

输电线路带电防冰防雷技术的环境适应性分析

李 黎

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司昆明局 云南 昆明 650000

摘 要：研究输电线路带电防冰防雷技术的环境适应性及其优化策略，对于提高电网的抗灾能力和保障电力供应具有重要意义。本文概述了输电线路带电防冰防雷技术的基本原理与现状，随后分析了不同气候条件、地形地貌以及雷暴区域对防冰防雷技术效果的影响。通过对环境适应性的深入剖析，提出了技术优化、运维管理改进和技术创新应用等策略。旨在为提升输电线路在复杂环境下的安全稳定运行提供理论支持和实践指导。

关键词：输电线路；带电防冰防雷技术；环境适应性分析；策略

引言：随着全球气候变化和电力需求的不断增长，输电线路的安全稳定运行面临着严峻挑战。冰害和雷害作为输电线路的两大主要自然灾害，对电网的安全运行构成了严重威胁。本文将从技术概述、环境适应性分析和优化策略三个方面展开深入探讨。

1 输电线路带电防冰防雷技术概述

1.1 带电防冰技术概述

带电防冰技术是针对输电线路在寒冷气候条件下易形成覆冰的问题而研发的一种创新技术。该技术主要通过向输电线路施加特定的电流或电压，利用电流的热效应或电磁场的作用，防止或减少线路上的覆冰形成。带电防冰技术的主要原理包括热力融冰和电磁防冰两种。

(1) 热力融冰法通过提高线路上的电流密度，产生焦耳热，使线路表面温度升高，从而融化已形成的覆冰或防止新冰的形成。(2) 电磁防冰法则利用电磁场的作用，改变线路周围的水分子的排列和运动状态，降低其结冰的可能性。这种方法不需要直接加热线路，因此能耗相对较低，但对电磁场的强度和频率要求较高。带电防冰技术具高效、快速、可远程控制等。它能够在短时间内迅速融化线路上的覆冰，恢复线路的正常运行，减少因冰灾导致的停电和事故风险。同时还可以根据线路的具体情况和气候条件进行灵活调整，实现精准防冰。但带电防冰技术也存在局限性。对于特别厚重的覆冰或极端恶劣的气候条件，可能需要更高的能耗和更复杂的控制策略。长期施加电流或电压可能对线路的绝缘性能和材料寿命产生一定影响，需要定期进行维护和检查。

1.2 带电防雷技术概述

带电防雷技术主要基于物理原理，通过一系列装置和措施，有效地引导、分散或中和雷电电流，从而保护输电线路免受雷击损害。带电防雷技术的核心在于构建完善的防雷体系，包括避雷针、避雷线、避雷器等关键

设备。避雷针通过尖端放电原理，将雷电引向自身并安全导入地下，保护周围建筑物和输电线路^[1]。避雷线则平行于输电线路架设，作为雷电的主要通道，引导雷电电流远离线路。而避雷器则安装在线路上，当雷电过电压超过一定阈值时，迅速动作，将雷电电流旁路至地下，保护线路和设备免受损坏。带电防雷技术还注重提高线路的绝缘水平和耐雷水平。通过采用高性能绝缘材料和优化线路设计，可以显著提高线路的抗雷击能力。同时，对线路进行定期检测和维护，及时发现并处理潜在的缺陷和隐患，也是保障防雷效果的重要手段。带电防雷技术具有高效、可靠、经济等。能够在雷电活动频繁的情况下，确保输电线路的安全稳定运行，减少因雷击导致的停电事故和设备损坏。

2 输电线路冰害与雷害现状

输电线路作为电力系统的重要组成部分，承担着电力传输的关键任务。但在实际运行过程中，输电线路面临着多种自然灾害的威胁，其中冰害和雷害尤为突出。

2.1 输电线路冰害现状

冰害是指输电线路在低温雨雪天气下，因导线表面结冰而导致的故障。近年来随着全球气候变化，极端天气事件频发，输电线路的冰害问题愈发严重。其现状从以下两方面分析：(1) 冰害成因。冰害的主要成因包括低温、雨雪、大风等恶劣天气条件，以及地形地貌和线路设计等因素。在低温雨雪天气下，导线表面容易形成冰层，增加导线的重量和体积，导致线路张力增大，可能引发断线、倒塔等严重故障。大风天气下，冰层在导线上的分布可能不均匀，产生不平衡张力，进一步加剧线路的破坏程度。(2) 冰害影响。一是导致线路断线、跳闸等故障，影响电力系统的正常运行；二是增加线路维护成本和难度，需要投入大量人力物力进行抢修；三是可能对周边环境和居民生活造成安全隐患。

