

不同等电位接地方式对防止雷电流损害设备效果的分析

对电子设备等电位联结形式以及等电位联结的接地方式进行分类,通过计算分析,指出各种类型等电位接地方式对雷电流的防御效果和存在缺点,最后指出做好各项等电位联结措施的重要性。

谢宝永 林世祺/中山市防雷设施检测所

0 引言

等电位联结能有效消除或降低电位差,在防范人身电击和电气爆炸火灾等用电安全措施中起重要作用。对于等电位联结方式和技术方法,电气和防雷工作者已做了不少研究和论述^[1-4],文献[1]在等电位联结的方式上作了介绍,文献[3-4]还在等电位联结的技术上作了分析,但是在做好等电位联结的同时,等电位接地形式也同样重要。本文针对不同等电位联结的接地形式存在问题进行分析,为电气和防雷工作在实际工作中提供参考,以尽可能减少受到雷击时因为等电位的问题损坏设备。

1 现有等电位联结形式

等电位联结是将分开的装置、诸导电物体用等电位联结导体或电涌保护器(SPD)连接起来以减少雷电流在它们之间产生的电位差。等电位联结的形式分为:直接等电位联结和间接等电位联结,直接等电位联结是采用不带电导体联结,间接等电位联结是通过带电导体联结,例如通过SPD联结。直接联结的等电位联结基本方式可分为S型和M型。

1.1 S型等电位联结

S型等电位联结应仅通过唯一的一点,即接地基准点ERP组合到共用接地系统中去形成Ss型等电位联结,如图1所示。在这种情况下,设备之间的所有线路和电缆当无屏蔽时,宜按星形结构与各等电位联结线平行敷设,以免产生感应环路。

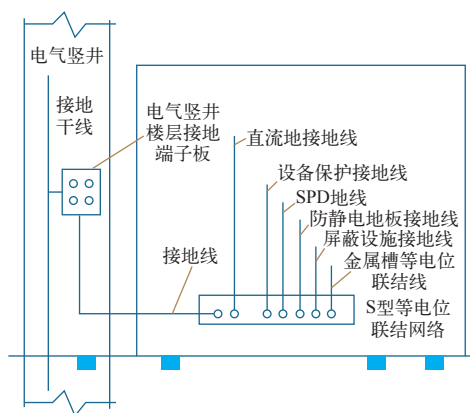


图1 等电位联结S型示意

S型等电位联结宜用于电子信息设备相对较少或局部的系统中,如消防系统、建筑设备监控系统等,还适用于低频网络。

1.2 M型等电位联结

M型等电位联结是系统的各金属组件不应与共用接地系统各组件绝缘,如图2所示。M型等电位联结网络应通过多点联结组合到共用接地系统中去,并形成Mm型等电位联结。

对于较大的电子信息系統宜采用M型网形结构,如计算机房、通信网络系统。



谢宝永/高级工程师

关键词/Keywords

等电位联结·
设备损坏·
接地方式·

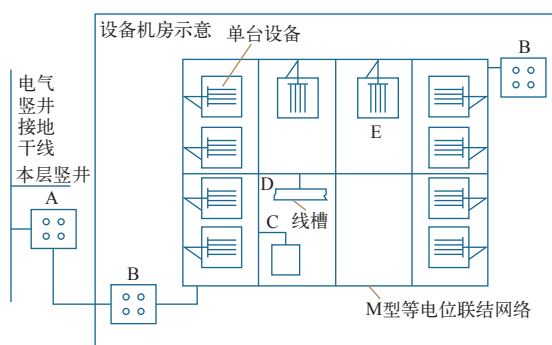


图2 等电位联结M型示意

A—电气竖井内等电位接地端子板 B—设备机房内等电位接地端子板
C—防静电地板接地线 D—金属线槽等电位联结线 E—电子信息设备

2 工程安装中出现的接地方式

等电位联结是国家规范GB 50057（2010年版）《建筑物防雷设计规范》的强制执行条文，但实际执行的过程中，设计人员会根据不同的情况设计出多种等电位的接地方式，归结起来分为如下六种。

