

无人机监测技术在水利工程流域水土流失监测中的应用

孙晓¹, 马原², 庄严¹, 张艳辉¹, 郭娟娟¹

(1. 山东景环工程咨询有限公司, 山东 济南 250000;

2. 南水北调东线山东干线有限责任公司, 山东 济南 250000)

摘要 随着我国水利工程建设的不断发展, 流域水土流失问题日益凸显, 无人机监测技术为这一问题的解决提供了新途径。本文概述了无人机监测技术的简介和原理, 针对水利工程流域水土流失问题设计了无人机监测方案, 明确了监测目标, 制定了监测方案并选择了合适的监测设备, 详细阐述了飞行平台、传感器、数据传输与处理系统以及地面控制与数据处理中心等系统构成的关键要素, 探讨了无人机监测技术在水利工程流域水土流失中的具体应用, 包括水土流失、水域环境、水土保持监测与评估以及水文参数测量等方面, 旨在为提高水利工程流域水土流失的监测与管理水平提供有益参考。

关键词 水利工程; 水土流失; 无人机监测技术

中图分类号: TP242; TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.04.013

0 引言

传统的监测方法监测范围局限、效率低下、费用高, 很难适应现代流域管理需要。近年来, 无人机监测技术由于具有高效、灵活和非接触式等优点, 在水土流失治理和水文参数测量等方面显示出了极大的潜力。文章通过对水利工程流域水土流失治理和水文参数测量过程中无人机监测技术的运用进行探究, 对其中存在的优势和面临的挑战进行分析, 并且提出了解决策略, 旨在对促进流域生态环境保护和水资源的可持续利用具有一定的借鉴作用。

1 无人机监测技术概述

1.1 无人机技术简介

无人机, 也被称为无人驾驶飞行器, 是一种融合了航空、机械、电子、通信和自动控制等多种先进技术的创新飞行器, 在最近几年中, 它在众多领域都展现出了巨大的应用前景。就监测技术而言, 无人机以机动性好、灵活性大、覆盖范围大、作业成本低等特有优势成为必不可少的监测手段。无人机技术携带多种传感器及监测设备, 可实现目标区域实时监测与数据采集。这批传感器和监测设备涵盖了多种类型, 包括但不限于高分辨率相机、多光谱传感器、雷达系统和红外传感器等, 它们具备捕获地面和空中各种信息的能力, 如地形、地貌、植被覆盖、土壤湿度和水质状况等^[1]。通过无人机上携带的数据传输系统可以

将这些实时监测数据实时地传送到地面控制站或者数据处理中心以便相关工作人员进一步分析与处理。

1.2 无人机监测技术原理

无人机监测技术是一种综合了航空遥感、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)以及数据处理和分析技术的全面监测工具, 原理以无人机平台飞行控制、传感器数据采集和数据处理与分析三个核心环节为主^[2]。从飞行控制角度来看, 无人机可以通过预设飞行航线或者自主导航算法实现复杂多样环境下的平稳飞行, 保障监测任务有效完成。飞行控制系统既承担着无人机起飞、巡航、着陆等基本任务, 又可以根据实时监测数据及任务要求对飞行高度、速度及航向进行灵活调节, 从而满足各种监测场景要求。在无人机监测技术中, 传感器的数据采集至关重要。无人机上所携带的高分辨率相机、多光谱传感器和雷达系统可以在地面或者空中实时采集到多种信息。通过在传感器内对这些信息进行数字化处理并将其转换成原始数据, 可以进行后续分析。不同种类的传感器可以从不同的维度获取信息, 例如利用高分辨率相机采集地表覆盖及植被生长状况, 利用多光谱传感器对土壤湿度及植被健康状况进行分析^[3]。

2 水利工程流域水土流失无人机监测方案设计

2.1 监测目标设定

在水利工程流域水土流失的无人机监测方案设计时, 制定监测目标需要根据流域水土流失问题具体状

况,充分考虑流域地质,地貌和气候等因素、植被及其他自然因素和人类活动对于流域水土资源产生的作用。具体来讲,监测目标可以细化如下:

一是需要对流域地表覆盖变化进行清晰监测,主要包括植被覆盖度、土壤类型和分布,从而对水土流失可能存在的风险进行评价。二是要重视流域土壤侵蚀动态过程研究,通过对土壤侵蚀速率、强度及空间分布进行监测来揭示水土流失产生机理及变化趋势^[4]。三是需要监测流域水质状况,并分析水体悬浮物、溶解氧和营养盐的变化情况,从而评价水土流失给水域环境带来的危害。同时监测目标中应包含流域水土保持措施效果评价,并与监测数据进行比较,以分析水土保持措施在水土流失防治中的作用。四是在制定监测目标的时候也需要充分考虑无人机监测技术特点与优点,保证监测目标的可操作性,可测量性与可验证性。同时,在制定监测目标时也需要联系流域水土保持规划、水资源管理及环境保护目标,才能使监测数据得到有效的利用及转换。

