

铁路信号设备防雷技术探讨

刘 龙

通号城市轨道交通技术有限公司 北京 100160

摘 要：随着铁路运输的快速发展和信号系统的日益复杂化、电子化，雷电对铁路信号设备的危害日益显著。雷电事故不仅影响铁路信号系统的正常运行，还可能引发设备故障，造成重大经济损失和安全风险。基于此，本文简要介绍了铁路信号设备的重要性，分析了铁路信号设备面临的雷害类型，并提出了一些有效的铁路信号设备防雷技术。

关键词：铁路；信号设备；防雷技术

引言

随着社会经济的快速发展和铁路提速技术的不断提升，铁路信号系统作为铁路运输的神经中枢，其稳定性和安全性直接关系到铁路运行的安全、高效与快捷。然而，雷电作为一种瞬时高电压、大电流、强电磁辐射的灾害性天气现象，对铁路信号设备构成了严重威胁。因此，加强铁路信号设备的防雷技术研究，提高设备的防雷能力，成为当前铁路信号系统维护的重要课题。

1 铁路信号设备的重要性

铁路信号设备在铁路运输系统中占据着举足轻重的地位，其重要性不言而喻。作为保障列车运行安全、提高运输效率、优化行车组织的关键设施，铁路信号设备贯穿于整个铁路运输过程的始终，其稳定性、可靠性和准确性直接关系到铁路运营的安全与效率。一方面，铁路信号设备的首要任务是确保列车运行的安全。通过信号灯、轨道电路、转辙机等设备的密切配合，铁路信号系统能够实时监控列车的运行状态，包括位置、速度、方向等关键信息。一旦发现任何潜在的冲突或危险情况，信号系统能够立即采取相应措施，如发出停车信号、调整列车运行速度或改变列车运行路径等，以避免列车碰撞、追尾等事故的发生。这种即时响应和精确控制的能力，为列车运行提供了坚实的安全保障^[1]。另一方面，在保障安全的同时，铁路信号设备还能够显著提高铁路运输的效率。通过自动化和智能化的信号控制系统，信号设备能够自动调整列车的运行间隔和速度，确保列车按照最优化的运行计划行驶。这不仅减少了人为操作的错误和延误，还大大提高了列车的通过能力和车站的作业效率。此外，信号设备还能够实现列车的精准到发和准点运行，提高了铁路运输的可靠性和准时性，进一步提升了运输效率。此外，通过集成化的信号系统，调度人员可以实时掌握列车的运行情况和铁路线路的状态，从而做出更加科学合理的行车组织决策。例

如，在出现设备故障或突发情况时，调度人员可以迅速调整列车运行计划，避免或减少对运输秩序的影响。并且，信号设备还能够提供丰富的数据分析功能，帮助调度人员了解运输规律、优化作业流程、提高管理水平。

2 铁路信号设备面临的雷害类型分析

2.1 感应雷

当雷云与地面或不同雷云之间发生放电时，强大的电磁场会在瞬间产生并扩散，形成电磁感应现象，这种电磁感应如同隐形的力量，悄无声息地渗透进铁路信号系统的每一个角落。信号线路、信号电缆以及埋地电力线等关键设施，由于其导电性和对电磁场的敏感性，成为了感应雷影响的主要目标。电磁感应在这些设施上诱发的电压和电流，虽不至于造成直接的物理破坏，但其对信号设备内部电子元件的潜在威胁却不容忽视。铁路信号设备，作为保障列车运行安全与效率的核心系统，其内部集成了大量精密且脆弱的电子元件，这些元件对于电压和电流的波动极为敏感，即使是微小的变化也可能引发连锁反应，导致设备性能下降甚至失效。感应雷所引发的电压和电流，正是通过信号线路等路径侵入设备内部，对电子元件造成直接或间接的损害。这种损害可能表现为元件老化加速、性能不稳定、信号传输异常等多种形式，不仅影响了信号设备的即时运行效果，更在无形中增加了后期维修的难度和成本^[2]。具体来说，感应雷对铁路信号设备的损害主要体现在以下几个方面：首先，它可能破坏设备内部的电路结构，导致信号传输中断或失真；其次，它可能使电子元件的性能发生变化，如电阻值漂移、电容漏电等，进而影响整个信号系统的稳定性和可靠性；最后，感应雷还可能引起设备内部的电磁干扰，降低信号处理的精度和效率。这些损害不仅会影响列车的正常行驶和调度，还可能对铁路运输的安全造成潜在威胁。

