

全建军, 林慧卿, 陈美梅, 等. 数字化地震前兆台站防雷措施探讨[J]. 华南地震, 2018, 38 (1): 61-70. [QUAN Jianjun, LIN Huiqing, CHEN Meimei, et al. Discussion on Lightning Protection Measures of Digital Seismic Precursor Station[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(1): 61-70.]

数字化地震前兆台站防雷措施探讨

全建军^{1,2}, 林慧卿¹, 陈美梅¹, 郑永通³,
赖见深², 方传极², 郑志泓², 陈珊桦⁴

(1. 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;
3. 龙岩地震台, 福建 龙岩 364000; 4. 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。从讨论雷电对地震台站造成的危害出发, 分析雷电入侵地震台站前兆设备的途径, 阐述综合防雷系统的构成与基本要求, 从配电系统、通信和信号线路、地网改造、线路电磁屏蔽等多个方面提出地震台站防雷的有效措施, 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: 雷电; 台站; 防雷措施

中图分类号: P315.75 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2018) 01-0061-10
DOI: 10.13512/j.hndz.2018.01.008

Discussion on Lightning Protection Measures of Digital Seismic Precursor Station

QUAN Jianjun^{1,2}, LIN Huiqing¹, CHEN Meimei¹, ZHENG Yongtong³,
LAI Jianshen², FANG Chuangji², ZHENG Zhihong², CHEN Shanhua⁴

(1. Yongan Seismic Station, Yongan 366000, China; 2. Instrument Maintenance Center Nanping Branch, Fujian Earthquake Agency, Nanping 353000, China; 3. Longyan Seismic Station, Longyan 364000, China;
4. Quanzhou Seismic Station, Quanzhou 362000, China)

Abstract: Lightning hazard is one of the most important factors that affect the stable operation of seismic stations. The paper discusses the lightning hazards of seismic stations, analyzes the lightning invasion pathways precursory observation devices of seismic stations, and explains a comprehensive lightning protection system and the basic requirements. Meanwhile, the paper puts forward effective measures for lightning protection of seismic stations from the aspects of distribution system, the communication and signal line, network reconstruction,

收稿日期: 2017-07-02

基金项目: 2015年福建省地震局青年科研项目基金(Y201508)、2015年福建省地震局台站科研项目基金(T201502)联合资助。

作者简介: 全建军(1984-), 男, 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.

electromagnetic shielding line, which can effectively reduce disaster losses, and in particular, reduce lightning damage on seismic observation system equipment.

Keywords: Lightning; Station; Lightning protection measures

0 引言

伴随现代科学技术的快速进步,我国地震前兆台站已完成大范围的数字化技术改造与升级,数字化技术以及信息网络技术在地震观测系统中开始普遍使用,这使台站观测技术系统迈上一个新的台阶,在地震预报和地震科学研究中发挥更加重要的作用^[1]。地震前兆台站运行的数字化仪器大都是由集成电路、集成模块等高精密电子元件相匹配构成,各条线路及元器件相距很近,且元件“精贵”,对外界工作环境如电压、电流、磁场以及电场等有很高要求,无法适应外界环境的急剧变化,如过电流、过电压、强力电场、强力磁场等,都易遭受其入侵^[2],造成仪器设备损坏以及观测数据中断失记,更惨重时被迫停测,严重影响观测资料精度、连续性及其可靠性,而地震台站产出的观测资料是否稳定、连续和可靠,直接关系到地震预报和科研水平速度的提高。我国地震台站大都建设在郊外及山区较宽广区域,因观测环境的特殊关系,很多地震台站建设位置相对较高,极易遭遇雷击,然而雷电的极大破坏性正是危害和破坏地震观测系统正常运行,导致观测资料质量下降的主要因素。相关统计表明,我国雷电的年平均发生日为 25 d,有的时候高达 100 余天,大多数地震台站都遭遇过雷电干扰,情况严重的以及较严重的台站约占总数的 1/4 至 1/3^[3]。

1 地震台站雷害浅析

1.1 雷电的特性

通常所说的雷电,是大气在气流作用下,某些带电荷云层同其它带异种电荷云层,或者带电荷云层同大地之间的急速放电,在急速放电过程中会出现猛烈的闪电以及伴有巨大的声响称为雷电。在所有自然灾害中,因雷电导致的灾害应该是最为严重的一类,除其自身拥有强大的破坏力外,还因雷电高频度的发生率,以及每年都重复出现。按照气象部门统计的有关数据,每年全世界各地出现雷暴次数多达 10 多亿次,大概每小时就会有 2 000 余次雷暴出现,且每分钟均会有 1~3

次出现云对地闪电现象,而针对地球表面来说落地闪电(或称落地雷)一秒内就会出现 30~100 次。雷电有两个重要的放电参数:①起关键破坏效果的雷电流,一般可达几十到 200 余千安,且作业时间极短;②雷电流的增加速度叫做陡度,其值可达 $i=80\times 10^3\text{ A}/\mu\text{s}$ ^[4]。

雷电导致的灾害基本都由上述两个放电特性所造成,详细情况如下:

(1) 强大的雷电流会产生热效应以及猛烈的机械振动,流经物体时会瞬间释放出巨大功率,造成该物体体内热量增大、水份挥发,分解出氧气与氢气,出现高温并爆炸。雷击发生时金属导体产生的热效应可使用如下公式计算: $w=u\int idt=uq$,式中 w 表示雷击时导体发热所产生的能量; u 表示导体上所形成的电弧压降,一般为 220 V; i 表示雷电流; t 表示时间; q 表示进入雷击点的所有电量。据相关研究表明:雷击时所产生的热量一般是 500~2000 J,能把一个直径为 46 mm 的钢球直接熔化。

