

无人机倾斜摄影测绘在地形地貌勘测中的实践

周瑞

云南省地矿测绘院有限公司

DOI:10.32629/ems.v8i6.20601

[摘要] 地形地貌勘测是国土空间规划、工程建设、地质灾害防治、生态环境保护等工作的基础，传统勘测方式存在效率低、成本高、复杂地形作业难度大、数据获取不全面等问题。无人机倾斜摄影测绘技术凭借灵活高效、多视角成像、高精度建模、成本可控等优势，逐步成为地形地貌勘测的核心技术手段，有效弥补了传统测绘技术的短板。本文结合无人机倾斜摄影测绘技术原理与特点，阐述该技术在地形地貌勘测中的作业流程，分析其实际应用成效与关键点，总结实践中存在的问题并提出优化策略，为提升地形地貌勘测效率与精度、推动测绘技术智能化发展提供实践参考。

[关键词] 无人机倾斜摄影；地形地貌勘测；三维建模；测绘精度；智能化测绘

引言

地形地貌勘测核心是获取区域地表形态、高程、地物分布、地形坡度等空间数据，为各类工程建设、国土管理、地质研究提供基础数据支撑。传统地形地貌勘测多采用全站仪、GNSS 单点测量、人工实地踏勘等方式，在平原、地势平缓区域可满足基本需求，但面对山地、丘陵、沟壑、荒漠等地形复杂、地势险峻区域，存在作业周期长、人员作业风险高、数据采集不全面、高程精度难以保障等问题，且无法快速获取地表三维立体信息。随着测绘技术与无人机技术的融合发展，无人机倾斜摄影测绘技术实现突破性应用，该技术通过多镜头同步采集多角度影像数据，结合空中三角测量、三维建模等技术，可快速生成高精度三维地形模型、数字高程模型、数字线划地图等成果，全面、真实还原地形地貌特征。在地形地貌勘测中推广应用该技术，能够大幅提升勘测效率、降低作业成本、完善数据成果，推动地形地貌勘测向高效化、精准化、智能化转型，对提升测绘工作质量具有重要现实意义。

一、无人机倾斜摄影测绘技术原理及在地形地貌勘测中的优势

（一）技术核心原理

无人机倾斜摄影测绘技术是融合无人机飞行技术、高清摄影技术、遥感技术与数据处理技术的新型测绘手段，区别于传统垂直摄影技术，该技术搭载多视角摄影镜头，在飞行作业过程中，同时从垂直、前、后、左、右五个角度对地表

地物、地形进行影像采集，全方位获取地形地貌的平面与立面信息。采集的影像数据具备高精度坐标信息与纹理特征，通过专业测绘软件进行空三加密解算、密集点云匹配、三维网格构建、纹理映射等处理，自动生成测区三维实景模型、数字高程模型（DEM）、数字正射影像图（DOM）等测绘成果，完整还原地形起伏、地貌形态、地物位置等空间信息，实现地形地貌的全方位、精细化勘测。

（二）在地形地貌勘测中的应用优势

一是作业高效灵活，无人机体积小、起降便捷，无需专业起降场地，可快速抵达测区开展作业，单次飞行能覆盖大范围勘测区域，相比传统人工勘测，作业效率提升数倍，能快速完成应急勘测、大面积地形勘测任务。二是适应复杂地形，针对山地、陡坡、沟壑、沼泽等人员难以抵达的险峻复杂地形，无人机可自主规划航线完成航拍作业，无需人员实地踏勘，规避作业风险，实现全域覆盖式数据采集，解决传统勘测盲区问题。三是数据全面精准，多视角影像采集可获取地形立面、细节信息，避免单一垂直摄影的数据缺失，结合精准定位系统，测绘平面与高程精度可达到厘米级，满足大比例尺地形测绘要求，数据成果真实反映地形地貌细节。四是成果多元化，可同步生成三维实景模型、高程模型、地形剖面图、等高线图等多种成果，直观呈现地形地貌特征，便于后续数据分析、工程设计与规划应用。

二、无人机倾斜摄影测绘在地形地貌勘测中的实践流程

（一）勘测前期准备与航线规划

前期准备是保障测绘精度的基础环节,首先全面收集测区基础资料,包括测区地理位置、地形地貌特征、气候条件、高程控制点、禁飞区域等,明确勘测范围、精度要求与成果类型。随后开展现场踏勘,核实测区地形、障碍物分布情况,确定无人机起降点,规避高压线路、高大建筑、山体遮挡等影响飞行安全的因素。航线规划需结合测区地形与精度要求,通过专业飞行规划软件完成,设置合理飞行高度、飞行速度、影像重叠度,针对地形起伏较大区域,采用仿地飞行模式,确保无人机与地表保持恒定高度,提升影像采集均匀性;合理设置航向重叠度与旁向重叠度,保证影像数据完整衔接,避免出现数据漏洞。

