

无人机航测技术在地形测绘工程中的实践研究

李慧 152530199708030012

摘要

无人机航测技术是遥感测绘领域新兴的技术手段，相较于传统人工测绘、有人机航空摄影测量，具备成本低、灵活性强、作业精度高、适应复杂地形等优势，近年来在地形测绘工程中得到广泛应用。本文首先阐述无人机航测技术的基本原理与核心优势，结合某丘陵地形测绘工程项目开展实践分析，探讨无人机航测技术在地形测绘中的作业流程与精度控制要点，分析实践过程中存在的问题并提出优化方案。研究表明，合理应用无人机航测技术能够大幅提升地形测绘工程的作业效率，成果精度满足行业规范要求，可为各类工程建设的地形数据获取提供可靠支撑。

关键词

无人机航测；地形测绘；工程实践；精度控制

一、引言

地形测绘是各类基础设施建设、矿产资源开发、国土空间规划等工程开展的基础工作，精准的地形数据能够为工程设计、施工与运维提供核心依据。传统地形测绘主要依赖人工野外测量，作业周期长、人力成本高，在高山、峡谷、水域等复杂地形区域存在作业安全风险大、数据采集效率低等问题。卫星遥感测绘虽然能够覆盖大区域地形，但受云层遮挡、轨道周期限制，分辨率难以满足大比例尺地形测绘的精度要求；有人机航空摄影测量虽然能够实现大范围作业，但起降条件要求高、作业成本昂贵，不适合中小尺度地形测绘项目。

随着低空无人机技术与摄影测量算法的不断发展，无人机航测技术凭借灵活机动、成本低廉、分辨率高的特点，逐渐成为地形测绘领域的主流技术之一。本文结合实际工程项目，对无人机航测技术在地形测绘工程中的应用流程、精度控制与实践效果展开研究，为相关工程应用提供参考。

二、无人机航测技术概述

2.1 基本原理

无人机航测技术是以无人机作为空中搭载平台，搭载高清数码相机、倾斜摄影相机、激光雷达等传感器获取测区的影像数据，结合 GPS 差分定位技术、惯性测量单元获取航测位置与姿态数据，通过后处理软件进行空中三角测量、影像匹配、点云生成，最终生成数字高程模型（DEM）、数字正射影像图（DOM）、地形线划图（DLG）等地形测绘成果。相较于传统技术，无人机航测能够快速获取高密度的地形点云数据，还原地形的真实地貌特征。

2.2 技术优势

第一，作业灵活性强。无人机体积小、重量轻，对起降场地要求低，在山区、丘陵等复杂区域也能够完成起降作业，能够根据测区地形调整航高、航向，适应不规则形状的测区。第二，成本较低。相较于有人机航测，无人机的采购、维护与作业成本仅为前者的十分之一左右，不需要专用机场，人力投入也更少，适合中小测绘项目使用。第三，精度高。无人机航测的航高较低，影像分辨率能够达到厘米级，结合差分定位技术，平面精度与高程精度都能够满足 1:500 至 1:2000 大比例尺地形测绘的要求。第四，作业效率高。一架次无人机能够完成数平方公里的测区作业，外业采集时间仅为传统人工测量的五分之一以内，结合自动化后处理软件，能够大幅缩短整个项目的周期。

三、无人机航测技术在地形测绘中的实践流程

本次实践项目为某城郊区域基础设施建设的地形测绘工程，测区总面积约 3.2 平方公里，地形以丘陵为主，局部区域存在河谷与茂密植被，传统人工测量难度较大，项目要求生成 1:1000 比例尺的 DLG 与 DOM 成果，平面精度不大于 0.15m，高程精度不大于 0.20m。本次航测采用旋翼式无人机搭载 2000 万像素全画幅数码相机作业，具体实践流程如下：

