

雷电活动对铁路信号系统的影响分析及对策

王超

陕西铁路工程职业技术学院, 中国·陕西 渭南 714000

摘要: 随着当前铁路运营对于信号系统依赖程度的不断提升, 保障信号系统的持续、安全、稳定运行是保障铁路运营效果的关键措施。而在铁路信号系统运行的过程中, 不管是室外设备还是室内设备都容易受到雷电活动的影响和干扰, 因此加强信号系统的防雷措施成为保障系统持续运行的关键目标。为了能够实现对雷电活动影响的管控, 论文分析了雷电活动对铁路信号系统的影响以及影响方式, 并且提出了铁路信号系统预防雷电活动的措施以及雷电综合防护体系建设措施以供参考。

关键词: 雷电活动; 铁路信号系统; 防护体系

Analysis and Countermeasures of the Impact of Lightning Activities on Railway Signal Systems

Chao Wang

Shaanxi Railway Engineering Vocational and Technical College, Weinan, Shaanxi, 714000, China

Abstract: With the increasing dependence of railway operations on signal systems, ensuring the continuous, safe, and stable operation of signal systems is a key measure to ensure the effectiveness of railway operations. During the operation of railway signal systems, both outdoor and indoor equipment are easily affected and interfered by lightning activities. Therefore, strengthening lightning protection measures for signal systems has become a key goal to ensure the continuous operation of the system. In order to achieve control over the impact of lightning activities, this paper analyzes the influence and ways of lightning activities on railway signal systems, and proposes measures to prevent lightning activities in railway signal systems as well as measures to build a comprehensive lightning protection system for reference.

Keywords: lightning activity; railway signal system; protection system

0 前言

铁路信号系统作为保障列车运行安全、提高运输效率以及满足线路检测的关键系统, 由于信号系统基本在露天的环境下工作, 而且大多数信号系统设置在较为宽阔的地区, 因此铁路信号系统很容易受到雷电的干扰。为此, 铁路管理部门必须加强对防雷工作的关注, 在了解雷电活动所带来的影响的基础上, 还需要做好防雷措施, 以此满足信号系统稳定持续运行的需求。

1 雷电活动对铁路信号系统的影响

1.1 直击雷对铁路信号系统的影响

直击雷对于铁路信号系统所产生的影响非常严重, 一旦雷电当雷电直接击中铁路信号系统的外部设备, 会产生极高的电流, 而设备则会受到短暂的电流冲击并会迅速转化为巨大的热能, 导致设备局部温度急剧升高, 甚至引发火灾。而且直击雷的有效会导致设备生成强烈的电磁场, 对周围电子设备产生机械力作用, 进而造成设备内部的元器件会产生变形和断裂, 而电流快速变化产生的冲击波则会进一步加剧设备的机械损伤。

1.2 感应雷对铁路信号系统的影响

感应雷主要是在云层之间放电或雷云对地表放电过程

中产生的强大电磁场, 而这种电磁场会在铁路信号系统的金属导体内部感应出过电压和过电流, 过电压和过电流则会沿着导体传播, 并对信号系统的电子设备造成干扰或损坏。感应雷产生的电磁脉冲能够干扰信号系统中的数据传输和信号传输, 尤其是会导致信号的波形、幅度或相位改变, 导致信号失真或错误, 进而对列车的运行造成严重的影响。而且若是感应雷所产生的过电压和过电流如果超过了信号系统中电子设备的承受范围, 则会直接破坏信号系统的电子元件、电路板等设备, 甚至还会造成严重的系统瘫痪问题。

1.3 雷电冲击波对铁路信号系统的影响

在形成感应雷的过程中若是电磁场距离信号系统金属导体较近, 或者雷电直接击中信号塔、轨道电路等, 则会形成雷电冲击波, 进而通过电磁感应和耦合作用, 侵入信号系统的低压回路以及金属导体, 对信号设备造成影响。雷电冲击波携带的能量巨大, 能够瞬间击穿信号设备内部的绝缘并导致设备损坏, 若是冲击波电压幅度较高还会严重破坏低压侧的信号设备。

