

无人机低空遥感技术在河道堤防安全生产隐患排查中的应用

姜泽熙

第一师阿拉尔市水利工程管理服务中 心，新疆 阿拉尔 843300

[摘要] 针对传统堤防人工巡检存在盲区多、隐性隐患识别弱、效率偏低的问题，本文依托无人机多模态低空遥感技术，开展河道堤防安全生产隐患排查应用研究。结合堤防典型隐患的发育特征与成因，系统剖析可见光、热红外、激光雷达遥感技术的隐患识别适配机理，构建包含设备选型、航线规划、野外作业、数据处理的标准化巡检技术体系。结合现场应用场景梳理技术现存短板，提出可落地的优化路径。结果表明，无人机遥感可实现堤防显性与隐性隐患的精准排查，能够有效提升堤防巡检智能化水平，可为堤防安全运维提供技术支持。

[关键词] 无人机低空遥感；河道堤防；安全隐患排查；多源遥感；智慧水利

DOI: 10. 64635/ja. 2026. 1502

中图分类号: TV871

文献标识码: A

Application of UAV Low-Altitude Remote Sensing Technology in Safety Hazard Investigation of River Levees

Jiang Zexi

Water Conservancy Engineering Management Service Center of the First Division Alar City, Alar, Xinjiang 843300, China

Abstract: To address the problems of numerous blind spots, weak identification of hidden hazards, and low efficiency in traditional manual levee inspection, this paper conducts research on the application of UAV multimodal low-altitude remote sensing technology in safety hazard investigation of river levees. Combined with the development characteristics and causes of typical levee hazards, the paper systematically analyzes the hazard identification adaptation mechanisms of visible-light, thermal infrared, and LiDAR remote sensing technologies, and constructs a standardized inspection technical system covering equipment selection, route planning, field operations, and data processing. Based on field application scenarios, the existing technical shortcomings are reviewed, and practical optimization paths are proposed. The results show that UAV remote sensing can achieve accurate investigation of both visible and hidden hazards in levees, effectively improve the intelligent level of levee inspection, and provide technical support for safe levee operation and maintenance.

Keywords: UAV low-altitude remote sensing; river levee; safety hazard investigation; multi-source remote sensing; smart water conservancy

引言

河道堤防是流域防洪减灾的核心水利基础设施，长期经受水流冲刷、干湿循环、地质形变与人为扰动等多重作用，易滋生结构破损、渗透渗漏、岸坡失稳等安全隐患。多数隐性隐患具备隐蔽性、累积性特征，汛期高水位条件下易快速恶化，诱发滑坡、管涌甚至溃堤险情，直接威胁沿岸防洪安全。当前基层堤防隐患排查多依赖人工巡查与简易设备监测，存在作业效率低、监测盲区大、隐性病害识别能力不足等问题，难以满足堤防精细化、常态化安全管控需求^[1]。

智慧水利建设背景下，无人机低空遥感凭借机动灵活、成本可控、适配性强的优势，有效弥补了传统巡检的技术短板，适用于堤防长线式、复杂化野外巡检场景。现阶段相关研究多聚焦单一隐患识别与算法优化，缺乏适配基层常态化运维的成套标准化作业体

系，技术落地应用性不足。为此，本文构建多模态无人机遥感巡检技术体系，系统开展隐患适配性分析、技术体系搭建及应用短板研究，提出针对性优化策略，以期河道堤防智慧化隐患排查与长效安全管理提供参考。

1 河道堤防典型隐患特征及遥感适配性分析

1.1 堤防主要安全生产隐患类型与成因

河道堤防长期露天运行，在自然侵蚀、工程老化及人为扰动的耦合作用下，易滋生各类安全隐患，直接影响流域防洪体系的稳定运行。从病害类型来看，结构破损是堤防最普遍的显性隐患，受水流长期冲刷、土体干湿循环及外部荷载作用，堤身易产生裂缝、面层破损、不均匀沉降等病害，持续削弱堤防结构完整性与防洪能力。相较表层破损，渗透破坏类隐患具备隐蔽性强、风险度高的特点，是汛期堤防险情频发的

