

# 无人机倾斜摄影三维建模技术在违法建筑监察项目中的解决方案及应用

杜慧强

【河南前图测绘工程有限公司】

## 1 引言

倾斜摄影技术是国际测绘遥感领域近年发展起来的一项高新技术，通过同一飞行平台上搭载多台传感器，同时从垂直、倾斜等不同角度采集影像，获取地面物体更为完整准确的信息，它不仅能够真实反映地物情况，高精度获取物方纹理信息，还可以通过先进的定位、融合、建模等技术，生成真实三维模型。倾斜摄影测量技术以大范围、高精度、高清晰度的方式全面感知复杂场景，系统具备高性能协同并行处理能力，倾斜摄影三维数据可为国土、水利、智慧城市、规划、测绘等多种行业提供二三维一体化的数据来源。

## 2 项目背景

传统作业方法是卫片查违利用卫星拍摄开展土地执法监察工作(简称卫片执法)工作。然而，仅靠卫片执法在时效性和清晰度上都难以满足工作要求。卫片精度不足是卫片执法的另一大挑战。依靠卫片，部分地面建筑无法辨认，并且耕地、水源保护区等实地界线识别困难。此外，违法建筑伪装手段花样百出，令执法人员防不胜防。通过卫片难以发现通过隐藏、掩盖、伪装处理后的违法建筑。

为了有效解决查违力量不足和违建取证难问题我公司采用了新的执法工具——无人机倾斜摄影三维建模查违解决方案。



图1 卫片效果

图2 无人机航片效果

### 2.1 测区概况

测区位于周口市城区内，面积约0.3平方公里，该航飞区域四周有新建高楼，对无人机设计航线有一定的影响。



图3 航飞区域图

## 2.2 精度要求

测图比例尺	地面分辨率值 (cm)
1:500	1.5-5

表1 分辨率要求

本次摄影获取的影像用于完成比例尺 1:500 的三维建模、正射影像、房屋数据获取，要求航空影像的地面分辨率小于等于 5CM，本次项目中采用 GSD=1.5CM。

## 2.3 项目成果

- (1) 测区实景三维模型一套（数据格式为\*.osgb）
- (2) 测区正射影像图一套（数据格式为\*.tif）
- (3) 测区大比例尺地形图测图成果一套（数据格式为\*.dwg）

## 2.4 项目难点分析

本航飞区域外围有两处高层建筑，最近距离 12 米；本次航飞高度为 98 米，有撞楼的风险。

## 3 技术路线

### 3.1 工作流程

本项目采用无人机航摄的方案获取资料，根据业主提供的疑似违法图斑设计航线，并选取适宜起降场地进行无人机航空摄影，并布设测量相控点。航摄和像控作业完成后，进行空三加密、三维模型生产、数据处理提取面积等工作。

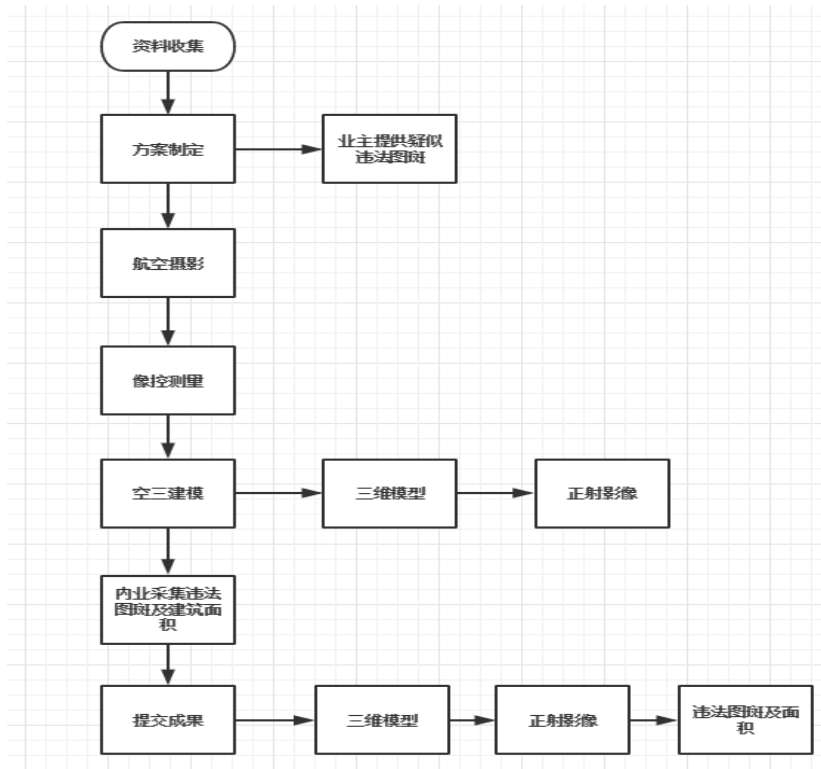


图4 作业技术流程

### 3.2 飞行方案

针对本项目的高精度项目需求，我司采用了飞马 D2000 多旋翼搭载 D-OP3000 倾斜测量模块的方式进行测区倾斜影像数据的获取。D2000 配备高精度差分 GNSS 板卡，同时标配网络 RTK、PPK 及其融合结算服务：支持高精度 POS 辅助空三，实现免像控应用，可大量减少外业控制点或一定条件下完全免像控的 1:500 航测成图，配合“飞马无人机管家”中精确地形跟随飞行功能，可保证获取影像分辨率的一致性。



