

基于航空摄影与激光雷达技术 在地形测绘的应用

李志强¹ 耿亮¹

(1.广西易城蓝图科技有限公司, 广西壮族自治区 南宁 530007

0771-3817196, 18260903159)

摘要: 随着城市信息化进程的不断推进, 工程建设对于测绘产品的精度和成果多样性要求越来越高, 地形测绘便是其中重要的一环。现阶段地形测绘通常是以 GPS-RTK 或者无人机航测方式获取, 当作业在一些被植被覆盖比较严重及地形复杂的山林区域时, GPS-RTK 存在信号遮挡问题, 并且由无人机航测生产的地貌及高程点精度还不足以满足大比例尺数字化测绘。本文针对这一难题, 采取无人机航空摄影测量与激光雷达测量技术相结合的方式对地形进行测绘, 通过无人机搭载激光雷达获取地面高程数据, 并结合正射影像 (DOM) 生产大比例尺数字线化图, 为地形测绘提供一个高精度、高效率的技术应用方案。

关键字: 地形测绘; 无人机; 数字化正射影像技术; 激光雷达技术

1 项目背景

本次项目测区地处南宁市邕宁区中和乡位于邕宁县东南部, 乡政府驻中和街, 距县城 34 公里, 距区政府所在地 34 千米, 距南宁市 52 千米, 辖 1 个社区、7 个行政村, 37 个自然坡, 332 个村民小组。本项目为旱改水高标准农田建设项目地形勘测, 测区总面积共 8418 亩, 属于丘陵地区, 地势起伏较大, 植被干扰严重。根据项目需求, 本次项目要求在一周内及时、准确地为该地区规划设计提供 1:1000 数字化地形图。

2 项目技术方案策划

由于项目工期要求紧张, 为了不影响项目的整体进展, 测绘工作需在接到任务后根据项目的技术要求及进度要求, 项目组对本次测绘任务的开展进行了多套方案的拟设及分析对比选定, 如下图 2-1 所示:

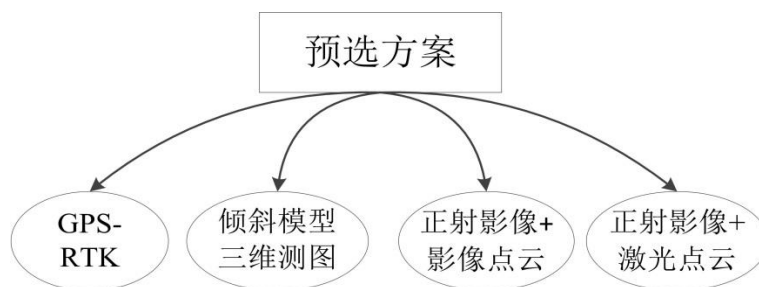


图 2-1 预选方案

预选方案一为 RTK 实测方案，应项目急需，本项目测绘工期期限为 7 日，按正常的 RTK 实测法的作业效率，7 日内难以按期完成；

预选方案二为倾斜模型三维测图方案，该方案只需要利用飞马 D200 搭载五镜头飞行采集影像数据，生产倾斜模型时间长，并且由于植被遮挡，根据以往项目的成果精度总结，丛林茂密区域高程精度误差较高，对项目精度难以保证^[1]。

预选方案三为正射影像方案，作业高效，飞马 V100 搭载单镜头便可完成该项目，但本项目测区部分区域丛林较多，实施该方案难以满足项目精度；

预选方案四为正射影像+激光雷达点云数据，该方案在方案三的基础上，结合飞马 D200 搭载激光雷达采集的点云数据，利用激光雷达能够精准的获取到地面点高程数据，作业速度快的同时，很好地保障了项目的精度。预选方案对比统计表如下表 2-1 所示。

表 2-1 预选方案对比

预选方案	作业人数	预计作业工期（天）	精度误差
RTK 实测方案	5(外)+1（内）	6（外）+3（内）	≤5cm
倾斜模型三维测图方案	2(外)+5（内）	1（外）+6（内）	≤5cm
正射影像方案+影像点云	2(外)+4（内）	1（外）+3（内）	≤8cm
正射影像+激光雷达点云	2(外)+3（内）	1（外）+3（内）	≤5cm

