

# 倾斜摄影测量在房地一体项目中的应用

## ——飞马 D2000 倾斜摄影平台免像控模式的测试

作者：汤明亮 15994417908

单位：广西壮族自治区地图院

### 目录

倾斜摄影测量在房地一体项目中的应用 .....	1
——飞马 D2000 倾斜摄影平台免像控模式的测试 .....	1
1 应用的背景 .....	3
2 无人机倾斜摄影测量技术 .....	3
2.1 项目基本情况及要求 .....	3
2.2 项目的基本思想和技术流程 .....	4
2.3 外业像控点布设 .....	5
2.4 外业飞行方案设计 .....	6
2.4.1 飞行系统的选择 .....	6
2.4.2 航线规划方案设计 .....	7
2.5 外业航飞 .....	9
2.6 基于 ContextCapture 软件的三维模型及 DOM 制作 .....	10
2.7 矢量数据采集 .....	11
2.8 项目成果数据精度分析 .....	12
3 无像控方案的测试 .....	14
3.1 无像控方案测试的背景及意义 .....	14

3.2 基于无像控倾斜摄影的农村房地一体测量技术 .....	14
3.3 航飞方案设计.....	15
3.4 无像控模型生成及矢量图的采集.....	15
3.5 校正点采集.....	15
3.6 矢量化图的空间校正.....	16
3.7 实验数据分析及结论.....	16
4 总结与展望 .....	17
4.1 总结 .....	17
4.2 展望 .....	18

# 1 应用的背景

为贯彻落实《中共中央 国务院关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见》（中发〔2019〕1号）“加快推进宅基地使用权确权登记颁证工作，力争2020年基本完成”的精神，全国各地开展了房地一体的不动产登记工作。近年来，各地按照党中央部署，稳步推进，取得了积极进展。但全国宅基地数量大、情况复杂，一些地方还存在农村地籍调查基础薄弱、登记资料管理不规范和信息化程度低等问题。尤其受新冠肺炎疫情影响，部分地方推进工作受阻，增加了按时完成任务的难度。如使用传统测量技术则会有工作任务重、效率低、周期长及成本高等缺点，另外传统测量获得的测绘成果比较单一，无法满足测量的多个需求。

我院参与了崇左市扶绥县房地一体不动产权籍调查工作，为确保今年底完成此项任务，结合现有的农村房地一体测量技术的缺点和倾斜摄影测量技术的发展情况，我院采用了无人机倾斜摄影测量。我院在完成此项目的过程中得到一些经验和启发，在此以论文形式与行业内朋友进行探讨交流。

## 2 无人机倾斜摄影测量技术

### 2.1 项目基本情况及要求

本院承担了扶绥县的新宁镇、邕盆乡、渠黎镇、山圩镇、东门镇五个乡镇的房地一体调查工作，为顺利按时完成该项目我院计划利用无人机倾斜摄影技术，对扶绥县的五个乡镇进行调查。按照广西农村“房地一体”不动产权籍调查技术细则要求，其中主要精度指标如下表所示：

表 1 无人机倾斜摄影测量法界址点（房角点）的精度

级别	相对于邻近控制点的点位误差，相邻界址点或房角点间距误差 (cm)	
	中误差	允许误差
二	±5.0	±10.0
三	±7.5	±15.0

注：一般农村房屋执行三级。

## 2.2 项目的基本思想和技术流程

本项目的基本思想是飞行区域内先布设像控点，然后利用 RTK 连接广西 cors 进行坐标测量。之后利用带 pos 系统的五镜头倾斜测量无人机进行外业航飞获取影像数据，制作 DOM 和三维模型，然后在三维模型上采集成果数据，通过成果数据与检查点的实测数据精度对比来验证数据的可靠性。整体技术流程如下图所示：

