

防雷接地体性能改善及接地电阻分析计算

杨永龙^{1,2} 钱莉² 王生元²

(1 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 兰州 730020; 2 甘肃省武威市气象局, 武威 733000)

摘要 结合雷电防护工作中的经验和实例, 分析防雷接地体的特性。结果表明: 降低接地电阻, 主要是通过降低接地体的接触电阻和散流电阻; 增加接地体所围面积对接地电阻的减少有利; 应充分考虑复合接地体形状和接地网内屏蔽效应对接地电阻的影响; 接地体周围的土质、埋设深度和季节变化都影响土壤电阻率。接地极沿接地体网边缘设置, 网内接地极要稀疏布设, 接地极的长度一般不相等, 常用接地体埋设深度在 1.5~3.5 m 之间, 北方地区在冻土层以下。可采用性能稳定的降阻剂和在接地体周围更换土壤电阻率低的土质, 要使接地电阻达到要求的同时减少成本。

关键词 防雷 接地体 屏蔽效应 电阻

引言

雷电是具有危害性的天气现象, 是积雨云云中、云间及云地之间产生的放电现象, 是发生于大气中的一种瞬态大电流高电压强电磁辐射的天气现象^[1], 它不仅造成建筑物和森林火灾, 而且对电业、铁路、通信、石油等多种行业造成破坏甚至危及到人的生命。

当雷电发生时, 强大的雷电流不仅直接作用于地面和空间物体, 同时它所产生的空间电脉冲能够通过传导感应和耦合等方式使建筑物内电子系统上出现各种暂态过电压和过电压波, 这些不良电压易造成电子设备失灵和损坏^[2], 因此在防雷设计中, 不仅要考虑防直击雷, 同时还要考虑防雷电电磁脉冲、雷电电磁感应和地电位反击等。雷电的防护主要是采用对雷电流进行分流和阻断雷电波的入侵, 以及对保护设备所进行的屏蔽、等电位处理等综合技术, 主要利用 5 个方面的技术来达到防雷保护的目的: ①利用接闪器通过人工或建(构)筑物中金属结构引下线将雷电流引向人工和自然接地体中, 最后散入大地中以降低电位。②通过电气连接将避雷网、屏蔽网、建(构)筑物内金属钢筋和金属体进行互连, 形成多重屏蔽系统, 来保护人和设备的安全。③利

用搭接技术进行等电位连接^[3], 保证所有的设备、电缆屏蔽层、管道、金属体等处于一种均衡电位的状态。④通过自然和人工接地体将雷电流散射入地。⑤在引入的信号线和电源线上增设浪涌保护器, 以防雷电波的侵入。雷电的防护是一项复杂的系统工程^[4], 本文针对接地装置这一环节进行分析。

1 防雷接地的特性

雷电发生时, 其雷电流由接闪器通过引下线进入接地体散射到大地中。因此它不同于其它的电流, 有自身的特点, 首次雷击的雷电流可以达到 200 kA, 单位能量达到 10 MJ/ Ω ^[5], 通过接地装置的雷电流幅值很大, 造成接地体周围大地中的电流密度短时增大, 从而使得土壤中的电场强度得到增强, 如果场强超过土壤的击穿场强时, 造成接地极周围土壤中发生局部火花放电, 使土壤电导增加, 接地电阻值减小, 所以同一接地装置在不同雷电流作用下接地电阻值不一样, 其接地电阻小于工频电流下的数值。而且通过接地装置的雷电流陡度很大, 具有高频特性, 使接地体自身具有一定的电抗, 而这种电抗会阻碍雷电流流向接地体的远端, 接地体长度越长, 这种影响就越明显, 造成接地体性能得不到充分发挥, 使接地装置的电阻大于工频下的电阻值, 所以接

