

Application analysis of UAV in intelligent inspection of 10kV distribution line

Ziyi Luo¹ Lilin Peng² Yuchen Tang² Yifan Zhao² Xunyu Chen¹

1.Xiangtan Xiangneng Agricultural Electricity Service Co., Ltd. Xiangtan County Branch, Xiangtan, Hunan, 411101, China

2.State Grid Xiangtan County Power Supply Company, Xiangtan, Hunan, 411101, China

Abstract

In recent years, the application of UAV technology in power system operation and maintenance has shown rapid development, gradually becoming a key supporting factor for enhancing the intelligent level of 10kV distribution line inspection. Benefiting from advantages such as high mobility, flexibility, and multi-scenario adaptability, UAVs not only enable efficient inspections in complex terrains and hazardous work zones but also significantly reduce manual labor pressure and enhance inspection safety. This paper combines practical experiences in domestic 10kV distribution line O&M, starting with an analysis of UAV inspection technology's essence, systematically examining its application practices in daily inspections, fault localization, emergency response, and detailed examinations. Subsequently, corresponding measures are proposed to optimize UAV inspection effectiveness, aiming to provide references for further promotion and application in the power distribution field.

Keywords

10kV distribution lines; UAV inspection technology; Application; Optimization suggestions

无人机在 10kV 配电线路智能巡检中的应用分析

罗子奕¹ 彭立林² 唐语辰² 赵逸凡² 陈训宇¹

1. 湘潭市湘能农电服务有限公司湘潭县分公司, 中国·湖南湘潭 411101

2. 国网湘潭县供电公司, 中国·湖南湘潭 411101

摘要

在最近这些年里, 电力系统运维领域中无人机技术的应用呈现出快速发展态势, 并逐渐成为提升 10kV 配电线路巡检智能化水准的关键支撑要素。得益于高机动性、灵活性以及多场景适应能力等众多优点, 无人机在 10kV 配电线路巡检中不仅能够在复杂地形和危险作业区开展高效巡检, 同时显著减轻人工作业压力以及增强巡检工作安全性。为此, 本文结合国内 10kV 配电线路运维实际, 从无人机巡检技术内涵入手, 系统剖析其在日常巡检、故障定位、应急处置以及精细化检查里的应用实践, 接着提出相应措施以优化无人机巡检应用效果, 期望能为其在配电领域进一步推广应用给予参考。

关键词

10kV 配电线路; 无人机巡检技术; 应用; 优化建议

1 引言

10kV 配电网是电力系统与用户直接相连的部分, 为确保人民生活和生产用电的安全可靠性, 提升客户优质服务感知度, 其运维管理压力与日俱增。然而传统巡检方式存在巡线周期长、巡视效率低、巡视不到位等弊端。得益于科技迅猛发展, 无人机正广泛应用到 10kV 配电线路智能巡检中, 并取得了不错的成效。有鉴于此, 文章将基于研究与实践就无人机在 10kV 配电线路智能巡检中的应用展开分析, 以供参考。

2 无人机巡检技术概述

无人机巡检技术主要指以搭载成像、测距以及环境感知设备的多旋翼或固定翼类飞行平台实施电网配电线路与附属设施的非接触式检测。目前在 10kV 配电线路运维中, 无人机巡检技术目前已逐步构建起一套完整的应用体系, 其包括飞行平台、负载系统, 以及巡检流程和作业规范共同组成的。相较于传统巡检方式而言, 通过低空航迹飞行完成 10kV 配电线路的导线、金具、杆塔和绝缘子等设施可视化检查, 这突破了受地形条件与人工视距限制的局限^[1]。

3 无人机在 10kV 配电线路智能巡检中的应用

3.1 日常线路巡检

针对 10kV 配电线路的日常巡检作业, 无人机作为巡检

【作者简介】罗子奕(1998-), 男, 中国湖南湘潭人, 本科, 助理工程师, 从事电气工程研究。

平台可在复杂地形条件中达成全线路覆盖以及关键部位的精细化采集。在巡检之前要按照线路地理信息、杆塔分布情况,在飞行控制系统里预先设置航线参数,这些参数涵盖飞行高度,航点间距航向角以及俯仰角度。如此一来确保无人机在进行低空近距飞行时,不但能够完整覆盖 10kV 配电线路全长而且还可以对杆塔基础、横担、绝缘子串和避雷线进行全面拍摄。无人机飞行过程里航线应依据地形起伏作出调整,在转角交叉以及线路节点等位置,必要时实施定点悬停实施多角度多焦距的拍摄策略来获取高清图像,并且借助云台稳定控制让图像清晰度实现最大化以及畸变控制在最小程度。影像资料在飞行结束后需按照杆号跨距,以及设备部位展开分类存储工作,并建立起具备标准化特征的巡检数据库,借助多源标识信息实施索引管理,确保资料在不同巡检班组之间能够实现共享且具备可追溯性。数据整理方面,须对同一杆塔不同角度影像开展比对以及矢量化标注工作,将裂纹、锈蚀、松动还有变形等异常状态进行标识,达成精细化管理目标。巡检人员在整个操作过程里,要严格落实无人机飞行规程以及安全防护举措,这其中涵盖飞行前的设备检查,电池管理还有应急预案,从而方能降低飞行风险、保障巡检的连续性以及数据的完整性^[2]。最后,还应定期对巡检航线以及拍摄策略予以优化调整,目的是适应线路维护更新和环境变化。同时无人机巡检操作在日常维护当中能够形成标准化流程,且具备可重复性可量化的特点,进而满足全线路高覆盖率影像采集以及电力设施状态精确识别的需求。