(2) 高电位反击。在防雷装置被雷电击中时,接地体及接闪器引下线会产生很高的电位,因为雷电流强大的陡度和幅值,造成雷电流附近形成巨大的变化磁场,位于磁场内的导体会感应到圈套的电动势。若是防雷装置到建筑物内外电线、电气设备以及其他金属管道的绝缘距离不足,二者之间会有一个放电,叫做反击,反击会直接破坏设备,造成爆炸危及人们的生命。

(3) 接触电压及跨步电压。当雷电强电流经过大地雷击点或者接地装置进入周围土壤时,在其附近会形成电压降,位于接地装置周围的人会因为双脚所处位置不同,跨接会有部分电位差存在,电流通过人体时造成电击发生,此为跨步电压。当雷电流通过接地装置以及引下线时,因接地装置与引下线自身都存在电抗和电阻,所以会存在大范围的电压降,有时电压降甚至超过几万伏,倘若此时有人不小心误碰地下引线,很容易造成触电事故发生。

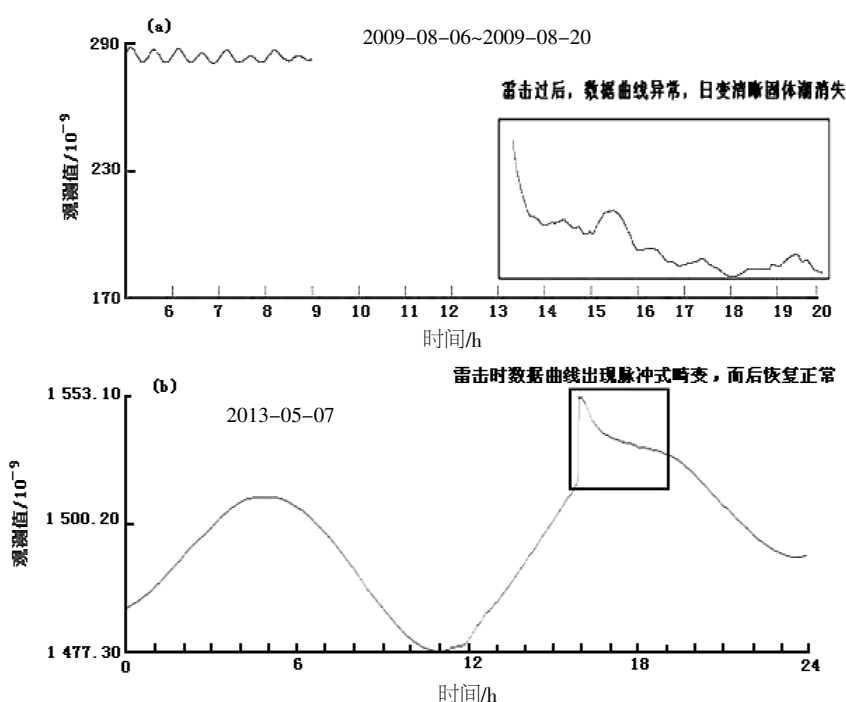
(4) 雷电波侵入。架空电力、通讯线路以及金属管道因雷电的影响,产生的雷电波会顺沿此类管线入侵室内的设备仪器或配电柜,给人身及

仪器设备安全带来影响。

1.2 雷电对地震台站造成的危害事件

地震台站因雷电造成的危害大部分是针对其弱电系统-仪器设备,由于地震观测系统采用的数字化仪器设备都是由大规模集成电路和分散控制用的CPU单元组成,电子元件的微型化、集成化程度越来越高,造成其承受瞬时过电压能力被大范围削弱,所以极易造成雷害故障。常见的地震仪器雷击事件是雷电击中电力线,在电力线上感应出高电压,并沿电力线传输至观测仪器,由于此高电压为 10^{-6} s至 10^{-3} s量级的瞬间尖峰冲击电压,高达几千万伏的高压以及强大的瞬时放电电流,会造成电子线路元器件损毁,或者元器件即使没有损毁,但是其性能已开始下降,极易引起软件程序以及地震信号数据损毁或丢失等。相同的是此类尖峰高电压也可能被携带到电话线上,给调制解调器与计算机带来威胁,也能通过信号线给数据采集器和观测仪器带来威胁。福建省属

于暖温带向亚热带过渡地带,是气候脆弱和敏感地带,每年的5~9月份雷雨天气较多,尤其是6~8月频繁,近几年雷害对福建的地震台站造成较大损失,例如:厦门地震台2008年5月25日因雷击,造成垂直摆本体EW向和UPS不间断电源、数据通信单元部分损坏,经及时抢修,仍造成垂直摆NS向数据缺8 h,EW向数据缺失58 h,6月12日再次因雷击造成仪器数据采集单元被摧毁,导致所有的数据无法下载,严重影响了数据的连续性;漳州地震台的PET重力仪在仪器前期使用时,就多次发生由近雷感应导致UC7112工控机损毁,主机摆体内部芯片雷击损毁,存储数据的SD卡被烧毁等仪器故障;永安台、泉州台、莆田台前兆形变仪器也多次因遭受感应雷而损坏(图1)。通过台站的实践运行可知,地震前兆仪器设备最主要的危害源就是雷电,经过多年的分析与研究,笔者概括出雷击对地震台站设备以及信息系统的三大类危害表现方式^[9]:



