 的接地电阻值只会影响到通过的电流值  $I$ , 由于  $V$  与  $I$  成正比,所以它们不会影响  $\rho$  值的测量结果,而电极 3、4 的接地电阻值只要比电压表内阻小得多(这在一般情况下很容易办到),就不会影响电压表的读数,也就不会影响  $\rho$  值的测量结果。因此,在将电极打入地中时不需要有什么要求,甚至电极有点晃动也不要紧。

和测量接地电阻一样,在用四极法进行土壤电阻率的测量时,如果所用接地摇表不能自动消除互感的影响,则应使电流引线和电压引线间保持足够远的距离以减少互感的影响。

### (二) 不等距四极法

如果把电极打在大地表层并使各电极的距离均大于  $10h$ ,则由式(10-2-5)可得 不等距四极法时电压极间的电位计算公式为

$$V_{23} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{13}} - \frac{1}{r_{24}} + \frac{1}{r_{34}} \right) \quad (10-2-9)$$

当四个电极处于同一直线上,且有  $r_{12} = a, r_{23} = b, r_{34} = c$  时(图 10-2-4),可得

$$V_{23} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{b}{a(a+b)} + \frac{b}{c(b+c)} \right] = \frac{\rho I b}{2\pi a(a+b)} \left[ 1 + \frac{a(a+b)}{c(b+c)} \right] \quad (10-2-10)$$

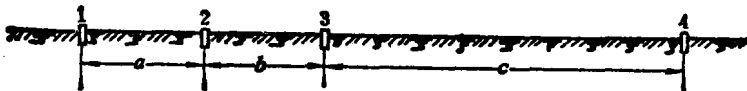


图 10-2-4 不等距四极法

从而有

$$\rho = \frac{2\pi a(a+b)R}{b} \left/ \left[ 1 + \frac{a(a+b)}{c(b+c)} \right] \right. \quad (10-2-11)$$

如果取  $a = b, c \geq 10a$ , 则上式进一步简化为

$$\rho \approx 4\pi aR \quad (10-2-12)$$

采用不等距四极法, 可在固定电流极位置不变的条件下, 用改变电压极位置的方法, 方便地测出土壤不同点的电阻率, 从而对土壤的均匀性作出判定。此外, 在受地形地物等条件限制不可能采用等距四极法时, 宜用不等距四极法。

### (三) 电芯法

电芯法是用四极法的原理测量大地深层处土壤电阻率的一种方法, 可在被测地区留有地质钻孔时使用, 图 10-2-5 为其原理图。测量时一个电流极 (例如电流极 4) 打在地面上, 另一个电流极 1 和电压极 2、3 深入到地质钻孔的深处。由于电流极 4 和电压极 2、3 间的距离很大, 对电压极 2、3 间影响很小,  $V_{23}$  将直接由电流极 1 的场决定, 因而有

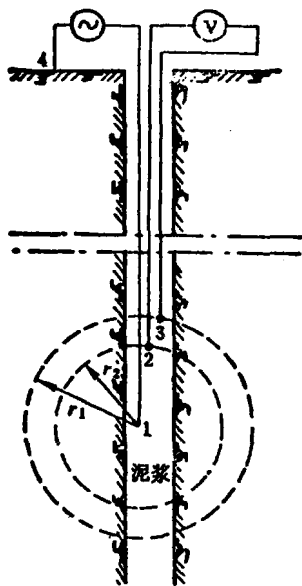


图 10-2-5 用电芯法测大地深处土壤的电阻率

$$V_{23} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) \quad (10-2-13)$$

从而有

$$\rho = \frac{2\pi R}{\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}} \quad (10-2-14)$$

## 第二节 土壤不均匀情况下电阻率的测量

当土壤不均匀时,用四极法测得的土壤电阻率将不再是土壤的实际电阻率,而是综合考虑土壤不均匀性后的一个视电阻率(简称视电阻率,用  $\rho_s$  表示),显然  $\rho_s$  是随土壤结构的变化而变化的。