(二) 影像数据采集作业

数据采集阶段选用搭载五镜头倾斜摄影相机、定位精度高的专业测绘无人机,严格按照规划航线开展飞行作业,飞行过程中实时监控无人机飞行状态、电池电量、影像拍摄质量,及时调整飞行参数,避免出现航线偏移、影像模糊、漏拍等问题。针对地形复杂、遮挡严重的局部区域,适当调整飞行角度或开展补飞,确保全区域影像数据全覆盖、无死角。数据采集完成后,及时导出影像数据,逐一检查影像清晰度、重叠度、覆盖范围,剔除模糊、曝光异常、位置偏移的不合格影像,对数据缺失区域立即开展补拍,保证原始数据完整可靠,为后续数据处理奠定基础。

(三) 数据处理与成果生成

将合格的倾斜影像数据、像控点坐标导入专业三维建模软件,开展系统化数据处理。首先进行空中三角测量解算,导入像控点坐标完成刺点与平差计算,优化影像外方位元素,提升数据空间定位精度;随后通过密集匹配算法生成高密度点云数据,过滤噪声点、冗余点,优化点云精度,完整还原地形起伏形态。基于优化后的点云数据,构建地形三维网格模型,开展纹理映射处理,将影像纹理精准贴合至三维模型表面,生成高逼真度的三维实景地形模型;同时提取地形高程数据,生成数字高程模型(DEM)、数字正射影像图(DOM)、等高线地形图、地形坡度分析图等专业勘测成果。最后对测绘成果进行精度校验,选取检查点对比实测坐标与模型坐标,核实平面误差、高程误差,确保成果满足勘测精度要求。

(四) 成果应用与分析

将生成的三维地形模型、高程数据、地形图纸等成果应用于实际工作中,在国土空间规划中,精准分析地形地貌、地势起伏,为用地布局、道路规划提供数据支撑;在工程建设中,基于高精度地形数据开展土石方量计算、场地平整设计、线路选址;在地质灾害防治中,通过三维模型直观监测滑坡、泥石流隐患区域地形变化,为灾害预警与治理提供依据;在生态保护中,精准掌握地形地貌特征,助力生态修复、水土保持规划实施。

三、无人机倾斜摄影测绘实践问题与优化策略

(一) 实践应用中存在的问题

一是受天气环境影响较大,无人机倾斜摄影测绘作业对气象条件有着极高的要求,属于典型的“看天作业”测绘模式,大风、暴雨、雾霾、强光、雨雪霜冻等恶劣天气,都会对整个测绘作业造成全方位干扰。大风天气下,无人机飞行姿态难以保持稳定,极易出现航线偏移、机身晃动等问题,不仅无法按照规划航线完成影像采集,还会大幅增加无人机坠机、失联的作业风险;暴雨、雾霾、沙尘天气会降低空气能见度,导致拍摄的地形地貌影像出现模糊、噪点过多、纹理缺失等问题,无法清晰还原地表细节信息,同时也会干扰无人机搭载的定位导航系统信号,造成定位精度大幅下降;强光直射则会引发影像过曝、反光等现象,使得地形阴影区域、地物纹理细节丢失,直接导致原始影像数据质量不达标,既无法支撑后续三维建模工作,又会严重延误整体地形地貌勘测作业进度,难以保障勘测工作的时效性。二是复杂地形精度把控不足,在地形起伏过大、植被茂密、遮挡严重的山地、丘陵、沟壑等复杂地形区域,无人机倾斜摄影测绘的精度控制始终是行业实践难点。这类区域地形高差变化剧烈,常规定高飞行模式易出现局部影像拍摄高度不适、视角遮挡等问题,茂密的林木、灌丛会覆盖真实地表形态,导致影像采集无法穿透植被获取地面高程信息,进而引发密集点云匹配错误、三维模型纹理扭曲、地形轮廓失真等问题,会进一步放大空三加密解算的误差,导致最终测绘成果的平面坐标、高程数据与实际地形存在明显偏差,无法满足大比例尺地形测绘、高精度工程勘测的精度要求,影响后续工程设计、地质分析等工作的准确性。三是数据处理要求较高,无人机倾斜摄影测绘会同步采集多视角、高分辨率影像数据,单次作

