

# 一种有效的防雷保护系统 ——综合防雷工程网络<sup>\*</sup>

王 勇<sup>1</sup>, 王雪森<sup>2</sup>, 洪新华<sup>3</sup>, 戴建华<sup>1</sup>

(1. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085; 2. 中国气象局,  
北京 100086; 3. 河南职业技术学院, 河南 新乡 453003)

**摘要:**分析了雷电危害地震台站的几种形式和昌平地震台原有避雷设施的状况. 介绍了综合防雷工程网络的防雷原理及电容性地线的优点. 在实际防雷工作中, 综合防雷工程网络取得了较为满意的效果.

**关键词:**地震台; 雷电; 避雷设施

**中图分类号:** P315.78   **文献标识码:** B   **文章编号:** 1000-0844(2000)02-0182-05

## 0 前言

雷电是一种重要的气象自然灾害, 它的危害是有目共睹的. 它能瞬间给人们造成严重的财产损失, 甚至危及人类生命安全.

地震台站的仪器设备遭受雷击的实例数不胜数, 严重地影响了观测数据的连续性, 并造成巨大的经济损失.

中国地震局地壳应力研究所昌平地震台自 1990 年以来, 几乎年年都发生雷电击毁仪器器的事故, 轻则 1~2 台套, 重则 14 台套仪器全部被击毁, 给国家造成损失达数十万元. 每到雷雨季节, 台站值班人员就会提心吊胆, 只要发现可能会有雷电, 立即跑步前去拉闸断电, 切断电话, 这种作法虽然有一定的效果, 但对感应雷的防范仍无能为力, 而且对工作人员的生命安全也构成威胁. 因此寻找新的防雷保护装置已成为保障观测人员安全、确保台站仪器设备正常运行和取得连续观测数据的关键.

## 1 雷电危害的方式

雷电危害可分为直击雷、感应雷和线路来波侵入 3 种<sup>[1]</sup>. 其中 80% 以上为云中空对空电闪, 10% 以上为空对地(即为直击雷). 直击雷雷电通过电离空气的放电通道直接击在建筑等物体上, 同时产生电、热、机械等效应造成危害. 由于选点的原因, 这种雷对地震台站的观测仪器损害较大. 临近地震台站几公里范围内的感应雷会产生强大的电磁场, 致使附近的线路、金属、设备产生高的感应电压, 这种雷电方式对地震台站危害极大. 线路来波主要是通过电源

收稿日期: 1999-12-28

<sup>\*</sup> 中国地震局地壳应力研究所科技论著编号: 2000B0002

作者简介: 王 勇(1946—), 男, 副研究员, 主要从事地应力预报地震研究工作.

线、信号线传导的感应雷波侵入没有设防的电子观测设备,造成设备受损.这种雷对地震台站的观测设备危害最大.

## 2 昌平地震台原防雷设施状况

在90年代初,昌平地震台为防止雷击事件曾设计了高15 m的避雷针并连接有接地电阻仅 $2\ \Omega$ 的星形地线,但结果事与愿违,观测室竟不断遭到严重雷击,使观测室内的8台套仪器全部被击毁,损失惨重.其原因主要是没有设置电源信号避雷器和完善的闭合地线网络.

由于富兰克林避雷针是引雷的,当直击雷袭击避雷针时,避雷针把雷电流引入大地,同时也产生很强的感应电磁场,形成 $0.5\sim 1\ 100\ \text{kV/m}$ 的过电压, $0.01\sim 200\ \text{kA}$ 的过电流.如果电子设备没有采取有效的避雷防护措施,必将受到严重损害.

为防止或减少雷电灾害就要使雷电流迅速疏散到大地中去.雷电流实为微秒级的冲击脉冲.以一闪普通的雷闪来说,最大的电流约为 $26\ \text{kA}$ ,上升时间约为 $2\ \mu\text{s}$ ,电荷约为 $9\ \text{C}$ ,一次完全的雷闪可持续 $0.2\sim 1\ \text{s}$ 或更长的时间,平均有4次回击.

