

利用飞马 D200 在高海拔地区实现项目区三维重建

投稿人：汤小林，韩永斌

电话 13603250291

投稿单位：《中煤科工生态环境科技有限公司》

摘要：

为了满足青海省某生态环境治理项目区阶段性成果进行综合分析，在海拔 3800m 的高原地区利用飞马无人机 D200+D-0P300 进行了航飞摄影测量，并完成了由照片和机载 POS 的融合、空三解算、模型重建等处理流程，生产结果为高精度正射影像和实景三维模型，经过检查，成果精度和效果均符合要求，可以满足后期提取高程及工程量的计算。有效的解决了高海拔地区大面积作业条件下传统测量方法的弊端，提高了生产效率，降低了作业成本。

关键词：

D200；D-0P300；高海拔地区；空三解算；三维模型

1 项目背景

某矿区生态环境治理项目位于青海省高原地区，平均海拔高度为 3775m，最高处达 3800m。项目区总面积 6.7 平方公里，原为露天开采形成的渣山、采坑和工业广场等附属设施，为了恢复生态环境，目前采取渣山平整、采坑回填、土壤改良和植被工程等措施进行了生态治理。本次任务拟对其中一部分区域进行地表测量工作，以便对阶段性生态治理成果进行综合分析，拟测量面积大概 2.3 平方公里。

2 技术路线

2.1 施测方案

由于项目区处于高海拔地区，而且面积较大，靠传统测量 GPS RTK 方法，人力成本高，作业周期长，工作效率太低，因此决定采用飞马无人机 D200+D-0P300 倾斜摄影测量方案来完成这一任务。D200 是飞马着力推出的一款基于高性能旋翼平台的一体化高精度航测无人机系统，采用四旋翼飞行平台，不受起降场地限制，灵活性较高，起飞重量 7.5kg，标准载重 1kg。另外 D200 配备高精度差分 GNSS 板卡，支持 PPK、RTK 及其融合作业模式，可实现少量控制点或者在地物特征丰富等一定条件下免像控实现 1:500 作业成图。

其挂载的五镜头 D-0P300 采用 SONY ILCE-6000 微单相机，总像素 1.2 亿，镜头焦距：下视 25mm，斜视 35mm，倾斜角度 45 度，可获取高分辨率和高质量的影像数据。在平原地区 D200 单架次飞行时间最高可达 48 分钟，如果采用 3cm GSD 进行测量外业数据采集时，单架次飞行 30 分钟可实际作业 0.57 平方公里。

2.2 技术路线

航摄实施的技术流程见图 1 所示。

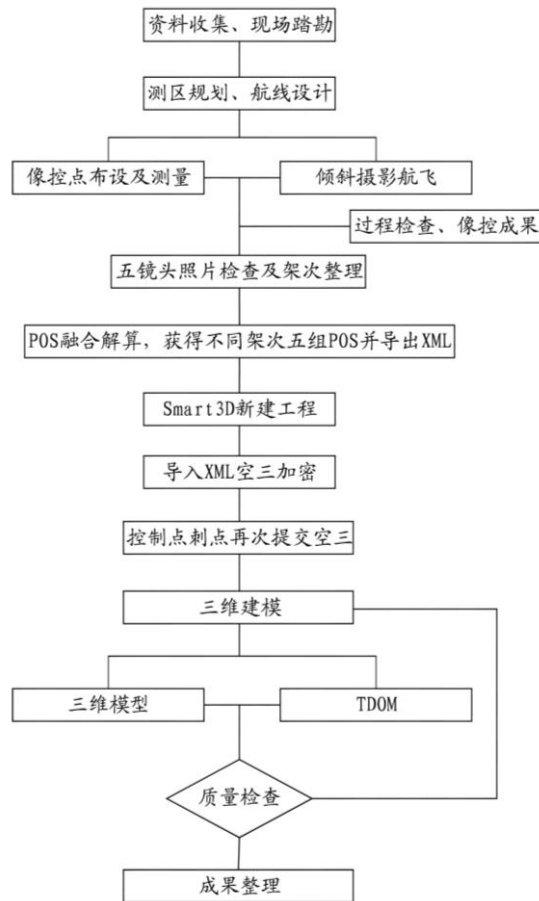


图1 航摄技术流程

3 实施方案

3.1 航线设计

项目区南部为工业广场，其最高建筑为 65m，另外在项目区内有两处电信塔高度为 50m，项目区内采坑相对周边深度 80m。根据项目要求，设定 GSD 为 2.5 厘米/像素，满足 1:500 地形图航摄成图要求。航线角度 270 度，航向重叠度 80%，旁向重叠度 70%，选用 D200 四旋翼无人机配套 D-0P300 五镜头相机，航线高度设定为 165 米，预计飞行 4 个架次。