2.2 钢轨引雷

钢轨，作为铁路系统的生命线，不仅承载着列车的重量与运行轨迹，还因其导电性能优良而成为了雷电的“偏好目标”。在我国铁路系统中，钢轨通常铺设于地平面之上，这种高于地面的布局在提升列车运行稳定性的同时，也无形中增加了其遭受雷击的风险。当雷雨交加之际，雷电往往选择最易导电的路径进行释放，钢轨因此成为了雷电侵袭的首选目标。一旦雷电击中钢轨，其强大的电流将瞬间涌入轨道电路，对信号设备造成直接的冲击。这种冲击不仅可能直接导致信号设备内部元件的损坏，还可能通过电路网络迅速扩散，影响整个信号系统的正常运行。更为严重的是，雷击还可能引发一系列的次生灾害，如钢轨熔断、绝缘层破损等，这些都对铁路信号设备造成更为深远的损害。此外，钢轨引雷的影响还不仅仅局限于信号设备本身。雷电的能量巨大，其冲击不仅可能破坏钢轨及其附属设施，还可能对轨道周边的环境造成破坏。例如，雷电可能击中轨道附近的桥梁、树木等高大物体，引发火灾、倒塌等事故，进而间接影响轨道电路的稳定性和安全性。这些外部环境的破坏，将进一步加剧铁路信号设备面临的困境，增加维修和恢复工作的难度。

2.3 直接雷击

在雷暴活动频繁的区域，雷电如同潜伏的巨兽，随时可能向铁路信号设备发起致命一击。信号传输线、钢轨以及信号设备所在的建筑物，都可能成为雷电直接攻击的目标，信号传输线作为信号传递的桥梁，其裸露在外的部分极易成为雷电的“猎物”，一旦遭受直接雷击，不仅传输线路本身会遭受严重损坏，还可能引发信号中断、数据丢失等严重后果。钢轨作为轨道电路的重要组成部分，其高导电性和长距离延伸的特性，使得它同样容易成为雷电的“靶心”。当雷电直接击中钢轨时，强大的电流将迅速通过轨道电路传播，对沿途的信号设备造成毁灭性的打击。而信号设备所在的建筑物，虽然设计时会考虑一定的防雷措施，但在极端天气条件下，仍有可能遭受雷电的直接攻击，导致建筑物损坏、设备失效等严重后果。另外，目前大部分铁路信号设备在直接雷击的防御能力上仍存在明显不足，部分设备由于设计年代久远或技术水平限制，缺乏必要的防雷装置和防护措施，几乎没有任何抵御直接雷击的能力。一旦遭遇直接雷击，这些设备将毫无抵抗之力，瞬间被摧毁，而即便是那些配备了防雷设施的设备，也可能因为防雷设计不完善、维护不当等原因，无法有效抵御雷电的侵袭。并且，直接雷击对铁路信号设备的破坏是全方位的，它不仅会损坏设备的物理结构，导致设备无法正

常工作；还会引发电磁干扰，影响信号的正常传输和处理；还可能引发火灾、爆炸等次生灾害，对铁路系统造成更大的破坏。

3 铁路信号设备防雷技术分析及应用

3.1 接闪接入技术

接闪技术，简而言之，是通过一系列精心设计的装置——如避雷针、避雷网、避雷带等接闪装置，将雷电引导至预定的安全通道，从而避免雷电直接作用于铁路信号设备，造成不可挽回的损害。这些接闪装置，作为接闪技术的核心组成部分，被巧妙地部署在铁路信号设备的周边或顶部，形成一个保护屏障。当雷电活动发生时，接闪装置凭借其尖端放电的特性，能够优先吸引雷电的注意，成为雷电放电的首选目标^[3]。一旦雷电击中接闪装置，其强大的电流便会沿着预设的传导线路迅速流动，这条线路就是我们所说的防雷系统的安全通道。在安全通道内，电流经历了从高压到低压的逐步释放过程，这一过程中，防雷系统利用各种技术手段，如电阻、电感、电容等元件的协同作用，对雷电电流进行限制、分流和耗散，最终将绝大部分能量安全地导入大地，从而避免了雷电电流在放电过程中可能引发的设备损坏和火灾等安全隐患。值得注意的是，接闪接入技术的有效性不仅取决于接闪装置的设计和安装质量，还与防雷系统的整体布局和维护管理密切相关。因此，在实际应用中，铁路部门需要综合考虑信号设备的分布特点、雷电活动的频率和强度、地理环境等多种因素，科学合理地规划防雷系统的布局。