传统性的地线一般为星形电感性结构,平时测得接地电阻符合建筑物规范设计要求,但雷击时微秒级的冲击脉冲波对疏散雷电流的星形地线来说,地线的冲击阻抗为感性的,阻抗很大,不能提供大电流的疏散通道,因此雷击时,感应形成的过电压过电流就会损坏电子设备及危害人身安全.

## 3 综合防雷工程网络

综合防雷工程网络对雷电防治的原则是“综合治理,整体防御,多重保护,层层设防”.运用“消散、疏导、隔离、均压”的方法对雷电进行“消、引、泄、堵”.根据特定的保护空间的实际情况,由相应的防雷器件、接地装置等构成的工程网络来保证防雷安全,治理雷电灾害,这套系统称为综合防雷工程网络.

### 3.1 把星形感性结构地线改造成为闭合电容性地网接地系统

雷电时 $8\sim 20\ \mu\text{s}$ 的脉冲冲击波主要集中在频带为几十到几百赫兹内.星形结构地线对雷电冲击脉冲波呈感性,阻抗很大,不利于雷电流迅速疏散入地.星形感性地线可以简化为一根直导线看待.用物理学的原理可以证明,在电磁场中一根直导线的分布电容 $C$ 和电感 $L$ 分别为

$$C = 2\pi\epsilon/\ln[h/r + \sqrt{(h/l)^2 - 1}] \quad \text{F/m} \quad (1)$$

$$L = (\mu/2\pi)[\ln(2l/r) - 0.75] \quad \text{H/m} \quad (2)$$

式中 $\epsilon$ 为介电常数, $l$ 为导线长度, $r$ 为导线半径, $h$ 为离地高度, $\mu$ 为导磁系数.

而导线阻抗为

$$Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (3)$$

当 $\omega$ 提高到较高频率时,(3)式可简化为

$$Z = R + j\omega L \quad (4)$$

其中 $\omega$ 为角频率, $j$ 为复变量, $C$ 为电容量.

由(4)式可看出,线路中的阻抗主要由感抗组成.虽然星形地线中接地电阻很小,符合规范要求,但在雷击瞬间,其感抗很大,电流难以瞬间入地,结果形成高过电压,放电击毁附近物体.

而新型的电容性地线则采取了数个环形、方形或不规则的闭合环路,组成地线网,根据雷

击波长的大小确定各环路之间的距离. 当雷云临近时, 其对地面而言相当于一个带负电荷的荷电体, 其荷电量约为  $20 \sim 200 \text{ C}$ , 其平均电场强度为  $10 \sim 30 \text{ kV/m}^{[2]}$ . 这个强大的荷电体形成了电容的一极, 在此地网中由于电位相同因而不存在跨步电压, 网中的物体得到保护, 对于交流而言, 容抗很小, 即

$$Z = R + \frac{1}{j\omega C} \quad (5)$$

当角频率  $\omega$  很高时,  $\frac{1}{j\omega C}$  近似等于零, 则(5)式变为

$$Z = R$$

而接地电阻  $R$  仅为  $2 \Omega$ , 因此在即将雷击的瞬间能形成大电流入地, 从而避免了雷直击地网内的物体.

### 3.2 雷电屏蔽效应

在远场条件下, 雷电电磁脉冲可看作平面电磁波传播, 应采用电磁屏蔽. 从电磁屏蔽的作用过程来看, 屏蔽体对电磁波的衰减有3种不同机理:

(1) 空气中传播的电磁波到达屏蔽体表面, 由于空气与金属交界面波阻不同, 对入射波产生反射.

(2) 未被反射而进入屏蔽体内的电磁波能量在继续传播时由于电磁场在导体内感应产生涡流, 因此将消耗部分能量.

(3) 在屏蔽体内尚未被吸收掉的电磁波能量再被另一金属与空气界面反射折回屏蔽体内, 在两界面间重复反射多次而进行消耗.

综合防雷工程网络就是利用了电磁屏蔽的原理, 在要设防的建筑物上安装相隔数米的环形屏蔽网, 该网与电容性地线进行焊接, 同时对进入被屏蔽建筑物的电源线(长约  $100 \text{ m}$ )、信号传输线等均用管状或编织网的外导体接入地网进行屏蔽. 在实际防雷击的过程中, 屏蔽措施防雷击的效果较好.

