

飞马 E2000 倾斜摄影在 1:500 DLG 生产中的应用

投稿人：杜贵伦，余翔，张川，赵川游

投稿单位：重庆市万州区江南勘测有限公司，重庆低空勘测设计有限公司

联系电话：18696831710

摘要：采用无人机倾斜摄影和计算机三维建模与全野外数字 1:500 DLG 生产进行比较，相对于全野外采集，利用无人机减少人工、设备的投入，缩短了生产周期

关键词：倾斜摄影 1:500 DLG 无人机 空中三角测量 三维模型

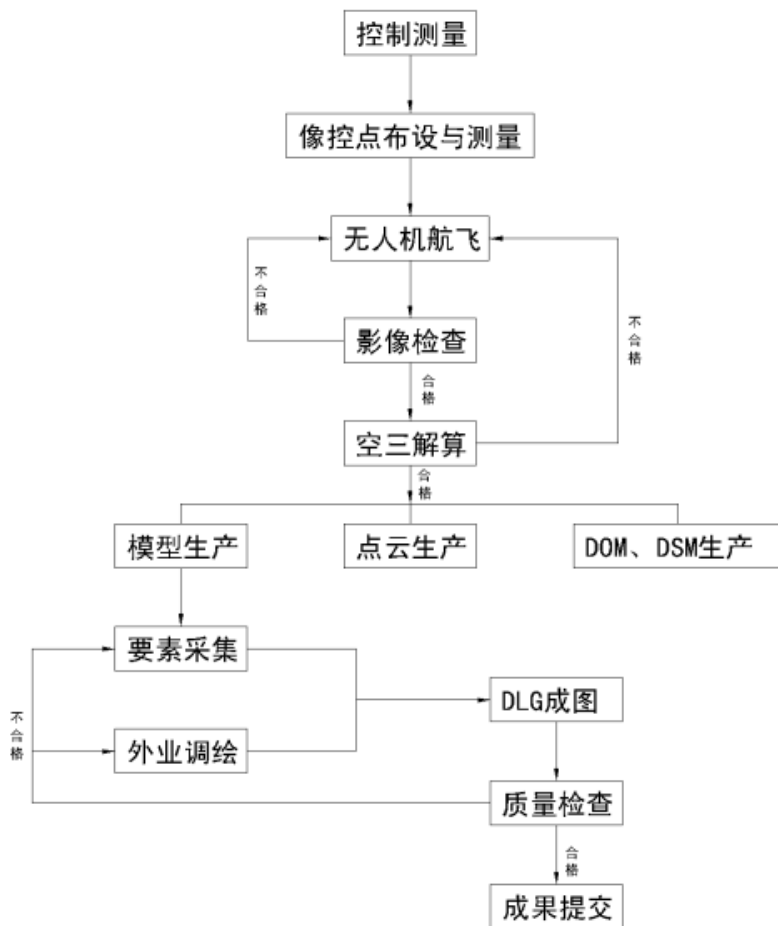
2020 年，受疫情影响，测绘工程竞争加剧，很多测绘任务出现工期要求急，价格低的趋势。这迫使测绘生产单位急需进一步提高生产效率，大幅降低生产本来应对市场。而引进无人机航测技术是适应当前形势的一个行之有效的办法。

2020 年 9 月 6 日，公司接到万州区柱山乡葵花村 1:500 地形图测绘任务，业主要求 4 日内完成 0.7 平方公里的山区复杂地形 1:500 地形图成果。

接到任务后，公司总工办迅速对作业任务进行了分析：作业区位于重庆市万州区柱山乡葵花村，距离万州主城 12km，属农村地区，大部地势较陡，最高点与最低点高差约 120m；又加之 9 月份以来，万州山区受夏秋冷暖气流交替影响，气象条件多变，预报近几天内将有一个长降水过程，山区地势复杂，人员现场作业难度大，因此决定采用飞马 E2000 倾斜摄影的办法，把测区三维影像搬回办公室，利用 CASS 3D 进行 DLG 采集，ContextCapture 空三测量，三维模型、正射影像、数字表面模型生产，ArcMap 进行正射影像、数字表面模型后期处理。

