

High-voltage transmission line operation and maintenance based on UAV inspection technology

Jun He

Power Supply Company of Xinghe County, Ulanqab Ulanqab, Inner Mongolia Autonomous Region 013650, China

Abstract

With the growing demand for electricity, maintaining high-voltage transmission lines has become increasingly important. UAV inspection technology, known for its efficiency, precision, and safety, is gradually becoming a crucial tool in high-voltage transmission line maintenance. This paper explores an overview of UAV inspection technology, the demand analysis of high-voltage transmission line maintenance, its practical applications, and prospects for future development.

Keywords

High-voltage transmission lines, UAV inspection, maintenance technology, efficiency, safety

基于无人机巡检技术的高压输电线路运维

何君

内蒙古乌兰察布兴和县供电公司, 中国·内蒙古 乌兰察布 013650

摘要

随着电力需求的增长, 高压输电线路的维护变得尤为重要。无人机(UAV)巡检技术以其高效、精准和安全的特点, 正逐步成为高压输电线路维护的重要手段。本文主要探讨了无人机巡检技术的概述、高压输电线路维护的需求分析、以及无人机在实际巡检中的应用实践, 并对其未来前景进行了展望。

关键词

高压输电线路、无人机巡检、维护技术、效率、安全性

1 引言

1.1 研究背景与意义

高压输电线路是电力系统的重要组成部分, 其安全运行对电力供应的可靠性具有重要保障作用。然而, 由于高压输电线路通常分布在地形复杂、环境恶劣的区域, 传统的巡检方式(如人工巡检或地面设备巡检)存在效率低、成本高、危险性大等问题, 难以满足现代电力系统对线路运维效率和精确性的日益增长的需求。随着科技的快速发展, 无人机技术以其速度快、机动性强、操作灵活、监控精度高等优势, 成为高压输电线路运维的重要技术手段。

1.2 研究目的与内容

本文旨在探索无人机巡检技术在高压输电线路运维中的应用价值, 分析其技术优势及实施效果, 以提高输电线路巡检的效率与技术含量。内容主要包括:

无人机巡检技术的相关概述及其在高压输电线路场景

中的应用现状;

高压输电线路运维的技术需求和传统方式的局限分析; 无人机技术的实践应用、关键优势及其在巡视中的典型应用案例分享;

总结无人机技术在电力运维中的发展趋势与未来方向。

本研究希望能为提升高压输电线路巡检效率、降低运维风险、推动电力系统智能化发展提供技术参考与理论支持。

2 无人机巡检技术概述

2.1 无人机技术的基础原理与分类

无人机(Unmanned Aerial Vehicle, 简称 UAV)是一种通过远程控制或自主飞行技术, 实现各种任务执行的飞行设备。无人机的核心构成包括飞行平台、传感器、通信系统和任务执行模块。根据其飞行方式, 无人机可分为以下三类:

多旋翼无人机: 具有机动性强、垂直起降能力适合小范围巡检的特点, 是输电线路巡检中的主流选择。

固定翼无人机: 适合大范围、长距离巡检, 飞行速度快, 但对起降场地有一定要求。

混合翼无人机: 结合了多旋翼和固定翼的优势, 既可实现垂直起降, 又具备长航时特点, 适合复杂场景的应用。

【作者简介】何君(1976-), 男, 中国内蒙古自治区乌兰察布市兴和县人, 本科, 中级工程师, 从事电力工程及自动化研究。

2.2 无人机在电力系统中的应用现状

近年来，随着无人机技术的发展，其在电力系统中的应用逐渐成熟，已广泛用于输电线路的日常运维、大范围巡视和突发事件的快速响应。

国内发展：我国将无人机技术引入电力运维的时间较早，国网公司已在多个省份推广其应用。实践表明，无人机能够有效适应复杂地形（如山区、河谷），降低人工巡检的工作量与安全风险。

国际发展：国外许多发达国家（如美国、日本等）也已开始规模化应用无人机，在增强巡检效率的同时，不断结合AI技术，实现检测作业的智能化、精准化。

2.3 无人机巡检技术的关键优势

无人机巡检技术以其显著的技术优势，为输电线路的运维带来了革命性的变革：

高效性：无人机能够快速到达目标区域，实时完成高分辨率的影像采集，极大地提升巡检效率。

精确性：配备红外成像、高清摄像头及激光测距设备的无人机，可对线路细节（如绝缘子裂纹、线路异物等）进行精确诊断。

安全性：相比传统人工巡检，无人机避免了人员接触高压环境和复杂地形，显著降低了运维风险。

经济性：通过减少对人工的依赖及巡检成本，综合运维费用得以降低。

场景适应能力：无人机灵活机动，能够应用于难以抵达的环境，如高山、丛林、河流等特殊地形。

2.4 小结

无人机技术凭借其灵活性、高效性与智能化的特点，为高压输电线路的巡检带来了全新的解决方案。其在电力系统中的成功应用表明，无人机巡检技术已成为智慧电网建设中不可或缺的一部分。