## 一、大地具有两层结构时的视电阻率

参照图 10-2-6,利用式(10-2-6)不难写出,当上层土壤厚度为  $s$ ,  $K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$  时,用四极法测得的电极 2、3 间的电位差为

$$\begin{aligned}
 V_{23} &= \frac{\rho_1 I}{2\pi a} + 2 \frac{\rho_1}{2\pi} \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2IK^n}{\sqrt{a^2 + (2ns)^2}} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2IK^n}{\sqrt{(2a)^2 + (2ns)^2}} \right] \\
 &= \frac{\rho_1 I}{2\pi a} \left\{ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(2n \frac{s}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(2n \frac{s}{a}\right)^2}} \right] \right\} \quad (10-2-15)
 \end{aligned}$$

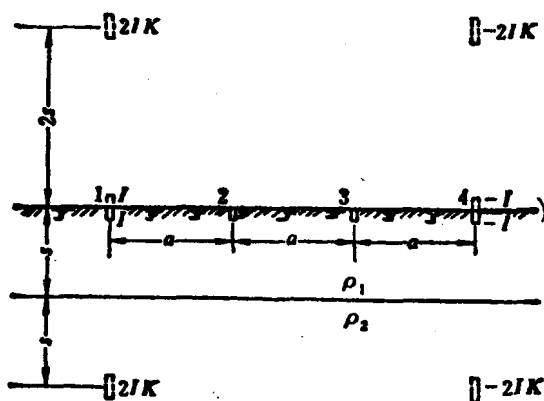


图 10-2-6 大地具有两层结构时的视电阻率测量

因而有

$$\rho_s = \rho_1 \left\{ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(2n \frac{s}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(2n \frac{s}{a}\right)^2}} \right] \right\} \quad (10-2-16)$$

可见  $\rho_a$  将随  $\frac{s}{a}$  值和  $K$  值而变化。图 10-2-7 给出了用双对数坐标表示的不同  $K$  值下  $\frac{\rho_a}{\rho_1}$  随  $\frac{a}{s}$  变化的曲线, 由图可见, 当  $\frac{a}{s}$  很大时, 视电阻率  $\rho_a$  接近于下层土壤的电阻率  $\rho_2$ , 随着  $\frac{a}{s}$  的减小  $\rho_a$  将逐渐变化, 当  $\frac{a}{s}$  很小时趋近于上层土壤的电阻率  $\rho_1$ 。