第一种方式，电子设备采用直接联结的等电位联结形式，与设备相联结的信号线和电源线路都不通过SPD进行等电位联结，等电位联结的接地装置和防直击雷设施没有联结，或者是等电位联结的接地点与防直击雷引下线的接地点不同，如图3所示。

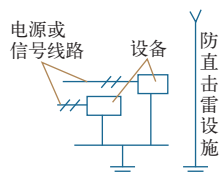


图3 等电位联结及接地方式1

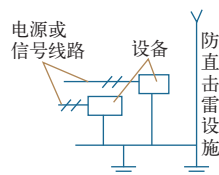


图4 等电位联结及接地方式2

第三种方式，电子设备没有采用直接连接的等电位联结形式，与设备相联结的信号线或电源线路通过SPD与接地装置相联结，等电位联结的接

地装置和防直击雷设施没有联结，或者是等电位联结的接地点与防直击雷引下线的接地点不同，如图5所示。

第四种方式，电子设备没有采用直接联结的等电位联结形式，与设备相联结的信号线或电源线路通过SPD与接地装置相联结，等电位联结直接与防直击雷设施联结，如图6所示。

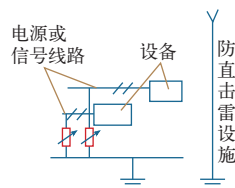


图5 等电位联结及接地方式3

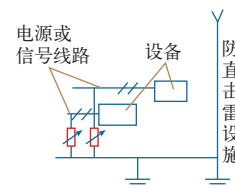


图6 等电位联结及接地方式4

第五种方式，电子设备采用直接联结的等电位联结形式，与设备相联结的信号线和电源线路都通过SPD与接地装置相联结，等电位联结的接地装置和防直击雷设施没有联结，或者是等电位联结的接地点与防直击雷引下线的接地点不同，如图7所示。

第六种方式，电子设备采用直接联结的等电位联结形式，与设备相联结的信号线和电源线路都通过SPD与接地装置相联结，等电位联结直接与防直击雷设施联结，如图8所示。

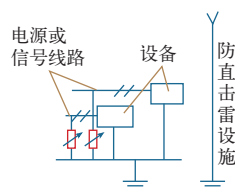


图7 等电位联结及接地方式5

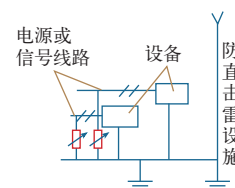


图8 等电位联结及接地方式6

3 不同接地方式的存在问题分析

等电位联结的目的是消除或降低电位差，不同的等电位联结形式以及接地方式对电子设备有什么影响呢？下面对上述几种等电位联结及其接地方式进行分析。

对于第一种方式（见图3），局部的设备进行了等电位联结，这些设备之间的电位能得到消

除或降低,但由于外来线路(电源线路和信号线路)没有进行等电位联结,也就是没有安装SPD,当外来线路进入高压雷电流时,高压雷电流将损害电子设备。此外,由于局部的等电位联结没有和防直击雷设施联结,防直击雷设施接闪雷电流时,如果两者间隔的距离较近的话,会对局部等电位联结的设备造成反击。

假设一机房处于20层的高度上,该机房距离地面60 m,该大楼防直击雷设施的接地电阻为3 Ω,引下线数量为10条,如果该大楼首次接闪了150 kA的雷电流,那防直击雷设施在20层楼的高度上产生多大的瞬间暂态电压,能击穿多远的空气产生反击?

