

基于无人机测绘的自然资源精细化调查与精度分析

钱艺涛¹ 钱相宁²

1 智慧云图(扬州)科技有限公司

2 江苏易图地理信息科技有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v9i1.2392

[摘要] 随着我国自然资源统一调查监测体系不断完善、管理要求持续升级,传统测绘技术手段在空间精细化表达、数据时效性、动态更新能力与全域覆盖效率等方面,已难以完全适应新时代自然资源高质量管控与精细化治理的现实需求。本文立足当前自然资源调查监测工作的现实需求,系统梳理无人机测绘在自然资源领域的应用现状、核心技术流程与典型作业模式,重点阐述其在地形测绘、土地利用动态监测、林草资源清查、生态环境调查等关键场景中的应用逻辑与实现方式,并从影像采集质量、航线规划策略、地面控制点布设、空中三角测量解算及后期数据处理算法等多个维度,深入剖析影响无人机测绘成果精度的关键因素与内在作用机理,为提升自然资源调查数据质量、强化成果可靠性与实用性提供理论参考与技术支持。

[关键词] 无人机测绘; 自然资源调查; 精细化管理; 精度分析; 遥感影像; 数据融合; 空间信息获取
中图分类号: P2 文献标识码: A

Refined Investigation and Precision Analysis of Natural Resources Based on UAV Surveying and Mapping

Yitao Qian¹ Xiangning Qian²

1 Smart Cloud(Yangzhou) Technology Co., Ltd.

2 Jiangsu Yitu Geographic Information Technology Co., Ltd.

[Abstract] With the continuous improvement of China's unified survey and monitoring system for natural resources and the constant upgrading of management requirements, traditional surveying and mapping technologies have been difficult to fully meet the practical needs of high-quality management and refined governance of natural resources in the new era in terms of refined spatial expression, data timeliness, dynamic updating capacity and full-domain coverage efficiency. Based on the practical demands of current natural resource survey and monitoring work, this paper systematically sorts out the application status, core technical processes and typical operation modes of UAV surveying and mapping in the field of natural resources, focuses on expounding its application logic and implementation methods in key scenarios such as topographic surveying and mapping, dynamic monitoring of land use, inventory of forest and grass resources, and ecological environment investigation. From multiple dimensions including image acquisition quality, route planning strategy, ground control point layout, aerial triangulation solution and post data processing algorithms, it deeply analyzes the key factors and internal action mechanisms that affect the precision of UAV surveying and mapping results, so as to provide theoretical reference and technical support for improving the quality of natural resource survey data and enhancing the reliability and practicability of the results.

[Key words] UAV Surveying and Mapping; Natural Resource Investigation; Refined Management; Precision Analysis; Remote Sensing Image; Data Fusion; Spatial Information Acquisition

无人机测绘技术作为低空遥感与现代测绘地理信息技术深度融合的产物,集成了无人飞行控制、高分辨率成像、高精度定位定姿、计算机视觉、点云重建与空间分析等多项技术,具有数

据获取灵活、空间分辨率高、响应速度快、作业成本低、适用场景广泛等显著特点,能够快速生成数字正射影像、数字高程模型、数字表面模型、三维实景模型等多样化空间成果,为自然资

源全要素、全流程、全周期精细化调查提供了全新技术手段，也为构建“空一天地一网”一体化自然资源调查监测体系提供了重要支撑。

1 无人机测绘在自然资源精细化调查中的应用现状

1.1 无人机测绘技术原理与系统构成

无人机测绘以低空航空摄影测量与机载激光雷达扫描为核心技术原理，依托无人飞行平台搭载各类传感器，在定位定姿系统与差分定位技术的协同支持下，对地表及地物目标进行非接触式空间信息采集，并通过专业数据处理软件完成影像匹配、空三解算、点云生成与三维建模，最终实现真实地理空间的数字化表达与高精度量测^[1]。

完整的无人机测绘系统主要由无人飞行平台、任务载荷模块、GNSS/IMU定位定姿装置、地面测控站以及专业数据解算软件五大部分构成。系统通过RTK实时差分定位或PPK事后差分定位技术，实现厘米级甚至更高精度的时空基准约束，有效削弱定位误差对整体成果的影响；在数据解算阶段，依托多视影像密集匹配、光束法平差、点云分类滤波与纹理映射等算法，自动生成标准化测绘成果，实现从外业数据采集到内业成果输出的高度自动化与流程化。

1.2 自然资源调查中的主要应用场景

在自然资源管理需求的驱动下，无人机测绘技术已逐步形成多领域、多场景、全链条的应用格局，广泛覆盖土地资源、林业草原、矿产资源、水资源、生态保护与修复等核心业务领域，成为自然资源日常监管与专项调查的重要工具^[2]。

