

飞马无人机激光雷达在云南高山峡谷地区公路断面测量中的应用

杨明峰 张雪光 黄雄建

《云南建投第一勘察设计有限公司》

摘要:

应用无人机电载激光雷达设备,在云南高山峡谷地区进行高速公路断面测量。通过激光点云处理取得高分辨率的DEM,使用脚本语言进行高速公路断面线上高程点的自动切取,并使用CAD二次开发技术将高程点转换为横断面数据,使用道格拉斯-普克(Douglas-Peucker)算法进行过滤,并应用到断面复测工作中。

关键词:

飞马无人机;激光雷达;高山峡谷;高速公路;断面测量;道格拉斯-普克

1 项目背景

金(平)至金(水河)高速公路为云南省中长期高速公路网规划布局中20条联络线中的第11条,也是红河州境内第二条出境高速公路。线路起于金平县城东侧,止于金水河镇金水河村,主线全长44.21公里,桥隧比86.32%。

项目全线高差较大,由海拔1200米(金平县城)降至约300米(金水河村),为了达到降高目的,整个线路围绕山脉反复回头穿插,且沿线地区均为高山峡谷,植被以热带雨林及橡胶林为主,常规工程测量手段在此类地区存在仪器信号差、人工作业效率低、危险性高等问题。

为此,我公司在本项目断面测量工作中引入机载激光雷达技术。项目以飞马D2000无人机为平台,搭载Lidar2000激光雷达对沿线断面范围内区域进行扫描,使用飞马无人机管家软件进行点云数据处理,并通过RTK实测数据随机抽检精度。与边防部队确认好边境线禁飞范围,该范围内处于河谷地带,较为平缓则采用人工采集断面数据的方法作补充。



图1 项目地理位置图

2 技术路线

金（平）至金（水河）高速公路主线全长44.21公里，断面复测工程分为路基复测和桥梁复测，总长度约24.5公里。根据路基与桥梁分布位置，将全测区划分为20个区块开展航飞工作。

2.1 总体技术路线

如下图：

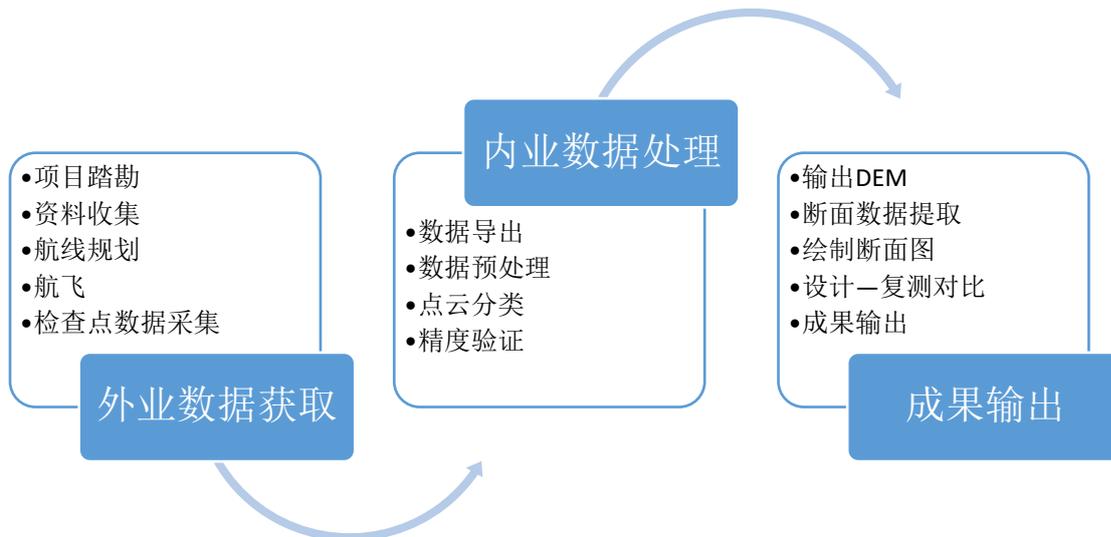


图2 技术流程图

2.2 外业数据获取

根据现场踏勘结果和本次飞行任务要求，结合所使用的机载激光雷达设备固有的扫描角、扫描频率等参数，考虑航带宽度、航带重叠、数据采集区域的天气情况等，利用无人机管家软件智航线进行航线规划。由于测区为高山峡谷地段，为避免因地形精度误差带来的飞行风险，所以规划数据基础采用12.5m分辨率DEM。飞行高度120米，飞行速度8米/秒，十字航线交叉飞行。

