

Study on anti-pollution flash of ultra-high voltage transmission line

Jun Li

Gansu Longnan State Grid Longnan Power Supply Company, Longnan, Gansu, 742500, China

Abstract

As an important part of the modern power system, the safe and stable operation of the ultra-high voltage transmission line is crucial to guarantee the power supply. Pollution flash is a big hidden danger affecting the operation of the ultra-high voltage transmission line. The flashover phenomenon caused by the filth of the insulator surface in the high humidity environment will cause serious accidents such as line tripping. Based on the formation mechanism of ultra-high voltage transmission lines, this paper analyzes the research progress and existing problems of the current anti-pollution flash technology, and focuses on the comprehensive anti-pollution flash measures, including insulator material improvement, external insulation optimization and intelligent monitoring technology. The research shows that the optimal combination of technical means can effectively reduce the probability of pollution flash and provide reliable guarantee for the reliable operation of ultra-high voltage transmission lines.

Keywords

ultra-high voltage transmission line; pollution flash; insulator; anti-pollution flash technology; intelligent monitoring

浅谈超高压输电线路防污闪研究

李军

国网陇南供电公司, 中国·甘肃 陇南 742500

摘要

超高压输电线路作为现代电力系统的重要组成部分,其安全稳定运行对保障电力供应至关重要。污闪是影响超高压输电线路运行的一大隐患,由绝缘子表面的污秽在高湿环境下导致的闪络现象,会引发线路跳闸等严重事故。本文从超高压输电线路污闪的形成机理出发,分析了当前防污闪技术的研究进展及存在问题,重点探讨了包括绝缘子材质改进、外绝缘优化、智能监测技术等在内的综合防污闪措施。研究表明,通过技术手段的优化组合,可有效降低污闪发生概率,为超高压输电线路的可靠运行提供可靠保障。

关键词

超高压输电线路; 污闪; 绝缘子; 防污闪技术; 智能监测

1 引言

超高压输电线路是现代电网的重要骨干,承担着长距离、高电压等级电力输送任务。然而,随着环境污染加剧和气候条件复杂化,污闪问题日益突出,成为威胁输电线路安全运行的重要因素。污闪主要由绝缘子表面的污秽在湿润条件下形成导电路径引发,其危害不仅导致供电中断,还可能损坏设备,甚至引发大面积停电事故。

针对污闪问题,国内外学者提出了多种防治技术,包括改进绝缘子材料、优化线路设计和引入智能监测技术等。尽管如此,由于实际运行环境的复杂性和污染源的多样性,现有防污闪技术仍面临一定挑战。因此,深入研究污闪的形成机理和防治措施,对保障超高压输电线路的安全运行具有

重要意义。本文旨在系统分析超高压输电线路污闪的成因及现状,探讨防污闪技术的创新与应用,为未来技术改进和工程实践提供参考。

2 超高压输电线路污闪的形成机理

2.1 污闪的定义及特征

污闪是指由于绝缘子表面的污秽沉积和湿润作用,在电场作用下形成导电路径,导致绝缘子闪络的现象。其发生通常伴随着电弧放电和局部绝缘击穿,严重时会引起线路跳闸。污闪的特征主要包括以下几个方面:首先,污闪具有一定的区域性和季节性,通常在沿海、工业区或沙尘多发区域更易发生;其次,湿度和降雨是污闪的重要诱因,当污秽表面被湿润后,其导电性显著增加;最后,污闪通常发生在电场强度较高的位置,例如线路转角处和大跨距区段。

2.2 污闪的形成过程

污闪的形成过程可以分为污秽沉积、湿润形成导电路

【作者简介】李军(1978-),男,中国甘肃华亭人,本科,工程师(高级技师),从事输电线路运维研究。

径和电弧发展三个阶段。污秽沉积阶段，污染物通过风沙、工业排放或海盐雾沉积在绝缘子表面；湿润阶段，降雨、雾气或露水使绝缘子表面污秽层吸湿或溶解，形成导电路径；电弧发展阶段，导电路径下的电场强度超过击穿电压，形成局部放电，电弧沿绝缘子表面发展，最终导致闪络。

2.3 污闪的影响因素

污闪的发生与多种因素相关，包括绝缘子的材料和形状、表面污秽程度、电压等级、气象条件等。其中，绝缘子的材质和表面特性直接影响其抗污闪性能；环境污染程度和湿度变化则决定了污秽层的导电性和湿润程度；线路设计如绝缘子排列方式、电压分布均匀性等，也对污闪的发生概率具有重要影响。

