

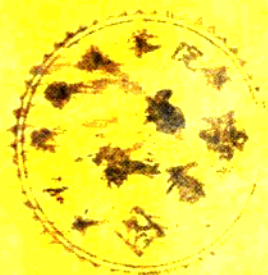
11073

105501

农村小型水电丛书

接地装置的设计安装

潘长涛编



水利电力出版社

11073 105501

目 录

第一章 接地的基本知識	2
第一节 为什么要接地	2
第二节 什么叫做接触电压和跨步电压	2
第三节 大地的导电系数和电阻率	4
第四节 接地体的形状、尺寸及土壤电阻率与接地电阻的 关系	5
第五节 计算接地电阻的公式	6
第六节 接地电阻的一般标准	8
第二章 接地装置的种类和布置形式	10
第一节 什么叫接地装置	10
第二节 接地装置的种类	10
第三节 接地装置的布置形式	11
第四节 接地装置的敷設原則	14
第三章 接地裝置的設計	15
第一节 单个接地体的接地电阻	15
第二节 接地裝置的总接地电阻	16
第三节 接地裝置的設計实例	22
第四节 接地裝置的簡易設計	28
第四章 接地裝置的安裝	31
第一节 接地地点的选择	31
第二节 接地綫的选择	31
第三节 接地体与接地綫的连接方法	32
第四节 接地体和接地帶的安裝	34
第五章 接地电阻的測量	35
第一节 为什么要測量	35
第二节 三点測量法	36
第三节 比例測量法	38
第四节 用西門子接地电阻測定儀的測量法	39
第五节 用電力儀器厂接地电阻測定儀的測量法	40
第六节 接地电阻不合格的处理方法	40

第一章 接地的基本知識

第一节 为什么要接地

一切电气设备，除了导电部分之外，还有许多在正常情况下不带电压的部分，例如电机、变压器、仪表、支持结构和許多其他电气设备等的壳子。但是在发生故障时，这些设备的外壳会带上电压，就会呈现出极大的危险性。

要把所有设备都盖上一层絕緣材料，以防止人們触碰发生危险，这是不可能的。唯一可以完全保証偶然触及因故障而带电的金属壳子或零件和“两綫-地”制高压輸电接地导綫时不出危险的办法，就是事先把它们可靠地接地，使这些部分的对地电位降至一定的安全数值。此外，接地还可使发电机、变压器的中性点接地时的零点对地电压和农村电力网“两綫-地”制中高压綫接地的接触电压和跨步电压都在一定的安全数值內。要达到这些安全的目的，就必须有正确的接地装置設計安装，从而保証在一定的接地电阻下可靠的接地。

第二节 什么叫做接触电压和跨步电压

当入地短路电流 I ，或“两綫-地”制的正常工作电流通过接地装置流入地中时，在入地的地区就有电压产生。这个电压随着入地点的距离而降落在距接地体15~20公尺处(图1)，因为在离接地体20公尺的地方电流密度已經大大地降低了，所以說在离接地体約20公尺及以上时就没有这个电压。

接地綫与距接地綫0.8公尺的地面两点間的电位差或被接地的机件与其相距0.8公尺的地面間的电位差即为“接触电压”。

在电流入地的地面上，任何相距0.8公尺两点间的电位差，即为“跨步电压”。

为了预防人们可能遭受到危险电压起见，“接触电压” U_n 和最大“跨步电压” U_{st} （如图1）不允许超过某一定的数值。在已知条件下，这些电压对接地体电压 U_s 之比值以相应的“接触电压系数”

$$\alpha_n = \frac{U_n}{U_s}$$

和“跨步电压系数”

