

# 飞马 D2000S、LiDAR2000、SLAM100 在地形测绘及竣工验收项目中的综合运用

曹瑞丰<sup>1</sup>, 刘东茂<sup>1</sup>, 蔡光源<sup>1</sup>, 南娟婷<sup>2</sup>, 陈明<sup>2</sup>

(1. 武威市基础地理勘测技术服务中心, 甘肃武威 733000; 2. 北京中翰仪器有限公司兰州分公司, 甘肃兰州 730000)

**摘要:** 随着科技的发展, 测量手段越来越多样化, 无人机、LiDAR、扫描仪等都已经非常广泛的运用在各行各业。本文主要阐述使用飞马无人机D2000S、LiDAR2000、SLAM100综合运用于地形测绘及竣工验收等相关项目。通过这些先进的测量设备可以高效的得到测区三维模型、DOM、平面地形图、剔除植被后的地表高程、地下车库的尺寸等。

**关键词:** 地形图; 地表高程; 竣工验收; 无人机; 雷达; SLAM100

## Feima D2000S, LiDAR2000, SLAM100 comprehensive application in topographic mapping and completion acceptance projects

CAO Ruifeng<sup>1</sup>, LIU Dongmao<sup>1</sup>, CAI Guangyuan<sup>1</sup>, NAN Juanting<sup>2</sup>, CHEN Ming<sup>2</sup>

(1. Wuwei Basic Geographic Survey Technical Service Center, Wuwei 733000, China; 2. Beijing Zhonghan Instrument Co., Ltd. Lanzhou Branch, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** With the development of science and technology, the means of measurement are becoming more and more diverse. Drones, LiDAR scanners, etc., have been widely used in all walks of life. This paper mainly describes the use of Feima D2000S, LiDAR2000, SLAM100 comprehensive application in topographic mapping and completion acceptance and other related projects. Through these advanced measurement equipment, you can efficiently obtain the 3D model of the survey area, DOM, flat topographic map, surface elevation after vegetation removal, and the size of the underground garage.

**Key words:** Topographic map; Surface elevation; As-built acceptance; Drone; Radar; SLAM100

### 引言

随着无人机航测技术在测绘领域的高速发展, 无人机摄影测量技术和无人机机载雷达测量技术, 都已经广泛的应用各个领域。倾斜摄影测量可以得到高分辨率的光学影像, 可以很直观的得到现场情况, 但是在植被覆盖率高的地方, 局限性还是较大, 无法夜间工作, 且外业相控作业量也较大。面对倾斜摄影的缺陷本项目采用雷达协作作业,

LiDAR具有效率高、精度高、能滤除植被和不需要的建筑物等优点。其核心特点无需跑数据、精度是绝对精度、可以穿透植被得到真实地表数据、还可夜间工作、不需要像控点。鉴于以上优点, 机载激光雷达越来越得到广大用户的普及使用。但是在岩洞、矿山、地下车库等这些特殊作业场景, 无人机无法进行作业, 而手持扫描仪刚刚弥补了这一短板。

**基金项目:** 无

**作者简介:** 曹瑞丰 (1982 年生), 土木工程本科, 中级工程师, 从事测绘相关行业。E-mail: 1959846237@qq.com

## 1 项目背景

此项目位于平均海拔1500m以上的甘肃省武威市，测区面积约为0.4平方千米，使用CGCS2000坐标系统，1985国家高程基准，测区需要整个测区的三维模型，DOM、DLG平面线画图、高程数据等用于地形测量。在这个地形图中里面还有一个宾馆，需要对立面及不同楼层平面图距离进行尺寸的丈量，地下车库也需要进行尺寸的丈量，用于竣工验收。但是由于时间紧迫，测区建筑物多，植被也多，人工测量耗时耗力，且不能很直观的反应测区情况。在丈量建筑物尺寸时，用皮尺拉距离误差较大，在不规则的地方无法准确的丈量尺寸。在地下车库中光线不足，丈量时车多人多，拉尺子随时需要避让行人及车辆，不安全也浪费时间，误差也大。综合以上要求决定此项目使用飞马无人机D2000S搭载五镜头得到实景三维模型，进行DLG线画图，再用机载雷达剔除植被及建筑物，得到地

