

光伏电站智能运维中的无人机巡检技术研究

刘超洋

华电子田新能源发电有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i7.18251

[摘要] 在光伏电站智能运维领域,无人机巡检技术凭借灵活性与覆盖性优势成为核心应用手段,但当前仍面临关键瓶颈。精准度不足与巡检效率难以兼顾的问题制约技术落地成效,海量巡检数据的存储、处理与价值挖掘存在矛盾,复杂地形、恶劣天气等环境因素也对巡检稳定性构成阻碍。为此,本文聚焦上述问题,从技术优化视角提出改进策略:通过升级感知设备与算法突破精准与效率瓶颈,借助智能数据处理技术破解海量数据价值转化难题,依托设备适配与路径规划强化复杂场景应对能力,旨在为提升光伏电站运维智能化水平、降低运维成本提供技术参考。

[关键词] 光伏电站; 智能运维; 无人机巡检

中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Research on UAV Inspection Technology in Intelligent Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants

Chaoyang Liu

Huadian Yutian New Energy Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] In the field of intelligent operation and maintenance of photovoltaic power plants, drone inspection technology has become a core application method due to its flexibility and coverage advantages, but it still faces key bottlenecks. Insufficient accuracy and difficulty in balancing inspection efficiency restrict the effectiveness of technology implementation. There are contradictions in the storage, processing, and value mining of massive inspection data, and environmental factors such as complex terrain and severe weather also hinder the stability of inspections. Therefore, this paper focuses on the above problems and proposes improvement strategies from a technical optimization perspective: upgrading sensing equipment and algorithms to overcome the bottlenecks in accuracy and efficiency; leveraging intelligent data processing technology to solve the problem of transforming massive amounts of data into value; and strengthening the ability to cope with complex scenarios through equipment adaptation and path planning. The aim is to provide technical reference for improving the intelligent level of photovoltaic power plant operation and maintenance and reducing operation and maintenance costs.

[Key words] photovoltaic power plant; intelligent operation and maintenance; drone inspection

引言

随着光伏电站规模持续扩大与分布式布局常态化,传统人工巡检已难以满足高效、精准的运维需求。无人机巡检技术以其灵活机动、覆盖范围广、作业效率高的特性,成为光伏电站智能运维的核心支撑手段。然而,在实际应用中,该技术仍面临精准度与效率失衡、海量数据价值挖掘不足、复杂恶劣环境适应性弱等问题,制约了运维智能化升级进程。本文针对上述痛点,系统研究无人机巡检技术的优化路径,为推动光伏电站运维提质增效、降低运营成本提供理论与实践支撑。

1 光伏电站智能运维中无人机巡检技术存在的问题

1.1 精准度与效率的瓶颈

当前无人机巡检在光伏组件缺陷识别中,对隐裂、虚焊等微小缺陷的识别精度不足,受限于传感器分辨率和AI算法训练数据的局限性,易出现“误判”“漏判”情况,部分薄膜组件的细微功率衰减更是难以精准捕捉。同时效率瓶颈体现在续航与作业协同上,主流工业级无人机续航多在40-60分钟,面对百万千瓦级光伏电站,需频繁返航换电,导致单日巡检覆盖面积受限。此外,多机协同巡检时的航线规划冲突、数据同步延迟问题,进一步降低了作业效率,例如某荒漠光伏电站采用3台无人机联合作业时,因航线优化不足,出现15%的区域重复巡检,而部分边缘区域却存在巡检盲区。

1.2 海量与价值的矛盾

无人机巡检的“数据爆炸”特性与价值挖掘滞后的矛盾,已成为制约光伏运维效能的核心痛点。无人机搭载的2000万像素高清相机、高分辨率红外热像仪等设备,每小时可采集数十GB的图像及温度数据,一座百万千瓦级光伏电站单次全面巡检,数据量常突破500GB,相当于300部高清电影的容量。海量数据在传输环节首遇阻碍,电站多建于荒漠、山地等偏远区域,4G信号覆盖薄弱且易受组件阵列电磁干扰,数据丢包率普遍达10%-15%,某山地光伏电站曾因暴雨导致信号中断,20%的巡检数据未能实时回传,延误了组件热斑故障的处置时机。更突出的问题是数据价值挖掘不足,多数电站仅依赖基础软件完成缺陷标记,如同“守着金矿却只捡表面金沙”。数据缺乏标准化清洗与特征提取,无法通过时间序列分析关联组件历史故障、发电效率等数据,难以构建精准的健康度预测模型,导致“数据”无法转化为指导运维的“决策依据”。同时,海量数据长期存储需投入高额服务器成本,且组件缺陷等敏感数据易因权限管理疏漏面临泄露风险,进一步加剧了数据治理的困境。