主要诱因。受堤身土体压实度不足、堤基地质不均、穿堤结构衔接不密实等先天条件影响,高水位工况下水体易渗入堤体,长期渗流作用极易诱发渗漏、管涌等高风险情,严重威胁堤防运行安全。

岸坡失稳也是堤防重点隐患类型,多集中于河道弯道、水流顶冲等薄弱堤段,水流持续淘刷会弱化岸坡土体稳定性,叠加降雨入渗导致的土体抗剪强度下降,易引发边坡溜塌、小型滑坡等问题。同时,堤防管理范围内的违规取土、违建堆积等人为活动,会改变堤防原有结构形态、压缩行洪断面,抬高防洪风险。白蚁、鼠类等穴居生物在堤身构筑的隐蔽孔洞,会形成潜在渗水通道,长期累积将持续弱化堤防整体稳定性,逐步演变为重大安全隐患^[2]。

1.2 各类隐患遥感识别适配性

不同堤防隐患的发育特征与表现形式差异显著,依托多模态无人机遥感技术可实现分类、精准化识别,有效适配堤防多元化隐患排查需求。可见光遥感技术适用于堤身裂缝、护坡破损、岸坡坍塌等显性结构隐患的筛查,凭借低空高清成像优势,可快速捕捉隐患形态、位置与发育规模,满足大范围堤段常态化巡检需求。针对传统巡检难以识别的渗漏、散浸等隐性隐患,热红外遥感技术具备独特适配性,可依托湿润土体与干燥土体的温度差值,精准识别堤身温度异常区域,判定隐性渗漏隐患范围,弥补传统巡检的技术短板^[3]。

激光雷达遥感可通过高精度点云数据构建堤防三维地形模型,精准捕捉堤身沉降、岸坡滑移、河道淤积等细微地形变化,实现形变类隐患的量化分析。多光谱遥感技术则可捕捉土体湿度异常、植被生长失衡等微弱特征,辅助识别生物蛀洞引发的隐性隐患,同时可配合可见光影像完成堤防违建、垃圾堆积等人为隐患的快速排查。综上,多模态无人机遥感体系可全方位覆盖堤防各类显性与隐性隐患,适配堤防精细化、常态化安全生产排查的工作需求,为堤防智慧化运维提供可靠技术支撑。

2 堤防隐患排查无人机低空遥感技术体系

2.1 无人机设备与传感器选型

河道堤防具备线性狭长、作业跨度大、野外环境复杂的工程特征,常规监测设备难以适配全域常态化排查需求,为此本次研究选用多旋翼无人机作为核心巡检设备。该类型无人机对起降场地要求较低,低空飞行稳定性优异,能够适配堤防野外复杂作业环境。设备可搭载多类传感设备,飞行高度与飞行姿态可灵

活调控,不仅能够满足精细化隐患识别的精度标准,其良好的抗风性能也可适配野外常规气象作业条件,完全贴合基层堤防常态化安全排查的工作需求。

为实现显性与隐性隐患的全方位识别,本次研究搭配三类核心传感设备组建多源数据采集体系,不同设备各司其职且相互补充。高清可见光相机主要负责采集堤防表层全景影像,凭借高清成像优势,可精准呈现堤身结构破损、人为违规建设等表层显性问题。热红外成像设备依托土体温度差异识别渗漏隐患,不受日间光照条件制约,可实现昼夜不间断作业,有效弥补显性隐患排查的技术短板。小型激光雷达设备可快速采集堤防表层三维点云数据,精准还原堤防真实地形地貌,为堤身形变监测、河道淤积测算等量化分析工作提供可靠的数据支撑,三类设备协同构建起多维度、全覆盖的隐患数据采集体系^[4]。

2.2 巡检航线规划与野外作业规范

航线规划是保障遥感数据采集精度、实现堤防无盲区排查的核心前提,需要结合堤防线性延伸的工程特征科学布设航线。本次研究采用平行往复式飞行航线,航线整体贴合堤防走向,通过合理设置影像横向与纵向重叠参数,有效规避影像拼接漏洞,彻底消除排查盲区。为兼顾作业效率与监测精度,本次研究采用分区作业模式,常规堤段统一设置标准化飞行参数,保障全域排查效率。针对历史隐患点位、穿堤建筑物、水流顶冲岸坡、陡峭堤段等高风险区域,进一步加密航线布设,通过降低飞行高度、环绕式精细化飞行的方式,重点强化重点区域的数据采集精度。