表的高程，随即采取使用SLAM100进行扫描得到精准的点云数据进行勾画量取尺寸。



图1 测区概况示意图

### 1.1 技术指标

测区采用CGCS2000坐标系1985国家高程基准，中央子午线为102，采用1:500成图比例尺。因部门要求不一样，所以平面误差控制在±5公分，高程误差控制在±5公分，扫描仪丈量距离控制在5公分以内。

表1 规范要求

成图比例尺	地形类别	相对定向限差 (残余上下视差, 像素)	绝对定向限差/m	
			平面坐标误差	高程定向误差
1:500	平地	1.0	0.20 (0.3)	0.26
	丘陵地		0.20 (0.3)	0.26
	山地		0.30 (0.4)	0.38
	高山地		0.30 (0.4)	0.75
1:1000	平地	1.0	0.40 (0.6)	0.26
	丘陵地		0.40 (0.6)	0.26
	山地		0.60 (0.8)	0.60
	高山地		0.60 (0.8)	0.90
1:2000	平地	1.0	1.0 (1.5)	0.75
	丘陵地		1.0 (1.5)	0.75
	山地		1.5 (2.0)	1.50
	高山地		1.5 (2.0)	1.90

注：括号内为个别点允许出现的残差值。

### 1.2 项目技术思路

此次作业可分为3大步骤：

(1) 首先进行地形测量，使用D2000S进行倾斜摄影，利用管家、ContextCapture Center Master得到整个测区的三维模型、DOM、再用EPS勾画测区平面地形图（植被密集区高程不采集），同时也可以得到测区里面需要量取尺寸的宾馆模型。

(2) 其次使用LiDAR2000飞行作业，使用管家处理得到测区里面剔除植被后的高程（剔除完植被的高程数据融合到以上的地形图中，完成地形测量作业），完了可以对植被进行分类，查看植被的高度。

(3) 最后使用SLAM100进行扫描，扫描宾馆的立面（因倾斜模型无法剔除不需要的楼层所以使用SLAM100进行扫描剔除不要楼层）及地下车库。扫描时控制点坐标保持和倾斜摄影以及

LiDAR数据一致，最终结果用于竣工验收。

(4)以上步骤作业时都做检查点进行检查，以确保精度达到项目要求。

## 2 无人机倾斜摄影技术流程

### 2.1 飞马D2000S特点

飞马D2000S具有免像控成图、长航时、高效率、高可靠性、模块化的任务载荷设计、多源化的数据获取方案（可搭载单相机、五相机、热红外遥感模块）。D2000S可变高飞行实现精准的跟随地形飞行，可自动避障、一站式软件解决方案；支持从精准航线规划、三维实时飞行监控、控制点量测到空三处理的全流程作业；提供DOM、DEM、TDOM等多种数据成果及浏览；支持网络RTK及PPK解算服务，减少外业的工作量。



空机重量	2.6kg
最大/标准起飞重量	3.8kg/2.8kg
最大载重能力	1.2kg
对称电机轴距	598mm
外形尺寸 (不含桨叶)	展开 495×442×279mm 折叠 495×442×143mm
导航卫星	GPS, BeiDou, GLONASS
动力方式	电动
飞行器最大速度	20m/s (飞机倾斜25度时)
最远航程巡航速度	13.5m/s (最远航程50Km)
最长航时巡航速度	7.0m/s (最长航时74分钟)
悬停时间	60min (挂载单相机载荷海平面悬停)
最大爬升速度	8.0m/s (手动), 5.0m/s (自动)
最大下降速度	5.0m/s (手动), 3.0m/s (自动)
悬停精度RTK	水平1cm+1ppm 垂直2cm+1ppm
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)
任务响应时间	展开≤10min, 撤收≤15min
测控半径	图传距离<10公里; 数传距离<20公里
起降方式	遥控器垂直起降
工作温度	-20~45°C

