

输电线路缺陷主动发现模式下无人机智能巡检技术实践

卢小军*, 胡 阳

(国网甘肃省电力公司白银供电公司, 甘肃 白银 730900)

摘要: 传统输电线路巡检中, 发现缺陷主要依赖人工经验, 存在巡检效率不高、重点部位覆盖不足、隐患排查不及时等问题。为提升输电线路缺陷主动发现能力, 文章提出一种无人机智能巡检技术。该技术通过优化标准化作业流程, 构建典型缺陷巡检场景, 制定差异化巡检策略, 实现了对导线、地线、绝缘子、金具及通道隐患的主动排查。结合现场应用情况, 从作业效率和缺陷识别成效两方面进行分析, 验证了该技术的实用性和工程应用价值。

关键词: 无人机; 输电线路; 缺陷主动发现

中图分类号: TM766

DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2604F019

CSTR: 32400.14.ncdqh.2604F019

Practical Application of UAV-based Intelligent Inspection Technology for Active Defect Discovery on Transmission Lines

Lu Xiaojun*, Hu Yang

(State Grid Gansu Electric Power Company Baiyin Power Supply Company, Gansu Baiyin 730900, China)

Abstract: In traditional transmission line inspection, defect discovery mainly depends on manual experience, resulting in low inspection efficiency, insufficient coverage of key parts, and delayed identification of hidden hazards. To improve the active defect discovery capability of transmission lines, this paper proposes a UAV-based intelligent inspection technology. This technology optimizes standardized operation procedures, constructs typical defect inspection scenarios, and formulates differentiated inspection strategies. It enables active inspection of conductors, ground wires, insulators, fittings, and line corridor hazards. Based on field application, this paper analyzes the technology in terms of operation efficiency and defect identification performance, and verifies its practicality and engineering application value.

Keywords: UAV; transmission line; active defect discovery

无人机具有机动灵活、巡视范围广、作业风险低等特点, 已成为输电线路运维中的常用技术手段。近年来, 智能化无人机巡检技术已在缺陷识别、图像分析和现场巡视中得到应用^[1-2], 巡检作业组织与管控模式也在持续优化^[3]。围绕复杂环境下线路的自主导航与避障研究不断推进, 为无人机稳定开展巡检作业提供了技术支撑^[4-5]。本文结合输电线路现场运维实际, 构建缺陷主动发现模式下的无人机智能巡检实施方案, 并对其应用成效进行分析, 为输电线路巡检模式优化提供参考。

1 实施方案

1.1 无人机智能巡检标准化作业流程

为保障输电线路无人机智能巡检作业安全、有

序、高效开展, 作业全过程应依照规范化流程组织实施。结合 DL/T 1482—2023《架空输电线路无人机巡检作业技术导则》要求, 作业过程可划分为任务准备、资料核查、航线策划、现场勘查、设备检查、起飞巡视、影像回传、缺陷判读和成果整理等环节。在缺陷主动发现模式下, 资料核查与航线策划主要支撑重点区段筛选, 现场勘查与设备检查主要支撑异常工况识别, 起飞巡视、影像回传与缺陷判读主要支撑疑点复核安排, 使标准化作业流程与缺陷主动发现需求形成对应关系^[6-7]。无人机智能巡检标准化作业流程见图 1。

1.2 输电线路缺陷主动发现需求分析与场景构建

根据输电线路实际情况, 缺陷主动发现集中在线路本体关键部位、附属金具连接位置、通道外部环境及异常工况后重点区段等方面。实际作业中,

收稿日期: 2026-04-14; 修回日期: 2026-05-09

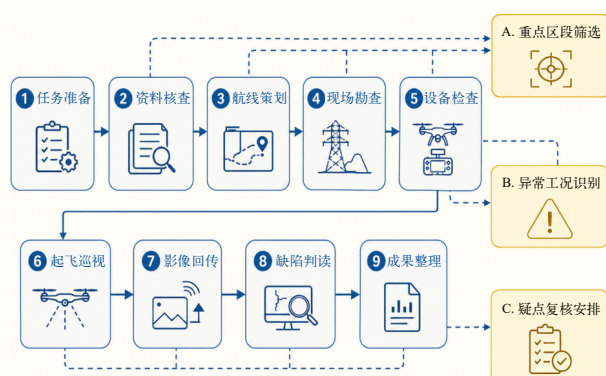


图1 无人机智检标准化作业流程图

导线压接管、悬垂线夹、耐张串、均压环、防振锤、间隔棒等部位易出现松动、偏移、磨损、锈蚀及异物附着等问题；跨越区段、大档距区段、树障邻近区段及大风、降雨后线路区段，也是缺陷排查的重点区域。输电线路缺陷主动发现典型场景见图2。