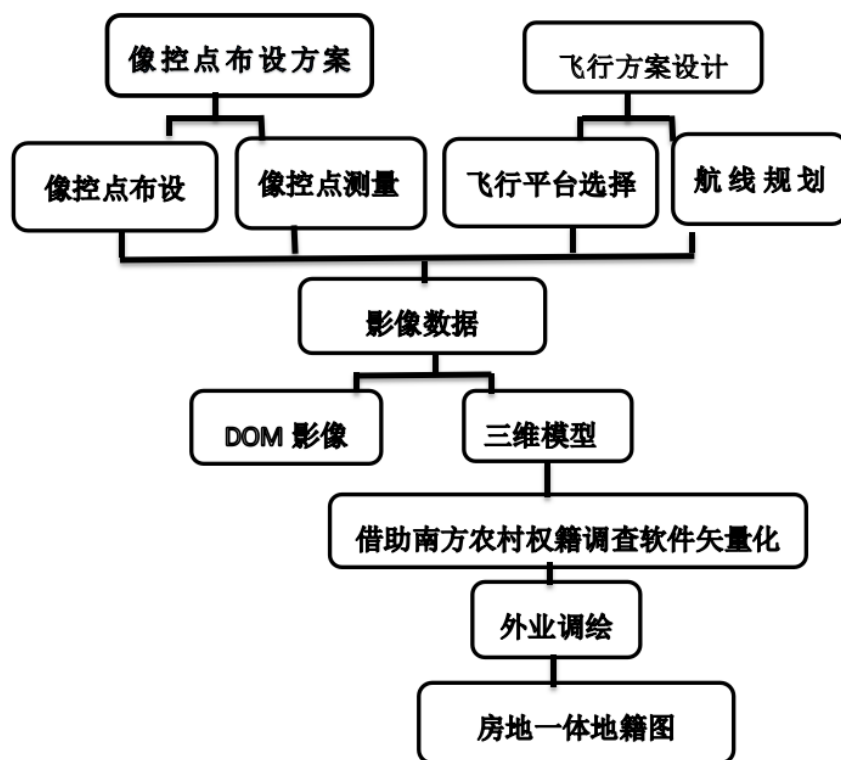


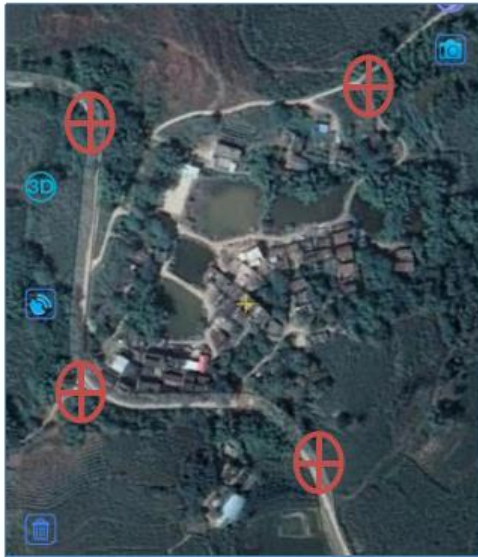
图1

## 2.3 外业像控点布设

传统的无人机外业像控点的布设要求在测区内均匀布设像控点,而且布设的密度要求非常大,这样不但不方便实施而且大大影响了项目的实施速度。因此我们采用了飞马 D2000 无人机平台,该平台自带高精度 pos 系统,在保证精度的同时可以大大减少像控点布设密度。

本项目的村庄一般小于 0.5km<sup>2</sup>,因此我们选择在村庄四周均匀布置 4 到 5 个像控点。像控点测量则采用 RTK 连接广西 cors 系统进行作业,并对测得的大地高数据进行解算,得到 1985 国家高程。像控点布设与测量如下图:

像控点布设



像控点测量



图2

## 2.4 外业飞行方案设计

外业飞行方案设计包括飞行系统的选择和航线规划方案设计,飞行方案的设计直接影响影像的质量和效率,因此合理设计外业飞行方案是将倾斜摄影测量技术应用到农村房地一体测量中的关键步骤。

### 2.4.1 飞行系统的选择

飞行系统的选择是根据拍摄区域的范围和特点来选择的,农村房地一体测量主要是以村为单位,测量的单个面积比较小,例如扶绥县的单个村落面积一般在 0.5km<sup>2</sup> 以下,其位置分布散乱且范围较广,不适合选用大型倾斜摄影测量飞行系统。因此轻小型旋翼无人机和五镜头飞行系统更有优势,综合本次项目的特殊性,我院选择采用飞马 D2000 无人机搭载倾斜摄影五镜头 D-OP3000 进行作业。设备主要参数如下表:

表2 飞马D2000型四旋翼无人机主要技术参数

技术指标	参数
展开尺寸	523×523×278mm (螺旋桨、机臂均展开)
对称电机轴距	598mm
起飞重量	3.5kg (含载荷)