(a) 雷击造成体应变仪数据模块的损坏; (b) 仪器电路对雷电的感应

图1 永安台体应变仪受雷击影响的数据曲线

Fig.1 The data curve of body strainmeter affected by lightning strike

(1) 造成仪器受损:雷击产生的过电压或者电磁场会导致前兆仪器及信息化设备直接受损,出现雷击后,各类与设备相连的导体传输线上有可能会产生感应雷击过电压(高达几千伏)远远超过仪器自身的接口耐压。经过相关统计,地震前

兆仪器以及信息化设备接口电路里的芯片耐过电压能力基本大小于150 V,部分仪器设备有可能在30 V,雷击产生的过电压大大超出仪器设备所能承受的电压,仪器设备因此而损坏。

(2) 增快仪器设备老化:雷击产生的过电压或

者电磁场会造成地震仪器与信息化系统设备老化速度加快,雷击导致仪器设备受损是直接能看见的,可造成仪器设备老化是无形的,最明显就是引起仪器设备部分性能降低,例如某种前兆观测仪器的通信接口所承受的过电压为 150 V,经过几次雷电袭击后,仪器接口的耐电压出现老化,其值也许会降至 50 V,可此刻该前兆观测仪器还能照常工作,台站工作人员会误认为多次雷击未对仪器造成影响,可由于其接口耐压能力降低,很小的普通过电压都会导致其受损,造成仪器受损的概率极大增加。所以台站前兆仪器设备进行安装使用后,需马上实施相关的雷电防护措施,如果等到仪器设备老化后再实施雷电防护措施,其作用效果也许会大打折扣。地震前兆台站同志应高度重视雷击增快仪器设备老化问题,尤其是“十五”后新上的数字前兆仪器与设备,应在仪器设备还未遭雷击老化前,采取适当防护措施,若经过一至两个雷雨季节,设备开始老化后再采取防护措施,防雷效果自然要差的多。

(3) 雷击造成数据丢失:雷击引起过电压很有可能对正常工作的地震前兆仪器造成影响,导致重要观测数据断记或畸变,严重影响地震部门的分析预报工作。

2 地震台站防雷系统方案

现代综合防雷技术的基础理论是建设在:由于电流源是闪电,所以防雷最有效方法就是供给一条雷电流(包括雷电电磁脉冲辐射)对地进行释放的合理阻抗路径,并非任其随意选择放电路径,即要有效控制雷电能量的转换和释放^[6-7]。根

据瞬间过电压产生、危害途径以及地震监测台站的特殊环境,如果要尽可能减轻雷电灾害对地震监测台站造成的损失,就应积极实施综合的、系统的防雷措施。德国著名的雷电防护专家希曼斯基曾在《过电压保护理论与实践》一书中提出现代防雷技术的三条重要防线:①外部防护,直接把大部分雷电流引入地下进行电流释放;②内部防护及过电压防护,阻挡通过信号线、电源线以及数据线进入的侵入波损毁仪器设备;③过电压防护,制约所防护仪器设备上的雷电过电压幅值;上述 3 条防线使用时应各尽其职、互相合作、缺一不可。具体来说,需从供电系统防雷、通信和信号线路防雷、仪器防雷以及合理接地等多个方面入手。

2.1 直击雷的防护

直击雷防护指的是保护建筑物自身不因雷电破坏而受损,并有效降低雷击时强大雷电流沿建筑物泄入大地时对其内部空间造成的各类破坏。直接雷击防护装置宜采用避雷带(网)或避雷针作为接闪器,建筑物防直击雷应采用避雷针、带、网、引下线、均压环、等电位、接地体等措施,根据 GB50057《建筑物防雷设计规范》的要求,避雷带、避雷网以及引下线的材料和规格应符合表 1 的要求,采用独立避雷针时,埋地电阻要小于 10 Ω ,需被保护的台站置于以针尖杆为轴的 45° 的角锥体内,避雷针必须距离被保护建筑物 3 m 以上,且避雷针必须使用独立地网,此地网到地震观测仪器专用地网的安全距离应保持在 5 m 以上,严禁与台站仪器地线共用或接近,严禁与钻孔水井、自来水管等台站导体管线相连发。

表 1 常规避雷设备的技术要求

Table 1 Technical requirements for conventional lightning protection equipment

避雷器	选用材料	规格
避雷针长<1 m	圆钢	\varnothing 12 mm
	钢管	\varnothing 20 mm
避雷针长 1~2 m	圆钢	\varnothing 16 mm
	钢	\varnothing 25 mm
烟囱顶的针	圆钢	\varnothing 20 mm
	钢管	\varnothing 40 mm
避雷带和避雷网	圆钢	$\varnothing \geq 8$ mm
	扁钢	横截面积 ≥ 48 mm, 厚度 ≥ 4 mm
避雷架空线	镀锌钢绞线	横截面积 ≥ 35 mm
引下线	圆钢	$\varnothing \geq 8$ mm
	扁钢	横截面积 ≥ 48 mm, 厚度 ≥ 4 mm

观测房如果是钢筋混凝土结构的,可以将建筑物的屋面、梁、柱以及地基内的钢筋作为引下

线,倘若是没有钢筋的建筑物,就应在建筑物的周围对称或者均匀进行引下线铺设,铺设间隔应

小于 18 m, 且至少有两条。引下线通常选取直径 8 mm 以上的镀锌圆钢, 或者横截面积大于 75 mm² 的镀锌扁钢。观测房建筑物的基础地作为仪器设备的共用接地网, 接地装置宜围绕建筑物敷设成环形接地体。考虑到地磁观测房是严格要求无磁性材料, 所以针对磁性测量仪器使用的观测房其引下线以及接地网必须采用铜材制作。

