

# 基于飞马 D200 航摄系统的开州区铁峰山森林 公园实景三维建模与应用

投稿人：陈光 [teddycg@qq.com](mailto:teddycg@qq.com) 15723131852

投稿单位：重庆市勘测院

**摘要：**针对当前城镇化建设中出现的非法扩建构筑物监测需求，现有地面巡查、卫星遥感监测等方法存在监测频率低、工作量大、小面积非法扩建构筑物难以发现等问题。针对上述问题，本文详细阐述了基于无人机倾斜摄影技术生产的高精度实景三维模型，辅助开展城市规划建设定量监测和规划服务支撑研究，并在开州区铁峰山森林公园项目中开展的应用实践，验证了飞马航摄系统在复杂山地区域开展无人机倾斜摄影和高精度实景三维建模的支撑保障能力。

**关键词：**无人机，倾斜摄影，实景三维，规划。

## 1 前言

强化城市规划设计、推进绿色环保建设、实施城市精细化管理，为广大人民群众提供一个环境美丽、整洁舒适、绿色环保的城市生活环境。各地大量开展城市更新、旧城改造、城市扩建工作，涉及土地征用和旧有房屋拆迁，如果不实时进行两违监控，可能会出现大面积、大批量非法扩建构筑物抢建、抢种现象，如果对总量估计不准就会影响征迁政策的制定和实施。常规非法扩建构筑物监测主要依靠执法队伍地面巡查和群众举报，“空中楼阁”等隐蔽非法扩建构筑物难以发现、时效性差，同时存在取证困难问题；卫星遥感影像能够真实、全面地反映城市建设现状，并且能够提供建筑的精确位置和范围，但受天气影响大、分辨率低，存在监测频率低、小型非法扩建构筑物难以发现等问题。随着影像空间分辨率的提高，基于多时相遥感影像的变化检测仍然面临许多挑战，还没有形成相对完整、成熟的理论体系，人工图像解译工作量非常大。非法扩建构筑物已经呈现更加分散分布的特点，抢建速度更快，常规方法已经逐步不能满足两违监控任务需要，急需采用新技术手段对非法扩建构筑物进行高频率动态监测。根据防违控违综合管理需求，有些地区要求监测到 20 m<sup>2</sup>甚至 10 m<sup>2</sup> 的非法扩建构筑物。鉴于项目的需求，最终选用了飞马的 D200 型无人机作为航摄平台，搭载 D-OP300 倾斜摄影五拼相机，可拍摄分辨率优于 10 cm 甚至 5 cm 的影像，具有超高分辨率，监测更精准，可及时发现“空中楼阁”等隐蔽非法扩建构筑物。基于飞马无人机多角度倾斜

摄影平台，结合计算机视觉及影像三维建模技术，可快速生产监测区域数字正射影像 DOM、数字表面模型 DSM、实景三维模型等二三维地理信息数据，基于这些数据成果可支撑规划建设管理和城市治理工作。

## 2 项目基本情况

### 2.1 作业区概况

受甲方委托，我院承担了铁峰山森林公园项目实景三维建模制作航空摄影任务。本次任务航摄面积约为 1.97 平方公里，摄影分辨率为 0.5cm。项目范围示意图如下图所示：



图 1 铁峰山实景三维项目作业范围

铁峰山森林公园位于重庆市万州区北部、开州区西南部，公园距万州城区 7 公里，距开州城区 25 公里，属城郊型森林公园，总面积 9100 公顷。公园区位优势，交通方便，既有长江黄金水道，又有达万铁路、渝万高铁，还有便利的高速公路及不远的五桥机场。公园海拔为 530.0~1355.1 米，森林覆盖率 95%。由于地形落差非常大，并且森林覆盖率高，极大的增加了作业难度。铁峰山实景照片示意图如下：