9 月 7 日是一个降雨前的窗口期，山区没有雾。作业小组 2 人采用飞马 E2000 无人机测图系统，从上午 10:40 开始，一个架次地面分辨率 25mm 的正射和三个架地面分辨率次 30mm 变高倾斜飞行，总共作业时间 3 小时；同时使用 RTK 采集特征点和现场喷涂的“L”靶标作为像控点。下午回来完成数据处理，进行空三加密解算，生成三维模型、DOM、DSM。第二天，4 人联合完成线划图（DLG）。第三天和第四天，打印初次成图带到现场，2 人使用 RTK 对航拍没有反映准确和真实的地物地貌进行补测调绘，晚上进行整饰，最后完成作业。

1. 主要作业流程



从整个流程可以看出无人机航飞拍摄相片的质量在整个项目起到关键的作用，所以在无人机每架次起飞前应仔细检查各个参数是否符合要求，避免不必要的复飞。

2. 像控点布设与测量

像控点应均匀分布于测区，上空应无遮挡物，宜选择某些特征点或者平整地面用红色油漆喷涂 L 形标志，标志最小边长应大于 5 倍地面分辨率。像控点从“X1”起编号，并将编号喷涂在像控点一侧。

像控点位置可以利用公开卫星影像初步选定，根据现场情况实际调整。

像控点应采用 GPS-RTK 测量方法测量，测量时 RMS 应小于 30mm。

3. 高程转换模型

本项目面积较小，可采用椭球高整体加常数的方法求得 1985 高程。

4. 航线设计及航飞

飞马 E2000 无人机自带飞控软件有强大航线自动规划能力，只需要输入相关参数软件就能生成用时最短的航线大大提高了生产效率。

根据业主指定范围制作 KML 文件，KML 文件多边形范围应略大于 DLG 生产范围。

将 KML 文件导入飞控软件，输入相关参数即可自动生成航线。

本项目共设计正射和井字飞行两种飞行方式获得影像。

参数设置：正射 地面分辨率 2.5cm 航向重叠 80% 旁向重叠 60%

倾斜 地面分辨率 3.0cm 航向重叠 80% 旁向重叠 80%

无人机航摄宜选择光照充足时进行航飞，正式航飞前应进行试飞，以确定最佳相机曝光

参数。

本项目采用 RTK 方式实时获得相片外方位元素。

拍摄照片应纹理清晰，不能出现模糊。对应漏片区域应及时发现及时补拍。

详细航线规划见图 1、图 2。

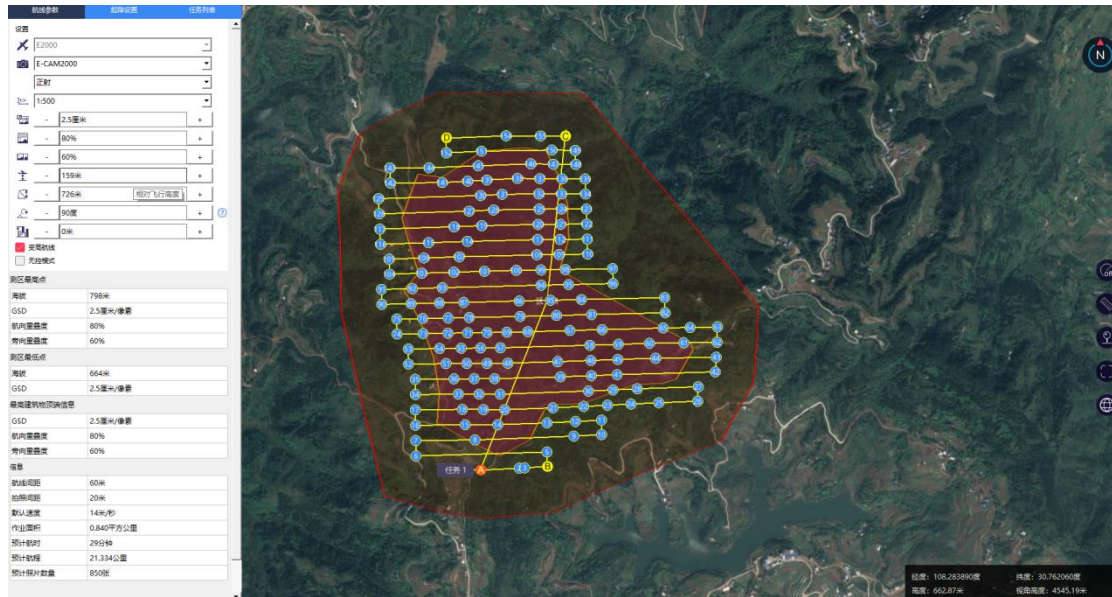


图 1 正射航线规划