地装置具有电阻、电抗和容抗的特点,要达到好的防雷效果,必须使接地装置的阻抗减到最小。

接地装置是接地体和接地线的总称,人工或自然接地体对地电阻和接地线电阻的总和称接地装置的接地电阻。接地装置的接地电阻主要由4部分组成:①接地引线的电阻,是指需要接地的设备到接地体间引线本身的电阻,其阻值与引线的几何尺寸和材料有关。②接地体本身的电阻,其阻值由接地体所用的材料和几何尺寸决定。③接地体的接触电阻,是接地体表面被土壤包裹后相互产生,其阻值与它们之间的接触面和接触的紧密程度以及土壤的理化性质、含水量、颗粒状况等有关。④散流电阻,是沿接地体开始向远端扩散电流所经过路径的土壤电阻,其阻值大小主要由土壤的含水量和理化性质而定。

接地电阻虽由4部分组成,但起决定作用的是接触电阻和散流电阻。因此在接地装置设计时要重点考虑降低接触电阻和散流电阻,来达到降低整个接地体的接地电阻。

2 接地电阻的分析计算

由于半球电极的接地是接地研究的基础,取埋设在地面下的半球电极为样点,地面为参考镜面,利用镜像法使半球电极构成全空间球形电极,则接地电流流出面积扩大1倍,从而使接地电阻减半,假设都处于静电场中,介电常数为 ϵ ,球体半径为 r ,则球体电容为:

$$C = 4\pi\epsilon r \quad (1)$$

在静电场环境中,导体间的电容 $C=Q/U$,而两电极间的电导 $Z=I/U$, I 和 U 分别是极间电流和电压, Q 是电荷量。根据在静电场中的比拟原理,通过 C 和 Z 的可比性关系, $R=(\rho\epsilon)/C$,在电阻率为 ρ 的均匀导电介质中,接地导体球的电阻 R 为:

$$R = \frac{\rho\epsilon}{C} = \frac{\rho}{4\pi r} \quad (2)$$

而半球状电极的接地电阻正好是 R 的一半,对于接地极中的散流电阻 R_1 为:

$$R_1 = \int_{r_1}^{\infty} \frac{\rho}{2\pi r^2} dr \quad (3)$$

式中 r_1 为半球状电极的半径,从上面几式的关系得知,当 C 增大时 R 将减小,如果接地体所围面积越大,它对应的 C 就大,因此对于中、大型接地体主要

设计成以水平接地极为主,辅助用垂直接地极。只有当接地网所围面积等效为一个接地极时,接地极半径最大散流电阻 R_1 最小。

2.1 单一接地体电阻的计算

接地电阻的数值等于接地装置对地电压与通过接地体流入地中电流的比值。按接地体流入地中冲击电流求得的接地电阻,称冲击接地电阻(R_j),按通过接地体流入地中的工频电流求得电阻,称工频接地电阻(R_k),工频接地电阻和冲击接地电阻可由 $R_k = AR_j$ 互相转换^[6]。

在接地网设计中常用的土壤电阻率随温度、气候、季节以及土壤的干湿程度等因素的变化而改变,特别是在雨季,土壤渗透强,对土壤电阻率的影响比较大,表1为接地体在不同埋设深度区域中干、湿季节土壤电阻率的季节系数 α 的值,用它来转换设计和实测中的土壤电阻率。比如在雷雨季节中测得的土壤电阻率为 ρ 时,则转换为设计时采用的土壤电阻率为 $\rho' = \alpha\rho$ ^[7]。

表1 土壤电阻率的季节系数 α

埋设深度/m	水平接地体		垂直接地体	
	干	湿	干	湿
0.5	1.4	1.8	1.2	1.4
0.8~1.0	1.25	1.45	1.15	1.3
2.5~3.0	1.0	1.10	1.0	1.1

