

无人机巡检技术在水电站设备维护中的实践与应用

肖宗耀

云南华电金沙江中游水电开发有限公司梨园发电分公司 云南 丽江 674100

【摘要】：无人机巡检技术作为一种创新性的监测手段，在水电站设备维护中展现出巨大潜力。通过搭载高清摄像头、红外热像仪、激光雷达等传感器，无人机能够快速、准确地采集设备状态信息，实现对水电站大坝、发电机组、输电线路等关键设施的全面巡检。这一技术不仅提高了巡检效率和质量，降低了运维成本，还有效保障了人员安全。本文深入探讨了无人机巡检技术在水电站设备维护中的具体应用案例，分析了其技术优势与挑战，并提出了未来发展方向。

【关键词】：无人机巡检技术；水电站；设备维护；实践与应用

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.028

引言

随着水电站的规模不断扩大和设备复杂度日益提升，传统的设备维护方式已难以满足高效、安全、精准的需求。无人机巡检技术以其独特的优势，在水电站设备维护领域逐渐崭露头角。该技术通过空中作业，实现了对水电站关键设施的远距离、全方位监测，为设备维护提供了强有力的技术支持。

1 无人机巡检技术在水电站设备维护中的应用案例

1.1 大坝安全监测

水电站中，大坝是重要的设施之一，大坝的安全性对于整个水电站的安全、稳定运行有着直接影响。传统水电站的大坝安全监测主要靠人工巡检、地面监测设备等来进行，这样的模式存在一些问题，如人工巡检周期较长，地面监测范围有限等。特别一些地形十分复杂的大坝，或者一些高边坡区域，人工巡检大坝这种方式效率不高，还常会发生坠落、滑倒等安全风险。而引入无人机巡检技术，则可打破大坝复杂地形的局限性，可全方位、无死角对大坝进行监测。如水电站可引入无人机搭载的高清摄像头及红外热像仪，以定期巡检水电站大坝。无人机还可在大坝表体实施低空巡航，这样不仅覆盖了坝顶、坝坡等常规区域，还可到达一些人工无法巡检的地方，如廊道入口、排水孔等。无人机以高清图像可对大坝表面细微裂缝、混凝土剥落等病害及时发一，再借助红外热像仪对于坝体温度场分布异常情况实时捕捉，以为运维人员提升重要参数。运维人员可根据这些数据与历史监测数据、设计安全参数来进行对比性分析，以快速精准判定大坝是否异常，掌握异常情况类型和位置，有及时进行处理。无人机还可实时采集到大坝表面裂缝发展趋势、坝基渗漏痕迹、迎水面护坡块体松动等信息，再通过数据平台对无人机收集到的信息进行自动化分析，智能生成一份可视化报告，可为大坝维修方案的制定和大坝加固工程等提供精准的数据支撑，还可确保水电站大坝的安全性、及时性和可靠性。

1.2 发电机组状态评估

水电站的发电机组是其重要的发电设备，发电机组的运行

状态会对其发电效率、发电效果和经济效益产生直接影响。传统的发电机组状态的评估主要借助人工巡检和定期检测。运维人员要近距离接触高速运转过程中的发电设备，这样的巡检方式不仅存在机械伤害的安全风险，而且人工巡检过程中，人员的肉眼观测并不能及时捕捉到设备运行中的瞬时异常情况，而运维人员的检测周期一般时间较长，有时会长达数周，这样则不能满足设备实时监控的实际需求。而引入无人机巡检技术则可对发电机组实行远距离、高精度监测。如水电站可利用无人机搭载的激光雷达和高清摄像头，定期巡检发电机组，无人机还可基于发电机组的运行状态，贴近定子、转子等重要设备部件来实施多角度抓拍。激光雷达可精准测量部件的振动频率、位移量等，高清摄像头则可对一些细节进行敏锐捕捉，如绕组表面的过热痕迹、绝缘层破损等。无人机巡检技术可采集发电机组表面振动、温度及磨损等信息，再将设备运行参数模型结合起来，系统可实时评估发电机组运行状态，及时助力运维人员发现评估结果中提示的轴承温度异常情况或转子不平衡等潜在风险。运维人员可及时制定维修技术，或更换设备的方案，让发电机组的运行状态保持良好，最大程度降低因设备故障带来的停机等方面的损失。