图5 飞马 D2000 航测系统

名称	参数
控机重量	2.6kg
起飞重量	3.35kg/2.8kg
导航卫星	GPS, BeiDou, GLONASS
飞行器最大速度	20m/s
悬停时间	60min
最远航程巡航速度	13.5m/s
最长航时巡航速度	7.0m/s
悬停精度 RTK	水平 1cm+1ppm 垂直 2cm+1pm
差分 GPS 更新频率	20hz
最大起飞海拔高度	6000m
抗风能力	6级 (10.8-13.8m/s)
起降方式	无遥控器垂直起降
工作温度	-20-45°

表 2 飞马 D2000 飞行平台参数



图 6 D-OP3000 倾斜模块

名称	参数
相机型号	SONY a6000
传感器尺寸	23.5*15.6mm (apc-c)
有效像素	约 2430 万*5 像素
镜头焦距	25mm 定焦 (下视) 35mm 定焦 (倾斜)

表 3 D-OP3000 倾斜模块参数

### 3.2.1 航线设计

根据设计书要求的地面分辨率、测区最低点和最高点高程、重叠度要求，根据三维建模对地物各个立面都要获取足够重叠度的影像要求，结合客户提供疑似违法建筑图斑范围，利用飞马无人机管家设计飞往航线。结合 D2000 配备的前置毫米波雷达避障模块，可自动检测前方障碍物，提高安全等级，避免撞楼风险。





### 3.4 航飞实施

在飞机起飞前对飞机状况进行全面检查，确保参数无误后才能作业。无人机起飞后，时刻监控其飞行参数。



图 10 起飞前检查



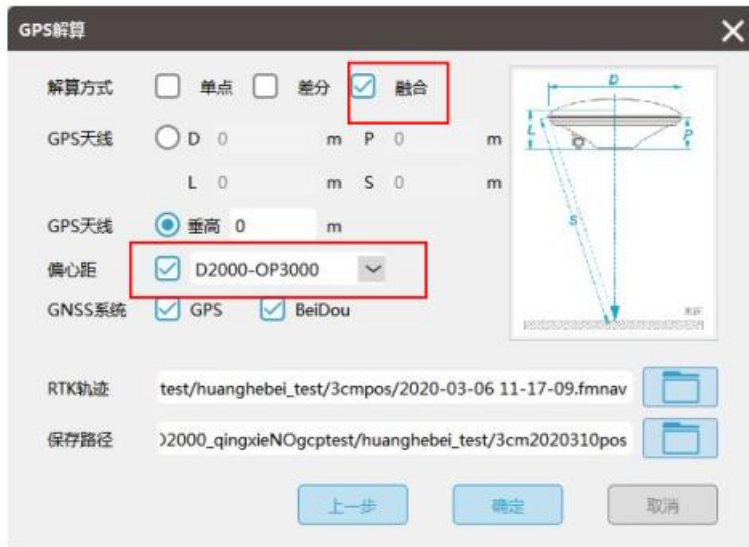
图 11 飞机升空

### 3.5 数据预处理

将获取的各个架次的 POS 数据与基站数据在无人机管家进行事后差分解算，解算后合并整理成需要的 POS 数据文件。将获取的照片和 POS 数据导入 Smart3D 软件进行空三加密，空三报告精度达到要求后导出空三成果。在 Smart3D 软件中导入获得的空三成果进行三维建模，输出 OSGB 格式的文件。

### 3.5.1 差分解算

利用飞马无人机管家“智理图”模块，对飞马 D2000 获取的差分 POS 观测数据进行融合差分 GPS 结算，得到五组相机精确 POS，再通过七参数将 WGS84 坐标转换为控制点所在的坐标系，保证坐标统一，才能发挥高精度 POS 作用。



名称	修改日期	类型	大小
base	2020/9/16 星期三 18:...	文件夹	
download	2020/9/16 星期三 18:...	文件夹	
log	2020/9/16 星期三 18:...	文件夹	
upload	2020/9/16 星期三 18:...	文件夹	
2020-05-05 11-44-39.20C	2020/5/6 星期三 11:36	20C 文件	12 KB
2020-05-05 11-44-39.20G	2020/5/6 星期三 11:36	20G 文件	4 KB
2020-05-05 11-44-39.20N	2020/5/6 星期三 11:36	20N 文件	9 KB
2020-05-05 11-44-39.20O	2020/5/6 星期三 11:36	20O 文件	37,919 KB
2020-05-05 11-44-39.bin	2020/5/6 星期三 8:29	BIN 文件	13,540 KB
2020-05-05 11-44-39.fmcompb	2020/5/6 星期三 8:29	FMCOMPB 文件	15,100 KB
2020-05-05 11-44-39.fmnav	2020/5/6 星期三 8:29	FMNAV 文件	1,289 KB
2020-05-05 11-44-39.fmnav.trj	2020/5/6 星期三 11:43	TRJ 文件	740 KB
2020-05-05 11-44-39.fpos	2020/5/6 星期三 8:29	FPOS 文件	23 KB
2020-05-05 11-44-39_all.fpos	2020/5/6 星期三 8:29	FPOS 文件	23 KB
2020-05-05 11-44-39_all.txt	2020/5/6 星期三 11:43	文本文档	788 KB
2020-05-05 11-44-39_cam1_pos.txt	2020/5/6 星期三 11:43	文本文档	16 KB
2020-05-05 11-44-39_cam2_pos.txt	2020/5/6 星期三 11:43	文本文档	16 KB
2020-05-05 11-44-39_cam3_pos.txt	2020/5/6 星期三 11:43	文本文档	16 KB
2020-05-05 11-44-39_cam4_pos.txt	2020/5/6 星期三 11:43	文本文档	16 KB
2020-05-05 11-44-39_cam5_pos.txt	2020/5/6 星期三 11:43	文本文档	16 KB
2020-05-05 11-44-39_config.txt	2020/5/6 星期三 11:43	文本文档	1 KB
2020-05-05 11-44-39_pos.txt	2020/5/6 星期三 11:43	文本文档	11 KB
2020-05-05 11-44-39_rtk_pos.txt	2020/5/6 星期三 11:43	文本文档	11 KB