项目区高差剧烈、植被极为茂密，且待测工程基本布置于陡坡区域或山谷两侧，定高飞行会造成峡谷内无回波或回波质量不佳，高山区点云密度过大但覆盖范围过小的问题。为避免点云数据的空间分布不均，保证数据精度，航线规划以“**变高航线**”方式开展，确保航飞数据能够有效覆盖复测对象，同时采集足够数量和足够密度的点云数据。这个功能也是飞马无人机率先上线，对于云贵川地区较为实用。

我公司以无人机搭载激光雷达进行测量，实际航飞进行了5个工作日，外业检查点数据采集进行了14个工作日。若以RTK结合全站仪进行测量，每组每天测量长度为250米，整条线路外业测量时间为98个组日。

2.3 内业数据处理

2.3.1 激光点云数据解算（智激光）

使用飞马无人机管家及其他配套软件进行激光点云数据解算，具体厂家有相关的教程，这里不再

详述。流程如下：

1) 解算飞行航迹。由于测区为边境地区，没有千寻信号及基站，所以我们是采用的使用GNSS设备同步在控制基站上采集静态数据的方式进行解算。

2) 并经过解算激光点云、特征提取、航带平差、数据去噪、数据合并、精度检核、质量检查等操作，完成激光点云数据的解算处理。

其中点云数据质量检查主要通过检查点云密度、点云高程精度、点云线面位置精度及航带间公共点较差。

2.3.2 点云分类（智点云）

我们使用飞马无人机管家的智点云模块进行点云分类。虽然只要DEM数据，但为了避免分类错误，且相互验证方便分类查看，仍然建议按照地面点、植被、建筑等几大类进行分类，这样在分类调整过程中也方便快速。

