

现代防雷技术最重要的是等电位连接

5-7

苏邦礼

TU895

(华南理工大学, 广州 510641)

摘要 阐述了建筑物结构、电力线、通信线的防雷工程技术措施, 提出了防雷系统最重要的技术关键是实现等电位连接, 并指出近年来发生雷害事故的地方, 多数是等电位设计存在错误或没有完全执行等电位思想所致。

关键词 防雷技术 等电位 雷击

等电位连接 避雷装置 建筑物

所谓等电位是指需要防雷的空间内雷击时所有各相关部分不存在电位差。其实在防雷工程中要做到雷击时各相关部分之间没有电位差是做不到的, 只能做到各部分之间的电位差相对缩小到很小。下面就防雷工程各方面阐述等电位的技术措施。

1 建筑物结构的等电位连接

直击雷与接闪部分发生闪络的一刹那 ($t=0$) 接闪点对大地 (与接闪点相距很远的地面上) 的电压为数百万伏以至数千万伏; 电流平均峰值 30 kA, 这样高的电压和这样大的电流对其周围的物体和生命具有很大的破坏力。

在工程上为了大大减少雷电的破坏作用, 而在建筑物上采取等电位的连接方法; 具体做法是在把建筑物顶层的接闪器、水管、金属下水管道和其他大件金属物以及建筑物梁、柱内的钢筋作良好电气的连接, 对与建筑物相关的埋入地下的金属也作良好的电气连接, 这样整座大楼电方面是全部连通的, 当发生雷击的时候整座建筑物成为一个统一的带电体, 各部分电位差比不连接的时候远远地小, 特别各金属物与其附近的金属体之间电位差近于零, 因此不会发生闪击放电或破坏建筑物事故。但是如果有些建筑物在原设计时未考虑防雷问题, 建成后追加防雷设施, 为施工方便所加的防雷设施未与原建筑物混凝土内的钢筋作良好等电位连接这是错误的。当雷击时, 接闪器和引下线处于高电位 (正闪击时) 其他金属物仍然处于零电位, 它们之间的电位差往往有几万伏甚至十几万伏, 在它们之间会发生反击, 发生火花引燃可燃物品, 或发生人

体触电事故。

我省某市一座加油站, 由于建站时未设避雷装置, 加油站投入使用后在顶层加装了避雷带和专用的雷电引下线并加建独立的接地网。新建的避雷系统完全没有与原建筑物的混凝土内钢筋作等位连接, 建成不久, 在一次雷暴中被雷击, 把加油站楼板打穿一个约 30 cm 直径的洞, 由于雷击时加油站正在装油, 引起了火灾。

另一次事故是我省某市一爆竹厂火药库爆炸事故, 原因是: a) 该火药库属易燃易爆物品仓库, 没有按规范规定与其周围金属管道、电线、电缆等大件金属物相距足够距离; b) 有两条不同供水系统本来没有电联系的水管在火药库旁交叉通过, 两水管交叉处有小于 1 cm 的间隙, 没有把这两条水管用金属可靠地焊接起来, 两条水管都处于半架空状态, 其中一条水管挨着离火药库约 40 m 处的独立避雷针的基础。雷击避雷针时, 接近避雷针的水管处于高电位, 并把高电位引到火药库旁与另一条处于低电位的水管去, 致使两管间的间隙击穿放电, 雷电流在此处大量流入地下, 引起地面土壤间微放电, 电火花点燃残留在地面的火药引起整个库区爆炸。这次事件伤亡 24 人, 厂区 24 座房屋成为瓦砾, 附近楼房的玻璃门窗全部震碎, 损失惨重。这次事故原因之一是两条交叉的水管没有作好等电位连接, 这是沉痛的教训。

2 电力线、通信线的等电位连接

电气设备、通信设备被雷击损坏其雷电波输入主要有下面三条途径: a) 电源电线; b) 信号线;

c) 接地线。雷电波输入的方式有两种：a) 直击雷输入；b) 感应输入。

防止雷电波从导线输入最有效的办法是把电线、电缆全线穿铁管埋地引入，最低限度穿铁管长度不小于 $2\sqrt{\rho}$ (ρ 为当地土壤电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$)，因采用非金属管穿线对雷电屏蔽无效。所用的金属管、电缆金属屏蔽层接地线都应同总地线连接，并且通信线不得与交流电源线穿在同一金属管内。电源线上相与相间，相与地间要分别接避雷器，通信线的信号线与地线必须接相应的避雷器。