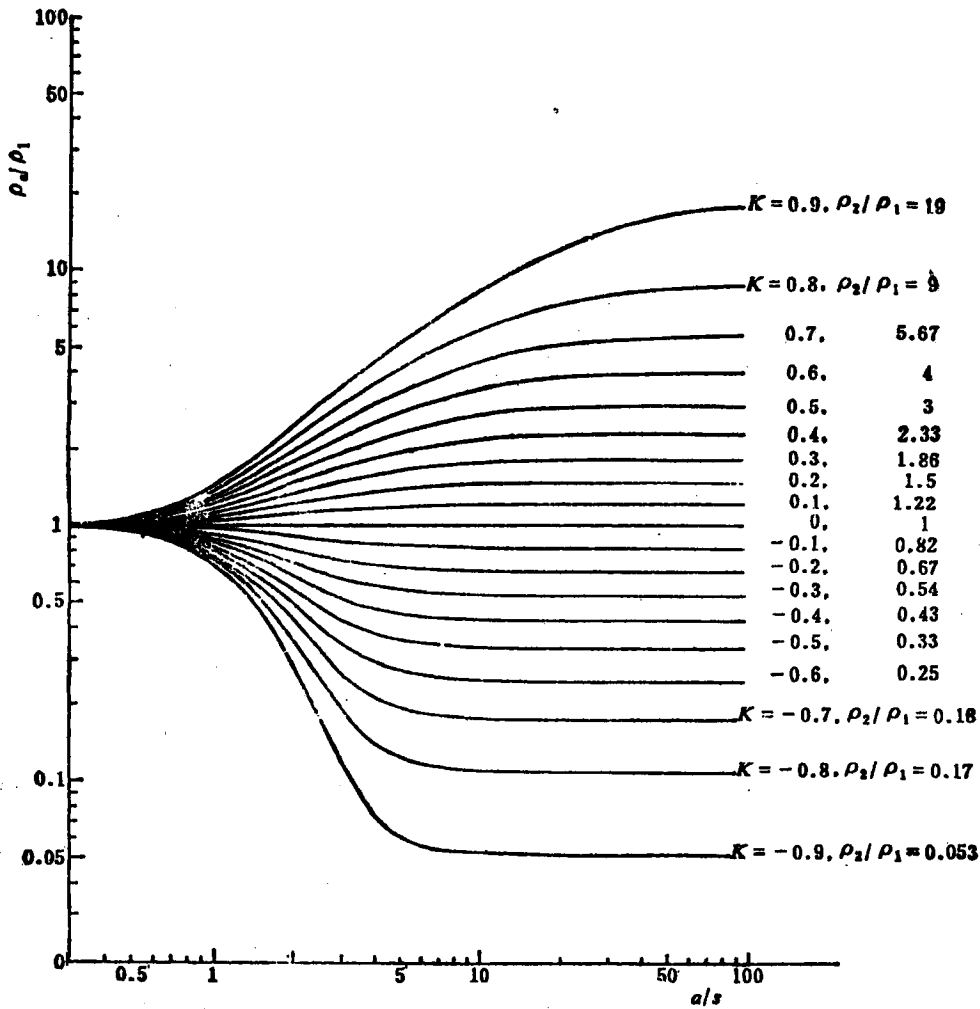


图 10-2-7 用双对数坐标表示的不同  $K$  值下  $\frac{\rho_a}{\rho_1}$  随  $\frac{a}{s}$  变化的曲线

在工程实际的应用范围内  $\rho_a$  值随  $\rho_1$ 、 $\rho_2$  和  $s$  的变化也可由下式近似表示, 即

$$\rho_a = \rho_2 - (\rho_2 - \rho_1)e^{-\frac{a}{s}}(2 - e^{-\frac{a}{s}}) \tag{10-2-17}$$

式中  $b$  是由上层土壤厚度  $s$  决定的常数,也称为视电阻率曲线系数。式(10-2-17)中,在  $a \gg b$  时,有  $e^{-\frac{a}{b}} \rightarrow 0$ 、 $\rho_s \rightarrow \rho_2$ ,在  $a \ll b$  时,有  $e^{-\frac{a}{b}} \approx 1$ 、 $\rho_s \rightarrow \rho_1$ ,所以可以用来描述图 10-2-7 示的视电阻率变化的特性。由于在不同的  $K$  值下,视电阻率具有不同的变化曲线,所以  $b$  值除和  $s$  有关外还和  $\frac{\rho_1}{\rho_2}$  有关。

在计算时可取

$$b = s\delta \quad (10-2-18)$$

其中  $\delta$  可根据  $\frac{\rho_1}{\rho_2}$  的值由表 10-2-2 查出。

表 10-2-2 决定视电阻率曲线系数用的  $\delta$  值

| $\rho_1/\rho_2$ | 100   | 10    | 1    | $\frac{1}{10}$ | $\frac{1}{50}$ |
|-----------------|-------|-------|------|----------------|----------------|
| $K$             | -0.98 | -0.82 | 0    | 0.82           | 0.96           |
| $\delta$        | 1.00  | 1.09  | 1.72 | 5.00           | 16.67          |

