

低空无人机摄影测量技术应用于水土保持规划设计中的价值

朱叶希

上海航鸿工程管理有限公司 上海 200137

摘要：低空无人机摄影测量技术具有高效、灵活、低成本的特点，因此，广泛用于水土保持规划设计中。与传统地面测绘手段相比，无人机技术在测量浅滩和水上建筑物位置时表现出明显的优越性和实用价值。文章详细描述低空无人机摄影测量技术在测量浅滩和水上建筑物位置方面的优点与实用价值，还与传统的地面测绘手段作了比较，从而展示出这种技术在提高测绘准确性、效率以及减少成本方面所具有的巨大发展潜力。

关键词：低空无人机；摄影测量技术；水土保持

引言：随着对水土保持规划设计需求的增加，面对复杂的地形和水域环境，传统的测绘方法在效率和精度上已难以满足现代要求。因此，低空无人机摄影测量技术作为水土保持规划设计中不可或缺的工具得以广泛应用。

1 低空无人机摄影测量技术概述

1.1 技术原理与系统组成

低空无人机摄影测量技术是依赖于无人机平台、遥感传感器、飞行控制系统以及数据处理系统等多种尖端技术的综合应用技术。无人机飞行平台一般由小型的固定翼或多旋翼无人机构成，具有体积小、重量轻和操控灵活的优势，可以在复杂的地形或高风险环境中灵活执行任务。作为核心组成部分的遥感传感器子系统，集成了高分辨率数码相机、光学传感器以及POS系统（位置与姿态测量系统）等多种功能设备，通过自动化控制技术来实现高精度的图像和数据采集。

低空无人机摄影测量技术的飞行控制系统主要由自动飞行控制仪、GPS接收器和惯性导航系统（INS）等设备构成，这些设备协同工作，确保无人机在飞行过程中保持稳定姿态，并按照预定航线精确导航，从而获取高质量的测绘数据。地面控制系统涵盖航迹规划、飞行控制、数据接收处理等功能模块，通过与无人机的实时通信，实现对飞行路径、摄影参数及传感器配置的远程控制 and 调整。该系统还负责接收无人机的实时影像和数据，在航测过程中监测飞行状态和影像质量，确保数据采集的准确性和完整性^[1]。

在低空无人机摄影测量技术中，数据处理系统是其后端处理的关键部分，该系统依赖于高效的数字摄影测量软件和强大的数据处理能力，能够自动完成影像的几何校正、辐射校正和影像拼接等预处理工作。随后，通

过空三加密、生成数字高程模型（DEM）以及正射影像图（DOM）等步骤，最终生成高精度的地形测绘成果。这些成果在水土保持规划设计中，为地形分析、工程设计和水文模型的构建提供了坚实的数据支持。低空无人机摄影测量技术实现了数据获取到结果生成的全程闭环管理，尤其在浅水区域测量和水上建筑定位等复杂环境中展现了显著的技术优势。

1.2 水土保持规划设计中的应用潜力

水土保持的规划与设计工作需要针对复杂的地形和多变的水文条件进行精准的测绘，而低空无人机摄影测量技术恰好能够提供高分辨率的数字影像，全面捕捉地形特征、植被覆盖及水文要素等多方面的信息。该技术在短时间内便可完成大范围区域的影像采集，并通过精确的定位和姿态控制，确保影像的几何精度和图像质量，这为水土流失评估、土壤侵蚀模型的构建以及防护工程的设计等提供了高精度的数据支持。低空无人机以其灵活的飞行能力，能够轻松进入传统测绘方式难以到达的陡坡、山谷和浅滩等区域。通过快速的部署和即时影像的获取，极大地提升了测绘的效率。尤其是在浅滩测量和水上建筑物的定位的特殊应用场景中，低空无人机能够根据水文条件灵活调整飞行高度，确保数据采集的连续性和完整性。

2 浅滩区测绘的应用

2.1 浅水地形的测绘

由于浅滩地带水位相对较低，地貌复杂，并经常变化，加之其具有显著的动态变化，因此，利用水下声纳测定或地面激光成像常常难以完全覆盖这些区域，或者其成本可能过高。通过低空无人机的成像测量技术可以在有限的时间内高效且高精度地测量浅水区的地貌，无