3 高压输电线路运维的需求分析

3.1 高压输电线路的特点与运维要求

高压输电线路作为电力系统中重要的基础设施，具备线路跨度大、地形环境复杂以及运行电压等级高等特点。线路通常跨越山地、河流、森林等不同地形，易受外部环境与自然因素的影响，如雷击、气候变化、覆冰以及风灾等。不仅如此，高压输电线路的运行状态直接关系到电力系统的稳定性和安全性，因此必须保证其全天候可靠运行。

基于这些特点，高压输电线路的运维需满足以下几点要求：

高效性：快速发现缺陷及隐患，减少故障发生时间；

精准性：能够准确定位和识别故障点，降低误报率；

实时性：需具备即时监测和快速响应能力，提升运维过程的时效性；

全面性：全面覆盖输电线路及附属设施，包括导线、杆塔绝缘子、金具及周边环境等部件的监控。

此外，在运维过程中还需要尽量减少对线路运行的影响，确保维护工作与线路正常供电的协调进行。

3.2 传统运维模式的局限性

在传统高压输电线路运维模式中，主要依赖人工巡检和直升机巡检。这些模式虽然能够完成基本的运维任务，但存在诸多局限性：

人工巡检的效率低下：面对长距离的输电线路和复杂的地形，人工作业效率较低，同时存在较高的劳动强度和安全风险；

直升机巡检的成本高昂：虽然直升机能够覆盖更大范围，但其使用、维护和燃料成本较高，不适用于某些偏远地区的线路巡检；

数据采集的有限性：传统巡检数据通常依赖人工记录或简单的图像采集，无法实时上传并形成系统化、数字化的管理；

环境限制：恶劣天气或复杂地形可能阻碍人工或直升机巡检工作的开展，从而影响巡检的全面性和准确性；

隐患精准识别能力不足：传统模式难以对设备的微小缺陷和潜在隐患进行精准识别，容易造成隐患积累，从而带来更大的风险。

因此，传统运维模式难以完全满足当前高压输电线路快速发展、设备密集度提升以及安全稳定运行的高需求，亟需更高效、智能化的解决方案。

3.3 无人机巡检技术的适配性与优势体现

无人机巡检技术作为近年来新兴的运维手段，逐渐成为高压输电线路运维的重要工具。相较于传统模式，其在适配性和效率提升方面表现出巨大优势：

高适配性：无人机具有较强的环境适应能力，可在复杂地形和高风险区域灵活飞行，满足线路在山地、森林及城市密集区等场景的巡检需求；

成本优势：无人机巡检相比于直升机巡检，运营成本显著降低，且维护简便，适合大面积长距离的线路运维；

数据采集能力强：无人机搭载高清摄像头、光学变焦镜头、红外热成像仪和激光雷达等多种设备，能够实现高清影像采集、温度检测以及三维建模等功能，为故障诊断提供精确的数据支持；

即时性与高效性：无人机能够快速部署，完成实时数据采集和回传，减少传统巡检模式中的延迟问题；

安全性提升：无人机取代了部分高风险人工操作，降低了运维人员在复杂环境中的安全风险；

信息化与智能化：巡检数据可通过无人机联通云平台，与智能分析系统结合，快速生成报告，提高运维的智能化和管理效率。

总体来看，无人机巡检技术的引入不仅有效弥补了传统模式的局限性，还为高压输电线路的智能化运维奠定了技术基础，成为现代电力运维转型升级的关键方向。

4 无人机巡检在高压输电线路运维中的应用实践

4.1 巡检系统的构成与工作流程

无人机巡检系统主要由硬件组成部分和软件系统组成，以确保高效、安全地完成高压输电线路的巡检任务。

在硬件方面，无人机的核心构成包括：

飞行平台：多旋翼无人机或固定翼无人机用于输电线路的空中巡检，多旋翼无人机适用于悬停检查，而固定翼无人机则适合大范围、高效率的巡航任务。

摄像头与传感器：搭载高清光学摄像头、红外热成像仪和激光雷达等，为巡检提供精准数据支持。光学摄像头用于辨别细节，热像仪可以快速检测线路发热异常，LiDAR技术则能生成精准的三维模型。