1.4 球形雷对铁路信号系统的影响

球形雷是较为罕见的雷电现象, 其形成与雷电放电过程中的特殊条件有关, 而且能够击穿非金属物体。虽然球形雷出现频率较低, 不过其穿透性强和能量高的特点依然会造

成严重的损坏,一旦球形雷接触到信号机、转辙机等铁路信号系统的关键设备则会造成直接破坏,而且破坏力度非常严重。

2 雷电活动影响铁路信号系统的方式

2.1 通过信号交流电源侵入

雷电通过信号交流电源侵入铁路信号系统会导致雷电的高电压和高电流直接击穿高低压间的绝缘层,而且雷电产生的过电压和过电流还会通过电源线路传播到信号设备,导致设备内部元器件损坏或性能下降,从而影响信号系统的正常运行。通过交流电源侵入信号系统的雷电活动还能够周围空间产生强大的电磁场,并且通过信号交流电源线路产生感应电压和电流,对信号系统造成电磁干扰,甚至还会造成设备因承受不住过电压、过电流或电磁干扰而出现电源模块烧毁、电路板击穿等情况^[1]。

2.2 通过架空条件线和控制线系统侵入

雷电活动还会通过信号线、控制线等架空条件线侵入铁路信号系统当中,若是雷电在架空线附近放电时,会在架空线附近产生强大的瞬变电磁场,并且在架空线上感应出过电压和过电流,进而沿着线路入侵到信号系统当中。过电压和过电流的侵入会直接击穿信号设备的绝缘层,同时还会形成信号干扰,进而引发信号系统的故障和损坏。

2.3 通过轨道电路系统侵入

当雷电击中轨道电路附近的地面、建筑物或高大物体时,会在其周围产生强大的电磁场,而电磁场则会通过钢轨等轨道电路中的金属导体上感应出过电压和过电流,进而对信号系统产生严重的干扰和破坏。

2.4 通过雷电电磁场影响

在雷电活动发生的过程中会在周围空间产生强大的瞬变电磁场,而电磁场会随着雷电的放电过程而迅速变化并向外传播,若是雷电电磁场与铁路信号系统的电子设备、线路或金属构件等相互作用,则会形成过电压和过电流,一旦超出了信号系统的负荷能力则会造成严重的损坏。

3 铁路信号系统预防雷电活动的措施

3.1 做好雷电灾害风险等级区划工作

雷电灾害风险等级区划工作是加强铁路信号系统雷电防护体系建设的基础,为此,铁路运维部门必须全面采集负责铁路范围内的雷电发生频率、强度、路径等历史雷电活动数据,通过数据分析对雷电灾害风险进行初步评估。在完成数据分析后,运维部门则需要结合区域地理环境、气候条件、信号系统布局等因素,建立雷电灾害风险评估模型,确保能够综合考虑雷电活动的时空分布特征,以及信号系统的脆弱性,对风险展开科学评估,进而通过评估结果分析制定科学合理的雷电灾害风险等级区划标准。完成风险等级区划后,运维部门需要根据不同的风险等级选择相应的防雷系统,以确保防雷工作能够更具针对性,更符合区域内的设备和地形

需求,避免防雷系统设置不合理而影响防雷效果的情况。

3.2 定期分析雷电活动导致的铁路信号系统受损案例

对于雷电活动所造成的铁路信号系统受损案例分析能够为后续雷电防护工作的展开提供重要参考,铁路运维部门必须记录好每一次铁路信号系统受损情况,尤其是对于雷电活动受损的情况需要记录好时间、地点、受损设备、损害程度及后续处理措施等内容,并且建立一个全面的案例数据库并进行存储。在完成数据库建立之后,则需要利用大数据分析技术,对案例数据库中的数据进行深入挖掘,分析雷电活动的特点、规律及其与信号系统受损之间的关联性,以便于帮助运维部门分析损坏因素、类型以及易受损设备,并且对铁路信号系统的雷电灾害风险进行定量评估,以及配合气象预测技术提前预测雷电活动的发生概率和强度,为提前做好雷电活动防护提供重要帮助。

