

全建军,郑志泓,郑永通,等.地震台站综合防雷技术[J].地震工程学报,2017,39(增刊):168-178.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.增刊.168

QUAN Jianjun, ZHENG Zhihong, ZHENG Yongtong, et al. Comprehensive Lightning Protection Technology at Seismic Stations[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(Supp.): 168-178. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017. Supp. 168

地震台站综合防雷技术^①

全建军^{1,2}, 郑志泓², 郑永通³, 方传极², 陈美梅¹,

刘水莲¹, 赖见深², 刘礼诚¹, 陈珊桦⁴, 龚 薇²

(1.福建省地震局永安地震台,福建 永安 366000; 2.福建省地震局仪器维修中心南平分中心,福建 南平 353000; 1

3.福建省地震局龙岩地震台,福建 龙岩 364000; 4.福建省地震局泉州地震台,福建 泉州 362000)

摘要:雷电危害是影响地震台站稳定运行的重要因素之一,对台站进行雷电防护具有重要意义。本文分析雷电的形成、雷击的种类和雷电对数字化前兆地震台站的危害,从配电系统防护、信号线路防护、屏蔽措施和布线防护、接地与等电位连接、雷电预警、防雷装置维护与管理 6 个方面对台站雷电防护进行探讨,在实际地震监测中取得较好效果,可以有效减轻雷灾损失,特别是减轻雷电对地震观测技术系统仪器设备的损害。

关键词:地震台站; 雷电; 防护技术

中图分类号: P315.25

文献标志码: B

文章编号: 1000-0844(2017)增刊-0168-11

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017. Supp. 0168

Comprehensive Lightning Protection Technology at Seismic Stations

QUAN Jianjun^{1,2}, ZHENG Zhihong², ZHENG Yongtong³, FANG Chuanji²,

CHEN Meimei¹, LIU Shuilian¹, LAI Jianshen², LIU Licheng¹, CHEN Shanhua⁴, GONG Wei²

(1. Yongan Seismic Station, Earthquake Administration of Fujian Province, Yongan 366000, Fujian, China;

2. Nanping Equipment Maintenance Sub-center, Earthquake Administration of Fujian Province, Nanping 353000, Fujian, China;

3. Longyan Seismic Station, Earthquake Administration of Fujian Province, Longyan 364000, Fujian, China;

4. Quanzhou seismic station, Earthquake Administration of Fujian Province, Quanzhou 362000, Fujian, China)

Abstract: In recent years, lightning has increasingly caused significant losses to seismic observation equipment in seismic stations of China. Lightning hazard has become the main security risk for the stations' seismic observation equipment, which plays a critical role in the continuity, stability, and reliability of observation data. Therefore, preventing lightning damage and ensuring the normal operation of observation systems are particularly important. Given the characteristics of instantaneous overvoltage generation, hazard routes, and seismic station monitoring systems, we believe that it is necessary to adopt systematic and comprehensive lightning protection measures to reduce losses caused by lightning. This study first analyzes the formation of lightning, the types of lightning strikes, and the hazards of lightning to digital earthquake precursor stations;

① 收稿日期:2016-03-27

基金项目:2015 年福建省地震局青年科研项目(Y201508);2015 年福建省地震局台站科研项目(T201502)

作者简介:全建军(1984-)男,福建永安人,工程师,主要从事台站电磁、形变观测和信息节点、地震仪器维护管理工作。

E-mail: qjjkt@163.com。

further, it explores lightning protection measures from six different angles: power distribution system protection, signal line protection, shielding measures and wiring protection, grounding and equipotent bonding, lightning warning, and equipment maintenance and management. These lightning protection technologies can achieve better results in earthquake monitoring, which can effectively reduce the loss of data. In particular, these protective measures can reduce the amount of lightning—inflicted damage on seismic observation system equipment.

Key words: seismic station; lightning; protection

0 引言

自然灾害中,雷电引起的灾害应该是最为严重之一,除本身具有巨大的破坏性外,还因为雷电发生频度高,且年年重复发生^[1]。我国是多雷的国家,大部分台站都遭受雷电干扰。经过中国地震局“九五”地震台站数字化改造项目、“十五”地震台站网络化改造项目,大部分模拟记录的地震台站都已完成数字化和网络化改造。地震台站监测工作进入数字化时代,地震观测系统的自动化装备越来越先进,地震设备电路的精密集成度日益提高,半导体集成技术发展和完善,使它应用到几乎所有的地震仪器,由于半导体集成电路不能耐受过电压和过电流冲击,凡是使用这些器件的仪器设备和由此组成的系统或网络,均易受波动较大的电源、强电磁干扰以及雷电危害而被损坏^[2]。近年来雷击灾害造成地震观测设备的损失日益突出,许多台站时常出现因雷电造成仪器损坏事故,很多台站连续多年屡遭雷击,一些省市地震局也花费相当的资金和时间解决台站防雷系统存在的问题,但结果收效甚微。

从台站调研情况看,防雷存在的问题不容乐观,从2007—2009年三年期间,所调查的27个单位371个台站,共遭受雷害911次。单台最高遭受雷击次数达17次。遭受4次以上雷击的台站77个,占台站总数(371个)五分之一,但其遭受雷击次数451次,占总雷击次数(911次)的49.5%,可见受雷击影响严重的台站,其遭受损失是非常大的。雷电危害已成为台站地震观测设备的主要安全隐患,严重影响地震资料的连续性、稳定性、可靠性,因此如何防御雷电灾害,保证观测系统的正常运转显得尤为重要。

1 雷电及其危害性

1.1 雷击及其危害

人类对雷击的最初认识是“闪光”与“雷声”等感官认识,经过不断的探索与研究,现在人类已经对雷击有了科学的认识,现代雷电理论认为,雷电是带电

云(称雷云)对地面某一点或雷云之间放电(这个过程称直接雷击),及这一放电过程引起电磁感应和静电感应(称感应雷击,表现为线路上的过电压和雷击电磁场)^[3]。直接雷击的主要危害对象是野外的人、畜、建筑物等。而感应雷击的主要危害电气设备,地震台的仪器与信息系统防护,属于感应雷击防护范畴^[4]。实际运行经验表明,雷电是地震仪器设备的主要危害源,经过多年的研究分析,我们总结出雷击对地震台仪器与信息系统危害的几种表现形式^[5]:

(1) 损坏设备:雷击过电压或雷击电磁场直接损坏地震仪器与信息系统设备。雷击时,与设备相连接的各种导体线路上可能感应到的雷击过电压(高达几千伏)远超过设备的接口耐压,实验表明仪器与信息设备的接口电路里的芯片的耐过电压能力大都在150 V内,有的甚至仅有30 V左右,雷击引起的过电压远超过仪器设备的耐压,仪器设备因此而损坏。

