

铁路牵引供电接触网防雷技术研究

刘学龙

国能包神铁路有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要：铁路牵引供电接触网防雷技术对于保障铁路运输的安全与效率至关重要，本文综述了铁路牵引供电接触网防雷的现状，包括防雷装置配置不合理、设备老化及缺乏有效雷电监测预警系统等问题。针对这些问题，本文介绍了传统防雷技术及新型防雷技术，这些技术的综合应用将有效提升铁路牵引供电接触网的防雷能力，确保铁路系统的安全稳定运行。

关键词：铁路牵引；供电接触网；防雷；技术

引言

电气化铁路因高效环保成为主流发展方向，但铁路牵引供电接触网易受雷击影响，导致跳闸故障频发，严重威胁供电设备安全，雷电作为强烈放电现象，对接触网构成巨大威胁，需加强防雷工作。本文旨在探讨铁路牵引供电接触网的防雷技术，分析其现状并提出解决方案，以确保铁路供电系统的安全稳定运行，为铁路运输事业的健康发展提供有力保障。

1 铁路牵引供电接触网防雷概述

铁路牵引供电接触网作为电气化铁路系统的核心组件，其性能的稳定性和可靠性是确保铁路运输安全与效率的关键。随着铁路网络不断扩大，接触网设备所处的外部环境日益复杂，加之近年来极端天气频发，雷击导致的接触网跳闸故障逐年增多，严重威胁着供电设备的安全稳定运行。雷电这一自然界中常见且强烈的放电现象，其多样化的表现形式对铁路牵引供电接触网构成巨大威胁，一是直击雷可能直接击中接触网，接触网的部分设施如支柱顶帽和肩架金具，通常处于铁路接触网的较高位置，容易成为雷电的放电目标，强大的放电电流所产生的热效应和机械效应，会直接造成设备的严重损毁。二是感应雷，在雷电活动时，雷云通过静电感应或电磁感应，会在接触网附近的支撑装置、接触悬挂、附加导线上产生感应电势差，这种感应电势差形成的过电压，可能导致绝缘子闪络、电气绝缘击穿，进而引发设备故障，甚至可能造成火灾和爆炸等严重后果。而且雷电产生的极高侵入波过电压会迅速沿接触网传播，在附近发生雷击时，雷电波会沿着附近的线路入侵，形成雷电入侵波，一旦这些过电压超过牵引变电所内电气设备的耐受极限，就可能引发设备损坏，甚至导致火灾或爆炸等灾难性后果^[1]。所以加强铁路牵引供电接触网的防雷工作至关重要，需综合考虑接触网结构特点、雷电活动

规律及防雷技术可行性，制定科学合理的防雷方案，并加强防雷设施的维护与检修，确保其良好运行。

2 铁路牵引供电接触网防雷现状

2.1 防雷装置配置不合理

在铁路牵引供电接触网的防雷实践中，尽管采取多项措施，但防雷装置仍然存在配置不合理的情况。以长大隧道为例，其进出口区域由于地形复杂、气候多变，雷击风险较高，本应重点部署防雷装置，但实际在隧道进出口，避雷器的配置远未达到理想状态。一方面，避雷器数量不足，难以形成有效的防雷保护，频繁的雷击故障严重影响铁路正常运营，同时也增加了设备维护和更换的成本。另一方面，即使安装了避雷器，部分位置也不尽合理，易受风力等环境因素影响，在雷雨季节可能因外力作用而受损，导致防雷效果大打折扣，而且接触网支柱接地电阻作为防雷系统的关键环节，其性能直接影响雷电流导入大地的效率，在一些土壤电阻率高的地区，接地电阻很难达到标准要求，土壤导电性差使得雷电流无法顺利泄入大地，大大增加了雷电反击的风险，给整个防雷工作带来极大挑战。

2.2 防雷设备老化

在铁路牵引供电接触网的防雷工作中，防雷设备老化已成为一个亟待解决的关键问题。随着铁路系统使用年限的增长，避雷器和接地装置等核心防雷设备逐渐显露出老化的迹象，这对接触网的安全运行构成了严重威胁。避雷器作为防雷系统的核心，其性能状态对防雷效果至关重要，但长期受温度变化、湿度波动、污秽积累等环境因素的影响，避雷器易老化，导致其非线性伏安特性改变，无法正常动作，无法有效引导雷电流入地，进而失去对接触网的保护作用。更为严重的是，老化避雷器在雷击时可能损坏，引发更严重故障，危及铁路运营安全，同时接地装置的老化问题也不容小觑，长期暴

露于高温、潮湿、盐雾等恶劣环境,接地装置表面易腐蚀,接地电阻增大,影响防雷效果,增加雷击风险。特别是在沿海地区,气候潮湿、盐分含量高,对接地装置的腐蚀更为严重,接地电阻超标问题尤为突出。防雷设备老化不仅导致性能下降、防雷效果减弱,更重要的是可能引发安全隐患,老化的避雷器和接地装置在雷击时可能无法承受雷电流冲击,损坏或失效,使接触网失去保护,引发严重故障,影响铁路运营,甚至威胁乘客生命财产安全。