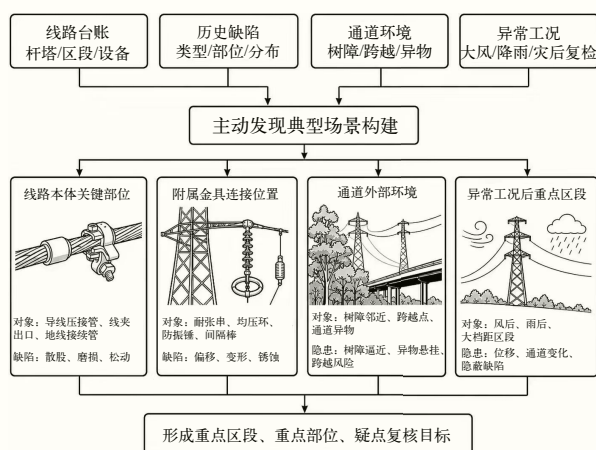


图2 输电线路缺陷主动发现典型场景构建图

1.3 面向缺陷主动发现的无人机巡检策略设计

结合输电线路现场作业特点，缺陷主动发现模式下的无人机巡检应围绕重点区段、重点部位和疑点目标差异化部署。作业前，根据线路台账、历史缺陷记录、通道环境和近期异常工况，明确本次巡检的重点对象，并划分为本体精查、通道排查和疑点复核3类任务。作业实施中，巡检路径以杆塔定位点为基础，按照“区段筛选—目标确认—近距离观察—局部复核”的方式展开，使飞行任务与缺陷排查目标保持一致。

针对导线压接管、线夹出口、地线接续管等部位，宜采用沿线近距连续巡视方式，控制无人机与目标保持相对稳定距离，保证细部特征清晰可辨；

针对绝缘子串、均压环、防振锤、间隔棒等杆塔附属部件，宜采用定点悬停和多角度补拍方式，对连接状态、安装位置和外观异常进行核查；针对通道异物、树障逼近、跨越点隐患等问题，宜采用较大视场范围的俯视或侧视巡视方式，提高外部风险识别效率。发现疑似缺陷后，应立即进行二次靠近复核，补充采集局部细节图像和环境参照信息，避免一次拍摄后判定依据不足，见图3。

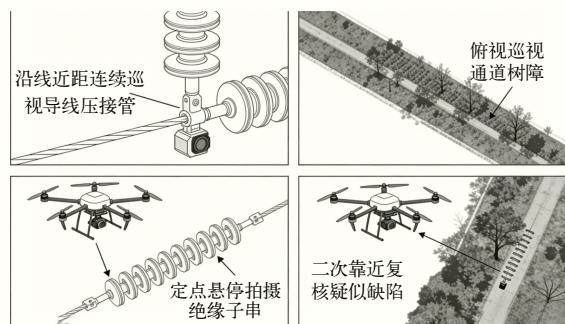


图3 典型缺陷对象差异化巡检与复核示意图

2 无人机智检技术的应用实践

2.1 作业实践

为验证输电线路缺陷主动发现模式下无人机智检技术的应用效果，选取一段220 kV输电线路开展现场作业。作业区段长度为1.36 km，涉及直线塔6基、耐张塔2基，巡视内容覆盖导线连接部位、绝缘子串连接部位、附属金具安装部位及通道邻近区域。结合线路台账、历史缺陷记录和现场勘查结果，对4处重点巡视区段进行标记，并将导线线夹出口、绝缘子串挂点及树障邻近点列为重点目标。无人机巡检速度控制在1.2~1.5 m/s，巡视距离为8~12 m，疑点复核时观察距离缩短至2~4 m。

现场巡视中，在一基耐张塔导线线夹出口位置发现异常。首次巡视图像显示该部位股线排列状态与相邻区域存在差异。无人机减速后进行定点复拍，拍摄距离控制在2.5 m左右，拍摄视角控制在30°~45°。复拍图像显示线夹出口附近股线局部松散，散股长度约35 mm。结合现场影像判读结果，确认该处为导线轻微散股缺陷。

在对绝缘子串连接部位开展多角度检查时，发现连接金具安装状态异常。巡视画面中，该部位构件姿态与相邻正常部位存在明显差异。无人机随后靠近至3 m范围内进行二次复核，并在25°、40°