2.2 感应雷的防护

地震台站的雷电灾害大多由感应雷引起, 约占雷灾事件总数的 80%, 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, 都可以经过信号线、电力线以及电话线等金属类导体进行传输, 使感应雷的危害范围变广, 如果磁场强度超过 0.03 GS, 则会影响数据的正常传输; 如果磁场强度在 2.4 GS 以上时, 就会造成仪器设备毁坏(IEEE 标准测试系统数据)。通过研究, 若距离地震台 100 m 左右, 出现雷电流为 100 kA 的直接雷击后, 距离建筑物外墙 1.5 m 以下, 其范围内产生的雷击磁场强度会超过 2.4 GS, 所以做好地震台站感应雷的防护是十分必要和重要的^[8]。

2.2.1 供电系统防雷

2.2.1.1 交流供电系统防雷

雷电流通过交流供电系统进入前兆观测台站是最常见、最直接的路径, 若电力传输线直接发生雷击时或在电力传输线周围出现雷闪放电时,

二者均会通过电力传输线产生雷电冲击波, 其具有的能量一般是从工频到几百赫的低端, 极易同工频为 50 Hz 的回路发生耦合。雷电冲击波通过电力传输线侵入电源系统, 和通过电源线路感应到相同电缆沟槽内的观测网络线侵入通讯模块的概率, 要远超过通过信号线及天馈进入的概率, 因此交流供电系统的防雷是观测系统防雷的重要部分。

地震台站的交流供电系统在高压与低压的进线端都已配置氧化锌避雷器以及阀型避雷器等相应避雷设备, 但台站的观测设备依旧会因雷击导致损毁。这是由于上述保护措施主要针对电气类相关设备, 但台站观测用仪器设备的耐耐压能力普遍偏低, 而此类避雷器启动时所需电压较高, 并且部份分布电容的值也较高, 这样会与设备及其它负载之间存在分流关系, 导致加在观测设备上的残压增大, 至少大于避雷装置启动时所需电压, 一般为峰峰值的 2~2.5 倍大小(其中单相残压会高于 800 V), 极易导致观测设备受损。

由上述可知, 用单一器件或单级保护很难满足观测设备对电源的要求, 所以在地震台总配电、机房配电、仪器配电(UPS 前后)等处分别安装电源防雷器, 通过多级防雷保护能将电源传输线上不同位置被感应的雷电进行分级泻放, 电源传输线上的雷击过电压得到很好的抑制, 使仪器设备获得更有效的保护。具体电源防雷保护措施的级数应视各自台站实际情况而定, 图 2 为电源四级保护方案(原有的高压避雷器保留)。

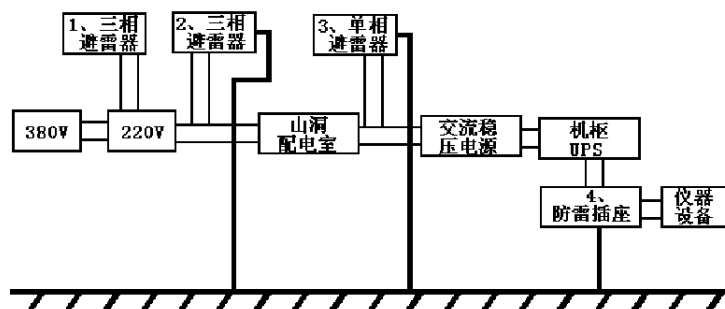


图2 供电系统四级防护图

Fig.2 Four levels of protection for power supply system diagram

电源第一级雷电防护: 市电一般通过供电公司已铺设到前兆台站, 倘若用 380 V 的三相电则应在台站端另架一个变压器进行电压转换。针对 B 级三相电源的主级防雷器, 三相电进线的任何一条线路都需有 40~60 kA 的通流容量, 能把数万到数十万伏的雷电过电压控制在数千伏之内, 该防雷器通常并联安装到前兆台站室内总配电房的进口端处, 用来防护传导雷以及直击雷。具体可采

用 MB-25/4 防雷器, 该级防雷器需进行并联安装, 对后端所连仪器设备的功率不作要求, 能将经过电力传输线上的高强度感应雷与直击雷进行电流释放防护。

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 $\text{vv}22-2 \times 10$ 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, 铠装钢带应与附近地面连接, 假如电缆长度过长, 中间也应采取适当接地措施。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 $>140 \text{ kA}$, 响应时间 $<20 \mu\text{s}$)。

电源第二级雷电防护: 尽管前兆台站的总电源进线端口处已配置第一级防雷器, 可如果发生较强雷电流侵入的情况, 虽然第一级防雷器能把大多数雷电流从地线进行释放, 但是剩余的雷电残压还是相当高。所以通过第一级防雷器配置, 能有效降低大范围的雷电袭击事件, 但无法保证后连电气设备不会受损, 有可能发生雷电波以及感应雷电流的再次侵入, 因此需要在总配电房与观测室之间, 机房配电箱之前配置电源第二级雷电防护器。

具体实施: 第二级电源雷电防护器被认为是次级防雷装置, 能把数千伏的雷电过电压更好的制约在 1 kV 多, 可以把首级雷电防护器泄放后出现的强雷电残压以及供电传输线上所引入的感应雷电流予以二次释放, 防止雷电电流进入观测室产生强电磁场。三相线路通常选用 PB6-80-3S 电源雷电防护器, 该级雷电防护器安装时需并联, 对后端所连仪器设备的功率不作要求。