2.3 缺乏有效的雷电监测与预警系统

目前,铁路系统对雷电的实时监测和预警能力相对薄弱,随着铁路网的不断扩展和电气化程度的日益提高,接触网作为铁路供电系统的核心组成部分,其安全稳定运行对于保障铁路运输的效率和安全性至关重要。但是雷电作为一种自然灾害,对接触网构成了巨大的威胁。尽管近年来部分地区已经安装了一些雷电监测设备,用于实时监测雷电活动,但这些设备的性能和功能仍有待提升。监测数据的准确性和实时性是当前面临的主要问题,技术限制或设备老化导致数据采集和处理存在误差,实时传输也存在延迟,使得监测信息无法及时反映雷电活动的最新动态。更为关键的是,雷电监测设备与接触网运行维护系统的融合程度不够紧密,信息共享和交互机制尚不完善,导致即使雷电监测设备捕捉到雷电活动信息,也无法及时有效地传达给接触网维护人员,形成了信息孤岛现象,这种现状不仅使得维护人员难以根据雷电活动的实时情况提前采取防范措施,降低了防雷工作的主动性和针对性,还增加了接触网遭受雷击的概率,影响了雷击事故后故障点的迅速定位和抢修工作的效率与准确性。

3 铁路牵引供电接触网防雷技术

3.1 传统防雷技术

3.1.1 避雷器的应用

铁路牵引供电接触网的防雷技术是保障铁路系统安全稳定运行的基石,其中传统防雷技术尤为关键,尤其是氧化锌避雷器的应用,已成为接触网防雷体系的核心。氧化锌避雷器凭借其独特的非线性伏安特性,在正常运行电压下呈高电阻状态,几乎无电流通过,确保长期稳定运行;而遭遇雷击时,其电阻迅速降低,将雷电流迅速导入大地,有效限制过电压幅值,保护接触网设备免受损害。在铁路牵引供电接触网中,氧化锌避雷器广泛应用于接触网支柱上,通过精准选择安装位置和数量,为关键部位提供充分保护,尤其在雷电频发及结构复杂、设备密集区域,增加安装数量可显著提升防雷效

果,降低雷击事故率。选择避雷器时,需综合考量额定电压匹配、运行环境适应性、安装便捷性、维护成本及长期运行可靠性等因素。

3.1.2 接地装置的优化

接地装置的优化直接关系到防雷效果与铁路系统的安全稳定运行,为了构建高效的防雷体系,接地装置的设计需巧妙结合垂直接地体与水平接地体,通常在接触网支柱周边埋设多根深入土壤的垂直接地极,并通过水平接地扁钢将它们紧密相连,形成一个既稳定又高效的连续接地网络,确保雷电流能迅速、无障碍地导入大地。为进一步提升接地效能,降低接地电阻成为关键,这可通过多种技术手段实现,如使用降阻剂改善土壤电导率,减少接地体与土壤间的接触电阻,或者在高土壤电阻率地区采取换土、深埋接地体等方法。此外定期对接地装置进行专业检测与维护同样不可或缺,包括测量接地电阻、检查接地体腐蚀情况及连接点紧固状态,及时发现并解决接地电阻超标、腐蚀严重或连接松动等问题,确保接地装置持续处于最佳工作状态^[2]。并且还需加强对接地装置的保养,特别是在潮湿多雨季节,应增加巡视频次,及时处理积水、腐蚀等隐患,并对长期户外暴露的接地装置采取防腐措施,如涂刷防腐漆,以延长其使用寿命,从而全面提升铁路牵引供电接触网的防雷能力,为铁路系统的安全稳定运行提供坚实保障。

3.1.3 架空避雷线的设置

架空避雷线作为铁路供电系统中的重要防雷设施,其设计原理基于雷电倾向于沿最易于导电的路径传播的物理特性,通过架设在接触网导线之上,有效吸引并引导雷电活动产生的强大电流,从而避免雷电直接击中更为关键的接触网导线,为铁路供电系统提供坚实的保护屏障。在设置过程中,科学合理地确定保护范围是首要任务,这通常依据国际公认的滚球法进行计算和规划,通过精确计算避雷线的高度、间距以及滚球半径等参数,确保接触网及其相关设备完全位于避雷线的保护范围之内,有效抵御雷击威胁。同时接地方式的合理性也是确保防雷效能的关键,良好的接地不仅要求避雷线与接地装置之间的连接牢固可靠,接地电阻符合规定标准,还需考虑对接地体的选择、埋设深度、土壤电阻率的评估,并在必要时采取使用降阻剂等辅助措施,以确保接地系统的高效运行。针对山区铁路的特殊地理环境,如复杂地形、多变气候及土壤侵蚀等问题,对架空避雷线的安装和维护提出了更高要求,需特别注意避雷线的支撑结构和固定方式,防止因自然因素导致的松动或损坏,并定期进行接地电阻复测、完整性检查及隐患

