

引用格式:汪宏峰. 架空运输设备防雷技术研究[J]. 有色设备, 2024, 38(2): 84-88.

WANG Hongfeng. Research on lightning protection technology of overhead transportation equipment[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(2): 84-88.

架空运输设备防雷技术研究

汪宏峰

(黄山旅游发展股份有限公司, 安徽 黄山 245000)

[摘要] 现代索道电气控制系统采用的 PLC、计算机网络、交换机等设备以超大规模的电子集成电路制造技术为主,因其大量采用 CMOS 半导体集成模块,抗过流及耐高压能力降低,但安全性要求高。设备设施暴露在天空中且传输线路长,加大了雷电预防的难度,控制系统遭受雷击的概率增大。本文通过对黄山云谷索道传统防雷技术改造,结合最新雷电预测预警技术,将雷电对索道造成的危害降低了 10%~20%,对提升索道防雷效果起到了很好的作用。

[关键词] 防雷; 电改光; 接地电阻; 泄放电流; 雷电预警

[中图分类号] TH69 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2024)02-0084-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.02.014

0 引言

现代索道电气控制系统采用的 PLC、计算机网络、交换机等设备以超大规模的电子集成电路制造技术为主,因其大量采用 CMOS 半导体集成模块,与早期索道所采用的以接触器及分立电子原件为主的控制系统相比,抗过流及耐高压能力大幅下降;另一方面由于客运架空索道作为景区运送旅客的运输工具,对安全性的要求很高,各类检测及信号处理系统应用于索道电气控制系统中,如索道上下站通讯、广播系统、视频信号、RPD 绳位检测系统、U 形针脱索保护系统、风速风向检测系统等,设备设施暴露在露天空中且传输线路长,加大了雷电防范的难度,控制系统遭受雷击的概率增大。索道面对雷击轻则保护性停车,重则设备被击毁。黄山索道已安全运营 40 年,结合多年的防雷实践经验,不断深入研究和探索,防雷技术不断升级实践,取得了一定的成果^[1-2]。

[收稿日期] 2023-12-25

[第一作者] 汪宏峰(1970—),男,安徽歙县人,工程师,主要研究方向为索道机电技术,现任黄山旅游发展股份有限公司索道事业部副总经理。

1 雷电对黄山索道的影响

1.1 索道介绍

索道一般建于名山大川、旅游名胜区内,采用电力驱动,利用柔性绳索牵引运载工具运送乘客。索道主要由供电系统、电气控制系统(其中包括安全检测及自控系统、信号采集传输系统、PLC 控制系统等)、钢丝绳、驱动迂回系统、线路支架、液压制动系统及辅助驱动等系统组成。黄山作为世界知名旅游景区,为国内较早开始建设索道的景区之一。

1.2 索道防雷技术的必要性

黄山地处北纬 30°,属于典型的亚热带季风气候,地质条件特殊,山高谷深,垂直气候明显,云雾多、湿度大、雨水充沛。夏季时,景区上空极易短时积聚云层,形成雷暴大雨的恶劣天气,即使是春秋季节也时常有雷击事件发生。

经统计,黄山索道受影响的雷击类型主要是感应雷,感应雷通过 2 种不同的方式危害索道设备。①静电感应,当雷云中积聚大量电荷时,会产生很大的电场,导致附近的导体感应出相反的电荷。在发生雷击放电时,雷云中的电荷迅速释放,即使雷击电流并没有直接击中导体,但导体中原来被雷云电场

束缚住的电荷也会沿导体寻找释放通道,在电路中形成较大的浪涌电流。②电磁感应,在雷云放电时,迅速变化的雷击电流在其周围会产生强大的瞬变电磁场,受变化磁场影响,附近的导体中会产生很高的可击穿大多数电子产品的感应电动势。