(2) 加速设备老化:雷击过电压或雷击电磁场加速地震仪器与信息系统设备老化。雷击直接损坏设备是直接可见的,但设备的老化是看不见的,只是仪器设备的某些性能下降,比如,某前兆测量仪的通信接口耐过电为150 V,几次雷击后,已经老化了,其值可能下降到50 V,但此时仪器还能正常工作,这时很多人误以为雷击对该仪器没影响,但因其耐压降低,一般较小的过电压可以将其损坏,损坏的几率大大提高。因此仪器设备安装使用后应尽快采取防雷措施,一旦设备老化后再采取防雷措施,效果可能就比较差。雷击加速设备老化问题,应引起地震台维护工作者的高度重视,特别是十五以后新上的仪器和设备,应在仪器设备还未遭雷击老化前做好防护措施。

(3) 数据丢失:雷击过电压可能干扰地震仪器的正常工作,致使关键数据失真或丢失,严重干扰地震预报分析。

1.2 雷电入侵地震台内设备途径分析

雷击为什么会损坏地震台站仪器等设备?也就

是说雷击通过哪些途径损坏室内的设备?弄清这个问题是设计地震台站综合防雷方案的基本前提。经过多年的研究分析,总结出雷电可通过如下途径损坏台内仪器与信息系统设备^[6]。

(1) 配电线路引入雷电:室外的市电配电线路非常容易感应到雷电,雷击过电压沿配电系统进入地震台内机房并可以直接进入设备。

(2) 通信线路引入雷电:进出地震台的各种通信线路非常容易感应到雷电,雷击过电压沿这些通信线路进入地震台内机房并可直接进入设备。在室内,通信线路也因雷击电磁场感应到上百伏甚至更高的过电压,这过电压足可以损坏一些脆弱的通信接口。

(3) 地反击:雷击时一个地网 A 可能为高电位,如果此时设备还连接有低电位线路(比如另外一个地网 B,雷击时 B 可能是低电位)则两地网的电位差由仪器来承受,仪器可能损坏。

(4) 雷击电磁场:雷击落在地震台建筑物上或附近地区时,雷击附近的雷击电磁场非常强,地震台建筑物虽有一定的电磁屏蔽效果,但机房内还有一定的雷击电磁场,当磁感应强度大于 2.4 Gs 时,仪器设备会损坏,当磁感应强度大于 0.03 Gs 时,数据传输可能受到影响(IEEE 标准中数据)。经过计算,离地震台 100 m 发生一个 100 KA 的直接雷击时,地震台内靠外墙 1.5 m 内的空间内的雷击磁感应强度达 2.4 Gs,因此地震台的雷击电磁场干扰不可忽视。

2 地震台站综合防雷技术

现代综合防雷技术的理论基础在于:闪电是电流源,防雷的基本途径就是要提供一条雷电流(包括雷电电磁脉冲辐射)对地泄放的合理阻抗路径,而不能让其随机性选择放电通道,即要控制雷电能量的泄放与转换^[7-8]。根据瞬间过电压产生、危害途径和地震台站监测系统的特点,我们认为对地震台站监测系统要尽可能降低雷电带来的损失,就必须采取系统的、综合的防雷措施。为此建议台站防雷保护需 3 道防线:①外部保护,将绝大部分雷电流直接引入地下泄散;②内部保护及过电压保护,阻塞沿电源线或数据线、信号线引入的侵入波危害设备;③过电压保护,限制被保护设备上雷电过电压幅值。这 3 道防线相互配合,各尽其职,缺一不可。具体来说,应从配电系统防雷、观测系统网络线路防雷、构筑物防雷和合理接地等几方面着手^[9]。

2.1 直击雷防护技术

虽然地震台站遭遇直击雷不多,但处在直击雷多发的多雷区、强雷区或有直击雷害记录的地震台站,就必须采取相应措施加以防范。直击雷即空间落雷,发生落雷雷击时,大量电流会向四周散开,空中最近且能对付落雷最有效、最传统、最广泛的手段就是接闪器(避雷针、避雷带、避雷网),接闪器吸引雷电流,并通过良好的接地装置迅速、安全疏散入大地,从而保护避雷针附近的建筑物及仪器设备。直击雷防护装置通常采用接闪杆或接闪带(网)作为接闪器,其中接闪器的选取应符合以下要求:①采用接闪杆时,接闪杆应距离被保护建筑物 3 m 以上,且接闪杆应使用独立的地网,该地网与地震观测系统地网之间距离应大于 5 m,直击雷防护装置与接地设计(接闪杆)见图 1;②采用接闪带(网)时,引下线应均匀或对称铺设在观测房建筑物四周,且引下线间隔不大于 18 m,数量不少于 2 条,直击雷防护装置与接地设计(接闪带、网)见图 2。

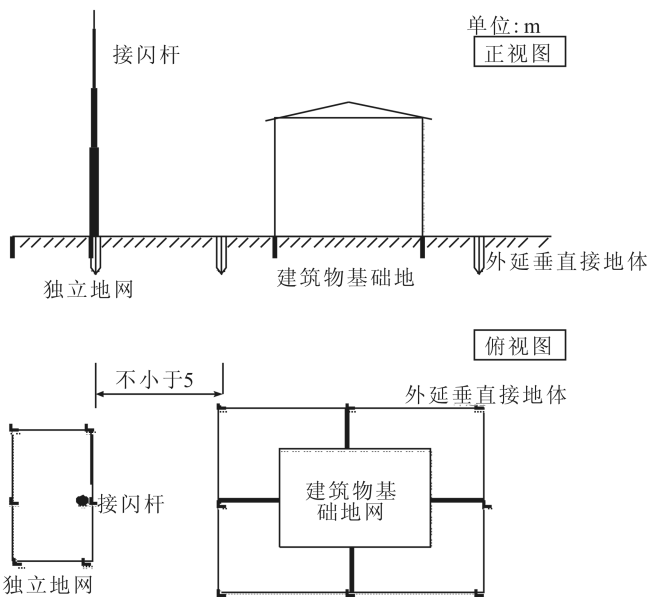


图 1 地震台站直击雷防护装置与接地设计(接闪杆)示意图

采用钢筋混凝土建筑的观测房,宜利用其建筑物的屋面、柱、基础内的钢筋作为引下线,没有钢筋的建筑物应在建筑物的四周均匀或对称铺设引下线。其中,引下线的选取应符合以下要求:①直径不小于 8 mm 的镀锌圆钢,或横截面积不小于 75 mm² 的镀锌扁钢;②与接地装置焊接牢固,所有焊接处均应做防锈处理。防直击雷的接地装置应围绕建筑物敷设成环形接地装置,且地网的接地电阻值不应大

