

請向各處選購

接地电阻試驗

湖南省電業局中心試驗所編

水利電力出版社

接 地 电 阻 试 验

湖南省电业局中心試驗所編

*

1588D454

水利电力出版社出版 (北京西郊科學路二里藤)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店发行

*

787×1092毫米开本 * 1/32印張 * 13千字

1958年11月北京第1版

1958年11月北京第1次印刷(0001—5,100册)

統一書号: 15143·1239

定价(第9类)0.07元

目 录

第一章	大地内电流的分布.....	2
第二章	接地装置的测量.....	3
第三章	接触电压与跨步电压的测定.....	11
第四章	土壤电阻率的测定.....	16
第五章	用电流表与电压表法测量接地装置时 对外来电压影响的消除问题.....	18

第一章 大地内电流的分布

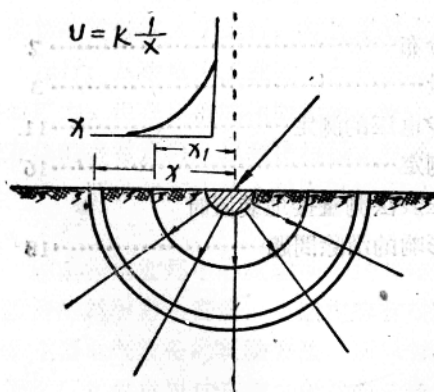


图1 半球体附近的电位分布

图1表示一最简单的半球状接地体埋设于均匀的土壤中，其上面与地表面相平。当直流电流 I 经此接地体向地中溢流时，使接地体周围的土壤中及地表面呈现着各种不同的电位（一般假定地的电位为零）。距球心为 x 的任一点 A 的电位可以下式表示：

$$U_A = \frac{1}{x} \times \frac{\rho I}{2\pi} = K \frac{1}{x}$$

式中 U_A ——距球心为 x 的点 A 的电位。

ρ ——土壤电阻率，欧-公分（即单位面积单位长度土壤的电阻）。

I ——经接地体流入地中的电流，安。

x —— A 点与球心的距离。

由上式得知，当电流经接地体分流于土壤中时，接地体本身具有最高电位 $U_z \left(= \frac{\rho I}{\pi D} \right)$ ，距接地体渐远，其电位亦沿如式中(图1)双曲线关系逐渐降低，并渐渐达到零值。

再由物理意义来看，在靠近接地体时，电流沿小的断面流过，故其电阻最大，并在这些地方发生最大的电压降。距接地体愈远，同样电流经过的断面增加，其电阻亦逐渐降低，因而电压降亦逐渐减小。

第二章 接地装置的测量

接地体或接地装置的电阻，为该装置对地电位 U 与通过该装置流入大地的电流 I 的比值。在测定接地装置或接地体 x 的电阻时，我们利用辅助接地 B (如图 2) 使与被测接地作成电流回路，并利用接地棒 Z 以取得被测接地的电位。

在接地电阻测定中，常因某些因素，引起测量中的误差，其影响较大者为：1. 由于辅助接地之配置所造成的测量误差，2. 接地棒之不正确配置所造成的测量误差，3. 由于杂散电流，接地棒电阻以及测量导线所引起的仪表误差。

