

无人机技术在水土保持监测中的应用

张延玲 李丹 苏远航 李珊珊

松辽水利委员会松辽流域水土保持监测中心站 130021

摘要: 无人机技术由于其灵活性高、成本相对较低、操作简便和能够提供高分辨率影像的优点,在水土保持监测领域得到广泛运用。但是随着水土保持监测要求的不断提高,加上地表下垫面的复杂性也会给无人机技术运用造成影响。鉴于此,本文从对无人机监测技术的简单描述入手,对其在水土保持监测中的应用实践进行了详细的分析,以供参考。

关键词: 水利工程;水土保持;无人机;深度监测技术

随着全球环境问题的日益严峻,水土保持监测作为生态环境保护的重要一环,其精准性与时效性显得尤为关键。传统监测方法受限于监测范围、数据时效性及采集效率等问题,难以满足现代水土保持工作的需求。无人机技术的快速发展,以其灵活性高、成本低、操作简便及能提供高分辨率影像等优势,为水土保持监测带来了革命性的变革。本文旨在深入探讨无人机技术在水土保持监测中的应用实践,分析其在水土流失区域识别、植被覆盖度监测、土壤侵蚀评估及排水体系与土地利用变化分析等方面的具体应用,并展望其未来的创新发展前景,以期水土保持监测工作提供新的思路与技术支持。

一、无人机技术在水土保持监测的概述

(一) 无人机技术的原理及发展

无人机技术凭借其在空中的机动性、灵活性和低成本运作的优势,逐步演化为精细化水土保持监测的重要工具。该技术核心在于应用无线电遥控或内置程序驱动的无人飞行器搭载各类传感器执行地面覆盖物的信息采集任务。传感器类型多样,包括但不限于光学相机、多光谱相机、热红外传感器以及合成孔径雷达等,能够有效捕捉地表特征与其变化信息。发展历程上,无人机技术自起初的军事领域研究,经多年发展,技术逐渐成熟并普及至民用领域,其应用范围广泛,从地理测绘、农业评估,到灾害监测和生态环境保护。近年来,随着数字化影像处理技术和自动化飞行控制系统的进步,无人机平台的可靠性和数据采集的精度均得到显著提升。在水土保持监测工作中,无人机技术通过实时高分辨率影像获取,结合专业算法处理,可提供关于侵蚀地形、植被覆盖度、坡度等信息的详细描述,极大地加强了对流失土地的早期识别与监测。更进一步,对于生态修复效果的评估、水土流失防治工程的规划以及实施过程监督,此项技术也显示出不可替代的实效。

(二) 传统水土保持监测方法的局限性

传统水土保持监测方法在长期实践中虽然积累了一定的经验,但也暴露出不少局限性。首先,从监测范围来看,传统方法往往依赖于人工巡查和定点监测,这使得监测区域受到限制,难以实现对大面积或复杂地形区域的有效覆盖。其

次,传统监测方法在数据时效性方面存在明显不足。人工采样、实验室分析等流程繁琐,周期长,难以及时、准确地反映水土保持状况的动态变化,这对于及时采取应对措施、防止水土流失等环境问题显然是不利的。再者,传统监测方法的数据采集效率相对较低。人工操作不仅耗时耗力,而且容易受到人为因素的影响,导致数据收集不够迅速、准确度有限。此外,传统水土保持监测方法的成本也是一个不可忽视的问题。人工巡查、定点监测等需要大量的人力、物力和财力投入,这对于资源有限的监测机构来说是一个不小的挑战。最后,传统监测方法在数据共享和整合方面也存在局限性。不同地区、不同机构之间的监测数据格式、标准不一,难以实现有效的数据交换和共享,这不利于形成全面的水土保持监测网络和科学的数据分析体系。综上所述,传统水土保持监测方法在监测范围、数据时效性、采集效率、成本以及数据共享等方面都存在明显的局限性,需要借助新技术手段进行改进和优化。

