

输电线路的防雷设计与输电线路运维技术

马思洋

宁夏送变电工程有限公司 宁夏 银川 750001

摘要：输电线路作为电力系统的关键组成部分，其安全稳定运行直接影响电力供应可靠性。本文围绕输电线路防雷设计与运维技术展开分析，阐述防雷设计中接地、屏蔽等核心环节的技术要点，探讨运维工作中状态监测、故障排查等关键内容。通过梳理防雷设计与运维技术的内在关联，为提升输电线路抵御雷电灾害能力、降低故障发生率提供技术参考，助力保障电力系统整体运行安全性与稳定性。

关键词：输电线路；防雷设计；运维技术；接地系统；状态监测

引言

随着电力需求持续增长，输电线路覆盖范围不断扩大，其面临的自然环境挑战愈发突出，雷电灾害作为影响输电线路安全的重要因素，易引发线路跳闸、设备损坏等问题，造成电力供应中断。同时，输电线路长期暴露在户外，受环境侵蚀、设备老化等因素影响，运维工作难度不断增加。因此，深入研究输电线路防雷设计与运维技术，优化技术方案，对提升输电线路运行可靠性、保障电力系统稳定具有重要意义。

1 输电线路防雷设计的核心技术基础

输电线路防雷设计需结合线路所处区域的雷电活动规律、地形地貌特征以及线路电压等级，构建针对性的防雷体系。首先，需明确线路防雷的关键目标，即减少雷电直击线路、降低雷电感应过电压对线路绝缘的破坏，同时通过合理设计确保雷电流能安全泄放。在防雷设计前期，需对线路途经区域的雷电参数进行系统分析，包括年平均雷暴日数、地面落雷密度等，为后续设计提供数据支撑。

接地系统设计是输电线路防雷的重要环节，其性能直接影响雷电流的泄放效率。需根据土壤电阻率选择合适的接地材料与接地方式，如在高土壤电阻率区域采用换土、添加降阻剂等措施，降低接地电阻，确保雷电流能快速导入大地，避免接地端出现过高电位。此外，线路绝缘配置需与防雷要求相匹配，根据线路电压等级与雷电过电压水平，选择合适绝缘强度的绝缘子，提升线路抵御雷电过电压的能力，减少绝缘子闪络故障的发生^[1]。

2 输电线路防雷设计的关键技术环节

2.1 输电线路的直击雷防护设计

直击雷防护是输电线路防雷设计的首要环节，需通过合理布置接闪装置，减少雷电直接击中导线或杆塔的概率。对于架空输电线路，常用的直击雷防护措施包括

架设避雷线，避雷线的保护范围需根据线路杆塔高度、导线排列方式进行精确计算，确保导线处于避雷线的有效保护范围内。在雷电活动频繁的区域，可采用双避雷线设计，进一步扩大保护范围，提升线路抵御直击雷的能力。

同时，杆塔顶部的接闪设计需与避雷线相配合，确保雷电击中杆塔或避雷线后，能通过杆塔接地系统快速泄放雷电流。杆塔的材质与结构也会影响直击雷防护效果，如钢筋混凝土杆塔需确保内部钢筋可靠连接，形成良好的导电通道，避免雷电击中时出现杆塔损坏或电位分布不均的问题。

2.2 输电线路的感应雷防护设计

感应雷主要通过雷电放电过程中产生的电磁感应在输电线路形成感应过电压，易对线路绝缘薄弱环节造成破坏。针对感应雷防护，需从线路结构与绝缘配置两方面入手。在线路结构设计上，可通过缩短导线相间距离、优化导线排列方式，减少感应过电压的产生；同时，在线路绝缘子串两端加装避雷器，利用避雷器的非线性特性，将感应过电压限制在允许范围内，保护绝缘子与线路设备。

此外，线路的接地装置也需兼顾感应雷防护需求，通过改善接地系统的高频特性，提升对感应雷电流的泄放能力。对于低压输电线路，可在线路入口处安装浪涌保护器，进一步抑制感应过电压沿线路传播，保护下游设备安全^[2]。

2.3 输电线路的雷电流泄放路径优化设计

雷电流泄放路径的合理性直接影响防雷设计效果，需构建“接闪-传导-泄放”的完整路径，确保雷电流在传输过程中无阻碍、不产生过高电位。在路径设计中，需确保避雷线与杆塔、杆塔与接地系统之间的连接可靠，采用螺栓紧固或焊接等方式，避免连接点出现接触电阻过大