综上所述选择，根据本次项目需要，为使其地形测量效率最大化的同时兼具高精细度，综合各方面因素通过分析对比，本次项目方案四，无人机航空摄影测量与激光雷达测量技术相结合的方式地形测绘^[2]。

3 作业流程

3.1 航线规划

由于测区范围属于非连片型，横向距离较长，V100 航线采用横向弓字形，规划飞行架次为 2 个架次，实际航飞总面积为 11559 亩，分别为 6153 亩和 5406 亩；D200 航线同样采用横

向弓字形，规划飞行架次为 6 个架次，每个架次航飞面积约为 2000 亩，飞马 V100 航线规划图如图 3-1 所示，飞马 D200 航线规划图如图 3-2 所示。

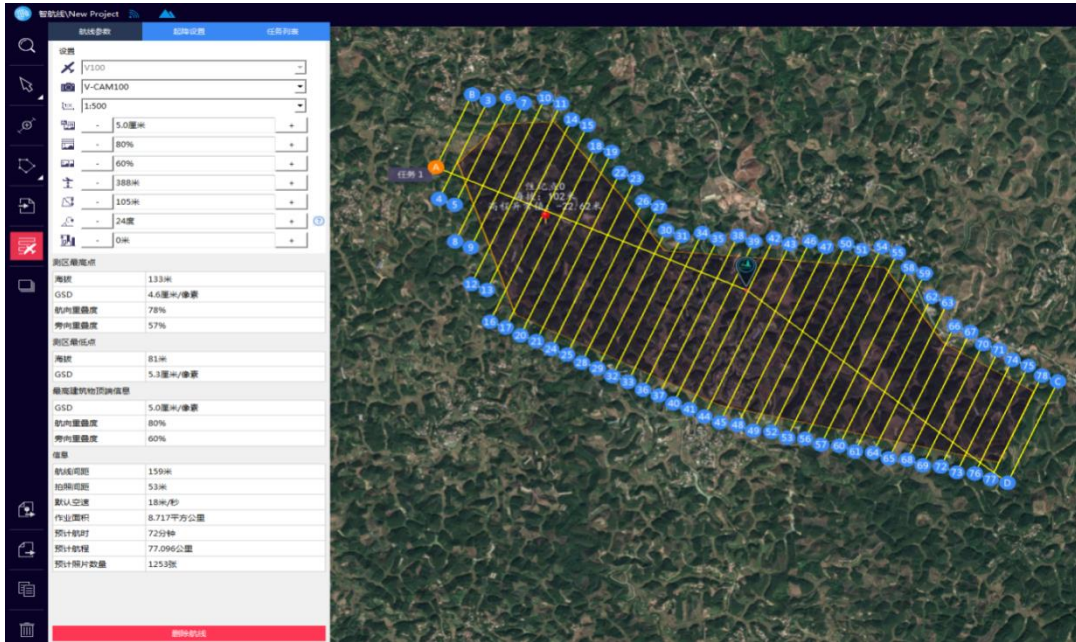


图 3-1 飞马 V100 航线规划

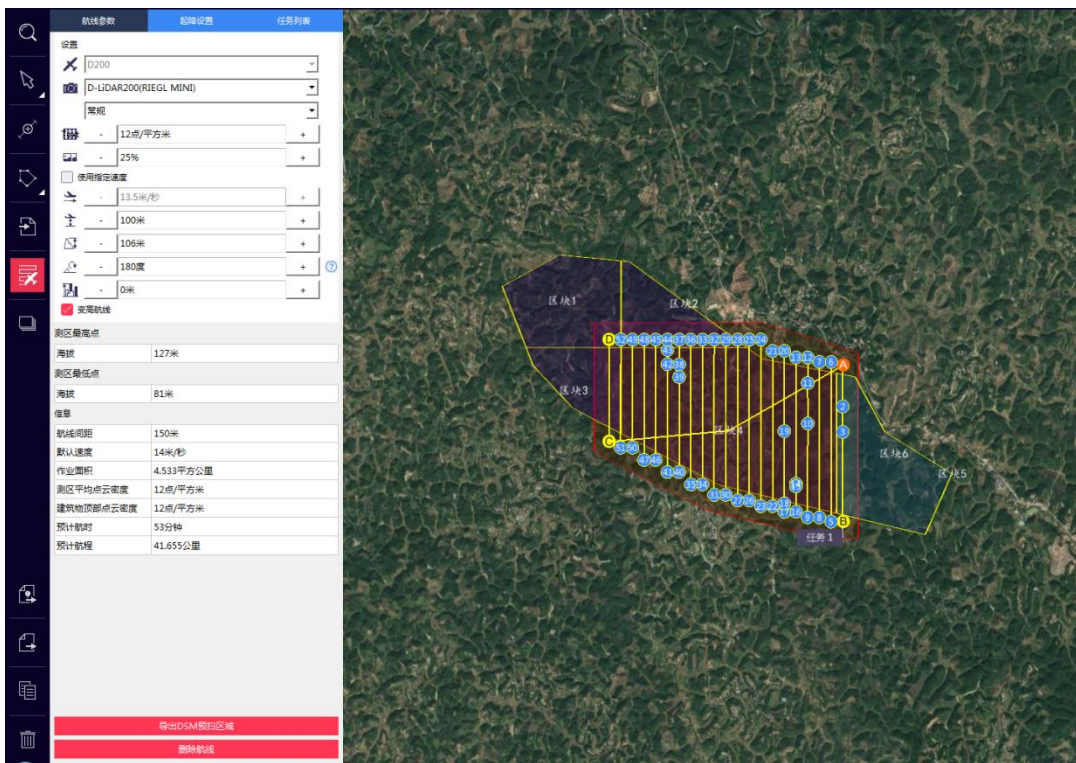


图 3-2 飞马 D200 航线规划

3.2像控点布测

根据测区面积，按每 400 米一个像控点进行布置，并采用 CORS 网络移动站模式的 RTK 测量法对像控点进行测量，共布测 32 个像控点，像控点布设如下图 3-3 所示。



图 3-3 像控点布设图

3.3航飞作业

基于高效原则，D200 搭载激光雷达作业时间与像控点布测同步进行，总耗时为 6 小时，两项工作均在下午 1 点左右已完成，极其高效；V100 于下午 2 点开始作业，总耗时为 1.5 个小时。起飞位置点如下图 3-4、3-5 所示。



图 3-4 V100 搭载 V-CAM100 起飞位置点（村晒谷场）



图 3-5 D200 搭载 D-liDAR200 激光雷达起飞位置点（村晒谷场）

3.4 数据预处理

3.4.1 数字化正射影像处理

采用飞马管家智拼图将 V100 搭载高精度相机 V-CAM100 获取的相片进行拼接处理，最终输出带坐标信息的数字正射影像图。

3.4.2 激光雷达数据解算

导出 D-liDAR200 激光雷达原始数据，通过飞马管家智理图 GPS 格式转换—IE 解算—智激光点云解算—智点云数据处理的技术流程，完成雷达数据解算，最终获得测区高程点数据文件，激光雷达点云数据处理效果图如下图 3-6 所示。

