



测震台站综合防雷系统建设及效能评价^①

瞿 旻, 霍祝青, 戴 波, 单 菡, 王大伟

(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要:介绍雷害对测震台站的危害方式,总结测震台站的综合防雷基本措施,包括地网改造、配电防雷、信号与通信防雷、布线规划与整理,创新地提出特定条件下安装退耦器以提高防雷效果。通过对比计算台基噪声与观测系统标定结果,研究综合防雷系统接入测震台站观测系统后对数据质量的影响,以进行防雷效能评价。

关键词:雷害;综合防雷;退耦器;防雷效能

中图分类号:P315

文献标志码:A

文章编号:1000-0844(2015)02-0619-004

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2015.02.0619

Construction and Evaluation of a Comprehensive Lightning Protection System for Seismic Stations

QU Min, HUO Zhu-qing, DAI Bo, SHAN Han, WANG Da-wei

(Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

Abstract: An analysis of the loss of seismic observation equipment in the Jiangsu Province of China since 2009 has revealed three primary reasons for equipment loss related to lightning strikes: (1) Unprotected digital seismic stations. (2) Data line interference from lightning, which is caused by excessive distances between sensors and data collectors. (3) The non-normalized installation of station lines. A summary of basic, yet comprehensive, lightning protection measures, combined with an analysis of actual event occurrences in the Jiangsu Province of China, are presented. These protective measures include: the reformation of the power grid, lightning protection for the distribution systems, lightning protection for signal and communications equipment, and the normalization of wiring plans. If seismic observation equipment and lightning protection equipment are to be connected in series, the background seismic noise and the calibration parameters must be checked. When selecting data for the calculation of background seismic noise, the following two points should be taken into consideration: (1) The data should be chosen from 00:00 to 01:00 every day, when the influence of human activity is minimized. (2) The data must contain no seismic event; otherwise, data should be chosen from the next hourly interval. Liyang Station is presented as a case study of the implementation of lightning protection system for a seismic station. Data from one month prior to the installation of the lightning protection system, one month during the operation of the lightning protection system, and one month during the following thunderstorm season are presented. This case study includes the calculation of the background seismic noise and the calibration parameters before and after the lightning protection system installation, and determines the actual influence of the lightning protection system on the quality of collected seismic data. An innovative installation scheme for decoupling devices, a first for the protection of seismic systems from lightning, is discussed.

Key words: lightning damage; comprehensive lightning protection; decoupling device; effectiveness of lightning protection

① 收稿日期:2014-11-14

基金项目:江苏省地震局青年基金项目(201502QZ)

作者简介:瞿 旻(1983—),男,硕士,工程师,研究方向为地震观测设备的安装、维修及研发.E-mail: benjamin-29@163.com

0 引言

自中国地震局“十五”项目实施至今,数字化设备已普及,并且在防震减灾事业中发挥着不可或缺的作用。从测震观测设备的维护保养经验来看,雷电是造成数字化设备故障甚至损毁的最主要原因。由于测震设备的观测精度高,实时监测重要性大,造价昂贵,因此雷电对测震设备造成的损失很大。据中国地震局监测司统计,江苏是全国台站遭雷击最多的省份之一。

随着 2010 年中国地震监测司对全国地震台站防雷改造的推广,江苏省地震局在工作中积累了丰富的实践经验,并对本地区测震观测台站雷害的特点做了针对性的总结。在日常的仪器维护工作中逐步对雷害严重的台站进行综合防雷方案设计,并实施自主改造,取得了较好的效果,从而提高数字测震台站的防雷水平,减少雷害造成的损失,便于各测震台站之间交流和借鉴。

