智慧水利背景下无人机大坝巡查模式创新与实践

赵映玺[1]，顾宗瑞[1]，祁万旭[1]，王国科[2]
（1.青海建筑职业技术学院，青海 西宁 810012；
2.湟源县大华水库管理所，青海 西宁 812100）

摘 要 在智慧水利建设与数字孪生水利体系构建的行业背景下，无人机技术成为破解传统大坝巡查痛点、提升水利工程管护智能化水平的核心抓手。本文以湛江市鹤地水库、大水桥水库等重点大坝工程为实践案例，分析传统大坝巡查模式的局限性，探讨多类型无人机在大坝日常巡检、隐患排查、应急监测等场景的创新应用模式，通过数据对比与案例分析论证无人机技术在降本增效、提升巡查精准度、强化应急响应能力中的核心价值，并提出模式优化建议，旨在对推动智慧水利背景下大坝巡查体系升级提供参考。

关键词 智慧水利；大坝巡查；无人机技术；隐患排查
中图分类号：TV698.1；P237 **文献标志码**：A DOI：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.29.008

0 引言

大坝作为水利工程的核心构筑物，其安全运行直接关系到流域防洪、供水、灌溉等综合效益的发挥，是水安全保障体系的重要组成部分。传统大坝巡查以人工步巡、目视检查为主，受大坝地形复杂、监测区域广、恶劣天气等因素限制，存在巡查盲区多、隐患识别精度低、高空及临水区域作业风险大等问题，已难以满足智慧水利对工程管理“空天地一体化”监测的发展需求。无人机航测是传统航空摄影测量手段的有力补充，具有机动灵活、高效快速、精细准确、作业成本低、适用范围广、生产周期短等特点，成为智慧水利监测的重要技术手段。

1 传统大坝巡查模式的局限性

1.1 人力资源高度依赖，巡查效率瓶颈突出

传统大坝巡查需组建3人～5人巡查班组，采用徒步、车辆结合船舶的方式对坝顶、坝坡、溢洪道、消力池等关键部位逐一排查，单座中型水库大坝全流程巡查耗时约1天～2天，小型水库大坝单次巡查平均耗时4小时，人力投入大且效率低下。针对鹤地水库主坝长6.3千米、副坝共36座的工程特点，人工巡查需分6个班组同步开展，每月全库区巡查人力成本超2万元。同时，人工巡查受视野限制，对大坝背水坡高边坡、库区消力池水下区域、坝体隐蔽裂缝等部位的排查存在“看不清、到不了”的问题，湛江水利部门2022年统计数据显示，传统模式下大坝隐患漏检率达15%，部分微小裂缝、坝体沉陷等隐患无法及时发现。

1.2 作业环境复杂，安全风险居高不下

湛江市部分水库大坝位于红树林滩涂、山区陡坡地带，如大水桥水库副坝穿越徐闻县曲界镇丘陵区域，坝坡坡度达35°以上，人工徒步巡查易发生滑坠、摔伤事故；沿海大坝受台风、潮汐影响，汛期坝体周边水域流速快，船舶巡查存在触礁、翻船风险。2020-2023年，湛江水利系统共发生大坝巡查人员轻微受伤事故8起，均因复杂地形与恶劣天气导致。此外，人工排查坝体渗流点、溢洪道闸门锈蚀等问题时，需近距离接触涉水、高空部位，触电、溺水等安全隐患突出[1]。

1.3 应急响应滞后，无法适配突发灾害处置

在传统模式下，大坝遭遇台风、暴雨、洪水等突发灾害后，人工巡查需等待天气转好、现场环境稳定后方可开展，隐患排查与数据采集存在明显滞后性。2023年台风“泰利”影响湛江期间，鹤地水库库区风浪达7级以上，人工巡查无法开展，坝体周边岸线冲刷情况直至台风过境后36小时才完成初步排查，错失了应急处置的黄金窗口期。同时，人工巡查仅能通过文字、照片记录现场情况，数据传输慢、信息维度单一，无法为应急指挥提供实时、全面的决策支撑。

作者简介：赵映玺（1994-），男，本科，助教，研究方向：水利水电工程。

1.4 数据记录不规范，难以形成管护闭环

传统大坝巡查采用纸质台账记录隐患信息，存在记录不规范、数据难以追溯、信息共享不畅等问题，部分巡查人员对隐患位置、规模、发展趋势的描述缺乏量化指标，导致后续整改工作针对性不足[2]。此外，纸质数据无法实现与水利管理平台的对接，巡查、整改、复核等环节的信息传递存在断层，难以形成“发现—上报—处置—复核”的管护闭环，大坝养护工作的科学性与系统性大打折扣。

