

无人机在电网设备隐患排查中的应用

唐彬

国网荆州市荆州区供电公司, 湖北 荆州 434100

DOI:10.61369/EPTSM.2026020007

摘 要： 无人机凭借机动灵活、部署快速和多传感器搭载能力，在电网设备隐患排查中可实现对输电线路与变电站设备的高效巡检与影像留存。本文围绕无人机巡检平台与载荷配置、典型应用场景及隐患识别要点展开概述，并从效率、安全、质量与管理闭环等方面总结应用成效。针对气象影响、续航受限、合规管控与数据处理压力等问题，提出标准化作业、安全风险控制、数据质量规范、智能识别与协同巡检等优化策略，为电网运维数字化与智能化提供参考。

关 键 词： 无人机；电网巡检；隐患排查；红外热成像；智能识别；闭环管理

Application of UAV in Hidden Hazard Inspection of Power Grid Equipment

Tang Bin

State Grid Jingzhou Jingzhou District Power Supply Company, Jingzhou, Hubei 434100

Abstract： With high mobility, rapid deployment, and multi-sensor payloads, drones enable efficient inspection and evidence collection for power grid equipment, including transmission lines and substations. This paper outlines drone platforms and payload selection, typical application scenarios, and key points for defect identification. It also summarizes practical benefits in terms of efficiency, safety, inspection quality, and closed-loop management. To address challenges such as weather constraints, limited endurance, compliance and safety control, and heavy data processing workloads, optimization strategies are proposed, including standardized operations, risk management, data quality control, AI-assisted detection, and collaborative inspection workflows, supporting digital and intelligent grid O&M.

Keywords： UAV; power grid inspection; defect detection; infrared thermography; AI-assisted recognition; closed-loop management

引言

随着电网规模持续扩大和设备服役年限增长，输电线路与变电站设备面临的老化、松动、腐蚀、发热及外力破坏等隐患日益增多。隐患若不能被及时发现并处置，可能引发设备故障、停电事故甚至安全生产风险。因此，构建高效率、高覆盖率、可追溯的隐患排查体系，是提升电网可靠性与运维管理水平的重要基础。

目前电网巡检仍以人工步巡、车巡等方式为主。该类方式在复杂地形、跨越区段和高空部位存在可达性差、作业风险高的问题；同时受人员经验、视距条件与巡检周期限制，易出现漏检与复检成本高等情况。对突发缺陷的快速响应也较为不足，难以满足精益化运维和状态检修的管理需求。

无人机凭借机动灵活、视角多样、部署快速等特点，可搭载高清可见光与红外热成像等载荷，对高处、远距离及危险区域设备开展近距离、非接触式巡检，实现对缺陷的快速发现与图像留存。其应用有助于提升巡检效率、降低人员风险，并为后续数据分析与闭环治理提供依据。因此，研究无人机在电网设备隐患排查中的应用模式与效果评价，对推动电网运维数字化与智能化具有现实意义。

一、无人机巡检技术概述

无人机巡检是指利用具备自主或半自主飞行能力的平台，搭载多种传感器对电网设备进行近距离观测与数据采集，并通过回传或离线处理形成隐患判别依据的作业方式。与传统人工巡检相比，无人机能够在不接触带电体的前提下进入高空、跨越区段或

人员难以到达的区域，具有机动性强、部署速度快、观测角度灵活等特点，逐渐成为电网精益化巡检的重要补充手段。

从平台类型看，电力巡检常用无人机主要包括多旋翼与固定翼两类。多旋翼无人机具备悬停能力，易于在杆塔、金具、绝缘子串等部位进行定点拍摄与细节取证，适合精细化巡检和缺陷复核；其不足在于航时相对较短、抗风能力受机型影响较大。固定

翼或复合翼无人机航程远、效率高，适用于通道巡检、长距离线路快速巡视和大范围灾后排查，但因悬停与近距离机动能力较弱，通常更侧重宏观巡查与疑似缺陷定位。实际应用中往往根据地形条件、任务半径、缺陷精细度要求以及安全管控等级选择机型，并与人工登塔或地面检测形成分工协同。

在载荷配置方面，无人机巡检以可见光成像为基础，常配备高清相机、变焦云台以实现远距离取景与局部放大，满足对导线、绝缘子、金具螺栓、线夹、间隔棒及杆塔构件等外观缺陷的识别需求。红外热成像载荷用于发现连接点发热、接触不良、负荷不均等热缺陷，可在早期预警阶段提供重要线索；在光照复杂或对比度不足的场景中，还可通过多角度拍摄与图像增强提高判读可靠性。部分任务会配置激光测距、照明补光等辅助模块，以提升定位精度与夜间/阴影区采集质量。总体而言，载荷选择应围绕“缺陷类型—可观测特征—可用传感器”进行匹配，避免盲目堆叠导致续航下降与数据冗余。