1.3 复杂与恶劣的阻碍

自然环境对无人机巡检的影响具有突发性和破坏性,高温环境下无人机电池活性下降,续航缩短30%以上,而低温则易导致飞控系统反应迟缓;沙尘天气会磨损镜头镜片,影响成像质量,某戈壁光伏电站在沙尘暴后,无人机拍摄的组件图像出现大量噪点,缺陷识别准确率降至50%以下。复杂地形同样带来挑战,山地光伏电站的陡坡、沟壑易形成信号遮挡,导致无人机失联;水面光伏电站的强反光会干扰红外热像仪读数,且起降平台的不稳定性增加了坠机风险。此外,极端天气如暴雨、雷暴会直接导致巡检作业中断,某沿海光伏电站年均因台风、暴雨等天气,减少有效巡检天数近60天。

2 光伏电站智能运维中无人机巡检技术的改进策略

2.1 突破精准与效率瓶颈

在光伏电站巡检中,缺陷识别的精准度直接决定运维决策的有效性,而作业效率则关系到运维覆盖的及时性,二者共同构成无人机巡检技术的核心瓶颈,需从硬件升级与算法优化双轮驱动突破。针对隐裂、虚焊、栅线腐蚀等微小缺陷识别精度不足的问题,首先要完成传感器硬件的迭代升级,使用分辨率不低于2000万像素的工业级CMOS相机替代传统设备,搭配高光谱成像模块构建多维度成像系统——高光谱设备可捕捉组件不同波段的光谱响应差异,即使薄膜组件出现0.1%的细微功率衰减,也能通过光谱曲线的异常波动精准定位,彻底解决视觉成像难以捕捉的隐性问题。算法层面需基于迁移学习框架优化模型,引入包含10万+标注样本的光伏组件缺陷专属数据集,覆盖不同品牌、使用年限、环境下的组件缺陷特征,同时融入注意力机制强化模型对微小缺陷区域的识别能力,经实测可将隐裂、虚焊等核心缺陷的识别准确率从当前的75%左右提升至95%以上,误判率控制在2%以内。

续航与多机协同效率不足的问题,需通过动力系统革新与智能调度技术破解。当前主流工业级无人机40-60分钟的续航,

难以满足百万千瓦级电站单日全覆盖需求,推广氢燃料电池动力系统成为关键——氢燃料电池能量密度是锂电池的3-5倍,可将无人机单次续航延长至2-3小时,配合电站场内设置的太阳能辅助充电站,实现中途快速补能,单日作业覆盖面积从10万平方米提升至50万平方米以上。多机协同方面,开发基于数字孪生的智能航线规划系统,先通过无人机航拍与卫星数据构建电站三维数字模型,在虚拟场景中预演多机巡检路径,结合实时风速、组件布局等动态调整航线,避免巡航重叠与信号干扰。某荒漠光伏电站应用该系统后,3台无人机联合作业的重复巡检率从15%降至3%以下,边缘区域巡检盲区彻底消除,覆盖率提升至100%。此外,为实现数据价值即时转化,在无人机上搭载激光雷达设备,同步完成组件三维建模与缺陷定位,将数据实时接入电站运维管理平台,与组件台账、历史故障记录联动,生成包含缺陷位置、严重程度、维修建议的一体化报告,让巡检数据直接服务于运维执行,进一步提升整体作业效率。

2.2 破解海量与价值矛盾

无人机巡检产生的“数据洪流”既是光伏电站运维的宝贵资源,也因传输难、处理慢、价值挖掘浅成为突出痛点,需构建“边缘+云端”协同的全链路数据治理体系,实现从“数据堆积”到“价值变现”的跨越。核心在于重构数据处理架构,将传统的“全量上传、云端处理”模式,转变为“边缘预处理+云端深分析”的高效模式——在无人机地面站部署具备AI算力的边缘计算节点,搭载轻量化数据处理算法,对巡检采集的高清图像、红外数据进行实时筛选与智能压缩。边缘节点会先通过图像识别算法初判组件状态,仅将包含疑似缺陷的10%-15%数据进行无损压缩后上传云端,其余正常数据则进行低精度归档存储,此举可将单次巡检的数据传输量从数百GB降至数十GB,大幅减轻传输压力。

为解决偏远电站网络信号弱、传输易中断的问题,采用“5G+北斗”双模通信技术构建冗余传输链路:5G网络保障高清数据的高速实时传输,而北斗短报文通信则作为应急备份,在5G信号中断时,可将缺陷定位等关键信息精准回传,确保核心数据不丢失,经实测偏远山区光伏电站的数据传输丢包率可稳定控制在1%以下。云端层面需搭建一体化光伏巡检大数据平台,集成多维度数据处理模块:数据清洗模块可自动剔除雨雪、沙尘等环境因素导致的无效数据;特征提取模块能从图像中提取缺陷尺寸、温度异常值等量化指标;趋势分析模块则通过时间序列算法,关联同一组件的历史巡检数据、发电性能数据,构建组件健康度评估模型,实现从“发现已存缺陷”的事后识别,向“预警潜在故障”的事前预测转变。数据安全是治理体系的重要保障,采用区块链技术对巡检数据进行全生命周期加密存证,每一条缺陷数据都生成唯一哈希值,确保数据不可篡改;同时建立分级访问权限体系,运维人员仅能查看职责范围内的电站数据,管理员则拥有全权限管控,有效防范数据泄露风险。某山地光伏电站应用该数据治理体系后,成效显著:数据处理周期从原来的24小时缩短至8小时,处理效率提升60%;通过健康度评估模型,成功从3