规范的野外作业流程是保障原始数据质量的关键,作业开展前需完成全方位设备调试与场地核查工作。工作人员提前校准各类传感器参数,测试无人机飞行姿态、定位系统的稳定性,从源头规避设备系统误差。同时全面排查作业区域周边环境,梳理高压线路、高大树木等障碍物分布情况,划定专属安全作业范围。野外作业需结合气象条件合理统筹,主动避开暴雨、大雾、强风等恶劣天气,选择气流稳定、光线充足的时段开展工作。单批次飞行作业完成后,及时核查原始数据的完整性与清晰度,针对影像模糊、覆盖不全的局部区域及时开展补拍作业,确保所有原始数据均可满足后续处理标准。

2.3 多源遥感隐患识别机理与数据处理方法

无人机野外采集的原始遥感数据普遍存在噪声干扰、影像畸变、数据残缺等问题,无法直接用于隐患判定与技术分析,必须通过标准化预处理流程优化数

据精度,为后续隐患识别、机理分析提供可靠的数据基础。针对可见光影像,可依托专业测绘软件依次完成畸变校正、特征点匹配、全景拼接等系统化处理,生成完整连续的堤防正射影像图,能够清晰、直观呈现堤身表层破损、人为违建、坡面塌陷等显性隐患的具体分布位置与发育规模。激光雷达点云数据则需经过去噪、配准、滤波等预处理步骤,有效剔除植被、水面漂浮杂物等无效干扰数据,基于优化后的精准点云数据构建堤防数字高程模型与三维立体模型,精准还原堤身真实地形地貌,为堤身不均匀沉降、岸坡滑移、河道淤积等形变类隐患的量化分析提供核心依据。在此基础上,通过 GIS 平台完成多源遥感数据的整合融合,搭建堤防一体化空间数据体系,实现各类隐患信息的可视化归集与统一展示。

多模态遥感技术具备科学完善的隐患识别机理,不同传感器依托差异化成像原理,精准匹配堤防各类隐患的物理发育特征,形成互补协同的全方位识别体系,有效覆盖显性与隐性全部隐患类型。其中可见光成像依托地表纹理、色彩、轮廓的差异化特征,可快速甄别堤身裂缝、护坡破损、岸坡坍塌等表层隐患,精准判定隐患形态与发育规模。热红外遥感技术依托土体含水率差异形成的稳定温度场特征,精准捕捉堤身渗漏、土体散浸等肉眼无法辨识的隐性险情,有效弥补传统巡检难以识别堤身内部隐患的技术短板,可全天候完成隐蔽渗透类隐患筛查。激光雷达点云技术则聚焦微观地形高程变化,精准捕捉堤防细微沉降、岸坡滑移、河道淤积等形变数据,为堤防结构性安全判定提供量化支撑,整套技术体系高度适配堤防常态化安全排查的核心需求。

3 技术应用局限与优化路径

3.1 现阶段技术应用局限性

无人机低空遥感技术在堤防隐患排查中虽具备精度、效率与作业安全等多重应用优势,但受野外复杂工况与基层运维条件制约,技术落地仍存在一定适配性局限,无法完全实现全场景、全时段的常态化监测。在气象适配层面,无人机飞行作业与遥感数据采集对外部环境条件依赖性较强,大风、暴雨、浓雾等恶劣天气会直接干扰飞行姿态,降低作业稳定性,同时引发影像模糊、温度数据偏移、点云噪声超标等数据质量问题^[5]。尤为关键的是,汛期及暴雨过后是堤防隐患发育、险情高发的关键时段,恶劣天气频发导致作业窗口期大幅受限,难以及时开展应急排查与动态监测,不利于隐患风险的提前预判与快速处置。