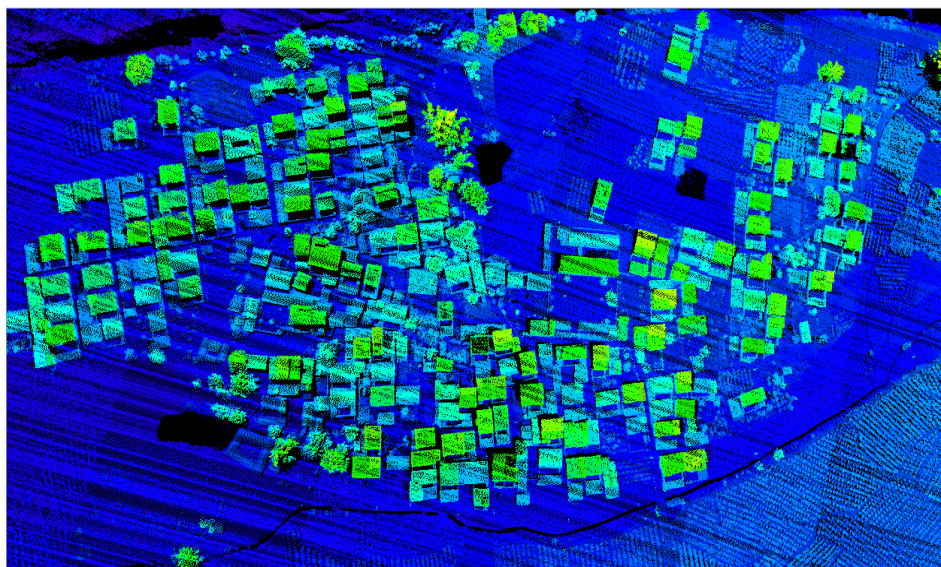


图 3-6 激光雷达点云数据处理效果图

3.5数据成果

将带坐标信息的数字正射影像图导入南方 CASS，对正射影像进行“DLG”矢量化，结合激光雷达点云数据解算处理得到的测区地面高程，生产出 1:1000 数字地形图，如下图 3-7 所示。

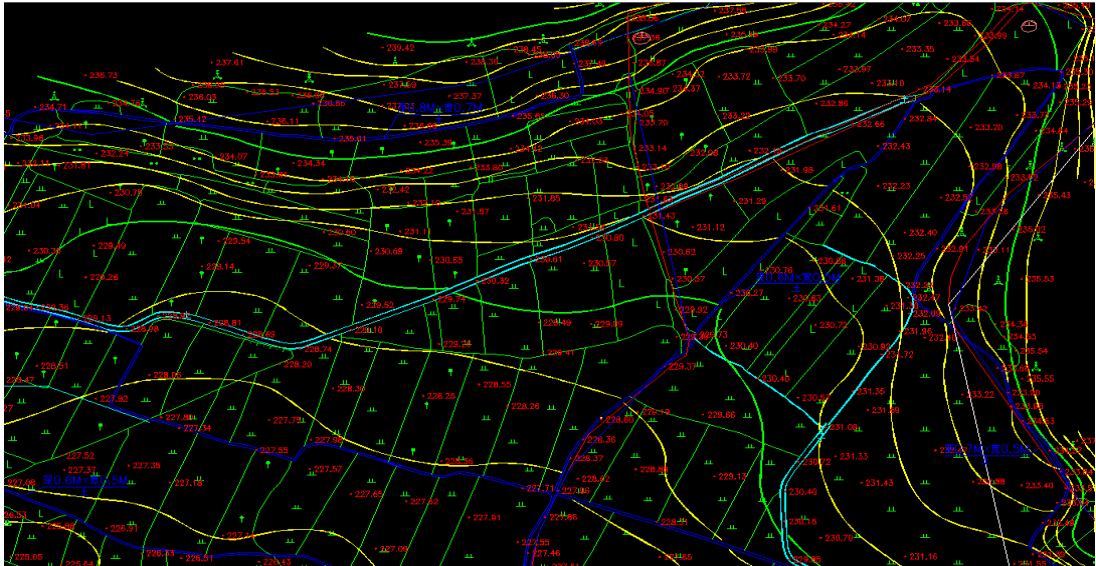


图 3-7 DLG 成果

4 总结

4.1工作效率

本项目共投入外业 2 名，外业作业时间共 1 天；内业人员 4 名，内业作业时间共 3 天。相对于之前采用 RTK 实测的另一个总面积 6700 亩的项目，共投入外业人员 4 名，内业人员 4 名，外业作业时间 5 天，内业作业时间 4 天；由此可见，采用本方案比以往的 RTK 实测从人员数量和工期上都具有很大优势。

4.2成果精度

D-LiDAR200 采集的点云密度大，对树木丛林高密区域穿透性强，弥补了 RTK 测量受树木遮挡信号的不足之处。飞马 D-LiDAR200 点云高程精度与 RTK 实测点高程精度对比。

本项目共采集了 20 个 RTK 实测检查点，并分别对影像处理输出的点云高程数据和激光雷达点云高程数据进行了误差计算及分析对比，精度检查数值具体如表 4-1 所示：