暂态电压计算公式为

$$U = U_R + U_L = IR_i + L_0 h_x di/dt \quad (1)$$

安全距离计算公式为

$$S_{a1} = \frac{IR_i}{E_R} + \frac{L_0 h_x di/dt}{E_L} \quad (2)$$

式中, U_R 为雷电流流过防雷装置时接地装置上的电阻电压降, kV; U_L 为雷电流流过防雷装置时引下线上的电阻电压降, kV; R_i 为接地装置的冲击接地电阻, Ω; di/dt 为雷电流陡度, kA/μs; I 为雷电流幅值, kA; L_0 为引下线的单位长度电感, μH/m, 取其等于1.5 μH/m; E_R 为电阻电压降的空气击穿强度, kV/m, 取其等于500 kV/m; E_L 为电感电压降的空气击穿强度, kV/m, $E_L = 600(1 + 1/T_1) = 600(1 + 0.1) = 660(\text{kV/m})$ 。

按照上面的计算方法, 20层楼处的瞬间暂态电压计算如下。

每条引下线流经的雷电流等于总电流平分到每条引下线中去, 该大楼共有10条引下线, 因此 I 等于接闪雷电流的1/10, 也就是 $I = 15\,000\text{ A}$ 。

$$U_R = IR_i = 15\,000\text{ A} \times 3\,\Omega = 45\,000\text{ V} = 45\text{ kV}$$

$$U_L = L_0 h_x di/dt = 1.5\,\mu\text{H/m} \times 60\text{ m} \times \frac{15\,000}{10}\text{ kA}/\mu\text{s} = 135\,000\text{ V} = 135\text{ kV}$$

$$U = U_R + U_L = 45\text{ kV} + 135\text{ kV} = 180\text{ kV}$$

因此在20层引下线瞬间暂态电压可达到180 kV。

$$S_{a1} = \frac{U_R}{E_R} + \frac{U_L}{E_L} = \frac{45\text{ kV}}{500\text{ kV/m}} + \frac{135\text{ kV}}{660\text{ kV/m}} = 0.2945\text{ m} \approx 0.3\text{ m}$$

也就是人或电子设备在距离防直击雷设施0.3 m远的地方就有可能因为雷电流的反击而造成伤亡或设备的损害。

对于第二种方式(见图4), 局部的设备进行了等电位联结, 这些设备之间的电位能得到消除或降低, 但由于外来线路(电源线路和信号线路)没有进行等电位联结, 也就是没有安装SPD, 当外来线路引入高压雷电流时, 同样高压雷电流也将损害电子设备。此外, 由于局部的等电位联结虽然与防直击雷设施联结, 但在防直击雷设施接闪雷电流时, 等电位联结的电子设备的电位也会随着升高, 由于外来线路(电源线路和信号线路)没有进行等电位联结, 在设备的接地和电源、信号之前会存在电压差, 从而损害设备。假设接闪雷电流降低为20 kA, 瞬间暂态电压计算为

$$U_R = IR_i = 2\,000\text{ A} \times 3\,\Omega = 6\,000\text{ V} = 6\text{ kV}$$

$$U_L = L_0 h_x di/dt = 1.5\,\mu\text{H/m} \times 60\text{ m} \times \frac{2\,000}{10}\text{ kA}/\mu\text{s} = 18\,000\text{ V}$$

$$U = U_R + U_L = 6\,000\text{ V} + 18\,000\text{ V} = 24\,000\text{ V} = 24\text{ kV}$$

因此在20层引下线瞬间暂态电压可达到24 kV。这个瞬间暂态电压差足以损坏很多种电子设备。

对于第三种方式(见图5), 电子设备没有采用直接联结的等电位联结形式, 与设备相联结的信号线或电源线路通过SPD与接地装置相联结, 等电位联结的接地装置和防直击雷设施没有联结, 或者是等电位联结的接地点与防直击雷引下线的接地点不同。由于局部的设备没有进行等电位联结, 这些设备之间的电位不能能得到消除或降低。同时, 由于局部的等电位联结没有和防直击雷设施联结, 防直击雷设施接闪雷电流时, 如果两者间隔的距离较近的话, 会对局部等电位联结的设备造成反击(见第一种方式分析)。由于外来线路(电源线路和信号线路)与接地装置进行等电位联结, 也就是安装SPD, 当外来线路引入高