3 防污闪技术的研究现状

3.1 绝缘子材质与结构优化

绝缘子作为超高压输电线路防污闪的核心部件，其材质和结构的改进是防污闪研究的重要方向。近年来，新型复合材料绝缘子因其优异的抗污闪性能受到广泛关注。例如，硅橡胶复合绝缘子具有较低的表面吸附性和优异的憎水性，可有效减少污秽沉积和湿润导电。此外，优化绝缘子形状设计，如增加伞裙数量和改进伞裙几何结构，可显著提升其抗污闪能力。研究表明，多伞裙设计不仅延长了泄漏路径，还能增强表面排水能力，从而降低污闪风险。

3.2 外绝缘的改良措施

外绝缘的改良是提高防污闪性能的重要手段之一。传统陶瓷绝缘子由于其表面光滑，污秽易于沉积，在潮湿条件下导电性增加。通过在陶瓷表面涂覆憎水性涂层或采用耐污闪的复合材料，可以有效提高外绝缘的抗污闪性能。此外，动态防污闪技术如表面自清洁材料的应用，也为外绝缘改良提供了新思路。这些材料通过光催化或雨水冲刷实现表面污秽的自动清理，从而延缓了污闪的形成过程。

3.3 线路设计与布置的优化

超高压输电线路的设计与布置直接影响其抗污闪能力。在设计阶段，优化线路参数如绝缘子串长度、悬挂角度等，可以有效改善电压分布，降低局部电场强度。同时，合理选择线路路径，避开污染严重或湿度较高的区域，有助于减少污闪发生。此外，采用双回线路和耐污闪绝缘子串的设计，也能够显著提升线路整体的抗污闪能力。

4 智能化防污闪技术的应用

4.1 污秽监测技术的发展

实时监测绝缘子表面的污秽程度是防污闪技术的重要组成部分，也是智能化防污闪技术的关键应用领域。传统污秽监测方式依赖于人工检查，效率较低且难以实现大范围的全面监测。而现代基于传感器和物联网的智能监测系统，克服了传统方法的局限性，为实时、精准地获取污秽数据提供了技术保障。例如，通过在绝缘子表面安装高灵敏度传感器，

可以实时监测其表面电导率、污秽层厚度和湿润程度等关键参数。这些传感器通过无线数据传输与云端平台连接，实现了信息的实时共享与集中处理，为污闪风险评估提供了可靠的数据基础。

此外，结合环境数据的监测，如温度、湿度和降雨量等，可以更加全面地评估污闪发生的可能性。例如，某些智能监测系统能够根据绝缘子表面的污秽沉积速率和环境湿润条件自动生成预警信号，并通过数据平台推送至运维人员终端。这样的技术应用，不仅提高了污秽监测的效率，也为提前采取防护措施提供了科学依据，有效降低了污闪事故的发生概率。未来，随着监测技术的进一步发展，结合高精度传感器和边缘计算的监测系统有望实现更加实时、高效的风险预测和决策支持。

4.2 智能清洁与维护技术

在传统的防污闪技术中，人工清洁绝缘子是一种重要但效率较低的手段，尤其是在超高压输电线路的大范围应用中，人工清洁不仅劳动强度大、成本高，还存在安全隐患。智能清洁技术的兴起，为解决这一问题提供了有效的解决方案。例如，基于自动化机械设计的智能清洁机器人，可以在输电线路运行的情况下，对绝缘子进行精准、全面的清洗。这些机器人通常搭载喷淋系统和刷洗装置，能够利用高压水或特殊清洁剂清除绝缘子表面的污秽。同时，智能导航系统的引入，使机器人能够自主规划清洁路径，确保整个线路的高效覆盖。

智能清洁技术不仅提升了清洁效率，还大幅降低了人工干预的需求。例如，在降雨量较低的地区，清洁机器人可以通过定期作业保持绝缘子表面的清洁度，从而减少污秽积累引发污闪的可能性。此外，某些先进的清洁系统还具备实时监测和反馈功能，可以根据污秽程度调整清洁频率和力度，提高资源利用效率。随着智能化和自动化技术的不断进步，未来智能清洁机器人有望进一步优化其作业能力，例如通过加入人工智能算法，提高污秽识别的精度和清洁效率，为线路运维提供更加高效的解决方案。

4.3 大数据与人工智能在防污闪中的应用

大数据与人工智能技术的应用，为防污闪技术的发展开辟了全新的视野。通过采集和分析大规模的历史污闪数据，人工智能算法能够从中挖掘出潜在的规律，并用于构建污闪风险预测模型。例如，通过分析绝缘子表面的污秽积累速率、湿润条件以及环境污染源分布等因素，人工智能模型可以预测特定时间段内某一区域发生污闪的概率，从而为运维人员提供提前干预的建议。