2.2 监测方案制定

基于明确监测目标,编制监测方案需要考虑监测区域特征、监测技术可行性、监测数据准确性与时效性等诸多因素。

第一,监测内容与指标监测内容需要依据监测目标来确定。监测的内容应该包括流域地表覆盖、土壤侵蚀、水质状况和水土保持措施的成效等主要因素,同时需要对监测指标进行具体量化,如植被覆盖度、土壤侵蚀模数、水质参数等供后续数据分析与评价。

第二,需要选用适当的无人机监测平台及传感器设备。无人机选型要综合考虑飞行稳定性、续航能力、载荷能力和数据传输能力,才能保证监测任务顺利完成。在选择传感器时,需要根据监测的具体内容和标准,选择高分辨率的摄像机、多光谱传感器和雷达系统等工具,以确保获得完整且精确的监测数据^[5]。

第三,在制订监测方案时需要考虑监测频率、监测周期等因素。监测频率要根据流域水土流失动态变化及监测需求加以调整,保证数据时效性与代表性。建立监测周期则需要考虑监测任务时间要求及资源投入,以保证监测工作持续、系统进行。

2.3 监测设备选择

选择监测设备需要从监测目标、监测内容和监测环境几个方面来考虑。

第一,无人机选型要以无人机飞行性能、载荷能力、数据传输能力和续航能力为依据。鉴于水利工程流域地形复杂、幅员辽阔,要选用飞行控制系统稳定、导航定位精度高、续航时间长的无人机才能保证监测任务有效完成。同时,无人机组载能力需要满足携带

各种传感器及监测设备才能实现多参数多尺度监测。

第二,传感器选型需要依据监测内容与指标准确匹配。针对地表覆盖与植被生长监测可以选择高分辨率相机与多光谱传感器来获得地表覆盖类型与植被健康状况信息。针对土壤侵蚀及水质状况进行监测时,可以选择雷达系统、水质监测传感器以及其他装置来对土壤侵蚀速率和水体悬浮物浓度进行检测。另外,还需综合考虑传感器精度、稳定性及数据兼容性,保证监测数据准确可靠。

3 无人机监测技术在水利工程流域水土流失中的具体应用

3.1 水土流失动态监测

无人机监测技术对水利工程流域水土流失动态监测起到关键作用。通过携带高精度传感器,该项技术可实现流域地表覆盖、植被生长和土壤侵蚀等主要因素的连续实时监测,从而为水土流失动态监测工作提供有力的技术支持。

动态监测时,无人机可灵活调节飞行高度及航路,涵盖流域不同地形、植被类型等信息,保证监测数据全面、代表性强。高分辨率相机与多光谱传感器应用使无人机可以捕捉地表覆盖过程中植被密度增加或减少以及土壤裸露面积增加等微小变化,而这常常成为水土流失预警信号。采用定期或者不定期飞行监测可构建时间序列数据集进行水土流失时空演变规律分析,从而为有针对性地采取水土保持措施提供科学依据^[6]。

除此之外,无人机的监测技术还可以与地理信息系统(GIS)和遥感图像处理技术相结合,以实现监测数据的空间解析和可视化展示。利用GIS平台可结合无人机获取的资料和流域地形、气候和土地利用背景信息来揭示水土流失和上述各要素间的复杂联系。遥感图像处理技术可以有效地提取地表覆盖类型、植被指数和土壤湿度等关键参数,从而为水土流失的定量评估和预测提供强有力的支持。

3.2 水域环境动态监测

在水利工程流域水土流失综合防治及保护中,无人机监测技术因其特有优势为水域环境实时监测及数据分析打开了一条新途径,极大地提高了监测效率及准确性。

无人机携带的高清摄像设备,多光谱传感器和水质监测专用传感器等设备可全方位、多角度拍摄水域环境细微变化。高清摄像设备可以直观地显示水面上漂浮物、油污和藻类的污染状况,对及时消除污染源和防止水质恶化具有重要意义。通过对水体反射光谱特性的分析,多光谱传感器能够准确地估计水质的各

种参数,如叶绿素 a 的浓度、悬浮物的浓度以及溶解氧的含量等,这些参数均为评估水域生态健康状况的关键指标。专门用于水质监测的传感器能够直接测定水中的各种化学参数,如 pH 值、电导率和氨氮浓度等,从而为全方位评估水质状况提供了科学依据^[7]。

通过整合地理信息系统(GIS)与大数据分析手段,无人机收集的监测数据可以更深入地揭示水域环境在时空上的变化模式。GIS 平台可结合无人机获取的空间数据及流域地形、气象、土地利用背景信息,建立三维水域环境模型并直观地显示水质空间分布特征及变化趋势。大数据分析技术具有深度挖掘长时间序列监测数据的能力,能够揭示水质变化的潜在驱动因素,如降雨、气温、人类活动等,从而为制定科学的水质保护策略提供决策支持。