图 2 铁峰山实景照片

## 2.2 基础资料

### (1) 控制资料

已有 CQCORS 覆盖整个测区，用于项目像控点测量、航摄 POS 联合平差解算。

### (2) 1:5000 地形图

现有 2012~2015 年测绘生产的 1:5000 比例尺 DLG 成果和 DEM 成果可完整覆盖项目范围。该批成果为 CGCS2000 坐标系统，高斯-克吕格 3° 投影，高程为 1985 国家高程基准，结合测区的范围图，可用于无人机航摄的航线设计等方面。

## 2.3 项目内容

项目内容主要包括以下几个方面：

### (1) 铁峰山森林公园违法建筑倾斜影像获取

利用倾斜摄影技术，项目采用飞马 D200 无人机搭载 D-OP300 五镜头倾斜相机，利用倾斜摄影及仿地变高技术，保持飞行相对高度 200 米，获取覆盖铁峰山森林公园十个楼盘 0.05 米分辨率的多视角倾斜影像。有效保证了航摄影像分辨率一致性，保证了建模精度及效果。飞马 D200 无人机及 D-OP300 相机示意图如下：



图 3 飞马 D200 无人机示意图



### D-OP300倾斜模块

相机数量	5
传感器尺寸	23.5×15.6mm
相机倾斜角度	45°
有效像素	2400万x5
镜头参数	中间25mm, 四周四个相机35mm
重量	1.45kg

**支持RTK免相控**

图 4 D-OP300 倾斜模块相机示意图

#### (2) 像片控制点测量

为保证项目成果精度，在项目范围内布设像控控制点，利用信息化控制测量技术，获取满足精度要求的像片控制点三维坐标，并整理、形成像控点测量成果。

### **(3) 实景三维模型制作**

利用遥感和摄影测量技术，将获取的倾斜影像和像控点测量成果进行数据处理，实施空中三角测量、实景三维模型生产、纹理映射等工作，制作覆盖项目范围的实景三维模型。

### **(4) 模型修饰及集成部署**

利用实景三维模型重建和数据集成技术，对制作的实景三维模型进行水面修饰，提升模型展示效果，并对实景三维模型进行集成部署，实现项目范围内地形地物自由角度浏览、可见要素测量和外部地理信息数据叠加等功能。

## **3 实施方案**

### **3.1 倾斜影像获取及像控点布设测量**

项目拟采用飞马无人机航摄平台，搭载 D-0P300 专业五镜头倾斜相机，获取铁峰山森林公园十个楼盘全范围的多视角倾斜摄影数据，用于制作实景三维模型。倾斜摄影数据采集技术路线分为接受任务、航飞准备、航空摄影、影像质量检查、像控点布设、成果整理与提交。