在土地资源管理中，无人机测绘主要服务于耕地保护动态监测、永久基本农田核实、土地利用现状变更调查、地籍权属测量与建设用地批后监管等工作，能够快速、直观地识别土地利用变化、违法占地、耕地非农化非粮化等行为，为土地执法与用途管制提供精准依据。在林草资源调查中，无人机可搭载光学相机或激光雷达传感器，有效穿透植被冠层，获取林分结构、树高、冠幅、郁闭度、蓄积量等关键参数，支撑森林资源二类清查、草原监测、生态修复效果评价与野生动植物栖息地调查。在矿产资源管理领域，无人机测绘可实现矿山开采范围动态监管、露天矿边坡监测、尾矿库形态与库容监测、矿山生态环境恢复治理核查，有效提升矿产资源开发利用的规范化水平。

1.3 与传统测绘方式的比较优势

与传统地面人工测绘、常规航空摄影测量以及卫星遥感监测相比，无人机测绘在作业效率、空间精度、机动能力、经济成本与环境适应性等方面均具备明显优势，能够有效弥补传统方式的不足^[3]。

在作业效率上，无人机测绘可实现自动化航线飞行与批量数据采集，整体作业效率显著提升，外业工期大幅缩短，单日可完成的测绘面积远高于传统地面测量模式，尤其适合大面积、快节奏的调查任务。在数据精度上，无人机可获取厘米级甚至亚厘米级高分辨率影像，地物细节表达能力突出，能够满足大比例尺数字化测图与精细化信息提取要求，在局部区域精度上优于常

规卫星遥感数据。在平台灵活性方面，无人机起降条件宽松、转场便捷，受地形地貌、交通条件限制较小，可进入山区、密林、陡坡、危险矿区以及人员难以抵达的复杂区域开展作业，显著降低外业作业风险与人员投入。

2 无人机测绘成果精度影响因素分析

2.1 飞行参数与影像分辨率对精度的影响

飞行参数设置与影像分辨率水平是决定测绘成果基础精度的关键前提，直接影响平面位置精度与高程精度的控制能力^[4]。飞行高度直接决定地面采样距离大小，高度过高会导致地面分辨率下降，微小地物、边界线条等细节信息丢失，进而造成特征点匹配数量不足、匹配精度降低；飞行高度过低则会缩小单张影像覆盖范围，增加航线数量与数据量，降低整体作业效率。航向重叠度与旁向重叠度设置是否合理，直接关系到多视影像间的连续覆盖能力，重叠不足易引发三维模型漏洞、空三解算不收敛、局部区域变形等问题，加剧系统性误差。

2.2 控制点布设与空三加密处理误差分析

地面像控点布设与空中三角测量加密解算，是无人机测绘中误差传递与精度控制的核心环节，直接决定成果的绝对定位精度与空间一致性^[5]。像控点作为连接影像坐标与真实地理坐标的基准，其数量、分布密度、点位选取合理性以及测量精度，都会对区域网平差结果产生决定性影响。若像控点数量不足、分布不均、边缘区域与地形突变处缺少控制，会导致平差模型稳定性下降，区域边缘误差被放大，整体模型出现偏移、扭曲与拉伸。

控制点自身测量精度不足、地面标识不清晰、点位易被遮挡或破坏，会直接引入坐标转换误差，降低成果绝对定位可靠性。在空三加密处理阶段，连接点自动匹配错误、粗差探测与剔除不彻底、相机内方位元素标定不准确、像主点与畸变参数求解偏差等问题，都会导致光束法平差残差偏大，引发整体模型系统性偏移。

2.3 数据处理算法与环境因素干扰

数据处理算法的科学性与外部环境的复杂性，共同构成无人机测绘精度损耗的重要来源，二者叠加作用对最终成果质量形成复合影响。在数据处理算法层面，密集匹配策略选择、点云滤波与地物分类模型、纹理补全方式、曲面平滑参数设置等，均直接影响三维模型的保真度与量测可靠性，算法鲁棒性不足、参数设置不合理，易在复杂地形、破碎地表与植被密集区产生噪声点、异常高程与形态失真。

在外部环境层面，地形起伏过大会加剧中心投影与正射投影之间的差异，造成投影畸变与高程误差；植被覆盖茂密会降低地表可见度，减少有效匹配点数量，影响地表真实形态还原；大气散射、光照角度差异、大面积阴影与地物反光不均等，会造成影像辐射畸变，降低特征提取与匹配精度。

