

# 无人机在输电线路运维检修中的应用分析

马 潇

宁夏送变电工程有限公司 宁夏 银川 750001

**摘要:** 无人机在输电线路运维检修中的应用已成为电力行业技术革新的重要方向。当前输电线路运维面临地形复杂、规模庞大、故障检测困难等挑战,而无人机凭借不受地形限制、巡检效率高、安全性强、数据采集全面及成本低等优势,在线路巡检、故障诊断、应急救援及施工监控等场景中展现出显著价值。随着技术融合、应用领域拓展、标准化体系完善及产业化发展,无人机技术将进一步推动输电线路运维检修向智能化、高效化方向升级,为电力系统的安全稳定运行提供更强支撑。

**关键词:** 无人机;输电线路;运维检修;应用分析

引言:输电线路作为电力系统的关键基础设施,其运维检修的可靠性直接影响能源供应安全。然而,传统运维模式在面对复杂地形(如山区、跨水域地段)、超长线路规模及隐蔽性故障时,逐渐暴露出效率低、成本高、安全风险大等弊端。近年来,无人机技术凭借机动灵活、视角多元等特性,逐步融入输电线路运维体系,为解决传统难题提供了创新性方案。本文聚焦无人机在输电线路运维检修中的实际应用,系统分析其技术优势、典型应用场景及未来发展趋势,以期为电力行业智能化运维转型提供参考。

## 1 输电线路运维检修面临的挑战

### 1.1 地形复杂

我国地域辽阔,输电线路广泛分布于高山、丛林、荒漠、水域等复杂地形区域。在山区,线路常沿陡峭山脊架设,运维人员徒步巡检不仅耗时长,还可能面临滑坡、坠崖等风险;在水域或沼泽地带,人员及常规设备难以靠近,无法及时对线路进行全面检查。复杂地形极大限制了传统巡检方式的开展,导致巡检效率低且存在诸多安全隐患。

### 1.2 线路规模大

随着电力需求增长,输电线路规模不断扩大,线路长度与杆塔数量持续攀升。长距离、大范围的线路布局,使得人工巡检需耗费大量时间与精力,难以实现高频次、全覆盖的巡查。部分偏远地区线路因距离远、交通不便,单次巡检周期长达数月,无法及时发现线路潜在隐患,给输电线路的安全稳定运行带来巨大压力。

### 1.3 故障检测难度高

输电线路故障成因复杂,包括设备老化、雷击、外力破坏等,且部分故障初期迹象细微,难以察觉。如绝缘子的微小裂纹、线路金具的轻微磨损等,在人工巡检

中易被忽视。此外,一些故障发生在高空或隐蔽位置,常规检查手段难以获取精准信息,增加了故障定位与诊断的难度,影响故障修复效率<sup>[1]</sup>。

## 2 无人机在输电线路运维检修中的优势

### 2.1 不受地形限制

无人机具备灵活的飞行能力,可轻松穿越高山、丛林、水域等复杂地形区域,不受地理条件束缚。无论是陡峭的山脊、广袤的荒漠,还是难以涉足的沼泽湿地,无人机都能快速抵达目标线路,完成巡检任务。这种特性打破了传统人工巡检受地形制约的瓶颈,实现了对各类复杂地形区域输电线路的高效覆盖,大幅提升了巡检的全面性和可行性。

### 2.2 效率高

无人机搭载的自动化巡检系统,能够按照预设航线快速飞行,在短时间内完成长距离输电线路的巡检工作。相比人工徒步巡检,无人机可将巡检效率提升数倍甚至数十倍,且不受恶劣天气、交通条件等因素影响,可实现高频次、全覆盖的线路巡查。通过高效的数据传输和处理,还能及时反馈线路状况,助力运维人员快速响应,缩短故障处理时间。

### 2.3 安全性高

使用无人机进行输电线路运维检修,可避免运维人员直接接触危险环境,降低高空坠落、野外意外等安全风险。在处理带电作业、高风险区域巡检时,无人机无需人员靠近即可完成任务,减少了人员伤亡隐患。同时,无人机配备的避障系统和实时监控功能,能有效保障自身飞行安全,降低作业过程中的安全事故发生率,为输电线路运维提供更可靠的安全保障。

### 2.4 数据采集准确全面

无人机可搭载高清摄像机、红外热成像仪、激光雷

达等多种先进传感器,从多角度、多维度对输电线路进行数据采集。高清图像能清晰捕捉绝缘子裂纹、金具磨损等细微缺陷,红外热成像可精准检测设备温度异常,激光雷达则能获取线路空间三维信息。这些技术的综合运用,使无人机能够全面、准确地掌握线路运行状态,为故障诊断和运维决策提供丰富且可靠的数据支持。