的问题,防止雷电流通过时产生电弧或过热损坏设备。

对于多基杆塔的输电线路,需优化杆塔接地系统之间的相互影响,避免某一杆塔遭受雷击时,雷电流通过接地网相互传导,引发相邻杆塔电位升高。可通过设置独立接地网或采用接地网之间的隔离措施,减少接地系统间的干扰,确保每基杆塔的雷电流能独立、安全泄放。同时,雷电流泄放路径中的各部件需具备足够的机械强度与耐雷性能,如接地引下线需选择截面合适的导线,避免雷电流过大导致导线熔断。

2.4 输电线路防雷的绝缘配合设计

绝缘配合设计需综合考虑输电线路的工作电压、雷电过电压以及操作过电压,确保线路绝缘水平能满足不同工况下的绝缘要求。首先,需根据线路电压等级确定绝缘子的额定绝缘强度,选择符合标准的绝缘子类型,如悬式绝缘子、支柱绝缘子等,并根据线路所处环境的污染等级,合理确定绝缘子的片数,避免因绝缘子绝缘强度不足导致闪络故障。

在绝缘配合设计中,需考虑雷电过电压的影响,通过计算线路可能承受的最大雷电过电压,确定绝缘子串的绝缘裕度,确保绝缘子在雷电过电压作用下不发生闪络。同时,线路中的其他设备,如断路器、隔离开关等,其绝缘水平也需与线路整体绝缘要求相匹配,避免因设备绝缘薄弱导致防雷体系失效。此外,绝缘配合设计还需结合线路运维需求,选择便于检测、更换的绝缘子类型,为后续运维工作提供便利。

3 输电线路运维技术的全面实施

3.1 输电线路的状态监测技术应用

状态监测技术是输电线路运维的核心手段,通过实时采集线路设备的运行参数,及时掌握设备状态,为运维决策提供依据。在输电线路状态监测中,可采用多种监测方式相结合的方法,实现对线路的全面监测。对于杆塔与基础,可安装倾斜传感器、沉降监测仪,实时监测杆塔倾斜度与基础沉降量,及时发现杆塔稳定性异常问题;对于导线,可采用红外测温仪、微风振动监测装置,监测导线温度、振动幅度等参数,评估导线的运行状态,预防导线过热或疲劳损伤。

同时,绝缘子的状态监测至关重要,可通过泄漏电流监测仪、紫外成像仪,检测绝缘子的泄漏电流大小与表面放电情况,判断绝缘子是否存在老化、脏污等问题。在监测数据处理方面,需构建完善的数据传输与分析系统,将监测数据实时传输至运维中心,通过数据分析模型对数据进行处理,识别设备异常状态,并发出预警信号。状态监测技术的应用,可实现输电线路运维从“定

期检修”向“状态检修”转变,减少不必要的停电检修,提升运维效率与线路运行可靠性^[1]。

3.2 输电线路的日常巡检技术

日常巡检是输电线路运维的基础工作,通过定期对线路进行巡查,及时发现线路存在的隐患,确保线路正常运行。日常巡检需根据线路所处环境、设备状况制定合理的巡检计划,明确巡检周期与巡检内容。巡检人员需携带必要的巡检工具,如望远镜、红外测温仪等,对线路杆塔、导线、绝缘子、接地装置等部件进行逐一检查。

在巡检过程中,需重点关注杆塔是否存在倾斜、裂纹、腐蚀等问题,导线是否有断股、磨损、覆冰等情况,绝缘子是否存在破损、脏污、闪络痕迹,接地装置是否出现松动、锈蚀、埋深不足等现象。对于山区、林区等复杂地形的输电线路,可采用无人机巡检技术,利用无人机的灵活性与高空视角,对线路进行全方位巡查,弥补人工巡检的盲区,提高巡检效率与覆盖面。同时,巡检过程中需做好详细记录,对发现的问题进行分类整理,为后续整改提供依据。

3.3 输电线路的故障排查与修复技术

当输电线路发生故障时,快速、准确的故障排查与修复是减少停电时间、降低损失的关键。故障排查需结合线路状态监测数据、巡检记录以及故障跳闸信息,构建多维度排查体系。针对雷击故障,除分析避雷器动作记录、杆塔接地电阻测试数据外,还可借助雷电定位系统,精准锁定雷击点与雷电流幅值,结合故障录波数据中的电压、电流突变特征,进一步明确故障是由雷电直击导线还是感应过电压击穿绝缘子所致,从而缩小故障杆塔或线段的定位范围。

对于导线故障,若怀疑是覆冰、舞动导致的导线损伤,可通过无人机搭载高清摄像头与红外热像仪,对线路进行全程航拍,观察导线是否存在断股、散股或接头过热现象;若为线路接地故障,可采用分段合闸试验结合钳形电流表检测的方式,逐步定位接地故障段,再通过人工巡检排查是否存在导线对地放电、绝缘子击穿或杆塔接地网破损等问题。

