

飞马 D200 倾斜摄影测量技术在大比例尺地形测绘中的应用

投稿人：白 艳, 王红掬

投稿单位：云南睿琦勘察设计有限公司

摘要：倾斜摄影测量技术，是测绘领域近年来新兴的一项高新技术，已广泛应用于城市化三维建模、地形测绘之中。相较传统地形测绘，无人机倾斜摄影测量技术，在成本、效率、成果的多样性、可视化方面，都有显著的优势。本文运用飞马 D200 无人机，在广东始兴县某村进行了 1：500 地形图测绘实践，结果表明，该机型很好的完成了居民密集区的测量任务，且能满足 1：500 地形精度要求，为 D200 无人机在大比例地形测绘中的应用，进行了有益的探讨。

关键词：倾斜摄影；飞马 D200 无人机；实景三维模型；多角度相机

1 项目背景

1.1 项目介绍

2015 年 11 月 23 日，中共中央政治局会议审议通过《关于打赢脱贫攻坚战的决定》，要求各级党委和政府必须把扶贫开发工作作为重大政治任务来抓，切实增强责任感、使命感、紧迫感，到 2020 年确保我国现行标准下的农村贫困人口实现脱贫，贫困县全部摘帽，解决区域性整体贫困。时任广东省委书记胡春华强调，要认真学习贯彻习近平总书记重要讲话精神，明确我省扶贫攻坚目标任务，集中力量打好打赢脱贫攻坚战，确保实现中央和省委确定的脱贫攻坚目标。此次测量项目为广东省精准扶贫重点项目之一，旨在改善始兴县省级贫困村农村人居环境，韶关市政府要求快速完成始兴县 26 个贫困村 1：500 地形图测绘，并提供满足 1：500 精度要求的正射影像及数字三维地面模型。

1.2 测区概况



图1 典型测区概况（一）



图2 典型测区概况（二）

测区主要由居民住宅楼房和生活区附属设施及少部分旱地构成。一些测区居民住宅楼占据绝大部分，楼层高矮不一，相互间间距较小，且分布较随意，如图 1 所示，一些测区位于丘陵地带，植被茂盛，且测区落差较大，如图 2 所示。

2 测绘方式选择

传统的地形测绘方式，主要运用经纬仪、水准仪、全站仪或 GPS 等测量仪器进行一定比例精度下的数据采集，其具有工作强度大、效率低、周期长、成本高、可视化程度低、不能快速成图等缺点。一方面由于 GPS 信号因遮挡或多路径效应而无法施测，全站仪需要建立无数转点、引点工作，给精度带来极大损失，另一方面，业主需要提供测区的正射影像及数字三维地形模型，传统的测绘方式无法提供。

近年来，随着航空摄影测量技术的高速发展，尤其是无人机倾斜摄影技术的迭代和更新，快速、高效地获得客观、丰富的地面数据信息，完成大比例尺地形测绘，成为可能。该技术改善了传统摄影测量只能获取地面要素的高度或顶部纹理信息，且易受云层和天气干扰等不足，通过低空无人机搭载多台传感器从一个垂直、多个倾斜等不同角度进行同步影像采集，可获得高分辨率、大视场角、更详尽的地物、地貌信息。在采集影像的同时，机载传感器自动记录航高、航速、重叠度、姿态和位置等信息，使影像数据真实地反应地物、地貌形态。

利用无人机倾斜摄影测量技术进行大比例尺地形图测绘，能克服传统大比例尺地形测绘的诸多缺点，发挥无人机高时效、高分辨率、低成本、低损耗、低风险和可重复等优势，且产品多元化，能快速、高效地制作大比例尺 DLG、DEM、DOM 及 DSM 等 4D 产品，还可自动生成地物点云和地面三维实景模型。

依据测区条件，进度、精度要求，以及业主对测绘产品的需求，经综合分析，最终确定选用无人机挂载 5 拼相机，通过低空摄影测量的方式，来完成作业。

2.1 倾斜摄影测量技术

倾斜摄影测量技术是一种多角度观测的新型航空摄影技术，该技术通过不同视角同步采集影像，获取地物顶面及侧视高分纹理，不仅仅能真实反应地物情况，高精度的纹理信息，还可以通过先进的定位、融合、建模技术，生成真实三维地面模型，为高精度、采集大比例尺数字地面信息，提供了可靠的基础。