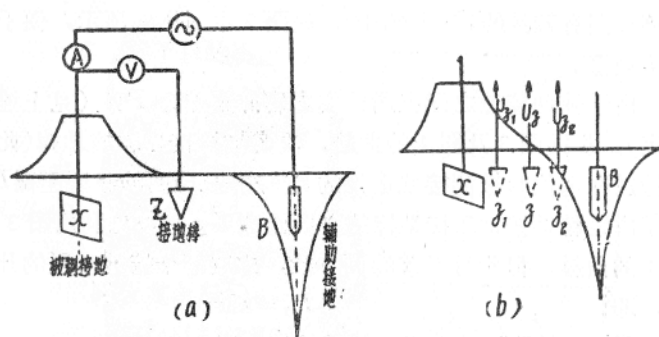


图 2 接地电阻测定原理图

对于輔助接地等引起之誤差允許值如下：

1. 由于輔助接地的配置所造成的測定結綫誤差。

a. 測定发变电所接地电阻时为10%。

b. 測定單独的接地电阻或簡單回路的接地电阻时为3~5%。

2. 由于接地棒之不正确配置所造成之誤差为2~3%。

3. 由于所用仪器与接地棒电阻所造成之誤差为3~6%。

对輔助接地与接地棒的要求：

如前面所述，当电流經接地体流入地內，在接地体周圍土壤中产生按双曲綫关系减小的对地电位。当电流經 a 及 B 通过时，其周圍土壤中的分布如图 2 所示。为能測得被测接地的全电位，以正确計算其接地电阻，应置接地棒于被测接地所造成电场外的零电位点 Z 。否則若接地棒过近于被测接地，所測电压將小于其全电位，求得电阻值亦將小于实际数值。反之，若过近于輔助接地，又將使所測电阻值过大。故接地棒与輔助接地的排列，应使接地棒易于埋在零电位处。而輔助接地亦应根据被测接地的形狀、埋入深度等選擇适当的位置，以使其与被测接地間有較長的零电位地段，如图 2 中 AB 內所示，便于埋設接地棒。

由于輔助接地之配置所造成之容許誤差为 $P\%$ (見上述之規定)，根据图 3 及图 4 的曲綫，決定被测接地和接地棒(此接地棒放在电位为被测接地电位的 $P\%$ 的地点)間的必要距离 L_1 。为了決定輔助接地和接地棒的必要距离 L_2 ，必須也利用图 3 与图 4 的曲綫，但此时誤差的百分数，应按兩個接地电阻的比計算，即：

$$P_2 = KP$$

K ——被测接地电阻与輔助接地电阻之比。

此时距被测接地 L_1 处之电位(或为距輔助接地 L_2 之电位)

为

$$\frac{P_1}{100}V_1 - \frac{P_2}{100}V_2 = \frac{P_1}{100}V_1 - \frac{P_1}{100}KV_2 = 0.$$

$$\text{因为 } \frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2} = K;$$

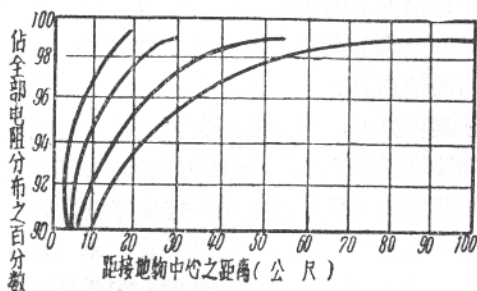


图3 分布电阻与接地装置中心距离的关系图

1— $\frac{1}{2}$ "管子, 深1公尺; 2—1"管子, 深1.5公尺; 3— $1\frac{1}{2}$ "管子, 深3公尺;
4— $2\frac{1}{2}$ "管子, 深6公尺。

V_1 与 V_2 ——被测接地与辅助接地的电位;

R_1 与 R_2 ——被测接地与辅助接地的电阻。

在上述条件下总的误差将为规定数 $P\%$ 。

在配置二接地間之接地棒时, 应使接地棒至該二接地之距离等于上述之 L_1 及 L_2 。

当测定大容量变电所的复杂接地装置时, 其电阻很小, 被测量的接地与辅助接地间的距离, 应依对接地的全电阻所

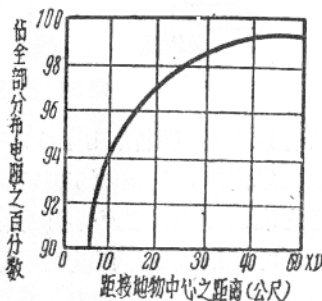


图4 分布电阻与接地物中心距离关系图

要求的測量準確度，按照上述規定與圖4的曲線決定之。例如，測定準確度為10%的接地電阻時，該距離應等於 $5D$ 。此處 D 為被測接地網的最大對角綫。但因測量時的具體條件不同，不可能在一切測量內，都保持此 $5D$ 的距離。因此，推薦將採用要求的 $5D$ 距離情況下的接地電阻與實際上易于實行的較小距離（200~300公尺）情況下的接地電阻，進行比較測量。

