

建筑物防雷中的屏蔽问题

中国科学院电工研究所(100080) 马宏达

摘要 阐述雷电对建筑物内电气设备的主要电磁干扰途径,以计算实例说明各种电磁屏蔽措施的作用,并提出几种实际有效的屏蔽措施。

关键词 建筑物防雷 电磁屏蔽 法拉第笼 合理布线

电子技术的发展使建筑物防雷中的屏蔽问题越来越受到人们的重视。我国国家标准《建筑物防雷设计规范》(GB50057-94(修订本))(以下简称《防雷规范》)即将发表,其中新增了关于屏蔽的条文。这些新条文大多引自国际防雷标准 IEC 的有关文件。新条文使防雷的屏蔽设计有了一套共同的计算方法和雷电流标准参考值,便于工程的比较和评估。许多人对这些屏蔽条款的使用还不了解。我们在高电压试验室的建设和强电流脉冲放电试验中,以及在各种建筑物防雷模拟试验中积累了一些屏蔽的实践经验,现将这些经验和新规范屏蔽计算的结果进行

比较,并谈谈笔者对建筑物防雷屏蔽设计的意见,与同行们商榷。

建筑物防雷设计人员首先要明确雷击下对电气设备的主要电磁干扰源及其干扰的途径,然后才能采取切实有效的屏蔽措施。雷击模拟试验和事故经验表明:雷击造成的地电位浮动和引下线中雷电流的电磁辐射是最大的干扰源。我们就这种情况进行讨论。

1 雷击地电位浮动造成的反击和电磁干扰

建筑物遭受雷击时雷电流 I_m 注入其防雷接地装置,见图1,在冲击接地电阻 $R_{\text{冲}}$ 上形成一强大

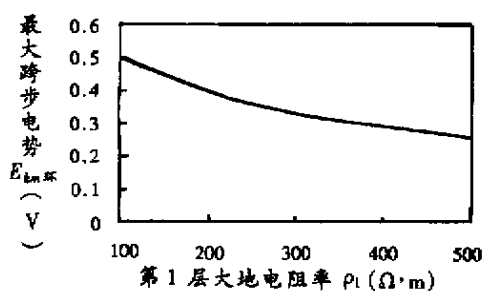


图16 最大跨步电势 E_{km} 与第1层大地电阻率的关系

3 结论

本文用解析的方法分析了双层大地第2层中接地电极产生的地表面电位分布的规律,及接地电极在地表面形成的跨步电势的变化规律,定量地总结出跨步电势随覆盖层厚度的增加或电阻率的增加而下降的结论,证实了高电阻率物质(例如砾石、碎石、沥青混凝土等)对于降低跨步电势、确保人身安全所起的作用。

参考文献

- 1 高桥, 蔭因, 川瀬. 2層大地に打ちこまれた棒状電極の接地建築物防雷中の屏蔽問題——马宏达

抵抗(接地棒が第2層に達している場合). 電気設備工学会誌, 1982;2(2):38-41

- 2 高桥, 川瀬. 多層大地における棒状電極の接地抵抗の解析. 電気学会論文誌B, 1988; 108(5): 229-235

- 3 G.F.Tagg. Earth Resistance. London: George Newnes Limited, 1964; 161-177

- 4 马尔高林著. 贺家李译. 地中电流. 上海: 龙门联合书局, 1954; 73-82

The surface Potential Distribution of Earthing Electrode in the Second Layer of Two-layered Earth

Liu Xun Yao Zonggan

(Huazhong University of Science & Technology 430074 China)

Abstract This Paper presents the surface potential distribution of driven rod electrode, horizontal wire electrode and ring of wire electrode in the second layer of two-layered earth. The step potential caused by earthing electrode has been analyzed as well, while the first layer is considered as a cover with high resistivity

Key words Two-layered earth Driven rod electrode Buried wire electrode Buried ring of wire electrode Surface potential distribution Step potential