于 $4\ \Omega$ 。由于地磁观测房要求是无磁性的,因此对于磁性测量仪器观测房必须用铜材制作接地网和引下线。

对于一类台站还可在需保护建筑物顶加避雷网(或带),其做法为:①屋顶四周用 $> 8\ \text{mm}$ 钢筋焊一方框^[10],且高出屋顶约 $20\ \text{cm}$;②在屋顶平台上用 $> 8\ \text{mm}$ 钢筋纵横交叉焊接一大屏蔽网,网格尺寸 $< 2\ \text{m} \times 2\ \text{m}$ (并与边框相连);③在屋顶边框上多处焊接圆钢或扁铁引下线接大圆钢直径 $> 10\ \text{mm}$,扁钢截面为 $40\ \text{mm}$,厚度为 $4\ \text{mm}$,引下线要短、松、无直角和固定。还必须强调一个不可忽视的问题,各台站原有的旧避雷针必须检查设置是否合理,接闪器、下引线是否连接完好,尤其是接地电阻必须合格,否则会起相反作用。

2.2 感应雷防护技术

接闪器只能防护雷电直击建筑物的灾害,不能防止闪电的脉冲电磁场的危害。雷电对地震台站的危害大多由感应雷引起,感应雷也叫作二次雷,包括静电感应和电磁感应两种。无论是静电感应还是电磁感应,都能通过电力线、电话线、信号线等金属导线传输,使感应雷的危害范围扩大,所以做好地震台站感应雷的防护是十分必要和重要的^[11]。

2.2.1 电源进线防雷技术

据统计在雷电打坏电子设备的事故中,80%以上雷电波是从供电线路中侵入的。这些很长的架空导线,穿越旷野,很易遭雷击,雷电冲击波从配电线路进入电源模块,以及从配电线路感应到同一电缆沟内的观测网络线上进入通讯模块的几率比从天馈和信号线路进入的要高得多,因此电源进线的防雷是观测系统防雷的重要部分。

(1) 交流供电系统防雷

交流市电具有安装成本低、维护容易、供电稳定的特点,在条件允许的台站,应优先选择交流供电,但交流供电线路是感应雷比较容易侵入的地方之一,雷电的能量主要集中在几百赫兹的低频端,极易与工频回路耦合,对地震观测设备进行破坏,在地震台站防雷设计中,对供电系统的防雷非常重要。目前对电力线引雷的预防措施主要有:①通常电源线进入台站前,应用 vv22 镀锌带塑胶外皮的铠装电缆埋地铺设后引入地震台站总配电室,中间无接头,其中铠装电缆的选取应符合以下要求:(a) 铠装电缆芯线的截面面积不小于 $10\ \text{mm}^2$;(b) 铠装电缆埋于地中的长度应符合式(1)要求,但长度不应小于 $15\ \text{m}$ 。

单位:m

正视图

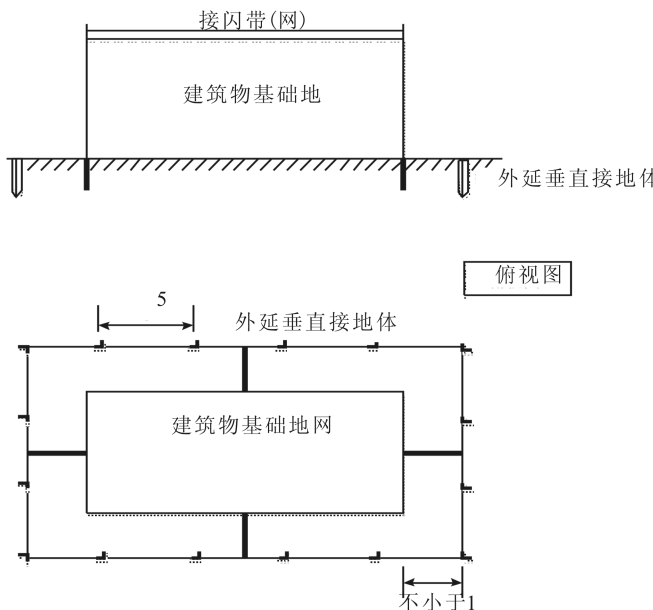


图 2 地震台站直击雷防护装置与接地设计
(接闪带、网)示意图

$$l \geq 2\sqrt{\rho} \quad (1)$$

其中: l 为铠装电缆埋于地中的长度,单位:(m); ρ 为埋电缆处的土壤电阻率,单位为欧姆米($\Omega \cdot \text{m}$)。

这个公式是根据防雷接地体的有效长度延伸最大值(对应于闪击对大地的第一次雷击称作长波头)与最小值(对应于闪击对大地的第一次雷击以后的雷击称作短波头)取平均值经简化后得来的。15 m 数值是考虑为架空线杆高 1.5 倍(设杆高一般为 10 m)确定。此外还需将两端电缆的金属外皮、钢管接到接地装置上,当雷电流流经理地铠装电缆的首端时,一部分经首端接地电阻入地,一部分流经电缆。由于雷电流属于高频(一般为数千赫兹),产生集肤效应,流经电缆的电流被排挤到外导体上,由金属外皮入地。另外流经外导体的雷电流在芯线中产生感应反电动势,从理论上分析在没有集肤效应下将使流经芯线的电流趋向于零,因此铠装电缆金属层两端均应接地是非常必要的。②按照中华人民共和国国家标准《建筑物防雷设计规范(GB50057—94)》和《建筑物电子信息系统防雷技术规范(GB50343—2004)》要求,以及分级保护、逐级泄流的原则,应在地震台的总配电处、分配电处、稳压电源或不间断电源(UPS)前端、地震观测仪器设备前端分别安装电

源防雷器,多级防雷能泻放电源线路不同地方被感应的雷电,因为前级避雷器已将大部分雷电流泄放入地,在后级的避雷器只泄放少部分雷电流,所以能有效地抑制电源线路上的雷击过电压,使到达设