图2 D2000S搭载五镜头、D2000S参数

### 2.2 外业技术路线及作业流程

因为测区位于市区，地形起伏不大，此次项目没有使用变高飞行，项目需要清晰的三维模型，正射影像图以及DLG平面线画图，所以使用飞马D2000S搭载倾斜五镜头D-OP3000进行作业。

#### (1) 外业技术路线

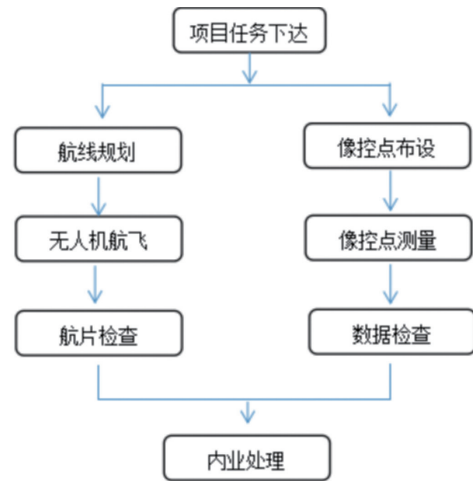


图3 外业处理流程图

#### (2) 外业作业流程

本测区大型建筑物居多，测区面积为0.4平方千米，飞行高度为250米，航向重叠为80%，旁向重叠为70%，6个像控点大多使用特征点均匀布设在测区内部。

在飞行时需要注意查看天气，暴雨天气不适合飞行作业；在风速小于6级时进行作业，风速超过6级时，获取的影像照片将会不利于建模；稳定的气流，每天的正午气流相对稳定，适合飞行；选择航摄时间，既要保证具有充足的光照度，又要避免过大的阴影，一般为早晨10点以后下午5点以前，中午12点至下午3点最适宜。

航线布设如图4所示：



图4 航线布设

像控点应该选择在航摄像片上影像清晰、目标明显的特征点，实地选点时，也应考虑侧视相机是否会被遮挡。对于弧形地物、阴影、狭窄沟

头、水系、高程急剧变化的斜坡、圆山顶、跟地面有明显高差的房角、围墙角等以及航摄后有可能变迁的地方，均不应当做选择目标。像控点布设如图5所示：



图5 像控点使用特征点布设

## 2.3 内业处理流程

无人机飞行结束以后开始下载数据，仔细检查影片是否有损坏、是否清晰、轨迹数据是否记录完整，使用管家智检图进行数据检查。然后采用飞马管家智理图进行解算，得到POS数据后进行参数计算和坐标转换，也可直接在管家里面输出所需成果，此项目采用无人机管家进行解算，（在管家中可以输出真正射影像）最终使用ContextCapture Center Master输出模型。技术路线如图6所示：