人机能成功避免水的反射和外部环境造成的阻碍,从而确保在飞行中具有稳定的特性,并能获取到高清晰度的正射光图像。这些建议的视频资料可为未来的数字高程模型(DEM)制作和地形研究提供参考。浅滩地带的地质条件经常发生变化,低空无人机能通过对飞行路线和高度进行灵活调整,实时地观测和记录这些变化^[2]。无人机借助高度精确的GPS和惯性测量单元(IMU)等高级定位装置,也能够准确地捕捉和控制空间坐标及姿态,进而保证图像数据的几何精确性。在数据处理的步骤中,利用数字摄影的测量工具,我们能够自动地进行图片的拼接、几何上的校正以及三维测量,从而生成具体的地形模型,这些模型能够真实地呈现浅滩地带的细微地形特点。

2.2 数据的整理与分析

在初始的数据处理环节,借助高精度POS(Position and Orientation System)数据的综合处理,我们能够为每一个影像提供精准的位置和姿态调整,同时将误差维持在厘米级别,一般在3至5厘米的范围内。这为后面影像的拼接以及三维建模工作打下了稳固的基础。在图像融合的阶段,通过应用高端的数字摄影测量技术,配合自动化的空三加密策略,成功地创建了高精度的数字正射图像(DOM)和数字高度模型(DEM)。通过多次重叠和匹配验证,这些影像数值能够确保各个影像之间的无缝结合和高度一致性,进而大大提升了地形模型生成的精确度,通常地形误差被控制在10厘米以内。对浅水地区特有的错综复杂的地形特点进行研究,特别是在水流波动较为显著的地方,借助DEM的差异性分析技术可以精准地获取微小的地形变动,其准确性可以达到厘米级别。经过处理后的DEM在水文研究领域,能够准确提供水流的轨迹以及滞留地带的信息,而DOM的对比研究则有助于观察浅滩地带的土地使用差异和水土流失状况。

在数据分析阶段,利用数字高程模型(DEM)进行坡度和流域的评估及侵蚀风险分析,可以有效地鉴别高风险地区,为水土保持项目的规划提供了坚实的科研支撑。特别在高分辨率DEM技术的支持下,可以通过细致的水文模拟来预测在不同雨量条件下的水流分布和侵蚀速度,进而更加高效地采取适当的防护策略。对于浅滩地带的持续监控,数据处理平台有能力运用时间序列进行分析和变化监测,能够鉴定和计算地形的演变趋势,为长期进行的水土保护计划提供宝贵的参考数据。

3 水上建筑物定位与测量

3.1 精确定位与测量技术

高精度定位依赖于全球导航卫星系统(GNSS)和惯

性测量单元(IMU)的数据,这些系统相辅相成,为无人机在每个时刻提供准确的三维位置及姿态信息。GNSS接收器通常可以实现厘米级的定位精度,特别是在差分GNSS(DGNSS)或实时动态(RTK)模式下,水平定位精度可达到1-2厘米,而垂直精度通常在3-5厘米之间。IMU能够提供无人机的三维姿态角度信息,包括俯仰角、滚转角和航向角,其精度一般超过0.01度。在实际测量中,无人机按照预设航线和高度飞行,利用高分辨率摄影传感器采集地面影像。

为了确保影像的空间位置准确无误,同时采集POS数据(包括GNSS和IMU数据),并在后处理阶段通过精密的几何校正算法对影像进行正射纠正,通过POS数据与影像的精确匹配,通常能将影像的位置误差控制在2-3厘米以内,从而保证了后续高精度地形建模的准确性^[3]。在水上建筑物的定位和测量中,利用低空无人机的精确定位技术可以迅速且精确地确定建筑物的三维坐标。通常,无人机的飞行高度设定在50-100米范围内,以确保影像的空间分辨率达到2-5厘米级别。在这种分辨率下,可以清晰地捕捉建筑物的细节,并利用多视影像的立体匹配技术生成高精度的三维模型。