备的电压与电流,控制在用电设备能承受的范围,保障设备不被损坏或在雷击过程中设备能正常工作。目前在地震台站防雷设计中,台站对供电系统的雷电防护一般采用四级防护。

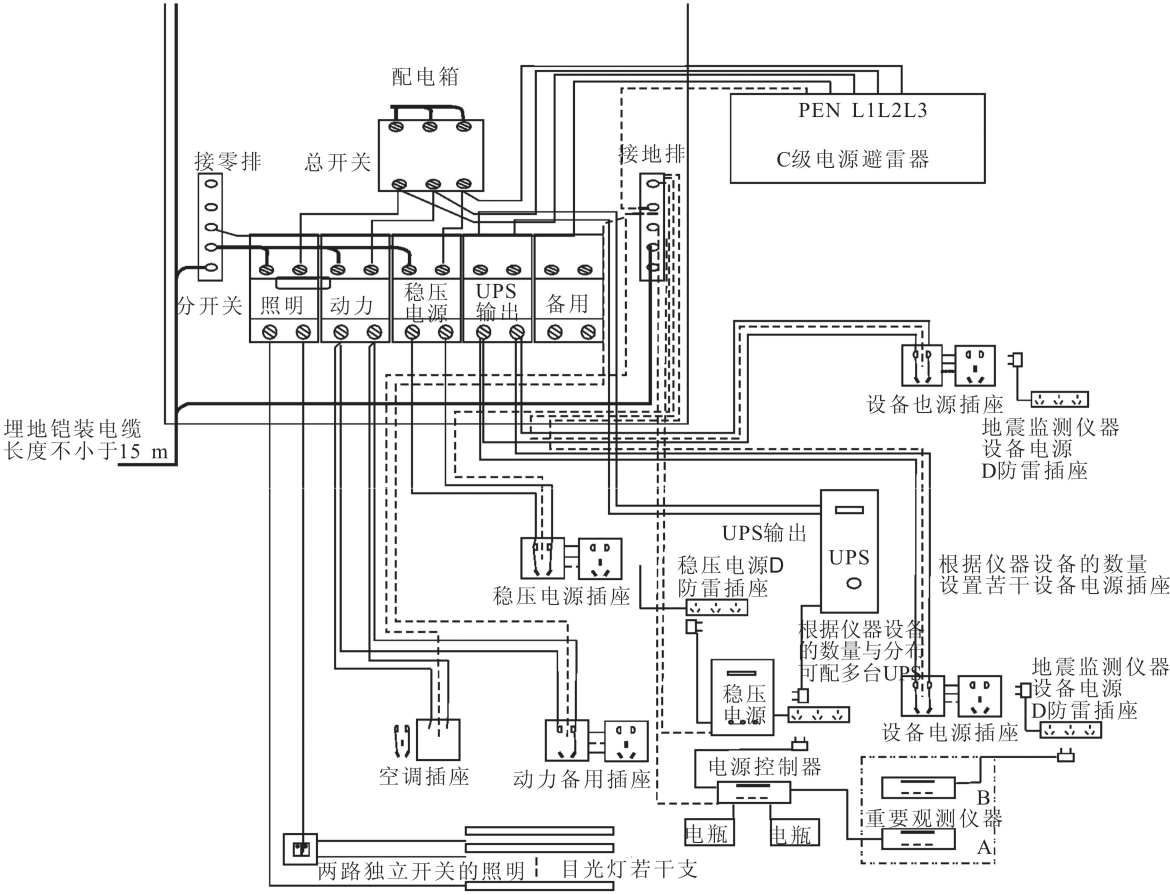


图 3 地震台站电源系统防雷设计示意图

电源一级防雷保护:市电一般已由电力部门敷设至台站,如果是 380 V 的三相电则在台站需要另设一变压器转换。对于 B 级三相电源主级防雷器,三相进线的每条线路应有 40~60 kA 的通流容量,可将数万甚至数十万伏的过电压限制到几千伏以内,防雷器并联安装在台站内部的总配电室进线端处,做直击雷和传导雷的保护。可选用 MB-25/4 防雷模块,此级防雷器并联安装,对后接设备的功率不限,可以对通过线路传输的直击雷和高强度感应雷实施泻放保护。

具体实施:台站变压器的放置位置应距离仪器设备大于 30 m,同时经变压器转换后的电压线路应穿 vv22 镀锌带塑胶外皮的铠装电缆引入台站总配电房,中间无接头,线径根据台站负荷选定(建议用 vv22-2×10 型);铠装电缆长度必须大于 30 m,埋地深度大于 0.8 m;在铠装电缆的两端应将铠装钢带

就近接地,若线过长中间也应适当接地。在台站的三相电源总配电房的进线端,并联安装 MB-25/4 防雷模块一套(最大通流容量>140 kA,响应时间<20μs)。

电源二级防雷保护:虽然已在台站的总电源进线端安装了第一级防雷器,但是当较大雷电流进入时,第一级防雷器可将绝大部分雷电流由地线泄放,而剩余的雷电残压还是相当高。因此第一级防雷器的安装,可以减少大面积的雷击破坏事故,但是并不能确保后接设备的万无一失,也存在感应雷电流和雷电波的二次入侵的可能,需要在配电室与观测室之间,机房配电柜前安装电源第二级防雷器。

具体实施:第二级电源防雷器作为次级防雷器,可将几千伏的过电压进一步限制到 1 kV 多,将第一级防雷器泄放后出现的雷电残压,以及电源线路中感应的雷电流给予再次泄放,防止雷电流进入观

测室内产生强烈的电磁场。三相线路选用 PB6-80-3S 电源防雷器,此级防雷器并联安装,对后接设备的功率不限。

具体措施:在台站的三相电源总配电室,分配电柜的每个单相线路。

第三级防雷保护:这也是系统防雷中最容易被忽视的地方,现代地震台站电子设备都大规模使用集成电路和精密元件,这些器件的击穿电压往往只有几十伏,最大允许工作电源也只是 mA 级的,若不做第三级防雷,由经过一、二级防雷而进入设备的雷击残压仍将有千伏之上,这将对后接设备造成很大冲击,并导致设备损坏。作为第三级的防雷器,要求有 10 kA 以上的通流容量,因台站的地震仪器与信息系统设备都是单相的用电设备,可以选用 C 级单相电源防雷器作为第三级电源防雷器,其串联在设备前端,对内部产生的操作过电压(如感性或容性负载设备的启动或关机)和高压静电有极好的防范效果。

具体实施:观测机房重要设备前端加装 C 级防雷箱 PB6-80-1S,吸收低能雷电流和浪涌过电压作为防雷三级保护。它具有短路保护功能,防雷保护功能迅速,响应时间快,残压低,通流容量大等特点。机房里的地震仪器与信息系统设备全部由 UPS 配电,在三级电源防雷之后,我们用 UPS 不间断电源进行观测室单相电源的稳压,净化和抗浪涌等干扰。我们选用的是 APC5000VA 大容量长延时智能在线式 UPS,效果甚佳。

第四级电源保护:是在观测仪器设备前端加装普通型避雷插座,以防范其他窜入的雷害干扰,后接被保护设备与第四级电源防雷器的线路不应该超过 10 m。例如永安台在体应变仪数采电源适配器被击坏后,就采取第四级交流电源防雷,更换普通插座为防雷插座,就未发生此类事件。