避雷器实质上是一个限位开关，没有雷电波来的时候它两端处于开路状态，对电源和信号没有影响，当雷电波侵入并且电压超过某一定值时它迅速成为通路状态，把电压箝制在一定安全范围，所以安装避雷器实质上也是等电位连接的措施，不过它把雷电电压大部分削去，只留下设备能够耐受的小部分。因此又可以称它为准等电位连接，当雷电波过后，避雷器又恢复高阻状态，使电路又从新复原。

选择合格的避雷器很重要。笔者认为，目前广东番禺气象局监制的防老化避雷器和电话配线架专用避雷器从结构和电气参数都属创新，性能优于原有产品，顺德气象防雷局监制的电源避雷器具有较低的残压和漏电流，计算机远程网络通信避雷器性能都较稳定，在国内居领先水平。外国避雷器总体上讲与国内大致相似，从结构上和选用材料都大致与国产避雷器相同，只是外观上特别好看。不过国外正投入很大力量研制新产品，近期是否会有突破不可轻视。

3 接地与等电位

防雷系统接地就是为了使建筑物各部分和电力、通信系统各部分与大地等电位，理想的接地系统应该是阻抗为零的。但是实际上所有的金属导线都存在电阻、电感、电容，强的雷流通过时都要产生电压降，使各部分之间电压不等，例如直击雷放电峰值电流平均有 30 kA，如果接地电阻为 4Ω ，那么雷击瞬间接地线的地面部分对大地（离雷击点很远的地面）的电位差峰值就有 120 kV 是不等电位的，但是它比没有地线直接受雷击时的电位差（数百万伏至数千万伏）已低得多了。又如多层高

建筑物被雷击时由于接地引线（包括专用引下线和利用建筑物结构的钢筋作引线）都存在电阻、电感和电容形成的阻抗，因此各层楼之间的电位是不同的。所以电子计算机和精密电子设备较多的楼层，还应围绕在该楼层引一条等电位金属线作为该楼层的公用地线，这地线应与该楼层建筑物内的内的主钢筋和电源零线接地线、直流接地线、安全接地线连成一体，使在这层楼范围内实现精度更高的等电位。

关于通信系统的直流感地、计算机网络系统的逻辑接地、与电源的工作接地、安全接地几个应该分开还是共用一个地网问题也是等电位理论的具体应用问题。70 年代以前，各种教材和老师在课堂上讲课都认为通信系统的直流感地必须与交流电流的工作接地分开，理由是防止电源的残余电压干扰，影响通信质量。但近几年国际电工委员会 81 委员会的防雷规范 (IEC1024-1:1990) 和我国的《建筑物防雷设计规范》(GB50057-94) 都明确指出以上四种接地应该采用同一个地网，或把原来分开接地的几个地网连接起来成为统一的接地网。

70 年代以前通信主要是使用电子管器件，电子管耐冲击能力较强，但是那时候通信以模拟通信为主，模拟通信对于干扰特别敏感，为了抗干扰目的所以都采用电源与通信接地分开的办法。但进入 90 年代后通信都采用晶体管和集成电路，尤其是场效应集成电路，它耐受过电压、过电流冲击能力特别差，然而信息传递又大部分采用数字通信，数字通信抗干扰能力很强，故新的接地的要求来了一个 180° 大转弯。下面我们更具体讨论这个问题：

假定在某一通信设备（如程控交换机）内有这样一块电路板（图 1），它分别有信息输入端 A 和电源输入端 B，然后在电路板内进行信息处理。

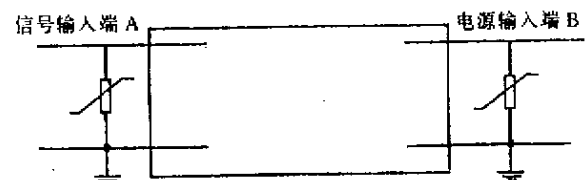


图 1 不同接地系统的通信设备器件示意图

如果信息输入端和电源输入端都有自己的不同

接地系统，并且两个接地系统之间没有电的联系，现假定电源线受雷击，电源接地端电位可能升到上万伏甚至几万伏，而这时信息输入端的接地是零伏，在同一块电路板上各部分之间就会出现上万伏甚至几万伏的电位差，在这两部分之间连接的器件就会被击穿。反之信息输入端被雷击，电源输入端未被雷击也产生同样损坏器件的情况。

