

飞马 D200 智能航测系统在城市道路三维建模的应用

朱志愿，吴跃锋，张涛
【台州市地理信息测绘中心】

摘要：目前城市道路的快速的发展使城市行政执法难度大大增加，基于三维实景模型进行道路行政执法管理可更加直观、方便开展人员管控与执法。本文利用 D200 型多旋翼无人机搭载 OP300 传感器采集影像数据，建立台州市内环线快速路三维实景模型，为行政执法职责内道路沥青及桥梁等相关市政设施后期维护提供数据支撑。由于台州市内环线快速路多建设在山体周边，飞马智能航测系统基于精细三维地形的无人机航线变高方法专利技术在本项目发挥出极大的优势。

关键词：道路三维建模；多旋翼无人机；航线变高技术

1、项目背景

台州市内环线快速路是围绕绿心，连接椒江、黄岩、路桥三区的一条绿色快速通道，全长约 30 公里，双向 6 车道，根据市行政执法局委托进行倾斜摄影拍摄，获取分辨率优于 0.05m 的影像数据，并建立道路三维实景模型、对道路沥青面积及桥梁面积以及相关市政设施部件后期维护数据的统计。

无人机中、低空作业技术作为影像数据获取的一项重要手段，具有机动性强、飞行成本低、影像分辨率高等优势。

本文利用飞马智能航测系统进行航摄，采集沿线道路航空影像数据，制作三维实景模型，并使用立体测图方式进行面积统计和市政部件采集，极大的提高了行政执法履行职责的能力。

1.1 无人机航测系统

本项目采用飞马 D200 智能航测系统，D200 是深圳飞马机器人一款基于多旋翼无人机平台的一体化智能航测系统，搭载 OP300 倾斜摄影测量模块方式进行测区影像数据获取，飞马 D200 配备高精度差分 GNSS，支持 PPK/RTK 融合作业方式，可大量减少外业像控点，对后期的内业航测立体成图工作量大大减少，本测区配合精准地形跟随变高航线飞行技术，保证了项目的获取影像分辨率的一致性。

D200 配备的“无人机管家”专业版软件，满足各种应用需求的航线模式，支持精准三维航线规划、三维实时飞行监控，具备 GPS 融合解算、控制点量测、空三解算、一键成图、一键导出立体测图，提供 DOM、DEM、DSM、TDOM、2.5D 模型、真三维模型、标准 LiDAR 点云等多种数据成果及浏览。D200 整机系统延续了飞马机器人工业化、高可靠性、全自动化的设计理念，主打高可靠性、单人作业、可复制的高精度作业模式。

图 1 D200 飞行平台参数

空机重量：6.5kg
起飞重量：7.5kg
对称电机轴距：988mm
外形尺寸：展开 830×732×378mm
折叠 955×362×378mm
续航时间：48min（单架次海平面悬停时间）
巡航速度：36~54km/h



最大爬升速度：10m/s
最大下降速度：8m/s
悬停精度 RTK：水平 1cm+1ppm；垂直 2cm+1ppm
实用升限高度：4500（海拔）
抗风能力：5 级（正常作业）
任务响应时间：展开≤10min，撤收≤15min
测控半径：5km
起降方式：无遥控器垂直起降
工作温度：-20~50° C
外包装箱尺寸：1038×475×366.5mm



图 2 D-OP300 倾斜模块参数

相机型号：SONY ILCE-6000
相机数量：5
传感器尺寸：APS-C（23.5×15.6mm）
有效像素：1.2 亿（2400 万）×5
镜头参数：下视 25mm，斜视 35mm
倾斜角度：45 度

