

低空摄影测量在地形图测量中的应用探讨

唐东东

四川中辉兴益工程设计有限公司 四川 资阳 641300

摘要：通过低空摄影测量应用于大比例尺地形图测量项目的实验，总结出低空摄影测量进行大比例尺地形图测量的作业流程，并对影响空中三角测量精度的像片控制点布设方案进行了研究，提出了像片控制点布设原则，可以为低空摄影测量在地形图测量中的应用提供参考。

关键词：低空摄影测量；测量；地形图

随着无人机低空摄影技术的不断发展和成熟，低空摄影测量技术被广泛应用于地形图的测绘，结合成熟的无人机技术、GPS定位技术、摄影技术等，立足低空飞行，高分辨率影像，高效快捷地完成高精度成图项目。

1 低空摄影测量定义

低空摄影测量是指利用无人机、直升机、飞艇等飞行器搭载摄影设备，在相对航高低于1000米的低空领域进行摄影，通过对获取的影像数据进行处理与分析，从而获取地面目标物体的空间位置、形状、大小等空间信息和属性信息的一种测量技术。其主要定义要点可归纳为：

（1）定义。平台与高度，以无人机、直升机、飞艇等航空飞行器为载体，在距离地面相对航高低于1000米的低空范围进行作业。技术手段，在飞行平台上搭载（数码）航空摄影机或传感器，从空中对地面进行摄影，获取数字影像12。

（2）核心目的。通过对所获取的低空影像进行后续的处理（如立体观测、图像分析）、测量和解译，提取地表目标的三维空间坐标、几何形状、尺寸大小及其相关属性信息。

（3）关键特征。高分辨率：能在低空获取更清晰、细节更丰富的地表影像。

快速高效：相较于传统地面测量或高空航测，具有响应快、周期短、效率高的优势。成本较低：作业成本相对较低，操作性强。灵活机动：特别适合在危险区域、紧急情况（如灾害评估）或需要高精度局部测绘的场景应用。多角度获取：现代倾斜摄影测量技术也属于低空范畴，可从不同角度采集数据，支持三维信息提取。

2 低空摄影测量在地形图测量中的应用价值

低空摄影测量技术（特别是无人机平台）在地形图测量中展现出显著的应用价值，主要体现在以下五个方面：

（1）效率与时效性提升。快速响应能力：无人机可在短时间内完成大范围数据采集，适用于应急测绘和动

态监测，作业效率远超传统人工测量方式。高频监测支持：对重点区域（如工程建设、灾害易发区）可高频次复测，保障地形数据的现势性。

（2）成本与资源优化。人力成本降低：减少野外作业人员数量及劳动强度，尤其在危险区域（陡坡、矿区）可规避安全风险。综合成本节约：相较于载人航空摄影，无人机起降灵活、无需专用机场，设备维护与运营成本更低。

（3）精度与数据质量增强。高分辨率数据获取：低空飞行可捕获厘米级分辨率影像，精准还原地表细节（如地物边界、微地貌）。三维建模能力：通过倾斜摄影技术生成高精度实景三维模型，支持立体量测，为大比例尺地形图（如1：500）提供可靠数据源。自动化处理：结合POS系统（定位定姿）与自动建模软件，减少人为误差，提升地形图测绘精度。

（4）复杂环境适应性。抗干扰性强：低空飞行避开云层遮挡，在城市密集区可灵活调整角度获取建筑侧面信息，克服高层建筑造成的盲区。小区域精准测绘：适用于小区、城镇地籍等小范围精细化测绘，传统航测难以覆盖的场景。

（5）技术融合与拓展性。多源数据集成：可与激光雷达（LiDAR）、地面传感器等结合，生成数字高程模型（DEM）、数字正射影像（DOM）等多维成果。免外业调绘创新：通过实景三维模型直接提取地物要素，减少野外核查工作量，缩短成图周期。

3 低空摄影测量技术优势特点

低空摄影测量技术凭借其独特的技术优势和特点，已成为现代测绘领域的核心手段，主要体现为以下四大维度：

（1）高效率与低成本。快速响应与大范围覆盖，单次任务可实现数十至数百平方公里区域的高效采集，内业自动化处理（空三加密、三维建模）将工期缩短50%以

上。相较传统全野外测量或载人航测,设备维护简便、操作培训周期短,综合成本显著降低。自动化作业流程,预设航线自动飞行,搭配RTK实时定位减少人工干预,支持一键起飞、伞降回收等智能操控。

