

无人机遥感技术在水电工程边坡监测中的应用

杨丕铮

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 611730)

摘要 本文聚焦水电工程边坡稳定监测的重要性, 针对传统人工方式存在的效率低、危险系数高及信息获取局部等问题, 提出采用无人机遥感技术进行改进。通过研发一套集成动力飞行、传感器融合与数据解算的监测装置, 并在澜沧江流域大型水电站开展实地验证, 实验表明该方法能高效获取边坡表面信息、准确识别变形情况, 并实现潜在风险的提前预警, 从而显著提升监测效果与范围, 所生成的时间序列三维数据为边坡稳定性研究及智能化决策提供了有效参考。结合人工智能与多源数据融通, 可推动水电工程边坡管理向智能化、精准化方向发展。

关键词 无人机遥感; 水电工程; 边坡监测

中图分类号: TP242; TP7; TV7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.02.007

0 引言

水电工程坡体稳定对工程的安全性及环境的保护尤为重要。然而, 传统检测手段由于效率低、危险性高、覆盖范围不够等特点, 难以满足现实需求; 无人机遥感监测由于机动性强、精度高、成本低, 成为一种新型的监测方式。目前对此类内容研究尚少, 陈飞(2024)^[1]和张峰(2024)^[2]主要研究无人机在水利设施测绘中的广泛应用和效果; 胡泽理(2024)^[3]则针对雅砻江牙根一级电厂的水利用地图, 提出综合利用新技术可以提高水电工程用地调查的效果, 进一步表明该技术在信息收集、建模和判别变化等方面具有广阔前景和现实意义。因此, 本文主要通过叙述无人机遥感技术在水电工程坡体监测中的具体实施方案, 并利用不同

遥感数据以及智能分析技术进一步提高监测时效性、全面性、准确性, 从而为水电工程的安管理及预警提供参考。

1 无人机遥感监测系统与技术流程

基于无人机的边坡信息化检测系统能够满足对水电工程边坡准确度的检测要求, 并构成了系统化无人机遥感检测体系。无人机遥感检测体系包括无人机飞控系统、各类传感装置搭载负载、测站定位和姿态识别装置、地面控制台、专用的数据分析软件。从其技术路线出发, 旨在将野外数据采集、系统内人工智能识别与信息理解相结合, 建立从现实边坡至虚拟模型的整个系统闭环流程(见图1)。全方位的技术方案相较于传统方式有着极大的创新, 为实现边坡地貌信息

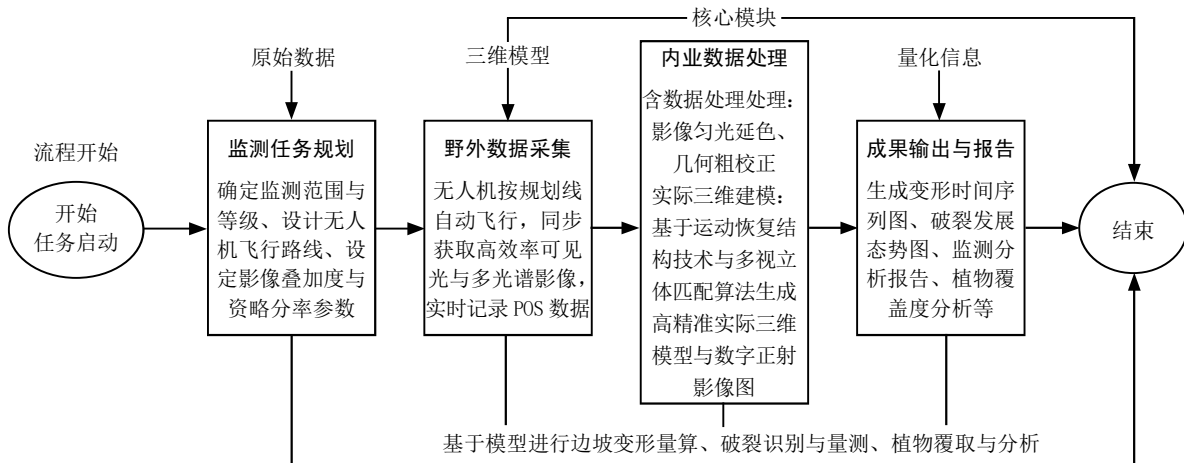


图1 无人机遥感监测系统与技术流程

作者简介: 杨丕铮(1994-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 水利水电工程。

捕捉快、准、实的量测提供了强有力的支撑^[4]。

无人机遥感过程是标准统一化和智能化的流水线工序。首先是科学地规划作业程序开始流程；其次是自动的信息获取；最后是利用一系列高级的计算方式得到深层次的信息。其可以用来量化工程决策，能够大面积地增强斜坡的监控水平，并且生成动态的三维数据，也能够用来辅助斜坡的稳定性、灾害预警等工程，推进水利设施安全管理实现现代化与智能化的飞速转型。

