

铁路电气化系统的雷电防护技术研究与应用

陈 伟

蒙冀铁路有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘 要：铁路电气化系统雷电防护技术对于保障铁路运行安全至关重要。本文深入研究了雷电防护原理、接触网与牵引变电所的防雷技术，以及雷电监测与预警技术。探讨了雷电防护技术的应用要点，包括技术组合选择、防护装置维护管理、系统协同配合等。文章还展望了铁路电气化系统雷电防护技术的发展趋势，旨在提高铁路电气化系统的雷电防护能力，确保铁路运输的安全与稳定。

关键词：铁路；电气化系统；雷电防护技术；研究与应用

引言

铁路电气化系统是现代铁路运输的关键支撑，其稳定运行对于确保人民生命财产安全及推动经济发展具有不可忽视的作用。雷电灾害作为自然灾害的一种，对铁路电气化系统构成了重大威胁，可能导致系统故障、设备损坏甚至运输中断。加强铁路电气化系统雷电防护技术的研究，提升系统的雷电防护水平，是保障铁路运输安全稳定运行的迫切需求，也是铁路运输行业持续健康发展的重要保障。

1 铁路电气化系统雷电防护的重要性

铁路电气化系统作为现代铁路运输的动脉，其安全稳定运行至关重要。雷电这一自然现象却时常给这一系统带来严重威胁。雷电天气下，接触网、牵引变电所、电力线路等关键设施极易成为雷击的目标，从而引发一系列连锁反应^[1]。雷击产生的强大电流和电压，对铁路电气化系统的设备构成了直接威胁。接触网作为列车获取动力的关键部分，一旦受损，将直接影响列车的运行。绝缘子和避雷器等保护设备在雷击下也可能遭受严重破坏，甚至烧毁，导致系统失去必要的保护屏障。更为严重的是，雷击可能引发供电中断。跳闸、短路等故障会瞬间切断电力供应，使列车失去动力来源。这会严重影响列车的正常运行，严重时甚至可能导致列车停运，给铁路运输带来巨大损失。雷电天气下的铁路电气化系统故障还可能引发火灾、触电等安全隐患。这些隐患不仅威胁着乘客和工作人员的生命安全，还可能对铁路设施造成进一步的破坏。加强铁路电气化系统的雷电防护技术研究，提高系统的防雷能力，是保障铁路运输安全和稳定的必然选择。这不仅可以减少设备损坏和供电中断等故障的发生，还可以降低安全隐患，为乘客和工作人员提供更加安全、可靠的运输环境。

2 铁路电气化系统雷电防护技术研究

2.1 雷电防护原理与机制

雷电防护的原理与机制是确保各类设备和建筑物免受雷电危害。其核心在于通过一系列措施，有效引导、分散或削弱雷电的能量，从而达到保护设备的目的。首先，避雷针与避雷线发挥着至关重要的作用。它们能够利用自身的尖端放电特性，将雷电优先引导至自身，并沿着设定的路径安全地导入地面，从而避免雷电直接击中受保护的设备或建筑物。其次，避雷器则是一种专门设计用于限制雷电过电压的电器设备。在雷电过电压作用时，避雷器能够迅速响应，通过其内部的非线性电阻或放电间隙等机制，将过电压限制在一个安全范围内，从而保护设备免受雷电过电压的冲击。最后，接地装置作为雷电防护系统的基石，其重要性不言而喻。接地装置通常由接地线和接地体组成，它们能够将雷电引入地下，确保雷电能量能够安全地释放到大地中。接地装置的设计和施工需要严格遵守相关标准和规范，以确保其接地电阻满足要求，从而有效地保护设备和建筑物的安全。

2.2 接触网防雷技术研究

接触网作为铁路电气化系统的关键一环，其防雷技术研究对于保障铁路运行安全至关重要。针对接触网的防雷需求，科研人员与实践工作者不断探索创新，形成了多种有效的防雷技术。为了将雷电引入地下，避免其对接触网造成直接损害，一种常见的做法是在接触网上方增设避雷线^[2]。这种方法利用避雷线的尖端放电特性，引导雷电优先沿其路径放电至地面，从而显著降低接触网遭受雷击的风险。然而，增设避雷线施工难度较大，且成本相对较高，因此在具体实施时需要综合考虑经济性和实用性。提高接触网的绝缘水平是另一种有效的防雷策略。通过选用高性能的绝缘材料，增强接触网的绝缘性能，可以显著提升其对雷电过电压的承受能力。这

种方法实施简便,但需要注意的是,对于直击雷的防护效果相对有限,仍需与其他防雷措施配合使用。在接触网上安装避雷器则是近年来防雷技术的一大创新。避雷器能够迅速响应雷电过电压,通过其内部的非线性电阻等机制,将过电压限制在一个安全范围内,从而有效保护接触网免受雷电冲击。