智点云的分类选项具有简单易操作的特点，常用的选项已经预制，我们只需要简单的进行选择即可，比较适用于新手及常规快速处理。



图3 分类上色后的效果

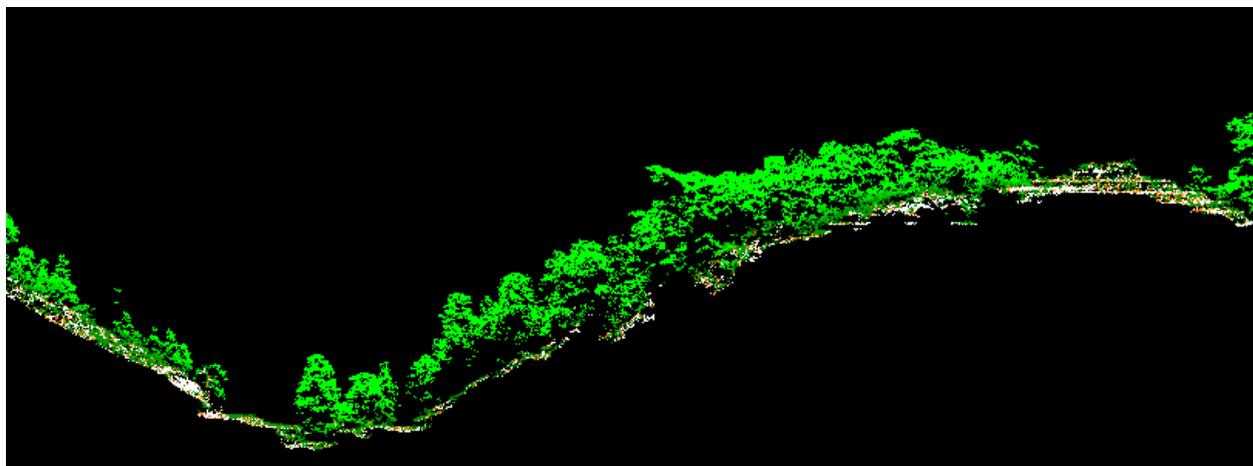


图4 断面图

在完成点云分类并检查无误后，就可以使用成果输出菜单下的DEM功能将地面点生成DEM成果，分辨率设置为0.5m。

2.4 断面数据提取

我们使用GlobalMapper进行断面数据的提取，主要有以下几步。

2.4.1 建立 GMW 项目文件

我们将DEM文件导入GlobalMapper中，并使用“save workspace”功能保存包含DEM的项目为gmw文件。

2.4.2 建立脚本文件批量提取断面点

在AutoCAD中根据道路中线建立所有需要切取断面点的横断面线，并使用CAD二次开发技术将全部断面线提取生成GlobalMapper脚本文件gms。

GlobalMapper 的脚本格式如下：

```
GLOBAL_MAPPER_SCRIPT VERSION=1.00 ENABLE_PROGRESS=YES
IMPORT FILENAME="D:\BackUP\Desktop\test\jj.gmw" AUTO_CONTRAST=yes 1
GENERATE_PATH_PROFILE POINT_SPACING=0.5 START_POS=504667.447,2517262.667 END_POS=504766.220,2517432.595 FILENAME="D:\BackUP\Desktop\test\OutDMX\jj_K0.000.csv"
GENERATE_PATH_PROFILE POINT_SPACING=0.5 START_POS=504684.738,2517252.616 END_POS=504783.511,2517422.544 FILENAME="D:\BackUP\Desktop\test\OutDMX\jj_K20.000.csv"
...
GLOBAL_MAPPER_SCRIPT VERSION=1.00 ENABLE_PROGRESS=YES
IMPORT FILENAME="D:\BackUP\Desktop\test\jj.gmw" AUTO_CONTRAST=yes 1
GENERATE_PATH_PROFILE POINT_SPACING=0.5 START_POS=504667.447,2517262.667 END_POS=504766.220,2517432.595 FILENAME="D:\BackUP\Desktop\test\OutDMX\jj_K0.000.csv"
GENERATE_PATH_PROFILE POINT_SPACING=0.5 START_POS=504684.738,2517252.616 END_POS=504783.511,2517422.544 FILENAME="D:\BackUP\Desktop\test\OutDMX\jj_K20.000.csv"
...
2 3 4 5
```

图5 脚本内容格式

注：

1. 包含 DEM 的 GlobalMapper 工作空间文件 gmw；
2. 断面采集间距；
3. 断面起点坐标；
4. 断面终点坐标；
5. 输出文件名。

2.4.3 断面点提取生成断面数据

在得到CSV格式的断面数据后，其格式为“Y, X, H”，在excel中整理成CASS的DAT格式“点号, 特征码, Y, X, H”，并使用展点功能将所有断面点展绘到已经整理好的断面线图中，同时也要将我们人工测量采集的断面点展绘到此断面线图中，合并处理。通过建三角网及绘制等高线功能，检查是否有异常高程点。