具体实施:将普通插座更换最大放电电流不低于 10 kA(8/20 μ s)的防雷插座^[12],一般在观测机房重要设备前端加装 PS6 普通型避雷插座,它能吸收低能雷电流和浪涌过电压作为防雷四级保护,它具有短路保护功能,防雷保护功能迅速,响应时间快,残压低,通流容量大等特点。观测房的电源防雷器、电源防雷插座的地线应就近接到接地排,对于形变山洞口的电源防雷器就近接地,山洞内各室的电源防雷插座无需单独引地线,直接插到就近的电源插座上,利用其 PE 线即可。

需注意的是地震台站第一、二级电源防雷器安

装位置相距不应少于 5 m,这是因为在电源线路中安装了多级电源防雷器,由于各级电源防雷器的标称导通电压和标称导通电流不同、安装方式位置及接线长短的差异,导致出现能量配合不当,产生某级电源防雷器不动作的盲点问题。为了保证雷电沿电源线路侵入时,各级电源防雷器都能分级启动泄流,避免出现盲点,两级之间必须有一定的线距长度(即要有一定的感抗或加装退耦元件)来满足避免盲点的要求。为了保证快速泄放雷电流,标准规定其电源防雷器的连接线长度不应超过 1 m,截面积不应小于 10 mm²,并且应使用线耳连接。

(2) 直流供电电源防雷

地震观测设备供电不是 220 V 交流电,而是 12 V 直流电,一般都是用一个直流供电电源来提供所有仪器的供电。直流供电电源的基本设计原理是用变压器将 220 V 交流电变为 12 V 交流电,然后用桥式整流变为单向脉动电压,通过电容 C1 滤波后单向脉动电压称为带有交流纹波成份的直流电压(电压约 15 V),再经过线性稳压器 7812 稳压成 12 V 直流电,电容 C2 作用是抑制 7812 发生自激振荡(图 4)。因为雷电的速度相当快,在避雷器还没来得及响应时就通过电源进入仪器设备,造成损坏,这就是直流稳压电源最大的弊端。采用带有隔离供电功能的直流稳压电源,可以避免直流稳压电源这个弊端,使仪器设备免遭雷电损坏^[13]。

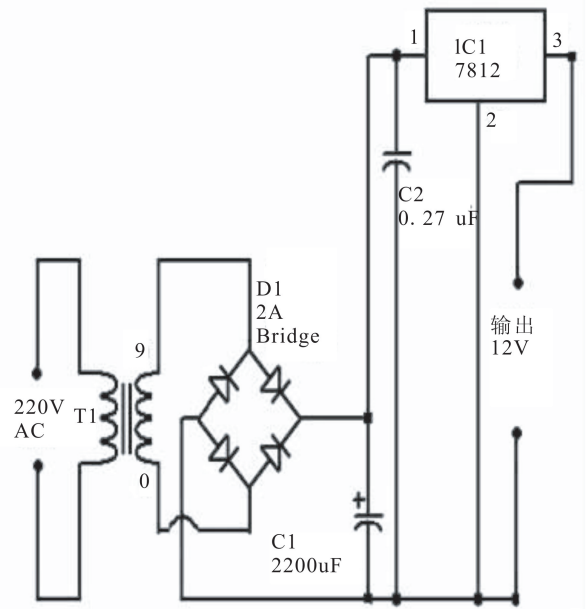


图 4 直流稳压电源工作原理图

主要设计思想是:台站供电由两组电瓶交替进行,两组电瓶采用大间隔继电器隔离,市电只对一组

没有供电的电瓶充电,另一组隔离市电的电瓶直接向仪器设备供电。这样做的优点是:直接隔离了交流电路,隔断了雷电进入地震观测设备的一条通道。台站采用隔离式不间断免维护电池组供电,即一套电源有两组独立电池,一组电池供电,另一组电池充电,充电电路与供电电池是物理隔绝的(通过继电器)。该电源的检测、识别和切换都是自动完成的。从图 5 中可以看出任何时候,仪器的供电是纯粹的直流蓄电池供给,和外界的线路没有任何连接,安全系数大大提高。

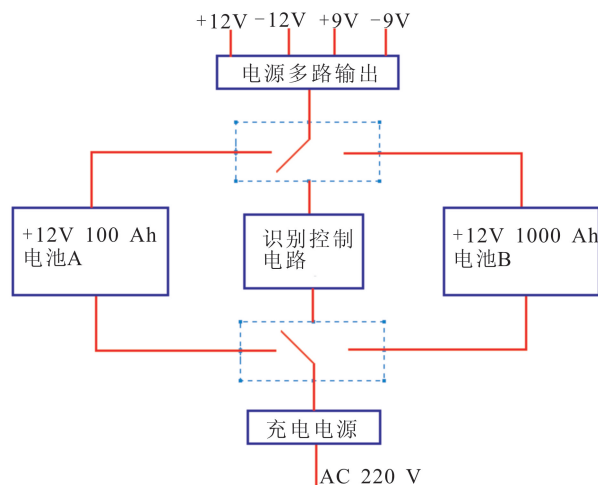


图 5 隔离式直流供电示意图

2.2.2 信号与通信线路防雷技术

地震观测系统通讯线一般采用特制屏蔽双绞线(如 DH+、MB+),安装时穿管直埋(或电缆沟)铺设,所以雷电在此处的感应电压不高(1~2 kV)。但由于其直接进入计算机通讯口这一薄弱环节(正常电压一般为正负 5 V、12 V、24 V、48 V 等),故损害也很大。计算机数据交换或通讯频率是从直流到几十兆赫兹(据系统而定),在选用避雷器件时,一般不采用氧化物避雷器,因为其分布电容大,对高频损耗大,除非对其进行特殊处理。

(1) 信号线防雷。

一般讲信号线路通常不遭受直击雷的破坏,1 mm 的铜线遭受 10 kA 的雷电袭击,它自身就断了,所以信号线的雷电危害主要是感应雷。在雷电放电的过程中,强大的脉冲电流所产生的强力变化磁场会对周围导线或金属物体产生电磁感应,从而引发过电压,信号线会携带过高电压进入台站,对使用较低电压的通信及观测设备造成极大威胁。信号线路的防雷主要针对与外部电气有连接的设备,在地震观测设备中主要包括:测震设备、形变设备、电磁设

备、流体设备等,其中地电阻率设备、大地电场设备、甚低频设备属于开放式的设备,也是往年特别容易遭雷击灾害的设备。

具体措施如下:

① 进出建筑物的采集线在仪器侧安装专用信号防雷器,其最大放电电流不低于 10 kA/(8/20 μ s)。

② 地震观测仪器主机与传感器分别在不同的建筑物内时,其连接线仅在地震观测仪器主机一侧应安装信号防雷器。因为仪器主机和传感器都在各自有雷害设防的建筑物内,而连接线按要求,应套入金属管或聚氯乙烯管(PVC)和三型聚丙烯管(PPR)埋地(墙)或嵌入相应的线槽铺设,所以这种情况下仅在地震观测仪器主机一侧安装信号防雷器就可以。