业生成的原始数据量极为庞大,对数据处理硬件设备、软件系统和操作流程都提出了极高要求。一方面,海量影像数据的解算、点云匹配、三维建模需要高配置的计算机硬件支撑,若显卡、内存、处理器性能不足,会出现数据处理卡顿、崩溃、耗时过长等问题,大幅降低整体作业效率;另一方面,数据处理涉及空中三角测量、平差计算、点云去噪、模型优化、精度校验等多个专业流程,每一个环节都需要操作人员熟练掌握专业测绘软件操作技巧,若流程操作不规范、参数设置不合理、噪声数据过滤不彻底,会直接导致模型拼接错位、高程数据失真、精度误差超标等问题,即便前期影像采集质量达标,也无法生成合格的地形地貌勘测成果。

(二) 实践优化策略

针对天气影响问题,要建立全方位气象预判与作业管控机制,作业前通过专业气象平台精准监测测区实时气象数据,全面掌握风力、能见度、降水、光照等气象信息,严格选择无风、晴朗、空气能见度高、光照柔和的气象时段开展飞行作业,坚决避开大风、雾霾、暴雨、强光、霜冻等恶劣天气,避免因设备电量不足、配件故障中断作业,保障飞行作业连续、稳定、安全开展;针对突发气象变化,立即终止飞行任务,回收无人机并妥善保存已采集影像数据,待气象条件达标后再重启作业,从源头保障原始影像数据采集质量。针对复杂地形精度问题,要立足测区地形地貌特征,实施精细化作业参数优化与技术管控。根据地形起伏程度优化飞行航线,全面采用仿地飞行模式,确保无人机与地表始终保持恒定高度,保证影像采集均匀性;在植被茂密、地形险峻、遮挡严重的区域,适当提高航向与旁向影像重叠度,加密布设高精度像控点,优化像控点分布格局,对地形突变、遮挡盲区开展多视角补飞、多角度拍摄,全面减少数据遮挡、信息缺失问题。同时,优化数据处理算法,采用专业软件开展密集点云噪声过滤、地表分类提取、模型精细化优化,剔除植被、杂物等干扰数据,精准提取真实地表高程信息,通过多次平差计算、精度校验,最大限度降低复杂地形带来的建模误差,全面提升复杂地形区域三维建模与地形测绘精度。针对数据处理问题,要从硬件升级、流程规范、技术优化三方面发力,全面提升数据处理效率与成果质量。优先升级计算机硬件配置,配备高性能显卡、大内存、高速处理器,适配海量倾斜

摄影数据解算需求,选用 ContextCapture、Pix4Dmapper 等高效专业测绘处理软件,依托软件智能化算法提升数据处理速度。同时,建立标准化数据处理流程,严格按照“影像预处理-空三加密解算-像控点刺点-平差计算-密集点云生成-三维建模-模型优化-精度校验”的流程开展作业,规范各项参数设置,做好每一个环节的质量核查,重点把控空三平差精度、点云过滤效果、模型拼接精度,定期开展数据处理人员技术培训,熟练掌握软件操作与误差修正技巧,从流程和技术上杜绝人为操作失误导致的成果质量问题。

结语

无人机倾斜摄影测绘技术在地形地貌勘测中具备高效、精准、适应性强、成果多元等显著优势,彻底改变了传统地形勘测效率低、难度大、数据单一的困境,尤其在复杂地形区域实践效果突出,已成为现代地形地貌勘测的核心技术手段。在实际应用中,需精准把握技术原理,规范开展前期规划、数据采集、处理建模、精度校验全流程作业,针对性解决天气干扰、复杂地形精度不足、数据处理难度大等问题,通过优化作业流程、提升技术水平、加强质量管控,充分发挥技术优势。随着无人机技术、测绘技术、人工智能技术的不断升级,无人机倾斜摄影测绘将朝着更高精度、更智能化、更高效化的方向发展,勘测范围与应用领域将持续拓展。未来需持续深化技术研究与实践创新,不断优化技术应用流程,提升地形地貌勘测的智能化、精细化水平,为国土规划、工程建设、地质防治、生态保护等领域提供更精准、高效的基础测绘支撑,推动测绘行业高质量发展。

[参考文献]

- [1] 陆春伟. 基于无人机倾斜摄影测量的复杂地形三维建模精度评估研究[J]. 智能科技, 2026(05): 31-33.
- [2] 杨巍. 基于无人机倾斜摄影测量的城市地形图快速测绘技术研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(06): 35-37.
- [3] 杨阳. 无人机倾斜摄影测量在地形测绘中的应用及精度分析[J]. 华北自然资源, 2024(03): 56-58.
- [4] 杨晓东. 无人机倾斜摄影测量在复杂地形地貌测绘中的应用实践[J]. 工程技术研究, 2025, 10(02): 34-36.
- [5] 杨晓东. 无人机倾斜摄影技术在三维地形建模中的应用探讨[J]. 科技创新与应用, 2024(15): 156-159.