

无人机遥感技术在水土保持动态监测中的应用

魏占伟

新疆中环合创工程技术咨询有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6788

[摘要] 随着水土流失问题日益受到关注,各地区在生态修复与土地保护方面的任务不断加重,对水土保持监测的及时性、精度和空间覆盖提出了更高要求。传统监测方式多依靠人工巡查与地面调查,虽然在局部区域能够获得较高精度信息,但在大范围监测、多时相对比和突发事件响应方面存在明显局限。无人机遥感技术因具备分辨率高、部署便捷、响应快、成本相对较低等优势,逐渐成为水土保持动态监测的重要手段。其在坡面侵蚀识别、植被覆盖度监测、工程措施检查、淤积量测算等方面表现出强大的数据获取与处理能力,为生态治理评估提供可靠支撑。本文围绕无人机遥感技术在水土保持领域的应用展开研究,从技术体系、监测方法、典型场景、数据处理关键环节等方面进行探讨,构建多维度的监测应用框架,并分析其在实际工程中的优势与难点,为未来水土保持监测体系的智能化建设提供参考。

[关键词] 无人机遥感; 水土保持; 动态监测; 三维重建; 生态治理

中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Application of UAV remote sensing technology in dynamic monitoring of soil and water conservation

Zhanwei Wei

Xinjiang Zhonghuan Hechuang Engineering Technology Consulting Co., Ltd.

[Abstract] As soil erosion and water loss issues gain increasing attention, regions across the country face growing challenges in ecological restoration and land conservation, which demands enhanced timeliness, accuracy, and spatial coverage in monitoring systems. Traditional monitoring methods primarily rely on manual inspections and ground surveys. While these approaches can provide precise data in localized areas, they exhibit significant limitations in large-scale monitoring, multi-temporal data comparison, and emergency response. Unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing technology has emerged as a vital tool for dynamic soil and water conservation monitoring, offering advantages such as high resolution, easy deployment, rapid response, and relatively low costs. This technology demonstrates robust capabilities in data acquisition and processing for slope erosion identification, vegetation coverage monitoring, engineering measure inspection, and sediment load estimation, providing reliable support for ecological governance evaluation. This paper explores the application of UAV remote sensing technology in soil and water conservation, examining technical frameworks, monitoring methodologies, typical scenarios, and key data processing stages. It establishes a multi-dimensional monitoring framework and analyzes practical advantages and challenges in engineering implementation, offering insights for the intelligent development of future monitoring systems in this field.

[Key words] UAV remote sensing; soil and water conservation; dynamic monitoring; 3D reconstruction; ecological governance

引言

水土流失不仅影响土地生产力,还会破坏河流生态、引发泥沙淤积、加剧山洪地质灾害。我国地域辽阔,水土流失分布广、形态复杂,传统的监测方式在时间和空间上均存在局限,难以满足当前水土保持工程管理的实际需求。随着遥感技术的发展,

多平台监测体系逐步形成,其中无人机凭借灵活性与高精度的突出优势,在生态治理监测中发挥了重要作用。本文围绕无人机遥感技术在水土保持领域的典型应用展开系统分析,并从技术特征、数据处理流程和应用场景三个方面深入探讨其在动态监测中的价值,进一步探讨未来发展方向。

1 无人机遥感技术的系统组成与监测优势

1.1 无人机平台与传感器配置特征

无人机平台包括多旋翼、固定翼和垂直起降复合翼等类型。多旋翼无人机机动性强,适用于地形复杂、作业面积较小的区域,如沟谷地带、人工治理区等;固定翼无人机具备航时长、覆盖面积大的特点,适用于水库流域、丘陵大片侵蚀区的监测;复合翼平台结合二者优点,可在多种任务中灵活部署。传感器方面,光学相机能够快速获取高分辨率影像,多光谱传感器可监测植被覆盖情况和土壤水分状况,激光雷达可穿透植被获取高精度三维地形信息。通过多源传感器组合,可构建多维遥感数据体系,为水土流失监测提供坚实基础。

1.2 无人机在动态监测中的高效性与适应性

相较于传统调查方式,无人机具备快速响应能力,可在降雨前后、工程建设期间或出现异常情况时立即执行监测任务。其低空飞行特性能够在云层较厚或地面能见度下降时依旧获取清晰数据,大幅提升监测效率。无人机地面分辨率可根据飞行高度灵活调整,能够精准识别坡面细沟变化、沟蚀发展趋势及治理措施的破坏点,实现监测的精细化与动态化。同时,无人机作业成本较低,适合开展高频次的长期监测,实现连续的时序对比分析。

1.3 数据获取精度与三维空间表达能力

无人机影像可通过结构光摄影测量技术进行三维建模,生成数字表面模型(DSM)和数字高程模型(DEM),为地形变化分析提供数据基础。高精度点云数据能够反映细微地形差异,对侵蚀沟发展、堆积物变化、坡面形态演变等现象的识别极为有利。对于水土保持工程措施,例如梯田护坡、排水渠、沉沙池等,无人机三维模型可对结构稳定性进行可视化评估,为工程维护提供支撑。