2.3 牵引变电所防雷技术研究

牵引变电所其防雷技术研究对于保障整个系统的稳定运行具有重要意义。在应对雷电威胁的过程中,科研人员与实践工作者不断探索创新,形成了多种有效的防雷策略。为了将雷电引入地下,避免其对牵引变电所造成直接损害,一种常见的做法是在牵引变电所周围架设避雷针。避雷针能够利用其尖端放电特性,引导雷电优先沿其路径放电至地面,从而显著降低牵引变电所遭受雷击的风险。这一措施不仅有效保护了牵引变电所的设备安全,还提高了整个铁路电气化系统的防雷能力。在牵引变电所的进线、出线等关键部位安装避雷器,是另一种重要的防雷手段。避雷器能够迅速响应雷电过电压,通过其内部的非线性电阻等机制,将过电压限制在一个安全范围内,从而有效保护牵引变电所的设备免受雷电冲击。这一措施不仅提高了设备的防雷性能,还确保了铁路电气化系统在雷电天气下的稳定运行。加强牵引变电所的接地装置也是提高其防雷能力的重要一环。完善接地装置,确保接地电阻满足要求,可以使得雷电能量能够安全地释放到大地中,从而避免对牵引变电所的设备造成损害。

2.4 雷电监测与预警技术研究

雷电监测与预警技术对于铁路电气化系统的雷电防护具有至关重要的作用。通过实时监测雷电活动,及时预警雷电威胁,可以大大降低雷电对铁路电气化系统的影响,确保铁路运输的安全和稳定。(1)雷电定位技术是雷电监测与预警技术的核心之一。它利用先进的雷电定位系统,能够实时监测雷电活动的发生位置、强度以及移动方向等关键信息^[3]。这些信息为铁路电气化系统的防雷工作提供了宝贵的数据支持,使得相关人员能够迅速了解雷电活动的动态,从而采取有针对性的防雷措施。(2)在雷电定位技术的基础上,科研人员还建立了雷电预警模型。这一模型通过分析雷电活动的历史数据和实时监测数据,能够预测未来雷电活动的趋势和强度。通过雷电预警模型,我们可以提前了解雷电可能影响的区域和时间,为铁路电气化系统的防雷工作提供更为精准的预警信息。(3)基于雷电定位技术和雷电预警模型,雷电预警系统应运而生。这一系统将雷电预警模

型与实时监测数据相结合,实现了雷电威胁的实时监测和预警。当雷电活动达到一定的强度或接近铁路电气化系统时,雷电预警系统会立即发出预警信号,提醒相关人员及时采取防雷措施,确保铁路电气化系统的安全运行。

3 铁路电气化系统雷电防护技术应用要点

3.1 合理选择防护技术组合

铁路电气化系统的雷电防护是一个复杂而细致的过程,关键在于合理选择和应用各种防护技术组合。由于系统各部分对雷电的敏感度和受影响程度不同,因此必须根据具体情况制定个性化的防护策略。接触网作为铁路电气化系统的直接供电部分,其防雷工作尤为重要。由于接触网易受直击雷的危害,因此在防护策略上应优先考虑安装避雷线与避雷器相结合的防护方式。避雷线能够有效引导雷电放电,减少直击雷对接触网的直接冲击;而避雷器则能在雷电过电压作用时迅速动作,将过电压限制在安全范围内,从而保护接触网设备免受损坏。牵引变电所作为铁路电气化系统的核心部分,其设备众多且复杂,防雷工作同样不容忽视。在牵引变电所的防雷策略上,需要综合运用避雷针、避雷器以及完善的接地系统。避雷针能够引导雷电优先沿其路径放电至地面,保护变电所设备免受雷击;避雷器则能在雷电过电压作用时提供额外的保护;而完善的接地系统则能确保雷电能量能够安全地释放到大地中,避免对设备造成损害。在选择防护技术时,除了考虑各部分的特点外,还需要充分结合当地的雷电活动规律以及成本预算等因素。不同地区雷电活动的频率和强度存在差异,因此防护策略的制定必须因地制宜。成本预算也是制定防护方案时需要考虑的重要因素。

3.2 重视防护装置的维护与管理

铁路电气化系统的雷电防护装置在保障系统安全运行中发挥着至关重要的作用。这些防护装置并非安装后就一劳永逸,而是需要定期维护和管理,以确保其持续有效运行。(1)对于避雷针和避雷线等击雷防护装置,定期的外观检查是必不可少的。这包括检查避雷针和避雷线是否有锈蚀、损坏或变形等情况,以确保其能够正常引导雷电放电,避免对系统造成损害。还需要定期清理避雷针和避雷线周围的杂物,防止其影响引雷效果。(2)避雷器作为限制雷电过电压的关键设备,其电气性能的定期检测同样重要。这包括检测避雷器在雷电冲击下的动作情况,以及电压是否在允许范围内。通过定期检测,可以及时发现避雷器是否存在故障或性能下降的情况,从而及时更换或维修,确保其在雷电天气下能够正常发挥作用。(3)接地装置作为雷电防护系统的