如下图所示：

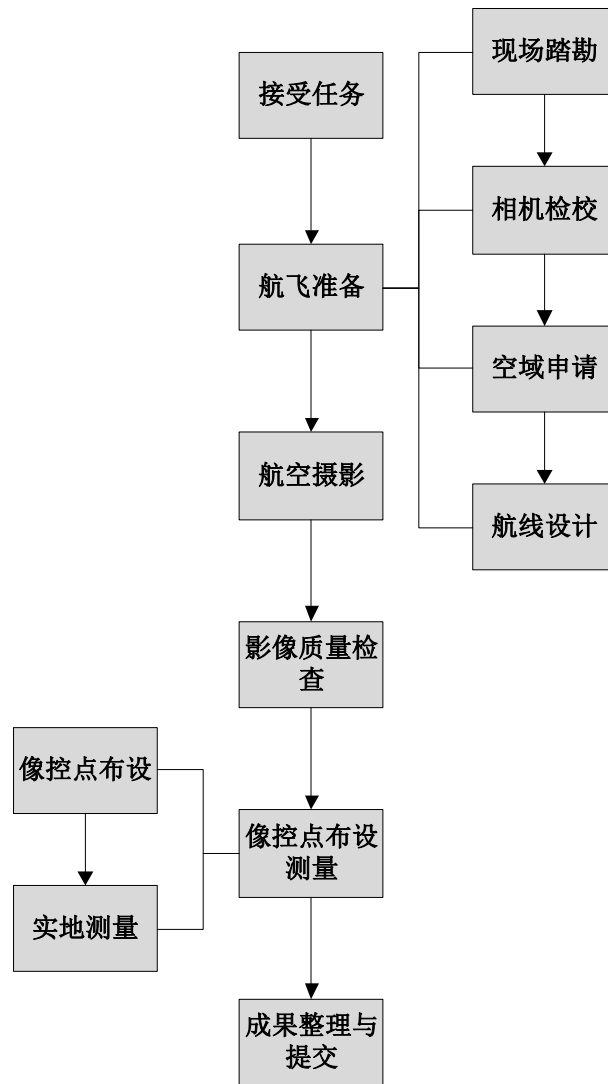


图 5 倾斜摄影数据采集技术路线

### (1) 接受任务

接受倾斜摄影数据采集任务，确认项目范围和航摄时间。

### (2) 航飞准备

#### ① 现场踏勘

由于项目范围内森林覆盖率极高，地形起伏较大，对航摄安全作业造成了极大的影响，因此必须进行现场踏勘，了解作业区域情况、选择起降场地、了解气象影响因素和重要设施分布，确定飞行区域的空域条件、信号有效距离、高压铁塔等障碍物对任务的适应性。