### 3.3 闭合接地系统

把工作接地线、保护接地线、防雷接地线、金属管线等多点连接为一个闭合接地系统.

根据电磁感应原理, 当直击雷、感应雷雷电流流过被保护区内的金属导线、管线时其上产生的电位降为

$$U = iR + L_0 l \frac{di}{dt} \quad (6)$$

式中  $R$  为接闪物体下引线的接地体电阻,  $L_0$  是它的单位长度电感,  $l$  是它的长度,  $i$  是流过该物体的电流.

上述雷电流瞬时值引起的电压降和雷电流变化引起的电感压降可产生  $0.5 \sim 1 \text{ } 100 \text{ kV/m}$  的过电压,  $0.01 \sim 200 \text{ kA}$  的过电流. 如此强大的过电压不仅会损坏电子设备, 而且对观测人员人身安全也构成严重威胁. 当雷电放电时电磁辐射将在附近导体回路上产生很高的感应电压, 此电压在导体开环处可引起空气击穿放电, 为此必须把工作接地线、保护接地线、防雷接地线接至一个总体闭合型接地网, 雷击时将会在导线、金属管网、地线网络、屏蔽范围内的一切设施上形成均压等电位, 也就是说“水涨船高”. 容性地网为雷电流提供低阻抗的连续通道以便使它迅速疏散入地, 达到保护电子设备和人员安全的目的.

### 3.4 把交流电源 $380 \text{ V}/220 \text{ V}$ 电力系统接地三相四线改为三相五线制

数十年来, 我们的电气设计规程、规范多数基本上引用苏联的规程、规范, 略作修改, 作为

380 V/220 V 电力系统的接地设计,存在许多不足之处,需改进.根据规范,380 V/220 V 电力接地系统设计均采用 TN-C 系统,即 Y/Y<sub>0</sub> 接线变压器,以低压一侧的中性点接地,接地电阻  $R \leq 4 \Omega$ ,380 V/220 V 系统输出为三相四线,零线(PEN)既作为工作零线(N 线),又作为保护接地线(PE 线),把平时不带电,当绝缘损坏时有可能带电的电气设备的金属外壳和金属管道等都与此零线(PEN 线)相连接,也就是通常所说的接零保护系统.由于 TN-C 系统的零线与电气设备外壳相连接,而且与所有金属管道相连接,380 V/220 V 系统零序电流不但通过零线流动,而且也通过连接的金属管道和电气设备金属外壳流动,因为这些金属管道和设备外壳都与大地相通,部分零序电流流入大地成回路.从理论上讲,如果 380 V/220 V 三相负荷是绝对平衡的,此时零序电流为零,对电子设备不会产生任何干扰、损坏,但实际上,在低压配电系统负荷分配设计时,虽然使 380 V/220 V 负荷尽量合理分配使其平衡,而实际使用时不可能达到平衡,必然存在零序电流,就必然存在零序电压,其大小与 380 V/220 V 三相不平衡负荷值的大小有关,三相负荷不平衡度越大,零序电流越大,零序电压也越大,由于零序电压的存在,对电子设备造成干扰损坏.同时由于零序电压的存在,当人触及电气设备的金属外壳时,对人产生电击,如果当零线断开或脱开时,所有电气设备的金属外壳和金属管道等整个接零系统呈高电位,人若触及,将危及人的生命安全.

综合防雷工程网络采用 TN-C-S 系统即三相五线制,在建筑物前把零线(PEN 线)重复接地,在建筑物内将工作零线(N 线)与保护地线(PE 线)严格分开,以 L1、L2、L3、N、PE 五线供电.由于 N 线与 PE 线严格分开,在系统中零序电流均流过 N 线的回路.而 PE 线在正常用电过程中,无电流通过,即电流为零,PE 线连接的用电设备金属外壳和金属管道同样无电流通过,地中也无分流,真正起到对电子设备和人员的保护作用.