避障系统：通过多向传感器识别航线中的障碍物，自动调整飞行路径，保障无人机在复杂环境中的安全飞行。

在软件系统方面，巡检任务由任务规划、数据采集、处理和存储系统协同运行：

任务规划系统：根据输电线路地理信息与无人机能力制定最优巡检路线。

数据采集与图像处理系统：完成巡检过程中拍摄的图像/视频的实时处理，对线路状态进行智能识别和异常分析。

数据分析与存储：基于历史数据与现有巡检结果，进行趋势分析和问题预测，并将采集数据上传到云端，实现长期保存与共享。

整个工作流程包括任务规划、无人机飞行巡检、数据采集、实时处理与存储反馈等步骤。通过软硬件的协同，无人机巡检系统能够高效执行任务，同时显著提升数据精度。

4.2 无人机巡检技术的具体应用场景

无人机巡检技术凭借快速灵活的特点，已经广泛应用于高压输电线路的各类运维场景中：

日常巡检：无人机通过预定路线对大范围的输电线路进行定期巡查，获取高分辨率影像和视频数据。这种方式不仅覆盖范围更广，还能深入到传统人工难以到达的区域，全面监测线路运行状况。

故障定位：在发生线路故障时，无人机可以第一时间赶赴现场，通过高清摄像头与热成像仪对异常点进行识别和定位，并迅速回传数据，协助运维人员发现故障原因，如断线、绝缘子损坏、线缆过热等问题。

特殊环境巡检：在山区、河流、森林等人工巡检难以进行的高风险区域，无人机可以大幅降低运维成本与安全风险，通过搭载增强型传感器完成复杂环境下的巡检任务，实现全天候、多地形适应性工作。

4.3 无人机巡检技术的实际案例分析

无人机巡检技术在国内外的的发展过程中，出现了许多创新性的实践案例：

国内案例：在中国南方电网，某些山区线路由于坡度陡峭、植被茂密，传统巡检模式耗时耗力。通过引入无人机技术，巡检效率提高了80%，巡检时间从数天缩短至数小时。同时，通过结合红外热成像技术，发现和修复多起线路隐患，显著提升了线路运行可靠性。

国际案例：欧洲某国家电网公司利用无人机结合LiDAR技术对线路周围的植被进行三维建模和生长预测，从而提前安排树木修剪工作，避免因植被接触线路引发的

风险。

然而，实践中也暴露了一些问题，如无人机受天气恶劣影响较大、电池续航能力不足、数据处理与分析效率有待提升。针对这些问题，业界已提出相应解决方案，例如开发全天候无人机、改进快充电池技术、利用边缘计算提高图像实时分析能力等。

4.4 与其他智能巡检技术的结合

无人机巡检技术本身具有很高的独立性，但与其他智能技术结合后能发挥更大的作用：

结合人工智能与机器学习技术：引入AI技术，可以对无人机巡检过程中生成的大量图像和视频进行智能分析。例如，通过深度学习算法对绝缘子裂纹、线缆异常等问题进行自动识别，显著提高数据处理效率与分析准确度。

传感器技术与多类型数据融合：无人机整合不同类型的先进传感器（如空气质量监测传感器、温湿度传感器），搭配热成像、LiDAR、高清视频等多维度数据，通过云平台实现数据共享与综合分析，为运维决策提供全面支持。

通过与其他技术手段的结合，无人机巡检已经从单一的线路检查工具发展为全面的智能巡检解决方案。这种模式不仅提高了运维效率和安全性，还为未来输电线路的智能化运维奠定了坚实基础。

5 结论与展望

5.1 研究结论

无人机巡检技术已在高压输电线路运维中展现出显著优势，尤其在提升巡检效率、保障作业安全以及降低成本方面发挥了关键作用。传统运维模式依赖人工与地面设备，效率低、危险性大，而向无人机技术应用的转型已成为趋势和必然选择。这一转变不仅优化了运维流程，还进一步推动了电力行业智能化发展的进程。

5.2 无人机巡检技术面临的挑战

尽管无人机巡检技术在实际应用中优势明显，仍然面临以下挑战：

法规和飞行限制：无人机的使用需要遵守飞行法规，飞行范围和操作可能受到管控，特别是在复杂地形和敏感区域。

操作人员的专业培训：无人机操作需要具备一定的技术能力，培养高水平的操作与维护团队是不可忽视的问题。

技术成本与维护需求：开发与维护高性能无人机及相关设备的投入较高，这对普及和规模化使用形成一定障碍。

参考文献

- [1] 高压输电线路智能巡检新技术探讨. 苗俊;尤志鹏;袁齐坤;刘立文;王璋.中国设备工程,2019(21)
- [2] 无人机高压输电线路异物清除装置. 严伟佳;徐欣;席晓强;王东林;华鑫;寇淼.电力安全技术,2017(08)
- [3] 无人机在山区高压输电线路隐患巡检中的应用. 万康.南方农机,2019(23)
- [4] 高压输电线路无人机巡检技术运维管理分析. 李云松;崔健;李煜稼;刘耀.农电管理,2024(01)