单一接地体主要有接地棒垂直接地,其接地电阻用 $R' = \frac{\rho}{L}$ 计算,接地带水平接地的接地电阻用 $R' = \frac{2\rho}{L}$ 计算,如果接地带环形接地的接地电阻可以通过,则 $R' = 0.6 \frac{\rho}{G}$,同样矩形接地体的接地电阻为 $R' = K \frac{\rho}{bc}$, K 在矩形接地体平放时为0.22,垂直放置时为0.253, L 为接地体长度(m), b 和 c 为矩形接地体的长和宽(m), G 是接地体所包围的土壤面积(m^2), ρ 为土壤电阻率($\Omega \cdot m$)^[8],单一接地装置主要用在第3类防雷建筑物中,其接地电阻值较大,易达到要求且成本低。

2.2 计算由水平或垂直材料组成的接地体电阻

当垂直接地体的长度为 L ,直径为 D (r 为半径)时其接地电阻 R_c 可通过式(4)计算:

$$R_c = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{D} \quad (4)$$

若采用其它型钢时 D 分别为扁钢宽度的一半, 等边角钢边宽的 0.84 倍, 不等边角钢 $D=0.71 \times \sqrt{b_1 b_2 (b_1^2 + b_2^2)}$, 其中 b_1, b_2 为角钢边长。

如果把接地体设计为水平形状, 埋深为 h 且形状系数为 E 时, 其接地电阻 R_s 由式(5)计算:

$$R_s = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{Dh} + E \right) \quad (5)$$

当总长度 L 不变时, 形状系数 E 越大, 其接地电阻也越大, 即整个接地装置埋入地中的金属材料没有得到充分利用。因此, 在接地装置设计时, 特别是比较大的接地网, 要充分考虑形状系数影响, 表 2 为各种形状水平接地体的形状系数 E 的取值^[9]。

表 2 不同形状水平接地体的形状系数值

	1	2	3	4	5	6	7	8
水平接地体的形状	—	┌	○	Y	□	+	*	*
形状系数	0.00	0.38	0.48	0.87	1.69	2.14	5.27	8.81

通常水平接地体的埋设深度 h 在 0.6 m 以下, 根据接地网规模大小其 L 值不同的特点, 选取形状系数 E 对接地电阻值影响小为原则, 对应 E 值在表 2 中选取几种相应形状的接地体, 再根据施工现场确定一种形状的接地体作为接地装置施工。

3 接地网内的屏蔽效应

在设计接地网时, 对于环形或者矩形接地体, 它所包围的面积内往往要增加许多接地极, 特别是接地网所围面积比较大时, 合理设计和布设接地极就显得非常重要。假设一定的面积 G , 如果在 G 中全部铺满金属物, 则地网面 G 内相当于一个整块金属板, 如果将其作为接地体则其接地电阻为最小 (R_1), 此时可以将它等效为一个圆电极, 其接地电阻可用式(6)计算:

$$R_1 = \frac{\rho}{4r} \left(1 - \frac{4h}{\pi r} \right) \quad (6)$$

式中 r 为圆电极的等效半径 (m), h 为埋设深度 (m)。

如果把面积 G 的区域外围用金属铺满, 而中间全部取消金属构件, 形状似一个管道, 此时它的接地电阻为最大 R_2 , 因此可以将其等效为一个环形体, 则 (R_2) 用式(7)计算:

$$R_2 = \frac{\rho}{4r\pi^2} \ln \frac{64r^2}{hd} \quad (7)$$

式中 d 为接地导体的等效直径, 如果 r 取一定值, $0.5 < h < 1$, 比较 R_2 和 R_1 , 则 R_2 的阻值下降不大, 这主要是两种接地体内部结构不同, R_2 虽然内部增加了金属物, 但是由于受到四周金属体产生的屏蔽作用, 使流入地网的电流绝大部分都通过外层金属散流入地。因此通过对圆电极和圆环的接地电阻计算得知, 在地网内层过多增加金属材料对降低接地电阻的作用效果不明显, 在设计施工时将接地极主要设置在接地网的边缘。