另外，由于作业区域属高海拔地区，最高处海拔达 3800m，气压与低海拔地区不同，所以作业时对 D200 无人机更换了高原浆，提高升力，稳定操控。

航线设计规划图见图 2 所示。



图2 航线规划图

3.2 像控点布设

本次施测采用 GPS RTK 方式，坐标系为 2000 国家大地坐标系，3 度带，高程系统为 1985 国家高程基准。利用青海省 CORS 连续运行参考站和大地水准面精化模型等成果直接获得高精度像控点坐标。

像控点的布设方法，在有公路或者是硬化地面的部位，采用喷漆的方式布设；在不具备条件的非硬化地面采用预先定制的标靶。



图 3 像控点布设（喷漆）



图 4 像控点布设（预制标靶）

由于项目区内地形条件限制，本次共布设 12 个像控点/检查点，但最后通过检查剔除掉 4 个不合理的点，最终设置 8 个像控点。利用 GPS-RTK 采用测量标靶中心坐标，对每个点位进行 2-3 个测回操作，取其平均值作为最终值，将控制点精度控制在 2cm 以内。

表 1 像控点成果坐标（以下平面坐标已经过加密处理）

像控点编号	平面坐标		高程 (m)
	X (m)	Y (m)	
k01	2384.638	12158.485	3781.572
k02	2441.773	12461.883	3778.983
k03	2853.722	12627.091	3803.228
k04	3280.464	12257.485	3789.409
k05	4200.574	12287.330	3786.298
k07	3733.872	11795.749	3784.660
k09	3124.555	11780.747	3790.897
k11	3339.163	11520.109	3788.348

3.3 航线飞行

上述工作准备完毕后进行飞行数据采集，D200 采用电脑配合电台控制实现全自动起降，整个过程无需人工干预，飞行完成后需要及时下载各种数据，包括照片、机载 POS、机载 GPS 数据、基站数据，同时现场检查数据质量和完整性，最终拍摄照片共 10503 张。



图 5 D200 现场作业照片（准备）

图 6 D200 现场作业照片（起飞）

3.4 内业处理

对飞机的机载数据以及照片下载下来以后，内业处理主要经过下面几步。

3.4.1 POS 融合解算

利用飞马无人机管家中智理图的“GPS 处理”功能进行 POS 融合解算，最终得到五个镜头的五组 POS。本项目共飞行 4 个架次，则最终有 4 个 POS 文件夹，每个文件夹中的内容见图 7 所示。

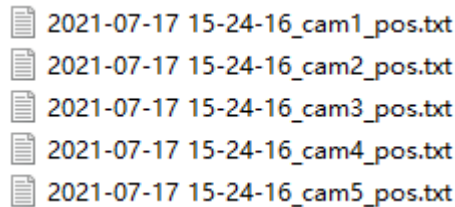


图 7 融合解算后对应五镜头的五组 POS 文件

3.4.2 照片整理

D200 原始拍摄的照片是按照五组镜头按文件夹存放，最终需要整理成每个架次一个文件夹，每个文件夹内按五组镜头存放对应的照片。在整理照片的同时，对不符合要求的照片进行剔除，最终共有 10486 张照片参与整理。

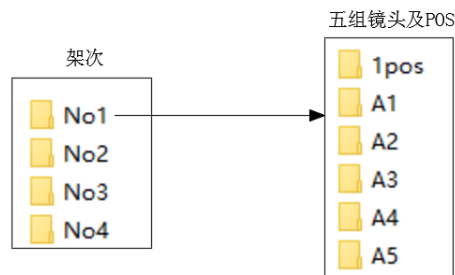


图 8 原始拍摄照片按架次及镜头组整理

3.4.3 快速图像整理输出 XML 索引文件

利用飞马无人机管家中的“快速图像整理”，按架次分别导入照片和对应的 POS 文件，检查影像与 POS 是否对应，选择好坐标系，最后整理得到 XML 索引文件，该文件包括照片位置、相机信息、融合后的 POS 信息等跑空三和建模所用到的所有数据。