### 2.5 成本低

虽然无人机前期购置存在一定成本,但从长期运维角度来看,其可大幅降低人工成本。无人机减少了对大量专业巡检人员的依赖,无需承担人员薪酬、培训、交通等持续开支。同时,无人机的高效作业缩短了巡检周期,提高了故障处理效率,降低了因线路故障造成的经济损失。

## 3 无人机在输电线路运维检修中的具体应用场景

### 3.1 输电线路巡检

#### 3.1.1 线路通道巡查

无人机凭借灵活的飞行能力,沿输电线路通道开展大范围巡查。其搭载的高清摄像头可实时捕捉线路走廊内的环境变化,快速发现树木生长超限、违章建筑施工、异物缠绕导线等隐患。在山区,无人机能及时监测山体滑坡、泥石流等地质灾害对线路通道的威胁;在城市周边,则可有效监控高层建筑、广告牌等设施与线路的安全距离。通过周期性巡查与动态监测,提前预警通道风险,避免外力因素引发线路故障。

#### 3.1.2 杆塔及线路部件检查

无人机可对输电杆塔及各类线路部件进行全方位检查。飞行过程中,无人机能够贴近杆塔、导线等设备,从不同角度拍摄高清影像,清晰呈现杆塔基础沉降、塔材锈蚀、金具磨损、绝缘子破损等问题。同时,利用变焦镜头和防抖技术,即使在高空也能精准捕捉部件的细微损伤。运维人员通过对采集图像的专业分析,可全面掌握设备运行状态,为制定检修计划提供可靠依据。

#### 3.1.3 精细化巡检

针对已发现隐患或重点关注区域,无人机可开展精细化巡检作业。通过悬停、低速飞行等操作,配合高分辨率成像设备与专业传感器,对目标部位进行毫米级精度检测。例如,采用激光雷达对杆塔结构进行三维建模,精准测量部件尺寸与形变;利用红外热成像技术检测导线接点、绝缘子串的温度分布,识别潜在过热故障。精细化巡检能深度挖掘线路隐患,为故障诊断和维修决策提供详细数据支撑。

## 3.2 故障诊断

### 3.2.1 基于图像识别的故障诊断

无人机在巡检过程中采集海量高清图像,利用深度学习算法构建的图像识别模型,可自动检测绝缘子破损、导线断股、金具缺失等故障特征。该模型通过大量历史故障图像训练,能精准区分正常部件与异常状态,快速定位故障位置并标注严重程度。同时,系统支持图像序列对比分析,追踪故障发展趋势,帮助运维人员预判风险,制定科学的检修策略,显著提升故障诊断的智能化水平。

### 3.2.2 基于红外热成像的故障诊断

红外热成像技术可将输电线路设备的温度差异转化为可视化热像图。无人机搭载高灵敏度红外热像仪,能够捕捉设备表面 $0.1^{\circ}\text{C}$ 级别的温度变化。当线路接点氧化、绝缘子老化等故障发生时,局部会产生异常发热,热像图中呈现出明显的温度异常区域。运维人员通过分析热像图的温度分布和温差数据,可快速定位发热点,评估故障严重程度,实现对隐性故障的早期预警,避免故障扩大引发停电事故。

### 3.2.3 基于紫外成像的故障诊断

紫外成像技术专注于检测输电线路的电晕放电现象,该现象是设备绝缘性能下降的关键征兆。无人机搭载的紫外成像仪能将不可见的电晕放电转化为可见的光子图像,通过分析光子强度和分布,量化放电程度,精准定位绝缘子表面污秽、内部裂纹、绝缘老化等问题。相较于传统检测手段,紫外成像诊断效率更高,可在夜间或复杂电磁环境下作业,为线路绝缘状态评估提供可靠数据支持<sup>[2]</sup>。

## 3.3 应急救援

### 3.3.1 灾情评估

当输电线路遭遇自然灾害或突发事件时,无人机可迅速飞赴现场开展灾情评估工作。它搭载的高清摄像、红外热成像、激光雷达等设备,能快速获取受灾区域的全景图像和三维地形数据。在地震、山体滑坡等灾害中,无人机可通过多角度拍摄,清晰呈现杆塔倒塌、线路断裂、通道受阻等情况;利用红外热成像技术,还能发现因设备损坏导致的异常热源,辅助判断潜在风险。

### 3.3.2 物资运输

在输电线路应急抢修过程中,部分受灾区域地形复杂、道路中断,传统运输方式难以快速送达物资。无人机具备灵活的飞行能力和一定的载荷能力,可承担起关键物资的运输任务。它能够携带绝缘子、金具、抢修工具等小型但急需的物资,精准投递至指定位置,大幅缩短物资运输时间。此外,无人机还可在恶劣天气和夜间条件下执行运输任务,不受地面交通状况限制,为抢修