图 12 差分结算界面

### 3.5.2 空三加密

通过瞰景公司的 Smart3D 软件进行数据处理，将预处理完成后的基础数据导入 Smart3D 软件平台，进行新建工程、参数设置、提交空三等系列环节。

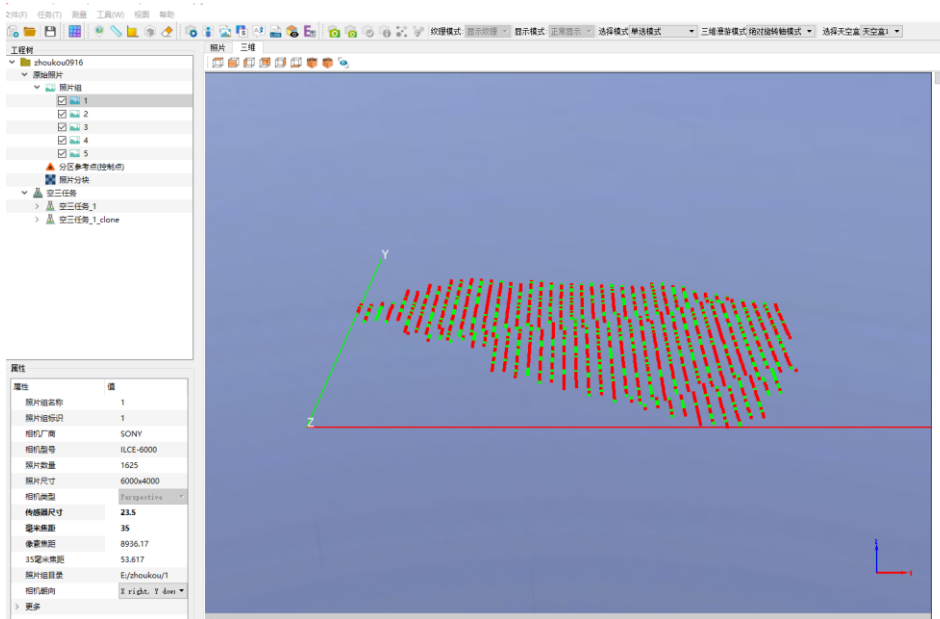


图 13 空三设置界面

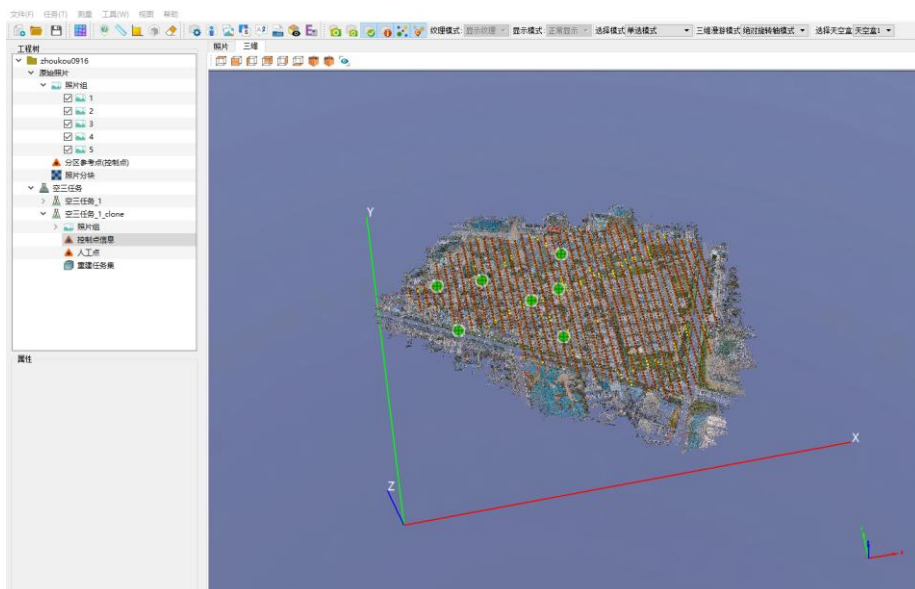


图 14 空三完成



控制点								
控制点误差								
名称	类型	照片数	精度(米)	RMS (像素)	RMS (米)	三维误差(米)	水平误差(米)	高程误差(米)
Pt1	水平+垂直	37	水平:0.01 高程:0.01	0.0448475	0.0141664	0.000753835	0.00073074	0.000185165
Pt2	水平+垂直	43	水平:0.01 高程:0.01	0.133125	0.0149962	0.00223703	0.00221184	0.000334782
Pt3	水平+垂直	27	水平:0.01 高程:0.01	0.0530839	0.0170353	0.000901272	0.000770666	-0.000467296
Pt4	水平+垂直	62	水平:0.01 高程:0.01	0.121467	0.015143	0.00210423	0.00207946	0.000321936
Pt5	水平+垂直	63	水平:0.01 高程:0.01	0.149424	0.0149948	0.00254531	0.00253911	-0.000177575
Pt6	水平+垂直	61	水平:0.01 高程:0.01	0.0646525	0.0221403	0.0012133	0.00108018	0.000552547
Pt7	水平+垂直	50	水平:0.01 高程:0.01	0.0742673	0.0162442	0.0015238	0.00141981	-0.000553281
<b>RMS</b>				0.0995194	0.0165788	0.00173557	0.00168921	0.00039845
中位数				0.0742673	0.015143	0.0015238	0.00141981	0.000185165

图 15 像控点精度表

### 3.6 数据生成

#### 3.6.1 高精度实景三维模型生成

利用 Smart3D 软件，做完空三后提交重建任务，最终输出 OSGB 格式的具有真实纹理的高分辨率实景三维模型。

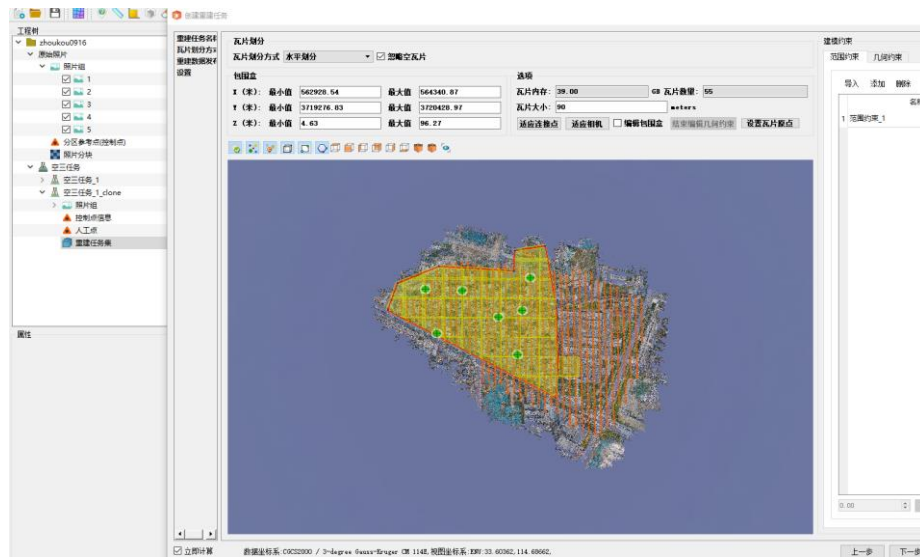


图 16 重建模型设置



图 17 局部模型展示

### 3.6.2 正射影像图制作



图 18 DOM 展示

### 3.6.3 内业采集

在 EPS 地理信息工作站软件系统中，将获取的 OSGB 格式的文件生成倾斜模型，然后加载生成的倾斜模型进行裸眼立体采集。将 EPS 采集的最终数据采用 CASS9.2 进行编辑，按地物、地貌要素，以点、线、面符号进行分类作业。编辑时均处理好了各要素的关系，各要素之间关系表示完整、合理、清晰，分层正确，根据甲方要求在图中标注所需的面积标识。