二、无人机技术在水土保持监测中的应用实践

(一) 水土流失区域的识别与评估

在水土流失区域的识别与评估实践中,利用高精度的传感器,包括多光谱、高光谱及激光雷达(LiDAR)等,无人机成为迅速准确识别水土流失区域的得力助手,有效覆盖了传统监测在数据采集和更新速度上的不足。现实操作中,以多光谱传感器搭载的无人机能够捕捉不同波段的地表反射信息,通过专业分析软件对采集到的影像进行处理,快速识别受侵蚀区域的程度和范围。例如,通过归一化植被指数(NDVI)的计算,可以直观反映水土保持情况,低值区域标示植被缺失、土壤裸露或侵蚀严重的可能性增大。高光谱传感器所提供的光谱信息更加细腻,每个像素点含有连续而密集的光谱曲线,能够辨识微小的地物特征差异。结合高光谱影像分类技术,极大地提升了水土流失类型识别的精确度,从而对水土保持工作的规划和干预提出更具体的建议。而激光雷达传感器,凭借其独特的测距能力,可生成精确的数字地形模型(DTM),进而分析地形起伏与坡度参数,评估特定区域的侵蚀风险,这在复杂多变地形中显然优于传统方法。

（二）植被覆盖度与土壤侵蚀监测

通过高分辨率的光学影像及多光谱传感器，无人机专业地捕获关键的地表属性信息，植被覆盖度，作为衡量地表抗侵蚀能力的指标，能够通过分析红外线和可见光波段中反射数据来估算。特别是归一化植被指数（NDVI）能直观地展现植被生长状况，为评估土壤侵蚀潜力提供基础数据。应用于无人机平台，NDVI值可在更广范围及更短时间序列上被测量和分析，显著推动了动态监测过程的发展。就土壤侵蚀率而言，无人机搭载的多光谱及高光谱传感器可探测植被下的裸露土壤，利用光谱数据计算土壤亮度指数（SBI）等多种指标，并与历史数据进行对比，判断土壤侵蚀状态以及发展趋势。结合地形数据，无人机技术有助于动态挖掘土地侵蚀的速率及其与坡度、地形等因素的关联性。

时间序列分析是无人机监测植被和土壤侵蚀的出色实践案例。通过规律性的飞行任务，可以获得连续的数据记录，这在传统方法中是难以企及的。随着时间的推移，累积的数据可指明某一条件下植被恢复的速率，及相应土壤保护措施的成效，例如封禁放牧或植树造林。更有意义的是，无人机遥感不仅限于数据的收集，它结合先进的数据处理算法，如支持向量机（SVM）、随机森林（RF）和深度学习，对植被类型进行更准确的分类，并预测土壤侵蚀风险区域，为水土保持工作带来了前所未有的精准指导。

（三）排水体系与土地利用变化分析

在水土保持监测的框架内，排水体系与土地利用变化分析是确保生态平衡与自然资源合理利用的关键。水系是流域水土保持的脉络，它们的健康与否直接影响到泥沙输移及土壤养分流失的格局。搭载高清摄像头和激光雷达的无人机，收集排水沟渠、河流等水系线状特征的高精度数据，并且可以监测其季节性及年际上的变化，实现水土保持的科学管理。此技术在掌握水系动态的同时，为解答土地利用变化提供了有力支撑。通过对比不同时期的无人机图像数据，可以追踪城市扩张、农业耕种或林地范围等土地变迁过程，分析这些变更对流域水土流失状况的潜在影响。

结合地理信息系统（GIS）平台，无人机收集的多源数据可进行深入解析，推敲排水网络的几何形态、连通性以及周边土地覆盖关系的演变，辨识容易发生侵蚀的薄弱环节，描绘土地利用调整对流域健康的长期作用。例如，破碎化的森林会影响降雨在地面的聚集及径流速度，无人机监测技术可以细致监视这些变化过程，确保及早诊断和干预措施的部署。在难以直接观察和测量的山坡土地变化场合中，无人机发挥着至关重要的监测作用。当评估大尺度排水网络与土地利用变化时，无人机通过量化方法提供的准确数据替代了传统的估算与推断，确立了预警机制并强化了管理决策的科学依据。

（四）示范基地的建立与成果转化

在水土保持的广袤研究与应用领域内，示范基地的建立

和成果转化是推动无人机深度监测技术实际贡献的关键步骤。通过构建示范基地，实践者可以将理论与实际应用相结合，评估无人机技术在现实环境中的有效性，及其对水土保持的实际影响。示范基地的建设不仅需考虑到地理位置、自然条件和环境特征，还必须反映出无人机技术在水土保持监测中的前沿应用。在此类基地中，部署高级无人机系统，配置多光谱、高光谱或激光雷达等传感器，以收集与处理关于土壤侵蚀、植被覆盖及排水体系等方面的数据。并且通过深入数据分析揭示土地利用变化、植被恢复策略以及水系改造工程的效果，这些结果助力于预测未来可能的环境变化，为决策制定提供了科学基础。在示范基地进行的每项监测与实验操作都会被详细记录，形成可供参考和比照的案例数据库。成果转化意味着将示范基地在技术试验和实践运用上所积累的经验与数据，向更广泛地区乃至全国范围内推广。为实现这一目标，重要的是提炼无人机监测项目中的最佳实践方法，总结案例研究及其教训，并通过研讨会、学术发表和政策建议等方式，传播成功经验和遭遇的挑战。