黄山自1986年建成第1条往复式索道以来,目前已运营4条客运索道、缆车。在运营初期,由于防雷意识薄弱和防雷手段缺少,索道遭受雷击造成的损失巨大。20世纪90年代初,云谷老索道可控硅系统遭受雷击被烧毁,索道设备从日本进口,受当时国外技术封锁限制,索道设备历时半月才得以修复,仅此一次雷击就造成云谷索道损失超过当年营收的1/10(停运在旅游黄金周期间)。

多年来,对防雷技术的不断探索以及防雷手段的不断完善,索道系统遭受雷击的危害和损失逐年减少,特别是雷电直击索道的事件已有多年未发生。经统计,近5年黄山索道每年因雷电导致停车总时长达20h左右,造成停车和设备损坏的雷击均为间接雷击(电磁感应),直接经济损失约40万元。

2 黄山索道传统防雷技术

黄山索道传统防雷措施主要以传统的接闪、分流、屏蔽、接地、等电位等手段为主。站房和支架设置有接闪体(避雷针、避雷带)、引下线、接地网,接地电阻大小符合《客运架空索道安全规范》(GB 12352—2018)^[3]。

在建筑物中最大限度地利用内部的柱筋,设置较多的引下线,达到对雷电的分流作用,将所有金属物做等电位连接。充分利用埋入地下的金属管道、建筑物的钢结构和钢筋等作为自然接地体。为进一步降低接地电阻,加设以下人工接地体:采用 $\varphi 38 \sim 50$ mm的镀锌钢管或 $\angle 40$ mm \times 40 mm \times 4 mm \sim $\angle 50$ mm \times 50 mm \times 5 mm的镀锌角钢制成垂直埋设的接地体;采用 $\varphi 16$ mm的镀锌圆管或40 mm \times 4 mm的镀锌扁钢制成平埋设的接地体;接地线一般采用20 mm \times 4 mm \sim 40 mm \times 4 mm的镀锌扁钢。

3 防雷技术升级改造总思路

经过深入调研,对索道行业现行应用的一些防

雷新技术进行可行性论证,针对雷击感应电压的形成机制和原理,借鉴当前国内外应用的先进防雷技术,同时结合黄山索道防范的雷电特点,一方面对索道设备现行防雷技术进行了硬件再升级,采取冗余设计理念,利用多级防护的方法,将雷云感应电压分层释放,逐级减弱,直至对设备不再产生危害,从而达到保护设备的目的。另一方面充分利用现代化信息技术,完善雷电预测预警系统,实时掌握索道周边雷云动态,达到精准预报,避开雷电高危释放期,“预”、“防”双管齐下最大限度减少雷电对索道产生的危害。

4 黄山索道的防雷技术升级提升实践

4.1 供电系统“三级”防雷技改

对索道电源系统进行“三级”防护升级,将SPD保护器并联于线路与大地(L/N)之间。10 kV进线原设计有阀形避雷器,是一种氧化锌压敏电阻器,其最大优点是电压梯度特别高,一般可达到100~250 V/mm,大电流特性好,可作为第一级防雷,这一级可将数万至数十万V的浪涌电压限制到2 500~3 000 V,其目的是防止浪涌电压直接从LPZ₀区传导进入LPZ₁区;第二级保护是对所有的分配电柜线路加装电源防雷器,并对LPZ₁-LPZ₂实施等电位连接,目的是防止浪涌电压直接从LPZ₁区传导进入LPZ₂区;第三级保护是在设备外壳与大地之间加装SPD浪涌保护器(图1),目的是最终保护终端设备,将残余浪涌电压值降至极低的程度,浪涌电压在设备安全范围内^[4-7]。