4 降低接地电阻和接地装置成本的一些方法

4.1 接地体布设中的不等长技术

接地网中都是有多根水平或垂直接地极组成, 如垂直接地极的长度大于 2.5 m, 则要求各接地极间的埋设间距大于等于 2 倍的单一接地极的长度, 其目的就是要减小相互间的影响, 但这个间距仍然能使接地极之间产生屏蔽效应。接地体之间的这种影响使每个接地极都不能充分发挥自身的效能, 这种作用造成各单一接地极散流电阻并不能以简单的并联值的和来计算接地体的散流电阻。假设接地体中各接地极用料的几何尺寸都相同, 则接地体的总电阻 $R_x = R_L / n\eta$, 其中 R_L 为接地极的电阻, n 为接地体中并联单一接地极的根数, 此时在接地体电阻计算时就引入了接地体利用系数 η , η 与接地体的形状和接地极的位置有关, 它是接地装置中每个接地体的平均接地电阻与单个接地极接地电阻之比。计算时 η 是指冲击利用系数, 如果接地体中 2 个接地极之间的距离大于等于 40 m, 则利用系数 η 为 1, 但在实际中接地体的布设受到环境位置的限制, 很难作到 $\eta=1$, 因此为使 η 值尽可能接近 1, 比较实用的一种方法是在布设接地极时采用不等长技术法, 就是让各垂直接地极长度不相等, 将这些接地极按“一长两短”或“两长一短”的形式埋设, 这样可以减小接地极间的屏蔽作用, 从而降低接地体的散流电阻, 达到降低接地装置的接地电阻。

4.2 接地体埋设深度的确定

接地体埋设愈深, 其土壤的相对湿度和温度的变化愈小, 接地电阻相对稳定, 相比垂直接地体比水平接地体埋设要深, 在实际设计中一般根据经验确定埋设深度与接地体的等效半径之比大于 1/10, 虽

然理论上深度越深越好,比如深井埋设这样特殊的接地网,其接地极要穿过不同 ρ 值的地质层与地下水层相接。但常用的接地网其实际测得接地电阻的值,较深埋设和适宜埋设,其阻值相差不明显,特别是在均匀土壤中阻值变化较小,因此并不是埋设越深越好。利用半球接地体来计算垂直接地体的接地电阻 $R = \rho/2\pi r = \rho/2\pi h$,则 R 与 h 成反比,比较它们的变化率,则:

$$\frac{\partial R}{\partial h} = -\frac{\rho}{2\pi h^2} \quad (8)$$

由式(8)可以得知降阻率的变化与 h 的平方成反比,当埋设深度 h 到一定值后,降阻率逐渐接近零,因此深度 h 并不一定要求值大。对于接地体的埋设深度,不仅要考虑降低接地电阻,同时也要考虑埋设深度的成本。在设计中主要由接地装置的等效半径以及地质环境而定,如果不是特殊环境的特殊接地装置,常用的接地体的埋设深度选取深度为1.5~3.5 m,北方地区要根据当地的气象条件确定,要求必须在冻土层以下,因为土壤中的电阻随温度的降低而增大,在土壤温度高于冻结温度时,电阻随温度变化不大,但当土壤冻结时,电阻会剧增,且随温度降低而电阻迅速增大^[11]。

4.3 降阻剂的作用

当接地极被降阻剂包裹后,其散流电阻发生了变化,利用半球状电极来说明,假设 r_1 是半球电极的半径, r_2 是充填了降阻剂后半球电极的半径, ρ_2 为降阻剂的电阻率,则半球电极的散流电阻为:

$$R = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho_2}{2\pi r^2} dr + \int_{r_2}^{\infty} \frac{\rho}{2\pi r^2} dr \quad (9)$$