作业高度	100-400m
控制半径	5km
续航时间	65min
工作飞行速度	13.5m/s
最大可承受风力	5级
差分模式	RTK/PPK 模式
起降方式	垂直起降模式
飞行方式	自主飞行、手控飞行

表3 飞马D-OP3000型五镜头摄影模组主要参数

飞马 D-OP3000 型五镜头 (A6000L×5) 摄影模组	
技术指标	参数
镜头数量	5
传感器尺寸	23.5mm×15.6mm
焦距	25mm (正视) 35mm (斜视)
有效像素	2400 万×5
重量	1.5kg
相机倾斜角度	45°

## 2.4.2 航线规划方案设计

航线规划涉及几个重要的参数，包括地面分辨率、飞行速度、影像重叠度、航高、云台倾斜角度等。

### (1) 地面分辨率 (GSD) 设计

按照广西农村“房地一体”不动产权籍调查技术细则要求，一般农村房屋采用无人机倾斜摄影测量法界址点（房点）的精度为±7.5cm。考虑到刺点和像控点测量误差等因素，3倍 GSD 因小于 7.5cm，因此计划将 GSD 精度定为 2.2CM。

## (2) 航高设计

按照航高与地面分辨率（GSD）的关系如式中：

$$H = \frac{f \times GSD}{a}$$

其中：H 为飞行高度，单位为米（m）；

f 为相机镜头的焦距，单位为毫米（mm）；

a 为相机<sup>镜</sup>像元的边长，单位为毫米（mm）；

GSD 为影像地面分辨率，单位为米（m）。

以飞马 D2000 所携带的相机 D-OP3000 为例，其镜头焦距为 6406.812 个像素,像元的大小为 3.9um。通过计算飞行的航高约为 140 米左右。此次航飞任务为农村地区，所建房屋均为低矮建筑，140cm 的飞行高度完全可以避开建筑物，此外飞马无人机安装的避障雷达，也可以进一步保障飞行安全。飞马无人机系统还提供了变高飞行功能，通过 DEM 数据判断地形起伏，然后调整飞行高度，达到变高飞行从而保障了飞行精度的同时又确保了飞行安全。

## (3) 航线设置

一般规定航向重叠度为 60%，至少不低于 53%，当地面起伏较大时，还应增大重叠度。随着航空数码相机的应用，现在低空摄影测量特别是倾斜摄影测量的航向重叠已经在 70% 以上，旁向重叠也大于 60%。重叠度越高，相邻两张影像上的同名地物点也就越多，匹配的同名点数量也就越多，定位精度也就越高，但是重叠度的增加又会导致影像的数量增多，增加了内业数据处理的工作量，为了兼顾定位精度和作业效率通常将影像重叠度分别设置成 80%和 70%，重叠度与影像数量的关系如图：



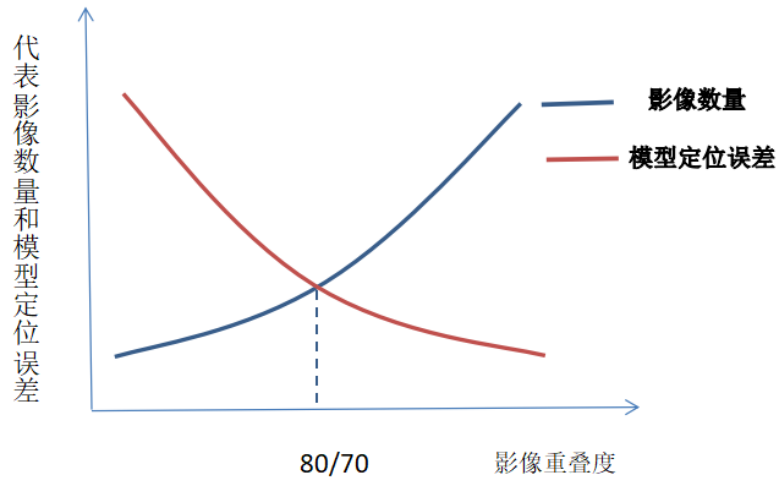


图3

#### (4) 航摄区域划定及联合航线运用

航线规划方案的设计首先要确定航摄区域，本文选择扶绥县东门镇忙桑屯和派吉屯为例。忙桑屯面积约 0.06km<sup>2</sup>，派吉屯面积约 0.07km<sup>2</sup>，两个屯相距 1.5 公里，本次航飞计划使用飞马无人机平台中的联合航线进行航飞。下图为飞马无人机管家联合航线设置的图片：