2、总体技术路线及作业流程

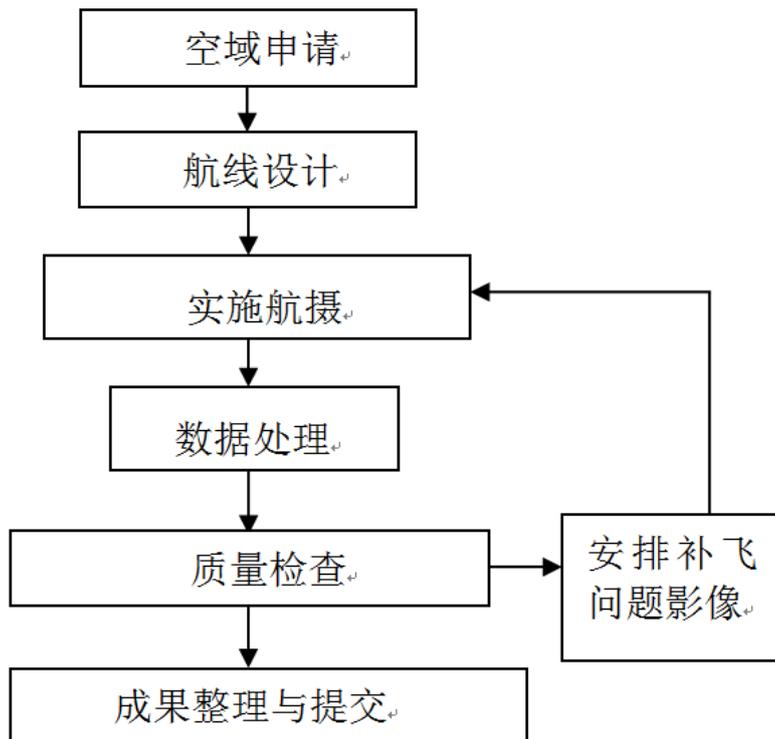


图 3 技术流程图

2.1.1 航线设计参数

表1 航线设计参数

项目	倾斜摄影要求
影像分辨率	优于 0.05 米
航高设计	相对航高 200 米
航向重叠	80%
旁向重叠	70%
影像倾斜角度	90°，前后左右视 45°（水平参考面）
影像倾斜角度改变量	不大于 5°，最大不超过 12%
摄影分区	根据项目作业范围及测区情况划定
测区边界覆盖	航向超出边界不少于两条基线，旁向覆盖超出测区边界线不少于 5 条航线，保证影像全覆盖
拍摄时间	选择测区最有利气象条件，保证影像质量
补摄与重摄	出现相对漏洞和绝对漏洞应补摄
影像质量	影像清晰、层次丰富、反差适中、色调柔和

2.1.2 飞行质量要求

(1) 影像覆盖保证

数字倾斜影像须覆盖台州市内环快速路的测区范围。航线按常规方法敷设，平行于摄区边界线的首末航线一般敷设在摄区边界线上或边界线外，确保摄区边界实际覆盖不少于像幅的 30%。航向覆盖超出摄区边界线至少两条基线。

(2) 像片重叠度

数字倾斜影像的航向重叠度不小于 75%不大于 80%，旁向重叠度不小于 75%不大于 80%。

(3) 像片旋偏角

数字倾斜影像的旋角一般不大于 15°，在确保像片航向和旁向重叠度满足要求的前提下，个别最大旋角不超过 30°，在同一航线上旋角超过 20° 像片数不应超过 3 片，超过 15° 旋角的像片数不得超过分区像片总数的 10%。像片倾角和像片旋角不应同时达到最大值。

(4) 像片弯曲度

数字倾斜影像的航线弯曲度一般不大于 1%，当航线长度小于 5000 米时，航线弯曲度最大不大于 3%。

(5) 航高保持

数字倾斜影像在同一航线上相邻像片的航高差不应大于 30m；最大航高与最小航高之差不得大于 50m。航摄分区内实际航高与设计航高之差不得大于 50 米。

2.1.3 影像质量要求

a. 影像质量应清晰，层次丰富，反差适中，色调柔和；应能辨认出与地面分辨率相适应的细小地物影像，能够建立清晰的立体模型。

b. 影像上不应有云、云影、烟、大面积反光、污点等缺陷。

c. 确保因无人机地速的影响，在曝光瞬间造成的像点位移不应过大。

d. 拼接形成的高分辨率彩色影像不应出现明显色彩偏移、重影、模糊现象。

2.2 像片控制测量

2.3.1 倾斜摄影像控点布点方案

倾斜摄影区域按照区域网的方式布设像片平高控制点；每个作业区域均匀布设每公里不大于 8 个点，不少于 6 个点。

2.3.2 像控点点位要求

像片控制点应选取目标影像清晰、易于判别的目标，困难时应现场布设靶标。



图 4 像控点现场测量示意图

2.3.3 像控点选点、编号

1) 像控点应选刺在影像明显的地物交角、地表标志线角点，优先选择斑马线的角点、空旷地带地砖图案的角点等测量误差小、内业易于判读地带，无地表标志线的地方，应选择房屋围墙的内外拐角、花坛的角点等近似成 90° 的地物交叉点，困难地区可选择直径小于 0.15m 的点状地物中心等处。