2 智慧水利背景下无人机大坝巡查模式的实践与创新

2.1 无人机巡查体系的硬件配置与场景适配

湛江市水利部门根据不同大坝类型、巡查场景的需求，构建了分级分类的无人机装备体系，实现“一机多用、场景适配”，具体配置与应用场景如表 1 所示。

表 1 湛江市大坝巡查无人机装备配置与场景适配表

无人机类型	核心配置	适用场景	代表应用工程
多旋翼高清无人机（大疆经纬 M300RTK）	4K 变焦镜头、热成像仪、GPS 定位	坝体表面裂缝、锈蚀、渗流点排查，坝坡植被清理检查	鹤地水库主坝、大水桥水库副坝
固定翼长航时无人机（纵横 CW-15）	续航 120 分钟、航测精度 5 厘米、全景相机	大坝库区地形测绘、岸线冲刷监测、大范围巡查	南渡河拦河坝、长青水库库区
水空两栖智能无人机（科微斯 KWS-AC600）	北斗定位、超声波测深仪、水质采样器	汛期坝前水域测流、水下坝体冲刷监测、库区水质采样	鹤地水库溢洪道、大水桥水库库心

2.2 无人机大坝巡查的核心应用场景创新

2.2.1 全要素覆盖日常巡检，实现隐患精准识别

湛江水利部门将无人机日常巡检纳入大坝养护常态化工作，制定《无人机大坝日常巡查作业规程》，明确巡查频次、航线规划、数据采集标准。巡查人员提前将大坝 CAD 图纸、关键点位坐标导入无人机飞控系统，规划标准化巡查航线，实现坝顶、迎水坡、背水坡、溢洪道、消力池、管理范围等区域的全要素覆盖巡查[3]。多旋翼无人机搭载高清变焦镜头与热成像仪，可对坝体混凝土裂缝、砌石坝勾缝脱落、闸门锈蚀等问题进行放大拍摄；热成像仪通过温度差异快速定位坝体渗流点，解决了人工巡查难以发现隐蔽渗流的难题。以鹤地为例，在共产主义渠防汛演练中，精准识别出 3 处模拟渗漏点，大幅提升了隐患排查效率；与此同时，淇县针对淇河险工堤防的风险特点开展试点，布设了 5 支智能渗压计，覆盖 1 公里关键区域，目前已正式投入使用，可实时监测堤防渗流情况。

2.2.2 地形测绘高效采集，为大坝安全评估提供数据支撑

针对传统人工测绘效率低、劳动强度大的问题，湛江水利部门采用固定翼长航时无人机开展大坝库区与坝体地形测绘，以无人机航测为主、人工局部校验为辅，实现地形数据的快速采集与建模。无人机搭载航测相机对大坝及周边 1:2 000 范围进行航拍，通过专业软件处理生成三维点云模型与数字高程模型（DEM），精准获取坝体沉降、库区岸线冲刷、消力池泥沙淤积等数据。以大水桥水库库区地形测绘为例，传统人工测绘 10 平方千米区域需 15 天，采用固定翼无人机仅需 1 天即可完成数据采集，经后期处理生成高精度地形图纸，测绘效率提升 15 倍，且数据精度达 5 厘米，满足大坝安全评估与养护设计的要求。2024 年，湛江水利部门通过无人机航测完成 12 座大中型水库大坝的地形数据更新，为坝体安全稳定性分析、库区清淤工程设计提供了精准的基础数据。

2.2.3 应急监测快速响应，适配突发灾害处置

依托水空两栖智能无人机等专用设备，湛江水利部门构建了大坝突发灾害无人机应急监测体系，实现台风、暴雨、洪水等灾害后的快速巡查与数据采集[4]。水空两栖无人机由湛江市水文分局自主研发，搭载北斗定位、超声波测深仪与水质采样器，可抵御 7 级大风，既能在空中航拍坝体受损情况，也能降落水面开展坝前水域流速、水深测量，解决了极端天气下人工无法开展水下监测的难题。2024 年台风“摩羯”登陆湛江期间，徐闻县大水桥水库库区风浪较大，坝前岸线出现局部冲刷，湛江水利部门迅速出动水空两栖无人机，30 分钟内完成库区坝体巡查与水下冲刷数据采集，实时回传高清影像与测流数据，应急指挥部门根据无人机数据快速制定岸线防护方案，仅用 6 小时完成应急处置，有效避免了坝体受损扩大。该无人机在应急监测中单人即可远程操控，5 分钟～ 15 分钟生成完整测量报告，效率较传统方法提升 5 倍，为大坝应急处置抢出了“黄金窗口期”。

2.2.4 专项核查精准取证，强化大坝管理执法

针对大坝管理范围内非法采砂、违章建筑、围库养殖等违法行为，湛江水利部门利用无人机开展专项核查，通过高清航拍实现违法行为的精准识别与取证。无人机可对人工难以抵达的库区偏远区域进行巡查，

搭载的实时传输系统可将航拍影像同步回传至水行政执法平台，执法人员根据影像信息快速定位违法地点，固定证据链，提升执法效率。2024年，湛江水利部门利用无人机开展大坝管理范围专项核查46次，发现非法采砂点3处、违章建筑5处、围库养殖区域2处，均通过无人机航拍影像完成取证，执法处置效率较传统模式提升60%，有效规范了大坝周边管理秩序，保障了坝体运行安全。