的冲击电压 U_m ，此冲击电压作用在电气设备的金属外壳上，电气设备绕组与设备金属外壳相当于电容 C ，其绕组的端部与电源网络相联，它相当于经波阻抗 Z 接地。电气设备绝缘上作用的电压取决于冲击电压波形和 ZC 回路的时间常数。在实际条件下电气设备绝缘上的反击电压几乎与接地装置上的冲击电压 U_m 一样大，一般达 300~900kV，足以使电气设备绝缘击穿。为了保护电气设备免于击穿，就要在电气设备的端部安装浪涌保护器，使其在雷击下成为暂态等电位。这种情况在山上的雷达站和空旷地带的通讯站应特别注意。城市中的高层建筑利用基础钢筋作接地网，其接地电阻值一般都很小(小于 1Ω)，这种建筑物都有较大的电容值(μF 级)，因此它的地电位浮动值较低，主要表现在四周的钢筋柱子上，在它的中心部位和底层地电位浮动值更小。

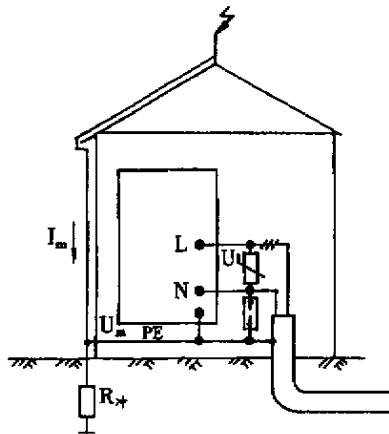


图1 接地装置上的雷电反击过电压

从落雷建筑物引出的电源线和信号线都可能传播过电压波到其它相联的建筑物中去，在那里击坏电力和通讯设备。所以《防雷规范》规定：所有电讯线路都必须有屏蔽，架空电力线在进入机房前必须改为屏蔽电缆或穿铁管，屏蔽电缆的铝装外皮和铁管的两端都要就近接地。

配电室电源线经电缆或穿线铁管接到机房，见图2，配电室遭到雷击，雷电反击的部分雷电流 I_p 经电缆外皮流入机房的接地装置，电缆导电外皮的电阻为 R_m ，电缆芯线与其外皮间耦合电压为 $U_p = I_p \cdot R_m$ 。我国防雷学者共识(参见参考文献)，屏蔽电缆和穿线铁管要埋地长度 10m 以上，埋地深度 0.6~1m，才能使这种电阻耦合过电压减小到安全程度。

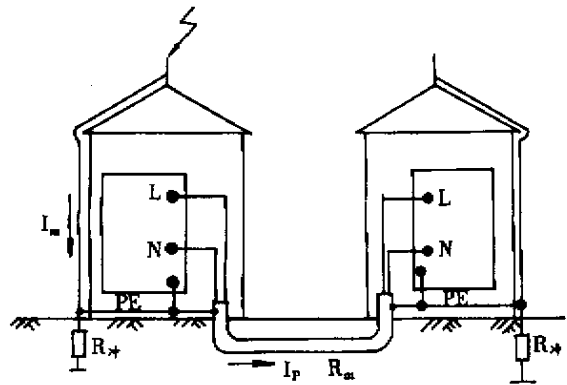


图2 雷电流经电缆段传播的电阻耦合电压

2 雷电电磁干扰的屏蔽和线路措施

雷电流经引下线注入接地装置，它对周围设备造成的电磁辐射干扰与建筑物结构的屏蔽性能、电气设备外壳的屏蔽性能和线路的布线情况有很大关系，见图3。图中，(a)代表建筑物无屏蔽性能(如砖木结构的建筑物)，设备有金属外壳，电源和通讯线路布置成大环形，这种情况下在感应环路内可能产生强脉冲感应电势。显然这是一种不理想的布置方式。(b)代表建筑物有屏蔽措施(如有避雷网)，但一般避雷网的屏蔽性能并不理想，在线路大环内仍能感应出较强的干扰电势。(c)代表电源和通讯线路都合理排线，避免形成大环路，这样，尽管建筑物无屏蔽措施，因为感应环路包围的面积小，其产生的感应电势也会较弱。(d)代表对线路采取合格的屏蔽措施(采用屏蔽电缆或穿铁管布线等)，并