最后使用CAD二次开发技术制作一个断面线上高程点提取为断面数据插件，以断面线为基础，将线上高程点提取为横断面数据。

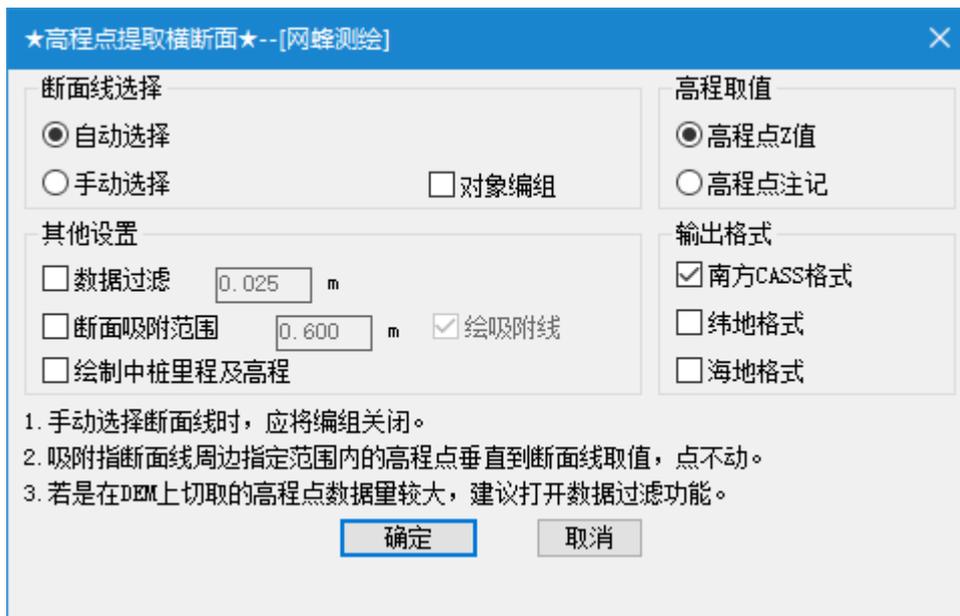


图6 高程点提取断面数据

数据过滤采用Douglas-Peucker算法：

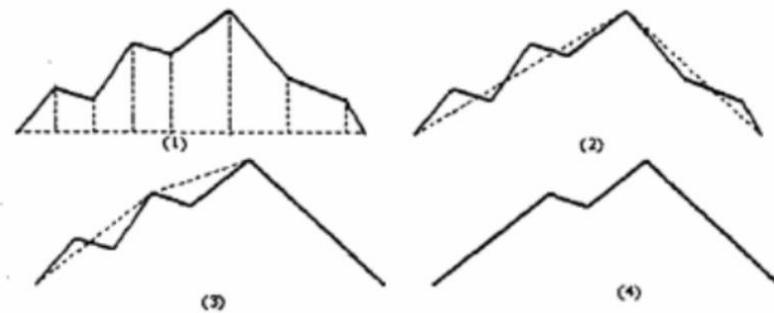


图7 Douglas-Peucker算法示意图

2.5 成果输出

断面数据可提供给设计单位使用，也可以在道路施工图中横断面设计图基础上进行套合，检查两次断面的差异，复核土方工程量，而形成断面复测成果图及成果对比表数据。

本次项目为复核工程量，使用程序进行断面自动套合统计，成果图如下：

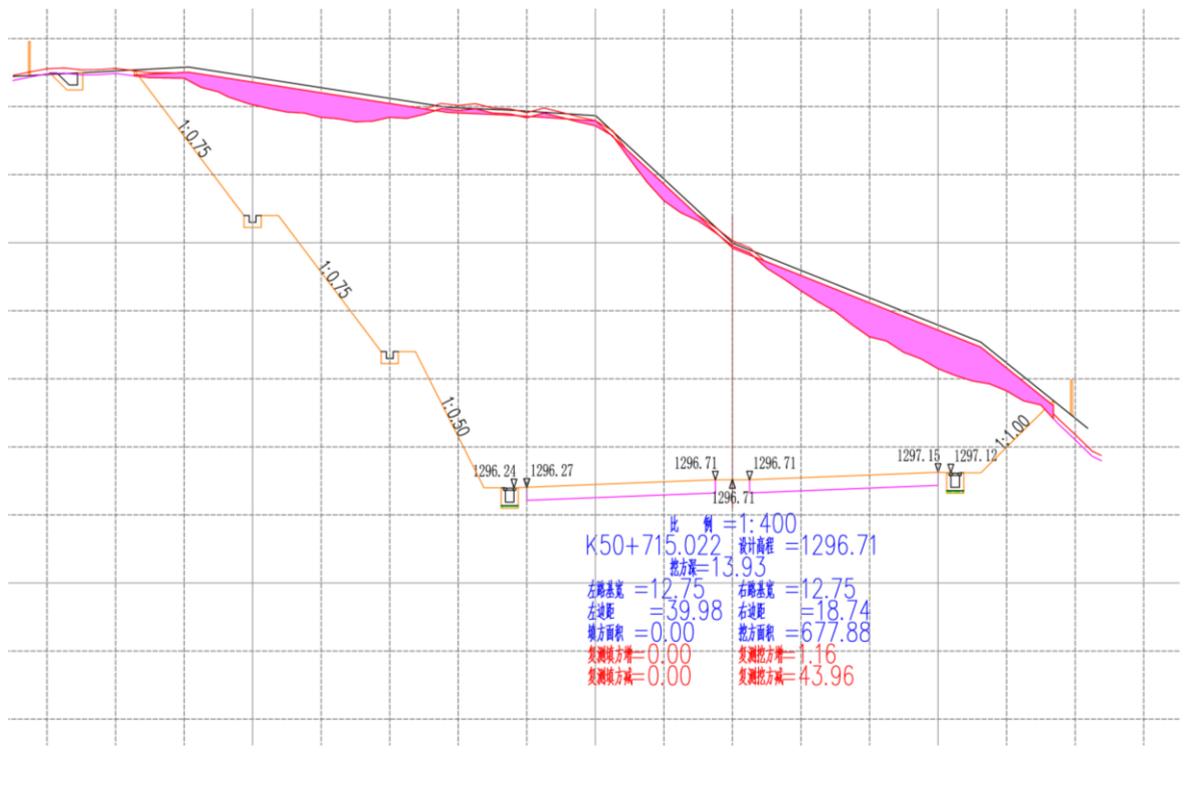


图 8 两次断面线套合示意图

3 数据质量

形成成果之后，我公司进行了全线数据质量比对，比对方法为：选取不同的地形条件，RTK实地测量高程点与DEM提取高程点进行精度对比，对比结果如下：

表 1

桥名	桥墩编号	实测地面标高	DEM 提取标高	差值	备注
金*大桥左幅	1-1	1279.552	1279.639	-0.087	台地植被覆盖相对稀疏
金*大桥左幅	1-2	1275.828	1276.049	-0.221	
金*大桥左幅	2-1	1277.752	1277.767	-0.015	
金*大桥左幅	2-2	1273.267	1273.465	-0.198	
金*大桥左幅	3-1	1276.064	1275.822	0.242	
金*大桥左幅	3-2	1272.500	1272.518	-0.018	
金*大桥左幅	4-1	1272.212	1272.171	0.041	
金*大桥左幅	4-2	1269.135	1269.276	-0.141	
东*3号大桥左幅	1-2	1245.017	1245.176	-0.159	疏林地
东*3号大桥左幅	2-2	1242.492	1242.336	0.156	
东*3号大桥左幅	3-1	1239.184	1239.000	0.184	
东*3号大桥左幅	3-2	1241.118	1241.248	-0.130	
东*3号大桥左幅	4-1	1245.455	1245.412	0.043	
韩*1号大桥左幅	1-1	409.14	409.162	-0.019	橡胶林（规则密林）
韩*1号大桥左幅	2-1	391.96	392.098	-0.138	
韩*1号大桥左幅	2-2	391.02	391.098	-0.076	