2 无人机遥感技术在水电工程边坡监测中的应用案例分析

从 2019 年起，在中国西南部澜沧江上的一座大型水库（约 1.2×10^7 立方米）内的一个巨大滑坡体上，结合无人机航测技术和地基监测技术进行长期监测，定期通过高频次气象飞机获取厘米级精度影像及激光雷达点云数据：涵盖了一个超过 5.6 平方公里的复杂地区^[5]。在 2022 年的雨季之后，根据高分辨率的三维图像比较分析，工作人员迅速发现了新的边坡裂缝，并在接下来的三个月里观察到了它们的扩展，长度达到了 8.5 厘米并且向下移动了超过 15 厘米。此外，运用光谱数据反推的结果揭示出这个地区的表面存在异常的水分分布，表明了地下水流动加剧及不良地质条件发展的趋势性特征。加密监测至每周 1 次，同时利用 AI 技术实现裂缝时空变化的自动识别，辅助应急决策，指导施工单位采取修筑明沟等应急处理技术措施。同时，根据无人机数据进行下一步地质勘探钻孔选址优化，在对比传统勘察手段的情况下，此项技术可将险情发现到决策时间缩短约 40 天^[6]，形成了一条由风险确认—过程监控—预防评估的完整科技闭环链路。

如今该项成果已在锦屏一级、两河口等多个工程中得到应用，对提升水库区防灾减灾能力起到了积极作用。

3 无人机遥感技术在水电工程边坡监测中应用的优势、问题与优化建议

3.1 无人机遥感技术在水电工程边坡监测中应用的优势

相对于传统的人工巡检、现场作业方式，无人机监测技术提供了由大到小、静态到动态的高精度采集设备，替代了过去点状、离散式的被动安全检查模式，实现了全域、全时、全程智能监测（见表 1）。在山区复杂的地形条件下，采用传统视频监控技术难以解决上述诸多难题，而多传感器协同控制技术和人工智能预警系统则能很好地弥补这些缺陷并为工程安全保驾护航^[7]。

无人机遥感技术具有全面的优势，已经成为一种代替传统检查手段进行辅助检查的技术，也是促进水电站边坡安全发展的创新技术。其优势为高效率、高精度、安全性高、成本低，在很大程度上解决了常规方法的空间跨度、连续观测时间和人身安全难以兼顾的难题。同时，提高了该项工作管理水平，并为早期风险发现、精准预警、科学防控等方面提供可靠的技术支撑，推动该项目建设边坡监测向智能化、精细化发展。

3.2 无人机遥感技术在水电工程边坡监测中应用存在的问题

虽然采用无人机遥感技术开展水电站大坝边坡监测具有一定的优越性，但在实际应用中也存在一些困难，这些问题贯穿于无人机遥感技术的采集、处理、成果信息提取及应用全过程，并直接影响到精度、智能化以及辅助决策能力（见表 2）。解决以上这些问题

表 1 无人机遥感技术的优势

对比维度	传统监测方法的主要局限	无人机遥感技术的核心优势	带来的实际价值
作业效率与覆盖范围	依赖人工徒步，费时费力，覆盖范围有限	快速机动，单架次可完成数平方公里厘米级数据采集，效率提升数十倍	实现大范围高危边坡常态化普查，高频次监测成为可能
数据质量与维度	点状测量为主，数据离散，难以反映整体变形	获取高分辨率光学影像、三维点云，生成实景三维模型，毫米级形变分析	提供直观精准的全域可视化数据，识别早期微小变形
作业安全性与可达性	人员需进入危险区域，面临安全威胁	远程遥控，非接触式测量，无需进入危险区域	使高陡边坡等危险地段监测成为常规操作
成本与信息集成	人工成本高，数据格式各异，融合困难	综合成本更低，数据易与 GIS、BIM 平台融合	推动“空天地”一体化，提升管理效益和信息化水平