2.2 输电线路雷害现状

雷害是指输电线路在雷电天气下,因雷击而导致的故障。雷电作为一种自然现象,具有突发性和不可预测性,对输电线路的安全运行构成严重威胁。其现状从以下两方面分析:(1)雷害成因。雷害的成因主要是雷电对线路的直击或感应放电^[2]。在雷电天气下,雷电可能直接击中线路,产生巨大的电流和电压,导致线路损坏或跳闸。雷电还可能通过电磁感应作用,在线路上产生过电压,引发故障。(2)雷害影响,雷害对输电线路的影响同样严重。一是导致线路跳闸、断线等故障,影响电力系统的供电可靠性;二是可能引发火灾、爆炸等安全事故,对周边环境和居民生命财产安全构成威胁;三是增加线路维护成本和难度,需要投入大量资源进行抢修和恢复。

3 输电线路带电防冰防雷技术的环境适应性分析

3.1 不同气候条件下的防冰效果

在寒冷湿润的气候中,输电线路带电防冰技术展现出了强大的防冰能力。通过向线路施加特定的电流或电压,利用焦耳热效应或电磁场作用,能够迅速融化导线上的积冰,保持线路的畅通无阻。提高了线路的抗冰能力,减少了因冰灾导致的停电事故,保障了电力系统的稳定运行。但在极端干燥或高温的气候条件下,带电防冰技术的效果可能会受到一定影响。由于这些气候条件下导线表面不易形成积冰,因此防冰技术的需求相对较低。但即便如此,该技术仍能在一定程度上预防偶发的冰害事件,确保线路的安全。不同气候条件下的防冰效果还受到线路设计、材料选择以及维护状况等因素的影响。在应用带电防冰技术时,需要综合考虑各种因素,制定针对性的防冰策略,以确保技术的有效性和经济性。

3.2 地形地貌对防冰技术的影响

地形地貌是影响输电线路带电防冰技术效果的关键因素之一。山区、丘陵、平原等不同地形对防冰技术的实施和应用产生了显著影响。在山区,由于地势起伏,输电线路往往需要跨越复杂的地形,这增加了防冰技术的实施难度。山区气候多变,温差大,易形成冰凌和雾凇等自然现象,加剧了线路积冰的风险。在山区应用带电防冰技术时,要充分考虑地形特点,采取针对性的防冰措施,如增加线路的防冰能力、优化电流或电压的施加方式等。平原地区地形平坦,气候相对稳定,防冰技术的实施相对容易。但平原地区也可能受到大风、强降雨等天气的影响,导致线路积冰。在平原地区应用带电防冰技术时,要关注天气变化,及时采取预防措施,确保线路的安全运行。

3.3 雷暴区域的防雷效果

在雷暴频繁的区域,传统的防雷措施,如安装避雷针、避雷器等,虽然在一定程度上能够降低雷击事故的发生率,但在极端雷暴天气下,其效果往往有限。带电防冰防雷技术通过在线路上施加特定的电流或电压,形成一层保护屏障,有效阻止雷电对线路的直击。在雷暴区域能够显著降低雷击跳闸率,减少线路因雷击而受损的情况。同时还能对雷电产生的过电压进行抑制,保护线路上的设备免受损害^[3]。但带电防冰防雷技术在雷暴区域的应用也面临一些挑战。雷暴天气下,雷电活动频繁且强度大,对技术的稳定性和可靠性提出了更高要求。雷暴区域的地形地貌复杂,可能影响技术的实施效果。在雷暴区域应用带电防冰防雷技术时,需要充分考虑地形、气候等因素,制定针对性的防雷策略。

3.4 雷电活动频繁地区的适应性测试

为了验证带电防冰防雷技术在雷电活动频繁地区的适应性,需要进行一系列严格的测试。在测试过程中,需要模拟雷电活动的真实场景,包括雷电的强度、频率、波形等参数。同时要考虑地形地貌对雷电活动的影响,如山地、平原、水域等不同地形下的雷电分布特征。通过模拟测试,可以评估带电防冰防雷技术在不同条件下的防雷效果,以及其对线路运行安全的保障程度。除了模拟测试外,还要进行实地测试。实地测试可以更加直观地反映技术在雷电活动频繁地区的实际应用效果。在实地测试中,要选择具有代表性的雷电活动频繁地区,安装带电防冰防雷设备,并对其进行长期的监测和记录。通过实地测试,可以获取大量真实的数据,为技术的优化和改进提供有力支持。

4 输电线路带电防冰防雷技术的优化策略

4.1 优化防冰防雷技术

4.1.1 智能化监控与预警系统

在输电线路防冰防雷技术中,智能化监控与预警系统是关键的一环。该系统能够实时监测线路状态,包括温度、湿度、风速、风向等气象条件,以及线路电流、电压等电气参数。通过数据分析与预测模型,系统能够提前预警潜在的冰害和雷害风险,为运维人员提供及时准确的信息,以便采取预防措施。为了优化智能化监控与预警系统,需要不断提升其数据处理能力和预测精度。引入更先进的数据分析算法,如机器学习、深度学习等,提高系统对复杂气象条件和电气参数的识别与预测能力。加强与其他气象、地质等部门的合作,共享数据资源,丰富系统的数据输入,提高预警的准确性和及时性。