③ 地震观测仪器主机与传感器都在同一建筑物内(或者山洞内)时,采集线长超过 5 m 在仪器一侧安装专用信号防雷器;超过 10 m 两侧都安装专用信号防雷器,例如水温仪探头及体应变仪探头一般在井下 100~150 m,地面部分有的离观测房上百米,地磁 FHD 规范要求探头则至少离主机 70 m^[14],这种情况下信号传输线一律穿屏蔽管理地深 0.8 m 敷设,选用地震观测仪器专用避雷器,在传感器至主机的传输线的两端各接一避雷器,信号线的屏蔽层和屏蔽管两端一同和地网相连,从而起到保护传感器和主机的作用。对于形变仪器观测系统,山洞内深超过 10 m 以上的各室内仪器连接线不安装信号防雷器,在山洞口或进山洞不到 10 m 的仪器设备需要安装信号防雷器。

④ 地震台内各观测室之间、观测室与机房之间、山洞与机房之间、山洞与观测室之间的标准信号线(RS232、以太网)改为光缆。

⑤ 进室内铺设的且长度超过 10 m 的宜改为光缆,室内光缆可以明线铺设,室外光缆可埋地也可架空铺设。

⑥ 光缆埋入地下时,应套上钢管或 PVC 管,光缆的所有金属接头、金属防潮层、金属加强芯等,应在入室处直接接地。

⑦ GPS 馈线在仪器侧安装专用信号防雷器。

⑧ 出台站的 DDN 等通信线安装信号防雷器。

⑨ 观测房内的观测仪器宜集中安装在标准机柜内,尽量缩短通信线路的长度。

信号防雷器通常串联在线路中,给予地震数据的精度和可靠性要求,必须以不影响数据

传输为根本原则。地震台站使用的信号防雷器种类繁多,多达数十种,包括测震、形变、电磁、流体

等方面的信号,这些信号的工作频率、传输速率、传输带宽、工作电压、接口形式和特性阻抗等参数不尽

相同,必须选取插入损耗小、分布电容小且与纵向平衡、近端串扰等指标适配的信号防雷器。

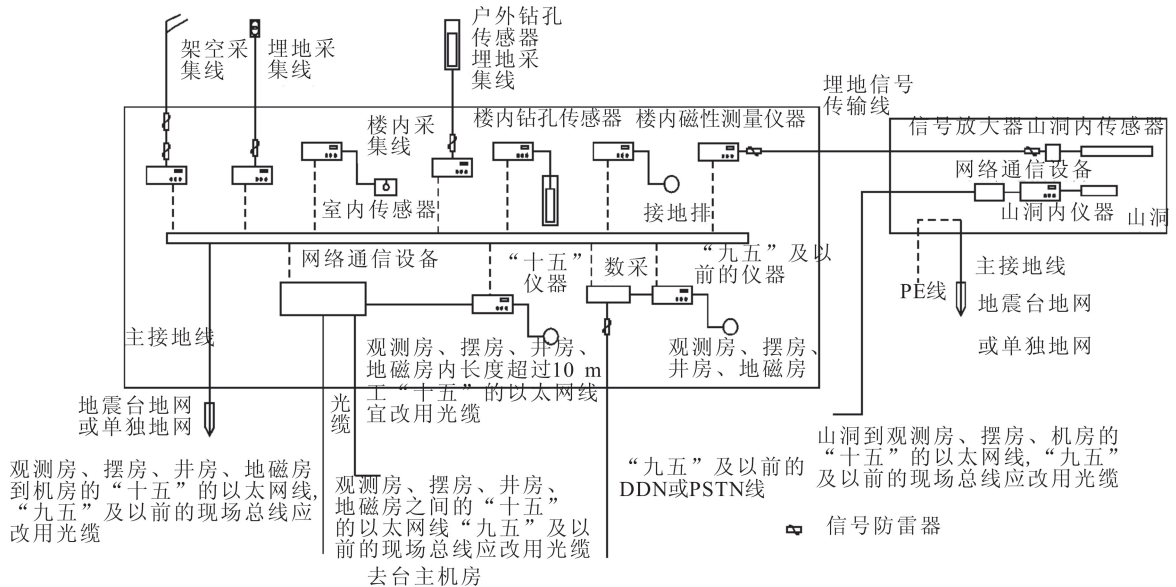


图 6 地震台站信号线路系统防雷设计示意图

(2) 通信线路防雷

① 通信传输线防雷。机房内仪器到网络交换机的五类线长超过 10 m 时,则在交换机侧安装网络信号防雷器,其作用是泄放网络线在室内感应到的雷电流;机房内网络交换机到服务器的五类线超过 10 m,在服务器侧安装网络信号防雷器。同理,机房内的网络交换机接有其他终端时,应在网络交换机侧的五类线上安装网络信号防雷器,其作用是泄放网络线在室内感应到的雷电。如果机房与各观测室之间的通信线是导体线路,则应在观测室与机房两侧都安装相应的信号防雷器,如果机房对外通信是导体线路,如 ADSL 等,则应在机房安装相应的信号防雷器。

② 电话线路防雷。地处郊区、山区的地震台站,电话线的延长与遭遇感应雷的概率成正比,电话线引入的雷电常危害有线调制解调器和与其相连的其他设备,在入室前几十米应穿上套管埋入地下,入室后加装电话线避雷器,同时要可靠接好避雷地线。经过“十五”、“十一五”项目改造,当前大部分台站已经实现光纤信号传输或者使用含有 CDMA、GPRS 通信模块的数据传输终端,电话线避雷问题很大程度上得到解决。

2.3 屏蔽措施和布线防护

(1) 屏蔽措施

屏蔽就是用金属网、箔、壳、管等导体,把需要保

护的对象包围起来,阻隔闪电的脉冲电磁场从空间入侵的通道。实验表明电磁屏蔽是雷电防护措施中最经济、最有效的措施,IEC(国际电工委员会),中国电力科学研究院等机构都进行了大量的电磁屏蔽实验,结果是只要做好线路的屏蔽,线路上的过电压大大降低。对于地震台具体的屏蔽措施如下:

① 进出地震台的低压配电采用套金属管或铠装埋地,金属管与铠装层两头就近接地。

② 进出地震台的信号线(除地电等特殊情况外)全部采用屏蔽电缆并套金属管埋地,电缆的屏蔽层,金属都两头就近接地。

③ 地震台内的跨楼层的通信线路采用屏蔽电缆,屏蔽层两头就近接地,并全段保持电气连接良好。

④ 地震台内所有仪器、信息系统设备都应放置在金属机柜内,所有设备的接地点与机柜都应就近接到接地母排。

⑤ 地震台内建筑物屏蔽,利用建筑物的混凝土结构柱、楼板、圈梁内的钢筋和金属门等形成的屏蔽网格。

(2) 线路整理。

地震监测仪器为特殊的专用设备,仪器与传感器之间的连接线路十分繁多复杂,有供电线、信号测量线、标定线、通信线等。之前许多台站强弱电没有严格分开,部分信号线过长,环绕交叉多,线路布设十分不规范,遭遇强电磁辐射时,局部经常发生因强