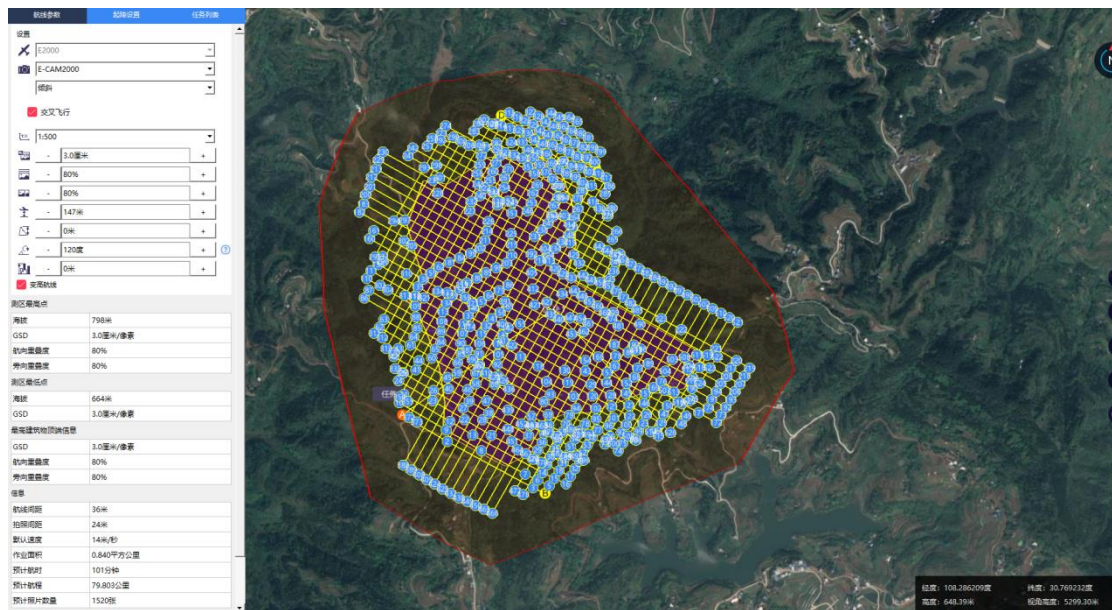


图 2 倾斜变高航线规划

5. 数字影像处理

影像处理由 ContextCapture 软件处理。该软件具有分布式运算功能，可以整合多台工作站共同完成一个项目的处理任务，大大加快了数据处理时间。

影像处理的关键主要是像控刺点与空三运算。

应在正射照片上刺点，每个像控点应在至少 3 张相片上刺出。

空三运算结果像控点残差应小于 0.5 像素，相片对正中误差应小于 0.5 像素，最大不大于 2 像素。

空三解算完成后即可提交三维模型、点云、数字表面模型、正射影像生产。

三维模型应纹理清晰，不应出现大面积拉花。

空三解算结果见下：

Project:	ChaShan
Number of photos:	4184
Ground coverage:	5.728 square kilometers
Average ground resolution: ⓘ	27.94596 mm/pixel
Scale: ⓘ	1 : 84
Camera model(s):	SONY ILCE-6000
Processing date:	2020/10/2 16:24
Processing time:	1h 31min

Position Uncertainties ⓘ			
	X [meters]	Y [meters]	Z [meters]
Minimum	0.00018	0.00025	0.0002
Mean	0.01006	0.00946	0.00864
Maximum	0.79072	0.64004	0.71156

Generated Tie Points ⓘ						
	Number of Points	Median Number of Photos per Point	Median Number of Points per Photo	Median Reprojection Error [pixels]	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters] ⓘ
Previous Values	162896	3	0	0.32	0.5	0.03576
Processed Values	728242	3	672	0.33	0.5	0.05046