對採取200~300公尺距離的測量，應將其測出之接地電阻值，加以適當的校正。

如果由於某種原因，不可能加大被測接地與輔助接地間的距離時，可以借減低輔助接地電阻的方法來獲得較高的準確度。

為了檢查測定的電位是否正確，接地棒應進行三次以上的配置，參閱圖5使接地棒置向不同之各點， A 、 B 、 C 各點間的距離，在測定複雜的接地裝置時為10~20公尺，在測定由少數管子形成之接地時為3~5公尺。

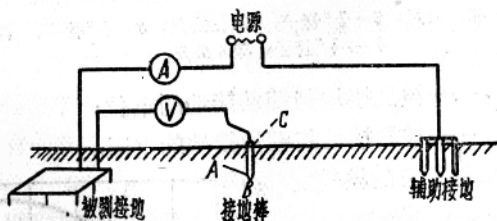


圖5 接地棒的配置

所有以上三點須在回路的同一直綫上，如果接地棒置于0電位範圍以內時，則被測出的接地電阻諸值，將互相相等，或在測定之準確度上，彼此將無差別；如果測出的數值彼此不同，而不可能借輔助接地的檢驗改正並找出原因，勢必增大被試接地同輔助接地間的距離。接地棒宜置于被測接地的任何一側，但須合乎下述條件，即接地棒須處於被測接地電場以外之

地帶，并須在接地棒回路內，不得受外界電勢的干擾（如與帶電的綫路平行，或測量綫路內電流影響等）。

接地電阻測量方法：

當試驗接地裝置時，可利用以下數種方法：

a. 電壓表與電流表法。b. 電流表與電力表法。c. 接地電阻測定器。d. 電橋法。e. 補償法。現在我們只介紹常用的二種方法，電壓表與電流表法和接地電阻測定器法，當用電壓電流表法時，電源不能接地，且只能用交流電源。

測定數值小的電阻（規定0.1歐姆或小于0.1歐姆）時，應採用電壓表與電流表法。假使接地電阻測定器之刻度盤定格測定範圍，不超過1歐姆時，則可用作測定0.1歐姆及大于0.1歐姆的接地電阻。

當測定電阻在1~2歐姆或大于1~2歐姆者，可採用電壓表與電流表法或接地電阻測定器。

1. 電壓表與電流表法：

電壓表與電流表法，是測定接地電阻最可靠的方法之一，圖6為用電壓表與電流表法對接地電阻測定的圖解。使適當的

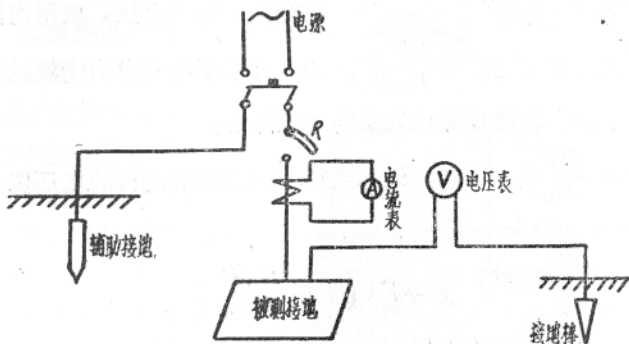


圖6 用電壓表電流表法測定接地電阻

电流流过被测接地与辅助接地，同时测量流过接地体的电流及被测接地与接地棒间的电位差。因接地棒配置于零电位地点，故由电压表测得之值即可当作被测接地的电位。

被测接地的电阻由下式计算：

$$R_g = \frac{V}{I}$$

式中 R_g ——接地电阻(欧姆)；

V ——被测接地的电位(伏)；

I ——流过接地物与电流表的电流(安)。

电源可以使用有充分容量的变压器，此变压器的二次侧不可接地，并须与用户线路断开，以免在用户线路上发生意外接地时，影响测定的结果。当测定时，应选择适当的电流使电压表的指针指示于刻度盘上的后半部分。

此外在回路中有外来电压时，则测定的电流愈大，外来电压之影响即可愈小。

测定时，接地回路电流，用电流表来测定（电流表为1~1.5级以上者），如电流大于5安培，可经过表用变流器连结之（不小于1~1.5级之变流器）。被测接地物之电压，应用内阻大的电压表测定之。若 $\frac{RV_M}{R_g P} \geq 50$ ，则可不考虑由于经过电压表的电流，在接地棒处造成的电压降落。