## 二、土壤参数的确定

我们知道,在计算双层土壤中电极的接地电阻时需要知道上层和下层土壤的电阻率以及土壤的厚度,下面是几种根据视电阻率来确定土壤参数的方法。

### (一)利用理论公式来确定土壤参数

理论分析说明用四极法所测得的视电阻率和测量所用的间距  $a$ 、上层土壤的电阻率  $\rho_1$  和厚度  $s$ 、以及折射系数  $K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$  有关,但实测只能得到例如图 10-2-8 所示的  $\rho_s = f(a)$  的曲线。然而图 10-2-7 告诉我们,当  $a$  值很小时  $\rho_s$  将趋近于上层土壤的电阻率  $\rho_1$ ,因此只要把  $\rho_s$  的曲线外延使之和纵坐标相交,如图 10-2-8 中的虚线所示,即可求出上层土壤的电阻率  $\rho_1$ ,这样,选定一个  $a$  值就可得出一个  $\frac{\rho_s}{\rho_1}$  值。

根据理论公式(10-2-16)绘制一组表示在不同  $K$  值情况下  $\frac{\rho_s}{\rho_1}$  (或取电导率  $\gamma_s$  和  $\gamma_1$  的比值  $\frac{\gamma_s}{\gamma_1}$ ,其中  $\gamma_s = \frac{1}{\rho_s}$ ,  $\gamma_1 = \frac{1}{\rho_1}$ ) 和  $\frac{s}{a}$  关系的曲线族,当  $K < 0$  时,曲线用  $\frac{\rho_s}{\rho_1} = f\left(\frac{s}{a}\right)$  的关系表示,如图 10-2-9 所示,当  $K > 0$  时,曲线用  $\frac{\gamma_s}{\gamma_1} = f\left(\frac{s}{a}\right)$  的关

系表示,如图 10-2-10 所示。对于一个  $\frac{\rho_s}{\rho_1}$  (或  $\frac{\gamma_s}{\gamma_1}$ ) 值,可以在曲线族上找到一系列的  $\frac{s}{a}$  值,每一个  $\frac{s}{a}$  值和一个特定的  $K$  值相应。因此,在实测曲线上选定一个  $a$  值和  $\rho_s$  值后,就可以画出一条  $K = f_1(s)$  的曲线,换一个  $a$  值和  $\rho_s$  值可以得到另一条  $K = f_2(s)$  的曲线。由于对于一种土壤只应有一个  $K$  值和  $s$  值,所以由这两条曲线的交点就可定出土壤的  $K$  值和  $s$  值。知道  $K$  值后,下层土壤的电阻率  $\rho_2$  即可由下式求出

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{1 + K}{1 - K} \quad (10-2-19)$$

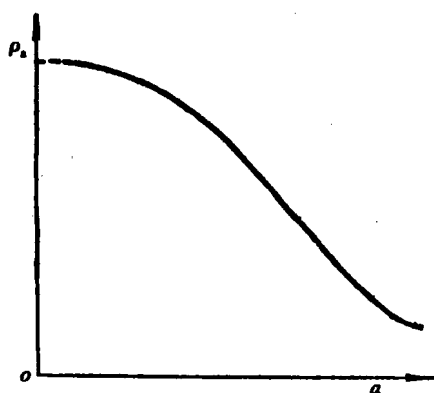


图 10-2-8 实测所得的  $\rho_s = f(a)$  曲线

下面以一组实际数据来说明这一方法的应用。已知被测地区上层土壤的电阻率为  $\rho_1 = 67.03 \Omega \cdot m$ , 表 10-2-3 给出了在不同极间距离  $a$  值下所测出的视在电阻率  $\rho_s$ , 以及相应的  $\frac{\rho_s}{\rho_1}$  和  $\frac{\gamma_s}{\gamma_1}$  值。由于  $\frac{\rho_s}{\rho_1}$  值随着  $a$  的增大而增大, 因此下层土壤的电阻率较上层土壤的电阻率大, 即有  $K > 0$ 。利用图 10-2-10 的曲线族, 按表 10-2-3 所给的六组  $a$  和  $\rho_s$  值所求出的对应于不同  $K$  值下的  $\frac{s}{a}$  值和  $s$  值列于表 10-2-4。图 10-2-11 是按表 10-2-4 的数据所画出的六条曲线, 六条曲线相交在一个不大的范围内, 其中心位置为  $K = 0.702$ ,  $s = 43m$ , 由此可知被测地区为双层土壤结构, 其上层土壤的厚度为  $43m$ , 下层土壤的电阻率为