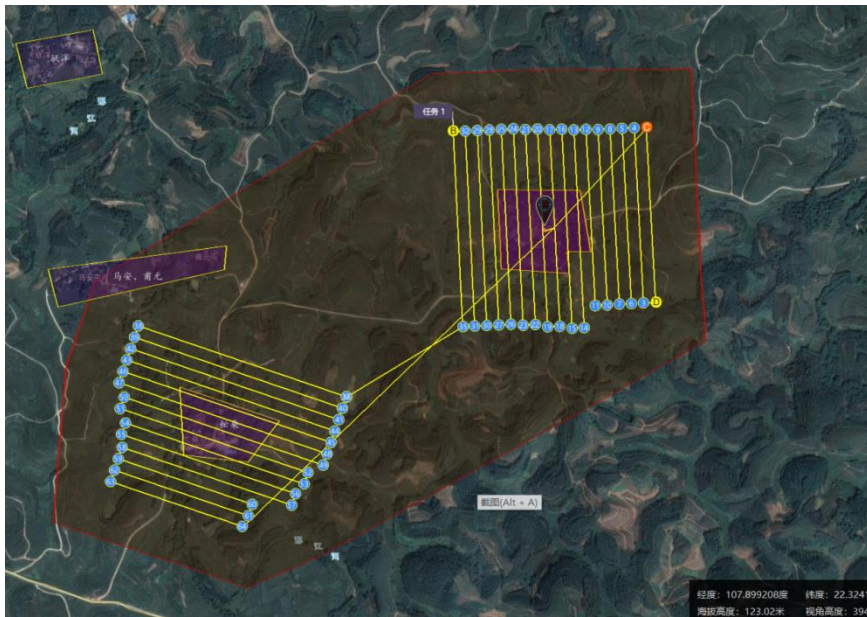


图4

## 2.5 外业航飞

本次航飞采用 D2000 自带千寻系统进行导航飞行，设置时选择 8003 通道（国家 2000 坐标系）。现场航摄作业时，飞机组装完成后，根据飞马无人机管家的提示进行一系列严格

的检查，在确保安全的情况下升空开始作业。飞机升空作业后，会按照预先设好参数进行自动飞行，期间飞手在地面站对飞机工作状态进行实时监控，时刻关注电池电量、飞机的飞行姿态、航高及速度等指标。航摄完成后下载 POS 数据并对航摄影像进行检查和整理，确保 POS 信息无遗漏，影像清晰。

## 2.6 基于 ContextCapture 软件的三维模型及 DOM 制作

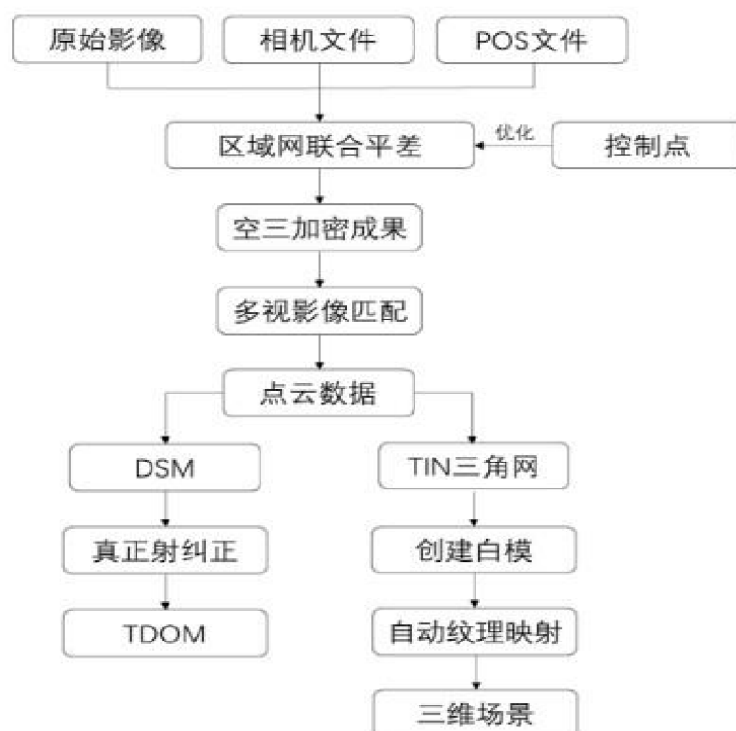


图5

维模型的制作利用 ContextCapture 软件。制作三维模型的数据处理流程主要有影像数据的整理（包括影像数据，控制点数据和 POS 数据），建立工程，导入影像，刺像控点，设置相关参数，提交空三任务，利用点云数据构造三角网以及自动纹理贴图等八个方面，三维模型成果图如下图：