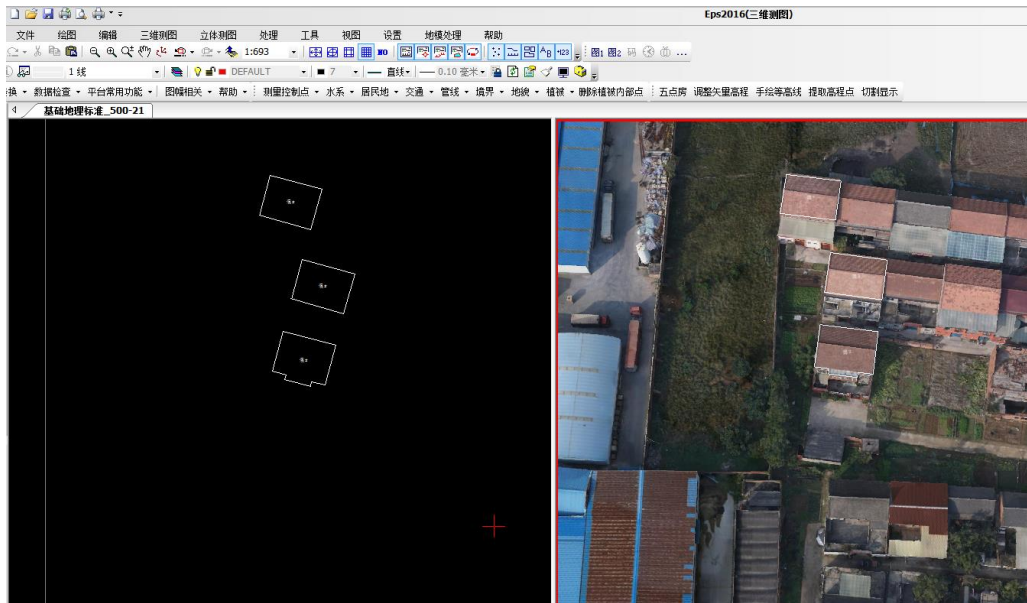


图 19 采集违法建筑

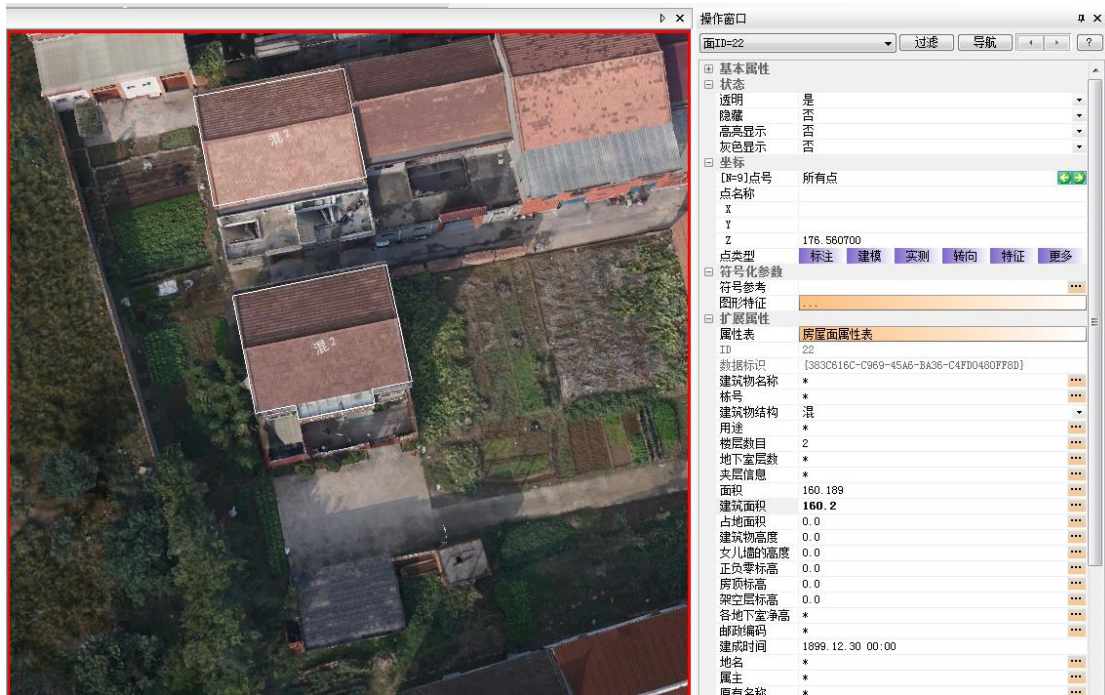


图 20 获取违法建筑面积

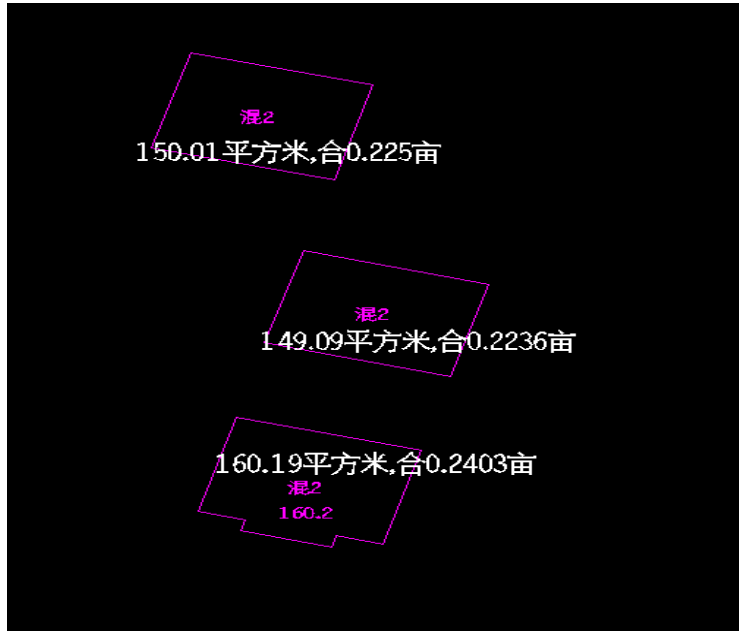


图 21 违法建筑图斑面积

序号	项目	数量
1	正射影像图	0.35 平方公里
2	倾斜模型	0.35 平方公里
3	1: 500 地形图	1 个村
4	疑似违法建筑图斑	16 个
5	建筑面积分类汇总表	1 份