表 2 无人机遥感技术存在的问题

问题领域	具体技术挑战	潜在影响与当前局限
飞行平台与作业环境	复杂环境下飞行稳定性、通信可靠性及安全保障面临考验	可能导致任务中断、数据不全或安全事故，限制危险区域应用
传感器集成与数据质量	多传感器同步控制复杂，光照、植被等影响影像质量	影响三维模型精度，植被茂密区域地表信息提取困难
数据处理智能化程度	海量数据处理耗时，自动化程度低，微弱信息识别率待优化	制约监测实时性，依赖人工判读，难以快速提取预警信息
多源数据融合与机理融合	表面信息与 InSAR、GNSS 等数据时空协同融合困难	监测成果停留在表面现象，难以揭示变形机理，限制预测科学性
标准化与成果转化	缺乏全流程标准，成果对接决策系统困难	技术应用水平参差不齐，成果难以被工程管理部门标准化采纳

是实现该技术由可选变为可行、简单化及最优化的重要步骤，并有利于建立标准体系和广泛应用^[8]。

无人机遥感技术已从实验室研究走向应用和难点攻关，并且这些问题具有紧密联系和系统解决的特点，后续的工作应以进一步提高该技术的通用适应能力和智能解译能力为目标，并建立相应应用规范和技术评价体系，充分发挥无人机的优势，将边坡的安全监测手段由被动报警转变为提前预警，由表及里地探究问题的本质，从而更好地服务于水电工程的精品施工以及长久运行，提供更加可靠的科学依据。

3.3 无人机遥感技术在水电工程边坡监测中应用的优化建议

为增强无人机功能在特殊条件下的执行能力，需采用智能协同作业方式，普及适应恶劣条件下先进的无人机及无人机群监测技术，研究混合定位、仿地形避障等全天候全地形的数据采集手段^[9]；在信息管控上，借助 AI 来构建滑坡危险性样本库以及用于自动检测裂缝等特性的深度学习模型，并通过边缘计算机缩短处理时间；集成无人机、地面 SAR 等异构数据生成平台及地质建模以提高倾斜面变形预测能力；制定详细的技术标准，并建立系统接口，将无人机获取的结果纳入工程管理系统进行决策支持，实现技术的推广普及^[10]。

4 结束语

无人机遥感技术是水电工程边坡安全的必需性、高效性的监测方式之一，其工程实际应用证明了其具有提升检测效率和速度以及实现准确时间和空间分辨的优势。在发展性方面，该技术将更加专注于智能化和集成化方向，结合人工智能、互联网和多源遥感数

据研究复杂环境下信息的自动识别和自然灾害原理的智能分析等关键性问题，构建一套完整的集成实时感知—智能报警—原因分析的技术体系，进而促进水电工程边坡安全从被动防御式向主动预报预判式和智能化式转变，为水电工程标准化数字建模提供支持。

参考文献：

[1] 陈飞. 无人机遥感技术在水利工程测量中的应用探究 [J]. 科技资讯, 2024, 22(24): 179-181.
[2] 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.
[3] 胡泽理. 基于新技术的水电工程土地调查新方法研究：以雅砻江牙根一级水电站为例 [J]. 资源与人居环境, 2024(07): 44-51.
[4] 刘永强, 李俊成. 水利水电工程中施工技术及管理措施 [J]. 工程建设与设计, 2024(12): 239-241.
[5] 邹锋. 遥感技术在水电站水土保持监测中的应用 [J]. 内蒙古水利, 2024(05): 101-102.
[6] 杨雪茹. 无人机遥感监测技术在地质灾害调查的研究与应用 [J]. 世界有色金属, 2021(23): 157-159.
[7] 马江河. 无人机航测在水利水电工程中的应用 [J]. 农业科技与信息, 2021(05): 79-81.
[8] 陈凯明. 无人机低空遥感技术与人工智能技术融合发展 [J]. 通讯世界, 2025, 32(11): 143-145.
[9] 李煜. 无人机遥感技术在农田水土保持动态评估中的应用 [J]. 农村科学实验, 2025(22): 59-61.
[10] 曾俊飞. 无人机遥感技术在海滩垃圾监测中的应用研究 [J]. 清洗世界, 2025, 41(12): 70-72.