3.3 水土保持监测与评估

水利工程流域生态环境保护和可持续发展战略实施过程中水土保持监测和评价是关键环节。无人机监测技术的提出为水土保持提供了一种空前高效、准确、综合的监测手段,极大地增强了水土保持措施执行效果及评价的精度。

无人机携带高分辨率相机、多光谱传感器和激光雷达等先进装备,可以实现流域地表覆盖和植被生长状况的监测,对土壤侵蚀强度,地形地貌变化进行多维度实时监控。这些资料既为水土保持措施制定和实施提供科学依据,又为之后效果评估打下了坚实的基础。如高分辨率相机能够准确地拍摄植被覆盖度变化情况并反映水土保持植被恢复工程实施效果;多光谱传感器对地表反射光谱进行分析,可对土壤湿度、植被健康状态等关键参数进行估计,从而为土壤保持与植被保护提供数据支撑;激光雷达技术能够精确地捕捉到地形和地貌的细微变动,从而揭示土壤侵蚀的严重性和其分布模式^[8]。

通过整合地理信息系统(GIS)与遥感图像处理技术,将无人机的监测数据进一步转换为更直观和易于理解的空间信息,如水土流失强度的分布图、植被覆盖度等变化图为水土保持措施效果评价提供了可视化依据。同时利用时间序列分析、空间统计分析等先进数据分析方法可深度发掘监测数据背后存在的规律与趋势,从而为水土保持策略的制定与调整提供科学依据。

3.4 水文参数测量(如水流速度、河底地形等)

无人机监测技术因其特有的优点,对水文参数尤其是水流速度的检测提供了高效、灵活和非接触式解决方案,在河底地形和其他主要水文参数测量中显示了很大的潜力。

搭载在无人机上的高级传感器,如激光雷达(LiDAR)、声纳系统和高分辨率摄像机,具备对河流及其附近环

境进行三维扫描和实时监控的能力。激光雷达能够发射激光脉冲并捕获其反射的回波,这使得它能够准确地测量河流的表面高度和河底的地形特征,进而生成高精度的数字高程模型(DEM),为河底地形的深入描述创造了条件。声纳系统利用声波在水体中的传播特性来测定水流的速度和河底的深度,这一系统特别适合于测量复杂的流态和浑浊的水体。高分辨率相机能够捕获河流表面的纹理和流动特性,并结合图像处理技术,从而间接估算水流速度,为水文模型的验证和洪水预警提供数据支持。

通过整合地理信息系统(GIS)与遥感技术,将无人机的监测数据进一步转换为连续的空间水文参数分布图,例如水流速度场、河底地形图等为流域水文模拟,洪水风险评估和水利工程设计等提供了直观准确的信息基础。另外,无人机监测技术可以实现水文参数快速反应与持续监测,尤其适用于暴雨、洪水等极端天气情况,无人机可以快速布放并提供水文参数实时信息,为应急响应及灾害管理等方面提供关键决策支持。

4 结束语

将无人机监测技术应用于水利工程流域水土流失治理及水文参数测量,给流域管理带来了一种空前有效、准确、综合的监测方法。无人机通过携带各种先进传感器可实现流域地表覆盖、植被生长、土壤侵蚀、水流速度和河底地形等主要水文参数实时监测,为水土流失动态监测、水域环境保护、水土保持措施效果评价、水文模型校验与洪水预警等提供科学依据。

参考文献:

- [1] 石先闯,王丽娜.小流域水土流失治理无人机技术应用研究[J].水利技术监督,2023(02):46-53.
- [2] 胡红,于磊.海河流域生产建设项目水土保持监督性监测研究[J].海河水利,2023(08):12-15.
- [3] 杨力华.无人机在小流域水土流失综合治理中的应用[J].中国水土保持,2023(07):66-68.
- [4] 王行斌,李霖涵.水土保持监测中小型无人机技术与地理信息系统运用研究[J].河南水利与南水北调,2023,52(01):93-94.
- [5] 程曦,翟晓萌,仓敏,等.无人机低空遥感技术在输变电工程水土保持监测中的应用[J].中国水土保持,2023(02):50-53.
- [6] 李佳佳,朱宏慧.无人机遥感技术在水土保持监测中的应用策略研究[J].科学与信息化,2023(18):44-46.
- [7] 王冉,田刚,李庆远,等.无人机倾斜摄影技术在水土保持监测中的应用[J].中国水土保持,2023(03):42-43.
- [8] 尚文星.无人机遥感技术在水土保持工作中的运用分析[J].科技资讯,2024,22(20):188-190.