1 雷害对测震台站的危害形式

雷电按照危害方式可分为直击雷和感应雷,对测震观测设备的危害主要以感应雷的过电压、过电流形式为主。感应雷通常沿电力供电线路、电话线、网络双绞线等通信线路、架空或未埋地的弱信号线等进入观测系统,造成仪器设备的损坏。自 2009 年至 2014 年上半年江苏测震台站设备直接受雷击的情况见表 1。由于江苏半数以上测震台站为无人值守台站,在实际观测中会存在一些雷击造成的设备故障无法认定的情况。

表 1 江苏省 2009 年至 2014 年 8 月测震台站受雷击统计
Table 1 The statistics of lightning damage to digital seismic stations in Jiangsu from 2009 to August 2014

受雷击台次	雷击次数	损坏设备清单				
		数据采集器	地面地震计	井下地震计	配电设备	网络设备
14	22	12	7	1	5	2

从表 1 中可以看出,雷击对测震台站设备损坏较多的是数据采集器与地震计,有时雷电较强也会击坏台站配电设备,如稳压电源与 UPS。根据相关设备的采购价格,直接设备损失在一百万元以上。实际维修成本除设备成本外还包括人工成本和配件成本。尤其井下地震计因为防水耐压防划痕的特殊要求,每次下井的材料成本就达数万元,加上无法统计为雷击损坏的设备故障,实际经济损失远远高于这个数字。

这些台站遭受雷击的原因通常有三方面:(1)台站建设的原因,台站没有安达到规范标准的地网和避雷器,有的台站甚至连最基本的防雷设施也没有;(2)摆房与地震台站楼之间距离较远,地震计与数据采集器之间的摆线过长,且摆线的埋地深度和穿管标准基本不达标;(3)少数已做防雷改造的台站,由于线路整理不规范造成雷击时产生电磁感应,从而造成设备故障。

2 测震台站综合防雷措施

根据江苏台站的特点,综合防雷措施主要有:地网改造,配电防雷,信号与通信避雷,布线规划与整理。由于表 1 统计的受雷击台站不在 2010 年中国地震局监测司防雷改造台站序列中,因此在设备故障维修的工作中增加对故障台站的专项防雷改造工作。目前经过改造的台站基本不再遭雷击。

2.1 台站地网改造

台站地网建设应参照中国地震局监测预报司《地震台站观测系统布线及防雷技术要求》的标准执行。须达到的主要技术指标有:(1)建筑的天网、建筑钢筋和接地体应等电位连接;(2)相邻 20 m 范围内的不同地网应共地连接;(3)避雷器、机柜外壳、仪器机壳等应接入台站主地网形成等电位连接;(4)地网的阻值不大于 4 Ω。

由于省属专业台站多数经过防雷改造,加上有专业人员值班,可以在雷雨天气时切断市电改为 UPS 供电,因此这些台站受雷害的影响远远小于无人值守台站。江苏目前运行的台站中,无人值守台站占半数以上。根据无人值守台站的建筑特点,将其地网设计为法拉第笼结构以满足接地设计需求,同时又最大限度屏蔽感应雷的电磁干扰,其设计方式如图 1 所示。

需要注意的是,房顶用直径不小于 8 mm 的镀锌圆钢围成网格,如图 1 中“房顶”所示的防护装置。外圈四周圆钢接头处垂直焊接高 15 cm 的一截圆钢。在外圈四角用 4 mm×40 mm 的扁铜或镀锌扁钢作为引下线,将“房顶”所示的防护装置与避雷地网相连接。在观测房外墙 1 m 外挖沟,间隔 5 m 打入用 50 mm×50 mm×5 mm 角钢做的长度为 2.5 m 的垂直接地体,接地体的上端距地面宜大于 0.7 m。用 4 mm×40 mm 的扁铜或镀锌扁钢将垂直接地体连接成网,焊接处均采用搭接焊牢,且涂上防锈剂,焊接长度为扁钢宽度的 2 倍,焊接面不少于 3 个棱边,如果地网的接地电阻大于 4 Ω 则需增加外延接地极,即距 5 m 外再挖沟加做一圈接地,或添加长效降阻剂降低接地电阻,以达到规定值。应在室内设接地排(接地母线)与避雷地网连接。