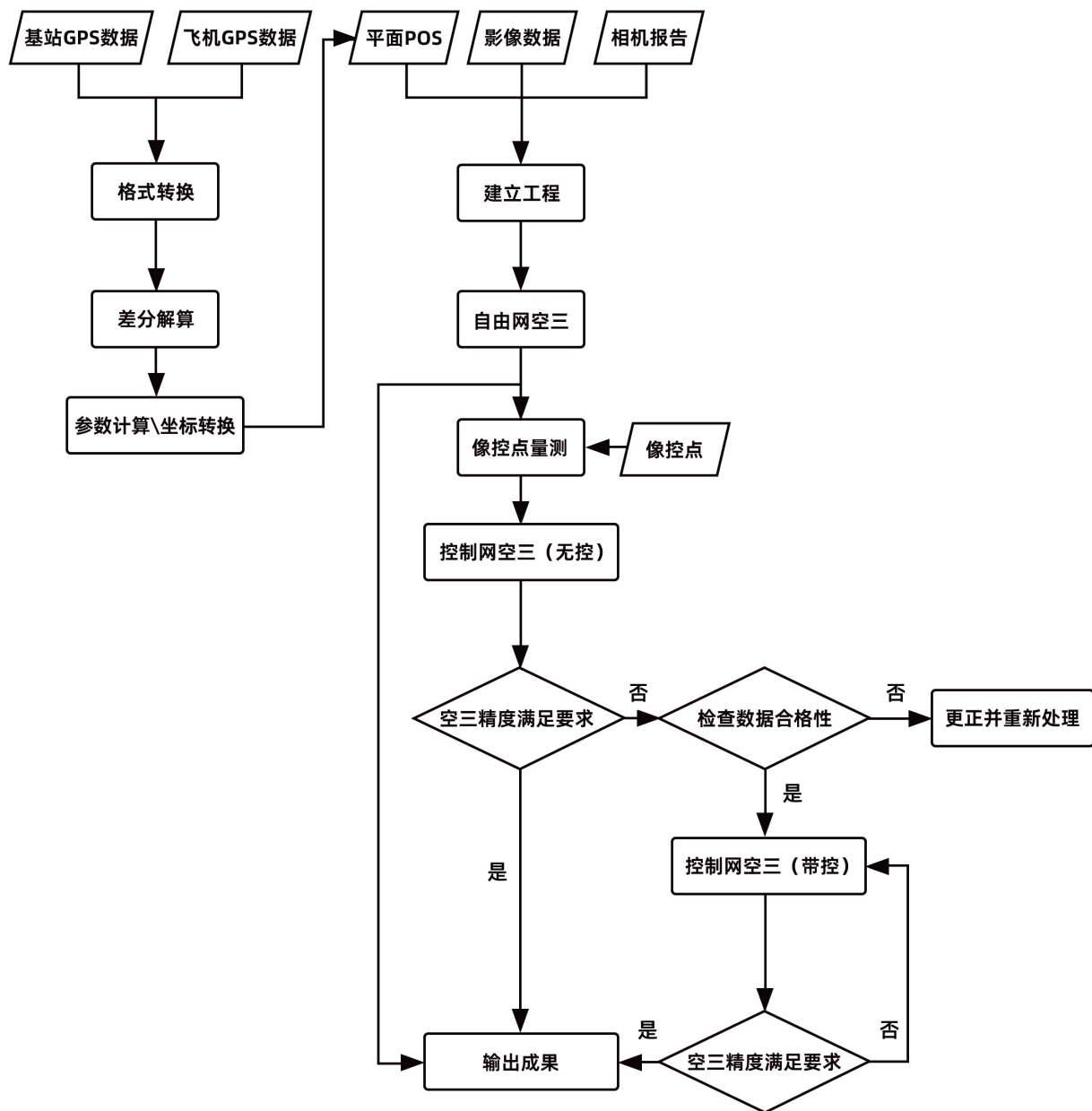


图6 内业处理流程

## 2.4 倾斜摄影作业流程

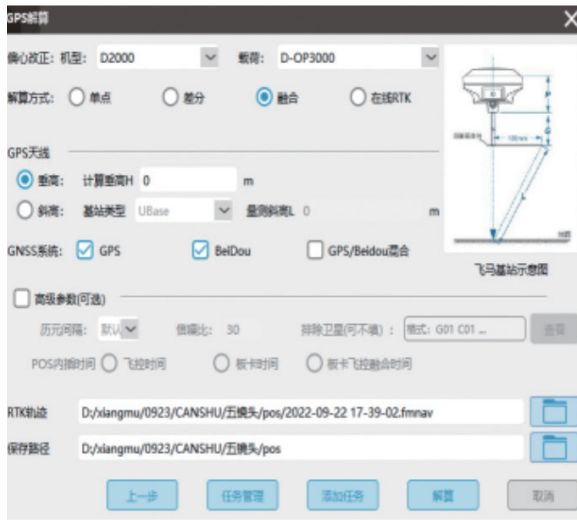


图7 解算及坐标转换

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]		
k1	3D	Horizontal: 0.010; Vertical: 0.010	5 (5 marked photos)	0.02	0.0007	0.0003	0.0003	0		🟢
k2	3D	Horizontal: 0.010; Vertical: 0.010	5 (5 marked photos)	0.02	0.0009	0.0009	0.0008	0.0002		🟢
k3	3D	Horizontal: 0.010; Vertical: 0.010	6 (6 marked photos)	0.03	0.0014	0.0013	0.0013	0		🟢
k4	3D	Horizontal: 0.010; Vertical: 0.010	4 (4 marked photos)	0.03	0.0012	0.0008	0.0008	0		🟢
k5	3D	Horizontal: 0.010; Vertical: 0.010	7 (7 marked photos)	0.01	0.0006	0.0009	0.0004	0.0008		🟢
k6	3D	Horizontal: 0.010; Vertical: 0.010	7 (7 marked photos)	0.02	0.0007	0.0004	0.0004	0.0002		🟢
Global RMS				0.02	0.0009	0.0008	0.0008	0.0003		