韩*1号大桥左幅	3-1	402.56	402.536	0.020	

韩*1 号大桥左幅	3-2	401.95	402.536	-0.585	密林下箐沟里
龙*1 号大桥右幅	0-1	878.071	879.803	-1.732	
龙*1 号大桥右幅	0-2	871.412	872.596	-1.184	
磨*4 号大桥左幅	7-1	598.258	600.24	-1.982	
磨*4 号大桥左幅	7-2	599.530	600.83	-1.300	

根据实测监测数据进行分析，在植被覆盖不密集，树林密集但激光可以穿透的情况下，采用无人机搭载激光雷达进行测量，精度满足项目要求。根据实测数据比较，在有茂密植被的山谷中，三次回波的激光点云穿透性较一般地区明显下降，地面的草本植物、藤条、树干等对回波有明显影响，此种情况所得数据存在一定误差。当然也有个别数据存在更大的粗差，在作业过程中需要甄别并查找原因，将数据删除。

4 总结

本项目使用机载Lidar2000激光雷达进行地面点数据获取，并通过脚本语言切取断面高程点，在CAD使用二次开发技术，基于道格拉斯-普克算法进行断面数据提取抽稀转换。全过程配合紧密，操作顺畅，非常完美的完成任务。

经过本次实践，飞马无人机D2000搭载激光雷达D-Lidar2000进行断面测量工作有明显的几点优势。

1、工作效率极大的提高。本项目工期紧，任务量大，以传统测量方法无法在规定时间内完成断面测量工作。采用此方法，外业工作效率提高5-6倍以上，能在规定时间内完成断面测量工作，满足了甲方的要求。

2、外业人员工作强度极大的减小。项目所在地地形起伏巨大，植被覆盖茂密，传统外业测量方法外业测量人员工作强度巨大，危险性也比较高，并且有些区域人员无法到达。采用此种方法，有效的减轻了人员工作强度、提高作业安全性、增加数据采集密度。

3、提高测量数据精度。采用此种方法，数据密度足够，形成的断面更符合实际地面，能更好的指导施工。

4、数据重复利用率高。获取的点云数据及DEM数据，信息量足够，在工程进行中亦能有效的重复使用。

当然，通过本项目作业过程发现，采用450m三次回波激光雷达进行断面测量工作，也存在部分需要改进的几个问题：

1、外业数据采集过程中，遇到地形高差大和植被茂密的情况，在现有设备条件下应加大点密度，可通过增加飞行次数、降低飞行高度等方式来解决。远期可考虑更换更高密度、更高回波次数的激光雷达设备进行测量，或使用带有光谱数据的设备，以点云数据结合NDVI提高滤波质量。

2、内业处理上，还需继续总结数据处理经验，在航带拼接、航带平差、除粗差、点云噪声去除、点云滤波、点云分类等一系列内业处理过程中，进行相应的学习与提高，能更好的提高数据质量。