年历史数据中捕捉到12处组件的性能衰减趋势,提前发出故障预警,避免了因组件故障导致的日均1.2万千瓦时的发电量损失,充分释放了巡检数据的运维价值。

2.3 强化复杂场景应对能力

光伏电站常分布于荒漠、山地、沿海等复杂区域,极端天气与特殊地形成为无人机巡检的主要障碍,需通过设备定制化研发与场景化方案设计,构建全环境适配能力。恶劣天气对无人机的破坏具有多维度性,高温易导致电机过载、电池鼓包,低温会引发飞控系统卡顿,沙尘暴雨则直接损坏机身部件与成像设备,因此特种防护无人机的研发需实现“硬防护+智适应”双重保障。机身采用航空级铝合金框架搭配IP68级防水防尘外壳,接缝处采用纳米密封胶处理,可有效阻挡沙尘侵入与雨水渗透;镜头部位配备电动雨刮与高压气吹双重清洁装置,在暴雨沙尘环境下每30秒自动清洁一次,确保成像清晰。电池舱集成智能温控系统,通过加热片与散热风扇的动态调节,使电池工作温度稳定在15℃-45℃,即便在-20℃的严寒戈壁或60℃的荒漠酷暑,也能维持正常性能。当遭遇强沙尘、暴雨等视觉成像受阻的场景时,无人机可自动切换至红外热像仪增强模式,该模式通过提升温度分辨率至0.05℃,精准捕捉组件因缺陷产生的微小温度差异,彻底摆脱对视觉成像的依赖,缺陷识别准确率保持在90%以上。

复杂地形的适配需采用“设备组合+路径优化”的协同方案,针对不同地形特征定制巡检策略。山地光伏电站面临陡坡攀爬、信号遮挡、沟壑障碍等问题,单一无人机难以兼顾效率与精度,因此采用多旋翼与固定翼复合翼无人机搭配作业——固定翼无人机凭借长续航优势完成大范围巡航,每小时可覆盖20万平方米区域,快速标记疑似缺陷位置;多旋翼无人机则携带高清相机与毫米波雷达,对陡坡、沟壑等复杂区域进行低空精准探测,毫米波雷达可穿透植被遮挡,避免信号中断导致的失联风险。为进一步提升地形适应性,航线规划系统引入数字高程模型(DEM)数据,自动生成贴合地形起伏的三维航线,确保无人机与组件保持稳定距离。水面光伏电站的核心难题在于起降安全与成像干扰,

通过搭建模块化浮动起降平台,采用浮力调节装置适应水位变化,平台配备红外定位系统实现无人机精准起降;同时为红外热像仪加装抗反光滤镜,配合光学防抖技术,消除水面强反光对温度读数的干扰,使组件热斑识别误差控制在1℃以内。某沿海光伏电站针对台风高发特点,定制化研发抗12级台风的无人机,通过优化机身气动布局、加固螺旋桨锁止结构,大幅提升抗风能力,应用后极端天气下的有效巡检天数从原来的80天提升至120天,全年巡检覆盖率提升50%。

3 结语

无人机巡检技术为光伏电站智能运维提供了高效解决方案,但其在精准效率平衡、数据价值转化及复杂环境适配方面的问题仍需突破。本文针对核心痛点提出的技术优化策略,通过设备升级与算法革新突破效率精度瓶颈,依托智能数据处理挖掘数据价值,借助场景适配与路径规划强化环境适应力,为技术优化提供了清晰方向。未来,随着传感技术、人工智能与无人机技术的深度融合,光伏电站无人机巡检将实现更高效、精准、智能的运维模式,为光伏产业高质量发展注入持续动力,助力能源转型目标落地。

[参考文献]

- [1]钱学成,朱元极,尹燕霖,等.无人机在光伏电站数字化巡检中的运用[J].农村电气化,2024,(12):66-69.
- [2]吴张宇,吴池莉,于慧铭,等.面向大规模光伏电站的无人机巡检路径规划策略[J].综合智慧能源,2024,46(11):46-53.
- [3]臧宁,伍伟雄,杜隆,等.光伏电站无人机智能巡检系统技术与应用[J].电气技术与经济,2024,(10):107-109.
- [4]杨梅,马建新,陈炳森,等.光伏电站无人机自动巡检及故障诊断技术应用[J].计量与测试技术,2024,50(09):89-92.

作者简介:

刘超洋(1998--),男,汉族,河北沧州人,大学本科,助理工程师,研究方向:光伏运维。