(2) 高精度数据采集。亚米级测绘精度,飞行高度50~1000米,影像分辨率达0.1~0.5米,满足1:1000大比例尺地形图精度需求(平面误差 ≤ 0.3 米,高程误差 ≤ 0.4 米)。结合激光雷达(LiDAR)技术,可穿透植被获取地表真实高程,精度优于传统航测。多角度与高分辨率影像,低空飞行规避云层遮挡,倾斜摄影技术同步捕获建筑立面及顶部纹理,实现地物三维精细还原。

(3) 卓越环境适应性。复杂地形与恶劣天气作业,垂直起降无人机无需专用跑道,适应山区、河道、城市密集区等复杂场景;阴天、轻雾环境下仍可获取合格影像。弹射起飞、伞降回收等技术突破场地限制,支持公路、车载平台等简易起降。安全性与机动性,规避载人飞行风险,可在灾害现场、危险区域(如矿区边坡)安全作业。响应时间短,应急场景(如防汛监测)可实现3分钟内抵达目标区域。

(4) 技术融合与智能化演进。多传感器协同,倾斜摄影+LiDAR融合提升复杂场景建模能力,一次飞行同步生成DEM、DOM、三维模型等全要素成果。AI赋能全流程,航线自适应规划、AI地物自动提取(如道路标线识别 ± 10 cm精度)大幅减少人工依赖。与物联网平台联动,支持智慧城市管理实时数据更新。

4 低空摄影测量技术原理工作流程

低空摄影测量技术通过无人机平台搭载传感器获取地表多角度影像,结合定位定姿系统与三维重建算法生成高精度地理信息产品,其技术原理与工作流程如下:

(1) 技术原理。多视角影像采集,无人机搭载五镜头倾斜相机或激光雷达(LiDAR),从垂直、倾斜等多角度同步获取地表影像,构建重叠率 $\geq 70\%$ 的影像网络,确保地物三维信息完整还原。高精度定位定姿,融合差分GPS(平面精度 ≤ 5 cm)与惯性测量单元(IMU),实时记录每张影像的摄影中心空间坐标(X, Y, Z)及姿态角(俯仰、翻滚、偏航)。三维重建算法,基于多视几何原理,通过空三加密(空中三角测量)解算影像外方位元素,利用密集匹配算法生成点云,进而构建纹理贴图的三维实景模型。

(2) 工作流程。1) 外业阶段,前期准备,需求分析:明确测绘比例尺、精度要求及成果类型(如DEM、DOM)。航线规划:根据地形起伏、建筑密度设计飞行高度(通常100-300m)、航向/旁向重叠率($\geq 70\%$)

及航线走向。设备调试:校准相机参数(焦距、像元尺寸)、检查无人机电池及传感器状态。数据采集,控制点布设:在测区均匀布设地面控制点(GCPs),用于后期精度校正。飞行作业:按预设航线自动飞行,同步记录POS数据;实时监控影像质量,发现漏洞需补飞。2) 内业处理,数据预处理,影像匀光/去畸变:消除镜头畸变及光照差异。POS数据融合:将影像与定位定姿数据时空对齐。空三加密,通过特征点匹配解算影像外方位元素,生成稀疏点云并引入控制点平差,将模型误差控制在厘米级。三维建模,点云生成:密集匹配算法提取海量三维点(密度达100点/ m^2)。模型构建:点云构建三角网(TIN),叠加影像纹理生成实景三维模型。

成果输出,基于三维模型提取等高线、地物矢量,生成数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)及地形图。

5 低空摄影测量地形图测量应用案例

以下是低空摄影测量技术在地形图测量中的典型应用案例,结合实际项目验证其技术优势与实施效果:

(1) 城市三维建模与智慧管理。实景三维建设,技术应用:采用载人固定翼飞机搭载五镜头倾斜航摄影仪(单镜头1.5亿像素),对全市进行地面分辨率15厘米的倾斜摄影,结合无人机对1290平方公里重点区域补拍。针对建筑底部纹理缺失问题,实地补拍后通过融合修复完成精细建模。成果:构建全域实景三维底图,支撑城市规划与会议中心等地标建筑精准还原,通过验收并投入智慧城市管理。

(2) 水利工程地形测绘。水利项目,场景难点:大高差峡谷地形导致传统测绘效率低、成本高。解决方案:应用垂直起降无人机进行低空摄影,结合自适应航线规划规避地形起伏影响,生成1:500大比例尺地形图。效益:外业工作量减少60%,工期缩短50%,满足水利工程精细化设计需求。

