

# 防雷设计中土壤电阻率及其测量

李志江 刘文奇

孙丽

(辽宁省气象技术装备中心 沈阳 110015)

(抚顺市气象局 抚顺 113006)

**摘要** 介绍了土壤电阻率在防雷接地装置设计和在施工中的应用,论述了影响土壤电阻率的主要因素及其土壤电阻率的测量方法。

**关键词** 接地电阻 土壤电阻率 测量方法

在现代防雷工程设计、施工和验收中,接地是其中的主要工作,无论是防直击雷或感应雷,最终都是通过接地装置将雷电流引入大地,所以,没有完善的接地装置是无法实现避雷的。而接地电阻是直接反映出接地情况是否符合规范要求的一个重要指标。对于避雷系统接地装置而言,要求其接地电阻越小越好,因为接地电阻越小,散流越快;落雷物体高电位保持时间越短,危险越小,以至于跨步电压、接触电压也越小。而影响接地电阻的主要因素有土壤电阻率,接地体的尺寸、形状及埋入深度,接地线与接地体的连接等。其中土壤电阻率对接地电阻的大小起着决定性作用。因此,在防雷工程设计和施工前,必须先了解接地装置设置处的土壤电阻率的有关情况,并对其进行测量。所以,了解和掌握土壤电阻率的一些相关性质及其测量方法,将对接地装置的正确设计起着决定性作用。

## 1 影响土壤电阻率的主要因素

土壤电阻率是决定接地电阻的主要因素之一。接地电阻,指电流通过接地装置流向大地受到的阻碍作用。在计算数值上,接地电阻是电气设备的接地体对接地体无穷远处的电压与接地电流之比,即

$$R_e = U_j / I_e$$

式中:  $R_e$  为接地电阻,单位为  $\Omega$ ;  $U_j$  为接地电流,单位为 A;  $I_e$  为接地体对接地无穷远处的电压,单位为 V。

土壤电阻率( $\rho_{\pm}$ )是用每边长为 10 mm 的正方体的土壤电阻来表示。土壤电阻率根据土壤性质、含水量、温度、化学成分、物理性质等情况而有

所变化。因此在进行防雷工程设计时要根据当地地质情况并考虑到季节的影响,选取其中最大值作为设计的依据。

影响土壤电阻率的主要因素有以下几个方面。

### 1.1 土壤性质

土壤性质对土壤电阻率影响最大。不同性质的土壤,其电阻率甚至相差几千到几万倍。不同性质的土壤电阻率见表 1。

表 1 不同性质的土壤电阻率

项 目	干湿度或含水量 /(%)	土壤电阻率 /( $\Omega \cdot m$ )	
岩石类	砾石、碎石	—	2 000
	多岩石地	—	4 000
	花岗岩	—	207 000
沙类	沙	干	2 500
	沙	湿	1 000
	沙	很湿	250
	含水黄沙	10	500
泥土类	黄土	干	2 500
	多石土	—	400
	沙土	10	300
	含沙粘土	20	250
	黑土	湿	190
	粘土	20	100
	黄土	20	100

### 1.2 含水量

含水量对土壤电阻率也有很大影响。绝对干燥的土壤电阻率可以认为接近无穷大。含水量增加到 15% 左右时,土壤电阻率显著降低;如继续增加水分直到 75% 左右时,电阻率改变很小;当含水量超过 75% 时,土壤电阻率反而增加。含水

量对土壤电阻率的影响,不仅随土壤的种类不同有所不同,而且与所含的水质也有关系。例如在土壤电阻率较低的土壤中,加上比较纯净的水,反而增加土壤电阻率。因此在采用加水改良土壤时应注意这一点。

### 1.3 温度

当土壤温度在 0℃ 以下时,由于其中水分结冰、土壤冻结,电阻率会突然增加。因此,一般都将接地极放在冰冻层以下,以避免产生很高的流散电阻。通常最少埋深为 0.5 m(北方地区应为当地冻土层以下为宜)。温度自 0℃ 继续上升时,由于其中溶解盐的作用,电阻率逐渐减小;温度达到 100℃ 时,由于土壤中的水分蒸发,电阻率又增高。

当土壤中含有  $Cl^-$ ,  $H^+$ ,  $(OH)^+$  成分时,电阻率会显著下降,一般利用这种特性来改善土壤。如早期做人工接地装置时一般都在接地极附近灌注 NaCl,但现在不再采用这种方法,因为 NaCl 日久之后将对接地极产生严重腐蚀,现在用的比较多的方法是采用长效降阻剂来降低接地极附近的土壤电阻率。

### 1.4 物理性质

土壤的物理因素可使电流密度分布的情况改变,尤其是含有金属成分时影响最大。此外,土壤本身是否紧密,与接地极是否紧接,对土壤电阻率也都有很大影响。土壤本身的颗粒越紧密,电阻率越低,其减低程度随土壤的种类而异。例如,粘土的含水量为 10%,如温度不变,单位压力由 0.02 kg/cm 增大到 0.20 kg/cm 时,电阻率下降到原来的 69%。根据这个原因,为了减少接地电极的流散电阻,必须将接地体四周的回填土夯实,使接地极与土壤紧密接触,从而达到减小土壤电阻率的效果。