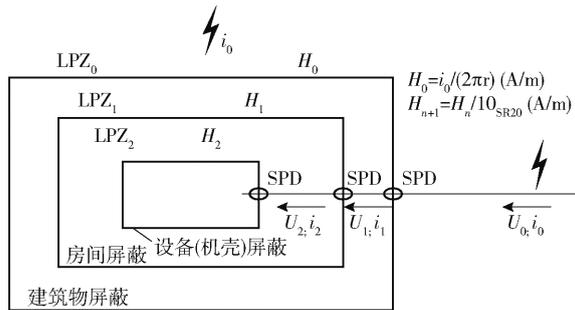


图1 供电系统三级SPD保护示意

Fig. 1 Three-level SPD protection diagram for power supply system

4.2 支架设备实施浪涌吸收升级改造

支架设备如风速风向仪、RPD系统、监控系统

一般安装在支架顶部最高处,受感应雷的影响概率最大,根据这些系统设备的工作电压、最大耐受电压及工作电流选用相对应的电源和信号防雷保护器,实施浪涌吸收升级改造,在信号线路的前端处安装 T2 或 C 级浪涌保护器,在终端设备处安装 T3 或 D 级浪涌保护器,防止感应雷的入侵(图 2)^[8-10]。

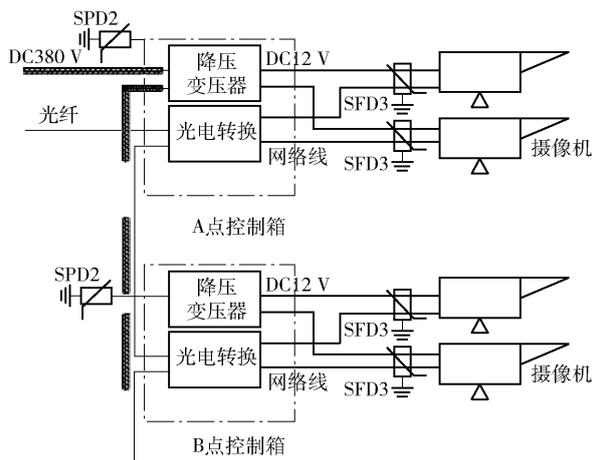


图 2 支架设备“浪涌”升级

Fig. 2 Bracket Equipment upgrade on surge protection

4.3 运载索加装接地轮泄放雷击电流

黄山索道运载索的长度均超过 5 000 m,运载索位于线路支架的顶部,雷暴天气最易产生感应电压。索道原先仅在上下两个站房内装有接地轮,雷电流泄放线路太长,造成以下危害:①雷电流会在线路绝缘薄弱处泄放击坏设备;②可能在雷电流泄放过程中会对与之平行的通讯电缆或 RPD 等设备造成二次感应,造成设备损坏。为使钢丝绳产生的感应电压能够及时就近释放,在支架托索轮组中设计加装了接地轮,接地轮采用铜质滚轮,通过可伸缩调节的底座固定,施加在钢丝绳上的压力通过底座内部的弹簧调节。这样在钢丝绳上产生的感应电压瞬间通过就近的接地轮进行释放,极大保护了钢丝绳周围的其他设备^[11-12]。

4.4 实施“电改光”工程

索道原有的上下站房之间的 PLC 通讯采取 RS485 模式,使用双绞线传输上下站之间的控制信号。索道上下站线路长达 2 600 多 m,且通讯电缆架设在支架顶部,跨越山谷沟壑,山间地形复杂,在如此之长的线路中,感应雷极易通过双绞线侵入上下

站房内的索道控制系统。为了防止感应雷侵入,试验过多种方案,大多效果不理想,最后考虑到光纤,传输原理是利用光的全反射现象,将光信号在纤维芯内部传输,只传光,不导电,不受电磁场的影响,光纤是天然的雷电感应免疫产品。因此,决定实施“电改光”工程,使用光纤和光电调制解调器取代原有的 RS485 信号传输,在光纤取代原有的双绞线后,形成了光电隔离,雷击电流不再通过通讯线路侵入上下站房内的索道控制系统。