2) 所有的点位应避开高大的楼群、高压电线、发射塔、高大树木等对 GPS 信号接收有影响的障碍物。

3) 像控点按“名称字母+顺序号”形式进行编号，名称字母为：县、乡镇、村庄名（重点区域名称）第一个拼音字母。

2.3.4 像片控制点联测

1) 像片控制点测量在浙江省连续运行卫星定位综合服务系统(CORS)下，利用 GNSS 接收机采用网络 RTK 方式进行观测，基本条件要求如下。

观测窗口状态	15°以上的卫星个数	PDOP 值
良好	≥ 6	< 4
可用	5	< 6
不可用	< 5	≥ 6

2) 观测次数、初始化次数和历元数的要求如下。

等级	测回数	每次观测初始化次数	初始化间隔时间
像控测量	2	1	≥60s

注：采样间隔为 1s；观测阈值平面 2cm、高程 3cm；每测回有效观测值不少 10 个；两测回之间平面坐标互差不大于 5cm、高程互差不大于 5cm。

3) 其它要求

① 天线高的量测、确认和输入要认真仔细，使用三脚架架设仪器时，量取仪器高两次，两次读数不大于 5mm，取中数输入 GPS 接收机中，使用对中杆时，要两次复核相关数据；

② 架于建筑物顶部拐角处的仪器，要尽量保证仪器中心位于拐角；

③ 观测员在作业期间不得擅自离开测站，并应防止仪器受震动和被移动，防止人为和其它物体靠近天线，遮挡卫星信号；

④ 接收机在观测过程中不应在接收机近旁使用对讲机或手机。

2.3 数据处理

2.3.1 处理流程

利用无人机管家“智理图”整理 POS 数据及写入航摄照片，利用无人机管家“智理图”模块，对 D200 获取的差分 POS 观测进行融合差分解算，获取 5 组镜头精准 POS，在通过七参数将 WGS84 坐标系转换为控制点所在的坐标系。

利用“智理图”模块对倾斜影像和 POS 数据的对应关系后，对每张照片进行特征点监测和匹配，然后导出 xml 格式文件，导入到 smart3D 软件中，加入控制点，进行刺点处理，刺点完成后进行联合平差，平差结果如图 5：

