

抽水蓄能电站综合防雷设计探讨

马 刚¹, 郑绍勋¹, 田金华², 张玉伟³

(1. 南阳市防雷中心, 河南 南阳 473055; 2. 河南省防雷中心, 郑州 450003;

3. 南阳回龙抽水蓄能发电厂, 河南 南阳 473055)

摘 要: 雷电是严重威胁电站安全的最大自然灾害, 通过研究南阳回龙抽水蓄能电站雷电发生规律和发展过程, 并对电站多次雷击进行分析, 判定发电设备雷击的原因, 经理论计算, 提出发电设施综合防雷设计方案, 以达到电站管理控制系统和设备安全防雷的目的。

关键词: 电站; 控制系统; 综合防雷; 防护方案

中图分类号: TM863

文献标识码: A

文章编号: 1673-7148(2008)03-0090-04

引 言

雷电是严重威胁电站安全的最大自然灾害。本文通过对南阳回龙抽水蓄能电站雷电发生规律和发展过程的分析, 判定发电设备雷击的原因, 并通过理论计算, 提出发电设施综合防雷设计方案, 以期为电站管理控制系统和设备安全防雷提供参考。

1 抽水蓄能电站区域雷电的活动规律

南阳回龙抽水蓄能电站位于南召的长江、淮河分水岭, 伏牛山脊背之上, 南邻县城, 北接石人山, 西连栾川, 三面环山, 是一个相对独立的地理单元。典型的“U”型地理特征, 是雷暴生成的最适宜地形。

该地区平均雷暴日数在39天以上, 最多可达到50天, 为多雷暴活动区。自建站以来, 每年都有因雷击造成上库设备损坏、对机组正常运行造成威胁的事件发生。该区域雷暴活动的季节性特点较强, 一年四季均可出现, 但集中出现在夏季。夏季雷暴日数占全年雷暴日数的60%以上; 其次出现在春季和秋季, 约占年雷暴日数的20%和10%; 冬季出现雷暴的几率较小。雷暴结束时间一般在9-10月。

2 电站及设备控制系统防雷设施情况

抽水蓄能电站是利用特殊的地理地形, 在山顶和山下建两个大型水库, 在电网用电低谷时把下库的水抽到上库库盆储存起来; 在电网用电高峰时, 利

用落差发电, 来调节电网的峰谷差。由于电厂的特殊性, 上下库区落差400多米, 库区水面积较大, 有充足的水汽, 上库周围山包叠连, 无高大山头遮挡。

该电站上库区位于两座大山峡谷之间, 成东南-西北走向, 大坝东西走向全长约220 m, 坝高53 m, 大坝两侧各有一间大坝观测室, 室内有光端机, 光缆在架空高压线下直接在铁塔引入, 是上库水位观测系统、闭路监控系统、大坝沉降观测系统、闸门控制和通信系统的汇集点。观测室前有20 m高的10 kV高压线塔, 高压架空线路由山下引来, 接引入上库变压器控制柜, 库区所有用电均由该柜引出。闸门下有430 m垂直竖井, 竖井到下库在山洞连接之间, 为地下发电厂房, 有2台水泵水轮机组。下库区与上库区结构基本相似。在地下厂房出口处是生产调度楼, 各系统由值班室控制。

电站工程包括4部分, 即上库、下库、地下厂房和引水隧洞。上库在20 m高的高压线塔上, 安装有3只高压氧化锌避雷器, 接地阻值3.2 Ω , 高压变电柜内无浪涌保护器(SPD), 接地与线塔相连。室内专线光缆及交换机无接地和防雷设施。在大坝沉降观测系统信号接收器上安有24口信号SPD。控制闸门房顶安有1.5 m高避雷针1只, 保护范围不够。水位控制和闭路监控系统无防雷措施。整个库区设有等电位, 接地阻值3.1 Ω 。下库与上库防雷设施一样。地下厂房在双回路高压线出、入端安装有6只高压氧化锌避雷器, 与上、下库联接的交换机安有

RS232 接口信号 SPD 4 只,厂房接地阻值 $3.8\ \Omega$,其他设备无防雷设施。控制楼位于山坡底部,楼高 4 层,机房在 2 楼,屋顶未设防直击雷设施,机房接地阻值 $4.0\ \Omega$,所有进线通过一楼埋地进入。