电源第三级雷电防护: 该处是整个防雷体系中很可能被忽略的位置, 数字化前兆台站的观测仪器都采用大规模的集成电子模块以及高精密器件, 此类元器件被击穿时所需电压通常只要几十伏左右, 容许工作时最高电流仅为 mA 级别, 倘若不进行第三级的雷电防护, 通过一、二级雷电防护后, 侵入仪器设备的雷击残压依然会达到数千伏, 这势必对后连观测设备形成猛烈袭击, 致使后连仪器设备受损。第三级的雷电防护器, 其通流容量至少要达到 10 kA, 考虑到前兆台站信息系统设备以及地震仪器都是采用单相用电设备, 所以第三级电源防雷器一般都采用 C 级单相电源防雷器, 其串联在设备前端, 针对因操作出现的内部过电压 (例如容性或者感性负载仪器设备在启动或者关机瞬间等) 以及因高压产生的静电有着较好防范效果。

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。其不仅具备有短路时自保护作用, 还具备雷电防护作用快速、响应用时短、通流容量较大以及残留电压值较低等优点。在观测机房内的地震仪器及信息系统设备均由 UPS 供电, 通过电源第三级雷电防护之后, 我们使用

UPS (不间断电源) 对观测机房内的单相电源进行稳压、净化以及抗浪涌等干扰。目前很多台站都采用智能在线式、延时长、容量大的 APC 5000 VA 大容量 UPS, 效果甚佳。

第四级电源保护: 是在观测仪器设备内加装防雷器件, 以防其他窜入的雷害干扰。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 ($8/20 \mu\text{s}$) 的防雷插座, 一般选用 PS6 防雷插座。在观测机房的电源雷电防护器以及防雷插座的地线需连接到最近接线地排上, 而针对类似形变类的山洞口电源雷电防护器则应接到最近地线上, 在山洞内其它各观测室的电源雷电防护器插无需另接地线, 只需将其接入到附近电源插座上, 共同使用 PE 线就可以。

2.2.1.2 直流供电电源防雷

前兆地震台站使用的观测仪器无法直接使用 220 v 的交流市电, 一般都是使用 12 v 的直流供电, 台站通常是经过直流供电电源给所有的前兆设备供给直流电。直流供电电源工作时的基本原理是: 先使用变压器把 220 v 的交流市电降压到 12 v 的交流供电, 再通过桥式整流方式将其转成单向式脉动电压, 经过电容 C1 进行滤波完的单向脉动式电压, 被称作是包含交流纹波部分的直流式电压 (其值大概是 15 v), 最后通过线性式稳压器 7812 将其稳压成 12 v 直流供电, 其中电容 C2 作用是抑制 7812 发生自激振荡 (图 3)。由于雷电的传播速度非常迅速, 经常在避雷器完成响应之前就已通过电源系统侵入到仪器设备内部, 导致其元器件损毁, 前兆台站采用直流式稳压电源引起的最大弊端就在此处。如果前兆设备使用的直流稳压式电源具有隔离式供电效果, 就完全能解决直流式稳压电源产生的此类弊端, 更好的避免前兆仪器设备因雷电破坏致损。

主要设计思想是: 仪器设备供电方式通过两组蓄电池交替进行, 两组蓄电池使用大间隔继电器实现完全隔离, 工作时交流市电会针对一组没有对外供电的蓄电池进行充电, 而其它一组被隔离市电的蓄电池会对前兆仪器设备进行直接供电。采取这种供电方式的好处是: 直接将交流供电电路进行隔离, 有效阻断雷电从电源线侵入地震前兆仪器的传播途径。台站采用隔离式不间断维护电池组供电, 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 4 中可以看出无论何时,仪器所需用电都是单纯由直流电瓶直

接提供,同外部电源线路均未发生任何接触,仪器整体安全系数获得较大提高。

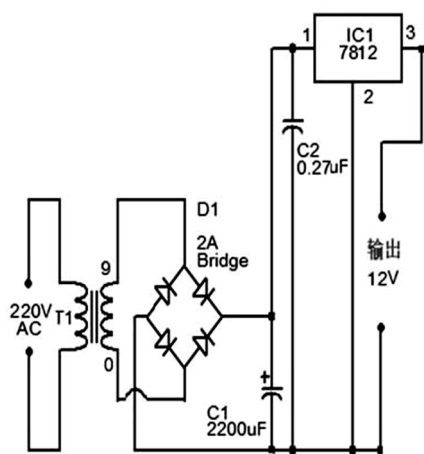


图 3 直流稳压电源工作原理图

Fig.3 Working principle diagram of DC regulated power supply

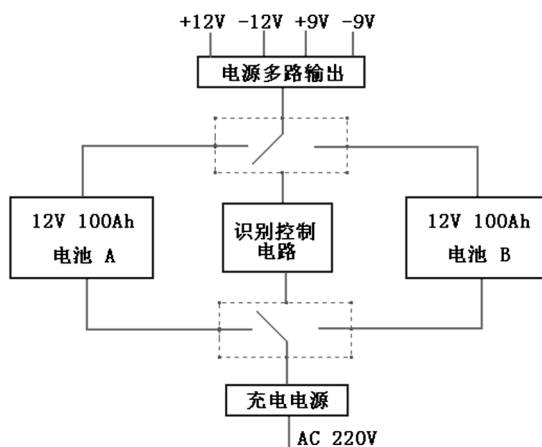


图 4 隔离式直流供电示意图

Fig.4 Schematic diagram of isolated DC power supply

2.3 信号与通信线路防雷

地震前兆观测系统中所用通讯传输线,基本上都选取有屏蔽功能的特制双绞线(譬如:MB+、DH+),安装时穿管直埋(或电缆沟)铺设,所以雷电到该位置产生的感应电压普遍不高(约为 1~2 kV)。考虑到感应电压会通过计算机通讯口这个薄弱位置(工作时电压正常值是 ± 5 V、 ± 12 V、 ± 24 V、 ± 48 V 等)直接侵入,因此造成的损失也很大。