$$\alpha_{st} = \frac{U_{st(max)}}{U_s}$$

决定之。这些系数的值由接地装置的类型来决定的。

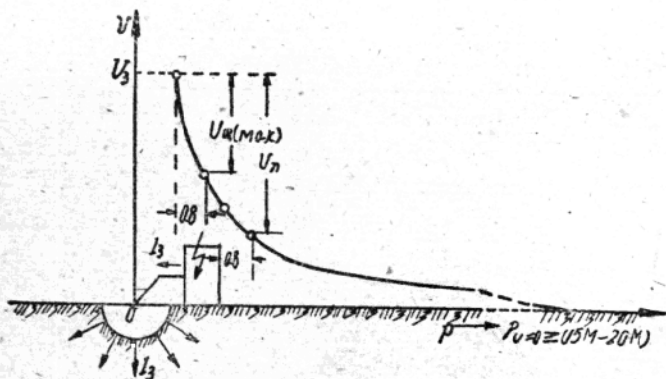


图 1

注：图中尺寸单位公尺。

因此，为了接触电压和跨步电压不超过所容许的值，必须将每个接地装置装设恰当。

接地体的电压是和通过它的入地电流 I_s ，和所谓接地体对电

Am 3.7/05

流分散的电阻 R_s 成正比的, 即

$$U_s = I_s R_s,$$

或

$$R_s = \frac{U_s}{I_s}.$$

以后为了简便起见, 就称 R_s 为接地体的电阻。在已知条件下(接地装置的构造, 它和被接地物件的相对位置等), 以及在已知的系数 α_n 和 α_w 及计算用入地电流 I_s 等条件下, 接地装置的计算可以归结为决定在接地电阻一定时的装置尺寸的决定。

第三节 大地的导电系数和电阻率

假设大地在任何深度处都是均匀的, 即都具有同一的电导系数。实际上, 大地的电导系数和土壤的成分, 特别是所含的水分程度及温度都有非常密切的关系(见表1)。

表1 大地的接地电阻率(ρ)表

大地土壤种类	大地的接地电阻率 ρ (欧姆-公分)	
	湿度占土壤重量的10~20%	变动范围
沙土	7×10^4	$4 \times 10^4 \sim 7 \times 10^4$
夹沙土	3×10^4	$1.5 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4$
沙质粘土	1×10^4	$0.4 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^4$
黑壤土	2×10^4	$0.096 \times 10^4 \sim 5.3 \times 10^4$
粘土	0.4×10^4	$0.08 \times 10^4 \sim 0.7 \times 10^4$
河水		10×10^4
海		$0.02 \times 10^4 \sim 0.01 \times 10^4$

作为一个平均值, 大地的电导系数可以采取为

$$\gamma_{g(cp)} = 10^{-4} \frac{1}{\text{欧姆-公分}};$$

因而地的平均电阻系数为

$$\rho_{g(cp)} = 10^4 \text{ 欧姆-公分}.$$

下面举出銅和鉄(在 0°C 时)的电导系数和电阻系数值以資比較,

銅: $\gamma_{cu} \approx 6.5 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{欧姆-公分}}$; $\rho_{cu} \approx 1.54 \cdot 10^{-6}$ 欧姆-公分.

鉄: $\gamma_{Fe} \approx 1.1 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{欧姆-公分}}$; $\rho_{Fe} \approx 9.1 \cdot 10^{-6}$ 欧姆-公分.

因而,

$$\frac{\gamma_{cu}}{\gamma_{g(cp)}} = 6.5 \cdot 10^3, \quad \frac{\gamma_{Fe}}{\gamma_{g(cp)}} = 1.1 \cdot 10^3.$$

即銅的电导系数平均为地的6,500兆倍,而鉄的电导系数平均为地的1,100兆倍。

由上面的比較可見,只有对电流提供的导流截面相当大时,才能使所得的电流密度小到这种程度——即使在相当大的大地电阻系数下,地中的电压降落还是很小的情况下,大地的电阻或該电流所产生的电压降落才可以略去不計。所以,在距接地体不远的地方,对从接地体流下的入地电流来講,其截面較小,因而电流密度較大,如电流密度太大时在地中就有显著的电压降落。这种地中的电压降落在离接地体15~20公尺处(图1)实际上即已消失了,因为在15~20公尺处电流密度已經是大大的减小了。