(3) 大比例尺地形图高效测绘。1:1000比例尺测图,流程优化:无人机航线预设计(重叠度航向60~65%、旁向30~35%),布设高精度像控点,搭配RTK定位,内业通过Pix4dMapper空三加密,提取等高线及地物矢量。精度验证:平面误差 ≤ 0.3 米,高程误差 ≤ 0.4 米,符合规范要求。

(4) 地质灾害应急测绘。淮河流域防汛监测,应急响应:分洪期间采用无人机低空摄影快速获取受灾区域影像,联合雷达卫星数据生成洪涝前后对比图。作用:实时监测蓄洪区地形变化,辅助疏散决策,降低灾害损失。

(5) 矿业与地质调查。矿山地下空间测量,通过无

人机搭载激光雷达穿透植被,获取矿区高精度DEM模型,解决露天矿边坡稳定性监测难题。地质调查,D200无人机在四川平武县5000米高差区域完成16平方公里航测,生成三维模型用于地质灾害风险评估。

(6)竣工测绘与工程验收。1:500竣工地形图,技术亮点:4 RTK搭配ContextCapture建模,采集房屋、道路、梯坎等要素,平面精度达5厘米,满足竣工规划核验标准。

(7)林业资源监测。无人机搭载高光谱仪对林区航拍,结合AI分析树种分布及病虫害情况,效率较人工提升3倍。

6 低空摄影测量技术发展挑战

低空摄影测量技术发展面临的核心挑战主要体现在以下五个方面,亟需技术协同与政策支持:

(1)环境适应性挑战。气象干扰,低空飞行易受强风、降水、低云等气象条件制约,导致影像模糊或数据缺失,影响测绘精度与时效性。复杂场景限制,城市密集区高层建筑遮挡、山区地形起伏易造成影像畸变,需多重角度补拍增加作业成本。

(2)技术瓶颈。三维重建精度不足,植被覆盖区、水体等弱纹理区域影像匹配难度大,现有算法易出现模型空洞或扭曲(如山区DEM生成误差超限)。多源数据融合障碍,激光雷达点云与倾斜摄影纹理数据融合时,坐标配准误差影响三维模型真实性。

(3)空域管理制约。空域资源紧张,低空经济快速发展导致飞行器密度激增,作业空域申请难、协调周期长。感知监管体系不完善,现有雷达、光电系统难以全覆盖城市低空,对“黑飞”目标监测能力不足,威胁作业安全。

(4)数据处理与智能化短板。自动化处理瓶颈,复杂地形区仍需人工干预点云分类与模型修复,自动化程度有待提升。专业人才缺口,航线规划、多传感器集成等复合型操作人才稀缺,制约技术落地效率。

(5)标准与成本压力。标准化滞后,大比例尺测绘(如1:500地形图)缺乏统一精度验证标准,成果质量评价体系待完善。硬件成本高企,高精度激光雷达设备及加固型无人机平台采购成本较高,中小测绘单位应用受限。

综上,低空摄影测量技术以高效率、低成本、高精度为核心优势,推动地形图测绘向自动化、智能化发展,尤其在城市规划、地质灾害监测、矿产资源管理等领域成为不可替代的技术手段。随着传感器与算法升级,其在复杂地形和大比例尺测绘中的应用深度将持续拓展。环境适应性、技术成熟度、空域协同、智能化水平及标准化构成低空摄影测量发展的核心挑战。突破需依赖多技术融合(如5G-A通感一体增强感知能力)与政策赋能(空域管理智能化改革),推动技术向全天候、全自动化方向演进。

参考文献

- [1]林祖.1:500地形图无人机航测技术研究[J].城市勘测,2022(4):93-96.
- [2]张勋.飞马无人机在1:500比例尺地形图测绘中的应用[J].城市勘测,2020(3):150-152.
- [3]李剑.提高大比例尺地形图航测成图精度的测量方法[J].地理空间信息,2020,8(3):59-61
- [4]王升鹏.无人机低空摄影测量系统在大比例尺地形图中的应用[J].地矿测绘,2023,29(1):34-36
- [5]郑文.浅析低空无人机在测绘中的应用[J].吉林农业,2022(3):247-247
- [6]袁文.GPS辅助空中三角测量原理及应用[M].北京:测绘出版社,2021
- [7]于辰.关于无人机低空摄影测量成图精度的分析[J].大科技,2022,5(14):185-186
- [8]李玉.探讨无人机低空摄影测量系统在大比例尺地形图中的应用[J].地矿测绘,2023,29(1):34-36