3 雷击事故隐患分析

该电站自 2004 年投入运行以来,频繁发生雷击事件。据电站资料显示,上库 10 kV 线路及水位计探头、大坝沉降观测探头、闭路监控和通信系统都多次遭受雷击,上库水位计至今不能正常使用;上库值班室每次出现雷暴天气,设备和交换机就出现强烈的火花和劈啪的响声,设备没有接地;大坝沉降观测设备主板多次遭受雷击,闭路监控和通信系统每年都有雷击的记录。

一般来说,雷击电磁脉冲没有直击雷那么猛烈,但它发生的几率比直击雷高得多,危害越来越突出。因为直击雷只有发生雷云对地闪击时才会对地面上的物体或人造成危害,而雷电感应不论雷云内闪击,还是雷云与雷云之间发生闪击,都可能发生并造成灾害。在架空线路附近有雷云时,虽然雷云没有直接击中线路,但在导线上会感应出大量的与雷云极性相反的电荷,一旦雷云对某目标放电后,雷云上的电荷便瞬间消失而导线上的大量电荷依然存在,这些感应电荷就会因失去雷云电荷的束缚,以波的形式向导线两端传播经设备入地,从而引起设备损坏。

此外,直击雷袭击的范围较小,而一次雷闪可以在比较大的范围内多个小局部同时发生感应高电压现象,并且这种感应高电压可以通过电力线、电话线、各种馈线及信号线等金属导线传输到设备终端,致使雷灾范围扩大。

根据现场情况分析,造成该电站多次雷击的原因,一是地理环境特殊(上库库盆有 100 多万立方米的水),处于雷击频繁的环境^[1];二是防雷设施不完善,高压线路直接沿山坡架空直上,终端未采取屏蔽埋地措施,在山间的铁塔线杆接地阻值偏大,低压电器设备未安装 SPD,雷云在库区发生放电现象后产生强大的电磁耦合到进出机房的金属线路上,从而损坏设备。

4 综合防雷设计方案

4.1 直击雷防护措施

根据实际情况计算,需要在上库起闭机房西北 30 m 大坝西的岩石上安装独立提前放电式避雷针。该坝处于山顶,空气湿度大,属强雷暴区,安装提前

放电避雷针能较好地改变周围电磁环境,并设置单独的接地装置,接地点与道路和竖井的安全距离为 3 m。避雷针采用截面为正三角形的热镀锌圆钢结构避雷塔,高度为 35 m,接地电阻应 $\leq 10\ \Omega$ 。

垂直接地体选用铸铜接地棒,外径 50 mm,每根长 1.2 m,水平接地体采用 30×3 扁铜带,设计敷设垂直接地体 8 根,间距 2.4 m,水平接地体埋深 0.6 m,在垂直接地体和水平接地体周围使用降阻剂,如达不到要求,应增加垂直接地体和水平接地体。

在上库安装 30 m 的镀锌圆钢避雷塔,塔顶安装提前放电式避雷针,保护范围包括上库变压器室和变压器旁的金属电杆,设单独接地网,接地电阻 $\leq 10\ \Omega$,其保护范围见图 1^[2]。

