

无人机巡查技术在水利工程监理中的应用效能评估

伍 振 毛正兵

江苏嘉源建设项目管理有限公司 江苏 宿迁 223800

摘要: 本文聚焦无人机巡查技术在水利工程监理中的应用效能评估, 阐述了无人机巡查技术原理与水利工程监理内容, 分析其在水利工程监理中的适用性; 介绍了无人机在施工期、运行期及特殊环境的应用场景; 构建包含技术性能、监理成效等维度的评估指标体系; 从技术、管理、政策层面提出提升应用效能的对策建议, 为无人机在水利工程监理中的科学应用提供参考。

关键词: 无人机巡查技术; 水利工程监理; 应用效能评估

引言: 在水利工程建设与管理日趋精细化的背景下, 传统监理方法在地形复杂、范围广阔、风险较高的工程场景中面临效率与安全的双重挑战。无人机巡查技术凭借其高效、灵活、安全的优势, 为水利工程监理工作提供了全新的技术视角与数据采集手段。如何科学评估其应用效能, 并系统化地推进该技术与监理业务的深度融合, 已成为提升水利工程管理现代化水平的重要议题。本文旨在通过构建评估体系与提出优化对策, 为无人机技术在水利监理领域实现效能最大化提供参考路径。

1 无人机巡查技术与水利工程监理概述

1.1 无人机巡查技术原理

无人机巡查技术以无人驾驶飞行器为载体, 整合全球定位、惯性导航、遥感探测及数据传输模块。先通过地面控制系统规划航线、高度与拍摄参数, 确保全面覆盖目标区域。飞行时, 其搭载的高清摄像头、红外热像仪或多光谱传感器实时采集影像与环境数据, 定位模块记录坐标。数据经无线传输至地面站, 由专业软件拼接、建模与分析, 生成三维模型、正射影像图或专题报告。该技术借空中视角突破地形限制, 多传感器融合实现可视化、精准化探测, 自动化控制降低人为误差, 提升数据采集效率与客观性, 为工程监理提供直观精确的基础数据。

1.2 水利工程监理的主要内容

水利工程监理是保障工程质量、安全、进度及投资控制的核心环节, 涵盖工程全生命周期的多项关键工作。质量控制方面, 需核查原材料进场检验报告, 对混凝土浇筑、地基处理等关键工序实施全过程旁站监理, 检测工程实体强度、尺寸偏差等指标是否符合设计规范。安全监理重点排查施工现场临时用电、脚手架搭设、深基坑防护等安全隐患, 监督施工单位落实安全生产责任制, 开展安全技术交底及应急演练。进度监理需

对照施工进度计划, 跟踪关键节点完成情况, 分析工期延误原因并提出整改建议, 协调解决施工资源配置矛盾。投资监理负责审核工程计量支付凭证, 核对设计变更及现场签证的费用合理性, 控制工程投资不超概算。另外, 还需参与工程合同管理、协调参建各方关系, 以及监督工程资料的收集、整理与归档, 确保工程建设合法合规^[1]。

1.3 无人机巡查技术在水利工程监理中的适用性分析

无人机巡查技术适用于水利工程监理, 体现在适配工程特性、弥补传统不足和提升效能上。水利工程多在复杂地形, 传统人工巡查盲区多、效率低、风险高, 无人机低空灵活, 可快速覆盖偏远区域。其专业传感器获取高分辨率影像, 三维建模可视化量测, 比人工更高效精准。水利工程工期长、变化大, 无人机高频次巡查能及时捕捉动态信息, 为决策提供实时数据。同时, 减少人工投入, 降低涉水、登高作业风险, 适用于恶劣环境应急监理, 契合水利工程监理的功能与安全需求。

2 无人机在水利工程监理中的应用场景

2.1 施工期监理

施工期监理中, 无人机巡查技术贯穿土方开挖、结构施工至竣工验收全阶段。土方工程阶段, 无人机定期航拍采集影像, 通过比对设计图纸与实景模型, 精准核算开挖与回填工程量, 核查是否存在超挖、欠挖现象, 避免工程量虚报。结构施工阶段, 针对坝体、闸室等关键构筑物, 利用无人机搭载的高清摄像头拍摄施工细节, 检查钢筋绑扎间距、模板安装平整度及混凝土浇筑振捣质量, 对隐蔽工程进行影像留存备案。进度管控方面, 通过固定周期航拍生成时序影像, 叠加施工进度计划图层, 量化分析各工序完成比例, 识别滞后工序并追溯原因。安全监理中, 无人机搭载红外热像仪排查施工现场临时用电线路过热隐患, 航拍识别脚手架搭设不规范、