无人机巡检作业流程通常包括任务规划、现场执行、数据处理与结果输出四个环节。任务规划阶段需完成巡检对象梳理、航线与起降点选择、禁飞区与电磁环境评估、气象窗口判定以及安全措施布置；现场执行阶段按预设航线飞行采集，并对关键部位进行多角度、不同焦段取证，同时记录杆塔编号、相位信息与拍摄时间等元数据，确保后续可追溯；数据处理阶段可采用人工判读、半自动标注或算法辅助识别，对疑似缺陷进行分类分级，并与历史台账或既往缺陷进行对比；结果输出阶段形成巡检报告或工单，明确缺陷位置、类型、严重程度、建议处置措施与复核方式，推动闭环整改。

需要强调的是，无人机巡检并非简单“拍照替代人工”，其效果取决于标准化作业、数据质量控制与管理流程衔接。一方面要通过统一的拍摄规范（角度、距离、分辨率、命名规则等）提高图像可用性；另一方面要建立缺陷样本库与判别规则，减少误报漏报，并与运维检修计划、应急抢修机制实现联动，从而真正发挥无人机在电网设备隐患排查中的效率与价值。

二、无人机在隐患排查中的具体应用场景

无人机在电网设备隐患排查中的价值，主要体现在“看得更近、覆盖更广、到达更快、留痕更完整”。结合电网运维实际，无人机应用场景可归纳为输电线路巡检、变电站设备巡检以及典型隐患识别与复核三类，并可与人工、车巡等方式形成互补。

1. 输电线路隐患排查：输电线路点多、线长、分布广，且常跨越山地、河流、林区与居民区。无人机可沿通道快速巡视，对以下部位进行重点排查：导线与地线：导线断股、磨损、弧垂异常、异物挂线、阻尼线夹/间隔棒缺失或移位等。通过高清变焦拍摄可实现细节取证，便于后续复核与检修安排。绝缘子与金具：绝缘子破损、污闪痕迹、瓷件裂纹、复合绝缘子伞裙缺陷，及金具锈蚀、销钉脱落、螺栓松动等。无人机可利用多角度拍摄减少遮挡，提高缺陷可判读性。杆塔本体与基础：塔材变形、构件缺失、螺栓松动、塔身倾斜、基础开裂、边坡塌方等。对地形复杂

或灾后场景（强风、冰雪、山火、洪涝）尤其适用，可快速定位受损区段并指导抢修。通道环境：树障超高、违章建筑、施工机械侵入、漂浮物/风筝线、鸟巢与动物活动等。无人机能够在不进入危险区域的情况下完成通道巡检，并对隐患点进行坐标化记录。

2. 变电站设备巡检：在变电站场景，无人机更多承担“外观异常发现+热缺陷初筛”的角色，适用于站内巡视效率提升和特殊时段加密巡检。典型对象包括：一次设备外观检查：套管表面裂纹与污染、隔离开关机构异常、母线与引线连接部位松动、设备瓷件破损及异物搭挂等。红外热成像排查：对刀闸触头、母线搭接点、线夹、端子排等易发热部位进行热异常筛查，识别“接触不良、负荷不均、连接电阻增大”等早期风险。辅助设施与安全区域：围墙、消防通道、站内高空构架、避雷器外观、站内杂物与漂浮物风险等，适合用无人机进行快速巡视与影像留存。需要注意的是，变电站电磁环境复杂、空间相对受限，应在明确飞行边界与安全距离的前提下开展作业，必要时与站内作业许可、监护制度相衔接，确保安全可控。

3. 典型隐患识别要点：无人机发现隐患通常依赖两类“可观测特征”：可见光特征：裂纹、破损、锈蚀、缺失、移位、松动、放电烧蚀痕迹、异物搭挂与通道侵入等；重点在于图像清晰度、拍摄角度与对关键部位的覆盖完整性。热特征：连接点温升异常、热斑分布不均、同相对比差异明显等；重点在于同工况对比、环境温度与风速影响控制，以及对“可疑热缺陷”的复验证。

4. 与传统方式的对比与协同：相较人工步巡/登塔：无人机效率更高、安全风险更低，且影像可留存便于追溯；但对极细微缺陷、隐蔽部位和触诊/力矩检查仍需人工补充。相较车巡：无人机不受道路条件限制，适合通道内、跨越区段和灾后快速排查；车巡更适合常态化沿线巡视与基础信息核查。相较直升机巡检：无人机成本更低、部署更灵活，更适合日常与加密巡检；直升机适合超长距离快速巡查与特定区域任务，但受成本和审批影响较大。

综合来看，无人机更适合作为电网隐患排查的“高效发现与定位工具”，在疑似缺陷识别、灾后快速摸排、危险区域取证等方面优势明显；同时通过与人工检修、地面检测手段的协同，可形成“空中发现—地面确认—闭环处置”的高效流程。

