

无人机遥感在水土流失监测中的应用

寇冠一 赵曦

黄河水土保持西峰治理监督局(黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站), 甘肃省庆阳市, 745000;

摘要: 本文聚焦无人机遥感在水土流失监测领域的应用实践。着重阐释该技术凭借高分辨率成像、作业灵活性强等特性, 在水土流失监测中展现的独特优势。深入剖析其通过影像数据采集、处理及分析等技术流程, 精准获取监测区域地形地貌特征、植被覆盖状况等关键信息的具体路径。同时, 探讨无人机遥感与其他技术融合在构建水土流失监测模型、开展动态变化监测中的协同作用。研究显示, 无人机遥感技术可为水土流失监测提供高效且精准的数据支撑, 对提升水土流失防治工作的科学性与针对性具有重要现实意义, 有助于推动该领域监测技术的创新发展与实际应用。

关键词: 无人机遥感; 水土流失监测; 数据采集; 动态监测

DOI: 10.69979/3060-8767.25.09.031

水土流失作为全球性环境难题, 会引发土地退化、生态失衡、河道淤积等连锁效应, 因此精准及时监测其动态对制定科学防治策略至关重要。传统监测手段受困于效率低下、覆盖范围局限、数据更新滞后等瓶颈, 难以满足现代治理需求。随着科技进步, 无人机遥感技术逐步兴起, 其凭借机动灵活、响应迅速、成像分辨率高等独特优势, 可快速采集水土流失区域的地形、植被、土壤等多维细节信息, 突破了传统监测的时空限制。这一创新技术为水土保持领域提供了全新监测范式, 不仅能实时追踪侵蚀变化, 更能为精准施策提供高密度数据支撑, 在水土资源保护与生态修复中展现出广阔应用前景。

1 无人机遥感技术概述

1.1 无人机遥感系统组成

无人机遥感系统主要由无人机平台、传感器系统、数据传输系统和地面控制系统组成^[1]。无人机平台是搭载传感器的载体, 根据不同的应用需求, 可选择固定翼无人机、多旋翼无人机等。固定翼无人机续航能力强、飞行速度快, 适合大面积区域的监测; 多旋翼无人机则具有垂直起降、悬停等优点, 适用于小范围、复杂地形区域的精细监测。传感器系统是获取信息的关键, 常见的有光学相机、激光雷达、高光谱传感器等。光学相机可以获取高分辨率的影像数据, 用于分析地表的植被覆盖、地形地貌等信息; 激光雷达能够精确测量地形的三维信息, 为水土流失监测提供地形基础数据; 高光谱传感器则可以获取地物的光谱信息, 有助于识别不同类型的土壤和植被。数据传输系统负责将传感器采集的数据

实时传输到地面控制系统, 地面控制系统则对无人机的飞行姿态、航线等进行控制, 并对接收的数据进行初步处理和存储。

1.2 无人机遥感技术特点

无人机遥感技术具有多方面的特点和优势。首先, 其具有高分辨率。能够获取厘米级甚至更高分辨率的影像数据, 清晰地展现地表的微小变化, 如土壤侵蚀沟、植被的细微差异等, 为水土流失的精准监测提供了可能。其次, 灵活性强。无人机可以根据监测需求随时调整飞行路线和高度, 能够快速到达传统监测手段难以到达的区域, 如山区、峡谷等复杂地形区域, 大大提高了监测的效率和范围。再者, 成本较低。相较于卫星遥感和有人机遥感, 无人机的购置、使用和维护成本相对较低, 降低了水土流失监测的成本投入。此外, 数据获取速度快。无人机可以在短时间内完成数据的采集, 并且能够及时将数据传输到地面进行处理和分析, 实现对水土流失状况的实时监测和动态更新。

2 无人机遥感在水土流失信息获取中的应用

2.1 地形地貌信息获取

地形地貌是影响水土流失的关键环境要素之一, 无人机搭载的激光雷达与光学相机为精准获取地貌信息提供了有效手段^[2]。激光雷达通过发射激光脉冲并捕捉反射信号的时间差, 能够精确解算地面点的三维空间坐标, 进而生成高精度的数字高程模型。对DEM数据进行深入分析, 可提取坡度、坡向、起伏度等核心地形参数; 其中坡度直接决定地表径流的流速与冲刷力, 较大的坡度会显著加快水流速度, 加剧土壤侵蚀强度; 坡向则通

过改变光照时长和水分分布格局,间接影响植被的生长状态与空间分布,从而对水土流失程度产生间接调控作用。与此同时,光学相机采集的高分辨率影像数据与DEM数据相结合,经正射纠正和三维建模处理后,能够直观呈现山脉走向、沟壑分布等宏观地貌特征,为水土流失的空间分布分析与趋势预测提供可视化的研判基底,助力构建更贴合实际地形条件的侵蚀风险评估模型。