第四节 接地体的形状、尺寸及土壤电阻率与 接地电阻的关系

接地体的形状、尺寸及土壤电阻率与接地电阻三者之間的关系是非常密切的,我們假定接地体的形状、尺寸不变,且它的埋于地中的位置一定时,那么該接地体的接地电阻的大小是

由土壤的电阻率来决定的，电阻率大，接地电阻也大，反之则反。但如果土壤的电阻率不变，埋置地中的位置形状也一定时，那么接地电阻的大小是由接地体的尺寸所决定了，尺寸大则接地电阻小，反之亦反。为了了解这种关系，作表2以资说明。

表2 接地体的形状、尺寸及土壤电阻率与接地电阻的关系

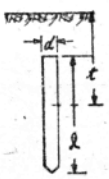
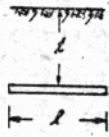
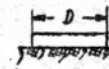
接地体形状，尺寸	土壤的种类		
	中等湿度的 粘土	潮湿沙土	干燥沙土
 接地管长3公尺，直径为25~50公厘	30	150	300
 接地板1公尺 ²	25	125	250
 接地条长25公尺，埋地深度0.5公尺	8	40	80

第五节 计算接地电阻的公式

苏联技术硕士伏·依·葛洛里格娃根据接地电极的形状、尺寸及其在地下的敷设方式，确定接地极的散流电阻的公式如表3。

表 3

接地形状和散流电阻的计算公式

编 号	图 样	接地极类型	散 流 电 阻 值		附 注
			自 然 对 数	常 用 对 数	
1		管子, 管顶 齐地面 (长 l , 直径 d)	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$R = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}$	$l \geq d$
2		管子, 管子 中心埋置入 地深度为 t (长 l , 直径 为 d)	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right)$	$R = 0.366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)$	$l \geq d$ $\frac{4t}{l} > 2$
3		长形接地极 (条或管)埋 置入地深度 为 t (长 l , 宽 b , 直径 d)	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt}$	$R = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{bt}$	$l \geq \frac{b}{2}$ $\frac{y}{2t} \geq 2.5$
4		环形接地极 (条或管)埋 入地深度为 t (长为 l , 直 径为 d)	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2bl^2}{bt}$	$R = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2bl^2}{bt}$	$\frac{l}{\pi} \geq \frac{b}{2}$ $t \leq \frac{l}{2\pi}$
5		置于地表面 之圆板接地 板 (直径为 D)	$R = \frac{\rho}{2\pi D}$	$R = \frac{\rho}{2\pi D}$	—

第六节 接地电阻的一般标准

接地的目的，在求运行的安全。第一，为了人身的安全，防止人身触电事故。因为电气设备的外壳，随时有带电的可能，如不接地，人体接触即有被电伤害的危险。第二，为了保护电气设备的安全，凡线路发生故障或雷击时，常均能产生异常的高压或电流，使设备损坏，如适当的接地，可以限制电压升高或放泄电流入地。这不但是保障了设备的安全，而且维持不断地供电。

因此接地装置电阻的大小，应从人身和设备的安全原则出发，应保证在一年内根据任何时期计算而得的单相接地短路电流值；经过接地点所产生的接触电压和跨步电压不超过安全数值。在一年中，任何时期内的接地电阻不得大于：

1. 接地电流大于 500 安以上者，电压 1,000 伏以上的设备 0.5 欧。

2. 接地电流小于 500 安以下者，电压 1,000 伏以上的设备 $250/I$ 欧。但不得大于 10 欧。其中 I 为计算的接地电流。

3. 金属杆输电线路的电杆（不连架空地线）10 欧。

4. 电压 1,000 伏以下的设备 4 欧；中性线的重复接地 10 欧。

5. 避雷器接地 5 欧。

从人身安全的观点来看，50 伏以下的电压可謂之安全电压，因为最小的人体电阻约为 1,000 欧，其接触电压为 50 伏时，则流过人体的电流 $50/1,000 = 0.05$ 安以下，对于人的身体损害不大。因此，要求接地装置的电压降不大于 50 伏。其接地电阻可按下列公式求出：

$$R = \frac{50}{I}$$

式中 R ——接地装置的接地电阻(欧);

I ——接地电流(安);

50——安全电压(伏)。

当接地电阻小于按以上公式求出的 R 值时, 若接地装置的接触良好, 则其接触电压和附近(约半径20公尺以内)地区的跨步电压是不会超过安全数值的, 不致危害人身的安全。各种接地装置电阻的一般标准, 见表4。

表4.