三、应用成效、问题与优化策略

无人机参与电网设备隐患排查后，整体运维模式从“周期性人工巡查”逐步向“快速发现、数据驱动、闭环处置”转变。其应用成效可从效率、安全、质量与管理四个维度进行评价，同时也暴露出气象适应性、续航能力、合规与数据处理等方面的限制，需要通过技术与管理协同优化。

1. 应用成效与评估指标：效率提升：无人机可在短时间覆盖多个杆塔与通道区段，适用于加密巡检和灾后快速摸排。评估时可采用“单日覆盖里程/杆塔数、单缺陷发现耗时、应急响应到场时间”等指标。安全改善：减少人员攀登杆塔、进入滑坡/水

域/施工风险区的频次,降低高空坠落、触电与交通风险。可通过“高风险作业替代率、现场人员暴露时长”等指标衡量。缺陷发现质量提升:多角度高清取证与红外筛查,有助于发现肉眼难以稳定识别的缺陷并形成可追溯证据。可采用“缺陷发现率、漏检率、误报率、复核一致性”等指标。管理可追溯性增强:巡检影像、航迹与时间戳使得过程可审计,便于形成台账与整改闭环。可采用“工单闭环周期、缺陷复发率、资料完备率”等指标综合评估。

2. 主要问题与风险:气象与环境影响显著:强风、降雨、低温、雾霾及强光逆光会影响飞行安全与成像质量;山区乱流、林区遮挡也会降低稳定性与定位精度。续航与载荷矛盾:高倍率变焦、红外、补光等载荷增加功耗与重量,导致航时缩短;长距离线路巡检需要频繁换电与转场,影响连续作业效率。合规与安全管控要求高:涉及空域管理、禁飞区、站内飞行许可及人员安全隔离;同时电网场景存在电磁环境复杂、近电作业风险、鸟群干扰等不确定因素。数据量大、处理压力高:高分辨率视频与图片带来存储与传输成本;缺陷判读依赖经验,标准不统一易导致误报漏报。成果难以闭环:若巡检结果无法与设备台账、缺陷等级与检修计划联动,容易出现“发现了但没推动处置”的断点,削弱应用价值。

3. 优化策略建议:标准化作业与安全管控:建立统一的巡检SOP,包括航线规划模板、起降点选择、最小安全距离、风险分级与应急预案;在变电站等高风险区域落实监护与许可制度。对气象条件设置明确阈值,并配置必要的失联返航、避障与禁飞区

校验机制,确保“可飞、能飞、飞得安全”。提升数据质量与可用性:制定拍摄规范,强化“编号—位置—相位—时间”元数据记录,保证缺陷可定位、可复核、可追溯;对红外应用建立同工况对比规则,形成温升判别基线,减少环境因素造成的误判。数据智能化处理与缺陷库建设:将巡检影像与历史缺陷样本沉淀为标准化缺陷库,推动自动/半自动识别模型应用,实现疑似缺陷初筛、相似缺陷检索与趋势对比,降低纯人工判读压力;同时引入抽检复核机制,持续校正算法与人员判读一致性。协同作业模式优化:构建“无人机普查—疑点复拍—地面确认—检修处置”的分层流程:无人机负责高频覆盖与快速定位,人工负责关键缺陷复核与处理决策;对长线路可采用固定翼通道巡查+多旋翼精细取证的组合,提高整体效率。

总体而言,无人机巡检的关键不在于“是否使用无人机”,而在于能否形成标准化、可量化、可闭环的运维体系。

四、结语

综合以上分析,无人机在电网设备隐患排查中能够有效弥补传统人工巡检在高空、远距离与复杂地形场景下的不足,通过高清可见光与红外等手段实现快速覆盖、近距离取证与风险点定位,显著提升巡检效率与作业安全性。同时,影像与航迹数据的留存增强了巡检过程的可追溯性,为缺陷分级、检修决策与闭环管理提供了数据基础。总体来看,无人机已从“辅助工具”逐步发展为电网精益化运维的重要组成部分。

参考文献

- [1] 缪希仁, 刘志颖, 鄢齐晨. 无人机输电线路智能巡检技术综述 [J]. 福州大学学报 (自然科学版), 2020, 48(2): 198–209. DOI: 10.7631/issn.1000-2243.19629.
- [2] 王万国, 田兵, 刘越, 刘伟, 李建祥. 基于 RCNN 的无人机巡检图像电力小部件识别研究 [J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(2): 256–263. DOI: 10.3724/SP.J.1047.2017.00256.
- [3] 刘智勇, 赵晓丹, 祁宏昌, 李艳飞. 新时代无人机电力巡检技术展望 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(4): 1–5. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.001.
- [4] 光明, 鄂爱东, 钱凤阳, 苏力德, 王佳琦. 基于三维激光扫描技术的输电线路无人机巡检方法分析 [J]. 内蒙古电力技术, 2019, 37(1): 21–24.
- [5] 国家电网公司. Q/GDW 11384—2015 架空输电线路固定翼无人机巡检系统 [S]. 北京: 国家电网公司, 2015.