基础,其接地电阻的定期测量也是必不可少的。接地电阻的大小直接关系到雷电能量的释放效果,因此必须确保其始终符合标准要求。通过定期测量接地电阻,可以及时发现接地装置是否存在问题,如接地体锈蚀、接地线断裂等,从而及时进行处理,确保接地装置的良好运行。(4)建立完善的维护管理档案也是确保保护装置良好运行的重要一环。这包括记录每次维护的时间、内容以及检测数据等信息,以便随时查阅和对比,发现问题并进行处理。这也有助于积累维护经验,为今后的维护工作提供参考和借鉴。

3.3 强化与其他系统的协同配合

铁路电气化系统作为铁路运输的核心组成部分,与通信、信号等其他系统之间存在着紧密的联系。在雷电防护的过程中,强化与其他系统的协同配合,对于确保铁路系统的整体安全和稳定运行具有重要意义。第一,雷电防护系统在动作时,可能会产生电磁干扰,这种干扰有可能对通信和信号系统的正常运行造成影响。为了避免这种情况的发生,我们需要采取一系列的技术措施,如屏蔽、滤波等,来有效减少雷电防护系统对通信和信号系统的电磁干扰。通过这些措施的实施,我们可以确保在雷电天气下,通信和信号系统仍然能够保持正常的运行状态,为铁路运输提供可靠的保障。第二,雷电监测与预警系统所获取的数据也具有重要的价值。这些数据不仅可以帮助我们及时了解雷电活动的动态和趋势,还可以为其他系统的运行提供重要的参考依据^[4]。我们应该建立数据共享机制,将雷电监测与预警系统获取的数据与其他系统进行共享。整个铁路运行体系就可以根据雷电预警信息,提前做好应对准备,如调整列车运行计划、加强通信信号设备的防护等,从而确保铁路系统在面对雷电天气时能够保持整体的稳定和安全。第三,在强化与其他系统的协同配合的过程中,我们还需要注重加强人员培训和应急演练。通过培训和演练,我们可以提高相关人员对雷电防护工作的认识和重视程度,增强他们的应急处理能力和协同作战能力。在面对雷电等极端天气时,我们就能够更加迅速、有效地采取应对措施,确保铁路系统的整体安全和稳定运行。

4 铁路电气化系统雷电防护技术的发展趋势

(1)随着科技的进步,铁路电气化系统雷电防护技术不断向多元化方向发展。传统的避雷针、避雷线等防护设备依然发挥着重要作用,但新型防护材料和技术的应用,如高性能铝合金、不锈钢等新型材料的应用,以及多级保护、模块化设计等新型设计理念,使得防护产品的性能更加优越,适用范围更加广泛。(2)智能化成为铁路电气化系统雷电防护技术的重要发展方向。通过集成传感器、控制器等智能设备,实现防雷系统的自动检测、报警和远程控制。智能雷电防护器能够精准预测雷电活动,并自动调整保护级别以适应不同环境条件。这种智能化的防护方式不仅提高了防护效率,还降低了人工干预的成本和风险。(3)集成化也是铁路电气化系统雷电防护技术的重要趋势。将雷电监测设备与其他铁路系统设备进行集成,实现数据共享和协同工作,提高了系统的整体性能和可靠性。远程管理和控制功能的加强,使得系统的灵活性和可扩展性得到了显著提升。

结语

铁路电气化系统的雷电防护技术,作为确保铁路运输安全的关键环节,其重要性不言而喻。通过对现有技术的不断研究与应用,我们已在很大程度上提升了系统的防雷能力。展望未来,科技的飞速发展和防雷技术的持续革新,无疑将为铁路电气化系统的雷电防护带来更加广阔的空间和可能。我们有充分的理由相信,未来的铁路电气化系统将在更加安全、稳定的环境中运行,为人们的出行和货物的运输提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]李文涛,杨轶轩,阳晋.高速铁路轨道电路技术创新与实践[J].铁路通信信号工程技术,2020,16(z1):1-5.
- [2]徐宗奇.铁路信号基础装备雷电防护智能化技术及发展[J].铁路通信信号工程技术,2020,16(9):1-59.
- [3]石清州.铁路信号设备雷电危害及防护技术[J].商品与质量,2020(19):156-157.
- [4]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.