处理,确保架空避雷线能够长期有效运行。

3.2 新型防雷技术

3.2.1 智能防雷系统

智能防雷系统,作为铁路牵引供电接触网防雷领域的一项前沿技术,集成了现代信息技术、大数据分析、人工智能等尖端科技,构建了一个高效、智能的防雷解决方案。该系统通过沿铁路线部署的高精度传感器网络,实时捕捉雷电活动的微弱信号以及接触网的电流、电压等关键运行参数,为系统提供精确、即时的数据支撑。这些数据随后被传送到铁路运营中心的监控中心,利用大数据分析技术和人工智能算法进行深度挖掘与智能分析。大数据分析技术能够揭示雷电活动的内在规律,预测雷电可能发生的时空分布,为防雷决策提供科学依据;而人工智能算法则基于历史数据与实时数据,对雷电风险进行精确评估,并自动生成预警信息,为铁路运营人员提供及时、准确的防雷指导。而且智能防雷系统能够根据雷电风险的变化,自动调整接触网的运行参数,以减少雷击对设备的影响,并实时监测防雷设备的运行状态,一旦发现故障或性能下降,立即发出警报,确保防雷系统的持续有效运行。该系统展现出高度的可扩展性和灵活性,能够轻松接入新的传感器和智能设备,根据铁路运营的实际需求进行个性化定制和优化,满足不同区域和线路的特殊防雷需求。

3.2.2 新型防雷材料的应用

传统绝缘子材料在接触网遭受雷击时往往面临严峻考验,雷击带来的巨大电流和电压可能导致绝缘子严重受损甚至失效,影响接触网的稳定运行。为解决这一难题,科研人员积极研发新型绝缘子材料,这些材料不仅保留了传统绝缘子的基本功能,更在耐雷击性能上实现了显著提升。特别是采用先进复合材料制成的新型绝缘子,不仅具有重量轻、便于安装维护的优点,还展现出卓越的耐污闪和耐雷击特性。耐污闪性能的提升使绝缘子在恶劣天气条件下仍能保持稳定绝缘性能,有效减少污秽引发的闪络事故。耐雷击性能的提高则增强了绝缘子在雷击时的自我保护能力,降低了设备损坏和停电风险^[3]。科研人员还在探索具有自修复功能的防雷材料,这种材料能在雷击损伤后迅速响应,通过内部化学或物理机制自动修复损伤部位,恢复防雷性能,从而延长使用寿命,提高防雷系统可靠性,并大幅降低雷击导致的设备

更换和维修成本,提升接触网的防雷效率和稳定性。

3.2.3 雷电防护一体化设计

在这一设计框架下,接触网支柱的防雷设计成为首要关注点,科研人员通过一体化设计的思路,巧妙地将接地装置与支柱结构融合,确保了接地路径的连续性和可靠性,既提升了接地效率,又有效分散了雷击电流,减轻了对支柱结构的直接冲击,进而延长了支柱的使用寿命。同时接触网导线的选择也是设计中的重要一环,科研人员根据导线所处的具体环境、雷电活动的频率与强度,综合考量导线的导电性能、机械强度及经济成本,精心挑选出最合适的导线材质与截面尺寸,以增强导线在雷电冲击下的自我保护能力,并确保其在正常运营中的稳定性和耐久性。雷电防护一体化设计还深入关注了绝缘子、避雷器等关键设备的配置与优化,科研人员选用具有高绝缘性能和耐雷击性能的新型绝缘子材料,根据绝缘子的实际使用状况及雷电活动特点,合理确定绝缘子的数量与布局,以最大限度地减轻雷击对绝缘子的影响。并且设计还充分考虑了接触网与周围环境的协调性与适应性,针对雷电活动频繁的区域,加强了对接触网的监测与维护,及时发现并处理潜在的雷击风险,并根据铁路沿线的地形地貌、气候条件等要素,灵活调整防雷装置的配置与参数设置,确保防雷系统的效能与可靠性,为铁路供电系统的安全稳定运行提供了坚实的保障。

结语

综上所述,铁路牵引供电接触网的防雷技术是保障铁路系统安全稳定运行的关键,通过优化传统防雷技术和应用新型防雷技术,可以显著提升接触网的防雷能力,降低雷击的事故率。随着科技的不断进步,防雷技术将更加智能化、高效化,为铁路供电系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]董琪.探讨高速铁路牵引供电接触网防雷技术[J].车时代,2022(9):53-54.
- [2]刘建军.铁路牵引供电接触网直击雷防护分析[J].工程建设与设计,2023(5):133-135.
- [3]徐平,邓梦.高速铁路牵引供电接触网雷电防护策略分析[J].工程建设与设计,2022(5):50-52.