

基于无人机技术的配电线路巡检与故障处理研究

何猛

(国网陕西电力咸阳供电公司)

【摘要】在现代电力网络中,配电线路分布广泛且走向复杂,常穿越山林、河流等地形。传统人工巡检不仅效率低、周期长,还难以发现隐蔽性故障,遇上极端天气更难开展工作。无人机技术凭借灵活、高效等特性,为配电线路巡检与故障处理带来全新解决方案。文章围绕基于无人机技术的配电线路巡检与故障处理展开研究,分析无人机在配电线路巡检中的技术优势,探讨巡检作业流程、故障检测识别方法以及故障处理策略,旨在提升配电线路巡检效率与故障处理能力,保障电力系统安全稳定运行。

【关键词】无人机技术;配电线路;巡检;故障处理

中图分类号: TM75

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.026

Research on Distribution Line Patrol and Fault Handling Based on UAV Technology

HE Meng

(State Grid Shaanxi Electric Power Co., Ltd. Xianyang Power Supply Company)

【Abstract】In modern power networks, distribution lines are widely distributed and complex, often crossing mountains, forests, rivers and other terrain. Traditional manual inspection is not only inefficient and long-cycled, but also difficult to detect hidden faults, making it more difficult to carry out work in extreme weather. With the characteristics of flexibility and efficiency, UAV technology brings new solutions for distribution line patrol and fault handling. This paper focuses on the research of the patrol and fault handling of distribution lines based on UAV technology, analyzes the technical advantages of UAVs in the patrol of distribution lines, and discusses the operation process, fault detection and identification methods and fault handling strategies, aiming to improve the efficiency and fault handling ability of distribution line patrol and ensure the safe and stable operation of the power system.

【Keywords】drone technology; distribution line; patrol; troubleshooting

1 引言

随着社会对电力需求的持续增长,配电线路规模不断扩大,而传统巡检方式在效率、准确性及安全性方面存在较多限制。无人机具备机动灵活、作业效率高且可抵达复杂区域的特性,已逐步成为配电线路巡检领域的重要工具。基于无人机技术开展配电线路巡检及故障处理研究,对及时发现线路隐患、快速处置故障及提升供电可靠性具有十分重要的作用,也是推动电力运维智能化的关键环节。

2 无人机技术巡检配电线路的应用背景

现代电力供应体系中,配电线路是连接变电站与用户的关键枢纽,运行状况直接决定供电稳定可靠性。近年来,城市化进程加快、经济快速发展,社会电力需求持续攀升,配电线路规模持续扩大,不仅

长度大幅增加,分布范围也更广泛,交错于城市各角落,并延伸至偏远山区、辽阔林地和复杂水域等多元地形区域^[1]。

随着科技快速发展,无人机技术兴起,为配电线路巡检提供新方案。无人机机动性强、操作灵活,可便捷抵达人工难及区域,实现配电线路全方位无死角巡检。通过配备高清摄像设备、红外热成像仪和激光雷达等传感器,可对配电线路开展图像、温度、空间位置多维度实时数据采集。这些数据经专业软件分析处理后,能准确识别导线断股、绝缘子断裂、线路接头温度过高等各类缺陷,提升检测准确性。

3 基于无人机技术进行配电线路巡检方法

3.1 多源融合的路径规划

配电线路多呈迂回曲折形态,需穿越各类复杂

地形,为保障无人机巡检的全面性与高效性,多源融合路径规划技术的应用尤为关键。该规划技术整合地理信息系统(GIS)数据、配电线路三维模型信息及实时气象资料^[2]。在地理信息采集环节,采用高精度卫星地图数据,分辨率达0.1m,可清晰呈现线路周边地理特征(如高山、河流、建筑物布局等);同时运用激光雷达扫描技术构建配电线路三维模型,精度达厘米量级,可精准呈现线路走向、杆塔位置及高度信息。气象信息通过与地方气象机构协作获取,涵盖风速、风向、降雨概率等即时数据(见图1)。