3.2 故障快速定位

10kV 配电线路一旦遭遇跳闸或者出现异常工况的情况,迅速将故障点锁定乃是恢复供电的关键环节所在,凭借高机动性与低空精细巡航能力,无人机在故障发生之后能够迅速展开空中巡检作业实施故障快速定位。巡检人员设置无人机航迹规划时依据线路走向沿着线路杆塔逐段进行低空飞行,对导线绝缘子杆塔以及附属构件采集高清图像。搭载光学或红外成像设备的无人机能够实时捕捉诸如导线垂度异常、导线断股、异物搭挂、树木压线以及绝缘子表面污损或裂纹等典型故障特征。同时故障定位过程中即便遇到丘陵、林区以及河谷等复杂地形区域也能够绕开障碍物开展跨越巡飞。无人机采集完影像数据后,巡检人员通过定位杆号设备编号以及故障特征匹配便可精确锁定异常点位置,借助地理信息标注与飞行路径记录,可迅速形成故障点分布图。随后针对已识别的异常部位能够依据影像信息来确定所需工具以及巡检路径,从而定点定向地开展抢修且防止规避了传统大范围人工排查方式所造成的时间浪费与资源的重复消耗。另外,无人机巡检在 10kV 配电线路故障应急处置时还可凭借多角度高分辨率影像迅速剖析导线负载状态,杆塔倾斜状况以及周边环境风险,进而对安全作业流程与检修

策略制定提供数据支持,一方面保障巡检和抢修能够同步推进,另一方面则降低作业人员在险峻地形以及高空环境中的暴露风险,构建起连续且高效的故障快速定位作业体系。

3.3 极端天气应急巡检

在极端天气状况里 10kV 配电线路的安全运行会遭遇诸多威胁,比如台风强风力施加影响致使杆塔结构出现变形、导线和金具因冰雪覆盖而承载异常等等。在这种极端天气条件下,为保障线路运行连续性往往需要开展应急巡检,但传统人工巡检不仅难以开展,并且风险性极高,稍有不慎财产损失甚至人员伤亡事故!而无人机则可以很好地规避这些问题,其针对极端天气应急巡检的具体操作为:在极端天气中,巡检人员依据气象间隙让无人机迅速起飞升空,开展 10kV 配电线路重点区段的巡查工作,借助于高清摄像与光学变焦设备在飞行过程里重点检查导线表面有无冰凌附着异物或者局部积雪、检查杆塔及支撑构件是否出现倾斜扭曲、连接螺栓有无松动、查看绝缘子串及金具是否完整,还要确认线路下方通道有没有被倒伏树木或滑坡泥土阻塞。极端天气应急巡检中,无人机借助轨迹调整与低空悬停得以穿越受阻区域多角度获取影像资料,在这个过程中可形成完整的线路损毁点分布图,同时利用地理坐标对每一个异常点进行标定生成可用在抢修调度的空间信息表^[3]。电力企业在巡检结束后依据无人机影像数据,对 10kV 配电线路损毁的类型与程度展开分类工作并制定出分段抢修策略后,随后将抢修人员和设备精准调配至相应位置。另外复电阶段执行复查任务,借助无人机航拍对恢复的线路以及杆塔予以复核,确认杆塔垂直度、导线张力以及绝缘子状态均符合运行标准,以此完成灾后线路运行参数的校验以及安全状态的确认。

3.4 特定部位精细化巡检

10kV 配电线路运行时,线路跨越高速公路、铁路、河流等区域的杆塔和导线段,或是存在易受外力影响的设备点位等特定部位通常须开展高精度且针对性的巡检。这些特定部位借助于无人机低速悬停定点拍摄以及小范围环绕飞行实现精细化巡检,具体操作为:巡检人员会把无人机的拍摄角度以及飞行高度调整到最为合适的参数状态。如此一来确保所获取到的影像不但能将所需巡检的配电线路整体结构涵盖其中,且能够清晰地把细节展现出来。其中,需从不同角度对绝缘子串进行拍摄,以此判断是否有细微裂纹或者污闪痕迹存在;金具的连接部位借助无人机近距离成像检查其紧固状态以及锈蚀程度。同时,跨越段巡检工作当中无人机必须沿着导线走向以缓慢的速度飞行,目的是保证能够精确测量弧垂状况以及与外部障碍物之间的安全距离。借助于无人机的巡检有效避免视野受限的状况下人工巡检存在遗漏隐患的可能性,同时精细化巡检的成果资料可直接作为 10kV 配电线路特定部分的检修依据,从而切实增强配电线路运行的可靠性与安全系数。