$$\rho_2 = 67.03 \frac{1 + 0.702}{1 - 0.702} = 382.8 \Omega \cdot m$$

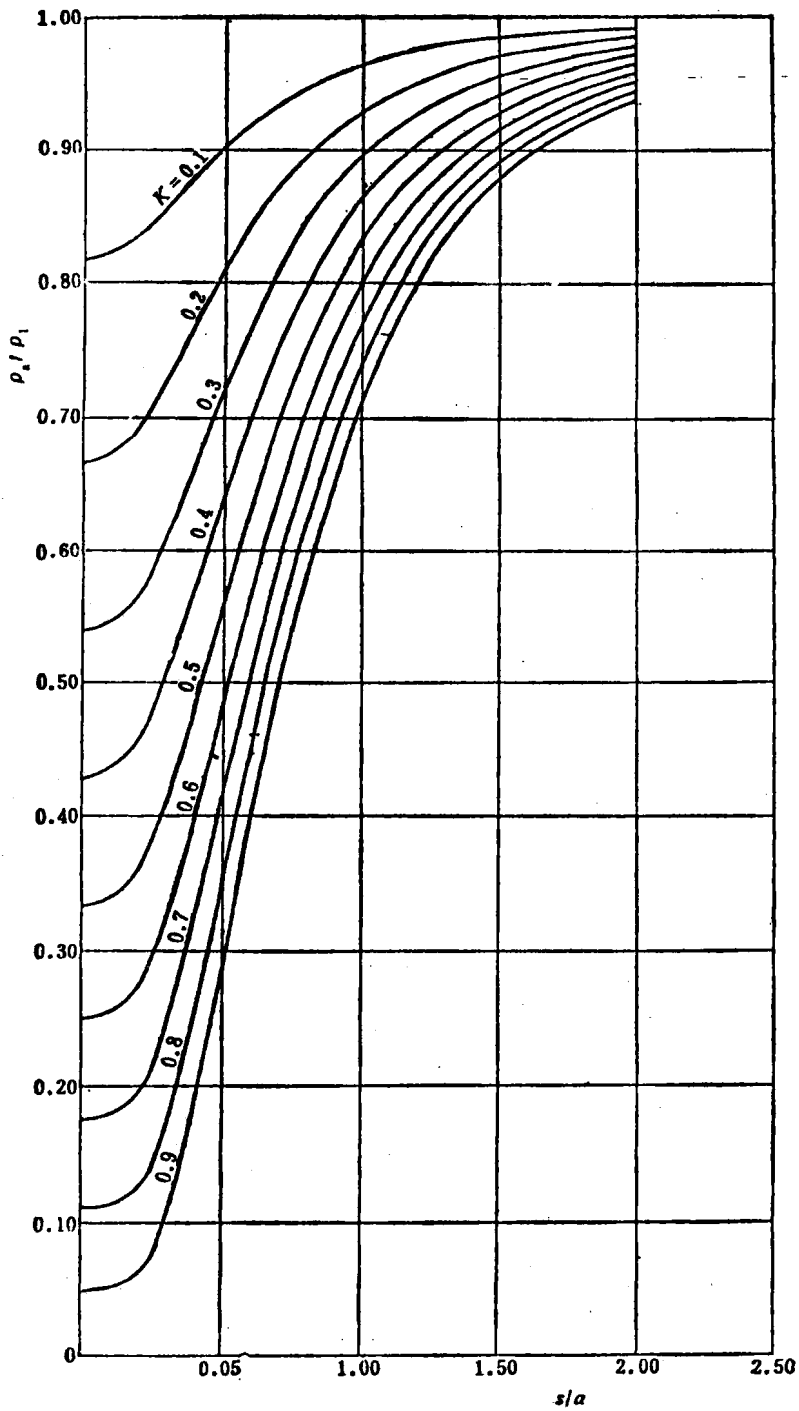


图 10-2-9 表示  $\frac{\rho_s}{\rho_1}$  和  $\frac{s}{a}$  关系的曲线族 ( $K < 0$ , 图中  $K$  值为绝对值)