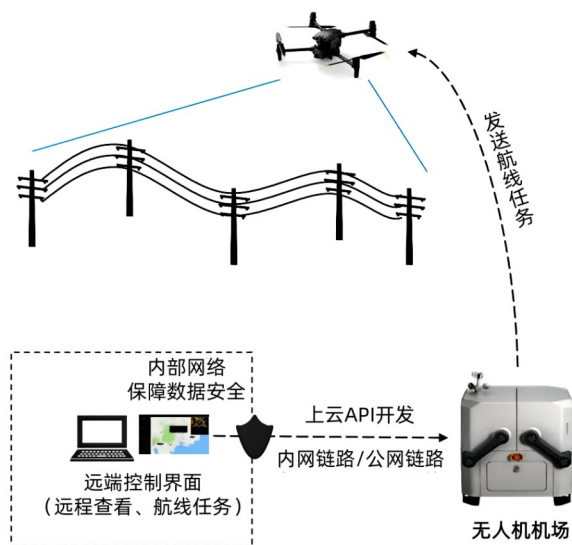


图1 电力巡检示意图

3.2 AI视觉缺陷筛查

无人机搭载高清摄像头开展巡检时,会采集大量线路影像,借助AI视觉缺陷筛查技术,可快速精准识别线路故障^[3]。其搭载的摄像头分辨率通常可达4K(3840×2160像素),能清晰捕捉线路细节信息。图像采集过程中,设定每秒5张~8张的拍摄频率,确保线路实现全方位覆盖。收集的图像传送至地面站后,采用基于深度学习的卷积神经网络(CNN)技术开展深度分析。

训练CNN模型时,需使用包含导线断股、绝缘子断裂、金具锈蚀等各类缺陷的大量样本图像,样本数量通常达数万张乃至数十万张。模型经多次训练后,对常见线路缺陷的识别准确率可超过90%。例如,针对导线断股场景,该模型可有效识别直径超过0.5mm的微小断股;针对绝缘子破损,可探测到面积1cm²以上的破损区域。

实际筛查阶段,先对影像开展预处理以提升对

比度与清晰度,再将其输入训练完成的模型。模型对图像特征进行提取与分析,快速判定是否存在缺陷及缺陷类型。该筛查流程仅需数秒即可完成,相较于人工逐张查看图像,效率提升数十倍,大幅缩短故障检测耗时,为故障即时处置提供强有力支撑。

3.3 动态参数调整

配电线路巡检环境复杂多样,无人机需依据实时环境条件动态调节运行参数,方可保障巡检效果与飞行安全。飞行高度作为核心参数,在常规平坦地形区域,设定为距离线路10m~15m,既能保障拍摄图像的清晰度,又能兼顾视野覆盖范围;若途经高大建筑物或地形起伏较大区域,飞行高度可依据实际场景自动适配调节^[4]。例如,接近高度50m的建筑物时,可将飞行高度提升至30m~40m,既有效规避碰撞风险,又能确保完整拍摄线路与建筑物附近的连接段。

飞行速度同样需动态调整:在线路直线段且环境条件良好时,可将飞行速度调整为10m/s~15m/s,以提升巡检效率;若途经线路弯道或遭遇强风干扰,则需将飞行速度降至5m/s~8m/s,以保障无人机飞行稳定性及拍摄图像质量。此外,云台角度会随线路走向实时调节,当线路出现大角度拐弯时,云台会自动转动,确保摄像头始终竖直对准线路,进而保障拍摄图像清晰且完整呈现线路细节。通过对上述动态参数的实时调节,无人机可有效适配巡检环境的复杂性,进一步提升巡检精度与运行可靠性。

4 基于无人机技术的配电线路故障处理

4.1 简易故障独立维修

配电线路巡检过程中,无人机可对部分简单故障开展自主处置,有效提升故障处理效率。以线路异物清除这一常见简易故障处置为例,无人机通常搭载机械臂或高压脉冲放电装置:采用机械臂清除方式时,无人机搭载的机械臂长度通常为0.5m~1m,可依据异物与线路的距离灵活调整伸展长度;机械臂末端夹爪的最大夹持力约为50N~80N,足以抓取塑料布、风筝等常见异物^[5]。执行任务前,无人机借助搭载的高清摄像头与图像识别算法确定异物位置,定位精度可达±5cm,据此精准控制机械臂完成异物抓取。