从式(9)知当 ρ_2 远小于 ρ 时,降阻剂充填半径越大,散流电阻值就越小,这是降阻剂起降阻作用的内在原因。

质量好的降阻剂对接地极具有保护防腐作用,同时又能改善土壤的电特性,对降低接地电阻有一定的效果,所以在接地体铺设中都要加入一定量的降阻剂来改善接地效果。降阻剂使用时,①要考虑它的防腐性,其导电惰性物对金属不发生化学反应。其胶凝物和添加剂与水混合凝固后紧密地附着在接地极周围,防止氧的渗透及土壤腐蚀介质的侵袭,对金属具有保护作用。②它的稳定性要好,降阻剂中加入物质都凝固在接地体周围,它与接地体不能发生化学变化,而且内部组成物质不因季节而流失,其

导电性不受高低温、干湿度和环境介质的影响,降阻作用时间要长。③降阻剂的电特性要好,降阻剂电阻率远小于土壤电阻率,与土壤和接地体金属紧密结合,使接地金属极与降阻剂层、降阻剂层与土壤间有效接触面增加,接触电阻减小有利于稳定泄流降阻,这也是降阻剂的主要作用。最后对降阻剂的环保特性要考虑,有些降阻剂内的添加物对地下水和周围环境有一定的负面影响,特别对接地体周围植物根系的损伤,易造成植物枯死。对于西北干旱的特点一般选择物理性的降阻剂,其导电性受干湿和环境温度的影响小,且比较稳定。

4.4 接地极周围土质的更换

接地体埋设在地面0.6 m以下,不同土质的 ρ 值对接地电阻有很大的影响,而垂直接地极有时要穿过不同 ρ 值的土壤。在实际中多个接地体相比较更换土质对降阻效果明显,因此在设计和施工中要考虑尽可能更换 ρ 值低的土质,同时要求在施工中将垂直接地体坑内、水平接地体沟内的低电阻率土壤回填后要分层夯实,以防吸氧腐蚀,回填土用细土,回填土内不得有石块、沙子和建筑垃圾等,更不能有腐蚀性物质。一般埋设接地极的坑或沟的宽度要大于1 m,如果过小虽然减少了土方的开挖和土质的更换量,但容易造成以后接地电阻突增,这主要是在雨季大量水渗透后,更换的土质流失,接地极周围高 ρ 值的沙土渗透,造成散流电阻和接触电阻增大。

5 接地体周围跨步电压的防御

接地体相对大地的零点是接地体的最外端延伸20 m外处的大地。雷电流经接地极流入大地时,由于接地极不同的布设和埋设深度对应地表有不同的电位分布,当人在接地极附近走动时,两脚将处于大地表面的不同电位点上。设人两脚间跨距为0.8 m,使得地面上水平距离0.8 m的两点间产生电位差,这一电位分布就产生跨步电势,并且该电势出现的位置与电极的形状、尺寸和埋设深度有关,但均在该电极附近产生。当人体两脚接触到这两点时,则对人体产生跨步电压,易对人体造成危害。

在多层土壤中,下层土壤所引起跨步电势的变化很小。分析跨步电势时,主要考虑上层土壤的作用。为了防止跨步电压的危害,要提高接地极上层土壤的 ρ 值,加大地表土壤电阻率来增大人脚与地

面间的接触电阻,减小跨步电压。

由于干燥的混凝土 ρ 值比较大,潮湿的混凝土 ρ 值相对小,因此在接地体距地面 0.6 m 之间,既要用混凝土做表面硬化处理,同时要在混凝土之下用高 ρ 值的材料埋埋接地体,比如碎石和沙砾的混合物,从而预防跨步电压的危害。