#### ② 相机检校

根据航摄需要，定期进行检校，获取相机参数，为影像纠正与精确拼接提供保证。

#### ③ 空域申请

由于目前我国对低空空域并未完全开放，在实施航摄任务前需要向空管部门（空军、民航安全监督管理局、民航空管局等）进行航飞申请。

#### ④ 航线设计

根据影像重叠度、分辨率、平台续航能力等设计飞行架次、摄区航线高度、航线间隔、巡航速度、每个曝光点的坐标、曝光时间间隔、影像最小分辨率。航线设计示意图：

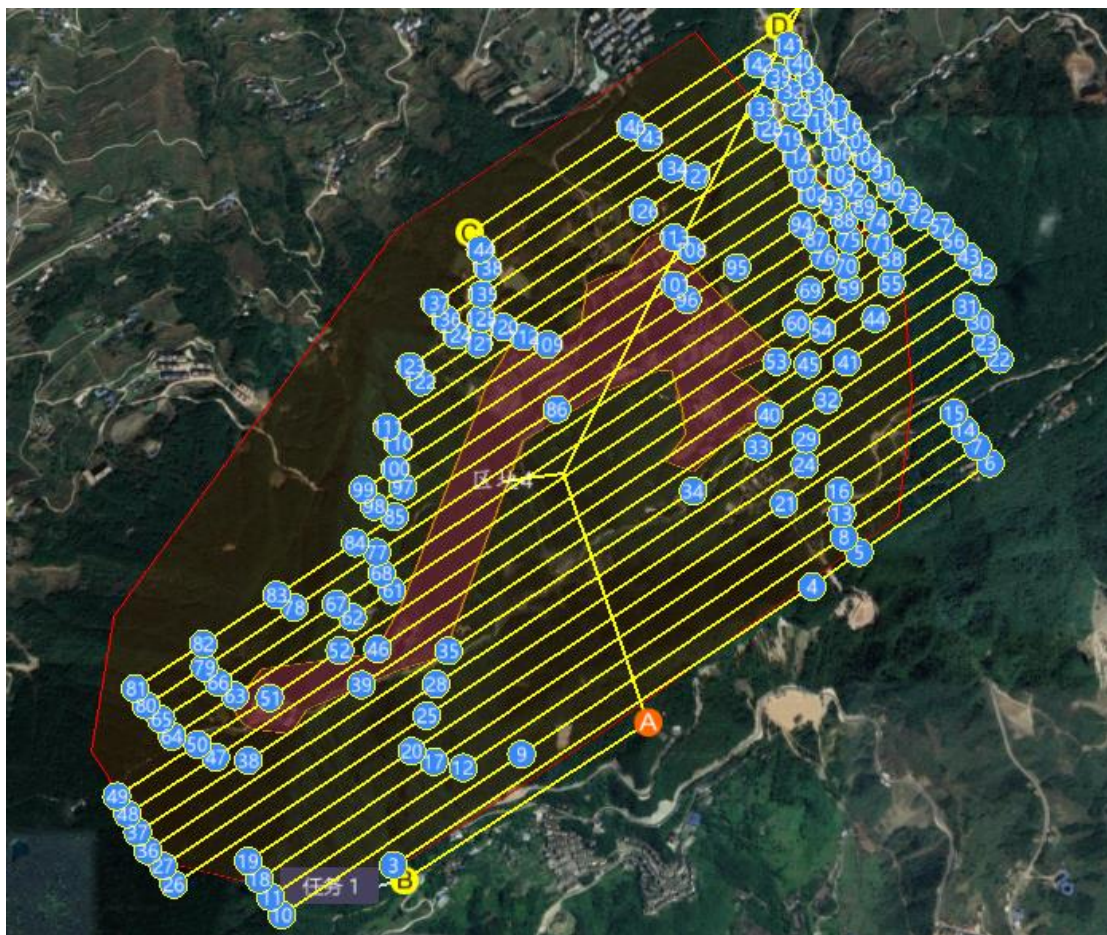


图 6 航线设计示意图



图 7 航线设计示意图

### (3) 航空摄影

在摄影过程中，要严密监控空中遥感系统飞行姿态参数，根据地形走势及风向，确定航摄方向，以满足不同高差对航摄的影响。通过航摄高度进行反演推算，航高做实时调整，以保证地形复杂、高差起伏大时航摄分辨率保持一致。

### (4) 影像质量检查

获取航摄影像后，及时对单张影像质量（影像是否有云、雾、雪，是否发虚）、影像命名进行快速浏览检查，对影像曝光点数与影像数是否相等、每条航线记录数与实际影像数是否一致、航线数与设计航线数是否一致进行检查，确保影像数与曝光点数、与每条航线记录数相一致，对不符合要求的，要进行补飞或重飞。单张影像示意图如下：





图 8 单张影像示意图

### (5) 像控点布设测量

#### ① 像控点布设：

为保证项目成果精度，在项目范围内布设像片控制点，像控点全部为平高控制点，不区分平面控制点和高程控制点。控制点布设航带内间隔约 10 条基线，航带间间隔 1 条航线。测区共布设 25 个像控点、11 个检查点。

#### ② 相片控制点测量精度：

像片控制点测量精度要求按照 GB/T 7931-2008 《1：500、1：1000、1：2000 地形图航空摄影测量外业规范》执行，即平高控制点相对临近基础控制点的平面位置中误差不超过地物点平面位置中误差的 1/5，平高控制点相对临近基础控制点的高程中误差不超过基本等高距的 1/10。

#### ③ 相片控制点观测：

本项目采用网络 RTK 技术进行像控点测量，执行如下观测要求。

##### 1) RTK 卫星的状态符合以下要求：

观测窗口状态	截止高度角 15° 以上的卫星个数	PDOP 值
良好	$\geq 6$	$< 4$

可用	5	$\geq 4$ 且 $\leq 6$
不可用	$< 5$	$> 6$

2) 观测次数、初始化次数和历元数均符合以下要求

等级	观测次数（不同时段）	每次观测初始化次数	每次初始化观测历元
像片控制测量	1	2	20

3) 每点均量取仪器高两次，两次读数差小于于 3 毫米，取中数输入 GNSS 控制手册中。RTK 经纬度记录精确至 0.00001"，平面坐标和高程记录精确至 0.001m，天线高量取精度至 0.001m。

4) 取各次测量的平面坐标和大地高中数作为最终成果。

④ 相片控制点解算：

项目生产范围内网络 RTK 信号较好，像片控制测量全部利用网络 RTK 进行联测平面，利用似大地水准精化模型进行高程改正得到 56 高程。成果精度均优于设计要求。