压雷电流时,SPD可以将雷电流排泄到大地中,降低雷电流损害电子设备的概率。

第四种方式(见图6),电子设备没有采用直接联结的等电位联结形式,与设备相联结的信号线或电源线路通过SPD与接地装置相联结,等电位联结直接与防直击雷设施联结。这种联结形式由于局部的设备没有进行等电位联结,这些设备之间的电位不能得到消除或降低。外来线路(电源线路和信号线路)与接地装置进行等电位联结,也就是安装SPD。当外来线路进入高压雷电流时,SPD可以将雷电流排泄到大地中,降低雷电流损害电子设备的概率。但是由于SPD的接地与防直击雷设施联结,防直击雷设施接闪雷电流时,防直击雷设施在高楼层出现的瞬间暂态电压将进入到电源线路或信号线路中。由于电子设备没有进行等电位联结,这样电源线路或信号线路与接地之间存在一个电压差(见第一种方式分析),这个电压差将会损坏电子设备。

第五种方式(见图7),电子设备采用直接联结的等电位联结形式,这些设备之间的电位能得到消除或降低,与设备相联结的信号线和电源线路都通过SPD与接地装置相联结。当外来线路进入高压雷电流时,SPD可以将雷电流排泄到大地中,降低雷电流损害电子设备的概率。但等电位联结的接地装置和防直击雷设施没有联结,或者是等电位联结的接地点与防直击雷引下线的接地点不同,防直击雷设施接闪雷电流时,如果电子设备靠近防雷引下线较近的话,防直击雷设施的瞬间暂态电压会对局部等电位联结的设备造成反击,从而损坏设备。

第六种方式(见图8),电子设备采用直接联结的等电位联结形式,与设备相联结的信号线和电源线路都通过SPD与接地装置相联结,等电位联结直接与防直击雷设施联结。这种方式,不但可以消除或减低因雷电流引起的各电子设备之间的电位差,当外来线路进入高压雷电流时,SPD还可以将雷电流排泄到大地中,降低雷电流损害电子设备的概率。同时,由于等电位联结直接与防直

击雷设施联结,当防直击雷设施的瞬间暂态电位升高,电子设备的电位也随之升高,从而避免了雷电流的反击。这种等电位联结和接地方式相对来说是最好的方式,但前提条件是,保证每条信号线路和电源线路都应该安装适当的SPD,否则在设备的接地和电源或信号之间的瞬间暂态电位差会损坏电子设备。

4 结束语

通过上述分析,等电位不同的联结形式和接地方式,对防御雷电对设备的损害各有优缺点,总的来说归结为三类的组合:

1) 电源信号线路未进行等电位联结,这时,从电源、信号线路进来的高压雷电流将损害电子设备。

2) 电子设备不进行直接的等电位联结,电子设备之前会产生电位差,从而损坏设备。

3) 电子设备的等电位联结不直接与防直击雷设施相联结,或与接地装置的接地点不同,这时,防直击雷设施接闪雷电流时,会对附近的电子设施产生反击,从而损坏电子设施。在电子设备的等电位联结直接与防直击雷设施相联结情况下,如果任何一项等电位联结措施没做好的话,也将会损坏电子设施。

总之,等电位联结是保护电子设备的一个重要手段,忽视任何一措施,雷电流都有可能对电子设备产生严重的损害。

参考文献

- [1] GB 50057 建筑物防雷设计规范[S].北京:中国计划出版社,2011.
- [2] 齐军.等电位联结[J].化工矿物与加工,2002,31(12):23-24.
- [3] 陈庆玲.防雷应用中的等电位联结技术[J].郑州工业高等专科学校学报,2002,18(2):83-84.
- [4] 孙晓龙.等电位联结[J].安徽建筑,2003(5):83-84.

(收稿日期:2015-07-06) **EA**