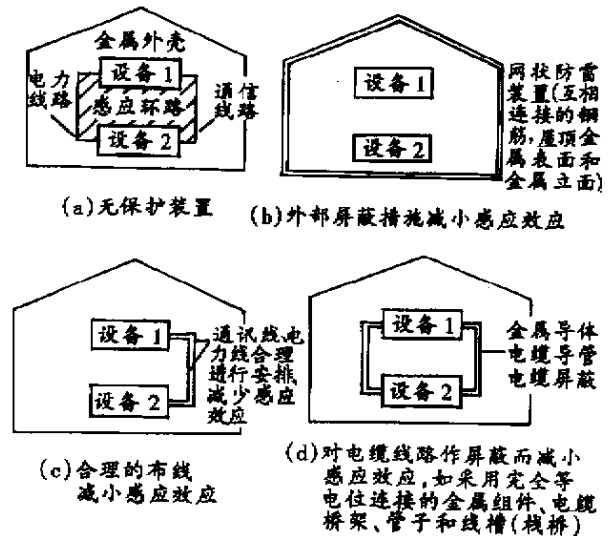


图3 消除雷电电磁干扰的屏蔽和线路的措施

注：本图引自 IEC1312-1 雷电电磁脉冲的防护，第一部分：通则。

充分发挥设备外壳的屏蔽作用,注意采用等电位联结和合理的接地联结方式,一般这样做就会得到相当好的屏蔽效果。只有在干扰源经常作用,电气设备又非常敏感的情况下才需要专设屏蔽室。

1985年王时煦先生在第二版《建筑物防雷设计》一书中特意提出了建筑物防雷设计的六项重要因素,即接闪功能、分流影响、屏蔽作用、均衡电位、接地效果和合理布线。在合理布线一节中,他指出:各种金属管线都和防雷系统有直接或间接的关系,必须考虑建筑物内部的电力系统、照明系统、通讯系统各种金属管线的布线位置、走向以及与防雷系统的距离关系,也包括建筑物内部各种金属设备和防雷装置的关系。因此,重要建筑物内各种电气线路都必须穿金属管或采用金属屏蔽电缆。现在建筑工程界推广UPVC塑料管用于布线,考虑雷电反击和各种电磁脉冲干扰的危险,笔者认为对UPVC管的推广范围要慎重界定,在要求电磁脉冲防护的重要建筑物中应限制使用UPVC塑料管布线。

3 仪器金属壳体的屏蔽效能的计算

按照1999年11月发出的《建筑物防雷设计规范》GB50057-94局部修订条文征求意见稿规定的标准雷电流波形和幅值,我们计算单根引下线流过雷电流时距离 s_a 处一电气设备框架内产生的电磁感应电压,见图4。

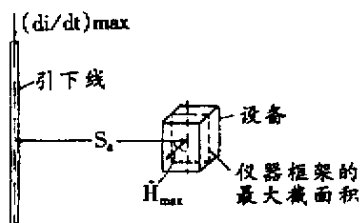


图4 雷电流流经单根引下线时对距离为 s_a 处电气设备的电磁感应效应

当仪器框架尺寸远小于它与引下线间的距离 s_a 时,其所在处磁场强度的最大变化率

$$\dot{H}_{max} = \frac{(di/dt)_{max}}{2\pi s_a} \quad (\text{A/s}\cdot\text{m}) \quad (1)$$

其中: $(di/dt)_{max}$ ——流经引下线雷电流的最大变化率, A/S;

s_a ——仪器到引下线的平均距离, m。

在仪器框架平面中产生的最大感应电势

$$u_{max} = \mu_0 \cdot A \cdot \dot{H}_{max} = 0.2 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{A}{s_a} \cdot (di/dt)_{max} \quad (\text{V})$$