如果 A、B 两部分输入为同一接地网，或把两个接地网用金属体连接起来则不出现雷击损坏器件的问题，见图 2（我们把 A、B 两个接地体用虚线代表金属连接）。

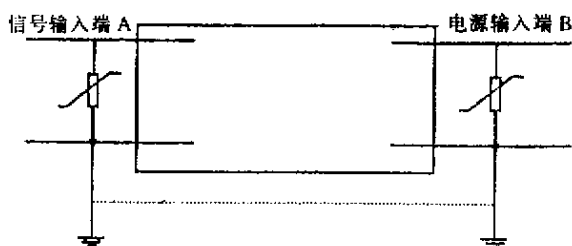


图 2 同一接地网的通信设备器件示意图

不管哪一端受雷击，两个接地体都是等电位的，不存在明显的电位差，所以电路就安全了。由于一般建筑物都把接闪器装在建筑物的顶层或制高点，并且利用建筑物的钢筋作为引下线，所以实际上是通信系统接地，电力工作接地、防雷工作接地，安全接地四大系统共地。由于它们共地，接地系统没有电位差问题，所以从防雷的角度看是安全的。现代防雷技术除要求一级防雷保护的易燃易爆

场所、模拟通信系统场所和特别重要的必须设独立避雷装置的场所外都应采用统一接地的方法。

近几年我们到各地检查各种雷害事故中发现，凡是严格执行等电位设计的场所雷害事故极少极少，凡是发生雷害事故的地方，多数都是等电位设计存在错误，或施工、维护工作中没有完全执行等电位思想指导所致。

例如广东某国际机场的雷达站在 1996 年和以前每年都被雷击多次，近几年被雷击造成的直接经济损失共 200 多万元，为了解决雷害问题该站曾请过国内、外一些公司整治，也装过国内、外的“先进”避雷装置，耗资近百万，但仍然被雷击，设备损坏。1996 年机场多次被雷击，雷达站被雷击后，只好由相隔百多千米外的其他机场代其导航，严重影响飞行安全。后来由我校老师等前往检查，发现其中最重要的原因是通信系统和电流工作系统的接地没有可靠的连接。经过整改，虽然 1997 年雷电闪击的次数和强度都比过去大，设备也多次出现过电压显示，但设备未出现由于雷击损坏的现象。这都说通信系统、电源系统、安全系统和避雷系统统一接地对防雷的重要性，实践证明统一接地系统对数字通信不会发生影响通信可靠的副作用。

在一些土壤电阻率特高的地方，安装接地网，有时候要完全达到有关规范规定的低接地电阻值难度很大，费用又多，有些地方甚至不可能做到，在这样的情况下，只要严格做好等电位连接，接地电阻值可以适当放宽，这样做的工程例子不少，但未发现有较严重的雷害事故。（收稿日期：1997-10-13）

·会议报道·

广东省雷电定位系统 1997 年度工作会议召开

广东省雷电定位系统 1997 年度工作会议于 4 月 8 日至 10 日在省电力局培训楼召开，会议有来自全省 21 个供电（电力）局和茂名电厂的四十余位代表出席。会上由广东省电力局试验研究所雷电定位系统中心站的工作人员对在 1997 年 12 月 31 日结束的雷电定位系统试运行期的运行情况作了总结，充分肯定了本套系统在协助电力部门迅速查找雷击故障点的工作中发挥的重要作用。而各个供电

（电力）局的同志也在会上交流了各自在使用及维护此系统的工作中积累的经验。此次大会还介绍了功能更强大、使用更方便、界面更友好的新版本软件。最后，大会对今后的工作做了布置，期望通过广东省电力局试验研究所各兄弟单位的共同努力，不断地提高雷电定位系统的运行效能，为电力系统的稳定运行提供最佳的保障。

（广东省电力试验研究所 翟励）