表 4 完成工作量统计表



### 3.6.4 精度检核

村庄名称: xxxxx

检查方式: 全站仪

序号	点号	检查坐标		原测坐标		坐标分量较差		统计数据	
		X 值	Y 值	X 值	Y 值	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta L$	$\Delta L^2$
1		xxx577.308	xxxx00.3677	xxxx577.323	xxxx00.381	-0.0150	-0.0130	0.0004	0.0198
2		xxxx566.412	xxxx02.4978	xxxx566.399	xxxx02.491	0.0130	0.0070	0.0002	0.0148
3		xxxx569.516	xxxx18.0045	xxxx569.503	xxxx18.019	0.0130	-0.0140	0.0004	0.0191
4		xxxx568.31	xxxx22.1778	xxxx568.298	xxxx22.162	0.0120	0.0160	0.0004	0.0200
5		xxxx555.31	xxxx20.9639	xxxx555.321	xxxx20.955	-0.0110	0.0090	0.0002	0.0142
6		xxxx560.496	xxxx36.8505	xxxx560.507	xxxx36.837	-0.0110	0.0140	0.0003	0.0178
7		xxxx556.346	xxxx47.1291	xxxx556.333	xxxx47.146	0.0130	-0.0170	0.0005	0.0214
8		xxxx536.954	xxxx59.4039	xxxx536.942	xxxx59.391	0.0120	0.0130	0.0003	0.0177
9		xxxx540.755	xxxx76.7709	xxxx540.742	xxxx76.762	0.0130	0.0090	0.0002	0.0158
10		xxxx525.293	xxxx82.6109	xxxx525.309	xxxx82.599	-0.0160	0.0120	0.0004	0.0200
11		xxxx531.481	xxxx94.4317	xxxx531.474	xxxx94.415	0.0070	0.0170	0.0003	0.0184
12		xxxx522.65	xxxx91.0149	xxxx522.633	xxxx91.008	0.0170	0.0070	0.0003	0.0184
13		xxxx524.78	xxxx 08.5645	xxxx524.763	xxxx08.544	0.0170	0.0210	0.0007	0.0270
14		xxxx513.673	xxxx 07.4423	xxxx513.686	xxxx07.458	-0.0130	-0.0160	0.0004	0.0206
15		xxxx519.606	xxxx20.1979	xxxx519.623	xxxx20.209	-0.0170	-0.0110	0.0004	0.0202
16		xxxx506.451	xxxx23.5554	xxxx506.439	xxxx23.543	0.0120	0.0120	0.0003	0.0170
17		xxxx510.904	xxxx36.0592	xxxx510.888	xxxx36.071	0.0160	-0.0120	0.0004	0.0200
18		xxxx498.904	xxxx38.6017	xxxx498.890	xxxx38.617	0.0140	-0.0150	0.0004	0.0205
19		xxxx499.864	xxxx56.6812	xxxx499.875	xxxx56.666	-0.0110	0.0150	0.0003	0.0186
20		xxxx486.852	xxxx60.2279	xxxx486.863	xxxx60.242	-0.0110	-0.0140	0.0003	0.0178
21		xxxx491.732	xxxx73.7576	xxxx491.751	xxxx73.774	-0.0190	-0.0160	0.0006	0.0248
22		xxxx471.467	xxxx86.4808	xxxx471.454	xxxx86.502	0.0130	-0.0210	0.0006	0.0247
23		xxxx472.083	xxxx13.7857	xxxx472.072	xxxx13.801	0.0110	-0.0150	0.0003	0.0186
24		xxxx466.266	xxxx02.8961	xxxx466.252	xxxx02.909	0.0140	-0.0130	0.0004	0.0191
25		xxxx465.971	xxxx25.1981	xxxx465.992	xxxx25.204	-0.0210	-0.0060	0.0005	0.0218
26		xxxx444.654	xxxx41.2916	xxxx444.667	xxxx41.276	-0.0130	0.0160	0.0004	0.0206
中误差 $M = \sqrt{\sum (\Delta L^2) / 2N} = 0.097$						粗差率: 0%			