2 无人机遥感在水土保持监测中的核心方法

2.1 基于影像的坡面侵蚀识别

坡面侵蚀是水土流失监测的核心内容之一,其空间分布往往呈现高度不均匀、动态变化快、局部尺度特征突出的特点。利用无人机获取的高分辨率正射影像,可对裸露坡面、细沟侵蚀、片蚀区域等进行精细识别。影像中的纹理、颜色、亮度差异可用于区分土壤颗粒扰动程度,结合坡度、坡向、曲率等地形因子,可进一步提升侵蚀识别的准确性。在复杂地表条件下,无人机搭载的多光谱传感器可通过计算NDVI、NDRE等植被指数识别植被稀疏或退化区域,这些区域往往也是潜在的侵蚀敏感带。混合像元分解方法能够用于检测土壤与植被混合区域的破坏程度。随着人工智能技术的发展,基于深度学习的语义分割与目标检测模型(如U-Net、DeepLab等)已可对细沟形态、片蚀边界等进行自动识别,使侵蚀分类更加精细、准确与高效。

2.2 植被覆盖度监测及生态修复评估

植被覆盖度是衡量生态系统稳定性和水土保持能力的重要指标,也是生态恢复成效评估的关键内容。无人机多光谱影像可同时获取红光、绿光、近红外等多个波段,通过计算NDVI、SAVI、

EVI等植被指数反映植物生长状况、叶片含水量及健康程度。高分辨率航空影像能够清晰呈现植被破损、斑块化分布、裸露地扩展等细节,适用于生态退化区、绿化工程、封禁治理区等场景的精细化分析。在生态修复工程监测中,无人机可实现阶段性对比,如造林区植被郁闭度增长、草地恢复区植被均匀性提升、坡面绿化区植被成活率变化等,从而为工程质量验收、养护措施优化和治理成效评估提供可靠依据。长期序列监测还可揭示植被演替趋势,为水土保持规划提供科学参考。

2.3 三维地形变化检测与工程措施稳定性分析

无人机通过倾斜摄影与结构光视觉重建技术,可生成高精度三维点云、数字地表模型(DSM)和数字高程模型(DEM)。对不同时期获取的数据进行DEM差分(DoD)分析,可定量测算侵蚀沟的发展速度、坡体滑塌量、泥沙堆积体积变化等关键参数,为侵蚀过程研究提供高度精确的量化数据。在水土保持工程区域,通过多期点云差分分析可识别护坡结构沉降、堤坝局部变形、排水沟槽淤堵、拦沙坝坝体稳定性变化等问题,实现对工程运行状态的动态监管。例如,当护坡石笼出现微小位移或坝体局部沉降时,传统人工巡查难以及时识别,而无人机三维数据可在厘米级精度上捕捉结构变化,提前预警潜在隐患。该技术不仅提升工程安全性,也大大提高巡查效率和治理决策的科学性。

综上,无人机影像与多源数据的融合应用为坡面侵蚀识别、植被监测与工程稳定性分析提供了强有力的技术支撑,能够促进水土保持管理向精细化、数字化和智能化方向发展,对流域治理和生态保护具有重要意义。

3 典型应用场景及监测实例分析

3.1 降雨事件前后侵蚀变化监测

降雨是引发水土流失、地表破坏及沟蚀发育的核心驱动因素,无人机基于高分辨率影像具备快速、敏捷与高精度的优势。在降雨事件发生前获取基础地表影像,可形成完整的前期地形与地表覆盖基线;降雨过后立即开展重复航测,两期数据对比即可清晰揭示暴雨造成的地表变化,如细沟形成与扩展、坡面冲刷痕迹、泥沙堆积范围、滑塌体位置及规模等。通过数字高程模型(DEM)差分计算,可定量测算侵蚀量与堆积量,为研究地表侵蚀模式、泥沙输移路径及参数标定提供高精度数据支持。在突发性滑坡、滑塌等灾害场景中,无人机可在短时间内完成受灾区域三维重建,为应急救援和抢险处置提供直观可靠的现场依据,提升风险响应速度。

3.2 水土保持工程措施监管与质量评估

水土保持工程通常包括坡面整治、植被恢复、蓄水池和沉砂池建设、截排水沟构筑、护岸与坝体加固等措施。无人机通过周期性航测,可对工程实施过程进行动态监督,确保施工质量与设计标准一致。正射影像可用于核查坡面平顺度、查看植被覆盖度与均匀性、判读排水沟槽与截流沟的连续性与完整性;三维模型(如DSM、点云)则能判断坝体稳定性、坡脚变形趋势及护坡结构变化等内容,实现工程质量的可视化评估。长期监测数据积累后,还能识别工程老化、结构沉降或植被退化情况,