接地电阻的一般标准

接 地 的 项 目	标 准 接 地 电 阻
1. 避雷器接地	5 欧以下
2. 变压器的外壳接地	不超过10欧
3. 高压电动机的外壳接地	不超过10欧
4. 电流互感器和电压互感器的次级线路	不超过10欧
5. 高压线路的保护网保护线	不超过10欧
6. 变压器低压侧接地线	不超过10欧
7. “两线一地”制第三相接地	不超过10欧
8. 低压电动机的外壳	不超过100欧
9. 电报线路的保护网保护线	不超过100欧
10. 接近高压线的烟囱	不超过100欧
11. 屋内设备电缆的外壳及铅皮	不超过100欧
12. 开关外皮及金属箱外皮	不超过100欧
13. 100瓩以下发电机和变压器中性点接地	不超过10欧
14. 100瓩以上发电机和变压器中性点接地	不超过5 欧

注: 若有两个以上项目联合接地时, 称为联合接地装置, 其接地电阻应以其中最小的电阻为联合接地电阻。

第二章 接地装置的种类和布置形式

第一节 什么叫接地装置

通常我们把直接和土壤接触、目的在于构成与大地的电气连接而又具有一定的散流电阻的一个或多个的金属棒或管（普通为铁管）叫做接地体。连接接地体用的金属扁条（普通为扁铁），叫做接地带。此外，连接电气设备上被接地的部分和接地体（或接地带）的金属导线，叫做接地线。设备的任何部分与大地的人为的电气连接，就称为这一设备的接地。接地体和接地带或其他各种接地构造物所联成的整体，总称它为接地装置。

第二节 接地装置的种类

接地装置的种类，按其工作性质的不同，可分为保安接地、工作接地和联合接地。所谓保安接地，就是一切电气设备的外壳或者是正常时不带电但故障时可能带电的其他金属部分的接地，目的在于防止人身事故的接地装置。例如发电机、电动机和变压器等的外壳接地。所谓工作接地，就是电路上任何一点为了保证装置在正常情况和故障情况下可靠地工作所必需的接地，例如变压器中性点的接地或“两线一地”输电线的接地和用来防御过电压的避雷器接地等。如果工作接地和保安接地是共同利用一个接地装置，那么叫它为联合接地，例如避雷器的接地和变压器外壳及其中性点都接在一个共同的接地装置上。

接地装置的种类，按其实现接地方法的不同，可分为人工接地，和自然接地两种。所谓人工接地，就是一般采用钢管

(或鍍鋅鐵管)，其管壁的厚度應不小于 3.5 公厘，直徑為 25 至 50 公厘，長度為 2 至 3 公尺的鋼管和採用厚度不小于 4 公厘，截面積不小于 48 公厘²的鋼條（或鍍鋅扁鐵）的聯結而成，或者是由單獨的鐵管或鐵條所組成。致于自然接地，就是利用除了可燃液體或爆炸性瓦斯的導管以外的地下水管、電纜鎧甲和接地良好的建築物金屬結構等作為接地裝置者。

第三節 接地裝置的布置形式

接地裝置的布置形式很多，這裡只是介紹幾種平常慣于採用的普通形式，設計時應盡量採用因地制宜的為原則。

1. II 型，如表 5 的 1 圖所示。

它採用 2 根長約 3 公尺，直徑 5 公分的鋼管（鍍鋅鐵管），分別打入地中，管間距離為 3~5 公尺，然後用 40×4 公厘²，長 3~5 公尺的鍍鋅扁鐵將兩管連接起來。接頭處是用电焊或氣焊焊接。組成 II 型接地裝置。這種型式一般適用於小城鎮沿街道旁的小型配電變壓器與避雷器聯合接地。