在上、下库进出水口闸门室、泄洪闸门室上,设置避雷带防护直击雷。

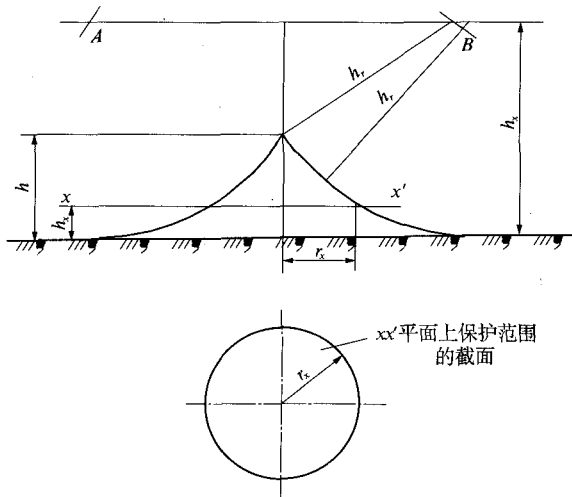


图1 独立避雷针保护范围

4.2 等电位连接

等电位连接是为了使各金属导体间的电势平衡,避免导体间过电压造成的闪击。规定接地装置的接地电阻值应不大于 $4\ \Omega$ ^[3]。

在上、下库区,以大坝接地为基础,向四周延伸,大坝沉降观测系统、库区变压器、水位控制探头、闭路监控和通信系统全部采用等电位连接,用 40×4 镀锌扁铁连接,保证接地阻值 $\leq 4\ \Omega$ ^[3]。

闸门室、沉降观测室和光端机柜室的所有门窗,保证有两处与等电位连接排相连,所有室内金属物全部接地^[3]。

进、出建筑物的信号线缆,所有有金属屏蔽层的电缆,埋地敷设在 LPZ0 与 LPZ1 两个不同防护分区的交界处,即线缆进入建筑物的交界处。电缆金属屏蔽层做等电位连接并接地。

在控制楼,利用建筑物自然接地体和增加的人工接地体,用 30×3 铜排连接,在机房四周设置 4 个等电位连接端子,设置 M 型等电位连接网络。

电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架、金属槽、管、防静电接地和安全保护地用直径大于 6 mm 铜线与接地连接网络的接地端子连接。

上、下库区高压输电线路在山坡爬行地段应设置架空地线,使输电线路处在架空地线的有效保护范围内,保证每个线塔与架空地线独立接地 $\leq 10 \Omega$ [4]。

4.3 电磁屏蔽

室内防护采用屏蔽手段,就是把雷击电磁脉冲从空间感应入侵的通道加以阻断,可有效地防护雷电对电缆的电磁脉冲并减少转移阴抗。实测证明,在 0.05—2 MHz 时,电缆的转移阻抗无屏蔽时为 1 045 m Ω /m,单层屏蔽时为 2~20 m Ω /m,双层屏蔽时为 0.01~1 m Ω /m。电缆线路屏蔽时,在其外面套装金属管作为双层屏蔽(各自套装),管径逾大逾好 [3]。进入控制楼前为不少于 15 m 的电缆埋地穿管,闸门起闭机房各种电缆穿管埋设在 600 mm 以下,屏蔽层两端皆接地并与建筑物的公共接地做电气连接,进入室内后与等电位母排连接,上、下库各闸门室内的设备接地网,电缆引出线的屏蔽槽也要良好接地。此措施可分流大部分雷电流。

4.4 过电压防护

室内供电线路防护要求采用多级设置、逐级泄流的方法。欲确定电源线路的雷击电涌过电压防护等级,必须先估算电源线路可能遭受的最大雷击电流。国际标准 IEC 61024-1 根据建筑物的防雷类别规定了最大雷击电流的估算量值:第一类为 200 kA(10/350) μ s;第二类为 150 kA(10/350) μ s;第三类为 100 kA(10/350) μ s。

尽管达到 200 kA 幅值的雷电流据统计只有 2% 左右,但该站地处山区,厂区范围连接较大,是容易吸收空间雷电的雷击频繁地域,因此应考虑处于防雷第一类环境。

SPD 是一种限制瞬态过电压和分走浪涌电流的器件,可分为强电和弱电 SPD [2]。在正常情况下,SPD 不对电路产生影响;当浪涌电流侵入时,SPD 将所有连接部分与地线短路,使线路中的浪涌电流迅速释放入地,从而使线路所连接的设备不受浪涌的侵害;浪涌终止后,SPD 恢复正常。在选用 SPD 时,一要按实用性、发生雷害事故的可能性和后果合理配置防雷器,以免造成不必要的浪费;二要注意其工

作电压、负载电流与系统回路匹配问题,其最大连续工作电压应略大于回路最大正常工作电压,负载电流应大于回路最大正常工作电流。

根据文献 [5] 与文献 [2] 的防护原则,在供电线路上设置多级电涌防护器措施,才能将过电压降到设备能承受的水平。为此,低压供电线路的雷击电涌过电压防护采用三级防护措施。