#### (6) 成果整理与提交

在一个摄区所有工作完成后，对该摄区航摄成果及像控点测量成果进行整理后提交使用。

### 3.2 实景三维模型制作

对采集倾斜摄影数据进行预处理后，利用专业倾斜影像处理软件，经过空三加密、三维建模等处理，得到项目范围内的实景三维模型，并应用集成技术和三维重建技术，并将实景三维模型进行修饰，便于后期应用、浏览。

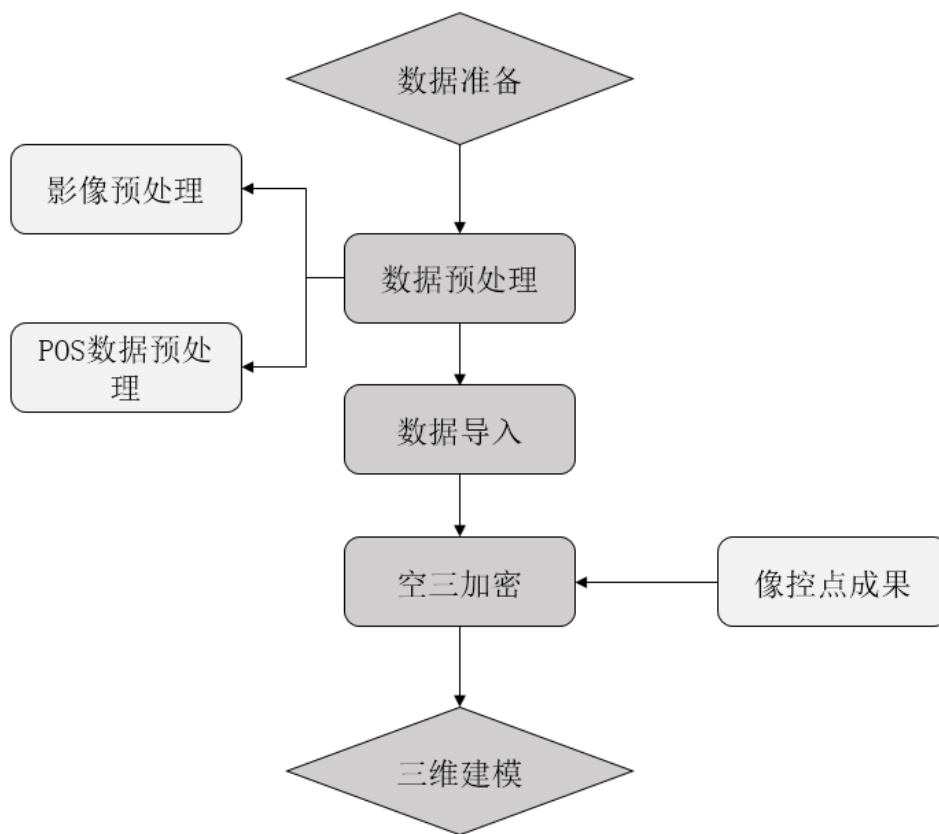


图 9 实景三维模型数据制作技术路线

### (1) 数据准备

数据准备是进行实景三维模型制作的前期准备工作，主要内容包括：

- ① 获取的倾斜影像；
- ② 航摄 POS 数据；
- ③ 航摄相机参数。

### (2) 数据预处理

在数据准备工作的基础上，针对数据准备内容，完成数据预处理工作。

#### ① 影像预处理

对获取的倾斜影像进行影像增强、匀光匀色等预处理，便于后期空三加密。

#### ② POS 数据预处理

对获取的 POS 数据进行编辑，保证 POS 数据点名与影像名一致，其格式符合软件要求。

### (3) 数据导入

按软件要求将经过预处理后的数据导入 ContextCapture 实景建模系统的工程文件中。

#### (4) 空三加密

首先依据初始 POS 数据，对倾斜影像进行无控制点空三加密；然后在工程文件中导入像控点坐标，并在每个像控点关联的影像上进行像控点点位标定，保证每个像控点的标定影像不少于 3 张，一般情况下应保证 6 张标定影像，然后进行带控制点空三加密。根据空三软件的误差报告显示，相对定向的统计结果为：上下视差中误差均小于 1/3 个像素，最大残差均小于 2/3 个像素，项目空三加密工作的相对定向精度满足相关规范和技术设计的要求。