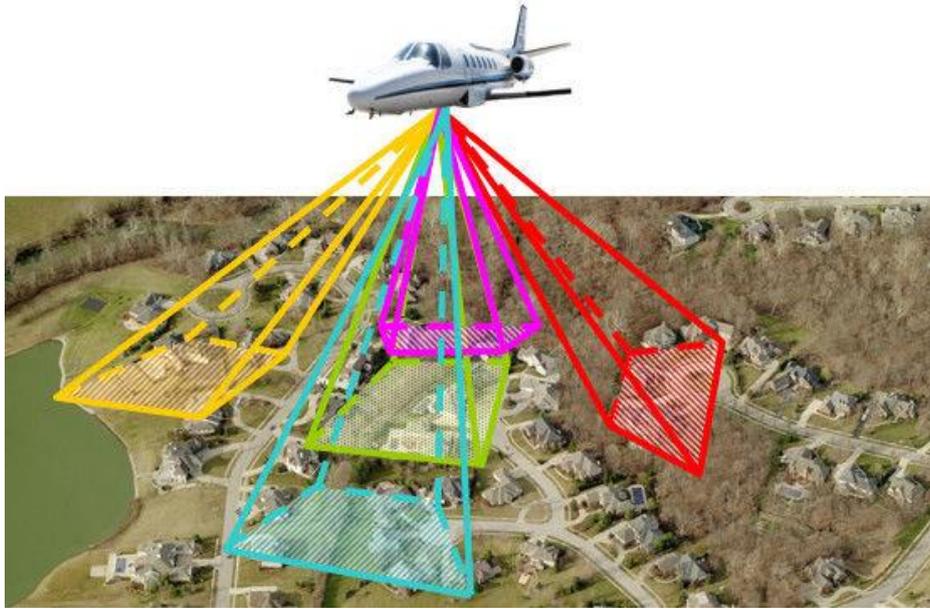


图3 倾斜摄影测量影像获取方式



图4 倾斜摄影测量模块

2.2 无人机选型

经现场踏勘，结合工期、精度要求，本项目选用了四旋翼航测无人机 D200 搭载 D-0P200（5*RX0）五相机施测方案。首先，D200 配置高精度差分 GNSS 板卡、高精度 IMU（惯性测量单元）航姿测量系统，PPK、RTK 及融合作业模式，能提供厘米级定位精度；其次，D200 提供精准地形跟随飞行功能，配合无人机管家专业软件，D200 可精准跟随地形的起伏实现变高飞行，既可保证测区地面影像重叠度及像素要求，也可保证飞行安全；同时，D200 可在 5 级风力情况下正常作业，也可实时故障检测与故障隔离，适宜在该测区应用。



图 5 四旋翼航测无人机 D200 搭载 D-0P200 (5*RX0) 五相机

3 技术路线

传统大比例尺地形图测绘作业可概括为“三内二外”，即内业收集资料，根据测区概况设计技术方案；外业采集数据，绘制草图；内业分类矢量化地物，包括配准、空三、格式转换；外业调绘，反馈位置、类别信息；内业编辑、分幅、整饰，立体测图，成果发布等。倾斜摄影测量工艺，和传统航测方式大致一样，流程更加简化。如图 5 所示。

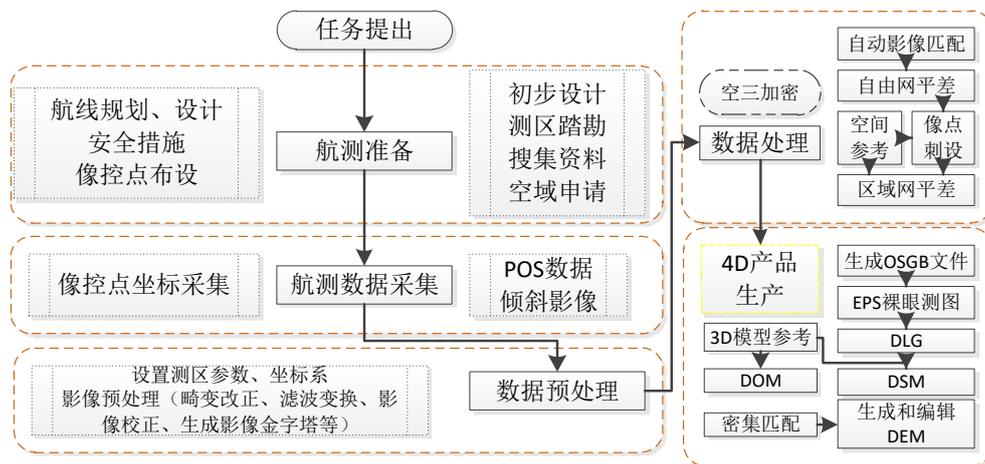


图 6 技术路线图

外业作业之前，首先收集测区资料，包括控制点成果、坐标系统和高程基准，已有地形图成果和地名资料等。接着，针对任务进行初步设计，并报送业务主管部门审批，制定无人机航飞方案，并进行空域申请，明确无人机搭载的传感器类型、地面分辨率、飞行高度、架次、重叠度等。