4.5 接地电阻升级改造

所有的防雷设施通过接地来释放雷击电流,只有良好的接地才能起到最好的防雷效果。在设备本身或者避雷设施拥有良好接地的情况下,当雷云接近这些设备设施时,地面感应出的电荷可以快速沿接地体、接地线和突出的金属体释放到大气中与雷云中的电荷中和,从而避免了大规模的直接雷击,导体中的感应电荷同样也可沿导体、接地线、接地体及时释放,避免电荷积聚产生危害设备的感应高电势。

由于黄山的地质条件特殊,山体多为花岗岩,据地质勘探资料,索道上站站房所在位置平均腐植土厚度 0.3~0.5 m,以下均为基层岩石,接地电阻很难达到规范要求。为尽可能降低站房接地电阻,对站房接地也作了改造。①围绕站区用 40 cm×4 cm 镀锌扁钢安装一环形水平接地体,沿环形水平接地体每隔 5 m 用 50 cm×50 cm×5 cm 角钢打入一垂直接地体,接头处采用螺栓连接加焊接并做防腐处理,且与原工作接地、保护接地及防雷接地用 40 cm×4 cm 镀锌扁钢采用焊接防腐工艺联为一体;②各机房采用 40 cm×4 cm 镀锌扁钢沿墙敷设环形接地干线,并在四角用 40 cm×4 cm 镀锌扁钢做地线引下线与楼顶避雷带及地网相联,整个站房也就形成了一个法拉第笼防雷结构。站内所有金属外壳、管道、构架等用多股铜线(Φ35)就近与接地干线相联。这样站房的接地电阻可以小于 1 Ω(国家规范要求不大于 4 Ω),远远低于《客运架空索道安全规范》(GB 12352—2018)要求的不大于 5 Ω。

支架大部分建在岩层地形之上,原接地工程完工后,接地电阻虽能满足规范基本要求小于 30 Ω,但在高电压、大电流的雷击情况下,不足以有效保护设备,放电不及时剩余电流及在接地体上产生的

压降足以损坏大部分的电子设备,所以目标是将接地电阻降低到 $10\ \Omega$ 以下。在支架原接地体的基础上,开沟至地质状况适宜的位置设置避雷坑,避雷坑用电阻接地模块、降阻剂,热镀锌扁钢 ($4\ \text{mm} \times 40\ \text{mm}$) 混合铺设,每个支架设多个避雷坑,各处避雷坑之间采用热镀锌扁钢 ($4\ \text{mm} \times 40\ \text{mm}$) 贯通焊接。支架接地改造后,经雷击验证效果明显,支架设备受雷击影响比改造前下降了 35%。

4.6 建立雷电预警机制,避开雷电高危区

虽然索道的防雷系统日臻完善,但并不能完全避免雷击对索道设备的危害。为了更好保护生命和财产安全,提前响应规避风险,建立了雷电预测预警系统,提前预测雷电活动趋势,及时发布预警信息,对索道预防雷电危害意义重大。在雷电预测预警方面进行了大量研究,依靠互联网技术、大数据技术的高速发展,借助当地气象部门的开放平台,开发应用了索道雷电预测预警系统,建立了基于大气电场仪、闪电定位系统和雷达资料的雷电预警预报方法,实现了对黄山景区的精细化雷电预警。

黄山景区产生闪电的雷暴来源主要有外地移入型和局地生成型 2 种。对于移入型,本系统对比分析雷暴在进入景区前闪电定位系统监测到的闪电位置与雷达探测的风暴单体质心位置,采用最近原则寻找产生闪电的雷暴母体,建立闪电与雷暴母体的对应关系,并结合电场强度平均变化值和快变抖动的瞬间变化,预警移入型的雷暴对黄山景区的影响时间和区域。当雷云距离索道中心点 $20 \sim 40\ \text{km}$ 区域时,依据移动方向判定未来对景区有影响时,发布雷电消息,此时距雷电影响一般有 $40\ \text{min}$ 左右的时间;当雷电到达 $5 \sim 10\ \text{km}$ 区域时,一般最多有 $20\ \text{min}$ 左右会发生雷暴,此时可根据预警显示的雷云强度及走向,决定提前暂停运营,确保游客不受雷电危害,保护设备减少损失。当索道区域完全受雷区影响时,实时观察雷云走向,确定雷云已移出索道区域,在保证安全的前提下再恢复索道运行。