1.3 输电线路巡检

水电站与电网连接需要输电线路作为通道，输电线路安全性对于水电站的电力输出、电网的安全稳定运行有着直接关系。传统输电线路巡检过程中，主要依靠人工徒走巡检，或者车辆巡检，对于一些复杂地形，如大峡谷、大森林等线路段，巡检人员要攀爬电线杆或塔，或者要穿越复杂的地形，这样的巡检效率低下，单日巡检里程不超过20公里，同时还要面临高空坠落、野生动物袭击等安全风险。人工观测天气、光线等现象也会受到很大影响，无法对输电线路中存在导线断股、绝缘子老坏等细微缺陷及时发现。引入无人机巡检技术则可轻松解决这些复杂问题，确保输电线路的安全性和有效性。水电站可引入无人机搭载的高清摄像头、红外热像仪等，定期巡检输电线路。无人机可依照预定的航线来自主飞行巡检，其巡航速度可达到每小时30公里，可在短时间内实现大面积线路的巡

检工作，其高清摄像头可对导线、杆塔等提供巡检高清图像，对于导线断股、金具松动等机械损伤情况及时采集信息，并反馈到系统；而红外热像仪则可对接头过热、树障逼近等外部安全隐患及时检测，并实时传输到系统。无人机巡检系统则通过所采集到的输电线路的断裂、磨损、鸟巢等信息，自动生成缺陷位置坐标及严重程度等级，再将这些参数及高清图等巡检结果及时反馈给运维人员，运给人员则可及时进行处理，如安排人员清除鸟巢、修剪树木、更换受损部件等，让输电线路安全运行，确定水电站电力的安全稳定输出。

2 无人机巡检技术的技术优势与挑战

2.1 技术优势

高效性：无人机巡检技术有着传统巡检技术所不具备的高效性，其不受复杂地形与空间限制，有着很强的灵活移动的能力，可在短时间内进行大范围的巡检任务。与传统巡检方式往往受到人工体力、交通条件、作业时间等方面的影响，无人机可长时间、连续性作业，且巡航速度很稳定，可快速覆盖设备密集的区域、广阔的户外设施分布带等区域，可大大减少因巡检不及时所带来的潜在风险累积，还可以自动化飞行规划，防止出现重复性巡检、遗漏区域等情况，让整体巡检流程有很好的连贯性、系统性，基于时间维度、空间维度等促进巡检工作整体效能提升。

安全性：无人机巡检技术通过远程操控实现对目标区域的监测，彻底改变了传统巡检中人员必须进入高风险环境的作业模式。在涉及高压设备、高空设施、陡峭地形或有毒有害区域的巡检场景中，无人机可代替人工深入这些危险地带，从根本上避免人员暴露于触电、坠落、机械伤害等安全隐患中。同时，操作人员可在安全区域完成所有巡检操作，无需与危险设备或环境直接接触，大幅降低了意外事故发生的可能性，为巡检工作提供了坚实的安全保障。

精准性：无人机搭载的高精度传感器，如高清成像设备、红外探测器、激光雷达等，能够捕捉到传统巡检方式难以识别的细微特征。这些传感器可在不同光线、距离条件下保持稳定的测量精度，对设备表面的微小裂缝、温度异常、结构变形等进行精准记录。通过将采集到的数据与预设的标准参数及历史数据库进行比对分析，能够排除人工观测中的主观误差与视觉局限，使设备状态评估结果更具客观性与准确性，为设备维护决策提供可靠依据。

数据丰富性：无人机巡检过程中可同步采集多种类型的数据，包括高清图像、动态视频、热成像图谱、三维点云数据等，这些数据从不同维度呈现设备的外观状态、运行参数及环境特征。相较于传统巡检依赖人工记录的文字描述或有限的图像资料，无人机采集的数据更具完整性与多维性，能够为设备全生命周期管理提供全面信息支撑。这些数据可通过专业软件进行

深度分析，挖掘设备潜在的故障模式与性能变化趋势，为预防性维护、故障预测及维修方案优化提供丰富的信息储备。

2.2 技术挑战

天气和环境限制：无人机巡检在天气与环境因素面前存在明显的适应性局限。恶劣天气条件下，强风会破坏机身的气动平衡，导致飞行姿态剧烈波动，难以保持稳定的巡检航线；暴雨不仅会侵蚀机身电子元件，还会模糊传感器镜头，降低数据采集的清晰度；雷电则可能通过电磁干扰影响无人机的导航系统，甚至直接击穿机身电路造成设备损毁。复杂地形同样构成阻碍，峡谷中紊乱的气流会形成不规则的力场干扰，山区茂密的植被可能缠绕螺旋桨或遮挡信号传输，这些因素共同作用，极大削弱了无人机在特定场景下的飞行稳定性与作业安全性，压缩了有效巡检的时空范围。

数据处理和分析难度：无人机巡检过程中会生成规模庞大且类型多样的数据，这些数据的高效处理与深度分析面临多重阻碍。海量的高清图像、连续的视频流、多维度的传感数据需要在短时间内完成解码、清洗与整合，传统依赖人工筛选和简单算法处理的方式，既难以精准识别数据中隐藏的关联模式，也无法满足实时性研判的需求。数据从采集到转化为实际决策依据的链条过长，导致潜在问题的发现与响应存在时间差，进而影响设备维护的及时性与针对性，制约了无人机巡检技术价值的充分发挥。