工作争取宝贵时间。

### 3.4 施工监控

#### 3.4.1 施工进度监控

在输电线路施工过程中,无人机可按设定航线定期对施工现场进行全景拍摄,快速获取大范围施工区域的图像数据。通过将实时图像与施工设计图、进度计划进行对比分析,能够清晰掌握杆塔基础浇筑、铁塔组立、导线架设等各施工环节的完成情况,精准识别进度滞后的部位和原因。同时,无人机还可生成施工区域的三维模型,直观展示施工进度全貌,帮助管理人员及时调整施工计划,合理调配资源,确保工程按期完工。

#### 3.4.2 施工质量监控

无人机搭载的高清摄像设备和专业检测传感器,能够对输电线路施工质量进行严格把控。在杆塔基础施工中,可利用无人机近距离拍摄检查基础尺寸、钢筋绑扎等是否符合设计要求;铁塔组立过程中,通过高清图像查看螺栓紧固、构件连接等细节,确保安装规范。此外,无人机还能结合激光雷达技术对导线弧垂、绝缘子安装角度等进行高精度测量,将采集数据与质量标准对比分析,及时发现并纠正施工质量问题,保障输电线路建设质量。

#### 3.4.3 施工安全监控

无人机可实时监测输电线路施工现场的安全状况,有效预防安全事故发生。其搭载的摄像头能全方位捕捉施工现场动态,及时发现施工人员未佩戴安全防护装备、违规操作机械设备等行为,并通过语音喊话功能进行警示提醒。同时,无人机还可对高空作业、交叉施工等高风险区域进行重点监控,利用热成像技术检测施工现场的电气设备发热、明火隐患等情况。通过实时监控与预警,为施工人员营造安全的作业环境,保障施工安全有序进行。

## 4 无人机在输电线路运维检修中的未来发展趋势

### 4.1 技术融合

未来,无人机将深度融合人工智能、5G通信、物联网、卫星导航等前沿技术。人工智能算法可优化无人机自主巡检路径规划,实现故障智能诊断与风险预测;5G网络的低时延、高带宽特性,支持无人机实时回传4K高清影像和三维数据,助力远程运维决策;物联网技术则使无人机与输电线路设备、地面控制终端形成互联互通网络,构建智能运维生态。同时,卫星导航与惯性导航的协同,将提升无人机在复杂环境下的定位精度和飞行稳定性,推动输电线路运维向智能化、自动化方向进阶。

### 4.2 应用领域拓展

除现有运维检修场景,无人机应用领域将进一步拓展。在新能源并网输电方面,可用于风电、光伏电站输电线路的巡检与监控;在灾害预警领域,结合气象数据和地理信息系统,提前预判极端天气对输电线路的影响;在电力设施全生命周期管理中,从规划设计阶段的地形测绘,到退役拆除阶段的风险评估,无人机均可发挥作用。此外,无人机还将与虚拟电厂、微电网等新型电力系统结合,满足多元化电力运维需求,服务于构建新型电力系统。

### 4.3 标准化和规范化

为保障无人机在输电线路运维检修中的安全、高效应用,标准化和规范化将成为重要趋势。行业将逐步完善无人机性能标准、飞行安全规范、数据采集与处理标准,统一设备技术参数、操作流程和数据接口。同时,建立无人机操作人员资质认证体系,规范培训内容与考核标准。通过标准化建设,促进不同厂商设备的兼容性和数据共享,降低运维成本,提高作业安全性和可靠性,推动无人机在输电线路领域的规范化发展。

### 4.4 产业化发展

随着市场需求增长和技术成熟,无人机在输电线路运维检修领域将加速产业化进程。产业链上下游企业将加强合作,形成涵盖无人机研发制造、软件开发、数据服务、运维培训等环节的完整产业生态。同时,行业整合加速,头部企业通过技术创新和市场拓展,提升产品竞争力;中小企业聚焦细分领域,提供专业化服务。此外,政策支持和资本投入将推动产业规模化发展,降低无人机运维成本,提高服务质量,助力输电线路运维产业向专业化、市场化方向迈进<sup>[1]</sup>。

### 结束语

综上所述,无人机在输电线路运维检修领域凭借技术优势与多元应用场景,有效突破传统模式瓶颈,显著提升运维效率与安全性。随着技术融合深化、应用边界拓展、标准体系完善及产业生态成熟,无人机将在智能电网建设中发挥更核心的作用。未来,无人机有望成为输电线路全生命周期管理的关键支撑,推动电力行业向数字化、智能化转型。

### 参考文献

- [1]罗林希.智能巡检管理系统在输电线路运维中的应用分析[J].环球市场,2020,(18):156-157
- [2]谢闻远.输电线路无人机巡检综合应用研究[J].百科论坛电子杂志,2022,(1):334-335.
- [3]江龙剑.无人机在输电线路运维巡检中有效运用的探讨[J].通讯世界,2020,27(10):221-223