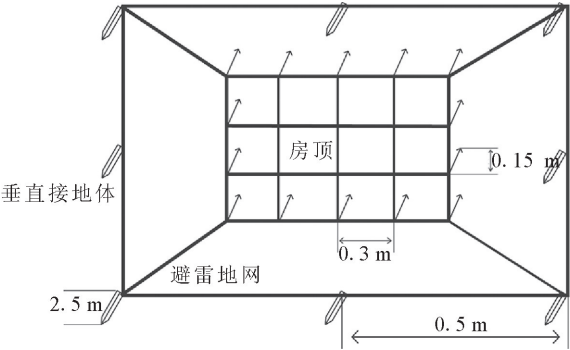


图 1 无人值守台站地网的法拉第笼式设计

Fig.1 The Faraday cage design for ground network of the unattended seismic stations

由于洞体的特殊环境,常规的洞体接地方式无法铺设地网,且接地电阻会严重超标,通常采用外延接地极至最近水源处,接地极需做降阻、防腐处理。

2.2 台站配电防雷

台站配电系统实施多级防雷:对有 380 V 配电的台站,在 380 V 配电箱总出处安装 B 级避雷器;在 220 V 配电箱处安装 C 级避雷器;在 UPS 的进电和出电处安装 D 级避雷器(防雷插座)。仪器设备的用电只能接在 UPS 输出的防雷插座上。所有级别的避雷器均需就近接在地线排上,地线宜选用多股铜芯,且长度宜尽量短以降低地线本身阻值。这就要求在台站建设时或防雷改造时应根据机柜、设备和传感器的位置就近设置接地排。

在实际应用中发现,对于建筑面积小的无人值守台站,不同级别的避雷器之间距离较短,释放雷电时低放电性能的避雷器先起作用,高性能的后起作用,导致仪器设备被击坏。这是因为当电压开关型防雷器至限压型防雷器之间的线路长度小于 10 m,或限压型防雷器之间的线路长度小于 5 m 时,需在两级避雷器之间串联退耦器以增加导线感抗,弥补导线长度不足,协调不同规格防雷器之间的配合问题。无人值守台站的配电防雷如图 2 所示。

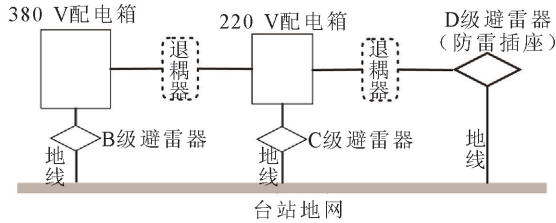


图 2 地震台站配电防雷

Fig.2 Power distribution and lightning protection of the seismic stations

2.3 信号与通信防雷

信号防雷的方式主要有:在地震计与数据采集器上(近仪器端)安装信号避雷器,将其串联在线路中,并就近接地。

通信防雷的方式主要有:在信号进入屋内电话线或 MODEM 之前,串联安装电话线避雷器;将室外的网络线、RS232 通信线路等改造为光纤传输。由于光信号对雷电有很好的隔离效果,可以起到避雷作用。

在实际应用中,从综合防雷效果和经费预算考虑,当地震计和数采在同一观测房间时,可不设置专用的地震计信号避雷器,只做配电多级避雷即可;当摆房与台站观测楼之间距离过远时,宜将数据采集器等设备设置在摆房内,用光纤的方式把地震信号传输至台站的网络设备,摆房的地网和配电防雷需按照标准重新改造,但对于地震计与数采之间距离过远且不易做此种改造的情况,可在近数据采集器端安装信号避雷器以保障数采;GPS 授时装置由于在室外屋顶附近固定,距天网等接地装置较近,易受到感应雷干扰,需在近数采端配置相应接口和标准的信号避雷器;对于深井台站,除按上述要求安装专用信号避雷器外,还需将地震计外壳、井壁、地网等电位连接。