3.4.4 空三解算

在 Smart3D 中新建工程，导入 XML 索引文件，设置正确参数以及坐标参考系统，提交空三，第一次空三可按照似 POS 平差参数设置，如果 POS 准确，就再按照准确 POS 平差参数设置进行提交，这样可实现差分 and 少量控制点的联合平差。

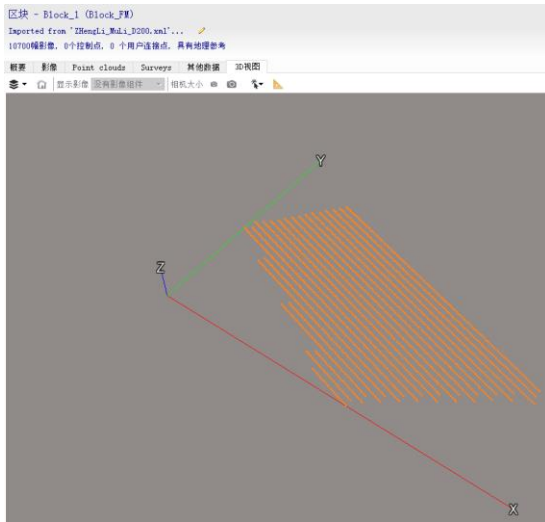


图9 导入后检查照片分布情况

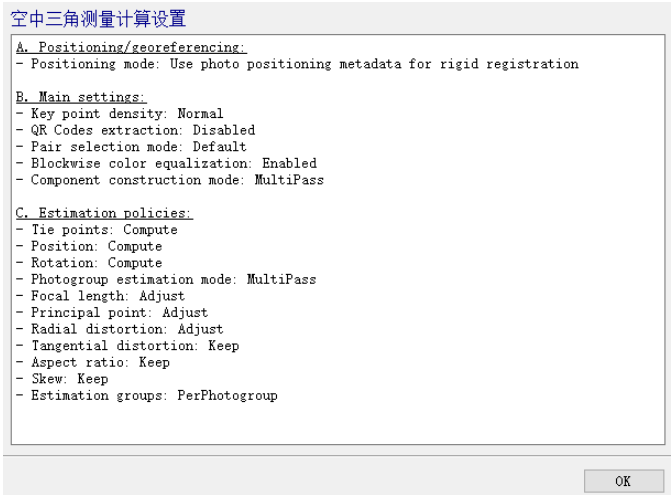


图10 空三设置

空三顺利通过并且没有分层和错乱的现象，证明空三没有问题，开始导入像控点数据并进行刺点，刺完点后查看 3D 视图并检查所刺的控制点，确认刺点没问题后，需再次提交空三。