3.2 确保电位均衡连接

当雷电直击或感应进入铁路信号设备所在的区域时，会在周围地面迅速形成强烈的电流分布，导致电位分布不均，呈现放射性扩散。这种电位差现象对于安装在区域内的信号设备而言，构成了巨大的威胁，因为不同金属部件间存在的电位差可能引发电压入侵，进而损坏设备内部的电子元件，影响信号的正常传输与处理。为了有效应对这一问题，必须采取一系列措施来确保电位均衡连接。一方面，关键在于在电源线、金属管道、接地线以及信号线等关键部位装配过电压保护设备，这些设备能够迅速响应雷电引起的过电压，通过其内部的非线性电阻或放电间隙等机制，将过电压限制在安全水平以内，从而防止过电压侵入设备内部，造成损害。同时，过电压保护设备的安装还能够有效地消除不同金属部件间的电位差，实现电位均衡，保护信号设备免受雷电侵害。另一方面，除了安装过电压保护设备外，还需要对防护层的接口处进行特殊处理，以确保整个防雷系

统的完整性和有效性。例如,可以将铁路信号设备的金属管线、窗栅以及地线等导电部件与地栅进行可靠连接,形成一个闭合的屏蔽接地网。这样,当雷电发生时,雷电电流将主要沿着这个接地网流动,而不会直接侵入设备内部。并且,接地网的良好导电性还能够有效地降低接地电阻,提高防雷系统的泄流能力,进一步保护信号设备的安全。

3.3 采取均压措施

出现雷电现象时,由于接闪系统在接受的时候会出现明显的位置改变,其在传输上与传导下线二个部分之间的电位差别非常悬殊,从而波及了对地零电位的系统,使该处电流会产生很大电位差,不利于电路装置的安全使用,还可能影响到周围工作人员的安全^[4]。因此,均压环是比较理想的处理办法,使之与对地电位变化的导线连接后再进一步连接于接地装置,以减少闪络事故。均压环的设计原理在于通过其独特的结构特性,将对地电位的导体进行对接,并进一步连接至接地装置,从而形成一个低阻抗的通道,有效削弱或消除因雷电引起的电位差和闪络现象。对于室内环境而言,均压环的应用尤为重要,它能够为室内的金属设备提供一个等电位的保护屏障,确保在雷电侵袭时,室内各设备能够保持相同的电位状态,形成所谓的“等电位岛”。这种等电位状态不仅消除了设备间的电位差问题,还显著提高了整个系统的抗干扰能力和安全性。此外,值得注意的是,均压措施的实施还需遵循一定的安全距离要求。如果接闪装置与室内设备之间的距离不满足规定的安全距离,那么就需要通过粗导线等电位连接的方式,将接闪系统与室内设备连接起来,以确保在雷电发生时,室内设备能够迅速达到等电位状态。这种连接方式不仅能够有效降低雷电对设备的冲击影响,还能够提高整个系统的稳定性和可靠性。

3.4 室外设备雷电电磁环境的改善

由于室外设备直接暴露于自然环境之中,更易受到雷电侵袭的威胁,因此必须采取一系列有效措施来确保其安全稳定运行。首先,对于室外信号设备的安置,应采取严格的防雷措施。将信号设备置于与大地紧密连

接的金属盒内是一个基本而有效的做法,这一金属盒不仅为信号设备提供了一个物理上的保护屏障,更重要的是,它通过与大地的连接,形成了一个雷电电磁脉冲的屏蔽层。这一屏蔽层能够有效地阻挡雷电电磁脉冲对信号设备的直接干扰,确保其内部电路的稳定运行。同时,在安置过程中,必须确保信号设备与大地之间的连接牢固可靠,以充分发挥金属盒的屏蔽作用。其次,针对信号设备的电线选择和使用,同样需要给予高度重视。为了避免雷电通过电线侵入设备内部,造成损坏,我们应一律使用屏蔽电线,这种电线在外部包裹有一层金属网或金属箔,能够有效地屏蔽外界的电磁干扰,包括雷电电磁脉冲。此外,还需要定期对屏蔽电线进行检查和维护,确保其屏蔽层没有老化、腐蚀或破损等情况。一旦发现问题,应及时更换或修复,以保证电线的良好接地和屏蔽效果。最后,除了上述措施外,还需要在室外设置专门的防雷单元和防雷地线,从而保护周围的设备免受雷电直击。为了确保防雷地线的有效性,我们应将其埋设在电缆上方,并确保其深度足够以防止被雷电击穿土壤时产生的电弧对电缆造成损害。

结束语

综上所述,铁路信号设备的防雷技术对于保障铁路运输的安全与高效具有重要意义。通过深入分析雷电侵袭铁路信号设备的途径和防雷技术的具体应用,本文提出了一系列有效的防雷措施。这些措施包括接闪接入技术、确保电位均衡连接、采取均压措施、室外设备雷电电磁环境的改善等,旨在从多个层面提高铁路信号设备的防雷能力。

参考文献

- [1]王瑞.铁路信号设备的防雷方案分析[J].科技创新与应用,2020(28):141-142.
- [2]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.
- [3]李双河.关于铁路信号设备的雷害及防雷措施[J].建材与装饰,2020(03):268-269.
- [4]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.