2.3.1 信号线防雷

通常情况下信号线路不容易受到直击雷的袭击,就 1 mm 的铜线而言,若其受到 10 K 左右的雷电侵袭时,铜线自身就会被击断,因此信号线所受的雷电侵袭主要还是由感应雷造成。雷电在电量释放过程当中,超强的脉冲式电流所引起的巨大变化磁场会导致附近金属物或者导线出现电磁感应,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。

在实践中一般通过缩短信号线长度,尽可能使仪器传感器与数据采集器距离接近的技巧,从而有效规避信号线上的感应雷电压。目前在台站的数字化前兆技术系统中,正常情况下仪器传感器到仪器主机的距离会有 30~300 m。例如钻孔体应变仪探头以及数字水温仪探头基本都放置在井口 100~150 m 的距离,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^[9]。这种情况下,信号的传输线一律穿屏蔽管进行埋深 0.8 m 敷设,并使用地震前兆设备专用的雷电

保护器,通常在仪器主机至仪器探头的信号传输线两个端口位置,分别会安装一个雷电防护器,并且将信号传输线的屏蔽管与屏蔽层两个端口位置全部与接地网连接,从而起到保护传感器和主机的作用。对于形变设备观测系统,距离形变山洞口 10 m 以上的各观测室内的信号传输线,无需安装信号防雷器;在山洞口或距离山洞口未到 10 m 的观测仪器设备需进行信号防雷器安装。仪器探头和数据采集器、数据采集器和通信设备分别位于两座楼房时,仪器探头到数据采集器的数据传输线、数据采集器到通信设备的通信数据线两侧都需进行信号防雷器安装。

值得注意的是,数据雷电防护器一般串联安装到数据传输线上,考虑到地震前兆资料对数据的可靠性及精度有较高要求,所以应遵守最基本原则是不对数据正常传输造成影响。前兆台站目前使用的电磁、流体、形变等地震前兆仪器接口类别繁多,传输速率也各有快慢,因此在安装雷电防护器安装过程中需对插入性损耗进行严格控制,针对传输速度有较高要求的仪器设备,需使用极间电容漏电流小、响应快的数据防雷器,而且对仪器设备的工作接口电压应特别关注,确保所选雷电防护器的限制电压以及动作电压不会对仪器设备造成损害。

2.3.2 通信线路防雷

(1) 通信传输线防雷。机房内连接前兆设备与核心交换机的五类网线长度大于 10 m 时,需要将网络信号防雷器安置在交换机端,其目的是将观测室内网络线上所感应的雷电流进行释放;机

房内连接核心交换机与服务器的五类网线若大于10 m, 则应把信号防雷器安置在服务器端。同理, 机房内的核心交换机与其他终端相连时, 都应将网络信号防雷器安置在核心交换机端, 其目的同样是将机房内的网络线所感应到的雷电流得以释放。如果机房同其它观测室相连的通信传输线为导体线路, 则需要把相关的信号防雷器安置在观测室以及机房两端, 如果机房与外部通信使用的是导体线路, 例如 ADSL 等, 则应在机房安装相应的信号防雷器。

(2) 电话线路防雷。地震前兆台站大部分建设在郊区及山区地带, 电话线的延伸长度与遭遇雷击的概率成正比, 感应雷电若进入电话线会导致有线调制解调器及其它与之相连的仪器设备受损, 电话线布线时应在进入建筑物前几十米实施套管并埋地处理, 进入建筑物后应安置电话线专用防雷器, 同时要可靠接好避雷地线。经过“十五”、“十一五”项目改造, 现在大部分台站已实现光纤信号传输或使用含有 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。

台站前兆设备在进行通讯或者数据交换时, 频率有可能会从直流到几十兆赫兹(具体应视系统情况而定), 所以对避雷器进行选择时, 基本都不考虑氧化物避雷器件, 由于其存在较大分布电容, 而且也会对高频造成较大损耗, 除非对其进行特殊处理。如果是针对频率较高的信号, 应使用经过专门设计的雷电防护器, 从而保证阻抗同该系统相适应, 不然信号有可能出现反射现象。此外雷电防护器安装时应尽可能接近通信接口附近, 以降低反射性损耗。

2.4 仪器防雷

即使前兆观测室具备良好的电磁屏蔽, 但发生雷击时室内的电磁场也会干扰仪器甚至损坏仪器。因此在观测室建造以及仪器安装等过程中需做好相关防护, 以应对雷电电磁场造成的影响, 例如不宜将前兆仪器及有关设备摆放到靠窗、靠建筑物外墙、靠建筑物立柱等属于雷击时电磁场最强位置, 日常工作中部分仪器设备有时会出现不明原因的故障, 究其原因有可能是雷击电磁场造成的。根据一般观测房接地系统的建设与电磁场的相关原理, 我们可以知道接近建筑中央地点的雷击电磁场最弱, 因此通过正确规划观测系统地点和正确布设机房设备位置能显著降低雷灾危害。每台仪器都应做到上文提出的要求, 做好供