6 接地装置设计实例

以承接的某单位防雷工程为例,该工程保护对象是办公楼中的计算机系统,接地采用独立接地,因此根据《建筑物电子信息系统防雷技术规范》的要求,该信息系统的接地电阻小于 4Ω 就符合要求,制作小于 4Ω 的接地网一般都比较容易,但对方提出其接地电阻小于 1Ω ,使得接地装置的技术难度加大,为此我们首先提取了该办公大楼周围的地质数据,由于土壤电阻率沿水平和垂直方向的不均匀分布,其周围地质环境中 0.1 m 以下主要是建筑垃圾、沙石和壤土的混合物,1.2 m 以下都是沙石,需要在 0.6 m 以下水平和垂直多点测试,垂直测试取阶梯式点,测试结果土壤电阻率在 $500 \sim 550 \Omega \cdot m$ 之间。

在设计时取 $\rho' = \alpha\rho$,由表 1 知 $\alpha = 1.15$, ρ' 在 $575 \sim 633 \Omega \cdot m$ 之间,接地体的有效长度 $L = 2 \sqrt{\rho'} = 52 m$ ^[5],根据该单位的周边环境将接地体设计成环形和矩形都不利于施工,而 $L = 52 m$ 这个长度也难以在现场展开,因此考虑更换土质,以降低土壤电阻率,从而达到缩短接地体有效长度的目的。就近取当地的一种土壤,测试土壤电阻率在 $90 \Omega \cdot m$ 左右,则此时 ρ' 可以取 $100 \Omega \cdot m$, L 为 20 m,垂直接地极如采用直径 50 mm 的镀锌钢管,则接地电阻为 $R_C = 5.85 \Omega$,此值不能达到要求,且相差过大。为此根据办公楼周边空地长度将 L 最大延伸到 25 m,并且专门选取当地山川地带的一种粘土壤,这种土含沙粒很少有一定的粘性且保水性好,有利接地电阻的长期稳定,测试其土壤电阻率在 $60 \Omega \cdot m$ 左右,则 $\rho' \approx 70 \Omega \cdot m$,同时将接地体设计为 2 个长度都是 25 m 且互相垂直的形状,然后用两根 25 m 长水平扁钢将各垂直接地极焊接,最后再将二者相互连接,形成水平放射连接的垂直接地体,将垂直接地极的材料改用直径 75 mm 的镀锌钢管,水平埋设深度在 0.6 m 以下(图 1)。由表 2 取 E 值为 0.38 计算接地电阻,由于垂直接地体的垂直接地极有 6 个,则:

$$\frac{1}{R_C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{Ci}} \tag{10}$$

由于式(10)要计算每个接地板的阻值,如果接地板比较多则计算麻烦,采用简便方法,直接用所设计接地体的最大有效长度来计算,则垂直接地电阻 $R_C = 2.9 \Omega$,水平接地电阻 $R_S = 2.5 \Omega$,此接地装置是 2 个水平接地体连接的垂直接地体,它的冲击利用系数 $\eta = 0.82$,则总接地电阻通过下式计算^[9]:

$$R = \frac{R_C \frac{R_S}{n}}{R_C \frac{1}{n} + R_S} \frac{1}{\eta} \approx 1.1$$

