

飞马 V1000 在新疆无人区高速公路大比例尺地形测绘中的应用

李红梅，向荣荣，刘铭扬，姚艳丽，孙炜

中国公路工程咨询集团有限公司（武汉）勘察分公司

摘要：高海拔复杂地形无人区的测量工作一直是高速公路工程测量的难点。由于无人区内无网络信号、地形条件差、作业十分困难，采用飞马 V1000 无人机航测系统完成地形测图任务。针对无人区像控点布设难度高，采用无人机自带 PPK 后差分技术可大量减少像控点布设，大大提高作业效率。采用无人机管家对航飞数据进行空三测量，得到数字表面模型（DSM）和数字正射影像（DOM），经过滤波和平滑处理后，得到数字高程模型（DEM），再将空三成果恢复立体，用立体采集软件进行地形图采集，得到 1:2000 数字线化图（DLG），完成高海拔地区的大比例尺地形图测量工作。

关键词：高速公路测量；飞马无人机；数字表面模型；数字正射影像；数字高程模型；数字线化图；

1 项目背景

某高速公路，为新疆“6 横 6 纵 7 枢纽 8 通道”公路主骨架战略规划“6 纵”中第 2 纵的重要组成部分，也是实现南疆与北疆直接联系最重要的通道之一。项目位于新疆库车地区，路线起点位于巩乃斯镇西南约 21 公里处，路线终点位于 G3012 吐和高速。项目测区以山岭、重丘区为主，地形条件复杂，起伏较大，最低海拔高程 980m，最高海拔 2700m。测区四分之三以上面积为无人区，无网络信号，交通十分困难。本项目测量任务为 1:2000 地形图测绘，项目要求航飞带宽 2 千米、地形图带宽 800 米，考虑作业难度和作业效率，采用飞马 V1000 无人机航测系统进行外业航飞数据采集和内业数据处理。项目整体航飞范围如图 1 所示（红线区域为航飞范围）。