电防雷、通信防雷和等电位连接、接地等工作, 减弱或消除雷电的影响。选用 SPD 避雷器时, 要充分考虑仪器的参数特性, 不能影响仪器正常工作, 而对于地震监测仪器自身的耐压性能, 目前仍未有一个明确的标准与界定, 然而参考通信行业、电力行业的耐压标准, 有实验证明目前主流的数据采集仪器、地震计等设备大部分都未达到较好的耐压要求。因此在使用监测设备时, 要尽量使用具有较高耐压等级的设备, 或设备接入前增加合适的耐压器, 减弱高压对设备的影响。

2.5 线路的电磁屏蔽

经过多年的实践和相关研究表明, 电磁屏蔽是众多防雷措施中最经济、最有效的措施, 中国电力学研究院等有关机构通过开展大规模的电磁屏蔽测试, 得出的结论是只要有良好的线路电磁屏蔽措施, 线路上过电压会大幅度降低。对地震前兆台站应采取如下具体屏蔽措施:

低压配电接入前兆台站时, 需进行铠装埋地处理或使用金属套管, 铠装层以及金属套管两端均需与附近地线相连。信号线接入台站时, 除个别测项情况特殊外(如地电), 所有信号线都应使用屏蔽电缆且做好金属套管理地处理, 并将电缆屏蔽层的两端金属连接到附近地线。前兆台站建筑物内通信传输线如有跨楼层时, 必须使用屏蔽电缆, 且电缆屏蔽层也应接到附近地线。进行通信电缆布设施工时距离配电线路要 >1 m, 距离建筑物外墙要 >1 m, 距离建筑物立柱要 >1 m, 倘若由于某些情况满足不了这些间距条件时, 就必须将通信电缆独自套进金属线槽内, 并将金属线槽两端做好接地处理, 且整段电气应保持顺畅连接, 布设配电线路时的相关要求同通信线路一致。前兆台站内全部仪器设备进行摆放时, 离建筑物至少1m, 全部的仪器以及相关信息系统应用设备都需放入金属机柜内, 全部仪器设备的接地点和金属机柜都要连接到附近的接地母排上。永安地震台 TJ-II 钻孔体应变仪 2011 年、2012 年数采遭受雷击, 损害严重, 2013 年采用线路屏蔽措施进行防雷改造, 用金属槽对所有线路进行屏蔽, 且每相隔一段位置都与地网进行连接, 有效保证良好接地与线路屏蔽, 该项防雷技术实施后, 永安地震台观测仪器设备未再受雷电袭击。

2.6 接地布线技术要求

2.6.1 一般要求

从避雷角度而言, 接地技术是整个避雷系统中最关键、最重要的一环, 无论是直击雷、感应

雷亦或是其它方式的雷,最后都应将雷电流泄放至大地,正确且优良的接地设施是有效防雷保证,所以前兆台站应按照本台电源和通信线路布设、防雷计划及相关措施进行规范接地设计。

2.6.2 接地装置及连接技术要求

地震台站内应采用共用接地方式,即:电源接地(变压器接地)、设备仪器接地、建筑物基础接地等共同使用一个接地网(各个接地网相连形成一个统一的联合地网)(图4),采取接地共用的办法能避免高电位差产生的击穿问题,但地网必须做好,而且还要注意连接方法。采取共用接地地网时,通常以建筑物基础接地为主,如果使用联合地网时,其接地电阻无法满足要求时,还需在建筑物周围外延增设新的接地器,新增设的接地器与基础地应保持有两处及以上连接,新增设的接地器材质上宜选用热镀锌角钢等通用接地体

两栋楼房(平房)之间的楼间距如果小于20 m,二者的地网需互相连接,两栋楼房之间的楼间距如果大于20 m,二者的接地网无需统一接连。电源线、信号线等传输线路的屏蔽层两侧应连接到各自楼房(平房)所在的接地网上,各观测室的主接地线铺设宜使用4×40 mm的镀锌扁钢(亦或是扁铜),大型建筑物(房)应将两条主地线进行对称式铺设,且主地线的长度要小于30 m,观测室全部前兆仪器设备的外壳以及正常未带电的金属器件等需要进行接地的地方,宜通过6 mm²以上的多股铜导线连接到附近接线地排上,并使用线耳进行相连。针对形变类仪器观测系统而言,洞体内的前兆仪器设备能直接共用其电源线的PE线进行接地,外壳部分无需另行接地,钻孔内的金属管道能经过信号线的屏蔽层同地网相连,或按相关仪器设备自身规定连接。

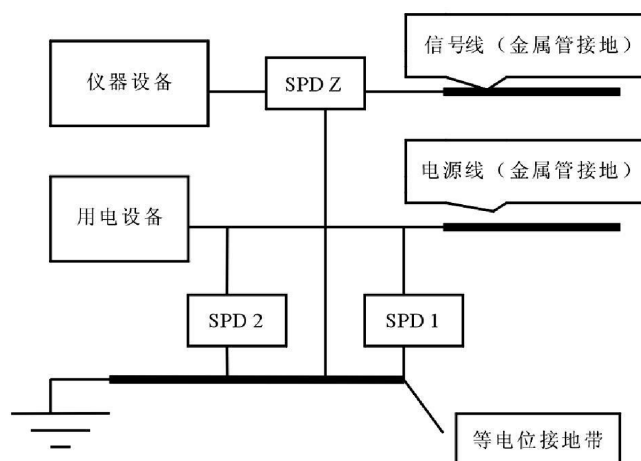


图4 接地系统示意图

Fig.4 Schematic diagram of grounding system

接地电阻的要求。接地电阻构成部分:土壤电阻、土壤与地电极二者间的接触式电阻、接地引下线电阻、地电极本身自带电阻等,考虑到后几类的电阻较小,其值基本上能忽略不计,所以接地电阻主要是指土壤电阻。减少接地电阻是整个雷电流安全释放的关键,雷电流经过单根引下线所引起的电压降换算式子为:

$$U=iR+Ml\frac{di}{dt} \quad (1)$$

式(1)中, U 表示引起的电压降,电压单位为kV; i 表示经过引下线的雷电流,电流单位为kA; R 表示接地装置上的电阻,电阻单位为 Ω ; M 表示引下线单位长度上的电感,其值大概为1.5