2. 帶型，如表 5 的 2 圖所示。

它採用 40×4 公厘² 長為 5~10 公尺的鍍鋅扁鐵，埋入地中深度約為 0.8~1.0 公尺，作為帶形接地裝置。接地綫由帶之中心點接出地面。這種型式適用於地質不良，不易埋置鋼管的地区，作為保安接地裝置之用。

3. III 型，如表 5 的 3 圖所示。

它採用 3 根長約 3 公尺直徑 5 公分的鋼管（鍍鋅鐵管），在一直綫的方向分別以等距離地（管間距離 5~6 公尺）打入地中。管的上端用截面 40×4 公厘² 長 12 公尺的鍍鋅扁鐵長作水平連接而成 III 型接地裝置。這種型式適用於小城鎮街道旁的中小型配電變壓器與避雷器的聯合接地。

4. 环型，如表 5 的 4 图所示。

它采用 4 根长约 3 公尺直径为 5 公分的钢管(镀锌铁管)，在一个圆周的三等分点的地中打下三根、另在圆心打下一根，管顶距地面约 0.8~1.0 公尺。然后以 40×4 公厘² 长 37 公尺的镀锌扁铁连成一个圆周，同时将圆周与中心之间的钢管也作联结，其最后就成环形接地装置。这种型式适用于作为郊外中小型配电变压器或小型电站升压变压器中性点与避雷器的地线的联合接地之用。

5. 圆环型，如表 5 的 5 图所示。

它采用 20 根长约 3 公尺直径为 5 公分的钢管(或镀锌铁管)，在一个圆形的地面的圆周上将它们以均匀的间隔打入地中，然后以 20.6~62 公尺长的 40×4 公厘² 的镀锌扁铁将钢管连成一个圆环，最后通过圆心作两根直交的直径上用扁铁联结成为一个圆环形接地装置。这种型式适用于中型变压器的中性点与避雷器的接地线作为联合接地之用。因安装时开挖面较大，不适宜埋在街道旁边。

6. 双环形，如表 5 的 6 图所示。

它采用 8 根长约 3 公尺直径 5 公分的镀锌铁管， 40×4 公厘² 长 246 公尺的镀锌扁铁，按表 5 中 6 图的样子连接。这种型式适用于中型变电站变压器中性点和避雷器地线的联合接地或单独作为防雷接地。

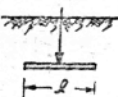
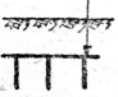
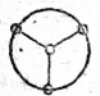
7. 星形(即 Y 型)，如表 5 的 7 图所示。

它采用 3 根长约 3 公尺直径 5 公分的镀锌铁管， 40×4 公厘² 长 9 公尺的镀锌扁铁连成一个星形接地装置(如表 5 的 7 图)。这种型式适用于郊外小型变电站的变压器中性点与避雷器地线的联合接地。

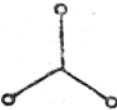
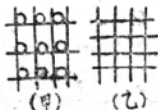
8. 网孔型，如表 5 的 8 图所示。

这种型式中又分为两种布置，一种是接地管与接地带联合的网孔型，如表 5 中的 8 图甲。另一种是接地带网孔型，如乙图。这两种型式所需接地管与接地带的数量可根据不同的接地电阻要求进行计算后决定。它们适用于一般中小型电站多机组的厂内接地网联合接地装置，不过前者用于可以埋置钢管的厂房内，而后者用于厂房基础多岩层，不便埋置钢管仅能埋置扁铁的厂房内。

表 5 各种接地装置的形式及材料表

图号	接 地 形 式	接地装置的形式	采 用 材 料	
			棒 $l=3$ 公尺 (根)	带 40×4 公厘 ² (公尺)
1	用带连接两棒		2 2	3~5 6
2	由中心点入地的带形			5 6 8 10
3	用带水平连接三根棒		3	12
4	环型，直径12公尺四棒三带		4	37
5	用带作连接直径的圆环直径 4公尺 6公尺 8公尺 10公尺 12公尺		20	20.6 31 41 51.5 62