4 优化无人机巡检应用效果的建议

4.1 巡检航线与任务规划优化

航线规划会对 10kV 配电线路无人机巡检作业效率以及成果质量产生较大的影响,比如当无人机航线设置不合理时会出现巡检盲区或重复覆盖,继而造成数据冗余以及作业时间延长。为此,航线优化上须根据地形特、征杆塔位置以及线路走向构建分级巡检航线模型,将无人机巡检线路依照跨距以及地形类型划分成若干区段,针对每个区段设计差异化航迹。对山地丘陵区段而言,可运用分层高度飞行模式,以此保证导线以及杆塔的全景都处在拍摄范围之内;在乡镇居民的密集区段当中低速短距航点模式应当被采用,防止成像效果受到建筑物遮挡的影响;在跨越河流公路等特殊部位时,要在航迹里增添定点悬停环节,以此确保对关键部位有完整记录^[4]。另外,任务规划的优化则需依据季节性与气象条件做出调整。在夏季植被处在茂密状态,此时要增添通道清障的点位,而在冬季针对易结冰的区段则需增加杆塔基础的巡检工作。借助于无人机巡检航线与任务规划优化除有效提升效率与覆盖度外,同时也可以为不同班组巡检提供统一依据避免因操作差异导致成果不一致。

4.2 传感器配置与数据采集精度提升

无人机搭载传感器的配置与数据采集的精度在极大程度上决定着巡检效果的优劣。因而须结合 10kV 配电线路特点在无人机之上配备能够适配各种不同作业场景的成像设备。为满足对绝缘子、金具及导线等外观缺陷的直观识别需求,常规巡检无人机搭载高分辨率可见光相机即可。对在杆塔顶部或跨越区等视角受限之处,需借助变焦镜头来获取细节图像,防止遗漏微小裂纹或者松动部件。在作业在复杂环境时,无人机需运用多角度拍摄的形式以保证影像信息完整全面。同时在飞行期间为能够进一步把采集精度予以提高,要对无人机稳定性加以控制防止飞行姿态出现偏差或者气流产生扰动而致使图像变得模糊。另外,电力企业可明确规定每个杆塔要采集的影像数量、角度以及清晰度标准等统一的数据采集规范,同事对拍摄顺序与保存格式也予以明确。借助于优化硬件配置与采集标准既有利于巡检资料可用性以及缺陷识别精度的提升,又能为后续检修给予可靠的依据。

4.3 作业管理与运维协同优化

10kV 配电线路无人机巡检中除飞行作业环节外,还与

任务分配、人员协作,以及成果运维等多个环节密切相关,一旦缺乏科学的管理机制易于出现任务重复、信息孤立以及资源浪费等情况。因而须针对作业管理与运维协同展开优化,以此提升无人机巡检应用效果。在作业组织层面构建标准化管理制度,针对无人机巡检任务的申请批准执行,以及成果归档拟定清晰流程,保证各环节衔接有序。人员配置层面实施分工协同机制,把飞行操作、影像整理以及缺陷分析等无人机 10kV 配电线路巡检职责清晰分配,防止同一环节对单人经验过度依赖。同时电力企业还应搭建起跨班组及跨区域成果共享平台,借助此平台不同的作业单位可以及时获取已有的巡检资料,进而让重复作业的情况得以减少。针对无人机巡检发现的 10kV 配电线路缺陷实施信息快速传递机制,以便于检修部门可以即时获取具体点位与影像资料提升故障处理效率^[5]。另外,电力企业还须实施运维与巡检定期会商机制。针对重复性缺陷或者常见问题及时就维护策略与巡检重点作出调整,以此形成闭环管理模式。借助于优化作业管理制度和运维协同机制能够有效提高无人机 10kV 配电线路巡检成果的利用效率,进而提升整体运维水平。

5 结语

综上所述,在保障作业安全、提升巡检精度,以及支持智能化管理等方面展现出显著优势的无人机,其在 10kV 配电线路巡检里的应用已然成为电网运维至关重要的一部分。上文结合国内实际对无人机在日常巡、检故障定位、极端天气应急,以及特定部位精细化检查的应用模式予以系统阐述,同时给出优化航线规划、提升传感器配置精度、优化作业管理与运维协同等针对性建议,从而为电力系统运行的稳定性和可靠性给予坚实有力的支撑。

参考文献

- [1] 于子涵.无人机在高压输电线路智能巡检中的研究与应用[J].科海故事博览, 2023(7).
- [2] 孙政樑,马立博,焦政国,等.无人机在架空输电线路智能巡检中的应用[J].农村电气化, 2025(1):42-45.
- [3] 王凤超,李晓璇,王冬,等.无人机技术在电力智能巡检中的应用[J]. 2024(5):282-283.
- [4] 陈思国.农网配电运检中无人机智能巡检技术的应用与优化研究[J].数字农业与智能农机, 2025(7).
- [5] 冯伦.无人机巡检技术在输电线路智能监控系统中的集成与应用[J].建设科技, 2024(S1):81-83.