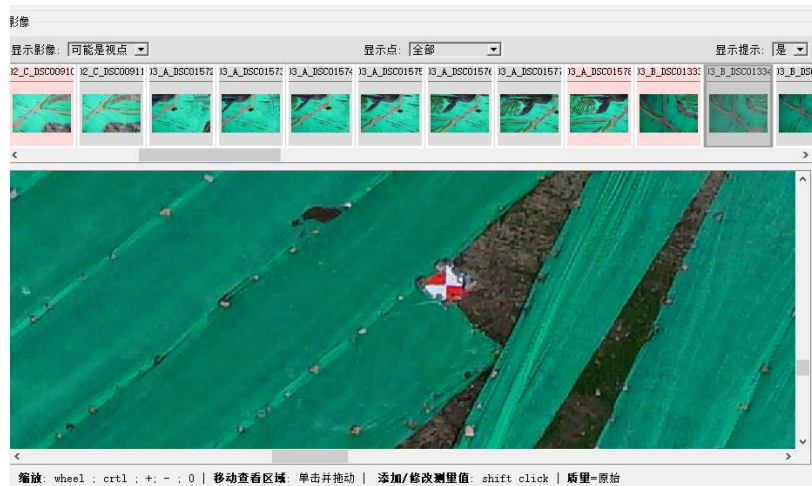


图11 刺点

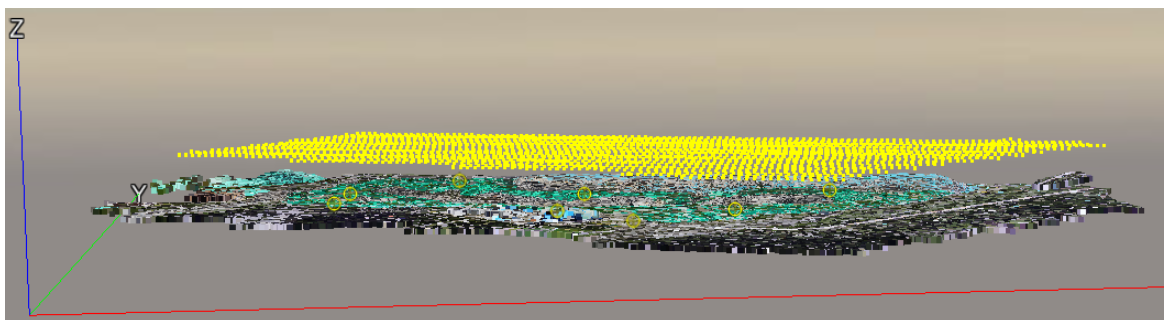


图12 第一遍空三后 3D 视图及像控点刺点位置

3.4.5 三维重建

像控点刺点并再次提交空三完成后，检查 3D 视图没有问题后，即可进行三维重建任务。选择好正确的坐标系以及需要重建的范围（如果要自定义重建区域，需要导入 KML 兴趣范围）。生产目的首先选择三维网格，重建输出成果选择 OSGB 通用格式。重建完三维网格后，才能根据需要进行生成正射影像/DSM。所建实景三维模型成果如图 13 和图 14 所示。