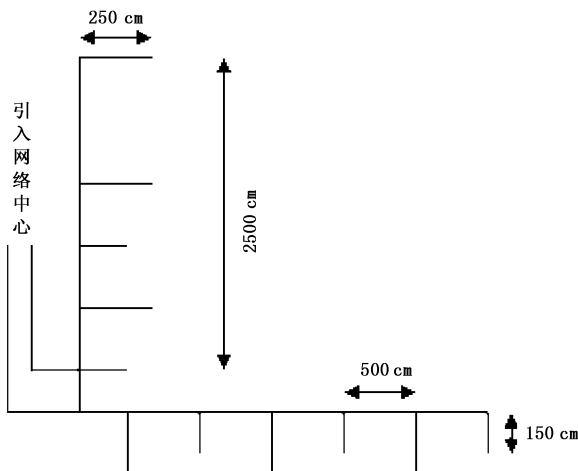


图 1 接地装置设计图样

显然设计和要求有 0.2Ω 差距,同时考虑随着时间推移接地电阻将缓慢增加等因素,只有将接地电阻下降近 0.4Ω 才能达到设计要求。此时接地电阻的下降要依靠施工质量和工艺来完成,考虑到 1.2 m 以下都是沙石,将以 1.2 m 的宽度开挖,用降阻剂均匀地把垂直和水平接地极包裹,不可留间隙,以防接地极被腐蚀,将适量盐和木炭与土混合回填,洒水并夯实,使接地体所有部位都与空气隔离,测试接地电阻在 0.8Ω ,达到要求。对接地体各极等验收后,用 40 cm 厚碎石和炉渣铺垫,防止跨步电压的危害,最后用 20 cm 混凝土做地面硬化和环境处理,经过一个秋季后测试接地电阻在 0.5Ω ,来年春季比较干燥时测定为 0.6Ω ,接地电阻变化比较稳定,说明接地装置的设计和施工都达到了要求。在回填土壤时要注意土壤中加入的水和混合的盐不能过多,过多使初次测试阻值很低,造成接地效果好的现象,但土壤中的盐分随着时间的增加和雨水的渗透很容易流失,土壤中加入的水分散失后,接地电阻反弹比较

大,易造成二次施工。

7 总结

通过对接地体内部的分析,充分了解雷电流通过接地体时所表现的特性和对周围土壤及环境所产生的影响,特别是接地电阻的性能变化,为科学合理地判断地下埋设部分提供一定的经验,也为防雷接地系统的设计和防雷工程的检测及验收提供技术参考。

参考文献

- [1] 孟青,吕伟涛,姚雯,等.地面电场资料在雷电预警技术中的应用[J].气象,2005,31(9):30-33.
- [2] 张小青.建筑物内电子设备的防雷保护[M].北京:电子工业出版社,2000.
- [3] 谢征.卫星通信小型地球站雷电防护技术[J].气象科技,2005,

33(3):276-277.

- [4] 林松良.城市雷电灾害防御问题探索与实践[J].气象科技,2001,29(3):40-41.
- [5] 建筑物电子信息系统防雷技术规范(GB50343-2004)[S].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [6] 建筑物防雷设计规范(GB50057-94)[S].北京:中国计划出版社,2000.
- [7] 徐少强,胡国新.输配电线路施工技术手册[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [8] 牛新国.电工技术常用公式与数据手册[M].北京:金盾出版社,2001.
- [9] 李景禄.实用配电网技术[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [10] 交流电气装置的接地(DL/T621-1997)[S].北京:中国电力出版社,1998.
- [11] 何平.土冻结过程中电阻的特性及应用[J].冰川冻土,1990,12(4):366.

Performance Improvement of Lightning-Protection Earthing Electrodes and Analysis and Computation of Earthing Resistance

Yang Yonglong^{1,2} Qian Li² Wang Shengyuan²

(1 Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, CMA Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020; 2 Wuwei Meteorological Bureau, Gansu Province, Wuwei 733000)

Abstract: On the basis of the experiences and examples from thunder and lightning protection practice, the characteristics of lightning protection earthing electrodes are analyzed. The results show that reducing earth resistance is mainly through reducing the contact resistance of earthing electrodes and dispersed resistances; increasing the encircled area of a earthing electrode is advantageous to the reduction of earthing resistance; the shapes of compound earthing electrodes and the influence of screening effect in the earthing grid on earth resistance should be fully considered; the soil resistivity is affected by the soil property around the earthing body, the burying depth of earthing electrodes, and seasonal variation. The earthing electrodes are arranged along the edges of the earthing grid, and the electrodes are distributed sparsely in the grid with different earthing electrode lengths. Generally, the burying depth of a common-used earth body is between 1.5 m and 3.5 m, below the frozen earth level in North China. The friction-reducing agents with stable performance and the soil with low soil resistivity can be used around earth bodies so to reduce costs while filling the requirement for earth resistance.

Key words: lightning protection, earthing electrode, screening effect, soil resistivity