建筑物防雷中的屏蔽问题——马宏达

(2)

其中: μ_0 ——真空磁导率, $4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$;

A ——仪器框架的面积, m^2 ;

\dot{H}_{max} ——仪器处的磁场强度的最大变化率, $\text{A/m}\cdot\text{s}$;

s_a ——引下线到仪器间的水平距离, m;

$(di/dt)_{max}$ ——引下线中雷电流的最大变化率, A/s 。

假定仪器框架内允许的感应电势为 u_p (V), 必须的屏蔽系数为 S_f , 则有

$$S_f = \frac{u_{max}}{u_p} \quad (3)$$

需要的屏蔽衰减率

$$SF = 20 \cdot \lg S_f \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

仪器壳体的屏蔽效能与电磁波的频率有关,为了评价金属壳体的屏蔽能力必须规定一个当量频率,防雷规范中规定当量频率 f 为100kHz。仪器壳体的最小屏蔽厚度 α 应为

$$\alpha \geq \delta \left(\ln S_f - \ln \frac{\gamma_E}{4.24 \cdot \mu_\gamma \cdot \delta} \right) \quad (\text{m}) \quad (5)$$

其中: S_f ——当量频率 f 下的屏蔽系数;

μ_γ ——仪器壳体材料的磁导率, H/m ;

δ ——当量频率 f 下电磁波对屏蔽壳体的穿透深度, m;

γ_E ——屏蔽壳体的等值半径, m。

穿透深度 δ 为

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f \cdot \mu_\gamma}} \quad (\text{m}) \quad (6)$$

其中: ρ ——仪器壳体材料的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$ 。

屏蔽壳体的等值半径 γ_E 为

$$\gamma_E = 0.62 \sqrt[3]{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3} \quad (\text{m}) \quad (7)$$

其中: S_1, S_2, S_3 ——仪器壳体的三个边长, m。

常见的屏蔽壳体材料特性见下表。

屏蔽壳体材料的特性(在当量频率100kHz下)

壳体材料	μ_r (H/m)	ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	δ (m)
铝	1	2.9×10^{-8}	2.7×10^{-4}
铁*	200	1.3×10^{-7}	4.1×10^{-5}
铜	1	1.78×10^{-8}	2.1×10^{-4}

* 一般为软铁板和白铁板。

我们取第二类防雷建筑物的雷电流参量进行计算, $(di/dt)_{max} = 150kA/\mu s$, 取仪器距引下线 10m, 仪器的三个边长为 0.4m, 0.4m, 0.5m, 最大的感应截面积为 $A = 0.4 \times 0.5 = 0.2m^2$, 于是算出, $u_{max} = 600V$, 假定 $u_p = 8mV$, 则必需的屏蔽系数为 $S_f = 7.5 \times 10^4$, 相应的必需屏蔽衰减率 $SF = 98dB$, 仪器屏蔽壳体的等值半径 $r_E = 0.27m$, 代入(5)式得 α (铝) = 1.56mm; α (铁) = 0.41mm; α (铜) = 1.16mm。由于雷电流标准波形中含有大量的低频成分, 所以用铁壳体做屏蔽罩的效果最好。

4 笼形避雷网的电磁屏蔽效果的计算

4.1 独立避雷针接闪时的情况

建筑物的钢筋结构有多种, 其中只有现浇密网的笼式避雷网结构才有较好的电磁屏蔽性能。实际建筑物的钢筋网与《防雷规范》修订稿中的计算模型有很大的不同, 所以这些计算只有一定的参考的价值, 重要的建筑物要实地试验测量才能准确地做出判断。规范修订稿条文给出格栅形大空间屏蔽的屏蔽衰减率为 SF