Median				0.02	0.0009	0.0009	0.0008	0.0002		

图8 精度检查

此项目需要在EPS或者CASS3D中勾画DLG线画图。因测区面积较小，6个像控点均匀布设与测区内部，使用检查点检核，误差均在允许范围内，即可输出模型成果。

## 2.5 倾斜模型展示



图9 实景三维模型



图10 平面地形图展示

D2000S进行倾斜摄影，高效的得到了整个测区很直观三维模型、DOM，因为高程需要剔除测区植被和建筑物，在使用EPS线画软件勾画DLG线画图时，只勾画了平面部分（宾馆只勾画了顶层的平面图，无法勾画其它楼层），一些植被覆盖密集的地方高程点还没有融合到一起。

## 3 LiDAR2000技术路线及处理流程

### 3.1 LiDAR2000特点

LiDAR2000具有低成本、高精度、全天候作业、全自动数据获取、原始数据压缩的特点，且支持载荷二次开发。得到的点云数据可以进行地表植被和建筑物的剔除，可以得到地表的高程。可以把点云进行精细化的分类，不同地形地貌具有不同参数进行编辑设置。外业不需要再人工打点，自动化程度高，输出成果格式丰富。



图11 LiDAR2000模块

### 3.2 技术路线

因高程需要和前面倾斜数据DLG融合，此次LiDAR2000飞行时航线和倾斜摄影航线有重合，坐标系也为CGCS2000，采用1985国家高程基准，检查点也一样。

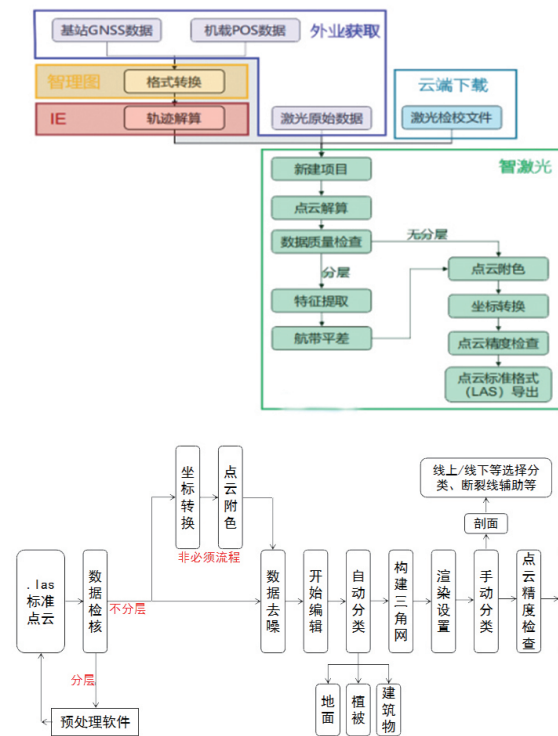


图12 LiDAR2000预处理及后处理流程

### 3.3 作业流程

导出LiDAR2000激光雷达原始数据，使用飞马管家智理图进行转换，再使用IE解算轨迹数据，智激光开始解算点云，检查是否分层，坐标系和高程基准，保持和倾斜数据一致。即使用倾斜飞行中所用的转换参数，在智激光中进行坐标转换，再用

