

水利工程监理中无人机巡检技术的适用性及精度优化研究

曾隆浩 金群力

永嘉县水利局 浙江 温州 325100

摘要: 本文聚焦水利工程监理中无人机巡检技术,阐述了水利工程监理核心任务与无人机技术优势,分析不同水利工程场景下无人机巡检的适用性。剖析影响巡检精度的硬件、环境、数据处理层面因素及误差。最后从硬件优化、飞行参数调整、数据处理算法改进、构建质量控制体系等方面提出精度优化策略,旨在提升水利工程监理中无人机巡检的精度与质量,推动监理工作智能化发展。

关键词: 水利工程监理; 无人机巡检; 适用性分析; 精度优化

引言: 水利工程监理对保障工程合规性与安全性至关重要,巡检是关键环节。传统人工巡检在偏远复杂水利工程区域面临效率低、盲区多、安全风险大等问题。无人机技术凭借高效便捷、作业范围广、数据采集精准等优势,成为水利监理巡检的重要辅助手段。本文深入探讨水利工程监理中无人机巡检技术的适用性及精度优化策略,为水利工程监理工作提供参考,助力水利工程高质量发展。

1 水利工程监理巡检需求与无人机技术特性

1.1 水利工程监理核心任务

水利工程监理核心任务是依据工程建设规范、设计文件及合同要求,对工程质量、进度、投资、安全四大目标进行全过程监督管控,其中巡检工作是监理履职的关键环节。水利工程多处于偏远复杂区域,涉及大坝、堤防、河道等多种构筑物,巡检范围广、环境恶劣、危险点多,传统人工巡检效率低、盲区多,且难以对高空、深水等危险区域开展全面排查。监理需通过巡检及时发现工程施工缺陷、结构隐患及违规操作,出具巡检报告并督促整改,保障工程建设合规性与安全性,为工程验收提供可靠依据,同时规避工程质量风险,确保水利工程长期稳定运行,发挥防洪、灌溉、供水等核心功能。

1.2 无人机技术优势

无人机技术凭借其独特优势,有效弥补了传统水利监理巡检的不足,成为监理工作的重要辅助手段。其首要优势是高效便捷,可快速升空开展巡检,覆盖大面积工程区域,大幅缩短巡检周期,相较于人工巡检效率提升5-10倍,尤其适用于大型水利工程的常态化巡检^[1]。其次是作业范围广,可突破地形、水域限制,对高空坝体、偏远堤防、深水河道等人工难以抵达的区域进行全方位排查,消除巡检盲区。无人机搭载各类传感器可实现数据精准采集,生成高清影像、三维模型等资料,为监

决策提供直观、可靠的数据支撑,同时减少人工巡检的安全风险,降低监理工作强度,兼顾巡检的全面性与经济性,推动水利监理巡检向智能化、精细化转型。

1.3 无人机类型与传感器选型

水利工程监理巡检需结合不同工程场景,合理选择无人机类型与配套传感器,确保巡检效果。无人机类型主要分为多旋翼无人机、固定翼无人机及垂直起降固定翼无人机:多旋翼无人机机动性强、可悬停,适合近距离精准巡检坝体裂缝、建筑物细节,适配中小型区域巡检;固定翼无人机续航时间长、飞行速度快,适合大范围堤防、河道巡检,可快速完成区域覆盖;垂直起降固定翼无人机兼具两者优势,适配复杂地形的长距离、高精度巡检。传感器选型需匹配巡检需求,可见光相机用于捕捉工程表面缺陷,如裂缝、渗漏、破损等;红外热成像传感器可检测坝体、堤防内部温度异常,排查渗漏隐患;激光雷达传感器用于构建工程三维模型,精准测量尺寸、高差,为监理质量控制提供量化数据,确保巡检数据的准确性与实用性。

2 水利工程监理中无人机巡检技术适用性场景分析

2.1 大坝工程

大坝作为水利工程的核心构筑物,其结构安全直接关系到工程整体稳定性,无人机巡检在大坝工程监理中具有极高的适用性。大坝坝体高大、结构复杂,传统人工巡检难以全面覆盖坝顶、坝坡、坝基等关键部位,且高空作业存在安全风险。无人机可搭载可见光相机、红外热成像传感器,从不同角度对坝体进行全方位巡检,精准捕捉坝体表面裂缝、剥蚀、渗漏等缺陷,通过红外成像检测坝体内部温度差异,排查坝体渗漏、结构松散等隐蔽隐患。同时无人机可定期对大坝进行巡检,生成连续的影像资料,便于监理人员对比分析坝体变形情况,跟踪缺陷整改进度,确保大坝施工质量符合规范要求,及