μHm ; l 表示引下线的长度,单位m; $\frac{di}{dt}$ 表示为雷电流的陡度,单位kA/ μs 。通过上述所列公式能明白在台站防雷接地设施中,若采用阻值较小的接地电阻,那么瞬间雷电冲击导致接地电压降就较小,仪器设备所遭遇的危险性就较小^[9]。所有的地震前兆台站都宜采用共用接地方式,地网的接地电阻宜不大于4 Ω ,当地网接地电阻大于4 Ω 时,可通过外延扩大接地网范围的方法、把接地装置掩埋到电阻率较低的土壤中,并借助减阻剂、置换土壤等方法让其满足要求。前兆台站连接两个地下接地体时,务必使用焊接技术,并选取搭接焊的方法,除浇注在混凝土中的焊接点外,其

它所有焊接点均需实施相关防腐保护,接地施工过程中要用肉眼对每处焊接处进行认真细致检查,确保未发生咬边、夹渣、气孔以及焊点没有被焊透的情形。

3 防雷系统运行维护

良好的维护是观测系统正常运行的重要保证,要定期对防雷系统进行维护,通过维护可将隐患消除在萌芽状态,延长系统的使用寿命。防雷系统维护主要分为两大类:即日常性维护与周期性维护,按照福建省地震局规定要求每个季度进行防雷检查,并按时上报巡检报告,每一年度在雷雨季节来临之前,需做一次全方位排查;在每次雷击发生后还需做日常性维护。

(1) 每个雷雨时节来临之前,需把前兆台站正使用中的雷电防护器通过器件检测仪做一次系统的测试,在测试各级雷电防护器工作情况时,不同厂家设计的供电避雷器工作状态指示灯可能不尽相同,永安台采用的供电避雷器正常工作时,颜色显示是绿色,当遭遇雷击时,状态变为红色,在现场检查避雷器时需详细参阅厂家的设备说明书。每年雷雨时节中,需加大避雷器外部巡查频度,若查看到防雷模块的工作状态指示灯呈红色时,应立即处理。

(2) 每个雷雨时节来临之前,也需将台站接地系统实施一次全面维护与排查。重点排查地接地引下线是否有良好的接触,连接处是否连接牢固,引下线是否存在锈蚀以及接地体周围地表是否有存在异样,如果需要还应将地表挖掘开,对地表下隐蔽位置的锈蚀概况进行检查,若查出异常,也需马上处理。

(3) 每当雷击发生后,应立即查看避雷元器件是否出现发黑、损毁、是否有焦糊味,元器件位置有无污垢、小昆虫及霉菌等,发现有问题的元器件应及时替换。

(4) 每个年度需将台站接地网上的接地电阻做一次系统检查,因为地下土壤会对接地设施造成腐蚀影响,伴随台站接地网长时间运行,接地设施容易出现腐蚀现象,对前兆台站观测设备的安全运行造成影响,所以务必要加大定时检查地网接地电阻的力度,确保台站接地网上的接地电阻满足相关要求,进而很好的杜绝仪器因绝缘破损而导致仪器进一步毁坏。此外还需定期对外部线路进行巡检,包括:供电系统、避雷接地系统、天线、信号线、与信号配接箱、外设等,出现雷电、大风天气、暴雨天气等非正常天气后,要对

外部线路进行细致排查,发现问题及时解决。

(5) 提高防雷意识,采取有效的技术和产品,加强防雷措施。

(6) 发现雷击故障及时跟踪分析,查找原因,确定解决办法。

4 结语

前兆地震台站是进行地震监测预报、工程地震以及探索地震科学的关键基础机构,雷电方面的因素已是导致地震监测数据缺失以及数据出现干扰的主要因素之一。台站雷电防护工作是一项长期且重要的任务,无法只用一、二种雷电防护装置以及雷电防护举措就可以将雷击彻底清除,必须在综合分析直接雷击以及感应雷击的基础上,从供电系统、仪器、通信及信号传输线等方面的雷电保护和高效的连接与接地等对象上采取系统考虑,方能实现理想的防雷效果。同时防雷装置也应做好周期性和日常维护,每年在雷雨季节到来之前,需对各项防雷设施进行全面检测,对于不符合设计要求的,应及时更换并采取相应措施。通过一系列的防范措施,把雷电的危害降到最低,以保障地震观测资料安全、连续地产生^[1]。

参考文献:

- [1] 王凤.地震台站观测系统的防雷技术[J].灾害学,2010,25(4):63-66.
- [2] 付子忠,黄锡定.地震前兆数字观测公用技术与台网[M].北京:地震出版社,2003:111-113.
- [3] 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.
- [4] 曾宪军,于林民,陈俊,等.蒙城地震台避雷系统改造[J].地震地磁观测与研究,2009,30(6):91-92.
- [5] 孙忠欣,侯淑梅.雷电机理及其防御[J].河南气象,1999(4):28.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 何金良.电力系统接地技术[M].北京:科学出版社,2007:57-60.
- [11] 袁湘玲,周倩,王振会,等.雷电灾害风险分级方法研究[J].灾害学,2017,32(1):26-27.