若 $\frac{RV_M}{R_g P} < 50$ ，则必须用下列公式将测得的电压值加以校正

$$V = V_M \left(1 + \frac{R_g P}{RV_M} \right)$$

V ——校正电压(伏)；

V_M ——实测电压(伏)；

$R_G P$ ——接地棒的电阻(欧);

R_V ——电压表内阻(欧)。

测定接地装置的电阻时, 首先应估计测定电流值的大小, 选出适当断面的绝缘导线, 连成如图 6 之电流回路。如果电流回路直接连于被测的接地网上有困难时, 那么即应连接于任何的机件接地线上, 且必须保证接触良好。电压表接线应用断面为 $1 \sim 2.5$ 平方公厘的绝缘导线。向回路连结电压表时, 应当离开电流导线的连结点, 直接接到被测接地上, 以免测定时, 因电流回路连结点上发生电压降而引起误差。在预备试验时, 在电流回路内可接一可变电阻(如水电阻); 当正式测定时, 将此电阻器短路。

依下列次序进行测定: 合刀形开关之前, 要用电压表试测在回路上是否有外来电压存在。如果电压表的指针不动时, 即将刀形开关合上, 再调整可变电阻及增减辅助接地管的数量, 定出所需要的电流值, 其大小应使电压表的指示在刻度盘上的后半部, 拉开刀闸, 按仪器读数计算接地电阻。以同样电流值进行 $3 \sim 4$ 次测定。

2. 接地电阻测定器法:

一般现用接地电阻测定器, 按其构造原理, 有电压电流比率计法, 补偿法, 分别叙述如下。

甲、电压电流比率计法。

本测定方法的原理如图 7 所示, 通过被测接地电流及该时被测接地对近

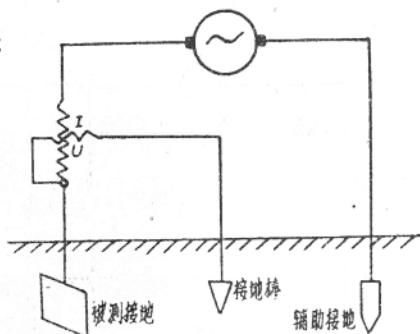


图 7 电压电流比率计接地电阻测定器原理

于零电位点，接地棒的电压差分别接于电流线圈 I 及电压线圈 U ，并由其指针直接指出 $\frac{U}{I}$ 之值，即被测接地的电阻 R 。如苏联制 MC-07 型及日本横河制 L-8 型，皆属于这一类。

此型测定器的电压线圈应具有甚高的内阻，以免因接地棒及被测接地的电阻所引起的测量误差。

又此等仪表多由表计指针直接指出被测接地电阻数值，若辅助接地及被测接地的电阻过高，致使表计的灵敏度降低，亦常因表计轴承的磨擦力及阻尼盒的阻力，使表针不能指于应有的位置，而引致误差。

此型测定计不受杂散电流的影响，是其优点。

乙、补偿法

补偿法，亦称电位差法，其原理如图 8 所示。在图 (a) 中当摇动发电机后，电流 I_1 、 I_2 分别经电流表 A_1 、 A_2 流入接地体。调动具有刻度的滑动电阻，使检流计 G 之指示为零，此时电压降

$$I_1 X = I_2 r \quad \text{即} \quad X = r \frac{I_2}{I_1}$$

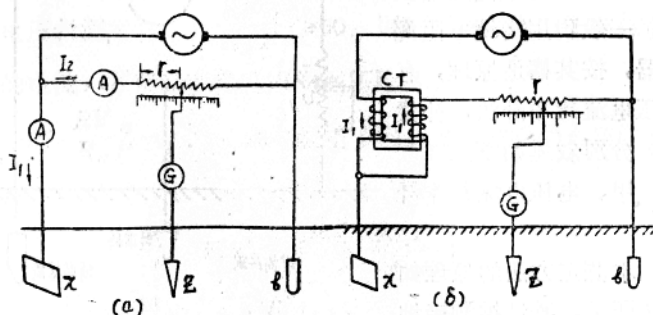


图 8 补偿法接地电阻测定器原理

惟此种接綫所測得結果，需經過計算才能求得被測接地 X 之电阻值，并需用三个比較精密的仪表。

图(B)中，使用适当的变流器CT，使 I_1 与 I_2 成一定比值，則当檢流計 G 指示于零位时，可直接由刻度盤讀出被測接地 X 之电阻值。日本横河L-9型及日本大仓等制品皆屬此类型。