續表

图 号	接 地 形 状	接地装置的形式	采 用 材 料	
			棒 $l=3$ 公尺 (根)	带 40×4 公厘 ² (公尺)
6	外直径28公尺， 内直径12公尺的双 环形		8	246
7	星形		3	9
8	网孔形		(甲) 9	(甲) 60 (乙) 30

第四节 接地装置的敷設原則

在敷設接地装置时，我們應該从安全和經濟的观点出发，同时也应从技术可能出发来敷設，一般应考虑如下几个原則。

1. 尽可能挑选土壤导电率好的处所，这样就可以达到既可使所需用的金屬材料最少、接地电阻最小的既經濟又安全可靠的目的。

2. 埋置接地装置应尽可能靠近被接地的电机、电器或其他需要接地的設備旁边，这样又使接地綫短，电阻也小。

3. 厂房接地网除了考虑上述原則外，还应该把接地网的小部分敷設至厂房以外，这样，当运行中若发现原設計安装的接地装置的电阻太大不合格时，就可以在厂外部分附近再作补充接地装置与它相联。不然，遇有这类情况时，必須将厂房地面

挖掉才能作补充接地装置，那就比較麻煩了。

4.“兩綫-地”制的輸電綫路，某一相高壓綫的接地裝置，為了保證人身安全，一般應該選擇比較偏僻的郊外，而不應該在居民區域、街道旁進行“兩綫-地”的接地。

5.在街道或道路旁敷設接地裝置時，應該尽可能使接地裝置沿路旁敷設、不要埋入路中。

第三章 接地裝置的設計

第一節 单个接地体的接地电阻

我們平常設計一種接地裝置時，雖然其形式很多，但是計算的方法與原則是一樣的。首先應考慮每一個接地極的電阻，然後把它們並聯起來，求出其總的接地電阻。

計算单个接地體的接地電阻的方法，有下列幾種形式：

1.棒型，如图 2 所示。其計算公式為

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) \text{歐.}$$

式中 ρ ——土壤電阻率(歐-公分)；

d ——棒之直徑(公分)；

l ——棒之長度(公分)；

t ——地面至棒中心距離(公分)。

2.帶型，如图 3 所示。其計算公式為

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left(\frac{2l^2}{bt} \right) \text{歐.}$$

式中 l ——帶之長度(公分)；

b ——帶之寬度(公分)；

t ——地面至橫帶中心的距離(公分)。

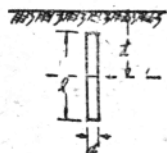


圖 2

3. 圓型, 如图 4 所示。其計算公式为

$$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \left(\frac{8\pi D^2}{bt} \right) \text{ 欧.}$$

式中 D ——圓环直径(公分);

b ——圓环厚度(公分);

t ——圓环至地面距离(公分)。

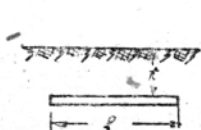


图 3



图 4

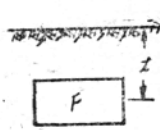


图 5

4. 板型, 如图 5 所示, 其計算公式为

$$R = \frac{\rho}{8\sqrt{\frac{F}{\pi}}} \left\{ 1 + \frac{2}{\pi} \arcsin \left[\frac{\sqrt{\frac{F}{\pi}}}{(2t)^2 \frac{F}{\pi}} \right] \right\} \text{ 欧.}$$

式中 F ——板之面积(平方公分);

t ——板面中心至地面距离(公分)。

第二节 接地裝置的总接地电阻

把各个单独的接地体連在一起时, 計算其并联的系統电阻 R_c , 每个单独接地电阻連向系統时, 应除以利用系数 η (利用系数的求法詳見表 6~9)。

$$R' = \frac{R}{\eta} \text{ 欧.}$$

故許多接地电阻联在一起的系統电阻, 可用下列公式計算:

$$R_c = \frac{1}{\frac{1}{\sum \frac{R_1}{n_1 \eta_1}} + \frac{1}{\sum \frac{R_2}{n_2 \eta_2}} + \dots + \frac{1}{\sum \frac{R_n}{n_n \eta_n}}} \text{ 欧.}$$