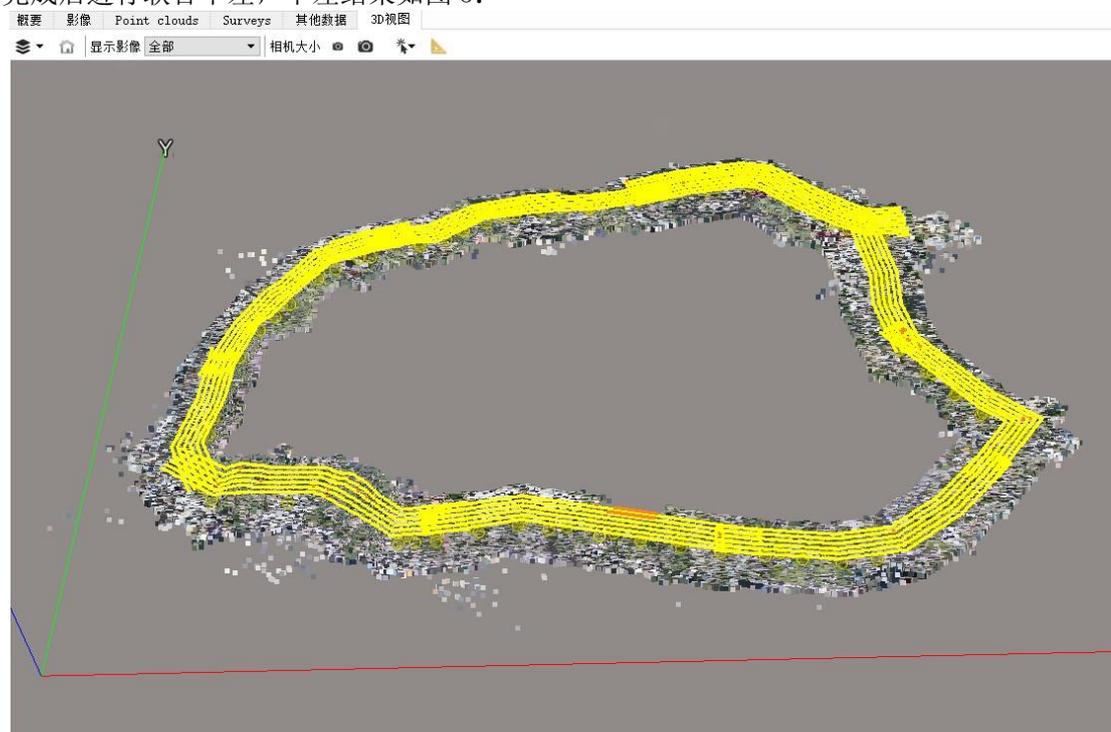


图 5 空三处理示意图

2.3.2 三维模型生产

Smart3D 软件经过格网切块、构 TIN、自动纹理映射等流程，生产出测区实景三维模型成果。示意图如下：

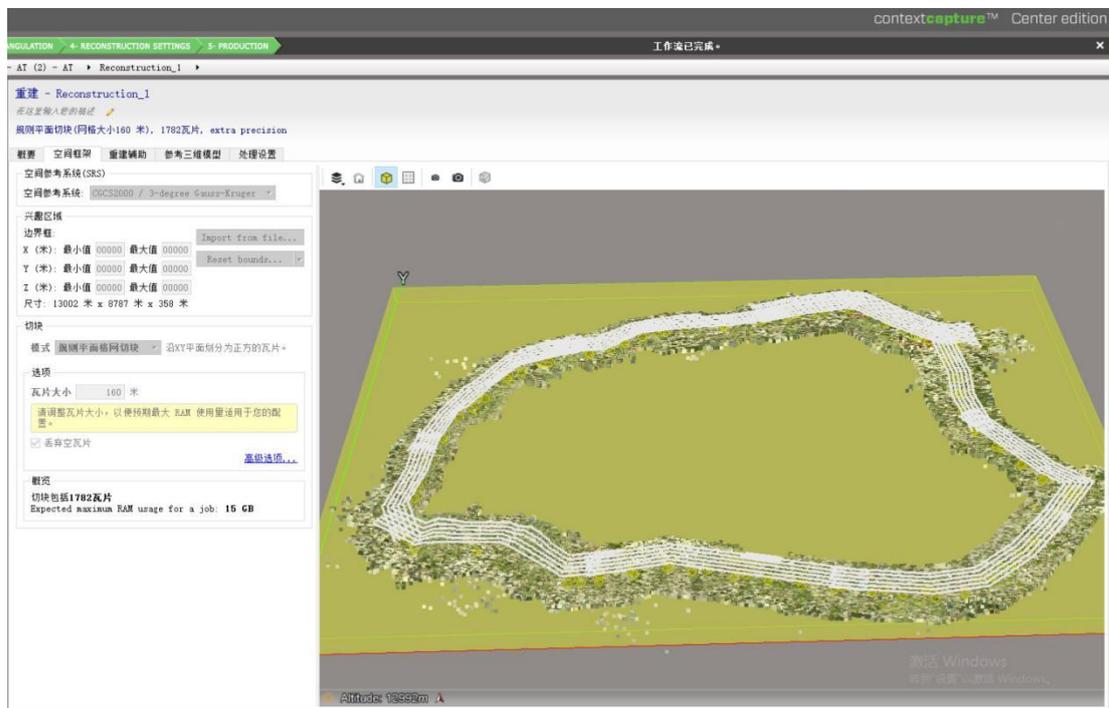


图 6 三维建模生产分块处理示意图

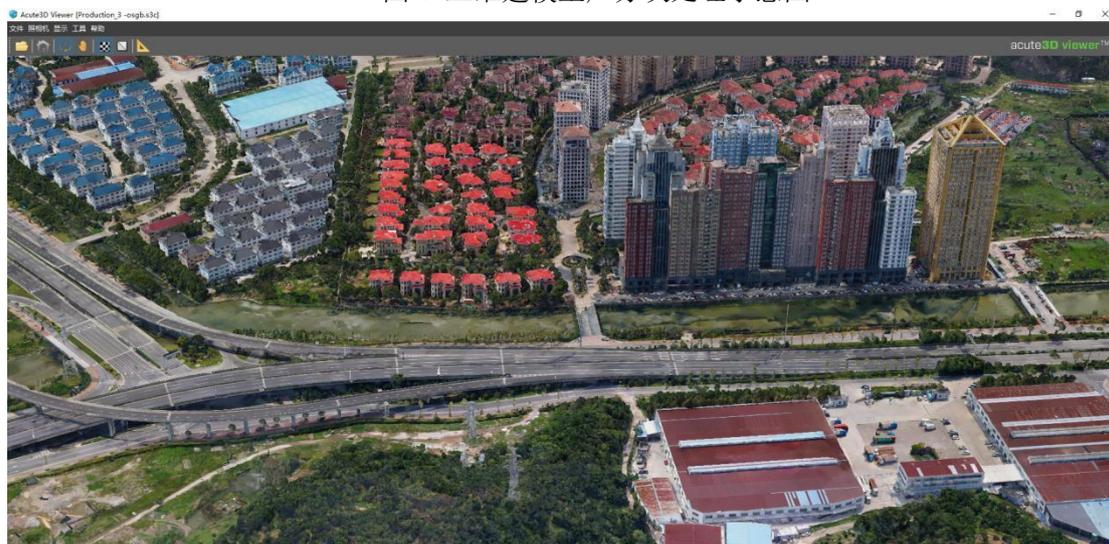


图 7 三维模型效果图

