

关于铁路信号设备雷电危害及防护的探讨

张志鹏

北京现代通号工程咨询有限公司 北京市 100070

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11675

[摘要] 随着我国铁路事业的快速发展,铁路信号设备在保障列车安全运行中发挥着至关重要的作用。然而,雷电作为一种常见的自然灾害,对铁路信号设备造成了严重的危害。本文深入探讨了铁路信号设备遭受雷电危害的机制、表现形式以及相应的防护措施。通过对雷电产生的原理及其对铁路信号设备的入侵途径进行分析,阐述了雷电可能导致的设备损坏、信号中断等严重后果,并详细介绍了目前常用的防雷技术,包括接地技术、屏蔽技术、等电位连接技术以及浪涌保护装置的应用等,旨在提高铁路信号系统在雷电环境下的可靠性和稳定性,保障铁路运输的安全与顺畅。

[关键词] 铁路信号; 设备管理; 雷电危害; 防护

引言:

铁路信号设备作为铁路运输系统的“神经中枢”,其稳定运行对于保障列车的安全、高效运行至关重要。然而,雷电作为一种自然的强电磁干扰源,对铁路信号设备构成了严重的威胁。雷电灾害可能导致信号设备故障、通信中断、列车误判信号等问题,进而引发列车延误、停运甚至事故,给铁路运输带来巨大的经济损失和安全隐患。因此,深入研究铁路信号设备的雷电危害及防护措施具有重要的现实意义和紧迫性。

一、雷电的产生及对铁路信号设备的危害机制

(一) 雷电的产生原理

雷电是一种大气中的放电现象,通常发生在云层内部、云层之间或云层与地面之间。当云层中的电荷分布不均匀时,会形成强大的电场,导致空气被击穿,形成导电通道,从而产生闪电。闪电瞬间释放出巨大的能量,包括强大的电流、高温、高压以及强烈的电磁辐射,这些能量会对周围的物体产生直接或间接的影响^[1]。

(二) 雷电对铁路信号设备的危害途径

1. 直击雷

当雷电直接击中铁路信号设备或其附近的建筑物、杆塔时,巨大的雷电流会通过设备的外壳、接地装置等流入大地,产生极高的电位差,可能导致设备的绝缘被击穿、电子元件烧毁、机械结构损坏等严重后果。雷电击中信号机的杆塔,可能使信号机的灯泡瞬间烧毁,导致信号显示异常。

2. 感应雷

雷电放电过程中会产生强烈的交变电磁场,在铁路信号设备的线路、电缆、金属外壳等金属部件上感应出电动势,形成感应过电压和感应过电流。这些感应过电压和过电流可能会沿着信号传输线路侵入设备内部,损坏信号处理模块、通信接口等敏感部件,影响信号的正常传输和处理。感应雷可能会使信号电缆中的信号发生畸变,导致车站控制中心接收到错误的信号信息。

3. 地电位反击

在雷电击中附近地面时,雷电流会通过接地装置流入大地,使接地装置周围的土壤电位升高。如果铁路信号设备的接地系统与其他接地系统之间存在电位差,就可能发生地电位反击现象,即高电位的土壤会向信号设备的接地系统反击,导致设备的接地电位异常升高,从而损坏设备的绝缘和电子元件。这种情况在多个信号设备共用接地系统或信号设备与其他电力、通信设施距离较近时尤为容易发生。

二、雷电对铁路信号设备的具体危害表现

(一) 信号设备损坏

1. 信号机故障

雷电可能导致信号机的灯泡、透镜、灯罩等部件损坏,使信号显示模糊或完全熄灭,影响列车司机对信号的识别,严重时可能导致列车误判信号,引发安全事故^[2]。此外,信号机的控制电路也可能受到雷电的冲击,造成电路短路、断路或元件烧毁,使信号机无法正常工作。

2. 道岔转辙机故障

道岔转辙机是控制铁路道岔转换的关键设备,雷电可能损坏其电机、减速器、传动机构以及控制电路等部件。雷电流可能使电机绕组烧毁,导致道岔无法正常转换;或者使控制电路中的继电器、接触器等元件粘连或损坏,造成道岔的错误动作,危及列车运行安全。

3. 轨道电路故障

轨道电路用于检测列车在轨道上的位置和占用情况,雷电可能干扰轨道电路的正常工作,使轨道继电器误动作或不动作,导致车站控制中心无法准确掌握列车的运行位置,从而影响列车的调度和运行安全。雷电还可能损坏轨道电路的发送器、接收器、扼流变压器等设备,造成轨道电路的传输性能下降或完全失效。

(二) 信号传输中断

1. 通信线路故障

铁路信号系统中的通信线路包括电缆、光缆等,雷电可能通过感应雷或直击雷的方式对通信线路造成损坏。感应雷可能在电缆中产生感应过电压,使电缆的绝缘层被击穿,导致线路短路或断路;直击雷可能直接击断通信线路,使信号传输中断。通信线路的故障会导致车站与列车之间、车站与车站之间的通信不畅,影响列车的调度指挥和运行安全信息的传递。