2个视角下补充采集细节图像。复核结果显示，连接金具存在约12 mm的位置偏移。作业人员同步记录杆塔编号、异常部位和影像信息，形成现场缺陷记录，见图4。

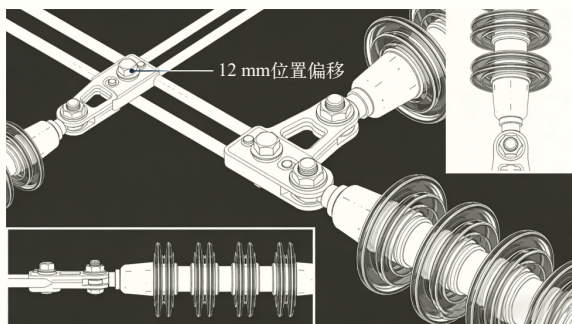


图4 绝缘子串连接金具异常主动发现作业结果图

2.2 成效分析

为评估无人机智能巡检技术在缺陷主动发现中的应用效果，2025年4月现场作业期间，选取同一巡视区段对常规巡检模式与主动发现模式进行统计对比，统计结果见表1。

表1 无人机智检作业效果对比表

巡检模式	巡视长度/km	作业时长/min	重点部位复核数量	疑似缺陷发现数量	有效缺陷确认数量
常规巡检模式	1.36	42	6	4	2
主动发现模式	1.36	31	11	6	4

为表征不同巡检模式下的综合作业效率，引入单位时间巡视效率指标，见式(1)：

$$E = \frac{L}{T} \times \left(1 + \frac{N_r}{N_t}\right) \quad (1)$$

式中： E 为综合作业效率； L 为巡视长度，km； T 为作业时长，min； N_r 为重点部位复核数量； N_t 为巡视目标总数。

为表征缺陷识别成效，引入加权缺陷识别指数，见式(2)：

$$Q = \frac{\alpha N_s + \beta N_e}{N_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中： Q 为缺陷识别成效指数； N_s 为疑似缺陷发现数量； N_e 为有效缺陷确认数量； α 、 β 为权重系数。结合现场统计情况，取 $\alpha = 0.4$ ， $\beta = 0.6$ 。

以常规巡检模式为例，将巡视长度1.36 km、作业时长42 min、重点部位复核数量6处、疑似缺陷

发现数量4处、有效缺陷确认数量2处，以及按本次重点巡视对象统计的巡视目标总数代入式(1)和式(2)进行计算，见表2。主动发现模式下，综合作业效率和缺陷识别成效指数均高于常规巡检模式，说明该模式在单位时间内对重点目标的排查能力更强，疑似缺陷复核和有效缺陷确认效果更好。

表2 2种巡检模式指标计算结果

巡检模式	综合作业效率	缺陷识别成效指数
常规巡检模式	0.088	0.700
主动发现模式	0.500	0.800

3 结束语

本文围绕输电线路缺陷主动发现需求，开展了无人机智检技术实践研究，构建了标准化作业流程、典型缺陷巡检场景和差异化巡检策略。实践结果表明，该技术能够较好适应输电线路重点部位巡视和疑点目标复核要求，在作业组织、重点覆盖和现场判读等方面具有较好的应用效果。

今后仍须在复杂地形、复杂气象和多类型缺陷场景中持续完善应用方式，提高作业适应能力。结合不同电压等级线路和差异化巡检需求，可优化任务编排、目标筛查和疑点复核流程。巡检影像、缺陷台账与运维业务系统的联动应用也有待进一步深化。

参考文献

- [1] 杜怡红. 智能化无人机巡检技术在35 kV输电线路缺陷识别中的应用实践[J]. 产业科技创新, 2025, 7(5):74-77.
- [2] 付晶, 谈家英, 周立玮, 等. 输电线路无人机巡检图像缺陷智能识别方法分析[J]. 高电压技术, 2023, 49(S01):103-110.
- [3] 李宁, 刘兆威, 梁河雷. 输电线路无人机巡检作业管控模式创新[J]. 中国电力企业管理, 2024(30):92-93.
- [4] 张贵涛, 刘贵新, 李旺. 架空输电线路无人机巡检的自主导航与避障技术研究[J]. 智慧中国, 2024(10):94-95.
- [5] 孔繁泉. 无人机自主巡检技术在输电线路中的应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41(10):114-115.
- [6] 高佳程, 王泽跃, 张德帅, 等. 无人机在农村输电线路巡检中的应用[J]. 数字化用户, 2023(5):18-19.
- [7] 卢磊. 农村电网中电力输配电线路安全运行与维护措施研究[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(11):141-142.

作者简介

卢小军(1970)，男，本科，工程师，主要从事输电运检、无人机巡检等工作，E-mail: 419839218@qq.com。

胡阳(1987)，男，本科，工程师，主要从事输电运检、无人机巡检、机械化检修等工作，E-mail: huyang_105@163.com。

(责任编辑:袁航)