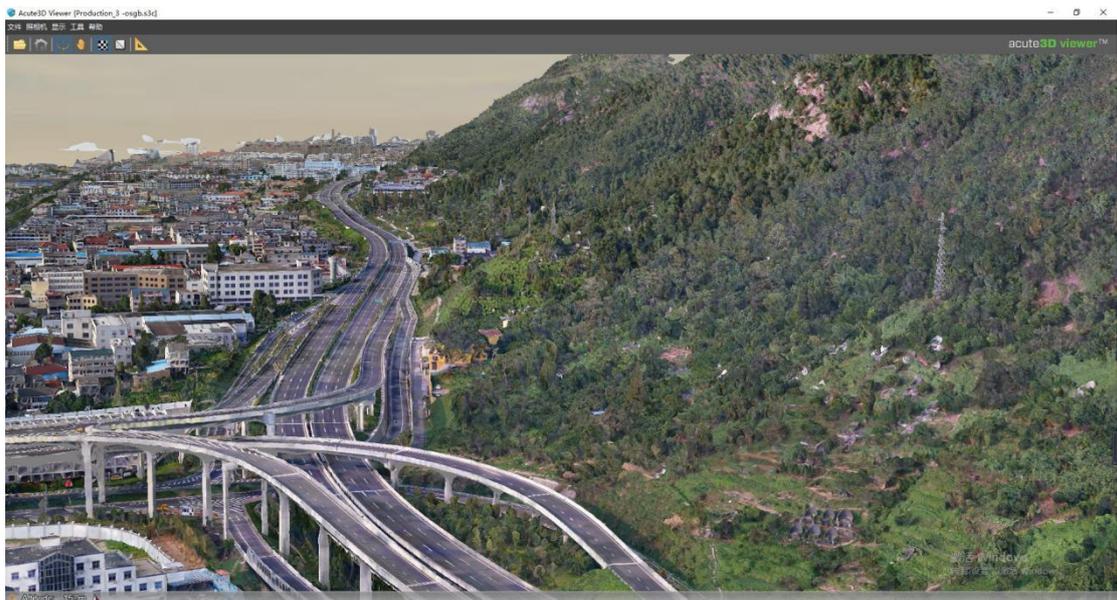


图 8 三维模型效果图

2.4 内业立体测图

采用 EPS2016 软件进行立体测图，建立 1:500 标准格式工程，将测区内 OSGB 模型进行数据转换合并 DSM 文件，加载本地倾斜模型，由测图员通过三维模型及多视角倾斜模型影像进行点、线、面等矢量数据采集绘制，并按照业主要求对不同路面属性、桥梁、下穿通道等相关市政数据采集，立体测图数据采集完成后，利用 cass9.2 软件进行图形编辑及面积统计等相关工作。