2. 信号传输设备故障

信号传输设备如无线电台、通信基站、信号传输接口等也容易受到雷电的攻击。雷电可能损坏这些设备的天线、射频模块、信号处理单元等部件,使信号无法正常发送和接收,导致信号传输中断。此外,信号传输设备的电源系统也可能受到雷电的影响,造成设备停电,进一步加剧信号传输的中断情况。

(三) 系统误动作

1. 联锁系统误动作

联锁系统是保证铁路车站内列车和调车作业安全的核心设备,它通过对道岔、信号机、轨道电路等设备的逻辑控制,实现列车进路的正确排列和信号的正确显示。雷电可能干扰联锁系统的正常工作,使联锁逻辑出现错误,导致道岔错误转换、信号错误开放或关闭等情况,严重威胁列车的运行安全。雷电引起的电磁干扰可能使联锁系统中的计算机程序出现异常,导致联锁关系混乱,发出错误的控制指令。

2. 列车自动控制系统(ATC)误动作

ATC系统包括列车超速防护、自动驾驶、自动停车等功能,它依赖于准确的信号传输和处理。雷电可能影响ATC系统的信号采集、传输和处理环节,使系统产生错误的速度指令、距离测量误差等,导致列车的运行速度失控或停车位置不准确,增加列车追尾、相撞等事故的风险。

三、铁路信号设备雷电防护的基本原则

(一) 综合防护

在铁路信号设备的雷电防护工作中,综合防护措施至关重要。直击雷防护方面,通过安装避雷针等装置,将雷电引

向大地,避免直击设备。感应雷防护则需对电源线路和信号传输线路采取措施,如安装防雷器,抑制感应过电压^[3]。对于地电位反击防护,优化接地系统,降低接地电阻,确保设备外壳与大地良好连接,形成等电位连接。从电源引入端、信号传输的各个环节到设备外壳,构建起涵盖多层次、全方位的防护体系,有效提升铁路信号设备应对雷电灾害的能力,保障铁路运行安全稳定。

(二) 分级防护

根据铁路信号设备的重要性、所处的地理位置以及雷电活动的频繁程度等因素,对不同的设备和线路进行分级防护,合理确定防护等级和防护措施,确保重点设备和关键部位得到优先、有效的防护,同时兼顾一般设备的防护需求,在保证防护效果的前提下,降低防护成本。

(三) 技术与管理相结合

雷电防护不仅要依靠先进的防雷技术和设备,还要加强防雷管理工作。建立健全防雷管理制度,明确各部门和人员的防雷职责,加强对防雷设备的维护和检测,定期进行防雷培训和演练,提高全体员工防雷意识和应急处置能力,确保防雷措施的有效实施。

四、铁路信号设备雷电防护的维护与管理策略

(一) 加强铁路信号设备雷电防护

1. 直击雷防护

在铁路信号设备的建筑物、杆塔等高处安装避雷针或避雷线,将雷电引向自身并安全地导入大地,从而保护周围的信号设备免受直击雷的袭击。避雷针和避雷线的设计和安装应符合相关的国家标准和行业规范,确保其具有足够的保护范围和良好的引雷性能。对于信号机房的建筑物,应在屋顶安装避雷针,并通过引下线将雷电流引入地下接地网。对于一些较大面积的建筑物或场所,如铁路车站的候车大厅、信号楼等,可以采用避雷带和避雷网相结合的方式直击雷防护。避雷带和避雷网应沿建筑物的屋脊、屋檐、女儿墙等易受雷击的部位敷设,并与建筑物的防雷引下线可靠连接,形成一个完整的避雷系统,将雷电流均匀地分散导入大地,减少雷电对建筑物和内部信号设备的直接冲击。

2. 感应雷防护

对铁路信号设备的电源线、信号线、通信线等线路采用屏蔽措施,将线路包裹在金属屏蔽层内,屏蔽层应具有良好的导电性和接地性能。这样可以有效地减少雷电电磁感应产生的电动势对线路的影响,防止感应过电压和过电流侵入设备内部。信号电缆可以采用钢带铠装或钢丝编织屏蔽层,并在电缆的两端进行良好的接地处理。同时,完善的接地系统是感应雷防护的关键。铁路信号设备应设置独立的接地装置,并确保接地电阻符合要求。接地装置应与设备的金属外壳、屏蔽层、防雷装置等可靠连接,形成一个等电位连接网络,使设备在遭受雷电感应的能够迅速将感应电荷导入大地,降低设备的电位差,保护设备的安全,要注意不同接地系统之间的隔离和电位均衡,避免地电位反击现象的发生^[4]。此外,在铁路信号设备的电源线路、信号线路等关键部位安装 SPD,SPD 能够在瞬间将感应雷产生的过电压和过电流限制在安全范围内,并将其泄放到大地,从而保护设备免受损坏。SPD 的选型应根据被保护设备的工作电压、传输速率、接口类型等参数进行合理选择,并按照正确的安装方法进行安装和连接。在信号设备的电源输入端安装电源 SPD,在信号传输接口处安装信号 SPD,确保设备在雷电环境下能够正常工作。