的电磁感应辐射而损坏地震仪器的情况。造成原因很多,其中主要原因是台站缺乏综合布线规范化、标准化的意识和必要的设计,每当新上一种观测手段、一种仪器设备,安装架设人员大都根据自身需要安装布线,很少顾及布线的规范化、标准化,日积月累、年复一年,就造成线路混乱、交叉和卷团的现象,所以对台站实施综合防雷改造必须对各观测室线路进行梳理,机柜内部线路整理。电源线、数据线分开整理,用扎带分开扎紧固定。仪器设备机柜等要良好接地,使其具有较好的屏蔽作用。

室内线路分类整理要求:

①强弱电线分开,分别套金属线槽铺设,金属线槽应接地;

②线路整理为平直有序,多余较长的线要分别盘整,各类分别用线扎扎好并用软质 PVC 不干胶做出标记;

③多余无用线缆要拆除;

④室内没有采取屏蔽的强电线和弱电线距离主地线平行距离应不小于 0.5 m。

2.4 防雷等电位连接技术

当雷电在台站附近放电时,雷电就会从高电压形式转变成电流形式释放到大地,从而引起台站地电位的瞬间升高,也就是地线电位升高,致使与地线相连的台站设备外壳呈现高电位,如果设备外壳电位与设备电源电压之间大于设备耐压时,就会烧毁台站设备。为了减少这种情况的发生,彻底消除雷电引起的带有毁坏性的电位差,是设备防雷的重要技术措施,实现这一技术措施就是等电位连接。等电位连接是把台站建筑物的钢筋架,机柜,仪器外壳,供电及通信设备的接地装置等连在一起,使整个建筑物成为一个良好的等电位体,保证遭受雷击时,内部设备和人员不会被雷击或高电位反击^[15]。

2.5 接地技术

接地是一个比较复杂的问题,从避雷的角度讲,把接闪器与大地作良好的电气连接,使雷云对接闪器闪击的电荷尽快地疏散到大地,与大地的异种电荷中和。理想的接地装置(包括从接闪器到地面的引线)是没有电阻的,但实际上接地装置和从接闪器到地面的引线都是有电阻的,并且通常所讲的接地电阻是指埋入地中的电极周围土壤的欧姆电阻,而不是地极的表面电阻。接地电阻一般小于 $4\ \Omega$ 电阻率^[16]。接地电阻大小与接地体和土壤的接触面积以及土壤的湿度、温度、含水量、水质、含盐碱量等都有关系。在一些土壤电阻率较高的地区,可采取增

加土壤的湿度、使用墨粉、铁精粉、氮肥渣、石灰、木炭以及专用的降阻剂等多种方法降低接地电阻,还可用一种新型长效高导活性离子接地体,通过引入高导活性离子的方法使土壤电阻率得以下降。它可形成导电良好的电解离子土壤,减少接地极与周围土壤的电阻率,从而达到良好的接地效果。地下接地体之间连接必须采用焊接,而且采取搭接焊,所有焊接点除浇注在混凝土中的以外,均应进行防腐处理,施工中用肉眼检查焊接处不应有夹渣、咬边、气孔和未焊透情况。值得一提的是没有良好的接地系统或者接地不良的避雷设施会成为引雷入室的祸患。避雷装置接地不良,还可能为雷电电磁脉冲对电气和电子设备产生电感性、电容性耦合干扰提供机会。在综合防雷确定接地电阻时,应考虑各种设备对接地电阻值的要求,在所要求的各种阻值下,应取最低值^[17]。

接地是避雷技术中最重要的一环,不管直击雷、感应雷或其他形式的雷,最终都是要把雷电送入大地。地震前兆台站中有避雷接地、机壳安全接地、交流电源工作接地和直流接地等。接地通常分独立接地和共用接地,独立接地存在各地网之间的高电位差容易击穿仪器设备;共用接地可避免高电位差产生的击穿问题,但必须做好地网和连接,共用接地有一个多点接地的问题,即公共阻抗耦合效应产生干扰或噪音,由于各种干扰源感应的电流在接地平面流动,各点不可能处于同一电位,就会产生干扰源。在地线的使用上,信号地线与电源的防雷地线决不可公用,地线的接地电阻决定放电时的瞬间电位,即地线的接地电阻决定防雷装置效果,两个地线的埋设距离最好大于 20 m^[18]。如果采用“一点接地法”把各系统的接地线连接到接地母线同一点或同一金属平面上,可使各系统的接地线处于等电位消除了干扰,但是引线不要过长,以免高频电容耦合效应的干扰。在一些特殊的台站,如独立的小观测室、山洞可采取环行接地、等电位连接、利用基础接地体、法拉第网等接地连接方法。

2.6 雷电预警技术

在地震科技项目进步的推动下,全国各地震台现逐步在安装徕信地震版雷电防护预警设备,由只能预警的 L17 发展为性价比较高的能预警,并自动切换交直流电源的 L21,这是地震防雷技术的一次革新性进步。L21 采用精确的雷电探测器与电场仪作为组合传感器,结合地震台站实际情况,深入分析电场的多种参数来综合判断预警雷电(图 7)。雷击

发生前,提前 10~30 min 声光报警,对机房等地的设备保护,实现隔离性雷电防护、自动切换电源。预警防护系统用机房内的 UPS 供电,要发生雷击时,预警防护系统自动断开室外电源,完全隔离雷电,机房内设备暂时用 UPS 供电,雷击警报解除后,预警系统自动连接室外电源,恢复正常供电,100%的切断电源途径入侵的雷击,保护设备,大幅降低雷击引起的财产损失及雷击事故造成的负面影响,这将对感应雷的防治起到关键性作用,也对过去的人工式

切换电源防雷击带来很大的安全和方便。雷击前断开大部分负载,减少总配电开关跳闸等事故,也为代替人工断电措施提供了安全性保障。

台站雷电预警设备应安装在交流配电 UPS 输入端,控制地震仪器设备的交流供电;预警设备的传感器应固定安装在观测室房顶最高处,可视张角应大于 120°,可视半径范围应大于 100 m;雷电预警的灵敏度系数应根据本地实际情况,通过运行试验调整设置,同时做好运行日志管理存档。