对于景区内局地生成型,根据雷达回波初始闪

电特征和电场的变化进行雷电预警。

在现代化科学技术的帮助下,这套精细化雷电预警系统对雷暴起到了提前发现、及时跟踪、适时预警的作用,从而让索道提前响应。

5 结语

1) 经过多年的防雷实践验证,以黄山云谷索道为试点的索道防雷技术升级改造及雷电预测预警新技术开发应用,索道防雷效果非常显著,雷击造成的设备损坏已下降为零,感应雷导致的索道故障停车率呈逐年下降趋势。

2) 对黄山索道的防雷技术升级提升措施有:①供电系统“三级”防雷技改;②支架设备实施浪涌吸收升级改造;③运载索加装接地轮泄放雷击电流;④实施“电改光”工程;⑤接地电阻升级改造;⑥建立雷电预警机制,避开雷电高危区。

雷电灾害被联合国确定为世界最严重的十大自然灾害之一,防雷目前还是一项世界性难题,雷电危害防不胜防,需要从多方面多角度深入研究,不断完善防雷举措。

[参考文献]

- [1] 张长钢. 浅谈雷击危害及索道设备的防雷[C]//中国索道协会论文集刊. 2006-11.
- [2] 娄永平. 索道与防雷[C]//中国索道协会论文集. 2015-11.
- [3] 客运架空索道安全规范:GB 12352—2018[S].
- [4] 架空索道工程技术标准:GB 50127—2020[S].
- [5] 建筑物防雷设计规范:GB 50057—2022[S].
- [6] 建筑物电子信息系统防雷技术规范:GB 50343—2004[S].
- [7] 电子设备雷击保护导则:GB 7450—87[S].
- [8] 电子设备雷击试验导则:GB 3483—83[S].
- [9] 低压配电设计规范:GB 50054—95[S].
- [10] 电子设备用压敏电阻器第 2 部分:分规范浪涌抑制型压敏电阻器:GB/T 10194—1997[S].
- [11] 王凯,朱浩,刘安平,等. 黄山风景区雷暴电场特征及预警方法研究[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(5): 184-189.
- [12] 龙慧. 索道支索器的运用与设计[J]. 有色冶金节能, 2002(5): 24-25, 28.

Research on lightning protection technology of overhead transportation equipment

WANG Hongfeng

(Huangshan Tourism Development Co., Ltd., Huangshan 245000, China)

Abstract: The PLC, computer network, switches and other equipment used in modern ropeway electrical control systems are mainly based on ultra-large-scale electronic integrated circuit manufacturing technology. Because of the large number of CMOS semiconductor integrated modules, the ability to withstand overcurrent and high voltage is reduced, but safety requirements are high. Equipment and facilities are exposed in the open air and the transmission lines are long, which increases the difficulty of lightning prevention and increases the probability of the control system being struck by lightning. By transforming the traditional lightning protection technology of Huangshan Yungu Cableway and combining it with the latest lightning prediction and early warning technology, the damage caused by lightning to the cableway has been reduced by 10% to 20%, which has played a very good role in improving the lightning protection effect of the cableway.

Key words: lightning protection; replace copper cable with fiber cable; grounding resistance; discharge current; lightning early-warning ▲

敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据知识服务平台(<https://www.wanfang-data.com.cn/>)、维普网(<http://www.cqvip.com/>)下载使用。

本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话 010-63936591、63933053 联系。

《有色设备》编辑部