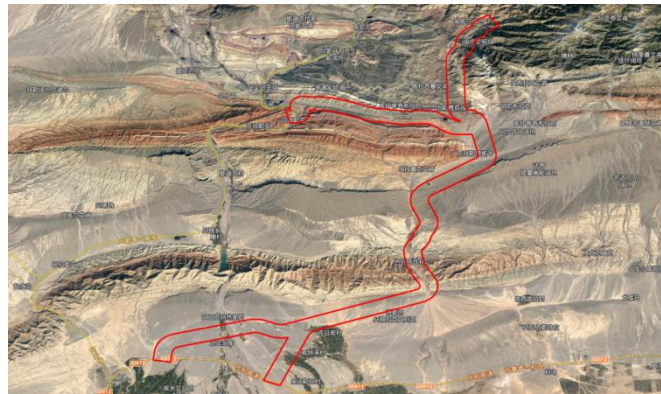


图 1 项目整体飞行范围

由于无人区内交通条件极差，很多地区车辆无法到达，无人区仪器设备运输问题采用驴托运无人机航测设备和人力徒步运输的方式解决，作业现场设备运输见图 2。



图 2 无人区内驴托运设备现场

2 技术路线

本项目技术路线见图 3。

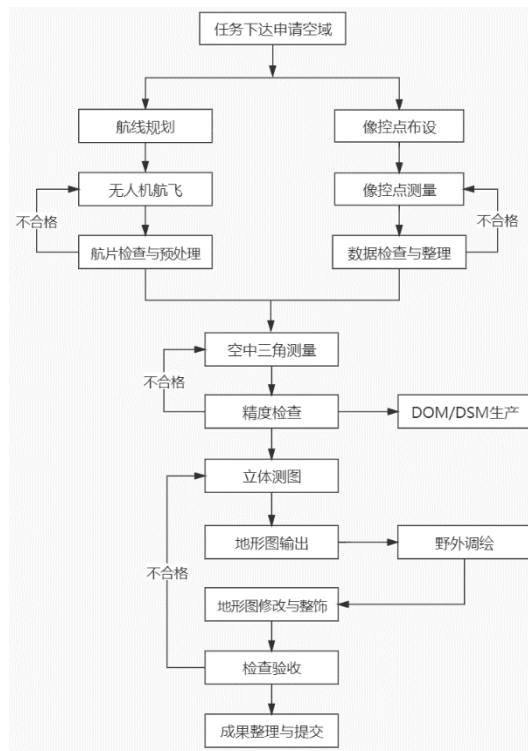


图 3 技术路线图

3 作业流程

3.1 飞马 V1000 无人机航测系统简介

飞马 V1000 采用领先的倾转旋翼机构，具备垂直起降能力，兼顾定点起降及大范围数据获取能力；整机采用智能电池管理，可根据场地情况设置垂直爬升高度（50-500m 可自由设置）。整机起飞重量 4.8kg，集成高性能传感器，续航时间 90min，飞控采用数据融合处理算

法，确保飞行作业安全产品通过多项器件级、部件级、整机级可靠性测试。由于本项目高程落差大，在平均高程 2000m 以下区域，采用普通桨叶进行航飞；在平均高程 2000m 以上区域，由于高海拔气压降低，所以采用高原桨进行航飞，使无人机增加动力，减少对飞控和电机的损耗，增加飞行效率，保障飞行安全。

V1000 无人机航测系统集成高精度 GNSS 板卡，支持网络 PPK/RTK 差分处理，经无人机管家差分解算模块可获取高精度的 POS 信息。

表 1 飞马 V1000 主要技术参数

机长	0.93m	机高	0.33m
机翼面积	0.315m ²	机翼展长	1.86m
最大起飞重量	5kg	最大有效载重	1kg
最大载容量	12000Mah	升限	6000m
最大航程	2000m	最大平飞速度	72km/h
巡航速度	60km/h	起飞离水速度	5m/s
失速速度	3m/s	盘旋半径	60m

传感器选用具有双向像点位移移补偿功能的数码量测相机作为本项目的航摄仪，主要参数为：

Name Sony ICLE-7RM3 (A7RM3)
 CCD Size 7952 x 5304 (pixels)
 Pixel Size 4.510 (μm)
 Focal 34.98628441 (pixels)
 像主点坐标 (x0、y0) 4043.817、2650.340 (pixels)
 GSD≈13cm

3.2 航线设计与规划

航线设计：地面分辨率 13cm、航向重叠度 80%、旁向重叠 60%、飞行相对高度 1130m、航线间距 393m、拍照间隔 138m、飞行速度 20m/s。

本项目航线规划优先使用带状航线规划，带状航线规划特点：(1)提高带状工程航线规划效率；(2)减少不必要的重叠，提高航飞工作效率；(3)减少照片数量，提高内业数据处理效率；(4)根据里程自动划分任务；(5)添加拐弯辅助点，使拐弯处完美衔接达到重叠度。



图 4 带状航线规划示意图

3.3 像控点布设

3.4.1 像控点图根控制测量

由于测区周边分布的国家控制点距离较远，部分区域国家点无法覆盖，并且由于本项目测量任务时间紧、作业难度大，对于像控点图根控制网如果采用传统 GNSS 控制测量加等级水准测量的方式耗费时间太长，难以满足项目的工期进度要求，因此对于像控点图根控制测量采用如下方案：将埋设的控制点采用千寻位置测量方式采集平面位置和大地高，高程系统采用省级似大地水准面精化成果将大地高转换为正常高系统。图根控制平面坐标系采用 CGCS2000 国家坐标系、中央子午线 84 度高斯投影；高程系统采用 1985 国家高程基准。像控点测量采用外挂电台 RTK 方式测量。

3.4.2 像控点布点方案

当构架航线覆盖完整时，每一测区子区选刺 4 个平高控制点；当构架航线覆盖，不完整时，在子区端布设平高和高程控制。每一测区子区均匀选刺 10 个平高碎部检查点，以检测和评定机载 GNSS 辅助空中三角测量精度。