时发现并规避坝体坍塌、渗漏等安全风险,保障大坝长期安全运行。

2.2 堤防与河道工程

堤防与河道工程线路长、分布广,多沿河流、湖泊分布,地形复杂,传统人工巡检效率低、盲区多,无人机巡检可有效解决这一痛点,是堤防与河道监理巡检的理想手段。对于堤防工程,无人机可沿堤防线路低空飞行,全面排查堤防堤顶、堤坡、堤脚的破损、冲刷、滑坡、管涌等缺陷,尤其适用于偏远河段、沼泽区域等人工难以抵达的部位,确保堤防防护功能完好^[2]。对于河道工程,无人机可航拍河道断面、岸线变化,监测河道淤积、疏浚情况,核查河道整治工程的施工质量,同时跟踪河道周边违规施工、植被破坏等情况,为监理人员提供直观的影像数据,便于精准判断工程质量,及时督促整改,保障堤防防洪能力与河道行洪安全,推动堤防与河道工程监理工作提质增效。

2.3 穿堤建筑物

穿堤建筑物(如涵闸、渡槽、倒虹吸等)是水利工程的重要组成部分,其施工质量与运行状态直接影响堤防整体安全,无人机巡检可实现对穿堤建筑物的精准监理。穿堤建筑物结构复杂,部分部位隐蔽性强,人工巡检难以全面排查内部缺陷与周边衔接隐患。无人机可通过悬停、近距离拍摄等方式,对建筑物的进出口、闸室、涵管、伸缩缝等关键部位进行细致巡检,捕捉结构破损、渗漏、错位、裂缝等缺陷,同时监测建筑物与堤防衔接处的回填质量,排查渗漏、冲刷等隐患。此外,无人机可结合激光雷达传感器,精准测量穿堤建筑物的尺寸、高程,核查施工是否符合设计要求,为监理质量验收提供量化数据,确保穿堤建筑物施工质量达标,避免因局部缺陷引发堤防渗漏、溃决等安全事故。

2.4 施工场地管理

水利工程施工场地范围广、人员设备多、工序复杂,监理需对施工场地进行全方位管控,无人机巡检可有效提升施工场地监理效率与质量。无人机可对施工场地进行高空航拍,全面掌握施工进度,核查施工区域划分、临时设施布置是否符合规范要求,监测施工便道、料场、加工区的布置与使用情况,及时发现违规堆放、乱搭乱建等问题。同时,可跟踪施工设备进场、使用情况,核查设备规格、数量是否符合合同要求,监测施工人员作业规范,排查高空作业、临水作业等安全隐患。另外,无人机可定期拍摄施工场地影像,形成施工进度台账,便于监理人员对比分析施工进度与计划的偏差,督促施工单位调整施工方案,同时为工程投资控制、进度管控提供

可靠依据,保障施工场地有序、安全、合规施工。

3 无人机巡检精度影响因素与误差分析

3.1 硬件层面误差

硬件设备是无人机巡检精度的基础,其性能缺陷与参数偏差会直接导致巡检数据误差,影响监理判断的准确性。无人机本体方面,机身稳定性不足、飞行控制系统精度不够,会导致飞行姿态偏差,出现航向偏移、高度波动等问题,进而影响影像采集的清晰度与定位精度;动力系统故障、电池续航不足会导致飞行中断或姿态异常,造成数据缺失或偏差^[3]。传感器方面,可见光相机的像素、焦距偏差,红外热成像传感器的测温精度不足,激光雷达传感器的测距误差,都会影响采集数据的准确性,如裂缝尺寸测量偏差、温度检测误差、三维建模精度不足等。此外,GPS/北斗定位模块的定位精度、天线接收信号的稳定性,也会影响无人机的位置定位精度,导致巡检点位偏差,影响缺陷定位的准确性。

3.2 环境层面误差

水利工程巡检区域多为户外复杂环境,环境因素是影响无人机巡检精度的重要外部因素,易导致巡检数据出现偏差。气象条件方面,风力过大易导致无人机飞行姿态不稳定,出现晃动、偏移,影响影像采集质量;降雨、大雾、沙尘等天气会遮挡镜头,降低影像清晰度,导致缺陷识别困难,同时影响传感器信号传输,造成数据误差;温度过高或过低会影响电池性能与传感器精度,如红外热成像传感器在极端温度下测温偏差会明显增大。地形与电磁环境方面,复杂地形(如高山、峡谷、水域)会遮挡GPS/北斗信号,导致定位精度下降;周边电磁干扰(如高压线路、通信基站)会影响无人机飞行控制系统与传感器的信号传输,导致数据采集异常,进而影响巡检精度,增加监理工作的误判风险。

3.3 数据处理层面误差

无人机巡检采集的原始数据需经过一系列处理才能用于水利工程监理,数据处理过程中的操作不当与方法缺陷,会产生误差,影响数据的实用性。数据预处理阶段,若原始影像的畸变校正不彻底、噪声去除不规范,会导致影像模糊、变形,影响缺陷识别与尺寸测量精度;数据拼接过程中,拼接算法选择不当、特征点匹配不准确,会导致拼接缝隙、影像错位,影响整体巡检影像的完整性与准确性。数据解译阶段,若解译人员专业水平不足,对缺陷类型、尺寸的判断出现偏差,或三维建模过程中参数设置不合理,会导致模型精度不足,无法准确反映工程实际情况。