$$SF = 20 \cdot \lg(8.5/w) \quad (dB) \quad (8)$$

式中: w ——格栅形屏蔽的网格宽度, m, 适用于 $w \leq 5m$ 。

其有效的屏蔽空间为 V_s , 见图 5, 有超标漏磁强度的作用距离

$$C_{s/1} = w \cdot SF/10 \quad (m) \quad (9)$$

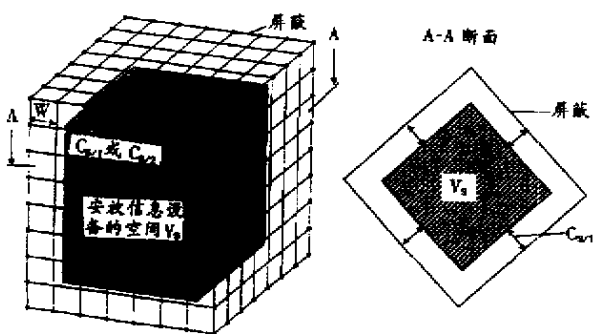


图 5 格栅形屏蔽的计算模型

建筑物的门窗将有比 w 大得多的尺寸, 设其最大边长为 w_m , 因此超标漏磁强度的深入距离必然加大, 变为 $d_{s/1}$

$$d_{s/1} = w_m \cdot SF/10 \quad (m) \quad (10)$$

无屏蔽网时距避雷针 s_a 处的最大磁场强度

$$\cdot 40 \cdot (40)$$

$$H_0 = \frac{i_0}{2\pi s} \quad (A/m) \quad (11)$$

式中: i_0 ——避雷针的接闪电流, A。

在有屏蔽网时其中心处的最大磁场强度可衰减为 H_1

$$H_1 = \frac{H_0}{(10^{SF/20})} \quad (A/m) \quad (12)$$

我们举例说明有关计算结果, 参看图 6, 假定: $s_a = 30m$, $s_1 = 3m$, $s_2 = 4m$, $s_3 = 5m$, $w = 10cm$, 则

$$SF = 20 \cdot \lg(8.5/w) = 20 \cdot \lg(8.5/0.1) = 39dB;$$

$$C_{s/1} = w \cdot SF/10 = 0.1 \cdot (39/10) = 0.39m;$$

设门窗的最大边长为 $w_m = 2m$, 则超标漏磁强度穿透深度可达

$$d_{s/1} = w_m \cdot SF/10 = 2 \cdot (39/10) = 7.8m;$$

设避雷针接闪电流为 $i_0 = 150kA$, 当无屏蔽网时, s_a 处的最大磁场强度应为

$$H_0 = 150 \cdot 10^3 / (2 \cdot \pi \cdot 30) = 796A/m;$$

在有屏蔽网时其中心处的最大磁场强度可衰减为

$$H_1 = 796 / (10^{39/20}) = 8.9A/m。$$

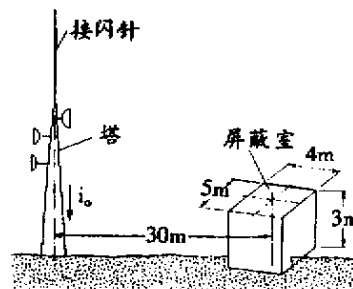


图 6 独立避雷针接闪时格栅形屏蔽网屏蔽效能的计算

4.2 避雷网直接接闪时的情况

防雷规范修订稿给出避雷网直接接闪时, V_s 空间内某点的磁场强度 H_1 应按下式计算

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot W / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (A/m) \quad (13)$$

式中: d_r ——被考虑的点距屏蔽网顶部的最短距离, m;

d_w ——被考虑的点距屏蔽网壁的最短距离, m;

k_H ——形状系数, 取 $k_H = 0.01, 1/\sqrt{m}$;

w ——栅形屏蔽网的网格宽度, m。

整流所接地导体的材料选择及截面计算

沈阳铝镁设计研究院(110001) 聂立新

摘要 结合某大型铝厂的设计实例,阐述了在整流所接地系统中,铜和钢都可以作为接地导体。但对于地下接地回路,接地体采用钢(形成钢-钢连接)比采用铜(形成铜-铜连接)好,可以减少电化腐蚀的影响,可以利用电气设备的金属支架作为接地导体,并通过计算选择了钢接地体的截面。