整个测区共布设 145 个像控点，航飞面积共 226.6km²。平均 1.56km² 布设一个像控点。而按照传统不带差分情况下该区域需要布设至少 420 个像控点，比起传统无差分模式，采用千寻 PPK 差分技术减少至少 65%以上数量的像控点，像控点布设与测量工作量大大减少，工作效率得到极大提升。整个测区的像控点分布图如图 5 所示。

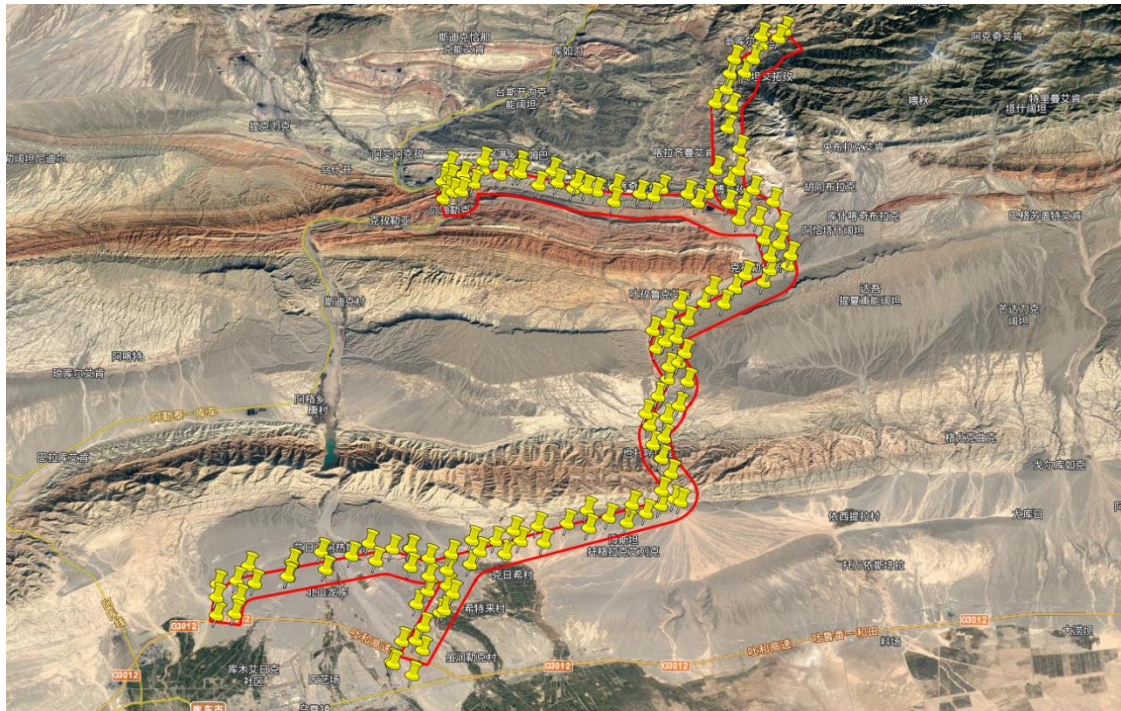


图 5 像控点分布图

3.4.3 像控点布设与测量

像控点布设在构架航线与子区最外两条测图航线较差中间部分，如果满足不了条件，可布设高程控制，并在航向 20 条基线内选择平高控制弥补。像控点点位应选在影像清晰的明显地物上。无影像清晰的明显地物时，采用布设地标辅助控点选刺。地标采用 1.3m*1.3m 的 L 型白色喷漆或布条，见图 6。根据航线设计，预先固定在设计像控点位置地面上，并采集坐标数据，L 型采集内角。像控点测量采用 RTK 测量方式。



图 6 地标式样

3.5 航空摄影

本项目在千寻官网查询已被千寻覆盖，但是大部分位于无人区，没有网络信号无法使用网络 RTK 服务，询问技术支持他们也遇到过这种场景，所以我们大胆尝试只使用 PPK 服务，当天飞完数据按正常流程可以下载基站数据，如图 7 所示，输入流动站数据，进行网络 PPK 预处理，解算时解算方式选择差分，如图 8 所示。经解算#Q1 : 100.00%，差分解算质