检查点查看精度，精度达到要求，输出高程点数据与倾斜平面数据融合。

#### 3.3.1 IE流程

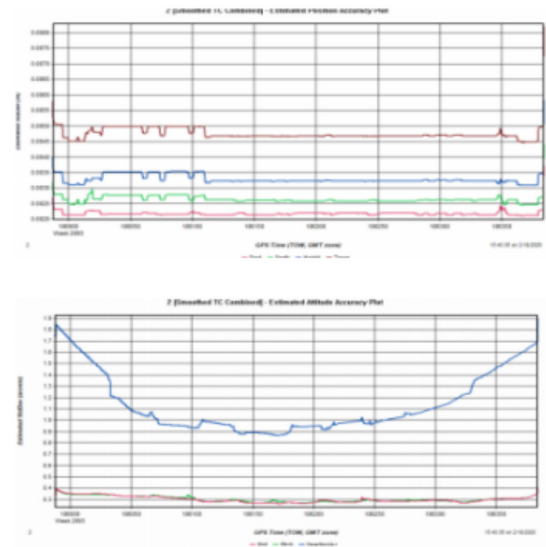
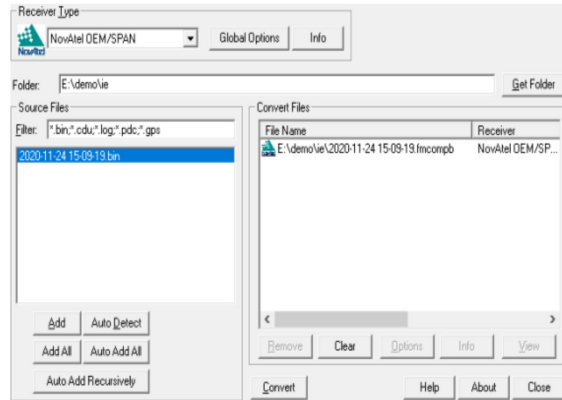


图13 IE处理流程

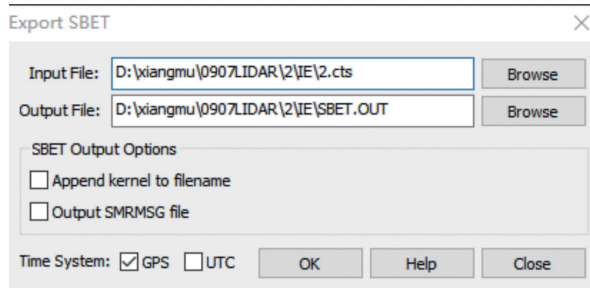


图14 导出轨迹数据

#### 3.3.2 管家流程

在管家智激光中进行点云解算-检查是否分层-坐标转换-检查精度-去噪，打开智点云-开始编辑-剔除地表植被-得到地面点云-输出所需成果。

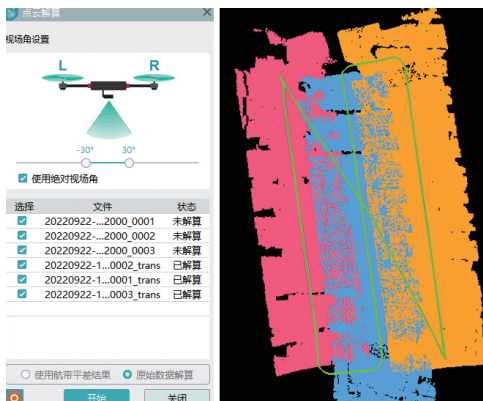


图15 点云解算

LiDAR2000采集的点云密度很大对于地面植被穿透性比较强，同时也大大解放了人力，点云的精度与实测精度对比之后误差在允许范围之内，刚好可以弥补倾斜摄影植被覆盖较为密集无法得到准确高程的短板（剔除植被后把高程和上面的平面地形图融合，得到整个测区完整的地形图）方便快捷。