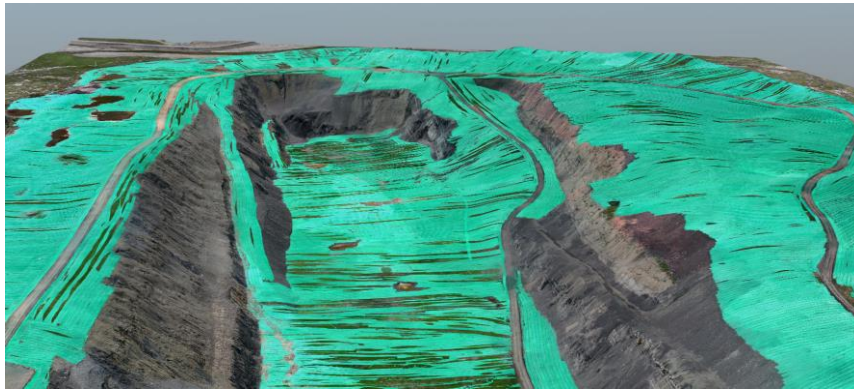


图 13 重建后的实景三维模型



图 14 重建后的实景三维模型

4 精度分析

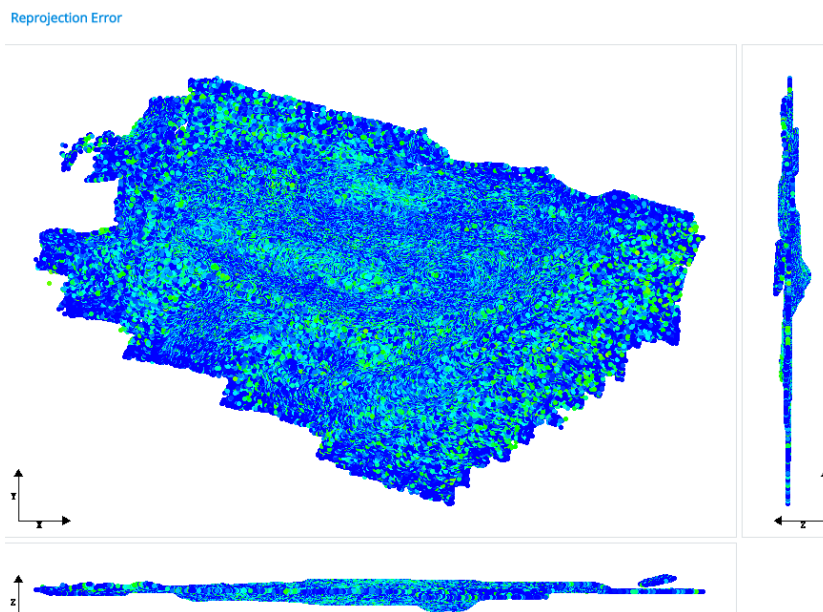


图 15 重新投影误差

最小重新投影误差为 0.02 像素，最大为 1.78 像素，平均重新投影误差为 0.60 像素。

表 2 相机校准分析

Calibration Results

	Focal Length [mm]	Focal Length Equivalent 35 mm [mm] ⓘ	Principal Point X [pixels] ⓘ	Principal Point Y [pixels]	K1 ⓘ	K2	K3	P1	P2
Previous Values	25.65	39.46	2967.71	2005.24	-0.1312	0.0965	0.1951	0.0006	0.0003
Optimized Values	25.64	39.45	2967.29	2005.12	-0.131	0.097	0.1923	0.0006	0.0003
Difference Previous / Optimized	-0.01	-0.01	-0.42	-0.12	0.0002	0.0005	-0.0028	0	0

表 3 照片匹配分析

Photo Matching

Quality Measures on Tie Points

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	529890	13	743	0.44	0.61	0.0476
Processed Values	511525	14	735	0.46	0.63	0.0477

表 4 控制点详细数据及误差统计表

Control Points

Control Points Errors									
Name	Category	Accuracy [meters]	Number of Photos	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]	3D Error [meters]	Horizontal Error [meters] ⓘ	Vertical Error [meters]	ⓘ
xk01	3D	Horizontal: 0 Vertical: 0	12	0.05	0.0281	0.0013	0.0011	0.0008	✔
xk02	3D	Horizontal: 0 Vertical: 0	9	0.04	0.029	0.0009	0.0008	-0.0005	✔
xk03	3D	Horizontal: 0 Vertical: 0	9	0.04	0.0217	0.0008	0.0008	-0.0001	✔
xk04	3D	Horizontal: 0 Vertical: 0	9	0.03	0.0231	0.0004	0.0002	-0.0003	✔
xk05	3D	Horizontal: 0 Vertical: 0	8	0.03	0.0282	0.0006	0.0003	0.0006	✔
xk07	3D	Horizontal: 0 Vertical: 0	12	0.05	0.0288	0.0016	0.0013	-0.0009	✔
xk09	3D	Horizontal: 0 Vertical: 0	11	0.04	0.0276	0.0008	0.0008	0.0002	✔
xk11	3D	Horizontal: 0 Vertical: 0	10	0.03	0.0363	0.0007	0.0006	0.0004	✔
Global RMS				0.04	0.0281	0.0010	0.0008	0.0005	
Median				0.04	0.0282	0.0008	0.0008	0.0002	

根据以上统计数据可以看出，内业处理结果精度可行，满足 1:500 地形图成图要求。

5 项目总结

通过图 13 可以看出，生成的三维模型能够清晰还原地形的真实形态，以及建筑的轮廓边缘，除模型展示之外还能够用来精确采集 DLG，另外通过自动生成或者人工采集生成高程 DEM，还能够根据项目实施前的高程 DEM 来计算相应区域的土方工程量。

另外解决了在高海拔地区大面积作业采用传统测量方法时人力成本高、作业周期长、工作效率太低的问题，充分展现了无人机 D200+D-0P300 航摄测绘成图成本低、生产效率高、精度高的优势。

6 创新型应用介绍

本次作业区域为近 4000m 的高海拔地区，为了提高无人机的升力以及飞行的可控性，在损失部分电力的条件下换上了高原浆，飞行时间每架次大约持续 22 分钟即返航，比在平原区同等航线情况下大概少飞行十分钟，通过此次飞行的经验，可为高原区域飞行的同行提供借鉴。

7 飞马无人机优势总结

(1) 飞马 D200 型无人机 GNSS 模块可以提供高精度的定位信息，保证航线稳定的同时还能减少像控点的布设数量，提高作业效率。

(2) D200 无人机可挂载相机及 LiDAR 等多种载荷进行数据的获取，而且操控系统可根据不同载荷设备自动规划航线并操控无人机作业，方便使用。

(3) 飞马 D200 型无人机在高原地区气压较低的条件上换上高原浆，能安全作业，不影响航线高度和速度，保证作业效率。

(4) D200 无人机搭载的 D-0P300 镜头表现出色，支持地面站软件直接设置相机参数，同时支持 RTK 免像控作业，成图精度高。

8 应用扩展

下一步计划将 D200 的 LiDAR 与相机多种载荷相结合，充分发挥相机的三维建模和平面高精度的优势以及 LiDAR 穿透植被在高程方面高精度的特点，对平原植被覆盖较多的区域进行航飞作业。