量很高。

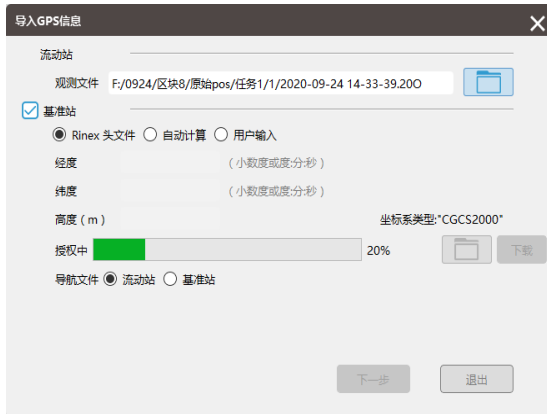


图 7 基站数据下载示意图



图 8 pos 解算过程示意图

飞机新增电量低于 30%自动返航，由于无人区没有网络信号，无法使用网络 RTK 服务，飞机定位会有误差，为了让飞机准确降落到停机坪中心，飞机降落至离停机坪 3-5 米时，点击暂停任务使用虚拟键盘进行修正，让飞机降落至停机坪中心，使飞机安全降落。



图 9 无人机航飞现场示意图

3.6 数据处理

本项目采用飞马无人机管家进行数据处理。飞马无人机管家可以对影像进行初始纠正，可以计算七参数，对 POS 进行坐标转换；同时可以快速恢复空三，用航天远景进行立体采集；还可以生成数字表面模型（DSM）和数字正射影像（DOM）。

第一步，打开飞马无人机管家，智理图工具条，点击初始纠正，选择好原始影像路径和输出影像路径，选择此项目所用相机的相机参数，如图 10 所示，点击确定后，软件开始对原始影像进行纠正。