表 5 精度检核表

## 4、数据应用

### 导入无人机航拍遥感大数据管理平台

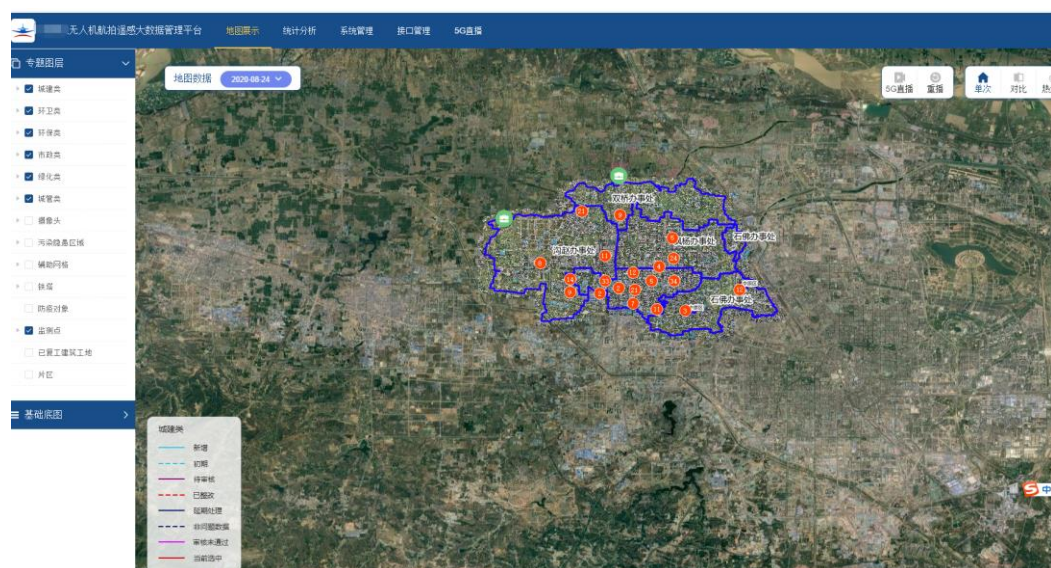


图 23 无人机电拍遥感大数据管理平台

将做好的三维模型和 DOM 数据导入无人机电拍遥感大数据管理平台，利用平台内的大数据样本库进行匹配分析，初步筛选出疑似违法建筑以及该区域内的其他信息。可以分为以下几类。