4.4.1 供电电源系统的防护

根据实际情况,上、下库,厂房和控制楼,所使用的主变低压配电箱内安装第一级 SPD 共 4 台。

第一级主要参数为:额定电压为 385 V/50 Hz,波形为 10/350 μ s 雷电波形,闪电脉冲电流为 50 kA/100 kA,残压 ≤ 4 kV,响应时间 ≤ 100 ns。

在上、下库 3 个闸门控制房、上库溢水回收泵房、控制楼和地下厂房总配电柜内安装第二级浪涌保护器 8 台。

第二级主要参数为:额定电压为 320 V/50 Hz,波形为 8/20 μ s 雷电波形,标称放电电流为 15 kA,残压 ≤ 1.75 kV,响应时间 ≤ 50 ns。

在大坝沉降观测系统、水位控制探头、闭路监控和通信系统所有用电设备端口前配电盘安装第三级 SPD 共 16 台,主要参数为:额定电压为 255 V/50 Hz,测试波形为 8/20 μ s 雷电波形,标称放电电流为 3~10 kA,残压 ≤ 1.25 kV,响应时间 ≤ 25 ns。

需要特殊保护的信息设备,可采用耐冲击电压额定值为 1.5 kV 的多口插排。

4.4.2 信号线路防护

室内计算机遥控系统弱电设备通信(信号)端口电涌防护装置的有关技术指标应满足下述原则:

①通信(信号)端口防护装置不应应对计算机遥控系统的正常运行指标(如传输速率、线压、插入损耗、端口的匹配等)造成不利的影响。

②防护装置的冲击残压应小于被保护的通信端口的击穿电压。

③防护装置的额定工作电压应适当高于被保护通信端口的正常工作数据信号电压。

信号 SPD 的选择应根据线路的工作电压、传输速率和接口形式选择相对应的防雷器 [6]。接地装置的接地电阻值应不大于 4 Ω 。

根据实际需要,在沉降观测室数据搜集器系统安装 4 套 25 针接口信号 SPD。通讯机房的信号进

线端并联安装4套9针信号SPD,通讯机房与上库水位控制箱和下库水位控制箱用电缆架空连接,在上、下端口安装3套数据线路SPD。为了避免雷电流通过信号线缆侵入而损坏MODEM设备,需在信号线路两端各安装4套GDN信号SPD,可以将雷电流限制在操作设备可以承受的水平,达到有效的防护效果。闭路监控系统在8台摄像机信号端口输出处安装信号SPD。

5 小 结

通过对电站雷击事故原因的分析,提出并实施了综合防雷改造方案,经过两年多的运行,虽然多次出现强雷暴天气,但且在SPD记录器上多次显示雷击记录,但均未发生雷击事件,一切设备运行正常。

参考文献

- [1] 林丽. 浅谈雷电防护工程设计的环境因素[J]. 中国雷电与防护, 2007(1): 37-39.
- [2] 中华人民共和国机械工业部. GB 50057-1994建筑物防雷设计规范(2000年版)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2001.
- [3] 中国建筑标准设计研究院. GB 50343-2004建筑物电子信息系统防雷技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [4] 水利部水利水电规划设计管理局. GB 50071-2002小型水力发电站设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. IEC 61312-1: 1995雷电电磁脉冲的防护通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [6] 张永刚, 肖稳安, 李虹, 等. 气象信息系统雷电防护常见问题的解决方法[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(2): 83-85.

Study on Comprehensive Project of Lightning Protection of Pumped-storage Power Station

Ma Gang¹, Zheng Shaoxun¹, Tian Jinghua², Zhang Yuwei³

(1. Nanyang Lightning Protection Center, Nanyang 473055, China;

2. Henan Provincial Lightning Protection Center, Zhengzhou 450003, China;

3. Huilong Pumped-storage Power Plant, Nanyang 473055, China)

Abstract: Thunder and lightning is the most serious natural calamity for the safety of power station. By studying the circumstances of thunder and lightning taking place in pumped-storage power station, and analyzing the thunderstrike cases, we determined the reason and advanced a comprehensive project of lightning protection of generating equipment in order to make sure of lightning protection of power station managing and controlling system and equipment by calculating theoretically.

Key words: power station; controlling system; comprehensive lightning protection; protection plan