3.2 研究成果的展示与运用

在数据处理后的最终成果输出与应用过程中,通常会生成数字正射影像图(DOM)、数字高程模型(DEM)、数字表面模型(DSM)以及三维立体模型等。在DOM生成的过程中,通过将多幅高分辨率影像进行无缝拼接和几何校正,得到的正射影像具有亚像素级别的定位精度,通常在2-3厘米之间。正射影像不仅能准确反映地表特征,还能直观展示测区的土地利用状况、植被覆盖程度和水体分布,为水土保持规划中的地貌分析和土地利用评估提供基础数据。数字高程模型(DEM)主要用于描述地形的起伏和高度变化,其高度精度一般在5厘米以内,广泛应用于坡度分析、流域划分以及侵蚀风险评估等水土保持规划中的重要分析工作;而数字表面模型(DSM)包括地表上的所有物体,如:建筑、植被等,适合用于精细的地表模型构建和环境影响评估。例如,通过对DEM进行坡度分析,可以有效识别高风险的侵蚀区域,从而优化防护措施的布局;而利用DSM进行三维展示,可以直观地评估水土保持工程对周围环境的影响,以确保工程的可持续发展。

4 低空无人机与传统测绘技术的对比

4.1 成本效益评估

相较于传统的航空摄影测量及地面测绘,低空无人机技术在多个方面显示出明显的经济优势。一整套低空

无人机摄影测量系统，包括无人机平台、高清数码相机、GPS和IMU系统，通常费用在几十万元人民币以内，而传统的航空摄影设备及载人飞行器的价格可能达到数百万万元。此外，低空无人机的操作和维护成本也较为低廉，通常无需专门的飞行员执照，仅需经过简短培训的技术人员即可进行操作，从而显著降低了人力资源的开支。在实际的测绘工作中，低空无人机展现出极高的作业效率^[4]。通常情况下，一架无人机在一天内能够完成数十平方公里的测绘任务，尤其是在地形复杂或者环境条件严酷的地区，无人机凭借其灵活性和机动性迅速覆盖广阔的区域。

在山区、浅滩或水域等复杂地形中，传统的测绘方法往往需要投入大量人力和时间，且这些区域的测绘精度常常难以保障。而低空无人机由于能够在低空飞行并绕过地面障碍物，显著缩短了外业作业的时间，同时也提升了测绘的精度。在数据处理领域，低空无人机所获取的高分辨率影像数据借助先进的数字摄影测量软件实现了自动化处理，这大大减少了人工介入的需要，从而降低了内业处理所需的时间与成本。

4.2 测量准确性与工作效率的对比分析

在地面测量过程中，传统的测绘技术通常依赖全站仪和RTK-GPS等设备，其水平和垂直精度一般能够达到1-2厘米。然而，这种测量方式在大范围内进行时效率较低，在地形复杂或障碍物较多的地方，测量的精度还会受到一定的影响。低空无人机摄影测量技术通过获取高分辨率的航拍图像并结合精准的POS（位置和姿态）数据，运用先进的影像处理技术和空中三角测量算法，生成的数字正射影像图（DOM）和数字高程模型（DEM）在水平精度上通常能够达到2-3厘米，而垂直精度则可达

5-10厘米。此外，低空无人机在完成大范围测绘任务时具有明显的时间优势，例如，在相同的测区内，使用无人机进行数据采集通常只需数小时，而传统的地面测绘可能需要数天甚至数周的时间才能完成。以一个200平方公里的典型测绘区域为例，低空无人机能够在1到2天内完成所有航拍任务，紧接着在接下来的1到2天内完成数据处理和成果的输出，而传统的地面测量方法至少需要10到15天来进行外业数据的采集，后续的数据处理过程同样耗时较长。

结论

低空无人机摄影测量技术凭借其独特的技术特点和广泛的应用场景，在浅滩测量、水上建筑物定位及精细测绘等方面表现出显著优势。高分辨率影像的采集与精确的POS数据的整合，使得最终的成果具备了极高的准确性和可靠性，充分满足现代水土保持工程对测绘数据的严格要求。随着无人机技术的不断进步以及测绘软件的持续更新，低空无人机摄影测量技术将在水土保持的规划与设计扮演越来越重要的角色。

参考文献

- [1]吴海波.基于无人机技术的河道划界及精度分析[J].地下水,2024,46(1):247-249.
- [2]陈奇,张阳,唐雯雯,等.低空无人机平台应用于海滩地形监测的初步研究[J].海洋地质与第四纪地质,2023,43(6):55-68.
- [3]喻常景,吴明宪.低空无人机航空摄影技术在山区林地确权中的应用[J].现代商贸工业,2023,44(17):261-263.
- [4]王培荣.基于低空无人机航空摄影测量技术的国土空间生态修复规划研究[J].产业创新研究,2023(6):93-95.