2.2 植被覆盖信息获取

植被具有保持水土、涵养水源的重要作用。无人机搭载的光学相机和高光谱传感器可以用于获取植被覆盖信息。光学相机可以获取植被的影像数据,通过图像处理和分析技术,如植被指数计算、分类识别等,可以计算出植被的覆盖度、植被类型等信息。常用的植被指数有归一化植被指数,它可以反映植被的生长状况和覆盖程度。高光谱传感器则可以获取植被的光谱信息,不同类型的植被具有不同的光谱特征,通过对光谱数据的分析和处理,可以更准确地识别植被的种类和健康状况。植被覆盖度和类型的变化与水土流失密切相关,良好的植被覆盖可以减少地表径流,降低土壤侵蚀的风险。通过无人机遥感定期监测植被覆盖信息的变化,可以及时发现植被破坏等可能导致水土流失加剧的情况,为采取相应的防治措施提供依据。

2.3 土壤信息获取

土壤的类型、质地与含水量是影响水土流失的内在关键因子,无人机搭载的高光谱传感器为精准解译土壤属性提供了技术突破^[3]。该传感器通过捕捉土壤在不同波段的光谱反射信号,结合预先构建的光谱-属性关系模型,可高效反演土壤类型、质地组成及含水量等核心参数。不同土壤类型呈现独特的光谱指纹特征,如砂土与黏土的反射光谱曲线在可见光-近红外波段存在显著差异,而土壤含水量的变化会直接导致光谱反射率的梯度波动——通常随含水量升高,反射率呈现规律性下降。通过高光谱数据的降噪处理与特征提取,不仅能实现土壤类型的精细分类,还可动态估算含水量的空间分布。将这些土壤属性数据与无人机同步获取的地形地貌(如坡度、坡向)、植被覆盖(如叶面积指数、群落结构)信息进行多维度耦合分析,能够构建更贴近实际的土壤侵蚀风险评估模型。例如在坡度陡峭、植被稀疏区域,若叠加土壤质地疏松、含水量偏低的属性特征,可判定为水土流失高风险区,需优先采取植被固坡、土壤改良等针对性防治措施,这种多源数据融合的分析模式为水

土流失的精准防控提供了科学范式。

3 无人机遥感结合其他技术在水土流失监测模型构建中的应用

3.1 与地理信息系统结合

地理信息系统作为强大的地理空间数据处理工具,与无人机遥感技术深度融合后,为水土流失监测管理开辟了新路径。无人机采集的高分辨率影像、地形地貌及植被覆盖数据,经地理信息系统技术整合,可实现高效存储与深度分析。借助理地理信息系统的空间分析功能,如叠加分析与缓冲区分析,能够系统性考量地形起伏、植被疏密、土壤质地等多重因素,精准评估水土流失潜在风险并划分等级。例如,将坡度分布、植被覆盖及土壤类型图层叠加分析,可快速锁定水土流失高风险区域,助力靶向施策。此外,地理信息系统构建的专业化监测数据库,能有序存储不同时间段的监测数据,通过纵向对比分析,直观展现水土流失的动态演变过程,为科学调整防治策略、优化治理方案提供详实的数据支撑与决策依据。

3.2 与全球定位系统结合

全球定位系统在无人机水土流失监测中扮演着关键角色,其核心价值体现在为无人机作业提供全方位定位支撑^[4]。通过接收卫星信号,GPS能够为无人机实时提供厘米级精度的三维坐标,确保无人机严格按照预设航线平稳飞行,同时在数据采集瞬间精确标记地理坐标,实现“位置-数据”的精准绑定。这种时空同步机制在水土流失监测中具有重要意义:无人机飞行过程中,GPS持续追踪其空间轨迹,并将每一帧影像数据、地形点云与对应的经纬度、海拔高度实时关联,形成带有地理标签的监测数据集。这一特性使后期数据处理能够精准锚定每个采样点的空间位置,避免因定位偏差导致的土壤侵蚀强度误判或植被覆盖分析失真。此外,GPS在地面控制点测量中的应用进一步强化了数据精度——通过在监测区域布设若干已知坐标的控制点,利用GPS完成坐标实测,可显著提升无人机影像的几何校正精度,有效降低地形起伏引起的投影变形,使最终生成的数字高程模型(DEM)、植被覆盖图等成果更贴近真实地貌。

3.3 构建水土流失监测模型

将无人机遥感采集的地形地貌、植被覆盖、土壤质地等多维信息,与地理信息系统空间分析能力、全球定位系统精准定位技术相结合,能够搭建起科学的水土流失监测模型。其中,通用土壤流失方程及其优化版本是