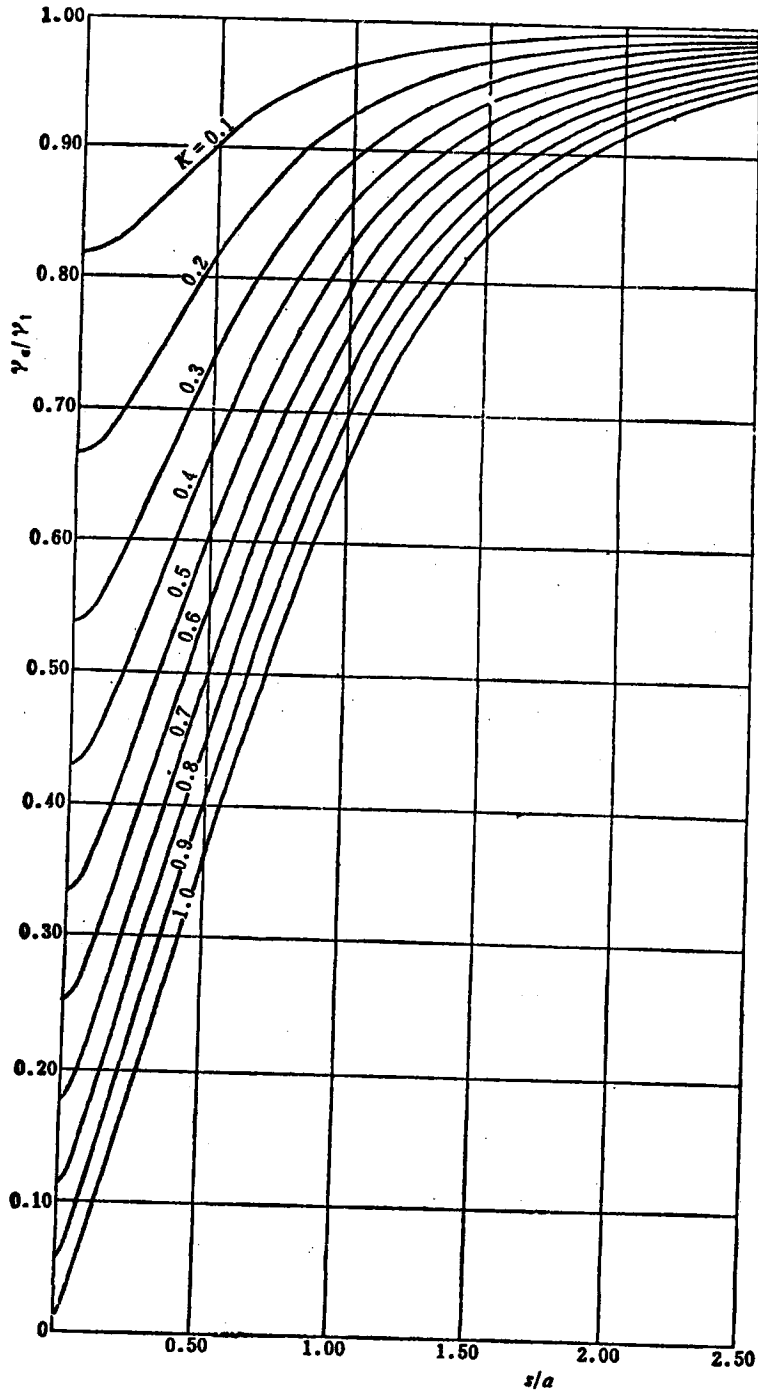


图 10-2-10 表示  $\frac{\gamma_a}{\gamma_1}$  和  $\frac{s}{a}$  关系的曲线族 ( $K > 0$ )