在实际应用中，人工智能技术还可以与气象数据结合，进一步提升风险评估的准确性。例如，通过将实时气象数据（如降雨量、湿度、风速等）输入预测模型，人工智能系统能够动态调整污闪风险评估结果，并向运维人员推送具体的防护措施建议。这种结合了大数据分析和实时监测的智能化

防污闪技术，不仅提高了风险预测的精度，也增强了线路运维的主动性。

此外，人工智能技术还为防污闪决策提供了强大的支持。例如，通过构建多变量决策模型，系统可以在多个防护策略中选择最优方案，实现资源的合理分配和使用。例如，某些区域由于污染严重且清洁频率不足，可能需要优先安排智能清洁设备进行作业；而在污染较轻的区域，则可以适当延长清洁间隔，从而实现运维资源的最优配置。

5 防污闪技术的现实意义与未来展望

5.1 保障电网安全运行的关键

超高压输电线路作为现代电网的核心，其安全运行直接关系到整个电力系统的稳定性。防污闪技术的有效应用，不仅可以降低污闪事故的发生率，还能够显著提升线路的运行可靠性。例如，通过智能化监测系统的实时预警和清洁技术的高效维护，可以大幅减少污闪引起的线路跳闸和设备损坏。这种提升供电稳定性的作用，对于保障工业生产和居民生活具有重要意义。

此外，防污闪技术的推广应用还能够有效降低线路运维成本。例如，通过引入智能化清洁设备和精准监测系统，可以减少人工检查和清洁的频率，从而降低运维费用。同时，防污闪技术的应用还能够延长设备使用寿命，进一步减少设备更换和维修的支出。这些经济效益的显现，为防污闪技术在电力行业的普及提供了强有力的驱动力。

5.2 未来防污闪技术的发展方向

未来，防污闪技术的发展将更多地关注智能化和可持续性。一方面，随着物联网和人工智能技术的进一步成熟，防污闪系统有望实现更加全面、精准的风险监测和决策支持。例如，通过部署基于边缘计算的智能设备，系统可以在现场完成实时数据处理和风险评估，从而提高决策效率和响应速度。另一方面，环保和可持续发展理念将在防污闪技术中得到更多体现。例如，通过开发更加环保的绝缘子材料和清洁剂，不仅可以提高防污闪效果，还能减少对环境的影响。此外，多学科交叉研究将为防污闪技术带来更多创新，例如通过纳米技术和先进材料科学，开发具有更高憎水性和自清

洁功能的新型绝缘材料，从而进一步降低污闪风险。

总之，未来的防污闪技术将更加注重技术与环境的协调发展，在提升电网运行安全的同时，为实现电力行业的绿色转型和可持续发展做出积极贡献。

6 结语

超高压输电线路的防污闪研究是电力系统稳定运行的重要课题，其对电网安全、供电可靠性和经济效益的影响不可忽视。通过引入智能化监测技术、智能清洁设备以及大数据与人工智能算法，防污闪技术取得了显著进展，为现代电网的高效运行奠定了坚实基础。智能化监测技术能够实时掌握绝缘子表面的污秽程度，并结合气象和环境数据进行综合分析，提供精准的风险预警，这种技术应用不仅大幅降低了人工检查的成本，也提高了防污闪的反应速度与效率。智能清洁设备的广泛应用则有效解决了传统清洁方法效率低、成本高和安全隐患大的问题，尤其是通过引入自动化和智能导航技术，使清洁作业更加高效、可靠和灵活，能够在无人值守的情况下完成大范围的清洁任务。此外，大数据与人工智能技术通过分析历史数据和实时监测数据，为防污闪提供了科学的决策依据。例如，基于机器学习的预测模型能够精准判断污闪的可能性，帮助运维人员制定优化的维护计划，从而实现资源的合理分配和高效利用。未来，智能化技术和环保理念的进一步融合将为防污闪技术的发展注入新的动力。首先，环保材料在绝缘子和防污涂层中的应用将成为重要方向，例如开发具有高憎水性和耐腐蚀性的环保复合材料，不仅可以提高绝缘设备的使用寿命，还能减少对环境的污染。

参考文献

- [1] 陈晓春,周世峰,毛佳莹.超高压输电线路运维及故障排除改进措施探讨[J].华东科技,2024,(07):57-59.
- [2] 刘兆威.高压输电线路运检工作技术难点与应对措施研究[J].电气技术与经济,2024,(03):70-71+74.
- [3] 李和.超高压输电线路绝缘子新型防污闪涂料的应用[J].应用能源技术,2023,(06):7-11.
- [4] 刘焜,史文军,李宝强,等.简要分析新时代下如何做好超高压输电线路安全生产工作[J].科技风,2022,(03):104-106.DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.202203034.