### 4.1 城建类

城建类可以根据更新的三维模型和影像数据实施更新工程进度、违章建筑、非法占地以及城市拆迁



图 24 工程进度分析图



## 4.2 环卫类

环卫类可以细分为生活垃圾和建筑垃圾。依据大平台分析整理出来的数据可以随时查看该区域内的垃圾分布情况。



图 25 生活垃圾分析图

## 4.3 环保类

环保类主要分为黄土裸露。

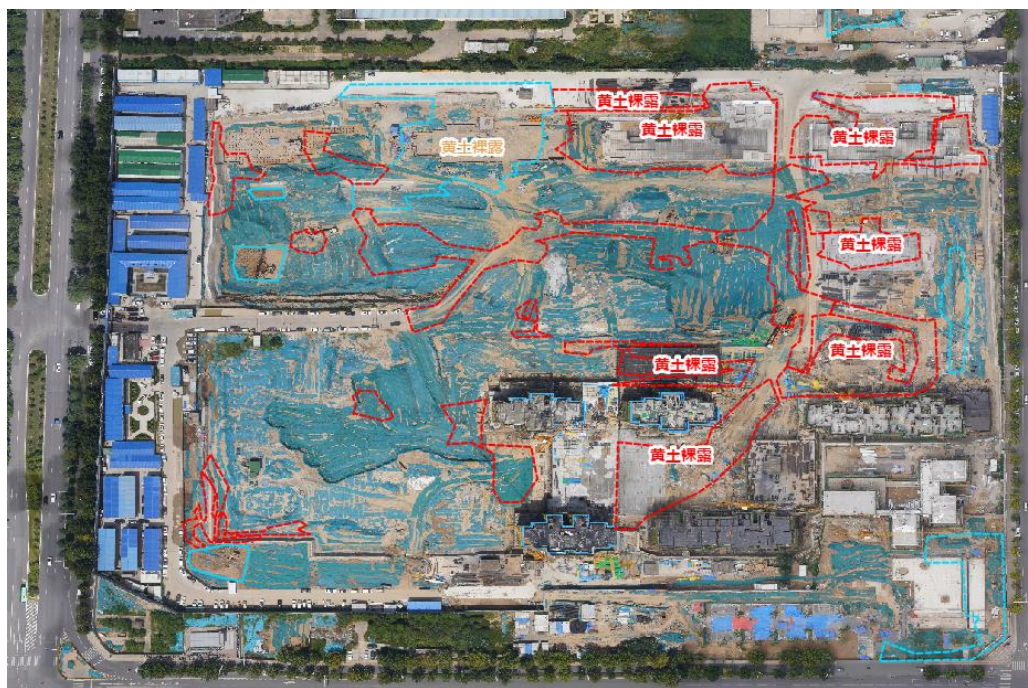


图 26 黄土裸露分析图



## 4.4 市政类

市政类分为路桥建设、道路掘动以及道路破损。

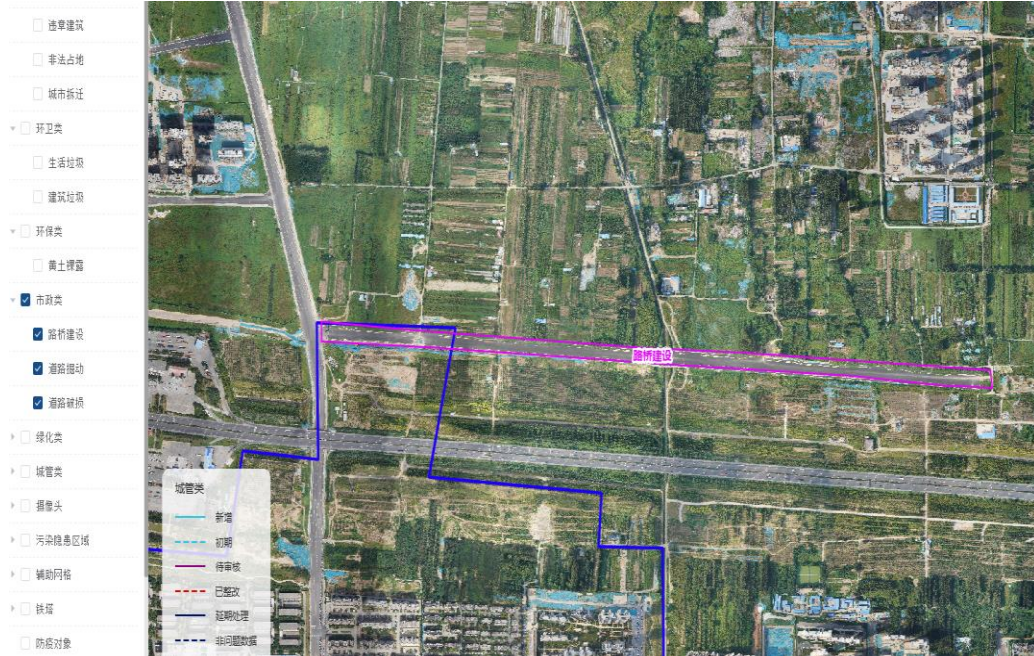


图 27 路桥建设分析图

## 4.5 城管类

城管类分为私设摊点、道路占压以及私搭乱建。



图 28 私搭乱建分析图



## 4.6 摄像头和监测点

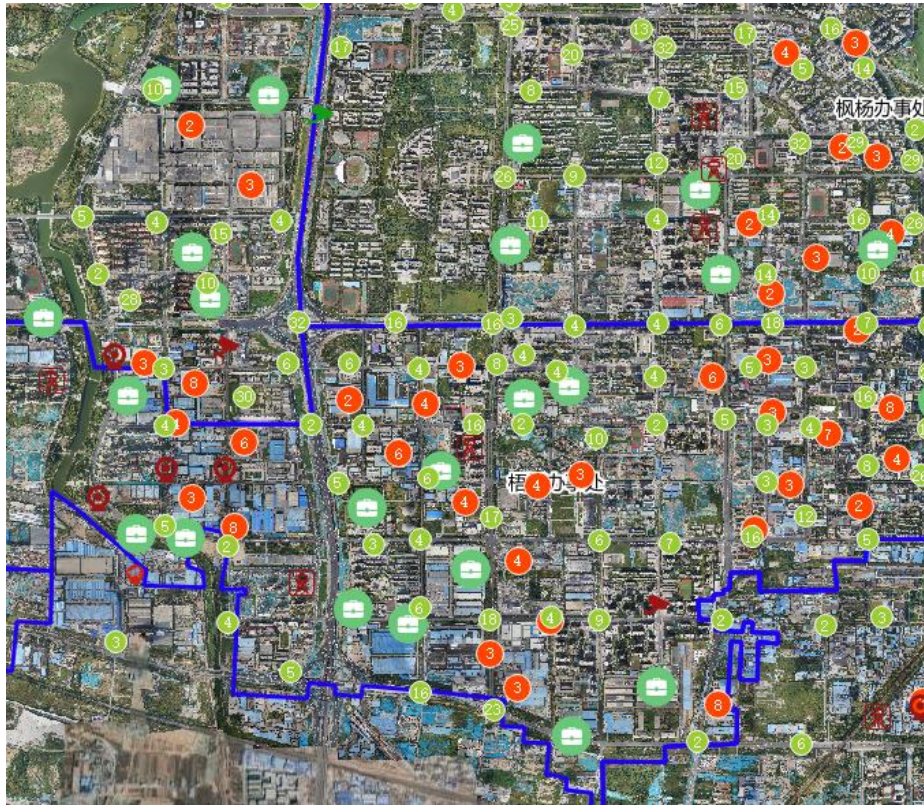


图 28 区域点位分布图

## 4.7 统计分析图

项目类型	期初(㎡)	本月新增(㎡)	累计整改(㎡)	累计未整改(㎡)	累计整改率
私搭乱建	12613.23	0.00	32650.72	11676.13	74%
道路破损	113.15	0.00	5643.51	0.00	100%
建筑垃圾	706256.13	146277.07	1523106.96	626768.75	71%