临边防护缺失等问题,实时传输至监理平台并下发整改通知。竣工验收阶段,无人机航拍生成全景影像及三维模型,辅助核查工程实体与设计图纸的一致性,为验收提供直观的可视化依据。

2.2 运行期巡查

运行期巡查中,无人机巡查技术聚焦水利工程结构安全与功能保障,实现常态化监测与应急排查双重支撑。针对水库、堤防、渠道等运行中的构筑物,无人机电按预设周期开展常态化巡查,通过高清影像识别坝体裂缝、渗漏痕迹、堤防塌陷及渠道淤积、衬砌破损等病害。搭载红外热像仪可检测坝体温度异常区域,预判渗漏通道位置,比传统人工巡检更易发现深层隐患^[2]。对于大型水利枢纽,无人机结合激光雷达技术扫描坝体表面,生成高精度点云模型,与历史数据比对分析结构沉降、位移等变形情况,实现结构安全的动态监测。渠道运行中,无人机巡查可快速定位淤积段、冲刷段及闸门启闭异常位置,评估输水能力是否达标。汛期等特殊时段,无人机执行应急巡查任务,实时传回洪水淹没范围、堤防漫溢情况及构筑物受损影像,为防汛指挥与应急处置提供第一手数据,同时避免人员涉水巡查的安全风险,提升运行期监理的及时性与可靠性。

2.3 特殊环境应用

特殊环境下,无人机巡查技术展现出远超传统监理方式的适应性与安全性。在高海拔水利工程中,缺氧、严寒及复杂地形导致人工巡查难度极大,无人机可在低温环境下稳定飞行,搭载氧气浓度传感器同步采集环境数据,完成坝体、隧洞进出口等区域的巡查,避免人员高原反应风险。地质灾害高发区域,如滑坡体周边的水利工程,无人机通过航拍监测坡体裂缝发育情况,结合多光谱数据分析植被生长状态,预判地质灾害风险,为监理单位提出工程防护建议提供依据。涉水深度大的库区或河道工程,人工乘船巡查效率低且受风浪影响大,无人机可低空飞越水面,拍摄水下地形地貌(结合声呐设备),核查库区淤积、河道行洪断面及取水口堵塞情况。台风、暴雨等极端天气后,无人机能快速进入受灾区域,排查工程结构损毁、附属设施倒塌等情况,生成灾害损失评估报告,为灾后修复监理提供精准的数据支撑,保障特殊环境下监理工作的连续性。

3 无人机巡查技术在水利工程监理中的应用效能评估指标体系构建

3.1 评估指标选取原则

评估指标选取需遵循科学性、系统性、实用性及针对性原则,确保指标能精准反映无人机巡查技术在水利

工程监理中的应用效能。科学性原则要求指标基于技术原理与监理规范,通过量化数据或明确标准体现效能,如数据采集精度需对应国家测绘规范标准。系统性原则需覆盖技术应用全流程,涵盖数据采集、处理、分析及应用等环节,避免单一维度评估导致结果片面。实用性原则强调指标易获取、可量化,优先选取通过无人机系统自动记录或监理工作常规统计的数据,如巡查效率可通过单位面积巡查时间计算。针对性原则需贴合水利工程监理特性,聚焦质量、安全、进度等核心监理目标,设置如病害识别准确率、隐患整改追踪率等指标^[3]。同时,需兼顾动态性原则,考虑不同工程类型(水库、堤防、灌区)及监理阶段(施工期、运行期)的差异,预留指标调整空间,确保评估体系适配各类应用场景。

3.2 评估指标体系框架

评估指标体系框架采用层级结构,分为目标层、准则层及指标层三个层级。目标层为无人机巡查技术在水利工程监理中的应用效能综合评估。准则层涵盖技术性能、监理成效、应用成本及适配性四个核心维度,全面覆盖技术应用的关键影响因素。技术性能准则层包含数据采集精度(如影像分辨率、坐标误差)、巡查效率(单位面积巡查时间、盲区覆盖率)、数据处理速度(建模完成时间、报告生成周期)三个指标;监理成效准则层包括病害识别准确率、隐患整改追踪率、进度偏差预警及时率、工程量核算误差率四个指标;应用成本准则层涵盖设备购置与维护成本、人员培训成本、单位面积巡查成本三个指标;适配性准则层包含复杂地形适应率、恶劣天气作业率、不同工程类型适配度三个指标。各指标明确量化标准与数据来源,如病害识别准确率通过人工复核正确的病害数量与无人机识别总数的比值计算,形成逻辑清晰、覆盖全面的评估框架。