表 4-1 精度检查表

序号	点号	2000X(影像)	2000Y(影像)	点云高程 H1(影像)	点云高程 H2(雷达)	2000X(RTK)	2000Y(RTK)	RTK 测点 H	ΔX	ΔY	$\Delta H1$ (影像点云)	$\Delta H2$ (雷达点云)
1	JH01	****505.609	***030.762	101.256	101.227	****505.620	***030.750	101.200	-0.011	0.012	0.056	0.027
2	JH02	****487.593	***052.906	102.901	102.936	****487.580	***052.950	102.950	0.013	-0.044	-0.049	-0.014
3	JH03	****458.053	***085.688	105.537	105.501	****458.016	***085.672	105.470	0.037	0.016	0.067	0.031
4	JH04	****454.401	***070.635	104.321	104.337	****454.440	***070.680	104.370	-0.039	-0.045	-0.049	-0.033
5	JH05	****478.678	***114.537	106.284	106.231	****478.636	***114.583	106.210	0.042	-0.046	0.074	0.021
6	JH06	****505.196	***147.576	110.513	110.544	****505.231	***147.531	110.570	-0.035	0.045	-0.057	-0.026
7	JH07	****514.253	***169.914	113.629	113.554	****514.210	***169.880	113.570	0.043	0.034	0.059	-0.016
8	JH08	****518.952	***186.347	115.158	115.131	****518.906	***186.391	115.100	0.046	-0.044	0.058	0.031
9	JH09	****494.456	***160.963	105.523	105.529	****494.491	***160.928	105.550	-0.035	0.035	-0.027	-0.021
10	JH10	****488.449	***188.471	105.212	105.274	****488.402	***188.428	105.260	0.047	0.043	-0.048	0.014
11	JH11	****475.968	***213.951	102.893	102.853	****475.947	***213.998	102.840	0.021	-0.047	0.053	0.013
12	JH12	****498.632	***339.845	103.004	103.045	****498.680	***339.820	103.050	-0.048	0.025	-0.046	-0.005
13	JH13	****518.894	***394.439	102.227	102.299	****518.930	***394.400	102.290	-0.036	0.039	-0.063	0.009
14	JH14	****548.411	***486.914	103.388	103.308	****548.370	***486.950	103.340	0.041	-0.036	0.048	-0.032
15	JH15	****542.592	***502.832	102.109	102.061	****542.570	***502.850	102.030	0.022	-0.018	0.079	0.031
16	JH16	****530.789	***523.276	102.164	102.128	****530.834	***523.230	102.100	-0.045	0.046	0.064	0.028
17	JH17	****523.504	***545.537	103.365	103.426	****523.467	***545.562	103.410	0.037	-0.025	-0.045	0.016
18	JH18	****513.815	***588.968	104.821	104.863	****513.860	***588.980	104.880	-0.045	-0.012	-0.059	-0.017
19	JH19	****532.799	***632.257	105.315	105.279	****532.753	***632.223	105.260	0.046	0.034	0.055	0.019
20	JH20	****568.857	***656.419	108.932	108.947	****568.842	***656.445	108.970	0.015	-0.026	-0.038	-0.023

通过对表 4-2-1 中的数据进行计算，正射影像采集的北坐标 X 与 RTK 实测的数据绝对绝对误差平均值为 0.035m，东坐标 Y 与 RTK 实测的数据绝对误差平均值为 0.034m；影像处理输出的点云高程数据 H1 与 RTK 实测检查点数据绝对误差平均值为 0.055m,H1 最大绝对误差值为 0.079m;飞马 D-LiDAR200 采集的的点云高程数据与 RTK 实测的数据绝对误差平均值为 0.021m，最大误差绝对值为 0.033m。通过对数据分析可得出结论，影像的坐标精度可满足项目精度要求，而经过数据比较，激光雷达点云高程数据精度更高，其结果完全符合 1:1000 比例尺数字地形图测量要求。

本方案采用的是飞马 V100 垂起固定翼无人机搭载高精度相机 V-CAM100 航测生产数字正射影像图，结合飞马 D200 多旋翼无人机搭载激光雷达采集高程数据的作业方法对项目进

行施测，既能在更短的时间内完成测绘工作，又能保证成果的精度满足项目要求，同时，亦能减少作业人员的投入，为今后的地形测量提供了新的途径。

参考文献

[1] 严慧敏.数字正射影像结合 LiDAR 数据在山区测绘中的应用[J].测绘通报,2020(01):115-119.

[2] 胡耀锋,张志媛,林鸿.利用机载 LiDAR 测绘大比例尺数字地形图的可行性研究[J].测绘通报,2015(05):87-90.