2.4 布线规划与整理

布线规划与整理是防雷工作中较易忽视但对最终效果影响很大的一项工作,无论室内机柜、室内地面、墙体的线缆布局等都应遵守强弱电分离的原则。在室内、山洞强弱电线线路平行距离宜在 0.5 m 以上。

由于目前大部分市属台站的建设与防雷工作脱节,台站的布局规划无法与仪器的安装设置条件相适应,很多台站都是在建成后根据仪器机柜的设置位置重新做防雷改造,无形中增加了各项成本。

3 综合防雷系统接入后对数据质量的研究

由于在观测系统中接入了地网、串联了信号避雷器(型号为徕信公司产的 LT-DR24-26HK),因此在考量综合防雷改造效能时除检验防雷效果外,还需研究信号避雷器接入后对数据质量的影响。数据质量的校验,除观察信号的基本形态外,可以从台基噪声校验、观测系统标定结果两方面进行。

3.1 台基噪声校验

以改造的溧阳台为例,该台地震计为英国 CMG-3TB-120S 宽频带井下地震计,数据采集器型号为英国产 CMG-DM24。分别选取综合防雷系统改造前后各一个月和 2011 年雷雨季节的一个月(即 2010 年 8 月、2010 年 12 月、2011 年 8 月),对这三个月每天 00 时的噪声功率谱进行计算分析。为排除这一时间段中地震事件对计算结果的影响,在选取数据时,若 00 时有地震事件,则取 01 时,若 01 时也有地震事件,则取 02 时,以此类推。通过计算得到各个频点的噪声功率分布,对连续一个月的噪声功率谱分布取各频点的最小值作为该频点的值,绘制该月的噪声曲线,并以此类推,绘制完成 3 个月的曲线,按地震计三分向拟合在一张图上(图 3)。

从图中可看出,改造前后三分向各频点的噪声曲线拟合基本较好。由于是对连续一个月的噪声功率谱分布取各频点的最小值作为该频点的值,绘制该月的噪声曲线,故曲线拟合度较各频点均值的取法差。图中各三分向噪声功率曲线无明显的发展趋势变化,因此综合防雷系统在接入测震观测系统后对台基噪声基本无影响。

3.2 对系统标定结果的校验

标定结果是对测震观测系统运行状态考量的重要标准,防雷系统的接入对观测系统参数的影响可以通过系统接入前后的标定结果进行衡量。以溧阳台设备为例,数据采集器型号为 CMG-DM24,地震计型号为 CMG-3TB,通过正弦标定计算观测系统灵敏度,通过阶跃标定计算周期阻尼。根据地震计工作频带响应,在频带内选择 5 组正弦点频,完成频带内的正弦信号标定,每个点频间隔时间设置 5~10 s,频率选择:60 s、10 s、1 s、5 Hz、10 Hz。具体参数见表 2。

通过查阅设备出厂参数,得到 CMG-DM24 转换因子 $3.215 \mu\text{V}/\text{count}$,地震计电压灵敏度(单位: $\text{V}/\text{m/s}$)UD 向 2×979 , NS 向 2×969 , EW 向 2×986 ;标定灵敏度(单位 $\text{Amp}/\text{m/s}^2$)UD 向 0.023 64,