### 1.5 土壤热阻系数

不同季节中,土壤的热阻系数也随之变化,接地电阻也随季节不同而有所增减。一般冬季最大,夏季最小,因此推荐将测得数据换算为冬季时的最大值,即保证接地极在最不利温度下也能具备其应有的功能。

由于影响土壤电阻率的因素很多,因此在设计时最好选用实测的数值。因为测量时土壤不同,土壤电阻率也有所改变。为了能够使测量所得值反映最不利情况时的土壤电阻率,必须将所

测得的土壤电阻率  $\rho_{测}$ ,根据测量时的具体情况乘以表 2 的换算系数  $\Psi$ ,得到设计时所采用的土壤电阻率  $\rho_{\pm}$ ,即:  $\rho_{\pm} = \Psi \rho_{测}$ 。

表 2 各种性质的土壤电阻率换算系数

土壤	深度/m	$\Psi_1$	$\Psi_2$	$\Psi_3$
粘土	0.5~0.8	3.0	2.0	1.5
	0.8~3.0	2.0	1.5	1.4
陶土	0.0~2.0	2.4	1.4	1.2
沙砾盖陶土	0.0~2.0	1.8	1.2	1.1
园地	0.0~3.0	-	1.3	1.2
黄沙	0.0~2.0	2.4	1.6	1.2
掺杂黄砂的沙砾	0.0~2.0	1.5	1.3	1.2
泥炭	0.0~2.0	1.4	1.1	1.0
石灰石	0.0~2.0	2.5	1.5	1.2

注:  $\varphi_1$  测量前几天降过较长时间的雨土壤很潮湿时使用;  $\varphi_2$  为测量时土壤较潮湿具有中等含水量时使用;  $\varphi_3$  为测量时土壤干燥或测量前降雨不大时使用。

## 2 土壤电阻率的测量

在接地技术中土壤电阻率是其主要技术参数。任何接地装置的设计都需依此为依据。接地工程竣工后的检验,投运后的安全性的评估也都需要这一原始数据。因此在设计初始阶段,当接地装置的所在位置确定后,即需进行土壤电阻率的物探工作,施工过程或投运后作为设计的校核亦需测量土壤电阻率。

测量前,应事先加工一垂直接地极或水平埋入一根扁钢的金属物作为模拟接地系统。例如:做一垂直接地极,一般可用直径不小于 15 mm,长度不小于 1 m(垂直插入地下的模拟金属体尺寸和埋深都应与将要施工的接地系统的单根垂直接地的尺寸埋深尽量一致)的镀锌钢管,将其一端加工成尖锥形或斜口形,便于在现场将其击入地下,然后用接地电阻测试仪进行测量接地电阻 ( $R_g$ )。其方法为,电流极 C 离开模拟接地极 E 的测量距离为  $S \geq 40$  m,电压极 P 的位置应置于电流极 C 和模拟测试点 E 的中间位置,分别将 3 根测试极击入地中。测量时电流极 C 的位置不变,移动电压极 P 的位置,在上述的区间取 3~5 个点,其读数平均值作为测量值 ( $R_g$ )。

按静电场原理,已知该模拟接地极的接地电阻:

$$R_g = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln \frac{4L}{d} \quad \text{整理后得:}$$

$$\rho = \frac{2\pi R_g}{\ln \frac{4L}{d}}$$

式中： $R_g$  为测得模拟接地体的接地电阻，单位为  $\Omega$ ； $L$  为模拟接地极击入地中的长度，单位为  $m$ ； $d$  为模拟接地极的直径，单位为  $m$ ； $\rho$  为土壤电阻率，单位为  $\Omega \cdot m$ 。

由扁钢作为模拟接地体时，土壤电阻率的计算公式为：

$$\rho = \frac{2\pi R_g}{\ln \frac{L^2}{hd}}$$

式中： $d$  为模拟接地极直径或等效直径，单位为  $m$ ； $L$  为扁钢的长度，单位为  $m$ ； $h$  为扁钢中线距地面深度，单位为  $m$ ； $R_g$  为测得扁钢接地体的接地电阻，单位为  $\Omega$ ； $\rho$  为土壤电阻率，单位为  $\Omega \cdot m$ 。

此方法在实践中经过多次应用，为防雷接地装置的设计及工程的预算提供了准确数据。

### 3 结语

在防雷工程设计前，工作人员必须对设置接地装置处的土壤结构进行细致全面的勘察、测量和计算，才能得出正确的设计方案。本文提出的土壤电阻率的测量方法，只是在工程上较容易实现的方案之一。我们在实际工作中，多次应用此方法进行土壤电阻率的测量，为防雷接地装置的正确设计及工程的预算提供了第一手资料，为方案的设计提高了可信度，并取得了良好效果。

### 参考文献

- 1 苏邦礼，崔秉球，吴望平，等. 雷电与避雷工程. 广州：中山大学出版社，1996.
- 2 章长东. 接地设计. 电世界杂志，1996，(6).