为运维部门提供科学依据,延长工程使用寿命并提升风险防控能力。

3. 流域尺度水土流失动态监测

无人机在中小流域的监测中具有覆盖灵活、数据精度高的优势。通过分区航拍与影像拼接,可构建完整的流域正射影像与高精度三维地形,形成流域尺度的数据基础。在多年动态监测中,无人机影像叠加分析可揭示侵蚀敏感区、热点区及变化趋势,识别不同土地利用类型下的水土流失差异。结合气象降雨数据、地质参数、植被指数和土地利用类型,可建立流域侵蚀预测模型与泥沙输移模型,为流域水土保持规划、生态修复布局和管理措施优化提供决策支持。此外,无人机获取的坡面高程与细沟形态数据,可显著提升上游泥沙产量估算的精度,为水库淤积预测与流域综合治理提供关键技术支撑。

4 无人机遥感应用中的关键技术与发展挑战

4.1 数据处理与精度控制问题

无人机在水土保持监测中可高效获取大范围、高分辨率的地表影像,但随之而来的是庞大的数据处理任务。影像在经过畸变、几何校正、特征匹配、三维重建、地物分类等流程后,才能生成满足工程需要的数字高程模型(DEM)、正射影像(DOM)及地表覆盖分类图。这一过程中任何环节出现误差,都会在最终产品中被放大。因此在高精度要求的重点工程区域,必须布设足够数量且合理分布的地面控制点(GCP),以提升模型三维定位精度。同时,无人机作业受光照、风速、湿度、地物反光特性等环境因素影响较大。例如逆光区域会导致影像曝光不足,植被覆盖区在风力作用下易出现重叠不一致,使特征点匹配困难。为此,飞行前需进行充分的环境评估,根据地形特征制定合理航线、航高、重叠度和飞行时间,并选择合适的传感器参数(如快门速度、曝光模式),以最大限度降低外界干扰。此外,在陡坡、沟谷等复杂地形区域,还需采用倾斜摄影、多架次补飞或结合地面激光扫描技术,提高高程数据精度,确保工程监测成果满足评估和验收需求。

4.2 监测标准体系与应用规范缺失

目前无人机用于水土保持监测的技术体系尚不完善,行业普遍缺乏统一的监测方法、技术规范和数据精度评价标准。不同地区、不同部门在影像分辨率、坐标系统选择、数据格式、监测频率等方面各自为政,导致监测数据难以共享,成果难以横向对比,也限制了无人机在监管和验收环节中的有效性。例如,有的地区仅要求生成单期影像用于宏观判读,而有的地区则要求构建高精度三维模型以计算土方量,两者缺乏统一标准,不利于形成国家级监测体系。因此,未来应尽快构建统一的行业标准体

系,包括无人机航测精度等级、影像分辨率要求、地形模型精度评价指标、土地扰动检测方法、监测频次要求以及成果数据格式规范等。同时,还需建立基于无人机监测的工程验收流程,例如扰动面积核查、弃土场体积计算、植被恢复率评估等环节的量化指标,并制定成果提交与审核标准。此外,可结合遥感、GIS、AI识别技术构建智能化监测平台,实现数据自动解析、智能比对和长期监管,为水土保持监测的规范化、信息化和科学化提供制度保障。

5 结语

无人机遥感技术在水土保持动态监测中的应用,为生态治理提供了精准、高效与可持续的技术支撑。其在坡面侵蚀识别、工程措施评估、植被覆盖度监测和流域动态分析等方面展现了显著优势,为水土保持工作的精细化管理提供了新思路。随着传感器技术的升级、数据处理算法的进步以及行业标准的逐渐完善,无人机将在未来水土保持监测体系中占据更加重要的地位。为进一步提升应用水平,应推动多源数据融合、智能识别算法研发和智慧监测平台建设,以实现从局部项目监测向区域流域监测的全面覆盖,为国家生态文明建设提供更加坚实的数据基础与技术支撑。

[参考文献]

- [1]李若愚,姚飞,方启彬,等.微型多旋翼无人机遥感技术在露天煤矿开采期水土保持监督性监测中的应用[J].中国设备工程,2023,(11):152-154.
- [2]习超,李开伟,文刚,等.无人机遥感技术在生产建设项目水土保持监测中的应用[J].中国水土保持,2023,(06):66-68.
- [3]王武修,吴双阳,刘莹.无人机遥感技术在水土保持监测中的应用[J].黑龙江水利科技,2023,51(05):116-118+171.
- [4]肖莉,杨拥军,谭昌明.低空无人机遥感技术在公路水土保持监测中的应用实践[J].亚热带水土保持,2023,35(1):11-15.
- [5]唐云逸,游翔,杨玉婷,等.无人机遥感和卫星遥感技术在水土保持监测监管中的应用综述[J].四川水利,2022,(S2):31-35.
- [6]刘祥,代斌,高强伟,等.无人机遥感技术在弃渣场水土保持监测中的应用[J].西部交通科技,2022,(10):58-60.

作者简介:

魏占伟(1991--),男,汉族,新疆乌鲁木齐人,大学本科,水利专业,规划设计与技术咨询(中级工程师),研究方向:分析现有水土保持措施存在的问题,总结适应新时代生态治理要求的创新修复模式,通过理论分析与经验归纳,提出系统性、可推广、具可持续性的生态修复模式,为水利枢纽工程区生态保护管理提供参考。