3.3 制定雷电活动应急预案的措施

虽然良好的预防措施能够减少雷电活动对信号系统的干扰,不过一旦出现较为严重的雷电活动而造成的系统损坏问题,铁路运维部门则需要通过高效的雷电灾害应急响应机制,以保障减少因为雷电灾害而造成的损失,其中明确应急指挥体系、责任分工和通讯联络方式,确保信息畅通无阻,及时传递灾害信息和应对措施是应急预案建设的工作。与此同时,为保障雷电活动中信号系统能够稳定运行,运维部门还需要为关键的信号设备配置备用系统,一旦出现受干扰情况则需要做到紧急防护并且迅速切换到备用系统,保障信号系统的连续性和可靠性。在遇到较为严重的设备损坏之后,运维部门则需要制定详细的灾后恢复计划,明确受损设备的评估、修复和更换流程,以及做好信号系统的重新调试和测试,同时还需要对当前的损坏情况、因素、强度进行记录,为后续相似类型的防护以及应急打好基础^[2]。

3.4 优化室外防雷设计

室外防雷设计是减少直击雷对设备造成损坏的重要工作,铁路运维部门需要在信号塔、轨道电路附近等铁路信号系统的室外关键设备通过安装避雷针、避雷带等避雷装置,确保能够引导雷电电流安全入地,减少对信号设备的直接雷击风险。同时,运维部门还需要做好室外信号电缆和线路的保护,通过屏蔽电缆或穿管埋地敷设的方式,减少雷电电磁脉冲对信号线路的干扰。除此之外,运维部门还需要分析室外环境对防雷设计的影响,尤其是较为空旷以及雷电多发地区,需要通过增加避雷装置的数量和密度、加强接地系统的稳定性和可靠性等措施加强防雷的效果,并且需要通过定期对室外信号设备进行巡检和维护,及时发现并处理潜在的防雷安全隐患问题。

3.5 加强室内防雷设计

除了要做好室外防护外,运维部门还需要优化室内防护措施,在电源入口、信号线入口等信号设备的关键接口处安装浪涌保护器,以确保能够有效限制雷电过电压和过电

流, 保护设备免受雷电冲击, 而电涌保护器选择则需要根据设备和系统的保护需求, 分析其防护等级、响应时间、残压等参数, 以确保能够满足设备保护需求。而在布线方面, 室内信号设备的布线必须避免形成环路以减少电磁感应的影响, 同时还需要采用屏蔽电缆或穿金属管敷设的方式, 对信号线路进行屏蔽, 防止雷电电磁脉冲的侵入。而且铁路运维部门还需要利用电磁屏蔽技术, 对信号设备进行隔离和保护, 比如在信号设备周围设置法拉第笼或金属屏蔽网, 对雷电电磁脉冲进行隔离, 而对于容易受到雷电影响的线路则可以采用光纤传输等无金属连接的方式减少雷电干扰^[3]。

4 铁路信号系统防雷电综合防护体系建设措施

4.1 机房防雷电系统建设措施

机房作为存放和保护信号系统的重要建筑设施, 想要提高机房防雷效果, 在机房选择方面就应当选择土壤电阻率低、腐蚀性小且远离变配电站的位置, 而机房结构也需要采用钢筋混凝土框架, 机房框架内需要设置不小于 $\Phi 12\text{mm}$ 的圆钢作为主筋, 并焊接成小于 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 的网格以增强电气连接的连续性, 其中主筋还需要衔接避雷带和基础接地网以保障防雷效果。而且存放信号系统设备的机房必须设置屏蔽层, 采用不小于 $\Phi 8\text{mm}$ 的圆钢焊接成网格, 并与主筋焊接连通以增强电磁屏蔽效果。与此同时, 机房周围需要预留好接地端子板, 并与混凝土框架内主筋连接实现室内外的等电位连接。除此之外, 为了减少直击雷带来的影响, 机房房顶需要安装专业的避雷针, 而且室外信号设备集中的区域也需安装独立避雷针, 以确保能够将直击雷快速引入地下。