4.1.2 新型防冰材料与技术

在防冰技术方面,新型防冰材料的应用是一个重要方向。研发具有低表面能、自润滑等特性的防冰涂料,涂抹在导线上,可以减少冰雪的附着,降低积冰的风险。可以探索使用具有自发热特性的材料,通过消耗少量电能产生热量,融化导线上的冰雪。除了新型材料,可以研发更加高效的防冰技术。利用电磁感应原理,通过在线路上施加交变电流,产生电磁场,使导线表面产生热量,从而融化冰雪。或者利用超声波技术,通过振动导线,破坏冰雪与导线之间的粘附力,实现防冰效果。

4.1.3 研发先进防雷设备

在防雷技术方面,应继续研发和应用先进的防雷设备。改进避雷针和避雷器的设计,提高其防雷性能,降低雷击跳闸率。探索使用新型防雷材料,如纳米材料、复合材料等,提高设备的耐雷水平。除了设备升级还要制定科学的防雷策略^[4]。根据线路所在地区的雷电活动规律,合理布置避雷针和避雷器,形成有效的防雷屏障。此外,还可以利用线路走廊的地形地貌特征,如高地、山谷等,进行防雷设计,减少雷电对线路的直击概率。

4.2 优化运维管理

4.2.1 细化运维策略

为了提高输电线路的运维效率,应制定以下一系列运维策略:(1)根据线路的历史故障数据和气象条件,对线路进行风险评估,确定重点运维区域和时段。(2)结合智能化监控与预警系统的信息,对潜在风险进行实时监测和预警,及时采取措施进行干预。(3)在运维过程中注重细节管理。定期对线路进行巡检,检查导线、绝缘子、避雷器等设备的状态,及时发现和处理潜在问题。同时,加强与其他部门的沟通协调,如气象、地质等部门,获取最新的气象和地质信息,为运维决策提供依据。

4.2.2 应急响应机制

在应对冰害和雷害等突发事件时,应建立完善的应急响应机制。首先制定详细的应急预案,明确各级人员的职责和应急措施。其次加强应急演练和培训,提高运维人员的应急处理能力和安全意识。最后建立应急物资储备库,确保在突发事件发生时能够及时调用所需物资。应急响应机制还要注重信息共享和协同作战。在突

发事件发生时,迅速启动应急预案,组织相关部门和人员进行协同作战,共同应对问题。同时加强信息共享和沟通协作,确保信息的及时传递和资源的有效利用。

4.3 推动技术创新与应用

随着科技的不断发展,新的防冰防雷技术和材料不断涌现,为提升输电线路的安全性和稳定性提供了有力支撑。为了推动技术创新与应用,要加强科研投入,鼓励企业、高校和科研机构开展联合研发,共同攻克防冰防雷技术难题。相关部门出台相关政策,为技术创新提供资金支持和税收优惠,激发企业和科研人员的创新热情。在技术创新方面,积极探索新的防冰材料和防冰机理,如研发具有自发热特性的新型导线材料,利用电磁感应原理实现导线自加热,从而有效防止冰雪附着。还可以研发更加高效的防雷装置,如采用新型避雷针和避雷器,提高线路的耐雷水平,降低雷击跳闸率。在应用方面注重将创新成果转化为实际生产力。通过加强产学研合作,推动创新技术的试点示范和推广应用,让更多的输电线路受益于新技术带来的安全保障。

结束语:输电线路带电防冰防雷技术的环境适应性研究对于提升电网的安全稳定运行水平至关重要。通过深入分析不同气候条件、地形地貌以及雷暴区域对防冰防雷技术的影响,提出了针对性的优化策略。随着科技的不断发展,我们将继续探索更加高效、智能的防冰防雷技术,为电力行业的发展贡献更多智慧和力量。

参考文献

- [1]花明,冯皓清,关杰.恶劣天气下高压输电线路设计与维护存在的问题思考分析[J].电气技术与经济,2022(03):112-114.
- [2]赵俊杰,虞驰,任华,顾浩.1000 kV特高压输电线路特殊形式雷击故障案例分析[J].电瓷避雷器,2022(01):107-112.
- [3]林力辉,吴晓杰,康合敏,伍鹏.基于雷击防护的高压输电线路雷电监测系统研究[J].电工技术,2022(01):147-148+169.
- [4]邹妍晖,孙泽中,王峰,王成,黄福勇.南昌—长沙特高压交流输电线路雷电防护性能评估[J].湖南电力,2021,41(06):98-101+106.