

机测绘大大缩短了测量周期,提高了工作效率。例如,在地形测绘项目中,传统的地面测量方法需要大量的人力和时间,而无人机测绘技术可在一天内完成数百平方公里的测量任务,测量效率提高了数倍甚至数十倍。在建筑工程、线路工程等项目中,无人机测绘技术也能够快速获取所需的测量数据,为项目的顺利推进提供有力支持。

4.2 降低测量成本

无人机测绘技术的设备成本和运营成本相对较低。无人机的购置和维护费用远低于传统的航空摄影测量设备,且不需要专业的飞行员,只需经过简单培训的操作人员即可进行操作,大大降低了人力成本。此外,无人机测绘技术可根据测量任务的需求进行灵活配置,避免了不必要的资源浪费,进一步降低了测量成本。例如,在一些小型工程测量项目中,使用无人机测绘技术的成本仅为传统测量方法的几分之一,具有显著的经济效益。

4.3 保障测量人员安全

在一些危险环境或高危区域,如灾区、矿区、山区等,传统的测量方法可能会对测量人员的生命安全造成威胁。而无人机测绘技术可实现远程操作,测量人员无需进入危险区域,即可完成测量任务,有效保障了测量人员的人身安全。例如,在地震、洪水等自然灾害发生后,利用无人机可快速进入灾区进行测绘和监测,为救援工作提供重要的数据支持,同时避免了测量人员在灾区面临的安全风险。

4.4 提高测量精度

随着传感器技术和数据处理算法的不断发展,无人机测绘技术能够获取高精度的地理信息数据。例如,高精度的光学相机和激光雷达可获取分辨率达厘米级甚至毫米级的影像和三维坐标数据,能够满足各种高精度工程测量的需求。相比传统的测量方法,无人机测绘技术在测量精度方面具有明显优势,能够为工程设计和施工提供更加准确的数据支持,提高工程质量。

4.5 数据获取全面且实时性强

无人机测绘技术可在不同的时间和天气条件下对目标区域进行多次测量,获取丰富的时间序列数据。通过对这些数据的对比分析,可实时监测目标区域的变化情况,如地形变化、建筑物施工进度、环境变化等。这种实时性强的数据获取能力,为工程建设的动态管理和决策提供了有力支持。例如,在建筑工程施工过程中,利用无人机定期对施工现场进行监测,可实时掌握工程进度和质量情况,及时发现问题并采取措施进行调整,确保工程顺利进行。

5 无人机测绘技术在工程测量中的应用策略

5.1 强化复杂环境适应性技术升级

针对复杂环境下的技术适配难题,需从硬件和软件两

方面进行技术升级。在硬件层面,研发具备更强抗风能力和高精度导航系统的无人机。例如,采用多传感器融合技术,将GNSS、惯性导航系统(INS)与视觉导航相结合,减少高楼密集区多路径效应干扰,提升定位精度;为无人机配备温控系统和防水防潮组件,增强在极端气候下电子元件和机身结构的稳定性。在软件层面,优化飞行控制系统算法,使其能根据实时气象数据和地形信息,自动调整飞行高度、速度和航线,保证影像数据的采集质量。同时,开发自适应的数据传输协议,提高复杂电磁环境下数据传输的稳定性和抗干扰能力。

5.2 构建高效数据处理与整合体系

首先,推动行业统一数据格式标准,增强不同类型数据间的兼容性,减少数据转换过程中的信息损耗。其次,引入人工智能与大数据技术,提升数据处理自动化水平。例如,利用深度学习算法实现影像自动匹配和地理信息智能提取,降低人工干预;采用云计算技术搭建分布式数据处理平台,提高大规模数据的处理速度,缩短项目交付周期。此外,建立数据质量管控机制,在数据处理的各个环节设置质量检查点,及时发现并纠正数据误差,保障测量成果的准确性。

5.3 推动法规与行业标准完善适配

解决法规与行业标准的适配困境,需要政府、行业协会和企业多方协同。政府部门应加快制定统一的无人机测绘行业法规,明确飞行审批流程、空域使用规则和作业资质要求,消除地区间监管差异。行业协会要发挥桥梁作用,组织专家制定符合无人机测绘技术特点的数据精度、成果验收等行业标准,并定期更新完善,使其与技术发展和工程实际需求相匹配。企业自身则需加强合规管理,严格按照法规标准开展测绘作业,积极参与行业标准制定,反馈实际应用中的问题和建议。

6 结论

无人机测绘技术凭借高效性、高精度、灵活性、低成本及高安全性等显著优势,在工程测量领域实现了多场景的深度应用,从地形测绘、建筑工程测量到线路工程、矿山及水利工程测量,均展现出对传统测量方式的革新能力,有效提升了测量效率与精度,保障了测量人员安全,为工程建设的规划、设计、施工与管理提供了可靠的数据支撑。

参考文献

- [1] 王亮,李新,周立.无人机测绘技术在地形测绘中的应用与实践[J].测绘通报,2023,49(12):115-120.
- [2] 赵强,钱进.建筑工程测量中无人机测绘技术的创新应用[J].建筑技术开发,2024,51(3):135-138.
- [3] 孙悦,刘辉.面向工程测量的无人机测绘技术发展趋势研究[J].地理信息世界,2024,31(2):88-94.