在具备外业影像采集条件后，按照航测设计方案，进行像控点坐标和倾斜影像数据采集工作。

内业工作主要包括数据预处理、空三加密、生成点云和建立实景三维模型等。所有内业均可在数码倾斜影像导入软件后由软件自动解算完成，通过多视影像联合平差技术进行倾斜影像区域网平差、多视影像密集匹配技术得到高精度点云数据，还可以运用联机计算缩短内业数据处理时间。大比例尺地形线划图采集工作，可根据三维模型、DOM 和点云作参照，提高地物的判读性和数据采集的速率。

4 作业流程

4.1 控制测量

控制测量分为满足测区施工的 D 级 GNSS 控制和满足航测需求的 E 级 GNSS 像控测量，D 级控制测量采用静态 GNSS 测量的方式进行数据采集，并与测区四等及四等以上国家 CGCS2000 控制点进行了联测，E 级像控测量在 D 级控制测量的基础上，进行了加密，测量方式选用准静态 RTK 测量方式。



图 6 像控坐标采集

4.2 D200 无人机影像数据采集

本项目选用四旋翼航测无人机 D200 搭载 D-OP200 (5*RX0) 五相机施测方案, 相对飞行高度 81 m, 航向重叠度 80%, 旁向重叠度 70%, 测区最高点地面分辨率为 2.9 cm/像素, 测区最低点地面分辨率为 3.2 cm/像素, 均小于规范《低空数字航空摄影规范》(CH/Z 3005-2010) 测图比例尺为 1:500 时, 地面分辨率优于 5 cm 的要求。飞行航线规划及参数预设如图 5 所示。