Control Points Errors									
Name	Category	Accuracy [meters]	Number of Calibrated Photos	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]	3D Error [meters]	Horizontal Error [meters] ⓘ	Vertical Error [meters]	ⓘ
PT2	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	7 (7 marked photos)	0.66	0.03122	0.01547	X: -0.00355; Y: 0.00895	0.01211	✓
PT3	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	9 (9 marked photos)	0.4	0.05321	0.00533	X: 0.00384; Y: -0.00042	0.00367	✓
PT4	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	4 (4 marked photos)	0.34	0.02299	0.005	X: 0.00211; Y: -0.00441	0.00102	✓
PT5	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	4 (4 marked photos)	0.25	0.00663	0.00658	X: -0.00276; Y: -0.00215	-0.00557	✓
PT6	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	14 (14 marked photos)	0.39	0.04107	0.00806	X: -0.00237; Y: -0.00537	-0.00552	✓
PT7	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.010	9 (9 marked photos)	0.48	0.0387	0.00707	X: 0.00146; Y: 0.00612	-0.00322	✓
Global RMS				0.44	0.0355	0.00867	X: 0.0028; Y: 0.00533	0.00623	
Median				0.4	0.0387	0.00707	X: 0.00146; Y: -0.00042	0.00102	

经检查发现偏离较大的相片均在测区边缘，不影响建模精度。

三维模型生产效果见图 3、图 4



图 3 三维模型生产效果图



图 4 三维模型生产效果图

6. DLG 生产

利用 CASS 3D 导入三维模型，进行 DLG 要素采集。

采集时应注意，对于在模型不能清楚识别地物应在采集时标注，以方便外业人员调绘。

采集成果见图 5、图 6

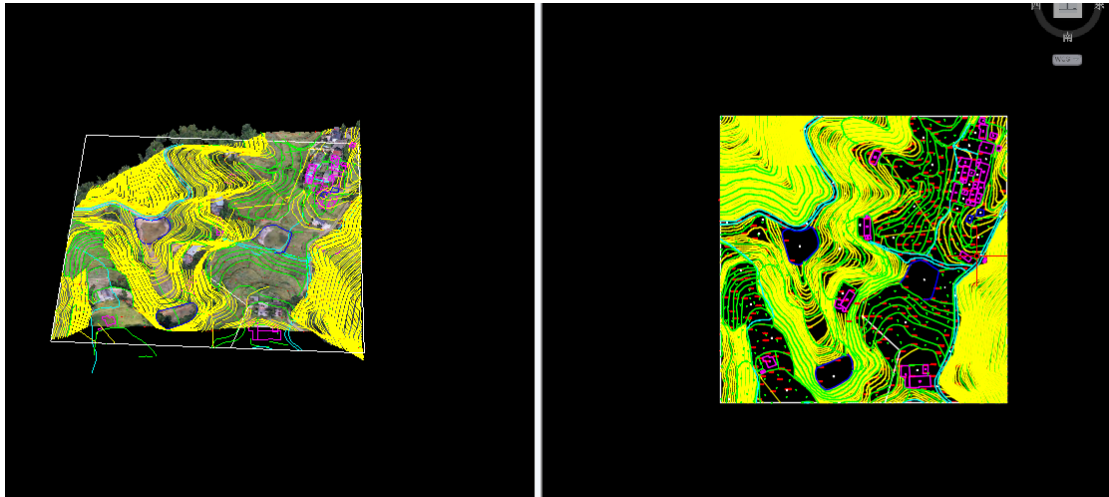


图 5 DLG 采集

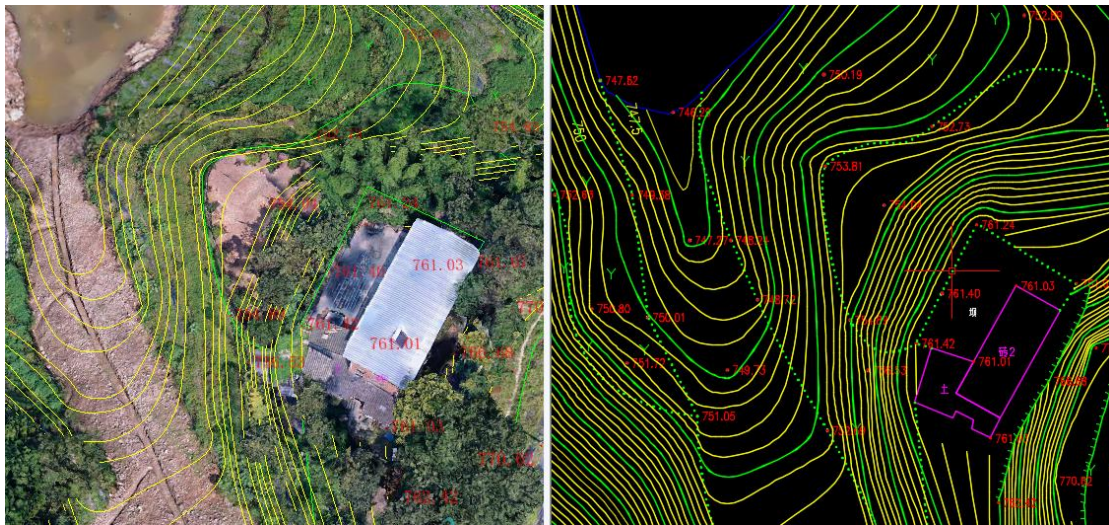


图 6 DLG 采集

7. 外业调绘

在内业采集完成后,根据内业采集成果进行调绘。重点调绘内业标记不能清楚识别内容。

8. 精度检查方法

对于在三维模型采集的 DLG 要素应在实地用全站仪或 RTK 采集的要素的差值,计算中误差。计算公式采用等精度公式计算,即:

$$\sqrt{\frac{[\Delta \Delta]}{2n}}$$

式中 Δ 为差值, n 为点个数。

每幅图每种特征点数量应不小于 10 个。

8.1 平面位置

对于有明显特征点的地物应用全站仪或 RTK 实地采集后与三维模型采集的特征点差值计算。

对于线状地物,应用实地采集点到三维模型采集点的垂直距离为差值计算。

8.2 高程

高程点有两种,一种是明显点,一种隐蔽点。

明显点,周围无遮挡可直接判读的点。如水泥地面,裸露土地等。这种可直接利用实地采集点与三维模型采集点直接差值计算。

隐蔽点,周围遮挡物较多,无法直接判读点,如高植被茂密地方。这种利用等高线内插值与实地采集点差值计算。

8.3 边长

主要是房屋边长、水泥道路宽度实地采集距离与DLG图上量算的差值比较计算。

8.4 精度检查结果

经过实测比对,平面点最大较差 117mm,最小较差 18mm。中误差 52.3mm,小于 1:500 DLG 2 倍中误差要求。

高程明显点,最大较差 67mm,最小较差 3mm。中误差 27.2mm,小于 1:500DLG, 1/10 等高距要求。

高程隐蔽点,通过等高线内插值比较。最大较差 253mm,最小较差 60mm,中误差 117.2mm,小于 1/3 等高距。

边长检查,最大较差 43mm,最小较差 5mm,中误差 18.7mm。

具体比较可见图 7、图 8



图 7 中误差比较

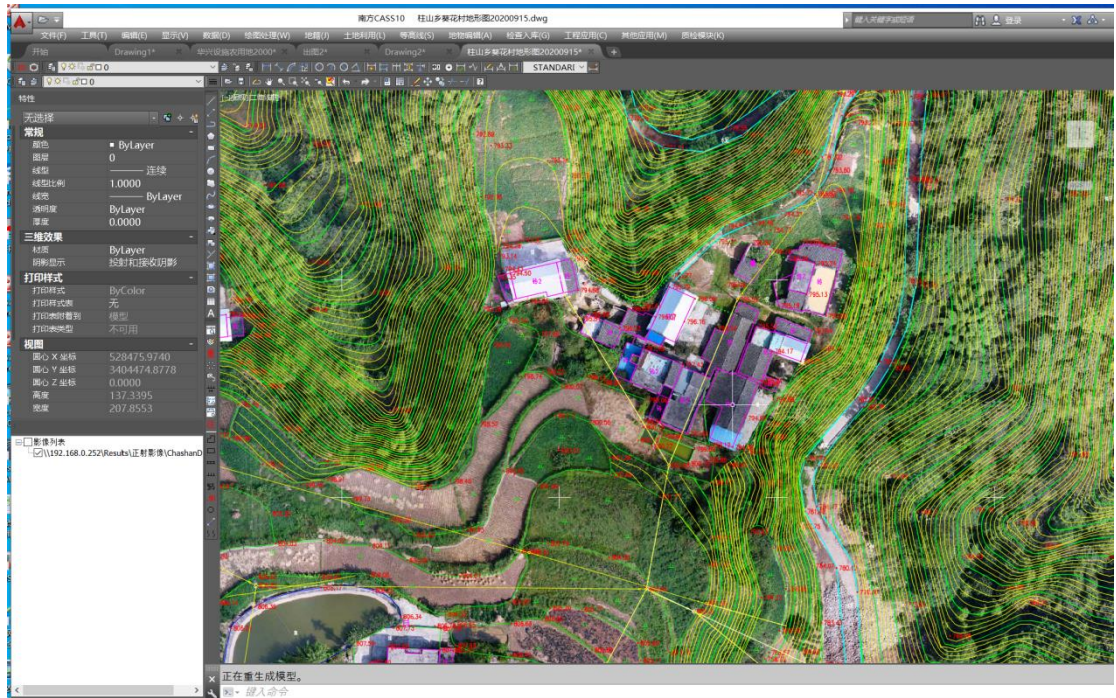


图 8 中误差比较

在生产过程中，抽选了 100mX100m 的小范围区域进行了 3D 采集与 RTK 实地采集成图的对比，结果见图 9 图 10 图 11。

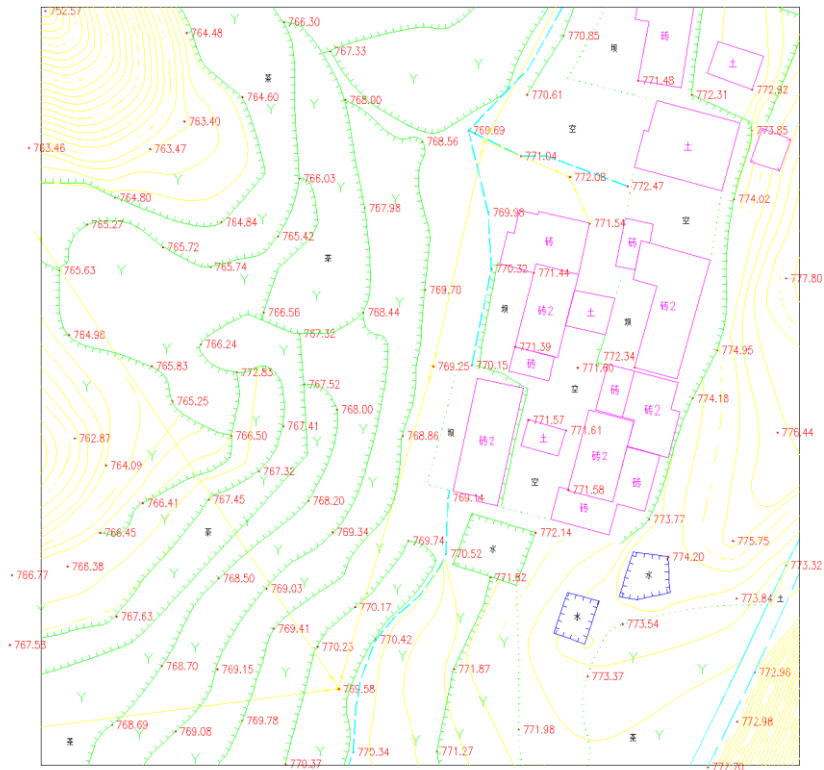


图 9 RTK 采集

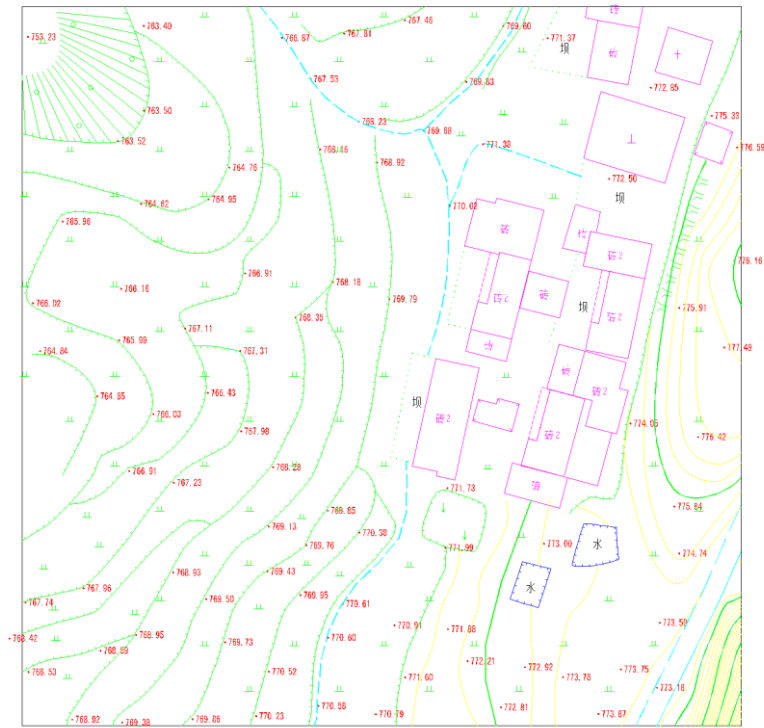


图 10 CASS 3D 采集

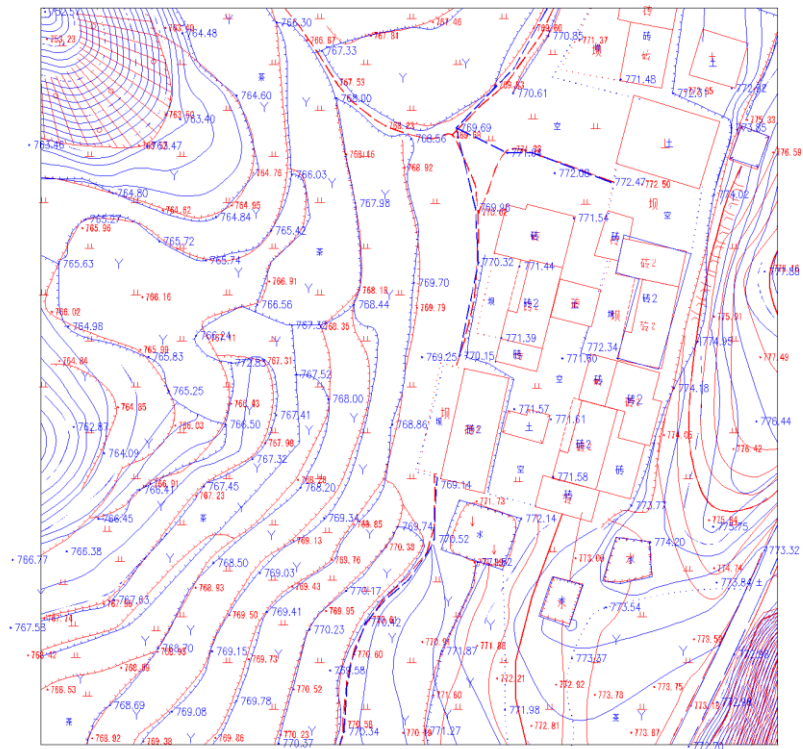


图 11 红色 3D 采集，蓝色 RTK 采集对比

从对比图可以看出线状采集基本一致，房屋转角基本重合，等高线反应地貌基本一致。

9. 结语

其一，本次作业，由于山大林密，在通过技术手段处理后基本能反映出整体地貌。在密集植被覆盖下的地物不能很好识别，只能通过现场采集获得该地物的空间信息。

其二，采用无人机搭载航摄仪进行航空摄影，并用现代计算机强大的计算能力，大大缩短生产周期，提高生产效率。尤其是飞马无人机飞控利用公共 DSM 数据进行变高飞行，克服了传统航空摄影测量因地面高差划分航摄区块问题。

其三，相比传统的全野外数字化采集有着巨大的优势，在相同条件下人员投入的减少与工期的缩短，而且提供的成果不再是单一的数字线画图，而是多种成果形式，使业主足不出户，就能了解测区全貌；更能通过三维模型、正射影像表达数字线画图不能表达的细节。

参考文献：

1. 《城市测量规范》（CJJ T8-2011）；
2. 《全球定位系统实时动态测量（RTK）技术规范》（CH/T2009-2010）；
3. 《国家基本比例尺地图图式 第一部分 1:500 1:1000 1:2000 地形图图式》 GB/T 20257.1-2017；
4. 《航空摄影技术设计规范》 GB/T 19294-2016