#### (5) 三维建模

空三加密通过后，即可进行自动三维建模。依据需求选择输出模型的相关参数，包括模型格式、模型分块大小、模型坐标系及分块模型编号起算原点、输出模型质量等。并按要求进行了内外业检查，利用外业检查点对模型精度进行了检测，内业对产品模型纹理按参照比例尺 1:1000 下进行了质量检查。检查内容为：

##### ① 数学精度：

利用 11 个外业检查点检测平面精度和高程精度，检查结果如下：

产品名称		中误差（米）	最大误差（米）
实景三维模型	平面位置	0.15	0.53
	高程	0.19	0.80

##### ② 纹理精度：

- 大型标志性建筑外形完整表示，没有出现大型残缺；
- 住宅楼外形完整，无大面积残缺，楼宇之间无粘连；
- 道路完整表达，在无干扰区没有出现严重变形；
- 地貌无干扰区域真实准确。

以上质量检查表明，产品质量成果满足设计书要求。

### 3.3 实景三维模型集成

为了便于后期浏览应用，基于自主研发的 GeoKing 集景三维数字城市平台，利用自定义三维格式文件 GKF 对裁剪后的实景三维模型进行融合集成。实景三维模型集成示意图：



图 10 实景三维模型远景



图 11 实景三维模型近景

#### 4 结语

通过完成本项目了解到飞马 D200 无人机航摄平台，搭载 D-0P300 倾斜摄影相机用作任务支撑。具备软件、硬件、技术等几大优势，现作出如下几点介绍：

(1) 硬件方面：飞马无人机采用四旋翼布局尺寸相对较小，组装拆卸方便，机体使用寿命长，检修和维护简单；

(2) 软件方面：配置飞马管家一站式服务系统，有任务规划、飞行作业、数据解算、影像处理及快拼等多种功能，可以满足作业过程的全部需求。飞行平台配备高精度 GNSS 差分

设备，可以保持航线的稳定性并有效的减少地面控制点数量；

（3）任务载荷：可灵活搭载单镜头正射相机、D-OP300、D-OP400 两款倾斜摄影相机以及 D-LiDAR200 激光扫描仪；

（4）技术优势：能够定点精确起飞、降落，对起降场地的条件要求不高，全程通过机载计算机实现远程遥控，不需人为手动操作，减少飞行风险；

（5）飞行特点：有效作业时间长、机动性好、飞行姿态平稳，特别在仿地飞行任务中能够精确根据地形高程来设定飞行航线高度，从而保证了整个测区的数据一致性，提高了任务质量。

本文通过对多旋翼无人机进行倾斜摄影、正射影像快速制作、基于正射影像和三维实景模型结合规划竣工资料进行非法扩建构筑物识别、非法扩建构筑物巡查成果制作等全流程进行探索研究，形成了一套利用多旋翼无人机进行倾斜摄影辅助非法扩建构筑物巡查的技术体系，并成功在重庆市主城区、开州区等开展应用试验，通过对铁峰山森林公园开发现场核实，其准确度、精度及详细程度均优于人工核查和卫星遥感影像排查效果，为铁峰山森林公园十个楼盘整治非法扩建构筑物的工作找到切实可行的办法，并且在全区进行了推广，经媒体报道后在全区及全市产生巨大震慑作用，为落实《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》精神，“用5 年左右时间，全面清查并处理建成区非法扩建构筑物，坚决遏制新增非法扩建构筑物”工作的开展打下良好的基础。