Research on Coastline Topography and Geomorphology Measurement Based on Unmanned Aerial Vehicles

Xiaodi Qi Jinyue Chen Xiaojin Liu

Tianjin Maritime Surveying and Mapping Center, Beihai Navigation Safety Center, Ministry of Transport, Tianjin, 300222, China

Abstract

This article focuses on the measurement of coastline topography and geomorphology based on unmanned aerial vehicles (UAVs), and systematically expounds its workflow and technical advantages. The workflow covers three major links: pre-measurement preparation, data collection operations, and data processing and analysis. In the early stage, it is necessary to plan the flight route and calibrate the equipment. Multiple sensors work in coordination during collection. The processing stage generates high-precision results through professional software. Unmanned aerial vehicle (UAV) measurement technology has significant advantages, capable of obtaining data with centimeter-level resolution and accurately presenting the details of coastal landforms. Efficiently complete large-scale measurement, with efficiency increased by more than 10 times compared to traditional methods. It can also adapt to complex environments, reduce the risks of personnel operations, and has significant application value and broad development prospects in fields such as Marine resource development and coastal zone management.

Keywords

Unmanned Aerial Vehicle Coastline Topographic and geomorphic surveying

基于无人机的海岸线地形地貌测量研究

齐晓迪 陈金月 刘晓金

交通运输部北海航海保障中心天津海事测绘中心, 中国·天津 300222

摘要

文章聚焦基于无人机的海岸线地形地貌测量, 系统阐述其工作流程与技术优势。工作流程涵盖测量前期准备、数据采集作业、数据处理分析三大环节, 前期需规划航线、校准设备; 采集时多传感器协同作业; 处理阶段通过专业软件生成高精度成果。无人机测量技术具备显著优势, 可获取厘米级分辨率数据, 精准呈现海岸地貌细节; 高效完成大面积测量, 相比传统方法效率提升超10倍; 且能适应复杂环境, 降低人员作业风险, 在海洋资源开发、海岸带管理等领域具有重要应用价值与广阔发展前景。

关键词

无人机; 海岸线; 地形地貌测量

1 引言

海岸线作为陆海交互的关键地带, 其地形地貌的动态变化对海洋资源开发、海岸工程建设及生态保护意义重大。传统测量方法存在效率低、成本高、地形适应性差等局限。随着无人机技术发展, 其凭借高机动性、高分辨率数据采集能力及低成本优势, 为海岸线地形地貌测量提供新路径。本文深入研究无人机测量技术, 探索其工作流程与应用价值, 为海岸带综合管理提供技术支撑。

2 无人机在海岸线地形地貌测量工作流程

2.1 测量前期准备

在测量工作启动前, 系统且全面的前期筹备是确保测量精度与作业顺利开展的根基。首要任务是对海岸线测区进行深度调研, 借助海洋测绘部门的历史资料、卫星遥感影像以及地理信息系统(GIS)数据, 收集涵盖海岸线走向、地形高程、地物分布、潮汐规律等在内的地理信息, 同时详细记录周边环境数据, 包括交通状况、居民区分布、航空限飞区等信息, 避免后续飞行作业受阻。利用 ArcGIS、Global Mapper 等专业地理信息处理软件, 基于收集的数据精确划定测区范围, 明确测量边界。航线规划环节需综合考量多方面因素。根据预期的测量精度要求, 结合无人机的续航能力、飞行速度, 以及搭载传感器的参数(如光学相机的焦距、

【作者简介】齐晓迪(1988-), 男, 中国山东淄博人, 硕士, 工程师, 从事海洋测绘研究。

视场角, 激光雷达的扫描范围等), 使用 Pix4Dmapper、DroneDeploy 等航线规划软件, 科学制定飞行航线。合理设定 60%-80% 的航向重叠度与 30%-50% 的旁向重叠度, 这一参数设置能够确保相邻航带间数据存在足够的冗余, 便于后续影像拼接与三维建模, 从源头上保障数据采集的完整性与准确性, 避免出现测量盲区。设备检查与校准同样不可或缺。对无人机整机进行全面检查, 包括机身结构是否稳固、螺旋桨是否存在损伤、电机运转是否正常等机械部件, 同时检查电池电量、通信链路连接稳定性, 确保飞行安全。针对搭载的光学相机, 通过拍摄棋盘格标定板, 运用 MATLAB 相机标定工具箱、CalibCheckerboard 等专业软件, 精确计算相机的内参数 (如焦距、主点坐标、畸变系数) 与外参数 (旋转矩阵、平移向量), 以此校正镜头畸变, 保证影像几何精度; 激光雷达需在已知坐标的标准场地上进行标定, 将雷达测量数据与实际地理坐标进行匹配校准, 确保获取的点云数据空间位置准确; 对 GNSS 模块, 采用已知高精度控制点进行静态观测比对, 核验其定位精度, 若精度不达标, 需及时排查原因, 更换设备或进行参数调整。通过上述严格的设备检查与校准流程, 全方位保障设备性能处于最佳状态, 为后续测量作业的高效、精准开展筑牢基础。