NS 向 0.026 46,EW 向 0.027 03;测定输出电压峰值 2.5

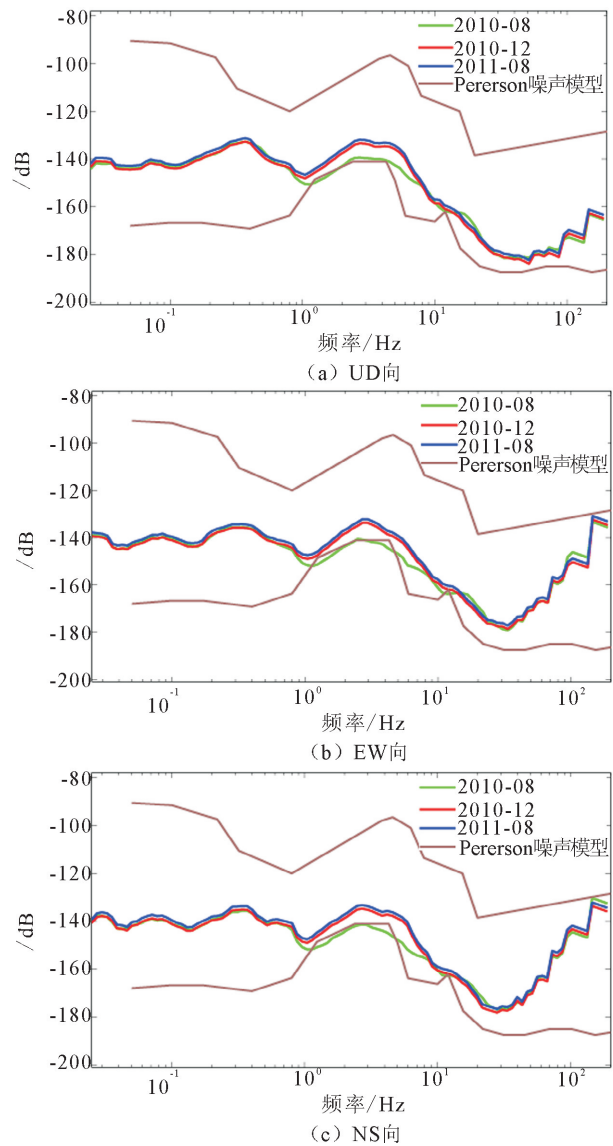


图3 溧阳台三分向噪声频谱

Fig.3 The three-component noise spectra of Liyang station

V;已知标定回路输入电阻 51 kΩ,正弦标定满量程转换电流 2.5 V/51 kΩ=49 μA;阶跃电压设置振幅 50%时,标定电流约等于 24.5 μA。通过 ICheck 软件计算溧阳台改造(2010 年 12 月 23 日)前后各 1 个月标定计算结果,即 2010 年 11 月和 2011 年 1 月,得到表 3。

表 2 CMG-3TB 地震计正弦标定参数设置

Table 2 Parameters for the sine calibration signal of CMG-3TB seismometer

频点数	频率	衰减比	周期数	持续时间
1	—60 s	2%(50)	3	2 min
2	—10s	10%(10)	6	1 min
3	1 s	50%(2)	60	1 min
4	5 Hz	100%(1)	200	40 s
5	10 Hz	100%(1)	400	40 s

由表 3 可以看出,综合防雷系统接入后,观测系统的周

期、阻尼及灵敏度的变化率在 0.1%~0.2%,属于正常变化范围,证明综合防雷系统的接入不影响观测系统的正常运行。

表 3 溧阳台综合防雷系统接入后的标定计算结果

Table 3 The calibration calculation results at Liyang station after accessing the Integrated lightning protection system

时间	通道	周期(变化率/%)	阻尼(变化率/%)	灵敏度(变化率/%)
2010 年 11 月	BHZ	122.68(2.2)	0.708(0.1)	1 869(−6.1)
	BHE	122.91(2.4)	0.710(0.4)	1 923(−3.6)
	BHN	124.48(3.7)	0.711(0.5)	1 880(−5.8)
2011 年 1 月	BHZ	122.62(2.1)	0.708(0.1)	1 870(−6.1)
	BHE	122.93(2.4)	0.709(0.3)	1 919(−3.8)
	BHN	124.58(3.8)	0.712(0.7)	1 880(−5.8)