法规和标准限制：无人机巡检领域的法规体系与技术标准尚未形成统一完善的框架，这给实际应用带来诸多困扰。空域使用的权限界定存在模糊地带，不同行政区域的飞行高度、禁飞范围等限制条款缺乏一致性，增加了跨区域巡检的协调难度。安全操作规范的缺失使得作业流程中的责任划分不明确，可能引发操作边界的争议。技术标准的不统一导致不同品牌设备的性能参数、数据格式、采集精度等缺乏可比基准，给数据共享与系统兼容造成障碍，这些因素共同制约了无人机巡检技术的规模化推广与行业应用的规范化发展。

3 无人机巡检技术的未来发展方向

3.1 自主导航与避障技术

自主导航与避障技术的升级将推动无人机巡检向更高层次的自动化演进。通过融合高精度地图、实时环境感知与智能决策算法，无人机能在复杂场景中自主规划最优巡检路径，动态调整飞行姿态。面对突发障碍物或地形变化，系统可快速触发避障机制，无需人工介入即可完成绕行或悬停，大幅降低因环境突变导致的作业中断风险。这种技术突破将减少对操作人员经验的依赖，压缩实时监控所需的人力成本，同时让无人机在复杂环境中保持稳定高效的巡检节奏，进一步释放技术在效率与安全性上的潜力。

3.2 增强型传感器与数据分析技术

增强型传感器的迭代与数据分析技术的革新将重塑无人机巡检的信息获取能力。高光谱成像、激光雷达等新型传感器可捕捉设备微观状态特征,如材料化学组成变化、结构应力分布等深层信息,突破传统传感器的监测局限。同时,机器学习与深度学习算法的融入,将实现对多源数据的关联分析与模式识别,从海量信息中挖掘设备性能衰减规律与故障演化趋势。这种技术融合不仅能提升设备状态评估的精准度,更能实现对潜在故障的提前预判,为预防性维护提供科学依据。

3.3 空地协同巡检系统

空地协同巡检系统的构建将打破单一设备巡检的局限性,形成立体化监测网络。无人机的高空覆盖能力与地面机器人的近距离检测优势、智能巡检车的大范围地面移动特性形成互补,通过统一的通信协议与任务调度机制,实现巡检任务的动态分配与数据实时共享。无人机负责大坝顶部、输电线路等高空设施的快速扫描,地面设备专注于发电机组内部、坝体底部等近距离检测,这种协同模式可消除监测盲区,实现对水电站设备全维度、无死角的状态感知,从整体上提升巡检的全面性与精细度。

3.4 智能化运维平台

智能化运维平台将成为无人机巡检数据价值转化的核心

枢纽,通过整合数据采集、分析、决策等功能,构建闭环式运维管理体系。平台可对无人机传回的实时数据进行集中存储与智能解析,自动生成设备状态评估报告与风险预警信息。运维人员通过可视化界面实时掌握全局设备状况,依据系统推送的维修方案建议制定行动计划,整个流程减少人工判断环节,实现从数据采集到运维执行的自动化衔接。这种平台化运作模式将推动设备运维从被动响应向主动预防转变,提升水电站运维管理的智能化水平。

4 结论

总之,无人机巡检技术在水电站设备维护中展现出巨大潜力和优势。借助无人机巡检技术,以实现水电站关键设施的全方位、无死角监测,无人机巡检技术能够显著提高巡检效率和质量,降低运维成本,保障人员安全。然而,无人机巡检技术仍面临一些挑战和问题,如天气和环境限制、数据处理和分析难度等。未来,随着自主导航与避障技术、增强型传感器与数据分析技术、空地协同巡检系统以及智能化运维平台等技术的不断发展,无人机巡检技术将在水电站设备维护中发挥更大的作用,为水电站的长期稳定运行提供有力保障。同时,也需要加强相关法规和标准的建设和完善,确保无人机巡检技术的合法合规使用和推广。

参考文献:

- [1] 于翔.水利工程无人机倾斜摄影测量技术应用研究[J].珠江水运,2023,(19):122-125.
- [2] 王学强.无人机测绘技术在水利水电工程中的应用探索[J].科技视界,2023,14(28):48-51.
- [3] 吴建兵.无人机航测技术在水库加高施工信息化管理中的应用[J].甘肃水利水电技术,2023,60(07):28-31.
- [4] 杜丽荣.无人机测绘技术在水利水电工程中的应用探索[J].水上安全,2023,(03):11-13.