图 10 飞马无人机管家影像初始纠正示意图

第二步，打开飞马无人机管家智拼图模块，建立一个新的工程，选择影像路径，选择好相机，坐标系，导入 POS 信息，导入完成后如图 11 所示。

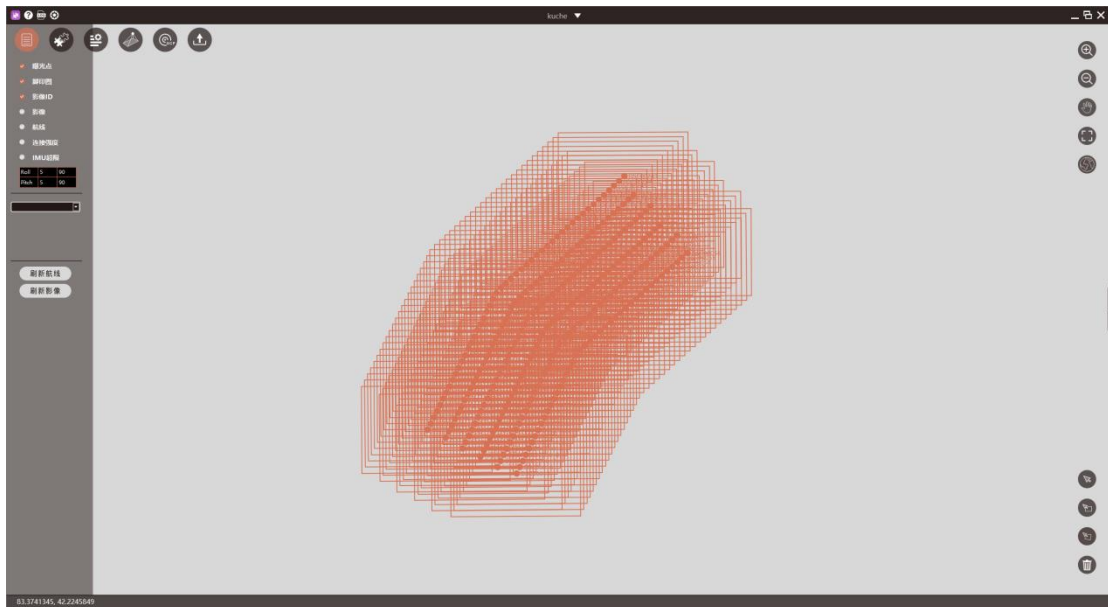


图 11 飞马无人机管家智拼图数据处理界面

第三步，进行初始提点平差，然后进行 GCP 刺点工作，完成平差后，生成 DSM 和 DOM。

第四步，用飞马无人机管家空三后的空三成果导入航天远景 mapmatrix 进行立体采集，生成地形图。

4 精度及质量检查

4.1 地形图检查

经外业实测点验证，此项目地形图成果精度：平面坐标中误差优于 20cm，部分无人区及高山区等特殊地形平面坐标中误差优于 30cm；高程中误差优于 30cm，部分无人区及高山区等特殊地形高程中误差优于 50cm。地形图成图质量良好，精度较高，满足《公路勘测规范》等规范要求。

4.2 正射影像

经过后期检查，正射影像偏移及错位问题几乎没有，正射影像检查合格。正射影像平面精度经过与外业实测点检查，平面精度优于 10cm，部分无人区及高山区等特殊地形平面精度优于 20cm。正射影像质量良好，精度符合规范要求。

5 解决的生产问题

(1) 利用千寻位置服务，减少像控点布设，提高作业效率。

本项目大部分位于无人区，地形复杂，布控难度大，无网络信号，本项目首次采用网络 PPK 后差分方式，提高了无人机 POS 精度，减少了外业像控点布设，减少外业工作量与人工成本，提高作业效率。

(3) 垂直起降方式，降低起降场地要求，使飞行更加便捷。

传统固定翼无人机需滑跑、手抛、弹射等方式，需要开阔的起降场地，而本项目地形复杂，山区开阔场地较少，而本项目采用的飞马 V1000 无人机具备垂直起降能力，只需要几米平地即可进行起飞降落，大大降低了对起降场地的要求，节约了时间成本，随时起降，方便快捷。

(3) 高集成度、便携式组装节约飞行时间。

飞马 V1000 无人机集成度高，“一箱作业、一机多用”，只需一个运输箱就装载了整套设备，便于仪器运输，在无人区无交通设备运输情况下，采用驴托运设备，解决了困难地区的设备运输难的问题。

(4) 飞马无人机管家，提供一站式软件解决方案。

智航线、智理图、智拼图模块，功能齐全而且实用，一个软件就可实现航线规划，影像初始纠正，七参数计算，POS 坐标转换，空三计算，DOM、DSM、DEM 自动生成等，实现了从外业至内业的全流程功能，使得整个作业过程十分通畅，快捷高效。

6 成果展示

采用无人机管家进行空三运算后，得到测区 DOM 和 DSM，经过立体恢复与数据采集，经过图幅整饰得到地形图 DLG。如图 12 所示，为其中无人区部分区域 DSM 成果，图 13 为无人区部分区域 DOM 成果，图 14 为该段 DOM 与对应地形图叠加显示成果。