表 10-2-3 实测所得的视电阻率

| 极间距 $a(\text{m})$ | 视电阻率 $\rho_s(\Omega\cdot\text{m})$ | $\rho_s/\rho_1$ | $\gamma_s/\gamma_1$ |
|-------------------|------------------------------------|-----------------|---------------------|
| 45                | 89.60                              | 1.338           | 0.748               |
| 60                | 107.40                             | 1.601           | 0.625               |
| 75                | 123.20                             | 1.840           | 0.544               |
| 90                | 138.60                             | 2.068           | 0.483               |
| 105               | 152.20                             | 2.270           | 0.441               |
| 120               | 164.80                             | 2.460           | 0.407               |

表 10-2-4 由图 10-2-9 曲线族所求得的  $K$  和  $s$  值

| $K$ | $a = 45\text{m}$                    |            | $a = 60\text{m}$                    |            | $a = 75\text{m}$                    |            | $a = 90\text{m}$                    |            | $a = 105\text{m}$                   |            | $a = 120\text{m}$                   |            |
|-----|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|
|     | $\frac{\gamma_s}{\gamma_1} = 0.748$ |            | $\frac{\gamma_s}{\gamma_1} = 0.625$ |            | $\frac{\gamma_s}{\gamma_1} = 0.544$ |            | $\frac{\gamma_s}{\gamma_1} = 0.483$ |            | $\frac{\gamma_s}{\gamma_1} = 0.441$ |            | $\frac{\gamma_s}{\gamma_1} = 0.407$ |            |
|     | $\frac{s}{a}$                       | $s$<br>(m) | $\frac{s}{a}$                       | $s$<br>(m) | $\frac{s}{a}$                       | $s$<br>(m) | $\frac{s}{a}$                       | $s$<br>(m) | $\frac{s}{a}$                       | $s$<br>(m) | $\frac{s}{a}$                       | $s$<br>(m) |
| 1.0 | 1.190                               | 53.6       | 0.915                               | 54.9       | 0.770                               | 57.8       | 0.675                               | 60.8       | 0.610                               | 64.1       | 0.560                               | 67.2       |
| 0.9 | 1.120                               | 50.4       | 0.850                               | 51.0       | 0.705                               | 52.9       | 0.610                               | 54.9       | 0.545                               | 57.2       | 0.500                               | 60.0       |
| 0.8 | 1.045                               | 47.0       | 0.775                               | 46.5       | 0.640                               | 48.0       | 0.545                               | 49.1       | 0.485                               | 50.9       | 0.435                               | 52.2       |
| 0.7 | 0.960                               | 43.2       | 0.700                               | 42.0       | 0.565                               | 42.4       | 0.478                               | 43.0       | 0.410                               | 43.1       | 0.360                               | 43.2       |
| 0.6 | 0.870                               | 39.2       | 0.620                               | 37.2       | 0.485                               | 36.4       | 0.390                               | 35.1       | 0.325                               | 34.1       | 0.280                               | 33.6       |
| 0.5 | 0.785                               | 35.3       | 0.525                               | 31.5       | 0.390                               | 29.3       | 0.295                               | 26.6       | 0.226                               | 23.7       | 0.170                               | 20.4       |
| 0.4 | 0.660                               | 29.7       | 0.420                               | 25.2       | 0.270                               | 20.3       | 0.160                               | 14.4       | 0.060                               | 6.3        |                                     |            |
| 0.3 | 0.525                               | 23.6       | 0.260                               | 15.6       | 0.030                               | 2.25       |                                     |            |                                     |            |                                     |            |
| 0.2 | 0.317                               | 14.3       |                                     |            |                                     |            |                                     |            |                                     |            |                                     |            |