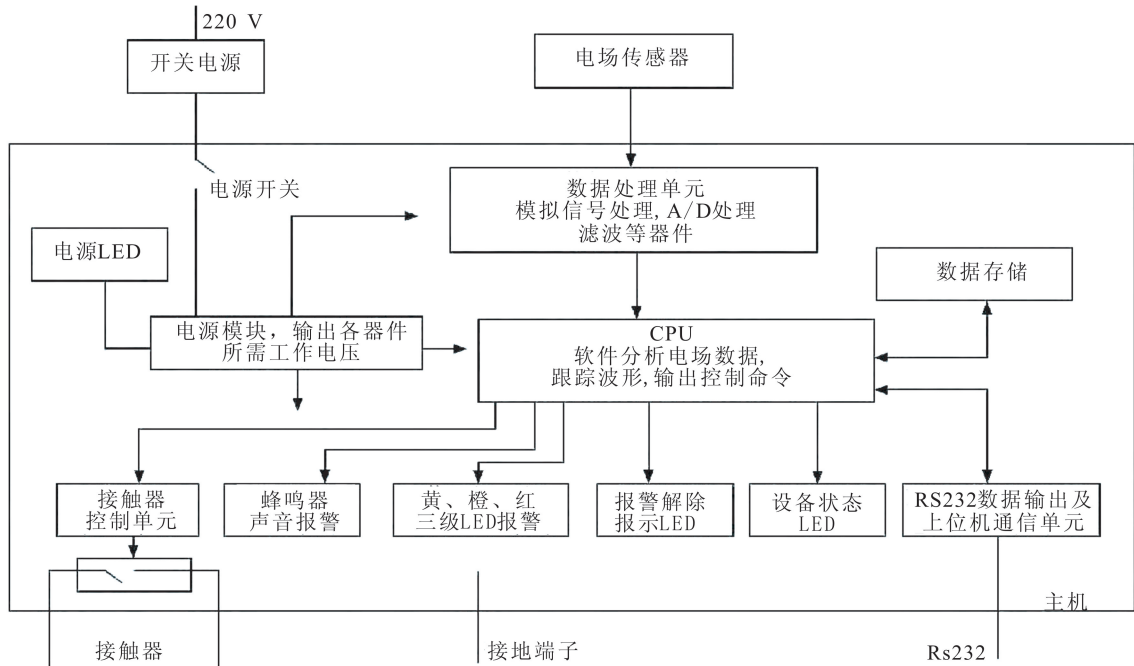


图 7 L21 雷电预警系统工作原理图

3 防雷装置的维护与管理

良好的运行维护与管理是观测系统正常运行的重要保证。要定期对防雷装置进行维护,通过维护可以将隐患消除在萌芽状态,以延长防雷装置的使用寿命。

(1) 地震台站防雷装置的设计、安装、配线、检测报告等资料文件应及时存档、妥善保管。

(2) 防雷装置应确定专人负责管理、维护,其他人员应了解防雷装置安装的位置、性能状况。

(3) 每年雷雨季节前应全面检查防雷装置运行情况,进行维护,及时排除故障。例如检查接地连接处是否紧固,接触是否良好,接地引下线有无锈蚀,接地体附近地面有无异常,必要时应挖开地面,抽查地下隐蔽部分锈蚀情况,如果发现问题,应及时处理;检查避雷元器件有无损坏、发黑、有无焦糊味,器

件部位是否清洁、有无霉丝、昆虫等,及时更换有问题的部件。

(4) 接地装置应进行定期维护,接地电阻每年应至少测量一次(雷雨季节前),并做好记录存档。

(5) 当发生雷击灾害造成损失时,应及时检查处理,并将情况上报至上级主管部门备案,相关材料归档。

4 结论与思考

地震台站防雷是一项综合性系统工程,在充分分析雷电入侵观测设备的途径后,对电源线路实行四级防雷及 L21 雷电预警的交直流电源切换来阻断雷电从交流电源入侵;对信号线路根据不同设备的特点和布局,安装信号防雷击保护;对进入台站电源线路和观测信号线路整体的屏蔽保护;将电子系统中不能使用导体进行等电位联结的带电体,如电

源线和信号线,使用 SPD 与接地统连接,形成准电位连接,达到保护观测系统和观测设备的目的,应用接地排、整体的接地电网泄放电荷,从技术上全面系统地实现隔离、屏蔽、等电位、安装浪涌保护器 SPD 等综合防护技术后,综合防雷取得明显的安全性效果。综合防雷技术逐步在前兆地震台安装实施并完善,观测设备运行的连续性得到改善,观测资料的质量得到可靠保障。

参考文献

[1] 吴小花,钟怡军.数字遥测地震台的雷电防护[J].华南地震,2003,23(2):81-83.

[2] 王凤.地震台站观测系统的防雷技术[J].灾害学,2010,25(4):63-66.

[3] 陈宪宝.浅谈地震台仪器与信息系统防雷[J].防灾科技学院学报,2011,13(4):49-51.

[4] 虞昊,减庚媛,张勋文,等.现代防雷技术基础[J].北京:清华大学出版社,1995:29-32.

[5] 赵海.雷电危害的机理分析与防护措施[J].地震地磁观测与研究,2005,26(2):109-114.

[6] 孙忠欣,侯淑梅.雷电机理及其防御[J].河南气象 1999,4:31-35.

[7] 芮静康.建筑防雷与电气安全技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2003:22-31.

[8] 杨金夕.防雷、接地及电气安全技术[M].北京:机械工业出版社,2004:29-35.

[9] 王锋吉,林眉,许丹,等.地震台站的防雷技术探讨[J].地震地磁观测与研究,2008,29(4):82-84.

[10] 瞿旻,霍祝青,戴波,等.测震台站综合防雷系统建设及效能评价[J].地震工程学报,2015,37(2):620-621.

[11] 黄锡定,梁焕贞.地震台站应用防震技术探讨[J].地震地磁观测与研究,2007,28(5):35-38.

[12] 王锋.海拉尔地震台综合防雷措施的探讨[J].地震地磁观测与研究,2005,26(增刊):158-160.

[13] 杨漾,曾云飞,郭民权,等.海南省测震仪器防雷问题探讨[J].华南地震,2012,32(4):96-99.

[14] 黄晖,柴剑勇,黎珠博,等.广东地震台站前兆观测系统防雷综合方法[J].华南地震,2008,28(1):110-111.

[15] 刘新,李小军,李庆武,等.河北数字遥测地震台站避雷系统[J].华北地震科学,2008,26(4):54-57.

[16] 中国地震局.地震及前兆数字观测技术规范[M].北京:地震出版社,2001:55-61.

[17] 刘建明.降低高原地震台仪器设备接地电阻的技术措施[J].四川地震,2006(2):40-42.

[18] 王长江,阎熠,王世荣.地震台站防雷措施 4 例[J].地震地磁观测与究,1999,20(6):88-90.