使用此等測定方法，接地棒 z 及被測接地的电阻 X 不影响測定的准确度。又因使用指零檢流計，故亦不致因灵敏度的降低而誘起甚大誤差。

第三章 接触电压与跨步电压的測定

1. 关于接触电压与跨步电压

(1) 工作人員的安全与否，决定于接触电压(V_T)与跨步电压(V_{SP})之值，并不决定于接地網当流过接地故障电流时所发生的绝对电位。

(2) 接触电压与跨步电压，同接地網电位的大小及大地表面上电位分布的特性有关，但經常小于接地裝置的电位。如果发生接地故障时接地網的电位超过規定的接触电压或跨步电压时，即：

$$I_{SC}R_G > V_{RT} \text{ 或 } I_{SC}R_G > V_{RSP}$$

式中 I_{SC} ——系統接地时的稳定短路电流(安培)；

R_G ——接地網的接地电阻(欧姆)；

V_{RT} ——規定的接触电压；

V_{RSP} ——規定的跨步电压。

除測量 R_G 外，必須測量接触电压与跨步电压。

(3) 为确定接触电压，应测定与工作物水平方向相距 0.8 公尺，垂直距离为 1.8 公尺之点间的电压。为确定跨步电压，应在最大电位降下方向及人行频繁地点测制电压分布曲线。例如户外变电所的油开关或断路器的前面，户外变电所的入口，以及与接地网接近的地下道路等。

(4) 接地网外的电位分布，应测定至 20~50 公尺。最初 4~5 点间的距离，可取为 0.8 公尺。以后可按照距接地网的距离渐增至 5~10 公尺。若地下埋有电缆、管子及其他较长大的金属接地物等，可能在接地网以外的大地表面上发生局部的电位增大时，必须再测量在上述接地上面物的跨步电压。

(5) 所有 V_T 与 V_{SP} 的测定，都在电流不变下进行较为方便。否则，所测定的电压，应计算为任何一个电流值来计算。

(6) 测定接触电压与跨步电压时，可使用携带式接地器。这种接地器由 25 公分见方的铜板做成；测定时将此铜板置于地面与地紧密接触。

在厂房内进行测量时，为使其接触更好，铜板下面的地面应用水浸湿。

在室外变电所进行测量时，可采用长为 0.25 至 0.5 公尺、断面积为 50~60 平方公厘的金属棒充作携带式接地器。金属棒插入地中的深度，是在特别接近接地网处所不应大于 50~80 公厘。

2. 用电流表与电压表法测量接触电压

用电流表与电压表法测量接触电压，依下列顺序进行之：

(1) 测量工作物（被测接地）与配置于零电位地带的固定接地棒间的电压 V 。

(2) 测量工作物与置于水平距离 0.8 公尺，及置于垂直距离 1.8 公尺的携带式接地器间外电压 V_1, V'_1 。

(3) 测量攜帶式接地器与置于零电位地帶的固定接地棒間的电压 V_2 , V'_2 。

这个测量是用来复校前面的测量是否准确:

$$V_2 = V - V_1$$

$$V'_2 = V - V'_1$$

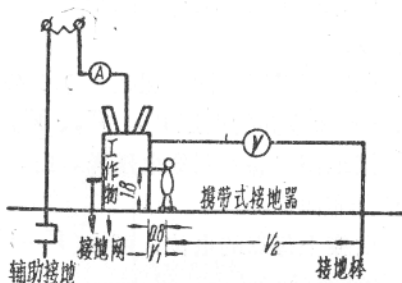


图9 用电流表与电压表法测量接触电压

(4) 接触系数由下式計算:

$$R_T = \frac{V_1}{V} \quad \text{或} \quad R_T = \frac{V'_1}{V}$$

接触电压等于 $V_T = R_T \cdot V_G$ 。

V_G 是接地網通过短路接地电流时, 工作物的电压。

(5) V_1 要直接测量, 不可以用 $V - V_2$ 或 $V - V'_2$ 来計算, 因为这样会增加誤差。

(6) 测定时必须使用內阻大的电压表, 須 $\frac{RV_M}{R_{GP}} > 50$, 否則必須加以校正(参照第二章)。

3. 用电流表与电压表法测量跨步电压

用电流表与电压表法测量跨步电压, 按下列之順序进行(图10):

