

无人机航空摄影测量在工程地形图测绘中的应用探析

晏华平

北京市煤气热力工程设计院有限公司 北京 100032

摘要: 工程建设规模扩大与测绘精度要求提高,传统测绘面临挑战。本文探析无人机航空摄影测量在工程地形图测绘中的应用,阐述其核心技术基础、作业流程,分析在复杂地形测绘、高分辨率数据获取等场景的应用,提出平台与传感器集成优化等技术优化方向,为工程测绘领域应用提供参考。

关键词: 无人机航空摄影测量;工程地形图测绘;核心技术;作业流程;技术优化

引言:工程地形图测绘对工程建设意义重大,传统测绘手段在复杂地形、效率、成本等方面受限。无人机航空摄影测量凭借灵活、高效、低成本优势,成为重要测绘手段。深入探析其在工程地形图测绘中的应用,明确相关要点,对提升测绘质量与效率、推动工程建设发展有现实意义。

1 无人机航空摄影测量适配工程地形图测绘的核心技术基础

1.1 无人机飞行平台的技术特性与适配性

无人机飞行平台是航空摄影测量的基础载体,其技术特性直接影响测绘任务效果。工程地形图测绘对飞行平台有多方面要求,稳定性方面,需抗风强、姿态平稳,保障航摄中传感器稳定获取数据,避免机身抖动致影像模糊或点云数据偏差^[1]。续航能力关键,长续航可扩大单次作业范围,减少起降次数,提升测绘效率,大面积地形测绘优势显著。载荷能力决定可搭载传感器种类与数量,多传感器协同获取更丰富地形信息,飞行平台需有足够载荷空间与电力供应。起降方式需适应不同地形,垂直起降无人机在狭小空间或无起降场地时更具优势,固定翼无人机适合大面积连续作业。

1.2 航摄传感器的核心技术参数与测绘要求匹配

航摄传感器是获取地形数据核心设备,其技术参数需与测绘要求精准匹配。光学相机分辨率影响影像清晰度,高分辨率相机捕捉地面微小特征,为地形细节刻画提供依据。目前工程测绘常用光学相机分辨率达5000万-1亿像素,能清晰捕捉地面0.1-0.2米物体特征。镜头焦距选择需综合测绘范围与精度,长焦距适合远距离高精度测绘,短焦距能覆盖更大区域。长焦距镜头焦距达100-200毫米,可在500-1000米高度获取高精度影像;短焦距镜头焦距在20-50毫米,能在200-500米高度覆盖较大区域。激光雷达的测距精度与点云密度是关键,高精度测距准确获取地形高程信息,高密度点云精细呈现地形起伏与地

物轮廓。工程测绘用激光雷达测距精度达厘米级,点云密度每平方米达100-500个点。多光谱传感器捕捉不同波段光谱信息,用于地物分类与植被覆盖分析,其波段范围与光谱分辨率需满足特定测绘需求。多光谱传感器通常具备4-8个波段,光谱分辨率达5-10纳米。

1.3 空天地一体化数据传输与接收技术支撑

空天地一体化数据传输与接收技术是连接无人机与地面处理系统的桥梁。无人机在飞行过程中需实时将采集的数据传输至地面站,确保数据及时性与完整性。无线传输技术需具备高速率、远距离与抗干扰能力,以应对复杂电磁环境。目前常用的无线传输技术传输速率可达10-50兆比特每秒,传输距离在空旷环境下可达5-10公里。地面接收设备需稳定可靠,能准确接收并存储传输数据,避免数据丢失或损坏。

1.4 航摄数据预处理的核心技术原理

航摄数据预处理是提升数据质量的关键环节。影像数据需进行畸变校正,消除镜头畸变对影像几何精度的影响,通过相机标定参数建立畸变模型,对影像进行精准校正。辐射校正则统一不同时段采集影像的亮度值,消除光照条件差异导致的数据偏差。点云数据预处理包括去噪与滤波,去除因环境反射或设备误差产生的离群点,通过地面滤波算法分离地面点与非地面点,为后续地形建模提供纯净数据。

2 无人机航空摄影测量在工程地形图测绘中的核心作业流程

2.1 测绘前期的技术方案规划与参数设定

工程地形图测绘任务启动前,需结合区域地理特征与项目需求制定详细技术方案。首先要明确测绘范围边界,通过地理空间分析确定作业区域地形复杂程度,将区域细分为平原、丘陵、山地等,为不同地形设定差异化参数。成图比例尺决定地面细节表现,比例尺越大,对地形起伏、微地貌特征刻画要求越高,需据此调整飞