在场地环境层面,植被遮挡是制约隐患识别精度的主要因素,堤防堤顶、堤坡普遍生长的杂草与灌木会遮盖堤身表层结构,遮挡微小裂缝、浅层孔洞等薄弱隐患,导致传感器无法有效捕捉病害特征,易引发隐性隐患漏判。与此同时,现有巡检体系的标准化与智能化水平相对不足,数据处理、特征提取、隐患判定等关键环节仍高度依赖人工操作与经验复核,尚未实现全流程自动化作业。人工干预不仅增加运维成本,还易因主观经验差异产生判定偏差,难以保障全域监测标准统一,限制了该技术在基层堤防规模化、高频次巡检场景中的常态化推广应用。

3.2 针对性优化改进路径

针对上述技术应用局限,结合河道堤防运维场景特点与智慧水利发展需求,可从作业优化、技术迭代、体系建设三个维度精准施策,全面提升无人机遥感技术的场景适配性与应用价值。针对气象条件制约作业窗口期的问题,可建立分区、分时段的常态化巡检机制,结合区域年度气候特征、汛期规律统筹规划巡检周期,在气象稳定时段开展常规全覆盖排查,在汛期前后、暴雨、洪水过境等关键节点加密巡检频次,重点核查险情高发堤段,有效弥补恶劣天气无法作业的短板,保障堤防隐患动态监测无死角。同时结合实时气象预报开展作业研判,规避极端天气,保障作业安全与数据质量。

针对植被遮挡引发的识别精度不足问题,可采用季节性监测与技术优化相结合的方式,在秋冬植被枯萎、覆盖度较低的时段开展精细化专项排查,精准捕捉被植被常年遮挡的微小隐患。同时优化传感器成像参数与影像特征提取算法,强化微弱隐患特征的筛选能力,弱化植被、杂物等背景干扰,提升复杂场景下的隐患识别精准度。在行业体系建设层面,需加快制定适配堤防工程的无人机巡检作业规范,统一飞行参数、数据处理流程、隐患分级判定标准,补齐行业标准化短板。此外,可依托大数据、人工智能技术搭建堤防遥感监测一体化管理平台,实现数据自动处理、隐患智能识别、风险动态研判、隐患闭环管控,逐步减少人工干预,推动无人机巡检技术向自动化、智能化、标准化方向升级,助力堤防安全生产长效运维。

4 结论

本文系统开展无人机低空遥感技术在河道堤防隐患排查中的应用研究,通过梳理堤防典型安全隐患的发育规律,明确多源遥感技术的隐患识别适配机理,搭建了涵盖设备选型、航线布设、野外作业、数据处

理的全流程标准化巡检技术体系。研究表明,多模态无人机遥感技术可兼顾堤防显性破损与隐性渗漏、形变隐患的全方位排查,有效消除传统巡检盲区,提升监测精度与作业效率。同时本文明确了气象条件、植被遮挡、智能化不足等应用局限,并提出针对性优化路径。该技术可有效推动堤防运维向精细化、智能化转型,对保障河道堤防安全、提升流域防洪管理水平具有实际应用价值。

【参考文献】

- [1] 朱春诚. 无人机遥感技术在水利工程安全巡检中的应用[J]. 城市建筑空间, 2025, 32(S1): 172-173.
- [2] 孙洪泉, 刘爱春, 陈小斌, 等. 应急智能巡查装备体系在堤防工程隐患巡查工作中的应用[J].

中国安全生产, 2025, 20(8): 52-53.

- [3] 孟令维, 卢奕竹, 宋文龙, 等. 基于遥感数据的河湖堤防溃口隐患早期监测研究与应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报(中英文), 2024, 22(3): 270-282.
- [4] 罗三强, 朱红卫, 朱瑾, 等. 无人机遥感技术在巡河场景中的应用研究[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(2): 193-196.
- [5] 胡伟泊, 周少良, 赵二峰, 等. 基于 AGW-YOLO 的堤防裂缝无人机遥感影像监测方法[J/OL]. 工程科学与技术, 2025(7): 1-13.

作者简介: 姜泽熙(1994.08—), 男, 汉族, 云南省宣威市, 大学本科学历, 职称: 助理工程师, 专业技术岗 11 级, 研究方向: 水利工程运行。