## 4 SLAM100作业流程及成果

### 4.1 SLAM100特点

SLAM100可以精准采集各个角落数据，保障数据的完整性，不怕光线不足且可同步获取纹理信息，生成彩色点云和局部全景图。它具备高精度、高精密度，数据处理软件可以自动提取控制点点位，丰富的外部接口，可外接全景相机、GPS模块等，使数据采集多样化，以适用更多的应用场景。

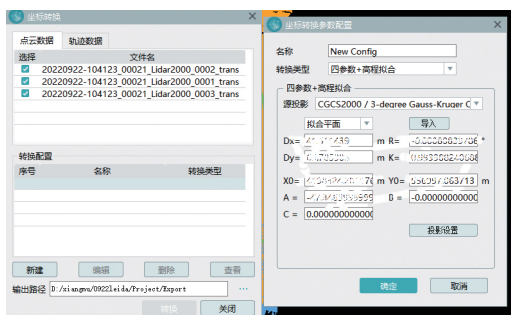


图16 坐标转换



图20 SLAM100



图17 现场图以及精度检查

### 4.2 处理流程

因此项目中需要竣工验收的宾馆，不是四方四正很规则的建筑物，长度和高度如果用尺子拉误差太大，而且地下车库光线不是很好，量取尺寸时车流和人流的影响较多，所以使用SLAM100进行扫描，解算得到点云数据，进行线画作业，量取长度。

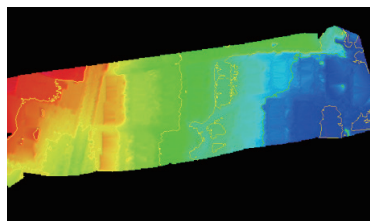


图18 成果输出



图19 高程数据和平面融合的地形图成果

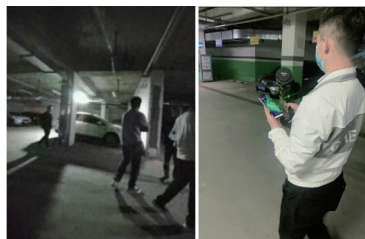


图21 外业扫描

数据处理软件可以自动提取控制点点位，使用控制点可以将采集数据转换至绝对坐标和对数据的质量进行控制，因为此项目需要对扫描数据进行检核精度，要求坐标系和倾斜摄影及雷达坐标系一致。