路桥建设	79604.52	0.00	1028311.72	79309.16	93%
黄土裸露	3873868.91	1042926.45	11678432.80	2298317.91	84%
工程进度	621260.50	0.00	5873302.29	500749.02	91%
私设摊点	2068.55	0.00	2549.64	135.05	95%
毁绿移植	426.30	0.00	109732.46	426.30	99%
违章建筑	1940.99	0.00	1632.21	1940.99	46%
生活垃圾	221067.76	23931.86	716707.37	148783.07	83%
道路掘动	55.98	0.00	6280.97	55.98	99%
非法占地	0.00	0.00	75263.71	0.00	100%
城市拆迁	632658.50	0.00	1441784.79	507371.43	71%
垃圾遗撒	20248.59	27291.76	264162.04	40937.98	87%

## 5 总结

本项目采用飞马 D2000 多旋翼无人机搭载 D-0P3000 倾斜测量模块的方式进行测区倾斜影像数据获取，能够在较短的时间生产高质量、高精度的模型成果，并在此基础上进行疑似图斑采集以及建筑面积获取。此方式可减少大量的外业工作量，将以往卫片查违利用卫星拍摄开展土地执法监察工作转变为内业作业的方式。可为违法监察、拆迁评估等工作提供更加丰富、真实、时效性强的基础地理信息数据，整体效果远优于传统测。