图6

## 2.7 矢量数据采集

南方农村权籍调查软件可支持实景三维矢量数据采集，同时该软件支持宗地图、宗地草图、分户图、地籍调查表、房产调查表的输出。因此本次项目采用该软件进行矢量数据采集。采集结果如下图：



图7

## 2.8 项目成果数据精度分析

为了验证在三维模型采集的数据成果是否满足农村地籍测量规范的精度要求,在这两个屯区域二选取了 10 个房角点 (点 f1~f10), 它们都是宅基地的边界点而且均匀的分布在实验区域内, 利用 RTK 测量这 10 个检查点坐标, 为了减少偶然误差对实验结果的不利影响, 分别对每个检查点采集 10 次数据以平均值作为此处坐标的真值, 再结合成果中这 10 处的量测坐标值求取每处检查点点位中误差, 其计算公式如下:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2}{n}}$$

式中  $x_i, y_i$  为在三维模型上第  $i$  次采集的平面坐标值;  $X, Y$  为检查点的实测值,  $n$  为采集的次数;  $m$  为该检查点点位中误差; 本文以各检查点点位中误差的平均值作为衡量三维模型整体精度指标, 其精度统计结果如表:

表4

检查点号	中误差 (m)
f1	0.043
f2	0.035
f3	0.050
f4	0.048
f5	0.051
f6	0.049
f7	0.039
f8	0.044
f9	0.041
f10	0.053
检查点平均中误差	0.045
检查点最大中误差	0.053

项目区域检查点平面点位中误差折线图如图 :

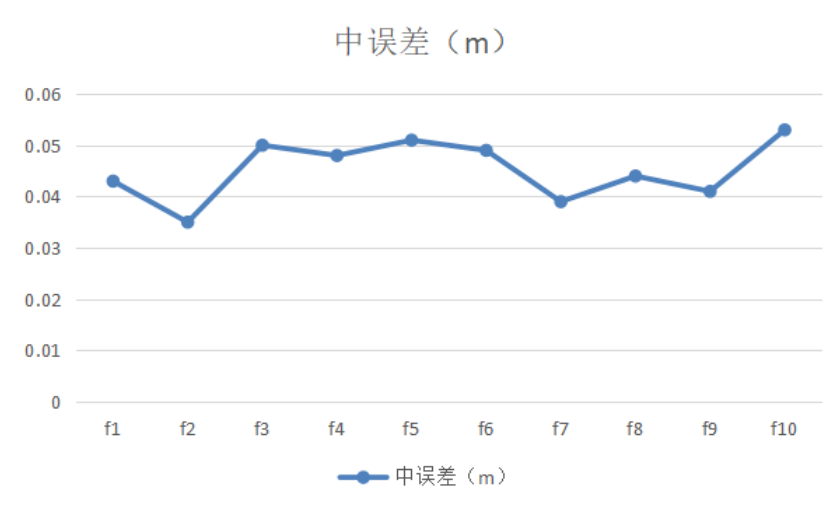


图8

结合上述的图表数据得出以下结论：根据地籍测量规范、广西农村“房地一体”不动产权籍调查技术细则和上述区域的数据可以得出：利用航高为 140 米、地面分辨率为 0.022cm、航向重叠为 80%、旁向重叠为 70%的无人机影像建立三维模型；在地势高低起伏不大的农村，其成果精度可达到地籍测量一级界址点的标准。因此此作业方案可以满足扶绥县“房地一体”不动产权籍调项目的精度要求。

界址点的等级	界址点相对于邻近控制点点位误差和相邻界址点间的间距误差限制	
	限差 (m)	中误差 (m)
一	±0.10	±0.05
二	±0.20	±0.10
三	±0.30	±0.15