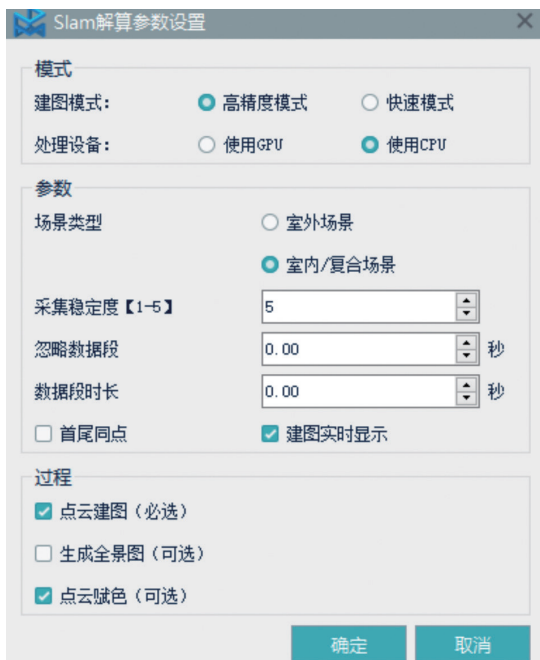


图22 SLAM点云解算

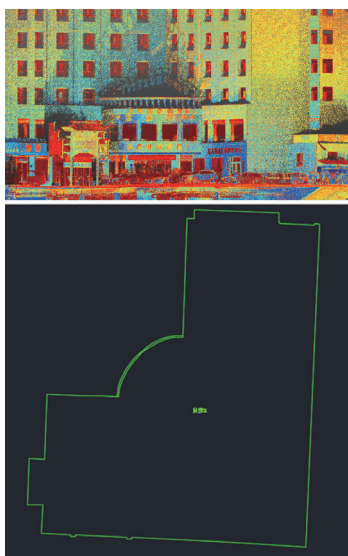


图23 室外扫描点云及线画图

使用SLAM100扫描结束得到的立面图可以直接在图上量取尺寸，并且可以需要宾馆哪个楼层的平面图就可以勾画出来量取尺寸，不再受外界影响，不怕光线不足、避让行人、避让车辆造成误差，也避免了尺子拉不直造成的人工误差，更方便快捷的用于竣工测量及验收。

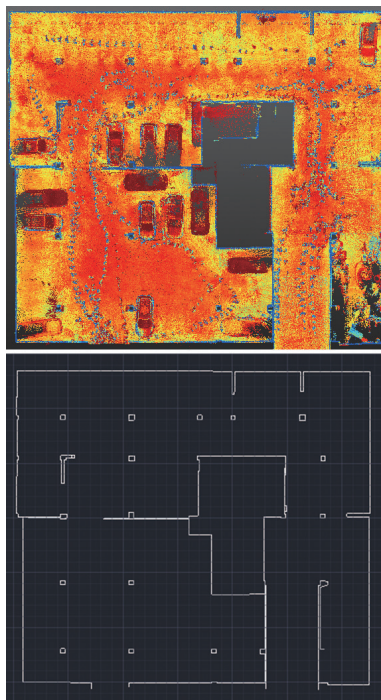


图24 地下车库点云及线画成果

## 5 成果总结

就本次地形测量和竣工验收项目，飞马D2000S具有携带方便、人力投入很小、低成本、高效率、自动化、可视化等优点。尤其三维模型非常直观的显示了测区的地貌特征，可以快速得到DLG线画图。但是没有办法得到植被密集地方的地表的高程数据，我们搭配使用飞马LiDAR2000进行作业，它可以输出各种所需格式，不用局限于白天工作，夜间也可以工作，自动化程度高，人为干预少，不用再去投入大量人员去外业打点，减少了人员投入。在这个项目中得到测区高程与倾斜数据进行融合，精度均可以达到要求，快速得到测区高精度的地形图，所以可以很好的应用于地形测量。介于地下无法使用飞机，飞行的时候在时间上也有很大的限制。其次由于玻璃纹理单一、女儿墙立面造型不规则等影响，没有办法按楼层勾画所需要的平面图形，我们使用飞马SLAM100进行旋转式扫描，激光传感器动态采集可形成 $270^{\circ} \times 360^{\circ}$ 球形视场角，精准采集各个角落数据，保障数据的完整性。搭配可见光相机，可同步获取纹理信息，生成彩色点云和局部全景图。我们可以带入所需坐标系和倾斜数据、雷达数据进行融合，量取尺寸，运用于竣工测量。

通过这三者的首次协作作业，得到了高质量的数据，质量验证精度也完全达到要求。充分体现



出飞马产品不可替代的作用，具有很高的实用性和推广价值。

### 参考文献：

- [1] CHZ 3003-2010低空数字航空摄影测量内业规范[S].
- [2] 《1:500 1:1000 1:2000数字航空摄影测量测图规范》(CH/T3007.1-2012).
- [3] 《测绘成果质量检查与验收》(GB/T24356-2009).