3 提升无人机测绘精度的技术路径

3.1 优化航线规划与影像采集方案

优化航线规划与影像采集策略，是从源头控制误差、提升成

果精度的基础环节,通过标准化、精细化作业实现数据质量稳定可控^[6]。在航线设计上,应结合测区地形特征采用仿地飞行模式,开展地形自适应航线规划,确保飞行平台与地表保持相对稳定的高度,维持统一的地面采样距离,减少地形起伏带来的分辨率波动与精度衰减。合理提升航向与旁向重叠比例,保证多视影像之间具备充足的重叠区域与连续覆盖能力,提高特征点匹配成功率与三维模型完整性。

根据调查目标、成图比例尺与精度要求,动态调整飞行高度、速度与相机参数,确保地面采样距离严格满足成图标准;优先选择光照均匀、气象稳定的时段开展作业,避开逆光、强光、大风、雾霾等不利条件,提升影像清晰度与色彩一致性。严格执行相机检校流程,在作业前完成系统标定,精确解算内方位元素与镜头畸变参数,降低硬件系统误差;统一相机姿态、拍摄模式与参数设置,减少飞行抖动、姿态突变与成像差异。

3.2 加强多源数据融合与质量控制

推进多源数据融合应用与全流程质量控制,是抵消单一传感器缺陷、提升成果精度与可靠性的核心手段。通过整合无人机光学影像、激光雷达点云、POS定位定姿数据、地面实测数据以及已有基础地理信息数据,构建多源信息协同解算模型,实现优势互补、误差相互校正。采用相机与激光雷达联合标定、多传感器数据配准等技术,消除不同数据源之间的系统偏差,提升空间一致性。

建立覆盖外业采集、内业处理、成果输出的闭环质量控制体系,严格规范像控点布设、测量、复核与验收流程,强化空三加密过程中的粗差自动探测、人工检核与剔除机制,避免错误匹配点与异常值带入平差模型。优化点云滤波、分类、去噪与曲面重建算法,提升复杂地形、植被覆盖区与人工地物区域的地形还原精度与地物提取准确度。

3.3 构建系统化精度评价与标准体系

构建系统化、规范化的精度评价体系与技术标准,是推动无人机测绘成果规模化、制度化应用的重要保障。建立包含平面点位精度、高程精度、模型完整性、纹理保真度、地物边界准确度、信息提取正确率等指标的综合评价体系,采用野外检查点核验、重复观测比对、跨平台成果对比等方式开展全方位精度评定。

结合不同区域地形类别、不同调查任务目标与不同成图比例尺要求,制定分级分类的精度阈值、作业流程与技术规范,明确航线设计、像控点密度、空三解算、数据处理与成果验收的统一标准。推动无人机测绘成果与自然资源业务管理系统深度对接,统一数据格式、坐标基准、精度要求与入库规则,建立成果质量强制检定与审核机制,确保调查数据能够直接服务于自然资源规划、管理、决策、执法与保护修复。

4 结语

无人机测绘技术以其高效、灵活、精细、经济等综合优势,为新时代自然资源精细化调查与动态监测提供了革命性技术支撑,在土地利用动态监管、林草资源清查、生态环境调查、空间数据快速更新等工作中展现出不可替代的应用价值。

未来,应进一步推动无人机测绘与卫星遥感、地面物联网、人工智能解译、大数据分析等技术深度融合,不断丰富数据获取方式、提升自动化解译水平、完善精度评价与技术标准体系,持续增强自然资源调查监测的智能化、标准化与协同化能力,为实现自然资源精准管控、高效保护与可持续利用提供更加坚实可靠的技术保障。

[参考文献]

- [1]孙浩.高精度测绘技术在自然资源管理中的应用[J].农村科学实验,2026,(02):60-62.
- [2]薛振乾.遥感测绘技术在自然资源调查与监测工作中的应用[J].中国房地产业,2025,(36):18-21.
- [3]冯亚林.基于多源测绘数据的自然资源综合调查监测体系构建[J].生态与资源,2025,(12):31-33.
- [4]何雨,王红伟.浅析测绘地理信息领域无人机安全风险及防范措施[J].资源导刊,2025,(22):22-24.
- [5]焦翔,钟娟.无人机测绘技术在自然资源动态监管中的应用探析[J].产业创新研究,2025,(20):103-105.
- [6]陈双森.基于无人机测绘的自然资源高精度监测方法分析[J].科技资讯,2025,23(18):13-15.

作者简介:

钱艺涛(1987--),男,汉族,江苏泰州人,大专,智慧云图(扬州)科技有限公司,职称:助理工程师,研究方向:无人机测绘。