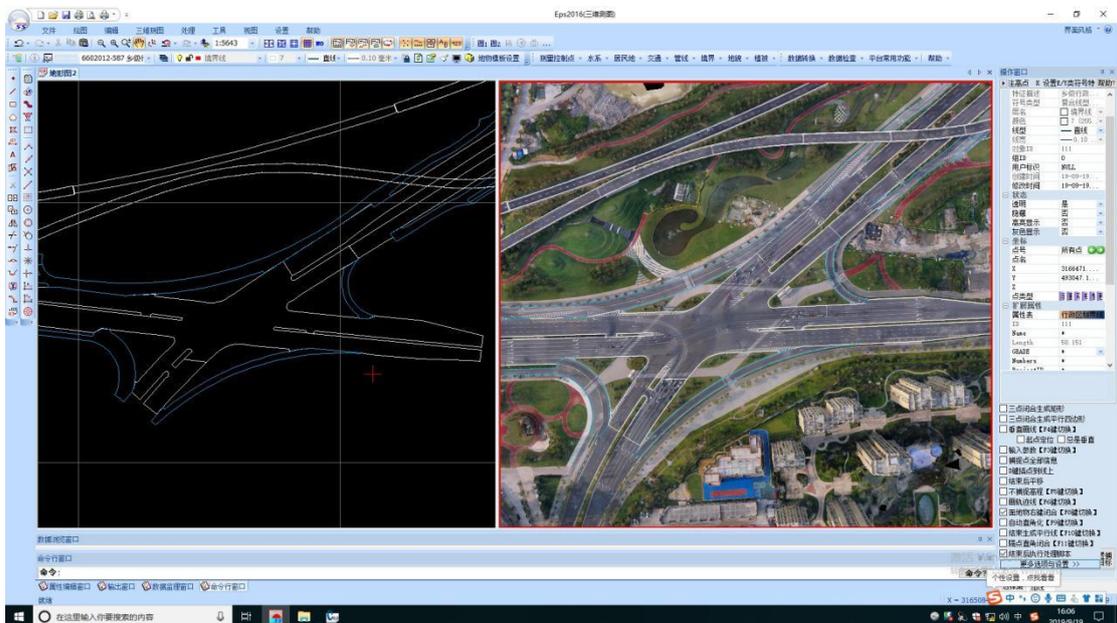


图 9 EPS2016 三维立体测图软件

2.5 精度检核

立体测图工作完成后，需对 DLG 线划图的平面精度进行检核，检查方式采取人工现场

实测数据与三维模型立体测图数据进行精度对比。经检验，平面中误差为 0.067m，由于本项目不需要高程数据，因此未对高程数据进行检核，根据检核精度，本项目符合浙江省 1:500 航测成图要求（DB33T 552-2014《1:500 1:1000 1:2000 数字地形图测绘规范》）及相关市政道路数据面积统计需求。

2.5 D200 作业效率优势

影像数据采集技术优势：根据本项目要求需采集 0.05m 分辨率，根据测区地形，一般飞行平台基本无法实现，原因如下：一般常用的无人机影像采集时飞行高度基本是固定航高，根据现在市面上可以加载到无人机上的主流航摄仪采集 0.05 分辨率需要相对航高 300 米左右，而测区道路周边的山体高度都将近 400 米左右，所以固定航高飞行根本无法保证周边地面 0.05m 分辨率，而本项目采用的飞马 D200 型号无人机具有精细地形跟随变高飞行航线独有专利技术，可根据地表时刻保持 0.05 米的影像采集能力，由于此技术才保证了本项目的顺利实施。