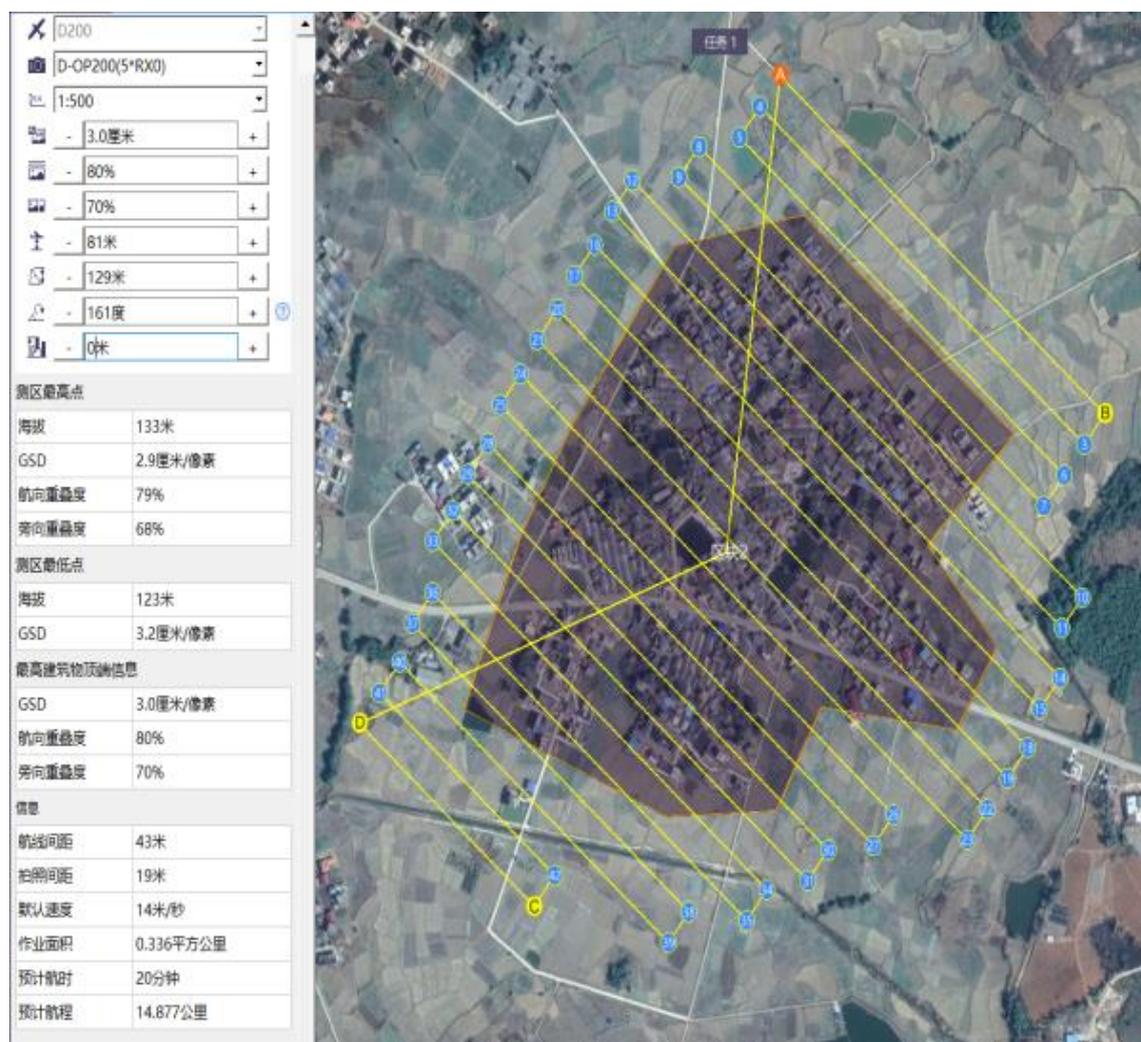


图 6 飞行航线规划及参数预设

4.3 内业数据处理

本次航测内业选用了 Bentley 公司的 Smart3D Capture™ 系统进行了空三解算、像控点刺设、点云生成和三维重建, 试验区生成的三维地面模型如图 7 所示, 将建立的地面三维模型导入北京山维公司的 EPS 3DSurvey 软件, 按照《国家基本比例尺地形图式 第 1 部分: 1:500 1:1000 1:2000 地形图图式》(GB 20257.1-2007) 中 1:500 地形图要求, 参照三维地形模型、点云数据及 DOM, 对试验区完成了全要素矢量化地形采集, 如图 7 所示。



图 7 试验区三维地面模型



图 8 全要素矢量化地形图数据采集

在完成地图全要素矢量化后，收集、汇总内业判读模糊、不准确的区域告知外业作业人员进行外业调绘，最后修改整饰，完成 1：500 地形图测图工作。

5 精度评定

为了检验试验区地形图成果能否满足《基础地理信息数字成果 1：500 1：1000 1：2000 数字线划图》(CH/T 9008.1-2010)对 1：500 地形图精度要求，外业人员采用准静态 RTK 模式在测区采集了 10 个检查点，检查点的分布如图 8 所示，数字地面模型上同位置采集的坐标点与检查点对比分析如表 1 所示(备注：表 1 中所列数据已经过加密处理，模型采集数据与检查点加密方式一致，不影响精度评定)。



图 9 检查点的分布图

表 1 同位置三维数字地面模型采集点与检查点对比表

编号	模型采集点			检查点			ΔX	ΔY	ΔH
	X	Y	H	X	Y	H			
J1	855175.860	315383.079	122.148	855175.865	315383.083	122.153	-0.005	-0.004	-0.005
J2	855212.861	315504.064	120.979	855212.851	315504.061	120.988	0.010	0.003	-0.009
J3	855118.854	315634.175	121.916	855118.852	315634.188	121.906	0.002	-0.013	0.010
J4	855014.037	315530.381	118.574	855014.031	315530.377	118.572	0.006	0.004	0.002
J5	855054.907	315811.492	122.549	855054.921	315811.487	122.555	-0.014	0.005	-0.006
J6	854992.768	315926.408	124.337	854992.761	315926.409	124.343	0.007	-0.001	-0.006
J7	855176.120	315813.747	122.340	855176.129	315813.729	122.339	-0.009	0.018	0.001
J8	855306.637	315809.266	122.622	855306.619	315809.256	122.635	0.018	0.010	-0.013
J9	855365.517	315933.829	125.076	855365.513	315933.826	125.062	0.004	0.003	0.014
J10	855367.834	315925.903	128.813	855367.845	315925.917	128.826	-0.011	-0.014	-0.013
中误差							0.010	0.009	0.009

经计算可以得出：点位中误差为 ± 0.0134 m，高程中误差为 0.009 m，依据《工程测量规范》城镇建筑区 1：500 地形要求，地物点位中误差 ≤ 30 mm，高程中误差 $\leq 1/3hd = 0.167$ m。可见，飞马 D200 倾斜摄影测量技术进行 1：500 地形图测绘，能满足精度要求。

6 总结

此次测量任务选用四旋翼航测无人机 D200 搭载 D-OP200 (5*RX0) 五相机施测方式，对始兴县 26 个省级贫困村进行了 1：500 地形图测绘，按时、保质、保量的完成了测量任务，通过了业主方实体验收，并给予了极高评价。

此次项目表明：（1）飞马 D200 具备较强的飞行稳定性和抗风性能，很好的完成了测量任务；（2）精准跟随地形飞行功能，保证了影像地面分辨率，为最终提供高精度产品打下了牢靠基础；（3）D200 配置有高精度差分 GNSS 板卡、高精度 IMU 等传感器，提供的 PPK、RTK 及其融合作业模式，使在丘陵区、乡镇住房密集区进行大比例尺、高精度测图，成为了可能；（4）先进的多传感器数据融合算法，实时故障检测与故障隔离，冗余传感器设计等，为飞行安全、高精度数据采集，提供了可能。

实践表明，飞马 D200 无人机，可靠、安全、稳定的特征及全自动、一体化、模块化的设计特点，为此次测量任务高效、高质完成提供了保障。