针对难以直接接触的轻量级缠绕异物,高压脉冲放电装置为适宜处置方案。该装置生成的高压脉冲电压通常为 10kV~20kV,脉冲宽度为 10μs~50μs。无人机检测到异物后,会飞行至距异物 3m~5m 处,调整放电装置角度对准异物并发射高压脉冲。高压脉冲形成的强电场将空气电离为等离子体通道,瞬时产生高温高压,使异物经高温烧蚀或受冲击力脱离线路。实验数据表明,在电压与距离适配的条件下,该方法清除轻质异物的成功率可达 85%~95%。

再如针对线路触点轻微氧化导致的接触不良问题,无人机可搭载小型打磨装置、导电膏涂抹装置等。当打磨装置旋转速度处于 500 转/分钟~800 转/分钟时,可高效清除触点表面氧化层;导电膏涂抹过程中,需将每平方厘米涂抹量控制在 0.1g~0.2g,确保触点具备良好导电性。通过这些自主处置手段,可及时化解简单故障,避免故障升级为严重事故,保障配电线路稳定运行。

4.2 复杂故障的空地抢修

针对线路断股、杆塔倾斜等复杂故障,需采用空地配合的抢修模式。故障发生后,无人机可快速抵达现场,开展全方位勘测。无人机搭载的激光雷达可对故障区域进行高精度三维建模,建模精度达 ±10cm,同时获取杆塔高度、倾斜角度、线路弧垂等关键参数。若设杆塔倾斜角度为 α ,激光雷达可测得杆塔顶部与底部的水平位移差值 Δx 及杆塔高度 h ,通过公式 $\Delta x = \alpha/h$ 计算倾斜角度,为后续抢修方案制定提供精准依据。

地面抢修人员根据无人机回传的勘测信息,筹备对应抢修材料与装备。例如处理线路断股故障时,需根据断股部位、断股数量及导线规格,配备适配长度与类型的导线接续管及压接工具。针对 10kV 配电线路,常用导线接续管长度为 20cm~30cm,压接压力需控制在 10MPa~15MPa,以保障接续部位的稳固性。

抢修过程中,无人机承担辅助定位与实时监测职能。借助 GPS 与惯性导航系统,无人机可精准悬停于指定位置,为地面人员提供高空定位参照,并指导其精准架设抢修设备。同时通过热成像仪、高清摄像头等设备,对抢修部位温度变化及施工质量实施实时监控。例如导线压接作业时,通过热成像仪监控压接部位温度,正常压接温度应控制在 50℃~

80℃;若出现温度异常上升,可能为压接不牢固或接触电阻过大所致,需及时提醒抢修人员调整作业。

5 结语

综上,无人机技术在配电线路巡检与故障处理中的应用展现出显著优势,通过优化无人机系统构成、改进巡检作业流程、强化故障检测与处置能力等措施,可有效提升配电线路运行维护水平。

未来,随着无人机技术、传感器技术及人工智能技术的持续发展,以无人机为核心载体的配电线路运维模式将更趋智能化与高效化,为电力系统可靠性筑牢坚实保障。

参考文献

- [1] 翟寅生, 倪应豪. 配电线路的无人机巡检技术分析[J]. 电子技术, 2024, 53 (9): 214-215.
- [2] 周鼎, 何涛, 周杰, 黄亮, 杨国林. 基于迁移学习方法的架空配电线路无人机精准定位及拍摄技术研究[J]. 供用电, 2024, 41 (10): 68-74+83.
- [3] 赵毅, 李冰然, 马骏, 傅洪全, 张宇宇. 配电无人机巡检技术开发及应用研究[J]. 电力设备管理, 2024 (19): 181-183.
- [4] 马广俊, 张宗凯, 徐爱娟, 杜远韬, 陈华东, 杨绍哲. 无人机在输配电线路的研究与应用[J]. 矿业装备, 2024 (S1): 46-47.
- [5] 张昊洋, 刘英顺, 张光远, 赵俊杰, 张国春, 仇靖. 无人机技术在输配电架空专业中的应用[J]. 农村电气化, 2024 (9): 25-27.