行高度与影像分辨率。飞行参数设定需兼顾效率与精度，航向重叠率与旁向重叠率合理配置可避免影像数据缺失，在植被茂密或建筑密集区域需适当提高重叠率增强数据冗余度。传感器选型需匹配测绘目标，光学相机适用于常规地形测绘，激光雷达在植被覆盖区域能穿透冠层获取真实地形，多光谱传感器可用于地物分类与植被覆盖分析。

2.2 无人机航摄飞行的精准控制与数据采集

飞行控制是数据采集质量的关键保障。无人机需按预设航线自动飞行，航线规划需考虑地形起伏与障碍物分布，在山区或城市高楼区设置安全高度缓冲区。飞行过程中需实时监控无人机姿态与位置信息，通过惯性导航与全球卫星定位系统（GNSS）融合定位确保飞行轨迹精准。环境因素对飞行稳定性影响显著，风速超过六级或能见度不足时需暂停作业。影像采集需保持匀速飞行与稳定曝光，避免因速度变化或抖动导致影像模糊。激光雷达点云采集需同步记录扫描角度与反射强度信息，为后续点云分类提供依据。

2.3 航摄数据的筛选与预处理操作

原始数据中可能存在无效或低质量部分，需通过筛选剔除模糊影像、缺失点云或位置偏移过大的数据。影像预处理包括畸变校正与辐射校正，畸变校正通过相机标定参数消除镜头畸变，辐射校正的作用是对不同时段采集的影像亮度值进行统一处理。点云预处理需进行去噪与滤波，去除因环境反射或设备误差产生的离群点，通过地面滤波算法分离地面点与非地面点，为地形建模提供纯净数据。

2.4 地形特征点线的提取与构建

特征点线提取是地形图生成的基础。通过边缘检测算法识别地形突变边界，如陡坎、沟谷等线性特征，利用角点检测算法定位山顶、鞍部等关键点^[2]。等高线生成需基于规则格网或不规则三角网（TIN）模型，通过内插算法计算等高线位置，等高距设定需与地形复杂度匹配。道路、河流等地物轮廓线提取需结合影像纹理与光谱特征，通过分类算法实现自动化提取。

2.5 工程地形图的生成与数据输出

地形特征提取完成后，需将点、线、面要素整合至统一坐标系内，经符号化处理生成符合规范的地形图。图层管理要清晰划分地形要素与地物要素，高程标注点的疏密程度需满足比例尺要求。输出格式需与主流地理信息系统平台兼容，矢量数据通常采用通用的矢量数据格式或地理信息数据交换标准格式，栅格数据则输出为常见的图像格式或特定的栅格数据存储格式，以此保障

数据在不同系统间实现无缝交互。

3 无人机航空摄影测量在工程地形图测绘中的具体应用场景

3.1 复杂工程地形区域的高效测绘应用

在面对复杂工程地形区域时，传统测绘手段常因地形限制而效率低下。陡峭山体、茂密植被覆盖区或大面积水域等区域，人员与设备难以到达，测量工作推进困难。无人机航空摄影测量凭借其灵活的飞行能力，成为复杂地形测绘的有力工具。多旋翼无人机垂直起降特性，使其能在狭小空间或无起降场地条件下作业，固定翼无人机长续航优势则可覆盖更大范围复杂地形。无人机搭载多种传感器，能快速获取多角度、多光谱数据，通过立体成像技术构建三维地形模型，全面呈现复杂地形细节。例如在山区工程建设中，无人机可快速获取山体地形数据，为工程选址、路线规划提供准确依据，极大提升测绘效率，缩短野外作业时间。

3.2 高分辨率地形数据的获取应用

工程地形图测绘对数据精度要求严苛，高分辨率数据是准确反映地形特征的基础。无人机航空摄影测量通过灵活调整飞行高度与传感器参数，能够满足高分辨率地形数据获取的需求。光学相机分辨率不断提升，配合高精度镜头，能清晰捕捉地面微小特征。激光雷达传感器发射高密度激光脉冲，穿透植被获取真实地形数据，点云密度可达每平方米数百个点，精准刻画地形起伏与地物轮廓。在城市工程建设中，高分辨率地形数据可为建筑设计与施工提供详细的地形信息，减少因数据模糊导致的误差与返工，保障工程建设的顺利进行。

3.3 短周期内的快速作业应用

工程建设周期紧张，地形图测绘需在短时间内完成以满足进度要求。无人机航空摄影测量具备快速部署与作业能力，能够在短周期内完成测绘任务。从设备准备到数据采集可在数小时内完成^[3]。飞行计划制定依托专业软件，根据测绘范围与精度要求自动生成最优航线，减少人工规划时间。数据采集过程自动化程度高，无人机按预设航线飞行，传感器同步工作，无需人工干预。数据预处理与成图流程也逐步智能化，借助专业软件可快速完成影像校正、点云分类与地形图生成，大幅缩短测绘周期，为工程建设争取宝贵时间。例如在一些紧急工程抢险中，无人机可迅速获取地形数据，为抢险方案制定提供及时支持。