三、无人机技术在水土保持监测工作中的创新发展前景

（一）多源数据融合与智能信息处理

高精度、高分辨率的遥感数据源自无人机携带的传感器系统，如光学摄像、多光谱传感器、高光谱仪及激光（LiDAR）传感器，它们共同构成了对地表特征综合捕捉的体系。当这些来自空中平台的数据与如卫星遥感、地面观测站以及历史资料库等其他来源的数据相结合时，便实现了多源数据融合——不同空间、时间尺度上的信息互补，形成了环境监测的全景视图。这一综合性体现在，能够更精确地识别和定位水土流失区域、描绘植被恢复进程和土地利用变迁。

利用人工智能（AI）与机器学习技术处理这些融合后的海量数据集，挖掘更深层次的信息，为水土保持提供决策支持。例如，卷积神经网络（CNN）可用于解析多光谱图像中的模式，识别因水土侵蚀而受损的植被区；而递归神经网络（RNN）能够处理时间序列数据，预测土地覆盖变化趋势。此外，通过建立智能模型，可以实现对敏感区域发生水土流失的自动预警。这些模型将基于实地验证结果不断学习和调整，以增强其预测准确性。未来的可能发展方向还包括建立反馈机制，如辅以无人机自主飞行和自适应采样的创新协议，使监测变得更加灵活和响应性强。

（二）精细化模型构建与特征参数提取

在水土保持领域，构建精细化的地表模型要求从多方位、多尺度对地形地貌及植被覆盖等因素进行精确把握，综合运用数字高程模型、数字表面模型与正射影像齐全遥感数据。这种精细化模型能够体现微小地形变化与复杂地表覆被的状况，从而提供水土保持过程中的关键地理信息。而无人机采集的高分辨率影像，配合现代图像处理算法，如机器学习和

深度学习方法，可有效地提取诸如植被类型、土壤侵蚀程度以及坡度、坡向等特征参数。并且结合植被指数，可以准确监测水土保持的生态效应，反映不同植被保护措施的实效。值得一提的是，跨学科的技术集成对于无人机技术在水土保持中的创新应用至关重要。整合地理信息系统、3D 建模等学科知识，将极大增强模型的解释力和预测能力。最后，随着无人机遥感技术的不断进步，其在水土保持中的应用将会愈加广泛。例如，利用多光谱、高光谱及热红外传感器，可能监测土壤湿度、有机质含量和作物生长状况，这将直接反映土壤侵蚀及养分流失问题。

（三）长期动态监测与生态效益评价

借助无人机携带的高分辨率传感器，环境监测者能够捕捉到丰富、细致的地表信息，远超过此前依赖卫星遥感或地面调查的能力。这种技术特别适用于长期监测，因为它可以连贯地收集数据，揭示生态系统和地貌结构中的持续或周期性变更。进而，这些序列数据能成为量化生态效益的基石，通过分析土地覆盖变化，植被恢复速度等因素，综合评价水土保持措施的长期影响。引入时间维度后，不仅可以观察当前的水土保持状况，更能预测生态服务的未来走势。例如，计算出植被索引的时间序列变化，与降水、土地利用模式等

其他环境因子的长期数据相结合，可用来构建和验证生态系统服务的动态模型，开展水土保持措施在不同条件下的效益评价。

四、结束语

综上所述，无人机技术正在水土保持监测领域扮演着愈加重要的角色。其提供的高解析度、多维度数据已经被证明可以弥补传统方法的局限，改善水土流失区域的监测质量，为植被覆盖和土壤侵蚀研究提供了更为精确的观测手段。示范基地的成功建立，进一步转化了无人机监测技术的实际成果，推动了监测数据的规范化管理与高效利用。

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] 白翠霞. 基于无人机遥感技术的水土保持工程分析 [J]. 科技资讯, 2022, 20 (02): 83-85.
- [3] 杨奇树. 水土保持中无人机遥感技术的应用研究 [J]. 科技创新与应用, 2021 (03): 179-181.