4 水利工程监理中无人机巡检精度优化策略

4.1 硬件优化方案

针对硬件层面误差,需通过硬件选型、设备校准与维护,优化无人机巡检硬件系统,提升巡检精度。无人机本体选型需结合水利工程巡检需求,选择稳定性强、飞行控制系统精度高、定位模块先进的设备,优先选用搭载GPS/北斗双模定位的无人机,提升定位精度;同时配备备用电池,避免因续航不足导致数据缺失。传感器选型需匹配巡检场景,选择像素高、焦距稳定的可见光相机,测温精度高的红外热成像传感器,测距准确的激光雷达传感器,并定期对传感器进行校准,消除设备本身的系统误差。建立硬件设备定期维护制度,定期检查无人机机身、动力系统、定位模块及传感器的性能,及时更换老化、损坏部件,确保硬件设备处于良好运行状态,从源头减少硬件层面的误差。

4.2 飞行参数优化

飞行参数的合理设置是提升无人机巡检精度的关键,需结合水利工程巡检场景与环境条件,优化飞行参数,减少飞行姿态偏差与数据采集误差。飞行高度方面,根据巡检目标调整高度,近距离巡检坝体、穿堤建筑物等细节部位时,适当降低飞行高度,提升影像清晰度;大范围巡检堤防、河道时,合理提高飞行高度,确保覆盖全面,同时避免高度过高导致细节模糊。飞行速度方面,控制飞行速度在合理范围,避免速度过快导致影像模糊、漏拍,速度过慢影响巡检效率,一般设置为5-10m/s。另外,优化飞行航线,采用规划航线飞行,确保巡检区域全覆盖、无遗漏,同时避开风力较大、电磁干扰强的区域,选择合适的飞行时间,避开降雨、大雾等恶劣天气,减少环境因素对飞行姿态的影响,提升巡检数据精度。

4.3 数据处理算法改进

针对数据处理层面误差,需改进数据处理算法,规范数据处理流程,提升数据处理精度与效率。数据预处理阶段,采用先进的影像畸变校正算法与噪声去除算法,对原始影像进行精准校正与降噪处理,提升影像清晰度与完整性;数据拼接阶段,选用高精度拼接算法,优化特征点匹配方式,减少拼接缝隙与错位,确保拼接影像的准确性^[4]。数据解译阶段,引入人工智能算法,构建缺陷识别模型,实现对坝体裂缝、渗漏等缺陷的自动识别与尺寸测量,减少人工解译的主观误差;三维建模阶段,优化

建模算法,合理设置建模参数,提升三维模型的精度,确保模型能够准确反映工程实际尺寸与结构特征。同时,建立数据处理质量审核制度,对处理后的数据进行复核,及时发现并修正数据误差。

4.4 质量控制体系构建

构建完善的无人机巡检质量控制体系,是保障巡检精度、提升监理工作质量的重要保障,需从人员、流程、标准三个方面入手,实现全流程质量管控。人员方面,加强监理人员与无人机操作人员的专业培训,提升其无人机操作、数据采集、数据解译的专业能力,确保操作人员规范操作,监理人员能够准确判断巡检数据的合理性与准确性。流程方面,建立无人机巡检全流程管理制度,明确巡检计划制定、设备检查、数据采集、数据处理、质量审核、报告出具等各环节的要求,规范操作流程,避免人为操作失误。标准方面,结合水利工程监理规范,制定无人机巡检精度标准、缺陷识别标准、数据处理标准,明确巡检数据的精度要求与验收标准,确保巡检工作有章可循,同时建立巡检数据溯源机制,便于后续核查与追溯,全面提升无人机巡检质量,为水利工程监理提供可靠支撑。

结束语

水利工程监理中无人机巡检技术优势显著,在不同工程场景适用性良好。然而,其巡检精度受硬件、环境、数据处理等多因素影响。通过硬件优化、飞行参数合理设置、数据处理算法改进及构建质量控制体系等策略,可有效提升巡检精度。未来,随着技术不断进步,无人机巡检有望在水利工程监理中发挥更大作用,为水利工程的安全稳定运行提供更坚实保障。

参考文献

- [1] 胡兰,刘林云.水利工程监理中无人机巡检技术的适用性探讨[J].科技与创新,2025(24):140-142.
- [2] 蒲鸥,袁柏秋,陈绍南,等.水电站智能化巡检技术研究进展与展望[J].广西电力,2023,46(06):67-73+80.
- [3] 刘海杰,王冬浩.浅谈水利工程安全管理存在的问题及对策[J].河北水利,2023,(11):23+25.
- [4] 杨磊.利用无人机技术进行水利工程巡检的有效性分析[J].水上安全,2024,(21):13-15.