4 结论

测震台站综合防雷系统建设是对观测系统正常运行的重要保障。不断总结与探索适合本地区的防雷方式,并通过实践完善,是今后地震台站防雷改造的发展方向。本文中退耦器的安装条件是对《中国地震局监测预报司·地震台站观测系统布线及防雷技术要求》的技术补充,布线规划与整理也是基于目前地震台站建设中普遍存在的薄弱环节提出的。经过上述综合防雷措施改造的台站受雷击情况明显好转。综合防雷系统接入后的台基噪声、标定计算的校验是对改造后观测系统的效能检测,是对测震台站防雷改造规范化的探索。

由于地区的气候及台站建设条件不同,有适于自身的不同技术特点,这些影响整体效果的技术细节需要在今后的防雷工作中不断总结,也需要更多一线的地震观测工作者共同参与完善。

参考文献(References)

[1] 中国地震局监测预报司.地震台站观测系统布线及防雷技术要求[Z].2010.
Department of Earthquake Monitoring and Prediction, China Earthquake Administration. Wiring and Lightning Protection Technical Requirements of Seismic Stations' Observation System[Z].2010.

[2] 黄锡定,梁焕贞.地震台站应用防雷技术探讨[J].地震地磁观测与研究,2007,28(5):35-42.
HUNAG Xi-ding,LIANG Huan-zhen.Study on the Application of Lightning Protection Technique in Seismic Station[J].Seismological and Geomagnetic Observation and Research,2007,28(5):35-42.(in Chinese)

[3] 戴仕贵,湛亮,康宏,等.CMG-3ESPC 宽频带地震计稳态标定和传递函数构建[J].四川地震,2009(3):12-15.
DAI Shi-gui,CHEN Liang,KANG Hong,et al.Stead State Calibrating and Transfer Function Constructing of Broadband Seismograph CMG-ESPC[J].Earthquake Research In Sichuan,2009(3):12-15.(in Chinese)

WANG Zai-hua, TENG Hai-tao. Deformation Anomalies Before Xinyuan, Hejing Earthquake with $M_s6.6$ [J]. Inland Earthquake, 2012, 26(4): 347-353. (in Chinese)

[15] 王海涛, 王琼. 基于地震对应概率谱分析的前兆异常识别研究[J]. 地震研究, 2008, 31(4): 330-334.

WANG Hai-tao, WANG Qiong. Precursor Anomaly Identification Based on Earthquake Corresponding Probability Spectrum Analysis[J]. Journal of Seismological Research, 2008, 31(4): 330-334. (in Chinese)

[16] 唐兰兰, 王海涛, 王琼. 新疆中强地震前 ECRS 方法的异常研究[J]. 西北地震学报, 2011, 33(2): 159-165.

TANG Lan-lan, WANG Hai-tao, WANG Qiong. Research on Anomaly of ECRS Method Before Moderate-strong Earthquakes in Xinjiang Region [J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(2): 159-165. (in Chinese)

(上接 622 页)

[4] 马见青, 李庆春. 提高台站地震资料信噪比的自适应极化滤波[J]. 地震工程学报, 2014, 36(2): 398-404.

MA Jian-qing, LI Qing-chun. Adaptive Polarization Filtering for Improving the S/N of Station Seismic Data [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(2): 398-404. (in Chinese)

[5] 刘静伟, 王振明, 谢富仁, 等. 大华北地区地震灾害与风险评估[J]. 地震工程学报, 36(1): 134-143.

LIU Jing-wei, WANG Zhen-ming, XIE Fu-ren, et al. Seismic Hazard and Risk Assessments in North China Based on the Historical Intensity Observations [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(1): 134-143. (in Chinese)

[6] 张冰, 周铭, 谭静, 等. 塔里木盆地及其邻区 Love 波层析成像研究[J]. 地震工程学报, 2013, 35(4): 893-899.

ZHANG Bing, ZHOU Ming, TAN Jing, et al. Love Wave Tomography in the Tarim Basin and Its Adjacent Region [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(4): 893-899. (in Chinese)