### 3.5 电源线入口处安装电源避雷器

由于雷电冲击波主要能量集中在从工频附近几十赫兹到几百赫兹的低端,所以雷电冲击波能量就比较容易与工频回路发生耦合和谐振,于是雷电冲击波从电源线路进入电子设备的机率就比从天馈线和信号线中进入的机率要高得多.据统计,约有 80% 的雷击损坏电子设备的事事故是由电源引入的,因此,应特别加强电源的防雷措施.一般采用多级泄能、回路分流的组合型电源避雷器.

众所周知,在电力传输上安装了各种间隙和电力避雷器,这些保护间隙和电力避雷器主要用来改进供电的连续性,它们可使雷电冲击波经过输电线路侵入时,把线路对地的纵向电压限制到小于 1 000 V,而把线段的横向电压限制到小于 200 V,这样的电压水平足以防止开关跳闸或熔断器烧断.

一般电源避雷器是采用氧化锌压敏电阻为主要元件的无源电路.利用氧化锌压敏电阻对雷电过电压特别敏感的非线性特性启动无源电路,再利用无源电路对雷电流极大的通导能力把雷电流疏导至大地,这样就有效地保护了设备电源免遭雷电波的侵入而不致损坏.

### 3.6 对通信、电子设备安装电子避雷器

#### 3.6.1 天馈避雷器

各种天线设施比其它任何类型的通信设备都更加暴露于雷电场之中,雷电从天线窜入的机率很大,为保护昂贵的通信设备必须在天线馈线与设备之间安装相应的天馈避雷器以抑制来自天线、馈线的雷电侵入波和感应电流,将雷电流疏导至大地,保护设备免遭雷击.

#### 3.6.2 信号避雷器

对于计算机系统和高精度的电信设备来说,一个微小的雷电干扰有可能造成比雷电流本

身的破坏大得多的经济损失. 为确保在任何特殊情况下电信设备和计算机系统正常工作, 必须采取防雷保护措施, 即在通信设备和计算机系统输入/输出端安装信号避雷器.

此类避雷器亦可用于 RS-422 接口、RS-232C 接口二线、四线调制解调器, 二线、四线制基带传输器, 光电隔离器, NOVELL 网, 以太网以及其它数据模拟量传递通道的防护.

#### 4 综合防雷工程网络的应用效果

这套防雷工程网络在雷电袭击的各个方式上及在每种方式的各个环节上均采取了严密的防范措施, 取得了良好效果.

根据这种防雷原理, 中国地震局地壳应力研究所昌平地震台于 1997 年 5 月 20 日安装了这套综合防雷工程网络. 当年 6 月 22 日就受到 4 次雷击(防雷工程网有雷电记录器), 由于防雷工程网络的作用, 1998 年 6 月 14 日昌平地区发生了 10 a 来最严重的一次雷击事件, 10 kV 的高压线被击毁,

42 个单位进行了安装, ①.

[ ]

[1] . [ J ] . , 1998, 14(1): 81~91.

[2] . [ M ] . : , 1993.

### AN EFFECTIVE DEVICE AGAINST THUNDER-BOLT

WANG Yong<sup>1</sup>, WANG Xue-sen<sup>2</sup>, HONG Xin-hua<sup>3</sup>, DAI Jian-hua<sup>1</sup>

(1. *Institute of Crustal Dynamics, CSB, Beijing 100085, China;*

*2. China Meteorological Bureau, Beijing 100086, China;*

*3. Henan Vocation Technique Teachers College, Xinxiang 453003, China)*

**Abstract:** The ways of thunder and light destroying seismostations are summarized. There was a light rod at Changping station, but it did not work well in protecting the station from thunder and light. The principle and advantages of a new device against thunder-bolt with capacity earth connection is introduced. The devices were installed at 42 stations in Beijing City and Fujian, Zhejiang, Sichuan, Liaoning, Guangxi, Guangdong, Hainan, Shaanxi, Hebei Provinces. Facts have proved that the devices are satisfactory.

**Key words:** Seismostation; Thunder and light; Device against thunder-bolt

① . . 1998.