3.1 测区前期准备

首先收集测区已有的基础地理信息数据，确定测区的范围与地形概况，核对测区周边的空域限制条件，向民航与空管部门申请作业空域，确定作业窗口期。根据项目精度要求计算航测参数：本次项目要求地面采样距离（GSD）为 5cm，根据相机焦距与传感器尺寸，计算得到相对航高为 120m，设置航向重叠度为 80%，旁向重叠度为 70%，保证影像能够满足拼接匹配要求。在测区范围内均匀布设

12 个像控点，采用 RTK 测量获取每个像控点的平面与高程坐标，像控点布设在视野开阔、特征明显的位置，避免被植被遮挡。

3.2 外业航测作业

选择晴朗无云、风速小于 3 级的天气开展作业，作业前对无人机的电池、传感器、通信系统进行检查，确认差分定位信号稳定。按照预设航线完成自动飞行作业，作业过程中实时监控无人机的飞行状态与影像拍摄情况，对于重叠度不足、影像模糊的区域，及时补飞。本次外业作业共飞行 4 架次，耗时约 3 小时，获取有效影像共 1286 张，完成整个测区的覆盖。

3.3 内业数据处理

将获取的影像数据、POS 数据与像控点坐标导入航测后处理软件，首先进行影像预处理，去除模糊、过曝的无效影像，对 POS 数据进行校正。随后开展空中三角测量，通过特征匹配提取同名点，结合像控点坐标进行平差计算，优化影像的位置与姿态参数。本次空三处理的平差误差为 0.3 个像素，满足精度要求。空三完成后生成高密度点云数据，对点云进行滤波处理，去除植被、建筑物的噪声点，得到地面点云，进而生成 DEM，再通过正射校正得到 DOM 成果，最后结合 DOM 与 DEM 进行人工矢量化，提取地形要素、地物边界，生成 DLG 成果。

3.4 精度检验

成果完成后，在测区范围内随机选取 50 个检测点，采用 RTK 野外测量获取检测点的真实坐标，与无人机航测成果的坐标进行对比，统计误差。统计结果显示，平面中误差为 0.08m，最大平面误差为 0.13m；高程中误差为 0.12m，最大高程误差为 0.18m，所有误差都满足项目 1:1000 比例尺地形测绘的精度要求，成果合格。

四、实践中存在的问题与优化策略

在本次实践过程中，也发现了无人机航测技术应用存在的一些问题：第一，植被覆盖区域的高程精度存在偏差，茂密植被会遮挡地面，导致点云数据中植被点难以完全过滤，造成 DEM 高程偏高。针对该问题，可以结合激光雷达扫描仪替代传统光学相机，激光雷达能够穿透植被获取地面点云，提升植被覆盖区的高程精度；第二，无人机飞行容易受气流影响造成航偏，导致局部区域重叠度不足，影响空三精度。优化策略是在航测设计时适当提高重叠度参数，同时设置航摄缓冲区间，保证测区边缘的重叠度满足要求；第三，复杂地形区域的相对航高不一致，

导致不同区域的 GSD 差异较大,影响成果精度。优化方法是采用仿地飞行模式,根据已有 DEM 数据调整无人机的飞行高度,保证整个测区的 GSD 一致。

五、结论

无人机航测技术在地形测绘工程中具备显著的技术优势,能够在保证成果精度的同时大幅提升作业效率、降低成本,尤其适合复杂地形区域的中小比例尺测绘项目。从本次实践来看,通过合理的测区准备、参数设计、精度控制,无人机航测成果能够完全满足大比例尺地形测绘的规范要求,是一种可靠的地形测绘技术手段。未来随着传感器技术与智能化算法的发展,无人机航测技术的精度与自动化程度将进一步提升,在地形测绘领域的应用范围也将不断扩大。

参考文献

- [1] 廖小露. 无人机航测技术在大比例尺地形测绘中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(06): 208-210+214.
- [2] 王太坤. 无人机航测在地形测绘中的应用与精度分析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(15): 86-88.
- [3] 张剑清, 潘励, 王树根. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009.
- [4] 国家测绘地理信息局. 无人机航摄规范: CH/Z 3005-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.