3.4 低作业成本的技术应用体现

传统测绘手段需投入大量人力、物力与时间，成本高昂。无人机航空摄影测量在降低作业成本方面具有显

著优势。它减少了对人工的依赖,降低了野外作业人员数量,从而减少了人力成本。设备购置与维护成本相对较低,随着技术发展,无人机与传感器价格逐渐亲民,且使用寿命延长。无人机可重复使用,一次投入可多次作业,分摊成本。数据采集效率提升减少了野外作业时间,降低了交通、住宿等后勤保障费用。综合来看,无人机航空摄影测量以较低成本实现高效测绘,为工程建设提供了经济可行的解决方案,尤其适用于一些预算有限的工程项目。

4 针对不同应用场景的无人机航空摄影测量技术优化方向

4.1 复杂地形测绘的平台与传感器集成优化

无人机平台与传感器集成水平关乎复杂地形测绘质量与效率。目前,无人机在稳定性、续航和载荷能力上尚有提升空间。针对复杂地形,需优化二者集成。优化无人机结构设计,采用轻量化高强度材料,降低机身重量,可提升续航与载荷上限,让无人机能在复杂地形长时间稳定作业。动力系统改进上,研发高效能电池与智能能源管理系统,能延长飞行时长,减少充电对作业连续性的影响。传感器集成要注重协同,合理布局光学相机、激光雷达、多光谱传感器等,避免干扰。开发一体化传感器模块,实现数据同步采集与实时融合,提升数据完整性与一致性。同时,传感器与无人机平台的通信接口标准化建设也很关键,可确保数据传输稳定高效,为后续处理提供可靠基础。

4.2 高分辨率数据获取的算法迭代升级

航摄数据处理算法是提取高分辨率地形信息的关键。现有算法处理复杂地形数据时,存在精度不足、效率低下问题。影像匹配算法需提升在纹理缺失或重复区域的表现,引入深度学习技术,训练模型识别复杂场景特征,提高匹配准确率,精准获取地面微小特征。点云处理算法要优化滤波与分类效果,针对不同地形开发针对性算法,精准分离地面点与非地面点,提升地形建模精度,使高分辨率点云数据准确反映地形起伏与地物轮廓。三维重建算法需加快处理速度,利用并行计算与分布式处理技术缩短重建时间,满足时效性要求。算法迭代还应注重提升自动化程度,减少人工干预,提高数据处理效率与可靠性。

4.3 短周期作业的测绘精度提升路径

无人机航空摄影测量虽能短周期作业,但也不能忽视精度。可从飞行参数优化入手,根据地形复杂程度动态调整飞行高度、速度与重叠率,确保影像与点云数据覆盖全面、细节丰富,避免参数不当致数据缺失或精度下降^[4]。提升传感器标定精度,定期校准相机内方位元素与激光雷达系统参数,消除设备误差影响。数据处理环节引入误差补偿机制,修正大气折射、地球曲率等因素导致的误差,提高数据准确性。此外,建立精度评估体系,与地面实测数据对比量化测绘精度,为后续优化提供依据,保证短周期作业也能提供高精度成果。

4.4 低作业成本应用的技术协同融合

无人机航空摄影测量在低作业成本上有优势,为提升综合效益,需与其他技术协同。与全球导航卫星系统(GNSS)融合,可实现无人机高精度定位,提升航摄数据空间基准精度,减少重复作业,降低成本。与地面三维激光扫描技术结合,形成空地一体化测绘模式,弥补无人机在近地面与隐蔽区域的数据采集不足,提高数据完整性与准确性,避免二次测绘成本。与地理信息系统(GIS)集成,将测绘成果导入GIS平台,实现数据可视化管理与分析,为工程建设提供决策支持,间接降低工程建设成本,构建全方位、多层次的工程测绘技术体系。

结束语

无人机航空摄影测量在工程地形图测绘中优势明显,有坚实核心技术基础与规范作业流程,能高效获取高分辨率数据、降低成本。不过仍有优化空间,通过平台与传感器集成、算法迭代、精度提升及技术协同融合,可进一步提升应用成效,更好地满足工程测绘工作需求,助力工程建设发展。

参考文献

- [1]陈婷婷,张慧容.地形图测绘中无人机航空摄影测量技术的应用研究[J].张江科技评论,2025(2):129-131.
- [2]康晓娟.无人机航空摄影测量在河道地形图测绘中的应用[J].科学与信息化,2024(3):35-37.
- [3]邓绍波.地形图测绘中无人机航空摄影测量技术的应用[J].科技资讯,2024,22(21):24-26.
- [4]李阿娜.无人机航空摄影测量技术在地形图测绘中的应用探讨[J].西部探矿工程,2023,35(5):121-123.