关键词 整流所 接地 材料 截面

在电解铝厂,整流所的安全运行是铝厂正常生产的重要保证,而整流所的接地回路对整流装置的安全可靠运行又是非常重要的。因此,在整流所设计时对其接地系统应引起人们的足够重视,特别是

式(13)的计算值仅对距离屏蔽网有一定安全距离 $C_{s/2}$ 的空间 V_s 内有效,

$$C_{s/2} = w \quad (\text{m}) \quad (14)$$

避雷网有门窗时,门窗处将有超标漏磁强度侵入,其穿透深度为 $d_{s/2}$,

$$d_{s/2} = w_m \quad (\text{m}) \quad (15)$$

式中: w_m ——门窗的最大边长, m。

规范修订稿规定信息设备应安装在 V_s 空间内,而不应放在有超标磁场强度的地方。

我们举例计算说明这一种情况,假设: $w = 0.1\text{m}$, $d_s = 1\text{m}$, $d_w = 0.5\text{m}$, $i_0 = 150\text{kA}$,将各值代入(13)式中

$$H_1 = 0.01 \cdot 150 \cdot 10^3 \cdot 0.1 / (0.5 \cdot \sqrt{1}) = 300\text{A/m}$$

$$C_{s/2} = 0.1\text{m}$$

假设门窗的最大边长为2m,则 $d_{s/2} = 2\text{m}$,信息设备在门窗附近将受到超标磁场强度的感应。上述计算结果与高电压试验室和避雷网模型的实测结果的数值虽略有不同,其定性的趋势是一致的。

5 建筑物防雷屏蔽改造工程的一些经验体会

要重视室内和室外电气线路的屏蔽。在户外的屏蔽办法是消除乱拉架空线的习惯做法,努力把线缆按《防雷规范》规定敷设在地下和地上的金属线槽、铁管和栈桥中。电源线和信息线路要分别敷

整流所接地导体的材料选择及截面计算——聂立新

其接地导体的材料选择及截面计算。下面以由中外联合设计的某铝厂整流所工程为例对此加以阐述。

1 接地导体的材料

1.1 铜和钢都能用作接地导体

屏蔽管,不可共用一个屏蔽管,以消除其间的电磁耦合。屏蔽管一定要两端接地,中间一定要完整没有大的裂缝,尤其不要有横向的裂缝。已经敷设的露天电缆和线路可用角钢或槽钢扣起来并进行焊接,施工时注意不要烧损原敷设的线路。室内可用铁管或铜管穿线,但不宜使用铝管,铝管接口处导电性能不好,影响屏蔽效能,在雷电流的作用下其接口处容易打火并引发事故(见参考文献)。经验表明上述措施可大幅减少雷达站和通讯站的雷电事故。

6 结论

6.1 电气设备的最大雷电电磁干扰源是地电位浮动,它重则造成雷电反击事故,轻则使电讯设备不能正常工作。所以防雷电磁干扰要从合理布线、合理屏蔽、合理接地和安装必要的浪涌保护器等几方面下手才能解决。

6.2 一般建筑物的避雷网其网格大,不具备应有的屏蔽能力,密网格的笼式避雷网才有较好的屏蔽性能。由于使用的要求它们都要安装门窗和通气管道等,这些开孔使其屏蔽能力降低。实际的屏蔽条件是由仪器的屏蔽铁壳和穿线铁管来完成的。因此,开窗和开门就不成为规范仪器安装位置的重要条件了。

参 考 文 献

马宏达.论铁管布线的防火、防雷和防电磁脉冲的作用.建筑电气,1999;18(2):12~16