2.2 数据采集作业

数据采集作业作为测量流程的核心环节, 需严格遵循标准化操作流程, 确保获取高精度、高可靠性的原始数据。在起飞前, 操作员需在地面控制站完成飞行参数二次确认, 包括航线路径完整性、返航高度设置、失控保护策略等, 并通过模拟飞行轨迹验证航线可行性。无人机升空后, 采用“实时监测 + 智能反馈”双模式管控飞行状态: 地面控制站实时显示无人机的高度、速度、姿态角、电池电量等关键参数, 结合机载传感器回传的环境数据 (如风速、气压), 系统自动生成飞行状态健康度评估报告。当遭遇复杂地形时, 如悬崖峭壁或滩涂暗礁区域, 操作员可启用手动干预模式, 通过调整飞行高度 (通常在 50 - 200 米区间内动态调节) 和速度 (5 - 15 米/秒), 确保传感器视角始终垂直覆盖目标区域; 若遇突发气象变化, 如局部强风或能见度骤降, 系统将触发应急机制, 自动执行悬停或返航指令, 保障设备与数据安全。在数据采集过程中, 多传感器协同作业机制发挥关键作用。光学相机以预设的时间间隔或距离间隔进行连续拍摄, 通过高速图像压缩算法 (如 JPEG2000) 将高分辨率影像 (单张像素可达 4000 × 6000 以上) 实时传输至地面控制站, 同时记录快门触发时刻的精确时间戳; 激光雷达采用多回波技术, 每秒可发射数万次激光脉冲, 穿透低矮植被获取地形表面真实高程数据, 其回波信号经预处理后生成点云数据流^[1]。两类数据通过独立传输通道与 GNSS 模块输出的实时位置信息 (精度可达厘米级)、IMU (惯性测量单元) 记录的姿态数据进行时间戳对齐, 实现多源异构数据的精准同步。地面控制站采用固态硬盘阵列进行数据存储, 通过 RAID 冗

余技术确保数据完整性, 同时建立数据校验机制, 实时检查数据传输的准确性, 若发现丢帧或校验错误, 系统将自动标记并提示补采, 从而构建起覆盖数据采集全流程的质量管控体系。

2.3 数据处理分析

数据处理分析作为将原始测量数据转化为可用成果的关键阶段, 需依托专业软件和严谨的处理流程, 确保数据的准确性和成果的可靠性。首先, 在光学影像处理方面, 利用 Context Capture、Agisoft Metashape 等专业软件, 对无人机采集的海量高分辨率影像进行处理。这些软件通过先进的计算机视觉算法, 自动提取影像中的特征点 (如角点、边缘点等), 并基于特征匹配技术, 在海量影像中快速找到同名点, 建立影像间的对应关系, 实现高精度的影像自动拼接, 构建出测区的初始三维模型。由于拍摄时相机的倾斜角度和地形起伏会导致影像变形, 需进一步进行正射校正处理。软件通过数字高程模型 (DEM) 和相机参数, 将倾斜影像纠正为垂直视角的正射影像图 (DOM), 消除几何变形, 使影像上的地物位置和形状更接近真实情况, 并进行色彩平衡、对比度增强等优化操作, 提升影像的视觉效果和可读性。对于激光雷达采集的点云数据, 主要运用 TerraSolid、CloudCompare 等点云处理软件。原始点云数据中往往包含大量噪声点 (如飞鸟、空中漂浮物反射的激光点) 和非地面点 (如植被、建筑物点云), 首先需进行滤波去噪处理, 通过统计滤波、形态学滤波等算法, 去除离散的噪声点, 保留有效点云数据。接着, 利用点云分类算法, 如基于高程的分类、渐进加密三角网分类等方法, 将点云分为地面点、植被点、建筑物点等不同类别, 提取出地面点云。基于地面点云数据, 通过插值算法 (如反距离权重插值、克里金插值等) 构建数字高程模型 (DEM), 直观呈现海岸线地形的高程变化。

3 无人机测量技术优势

3.1 高分辨率数据精准获取

无人机搭载的高像素光学相机与高精度激光雷达, 构成了高分辨率数据采集的核心利器。以主流的无人机光学相机为例, 索尼 A7R 系列相机像素可达 6000 万以上, 配合低畸变广角镜头, 在 50 - 200 米飞行高度下, 地面分辨率可达 1 - 5 厘米, 能够清晰捕捉海岸线岩石表面的裂隙、贝壳碎屑分布等微观特征。同时, 其具备的大光圈与高感光度性能, 即使在低光照或逆光环境下, 也能保证影像的清晰度与色彩还原度。而激光雷达系统 (如 RIEGL VUX - 1UAV) 凭借每秒数万次的激光脉冲发射频率, 可穿透 10 - 20 米高度的低矮植被, 精准获取地表真实高程数据, 形成密度达每平方米数百至数千点的三维点云, 有效解决了传统光学测量中植被遮挡导致地形数据缺失的难题^[2]。

与卫星遥感相比, 无人机具备显著的低空近距作业优