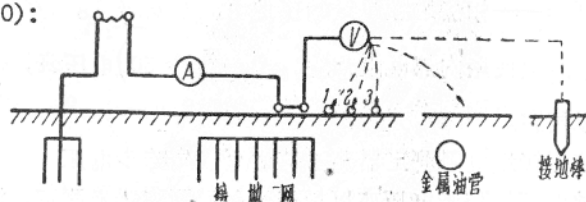


图10 用电流表与电压表法测量跨步电压

(1) 測量接地網與配置于零電位地帶之接地棒間的電壓 V (伏)。

(2) 測定接地網與互距為 0.8 公尺之各點 (1、2、3、4、…… n) 間的電壓 V_1 、 V_2 、 V_3 …… V_n 。此時電壓表的讀數為接地網與各點間的電壓降。由此測量所得結果，可以測出電位分布曲線。

曲線上每點的電位，可由 $(V - V_1)$ ， $(V - V_2)$ ， $(V - V_3)$ 等表示。

對計算所得結果的復核，可用測定每個點 (1、2、3、…… n) 與對配置于零電位地點接地棒的電位來進行。但為了避免增加誤差起見，只用後述測量方法是不許可的。

按照上面的測定，用下列公式確定跨步系數及跨步電壓。

$$R_{SP} = \frac{V_n - V_{n-1}}{V}$$

$$V_{SP} = R_{SP} \cdot V_{SC}$$

式中 V ——接地網電壓(伏)；

$V_n - V_{n-1}$ ——二個連續點實測電壓之差(伏)；

V_{SC} ——當一相短路接地時，接地裝置的電壓(伏)即：

$$V_{SC} = R_G \cdot I_{SC}$$

R_G ——接地網之電阻(歐姆)；

I_{SC} ——相接地短路時的接地電流(安培)。

測量時應使用內部電阻大的 $\left(\frac{RV_M}{R_{GP}} \geq 50 \right)$ 電壓表，否則必須加以校正。

4. 使用接地電阻測定器測量接觸電壓與跨步電壓

接觸電壓與跨步電壓亦可用接地電阻測定器來測定，測量方法如下(圖11)：

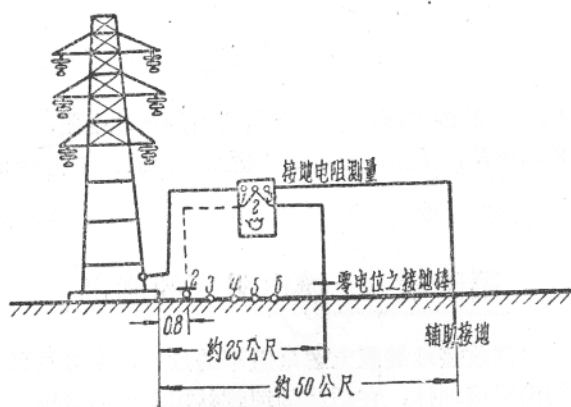


图11 用接地电阻测定器测量接触电压和跨步电压

(1) 用前述一般方法，测定接地装置的接地电阻即将接地棒置于零电位的地带进行测量。

(2) 当接地棒置于1, 2, 3, …… n 等点时，测出接地装置的接地电阻 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ 。

(3) 用下列公式算出接触系数及跨步系数：

$$R_r = \frac{R_1}{R}; R_{sp} = \frac{R_n - R_{n-1}}{R}$$

式中 R ——接地装置的接地电阻，单位为欧姆（接地棒置于零位）；

R_1 ——当接地棒置于距被测接地 0.8 公尺时，测得的该接地装置的接地电阻（欧姆）；

$R_n - R_{n-1}$ ——接地棒置于相距 0.8 公尺两相邻点，测得的该接地装置接地电阻之差。

故 $V_r = R_r \cdot V_{sc}$; $V_{sp} = R_{sp} \cdot V_{sc}$ 。

(4) 当制作电位分布曲线时， n 点的电位，用下列公式计