3.3 评估指标权重确定

评估指标权重确定采用主观与客观相结合的方法,确保权重分配既贴合监理实际需求,又具备数据支撑的客观性。首先采用层次分析法确定主观权重,邀请水利工程监理专家、无人机技术专家及行业管理人员组成评审组,根据准则层与指标层的重要性进行两两对比评分,构建判断矩阵并进行一致性检验,计算各指标的主观权重。针对监理成效类可量化指标,采用熵权法确定客观权重,通过收集多个水利工程应用案例的指标实测数据,计算各指标的信息熵值,依据熵值大小判断指标离散程度,离散程度越大则权重越高,体现指标对评估结果的实际影响。随后采用加权平均法融合主观与客观权重,其中监理成效准则层因直接关联监理核心目标,

主观权重占比提升至40%，技术性能占30%，应用成本占20%，适配性占10%，指标层权重按对应准则层分配比例细化。最终权重需通过案例验证调整，确保权重分配符合不同工程场景的实际应用重点，提升评估结果的可信度。

4 提升无人机巡查技术在水利工程监理中应用效能的对策建议

4.1 技术层面

技术层面需从设备升级、数据处理及融合应用三方面提升效能。设备升级方面，针对水利工程监测需求，研发搭载多传感器集成系统的专用无人机，实现高清影像、红外探测、激光雷达及水质监测等功能一体化，提升复杂环境下的数据采集能力；优化无人机续航能力，采用燃料电池等新型动力技术，延长单次巡查时间，适配大型水利工程的大范围作业需求。数据处理方面，构建智能化分析平台，引入深度学习算法，实现坝体裂缝、渗漏等病害的自动识别与量化分析，减少人工干预；开发轻量化数据传输模块，采用5G技术提升海量数据的实时传输效率，实现巡查数据与监理管理系统的无缝对接。融合应用方面，推动无人机技术与BIM技术结合，将巡查数据叠加至工程BIM模型，实现施工进度、结构质量的可视化动态监测；探索与物联网、大数据技术融合，构建水利工程全生命周期监测数据库，通过数据挖掘预判工程隐患，提升监理工作的前瞻性与精准性。

4.2 管理层面

管理层面需建立完善的应用体系，规范流程并强化人员保障。首先制定无人机巡查作业规范，明确不同监理阶段的巡查频率、航线规划、数据采集标准及成果归档要求，确保作业标准化；建立数据质量管控机制，设置专人负责数据校验与复核，通过人工抽查与系统比对验证数据准确性，避免错误数据影响监理决策。人员管理方面，开展复合型人才培养，内容涵盖无人机操作、数据处理软件应用及水利工程监理专业知识，考取无人机驾驶及监理相关资质，提升专业能力；建立岗位职责制度，明确操作人员、数据分析师及监理工程师的分工，形成“采集—分析—应用—反馈”的闭环管理流

程。搭建跨部门协同平台，实现监理单位与施工、设计单位的数据共享，及时沟通解决巡查发现的问题，提升监理工作的协同效率。

4.3 政策层面

政策层面需强化顶层设计，提供制度保障与政策支持。首先完善行业标准体系，由水利主管部门牵头制定无人机巡查技术在水利工程监理中的应用标准、评估规范及成果验收标准，统一技术要求与应用尺度，推动技术应用规范化发展。政策支持方面，加大财政资金投入，设立专项基金用于无人机设备购置、技术研发及人才培养，对采用无人机巡查技术的监理单位给予补贴或奖励，降低应用成本；鼓励产学研合作，出台优惠政策吸引高校、企业参与水利专用无人机及配套技术的研发，促进科技成果转化^[4]。监管与服务方面，建立无人机飞行管控协调机制，与空管部门合作简化水利工程作业空域申请流程，保障巡查作业顺利开展；搭建行业信息服务平台，共享技术成果、应用案例及人才资源，为监理单位提供技术支持与咨询服务，推动无人机巡查技术在水利工程监理领域的广泛应用。

结束语

无人机巡查技术为水利工程监理带来了新契机，在施工期、运行期及特殊环境应用中成效显著。通过构建科学的评估指标体系，能精准衡量其应用效能。而从技术升级、管理规范、政策支持等方面发力，可进一步提升应用效能。未来，随着技术发展与应用深化，无人机巡查技术有望在水利工程监理领域发挥更大作用，推动水利工程监理向智能化、高效化方向迈进。

参考文献

- [1]杨琛.无人机低空摄影测量技术在水利工程测量中的应用研究[J].中国厨卫,2024,23(11):222-224.
- [2]胡佳慧,高军科,薄贺飞,等.无人机遥感技术在农田水利工程管理中的应用[J].种子科技,2025,43(2):180-182.
- [3]王全民.浅析无人机低空航摄在农田水利工程测绘中的应用[J].农业灾害研究,2024,14(4):275-277.
- [4]张峰.无人机遥感技术在水利工程测量中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(24):154-156.