3 智慧水利背景下无人机大坝巡查模式的优化路径

3.1 推进技术迭代，构建无人机、5G与AI智能巡查体系

紧扣数字孪生水利建设要求，加快推进5G、人工智能、北斗定位等技术与无人机巡查的融合应用。一是优化无人机硬件配置，针对湛江沿海大坝高盐雾、强风的环境特点，研发定制化抗腐蚀、抗大风无人机，配备高分辨率相机、多光谱仪、三维激光扫描仪等设备，提升复杂环境下的巡查能力；二是提升AI算法精度，在无人机巡查数据管理平台中引入更先进的坝体隐患识别算法，实现裂缝、渗流、锈蚀、沉降等隐患的自动识别、量化分析与趋势预测；三是构建5G实时传输网络，在辖区大中型水库大坝周边布设5G基站，实现无人机航拍影像、监测数据的超高清、低延迟实时回传，为应急指挥提供更及时的决策支撑[5]。

3.2 完善标准体系，规范无人机巡查作业全流程

以《水利无人机监测技术规范》为依据，结合湛江大坝工程实际，制定《湛江市水库大坝无人机巡查作业实施细则》，明确无人机选型、航线规划、飞行参数、数据采集、质量控制、成果提交等全流程标准，统一隐患识别、数据记录、台账管理的规范要求。同时，建立无人机巡查数据质量评价体系，对航测精度、影像清晰度、隐患识别准确率等指标进行量化考核，确保巡查数据的科学性与可用性。此外，推动无人机巡查数据与数字孪生大坝模型的对接，将无人机采集的实时数据融入数字孪生模型，实现大坝运行状态的动态仿真与模拟，提升大坝安全管控的智能化水平。

3.3 健全工作机制，强化无人机巡查的保障能力

为强化无人机巡查的保障能力，建立无人机巡查结合人工复核的联动机制，将无人机巡查发现的隐患分为一般隐患、较大隐患、重大隐患三个等级。一般隐患通过无人机定期复核，较大、重大隐患由人工现场精准核查，实现无人机与人工巡查的优势互补[6]。通过将无人机巡查工作纳入大坝养护绩效考核体系，明确各养护单位的无人机巡查频次、数据上传率、隐患整改率等考核指标，设立无人机技术应用创新奖励基金，鼓励一线工作人员探索巡查新模式、新方法。建立无人机设备运维保障机制，组建专业的无人机运维团队，定期对设备进行检修、校准，确保设备正常运行。同时，建立无人机应急调配机制，实现辖区无人机设备的统一调度，提升突发灾害下的应急监测能力。

3.4 加强人才培养，打造专业化无人机巡查队伍

针对当前水利系统无人机专业人才缺乏的问题，与水利类高职院校、无人机培训机构合作，开展无人机操作、数据处理、隐患识别等专项培训，重点培养既懂水利工程又懂无人机技术的复合型人才。通过建立无人机操作员持证上岗制度，对辖区水利系统无人机操作人员进行统一考核，考核合格后方可开展作业。定期组织无人机巡查岗位练兵与技能竞赛，结合实际大坝工程开展实战化演练，提升操作人员在复杂环境下的作业能力与应急处置能力。同时，鼓励水利系统年轻干部学习无人机技术，充实无人机巡查队伍，为无人机大坝巡查模式的持续推进提供人才支撑。

4 结束语

无人机技术作为智慧水利的核心技术之一，有效破解了传统大坝巡查人力资源依赖、效率低、安全风险高、应急响应滞后等痛点。湛江市构建包括鹤地水库、大水桥水库等重点工程的多机型适配、全场景覆盖与数据化管理的无人机大坝巡查新模式，实现了大坝日常巡检、地形测绘、应急监测、专项核查的全流程智能化，较传统人工巡查模式在效率、成本、安全、管理等方面实现了质的提升，为智慧水利建设注入新动能，助力水利工程高质量发展。

参考文献：

[1] 付伟锋，盖侨侨．免像控无人机摄影测量技术在水利工程中的应用比较分析[J]．广东水利水电，2026(02):122-127.

[2] 耿凯业．水利工程测绘中无人机航测技术的创新应用与验证[J]．无人机，2026(02):19-21.

[3] 胡珺．智慧水利在中小河流管理中的应用研究：以肇兰新河为例[J]．黑龙江水利科技，2026,54(02):121-124.

[4] 李占华，张庆竹，吕艳，等．无人机遥感技术在智慧水利监测与评估中的应用：评《5G+智慧水利》[J]．人民长江，2025,56(12):282-283.

[5] 于博文．智慧水利工程建设与管理实施新路径研究[J]．中国水运，2024,24(14):105-107.

[6] 石智强．基于无人机遥感数据的施工现场不安全行为检测和安全状态分析研究[D]．宜昌：三峡大学，2023.