在故障修复过程中,需根据故障类型制定差异化修复方案。绝缘子闪络故障修复时,除更换损坏绝缘子、清洁周边绝缘子外,还需检查绝缘子串的均压环是否松动、破损,确保其均压效果,避免局部场强过高再次引发闪络;导线断股故障若断股程度较轻(不超过总截面积的7%),可采用预绞式补修条进行缠绕修复,若断股严重则需切割断股段,采用压接式接头重新连接导线,修复后需通过拉力试验验证接头机械强度,通过直直流电

阻测试确保接头导电性能达标。

故障修复完成后,除开展绝缘测试、接地电阻测试外,还需进行线路参数测试(如正序、零序阻抗),确认线路电气性能恢复正常,同时通过空载合闸试验观察线路运行状态,无异常后再恢复线路带负荷运行,确保故障彻底消除,避免遗留安全隐患^[4]。

3.4 输电线路的设备维护与老化管理技术

输电线路设备长期运行过程中,受环境因素影响易出现老化现象,需通过科学的设备维护与老化管理,延长设备使用寿命,保障线路运行安全。设备维护需根据设备类型与使用年限制定维护计划,如对绝缘子需定期进行清洁,去除表面的灰尘、污垢,减少脏污闪络的风险;对接地装置需定期检查接地电阻,及时处理接地电阻超标问题,确保接地系统性能稳定。

对于线路中的金属部件,如杆塔连接螺栓、导线金具等,需定期进行防腐处理,采用涂刷防腐漆、热镀锌等方式,防止金属部件锈蚀。在老化管理方面,需建立设备老化评估体系,通过对设备运行年限、运行环境、性能参数等因素的分析,评估设备老化程度,确定设备的更换周期。对于老化严重、性能下降的设备,需及时安排更换,避免因设备老化导致线路故障。同时,可采用新型材料与设备替代老旧设备,如采用复合绝缘子替代传统瓷绝缘子,提升设备的耐老化性能与可靠性。

3.5 输电线路的环境适应性运维技术

输电线路途经区域的环境复杂多样,不同环境条件对线路运行的影响存在差异,需采用环境适应性运维技术,应对不同环境带来的挑战。在山区线路运维中,需重点关注地形对线路的影响,如滑坡、泥石流等地质灾害可能导致杆塔基础损坏,需定期对杆塔基础周边地形进行检查,采取加固措施,防止地质灾害对线路造成破坏;同时,山区树木生长较快,易与导线发生安全距离不足的问题,需定期开展树木清障工作,确保线路通道畅通。

在沿海线路运维中,海洋性气候中的高盐雾、高湿度环境易导致线路设备腐蚀,需选择耐腐蚀性能强的设备材料,如采用不锈钢金具、防腐杆塔,并定期对设备进行防腐检查与维护,去除设备表面的盐雾附着物,防止设备腐蚀老化。在寒冷地区线路运维中,冬季覆冰、覆雪易导致导线荷载增加,引发导线断股、杆塔倒塌等故障,需安装覆冰监测装置,实时监测线路覆冰情况,在覆冰达到预警值时,及时采取融冰措施,如采用直流融冰、机械除冰等方式,减少覆冰对线路的影响。此外,在多风沙地区,需定期清理绝缘子表面的沙尘,防止沙尘积累导致绝缘子绝缘性能下降^[5]。

结语

输电线路防雷设计与运维技术是保障电力系统稳定运行的关键支撑。通过优化防雷设计中的直击雷防护、感应雷防护、雷电流泄放路径与绝缘配合等环节,可有效提升线路抵御雷电灾害的能力;而完善的状态监测、日常巡检、故障排查、设备维护与环境适应性运维技术,能及时发现并解决线路运行中的问题,降低故障发生率。未来,需进一步结合技术发展趋势,推动防雷设计与运维技术的创新与优化,不断提升输电线路运行的可靠性与安全性,为电力系统的稳定运行提供更坚实的保障。

参考文献

- [1]常晶.输电线路设计中线路防雷技术的运用研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(3):115-118.
- [2]韩惠丞,王笑天,郭靖,黄文超,赵雷.电力输电线路智能运维技术应用[J].光源与照明,2025(2):85-87.
- [3]王苗.浅析输电线路的防雷设计与运维技术[J].低碳世界,2023,13(6):37-39.
- [4]许刚.电力工程输电线路设计及施工技术探析[J].电力设备管理,2025(10):225-227.
- [5]邓先林.探究输电线路的防雷设计与运维技术[J].智能城市,2020,6(3):80-81.