图9 地籍界址点测量规范

### 3 无像控方案的测试

针对一些平面精度和高程精度要求不高的权籍调查类项目,计划用无像控的倾斜摄影模式开展测试。特别是项目区域地势较为平坦、建筑物排列比较规整而且高度较低、面积较小的情况。

#### 3.1 无像控方案测试的背景及意义

无人机倾斜摄影测量在农村房地一体测量中的应用,外业像控点的布设严重限制了外业飞行效率。因此本文提出了免像控的倾斜摄影测量技术。它的关键技术在于无人机航测系统上安装了动态的 RTK 装置和高精度的惯导系统 (IMU), 动态 RTK 提供高精度的位置坐标, 惯性导航 IMU 系统提供影像的姿态参数, 两者的数据共同参与平差解算, 建立高精度的三维模型。

#### 3.2 基于无像控倾斜摄影的农村房地一体测量技术

本次测试仍然选用飞马 D2000 搭载倾斜摄影五镜头 D-OP3000 进行影像数据采集, 并利用 ContextCapture 软件进行三维建模, 之后通过南方农村权籍调查软件进行矢量数据采集, 然后利用广西 cors 在项目区域内采集特征点并在 arcgis 中对采集的矢量数据进行校正。其主要流程如图:

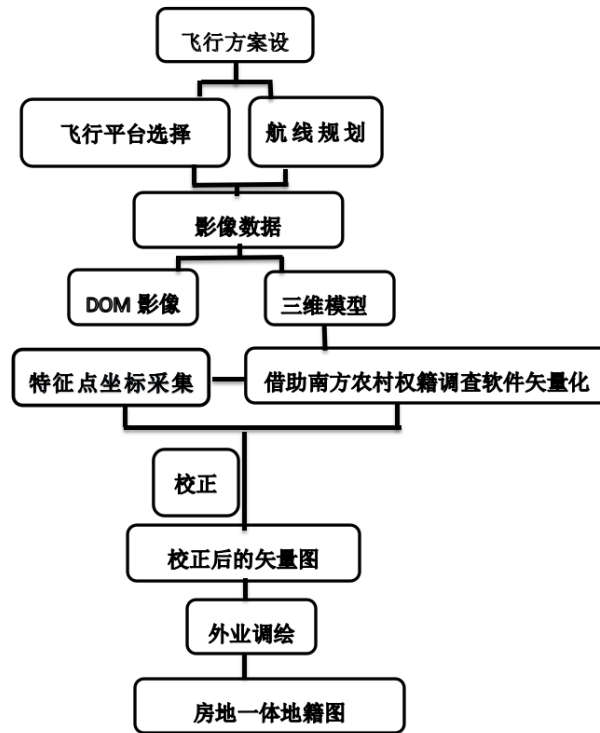


图10

### 3.3 航飞方案设计

之前有像控模式下所得数据，是基于广西 cors 系统下的国家 2000 坐标，因此为了减少两次实验的系统差，本次飞行采用架设基站并连接广西 cors 进行飞行。测试区域仍然选用忙桑屯、派吉屯，飞行采用的航高同样为 140m，影像地面分辨率为 0.022m，航向重叠度和旁向重叠度分别为 80%，70%。

### 3.4 无像控模型生成及矢量图的采集

为避免建模软件不同带来的差异，本次数据生成采用相同软件进行生产。利用 ContextCapture 生产出测区的高精度实景三维模型，然后在南方农村权籍调查软件中加载模型进行矢量数据采集。

### 3.5 校正点采集

虽然单个建筑物的边长误差较小，但是由于三维模型是一个整体的模型，模型误差累积

会随着距离的增大而增大，从而导致模型产生一个系统误差，因此需要对无像控三维模型下绘制的矢量图进行空间校正。校正点应该均匀分布四周，本次以忙桑屯和派吉屯的四周各选择4个房角点作为校正点，利用 rtk 连接广西 cors 进行坐标采集。

### 3.6 矢量化图的空间校正

对矢量化图的空间校正采用的是 arcgis 软件中的橡皮页变换的空间校正方法，该方法主要是用来对矢量图形进行几何纠正，其目的是使得被纠正的图形所在图层与目标图层对齐。采用橡皮页变换不但可以对整个图形进行几何纠正还可以对图形局部进行纠正，橡皮页变换又可以细分为两种方法：线性法和自然邻域法，当纠正点均匀分布时，一般采用线性法，当纠正点较为分散时一般采用自然邻域法，本文空间校正采用的是自然邻域法。矢量化图的空间纠正具体处理流程如图：