3. 地电位反击防护

优化铁路信号设备的接地布局,避免不同接地系统之间的相互干扰和地电位反击。对于信号设备的工作接地、保护接地、防雷接地等应采用分开设置或联合接地的方式,并确保接地系统之间的安全距离和良好的电气连接。采用联合接地方式时,应通过等电位连接带将各个接地系统连接在一起,并在接地网的不同位置设置接地极,以降低接地电阻和电位差。在一些容易发生地电位反击的部位,如信号设备与电力

设备、通信设备之间的连接线路上,可以采用隔离变压器、光耦隔离器等隔离措施,将不同系统之间的电气连接断开,防止地电位反击电流的传导,保护信号设备的安全。同时,对于信号电缆的金属外皮与设备外壳之间也应采取适当的绝缘隔离措施,避免地电位反击对设备造成损坏。

(二) 防雷设备的日常维护

定期对铁路信号设备的防雷装置进行外观检查,查看避雷针、避雷线、避雷带、接地引下线等部件是否有锈蚀、断裂、松动等情况,确保其处于良好的物理状态。对于 SPD,检查其外壳是否有损坏、指示灯是否正常工作等,及时发现并更换损坏的部件。同时,定期对接地装置的接地电阻进行测试,确保接地电阻值符合设计要求。如果接地电阻值增大,应及时查找原因并采取相应的措施进行修复,如增加接地极、改善土壤导电性能等,以保证接地系统的有效性。检查信号设备的电源线、信号线、通信线等线路的屏蔽层是否完好,接地连接是否可靠,有无破损、短路等情况。对于发现的问题应及时进行修复或更换,确保线路的防雷性能。

(三) 防雷系统的定期检测与评估

委托具有资质的防雷检测机构对铁路信号设备的防雷系统进行定期检测,检测内容包括防雷装置的性能参数、接地系统的有效性、SPD 的动作特性等。根据检测结果出具检测报告,对防雷系统的性能进行全面评估,及时发现潜在的问题和隐患。针对检测报告中提出的问题和隐患,制定详细的整改措施并及时进行整改。根据铁路信号设备的更新改造、周边环境的变化以及雷电活动的实际情况,对防雷系统进行优化设计,不断提高防雷系统的防护能力和可靠性。

(四) 防雷知识培训与应急演练

加强对铁路信号设备维护人员和操作人员的防雷知识培训,使其了解雷电的危害机制、防护措施以及防雷设备的工作原理和维护方法。通过培训提高员工的防雷意识和操作技能,确保在日常工作中能够正确维护和使用防雷设备,及时发现并处理雷电故障^[5]。定期组织防雷应急演练,模拟雷电灾害发生时的情景,检验和提高员工的应急处置能力。演练内容包括雷电故障的报告流程、应急抢修队伍的组织和协调、防雷设备的应急操作等。通过应急演练,使员工熟悉应急处置流程,提高应对雷电灾害的快速反应能力和协同作战能力,最大限度地减少雷电灾害对铁路信号设备的影响和损失。

五、结语

综上所述,铁路信号设备的雷电防护是一项系统工程,涉及到多个方面的技术和管理措施。通过深入了解雷电的产生原理和对铁路信号设备的危害机制,采取有效的直击雷防护、感应雷防护和地电位反击防护措施,并加强防雷设备的维护与管理,可以显著提高铁路信号设备在雷电环境下的可靠性与稳定性,保障铁路运输的安全与顺畅。随着铁路技术的不断发展和雷电防护技术的不断进步,应持续关注防雷领域的新理论、新技术、新设备,不断优化和完善铁路信号设备的雷电防护体系,为铁路事业的高质量发展提供有力的保障。

【参考文献】

- [1]贾方瀚.铁路信号设备雷电危害及防护探讨[J].中国新通信,2020,22(02):105.
- [2]江剑锋.雷电对铁路信号设备的危害性及防雷整治技术[J].信息通信,2020,210(06):288-289.
- [3]彭忠伟.雷电对铁路信号设备的危害及防雷整治[J].技术与市场,2020,27(02):138-139.
- [4]江剑锋.雷电对铁路信号设备的危害性及防雷整治技术[J].信息通信,2020,(06):288-289.
- [5]张恩荣.铁路信号设备防雷技术应用探析[J].工程机械与维修,2022,(02):261-263.

作者简介:张志鹏(1982.08.08)男,满族,辽宁锦州人,工学学士,研究方向:铁路信号专业实施,铁路四电监理。