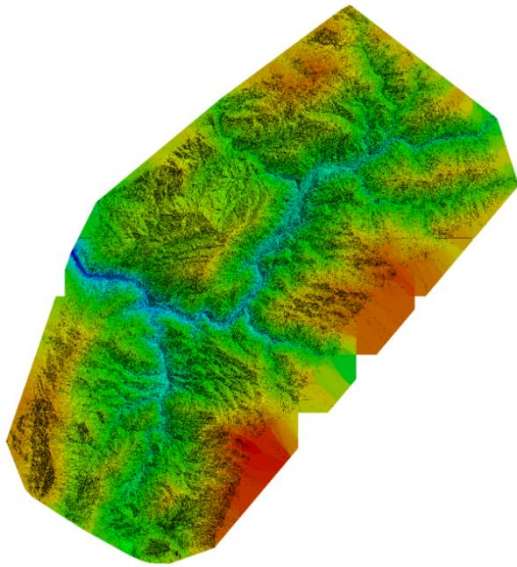


图 12 DSM 成果图



图 13 DOM 成果图

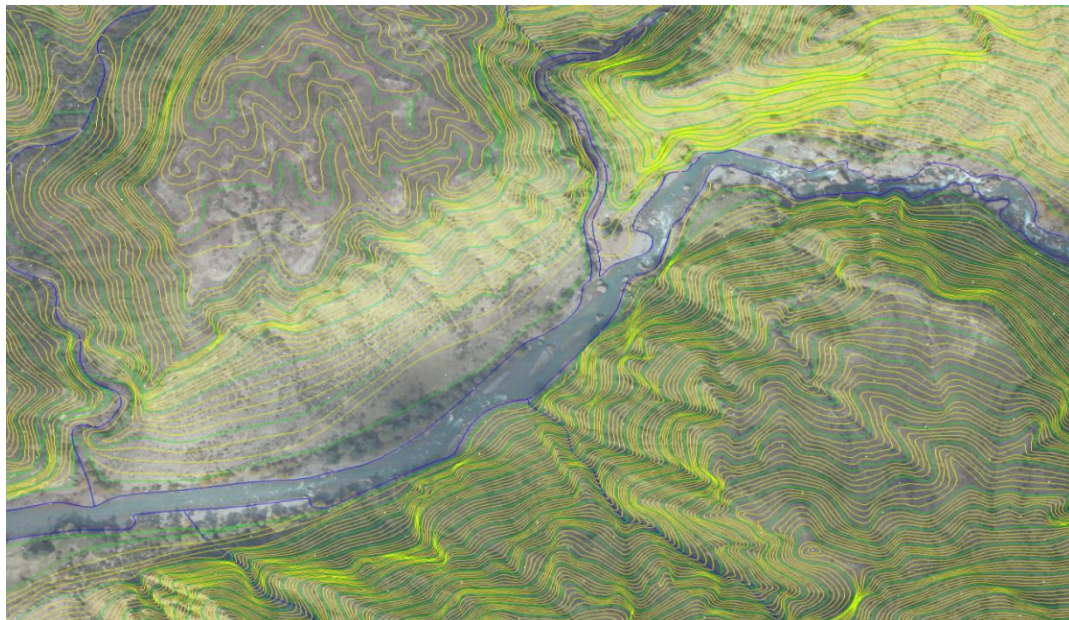


图 14 DOM 与地形图叠加局部示意图

从上图中可以看出，DOM 与地形图套合效果良好，地物呈现情况十分一致。本项目的生产成果质量和精度较高，完全满足生产应用需要。

7 创新型应用介绍

(1) 飞马 V1000 无人机的网络后差分技术 (PPK) 功能在新疆无人区高速公路项目首次验证，后处理解算得到的 POS 精度较高，野外像控点布设数量大量减少，同时成果精度满足 1:2000 地形图精度需要，这为以后无人机航飞与地形图采集工作提供了一种新的方法，可以在以后项目中继续深入推广应用。

(2) 飞马无人机管家的智理图模块，具有 DSM 编辑功能，对 DSM 进行内插及平滑操作生成数字高程模型 (DEM)，然后用 GlobalMapper 自动生成等高线。将生成的等高线经过修饰

生成 1:2000 地形图，如图 15 所示，生成效果较好。这为以后地面遮挡物较少地区自动生成等高线提供一种新的解决方案，可以大量减少内业工作量，有效提高生产效率。