4.2 塔架防雷电系统建设措施

铁路信号系统塔架防雷必须选择热镀锌钢或不锈钢等具有良好导电性的材料, 塔架结构设计也需要考虑到雷电防护需求, 确保能够有效引导电流来避免雷电直击对信号设备造成损害, 而且塔架顶部还需要安装避雷针, 并且通过截面积足够大的导体作为引下线以确保能够有效引导雷电同时还能减少电磁干扰。除此之外, 塔架周围还需要设置金属网或金属板等屏蔽设施减少雷电电磁脉冲对信号设备的影响, 在后续维护方面则需要定期做到防雷电系统检测和维修以避免环境因素对防雷性能的影响^[4]。

4.3 线缆防雷电系统建设措施

信号系统线缆防雷工作需要有效选择屏蔽双绞线、屏蔽同轴电缆等带有金属屏蔽层的线缆以减少雷电电磁脉冲对信号传输的影响, 而且在线缆接入设备前还需要安装防雷保安器, 防止雷电过电压和过电流对设备造成损害, 对于长

距离传输的线缆则需要设置多级防雷保安器通过逐级防护提高防雷效果。

4.4 防雷电接地系统设计措施

设计合适的接地系统能够有效保障将雷电引入地下, 减少雷电对系统的影响。在接地系统设计的过程中, 一定要针对性控制接地电阻, 确保接地电阻要小于 1Ω , 以此提高分散雷电电流效果, 防止电位差对设备造成损害。而在接地体选择和布置方面, 需要优先选择钢筋混凝土结构、钢轨等自然接地体作为接地体, 再配合接地网、接地极等人工接地体形成完整的接地系统, 在布置的过程中则需要根据附近环境需求进行科学布置, 一定要坚持能够全面覆盖并有效引导雷电电流的原则。与此同时, 在接地系统设计时还需要通过等电位连接板、连接线等设备, 将信号系统内的所有金属构件、设备外壳等进行等电位连接, 并且在信号系统入口、关键设备等位置安装防雷保安器, 以此减少防雷反击问题以及雷电过电压和过电流对设备造成损害^[5]。

5 结语

总的来说, 为了能够有效减少雷电活动对铁路信号系统带来的影响和干扰, 铁路部门必须深度分析雷电活动对铁路信号系统的影响情况以及影响方式, 并且要结合铁路信号系统的特点, 做好雷电等级划分、受损案例分析以及相应的预防计划和防护设计, 同时还需要针对不同的设备建设不同的防雷电系统, 以此保障铁路信号系统能够在雷电天气下也能实现较为稳定的运行。

参考文献:

- [1] 石鹏. 铁路信号设备的雷电综合防护体系探析[J]. 通讯世界, 2019, 26(6): 279-280.
- [2] 赵红芳. 雷电电磁脉冲干扰对铁路信号系统的影响分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(32): 1.
- [3] 王培. 雷电对铁路信号系统设备电磁干扰的影响及防护研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(9): 177-178.
- [4] 冯志刚. 雷击对铁路信号系统的影响分析[J]. 科学技术创新, 2017(25): 52-53.
- [5] 贾飞. 关于铁路信号设备雷电危害及防护的探讨[J]. 通讯世界, 2016, (22): 22-23.

作者简介: 王超(1980-), 男, 中国湖北崇阳人, 硕士, 讲师, 从事城市轨道交通机电技术研究。

课题项目: 兰郑高铁陕西段沿线雷电活动及对铁路机电设备影响研究(项目编号: KY2020-15)。