广泛应用的经典模型，这类模型系统考量了降雨强度、地形坡度、土壤抗蚀性、植被覆盖度等关键致蚀因素。得益于无人机遥感获取的高精度数据，模型参数得以精准赋值——例如借助无人机生成的数字高程模型，可准确量化地形起伏对径流冲刷的影响；依据植被覆盖影像解译结果，能科学界定植被对土壤的保护作用。通过构建与运用这些监测模型，可实现对不同区域水土流失程度的量化评估与动态预测，为水土流失综合治理方案的制定提供可靠的科学支撑。

4 无人机遥感在水土流失动态监测中的应用

4.1 短期动态监测

无人机遥感凭借灵活高效的作业优势，在水土流失应急监测与动态监管中发挥着不可替代的作用。面对暴雨、洪涝等极端天气，无人机能够迅速响应，深入受灾区域低空作业，第一时间捕捉土壤侵蚀沟发育、植被损毁等突发性水土流失现象。通过建立常态化监测机制，定期开展航测数据采集，可将不同时间段的影像资料与地形、植被数据进行交叉比对，直观呈现水土流失演变过程。例如，某次强降雨后，无人机对特定流域开展应急监测，通过对比灾前灾后影像，不仅能清晰识别新出现的侵蚀沟壑分布，还可量化评估植被覆盖变化程度。结合同期气象数据与地形特征分析，能够科学研判暴雨对区域水土流失的影响量级，为后续采取边坡加固、植被补种等针对性防治措施争取宝贵时间，提升灾害应急处置的科学性与时效性。

4.2 长期动态监测

借助无人机遥感开展长期动态监测，能够深入洞察水土流失的演变脉络与发展趋向^[5]。随着时间推移，通过持续采集和系统分析多期航测数据，可直观捕捉植被群落演替、地形地貌渐变等细微变化，精准把握水土流失的长期演变规律。以生态修复区域为例，多年的无人机监测影像清晰呈现出植被覆盖度稳步提升，以及由此带来的土壤侵蚀减缓趋势，生动展现自然修复与人工治理的协同效应。此外，这类长期监测数据还是评估水土流失防治成效的关键依据。针对植树造林、坡面整治等治理工程，通过长期跟踪植被成活率、生长态势及土壤保持效果，能够客观评价防治措施的实际效能。基于监测反馈，可及时优化治理策略，调整工程布局与技术手段，确保水土流失防治工作更具针对性与实效性。

5 结论与展望

5.1 结论

无人机遥感技术在水土流失监测中具有显著的优势和应用价值。它能够高效、准确地获取水土流失相关的地形地貌、植被覆盖、土壤等信息，为水土流失的监测和防治提供了丰富的数据支持。通过与地理信息系统、GPS 等技术的结合，可以构建更精确的水土流失监测模型，实现对水土流失的定量评估和预测。同时，无人机遥感在水土流失的短期和长期动态监测中发挥着重要作用，能够及时发现水土流失的变化情况，为制定科学合理的防治措施提供依据。

5.2 展望

虽然无人机遥感技术在水土流失监测中取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。未来，需要进一步提高无人机遥感数据的处理和分析能力，开发更高效、准确的算法和软件，提高数据处理的自动化和智能化水平。同时，要加强多传感器的融合应用，综合利用光学、激光雷达、高光谱等多种传感器的优势，获取更全面、准确的信息。此外，还需要加强无人机遥感与其他监测技术的联合应用，如地面监测站、卫星遥感等，实现多尺度、全方位的水土流失监测。在应用方面，要将无人机遥感技术与水土流失防治措施的实施更加紧密地结合起来，为水土流失的精准治理提供更有力的技术支持，推动水土流失防治工作取得更好的成效。

参考文献

- [1] 孙刚, 黄文江, 陈鹏飞, 等. 轻小型无人机多光谱遥感技术应用进展[J]. 农业机械学报, 2018, 49(03): 1-17.
- [2] 白峰, 马小真. 无人机遥感技术在水土保持监测中的应用[J]. 南方农业, 2022, 16(02): 232-234.
- [3] 宋月君. 无人机微型激光雷达技术在林下水土流失监测中的应用. 江西省, 江西省水利科学院, 2022-01-04.
- [4] 李思雯. 3S 技术在水土保持与荒漠化治理中的应用[J]. 江西农业, 2020, (04): 42+45.
- [5] 冯晓东. 试论无人机遥感在水土保持中的应用. 北京水保生态工程咨询有限公司; , 2015: 418-422.

作者简介：寇冠一，出生年月：1994.03，性别：男，民族：汉，籍贯：河南省漯河市临颍县，学历：本科，职称：助理工程师，研究方向：水土保持。