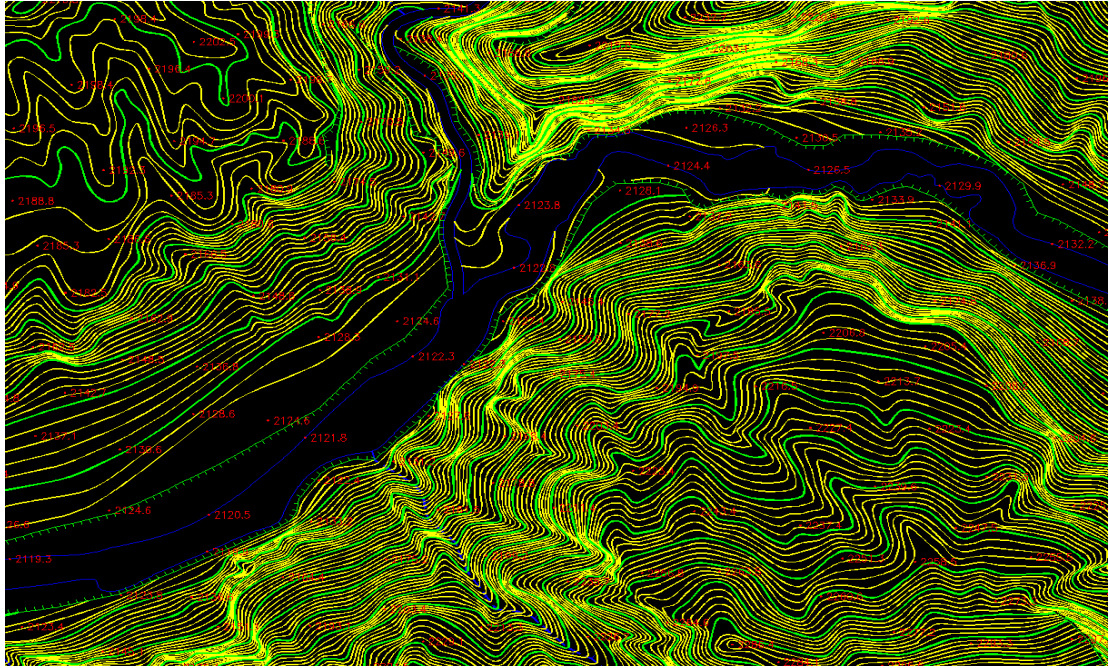


图 15 地形图局部放大图

8 项目特点及优势总结

(1) 高速公路工程测量项目具有带状测量的线路里程长、地形地物变化复杂、航线难以统一规划需要分块航飞的特点，而且本项目无人区海拔高、落差大、交通条件极差，无网络信号，实际作业难度很高。采用飞马 V1000 无人机航测系统能够克服和解决作业中很多困难，减少工作量和人力成本、作业安全性高、作业效率大为提高，成果质量和精度完全满足项目要求。

(2) 飞马 V1000 无人机航测系统在高速公路工程测量中应用优势明显。采用基于千寻位置服务的 PPK 后差分技术，解决无人区无网络信号无法使用传统 RTK 的问题，并且获得的 POS 精度较高，大量减少像控点；垂直起降固定翼飞行平台，场地选择更加灵活不受限制，方便快捷；高集成、高性能、高可靠性无人机平台，操作方便、保障安全、高效可靠；“一箱作业、一机多用”，携带和运输方便，尤其对于无人区交通不便的地区优势更为明显；飞马无人机管家，一站式软件提供航测内外业解决方案，作业流程简单高效。

(3) 本项目作业环境和条件十分恶劣。新疆地区由于存在时区的差异，本项目航飞作业时间为 11:00 至 18:00，与一般地区作业时间相差较大。同时本项目测区地形条件差、交通极为不便，喀斯特地貌特征明显、风沙很大，同时无人区荒无人烟、时有野兽出没、环境恶劣，给作业人员的工作和心理带来了较大的影响。但是项目人员发挥“中咨人”的不怕吃苦、越挫越勇、勇于攀登的精神品质，加上飞马公司技术人员的全天候协助和耐心指导，项目人员齐心协力、攻坚克难，最终顺利、高质量完成本项目的测绘任务，这对于公司的测量队伍

是一次极大的锻炼，也为公司在高海拔、无人区、恶劣环境下开展高速公路工程项目提供了宝贵的技术和实践经验。