(二)利用双对数坐标曲线确定土壤参数

根据理论公式(10-2-16)所画出的双对数坐标系统曲线(图 10-2-7)具有下列特性

$$\lg \frac{\rho_s}{\rho_1} = \lg \rho_s - \lg \rho_1$$

$$\lg \frac{a}{s} = \lg a - \lg s$$

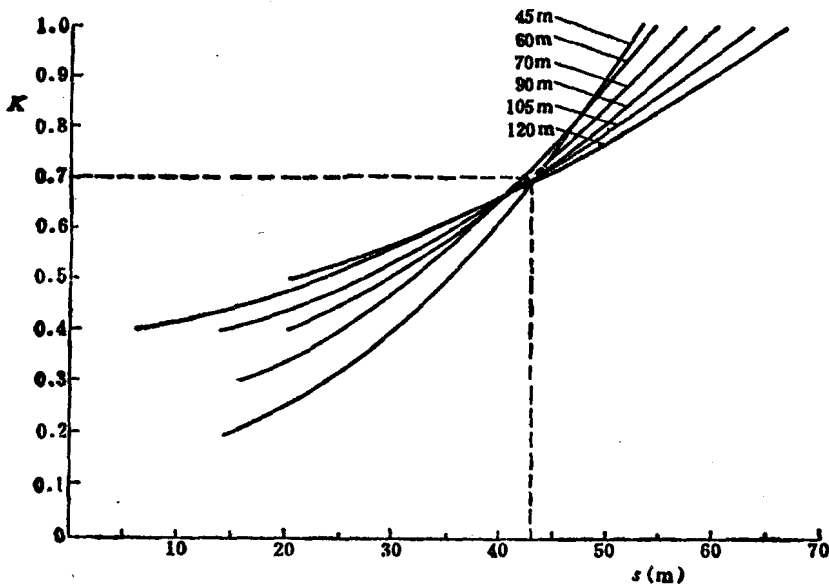


图 10-2-11 由  $K=f(s)$  曲线求取  $K$  和  $s$  值

由于对某一已定的土壤来说,  $\lg \rho_1$  和  $\lg s$  均为常量, 因此只要  $K$  值相同, 画在双对数坐标纸上的  $\rho_s = f(a)$  曲线和  $\frac{\rho_s}{\rho_1} = f\left(\frac{a}{s}\right)$  曲线将有同样的形状。又由于当  $a = s$  时将有  $\frac{a}{s} = 1$ , 当  $\rho_s = \rho_1$  时有  $\frac{\rho_s}{\rho_1} = 1$ , 因此只要把所测得的  $\rho_s = f(a)$  曲线画在透明的双对数坐标纸上(图 10-2-12 中的实际和实线坐标), 把它覆盖在图 10-2-7 上, 使之与图中某一  $K$  值的曲线重合(图 10-2-12)中的虚线和虚线坐标), 则在虚线坐标上  $\frac{a}{s} = 1$  处作一垂线到实线坐标上即可求得上层土壤的厚度  $s$ , 在虚线坐标上  $\frac{\rho_s}{\rho_1} = 1$  处作一水平线到实际坐标上即可求出上层土壤的电阻率  $\rho_1$ 。不难看出, 和图 10-2-12 相对应的土壤的  $s = 2.5\text{m}$ ,  $\rho_1 = 390\Omega \cdot \text{m}$ ,  $K = -0.45$ 。

### (三) 用视电阻率和的曲线确定土壤参数

实验说明, 在等距增大  $a$  值, 得出视电阻率  $\rho_s$  的变化曲线  $[\rho_s = f(a)]$  后, 如果进一步把各点的视电阻率累加后作出视电阻率和  $\Sigma \rho_s$  的曲线  $\Sigma \rho_s = f(a)$ , 则上层土壤的深度可由视电阻率和的曲线斜率的转折点, 即视电阻率和曲线最大曲率区域上切线的交点的横坐标确定。表 10-2-5 给出了某一现场实测的结果, 图 10-2-13 为根据这一实测结果所画出的曲线, 由图可得上层土壤的深度为  $4.1\text{m}$ , 和钻井所得数据基本符合。