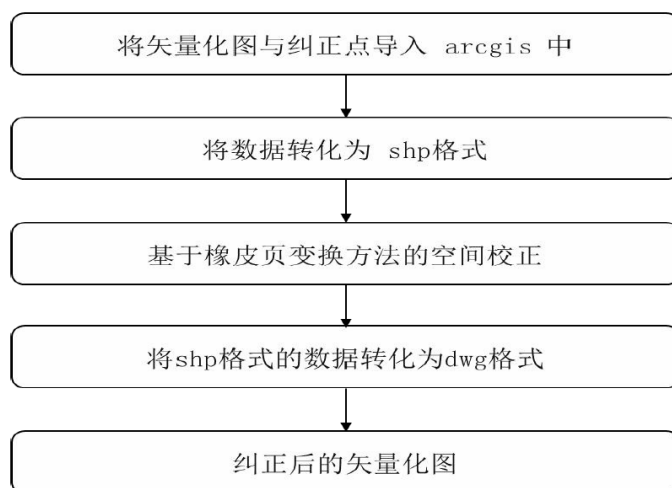


图11

### 3.7 实验数据分析及结论

为了验证数据成果的精度，仍然采用点 f1, f2, f3, f4, f5, f6, f7, f8, f9, f10 作为整体精度的检查点，检查点 f1-f10 的点位误差统计结果如下表：

表5

检查点号	中误差 (m)
f1	0.056
f2	0.046
f3	0.065



f4	0.062
f5	0.066
f6	0.064
f7	0.051
f8	0.057
f9	0.053
f10	0.069
检查点平均中误差	0.059
检查点最大中误差	0.069

项目区域无像控检查点平面点位中误差折线图如图：



图12

结合图表的数据可以看出，上述测试结果满足地籍界址点二级精度要求，所以得出如下结论：在地势比较平坦，区域面积较小的测区，利用无像控倾斜摄影测量技术进行农村房地一体测量可以达到地籍界址点二级精度要求。在扶绥县房地一体不动产测量项目中，按照一般农村房屋执行三级精度为 $\pm 7.5\text{cm}$ ，因此可以采用此方法进行此项目的房地一体测量。

## 4 总结与展望

### 4.1 总结

本文主要探讨的是无人机倾斜摄影测量在农村房地一体测量中的应用。使用传统测量的办法进行农村房地一体测量效率较低而且有大量的外业工作，为了提高房地一体测量的效率，本文阐述了扶绥县房地一体项目中采用了飞马 D2000 搭载 D-OP3000 型五镜头进行生产的过程，并测试了无像控模式下的可行性。现结合 D2000 无人机倾斜摄影测量在房地一体项目中的优势，从三个方面总结如下结论：

(1)由于 D2000 无人机倾斜摄影测量平台，搭载高精度 pos 系统，因此只需少量像控点就可以达到地籍界址点一级精度要求。通过实验验证了在测区周边均匀布设少量控制点，完全满足农村房地一体测量的精度要求。

(2)飞马 D2000 是基于高性能旋翼平台的高精度作业平台，特别适合小面积，起飞地形复杂，地块分散的项目。此外该平台推出的联合航线功能，即提高了效率又节省了存储空间。因此飞马 D2000 搭载 D-OP3000 型五镜头倾斜摄影测量平台是一款非常适合农村房地一体发证项目使用的无人平台。

(3)本文提出了一种无像控的倾斜摄影测量技术，通过具体的实验发现，对于地势平坦、面积较小的农村区域，采用此方法进行农村房地一体测量，其界址点精度可以达到地籍界址点二级要求，满足农村房地一体发证项目的精度要求。

## 4.2 展望

最近几年各大公司都提出了无人机无像控测量模式，特别是深圳飞马机器人科技有限公司推出的无像控模式，已经在精度上可以达到小范围 1: 500 测图要求。但无像控模式在大面积、大比例测图中尚未得到推广应用。此外免像控模式虽然可以得到高精度的大地高数据，但不能直接得到高精度的正常高数据，因此期待飞马公司将免像控模式的应用做的更加广泛实用，真正实现免像控测量。