

飞马 D2000 变高飞行在四川凉山地区的应用

前言

本文投稿来自于哈尔滨国源测绘工程有限公司，该公司于 2008 年 8 月 27 日成立于黑龙江省省会，欧亚大陆桥和空中走廊的重要枢纽，金、清两朝发祥地哈尔滨，公司办公地址位于哈尔滨南岗区汉水路 84 号软件园小区 A2 栋 8 号 201、202 室，12 年来，我公司上下锐意进取，团结奋进，坚持顾客至上，用户第一的基本原则，积极拓展经营思路，我公司主要经营的按测绘资质证书从事乙级工程测量控制测量。多年来，公司一以贯之地坚持以服务求发展的原则，已形式良性的企业运营机制。

投稿公司：哈尔滨国源测绘工程有限公司

投稿人：解洪涛 王秋梅 李延兴

联系电话：15045346668

日期：2020 年 10 月 15 日

一、项目概况

1. 项目背景

基于四川凉山彝族自治区“房地一体”农村不动产确权登记发证项目，测区概况如图 1 所示，地区地貌复杂多样，高山、深谷、

平原、盆地、丘陵相互交错，测区内最高海拔村落高达 1762 米，最低海拔村落 382 米，高差悬殊。内部道路蜿蜒曲折，两侧多有巨石、深谷，易发生泥石流。项目主要任务测量全县农村集体建设用地每一宗土地范围内建筑物、构筑物的房角点和房屋边长，量算房屋面积，并将房屋调查测绘成果记载在房屋调查表中，实现农村房、地调查成果的统一管理。



图 1 凉山测区概况示意图

2. 项目难点

1. 测区内部地形复杂，道路崎岖、泥泞，人员实测存在安全隐患；
2. 房屋量测无法入户（农村有好多人员在外务工，空巢率高）；
3. 连片房屋难以架设仪器、难以量测；

4. 测量人员不易培养，易流失；且作业细节很难步调一致；
5. 疫情原因无法投入大量人员；
6. 图根控制点不易保存，测量累计误差较大；
7. 实测效率较低，重复作业几率较大（漏测、漏画）；
8. 房屋边长测量精度误差要求在 **3-5 公分**之内，大量人员测量无法保证最终数据精度合格；

该项目开展需要解决以上难点，因今年新型冠状病毒的来袭，无法投入大量测量人员，我公司为响应国家号召，积极配合防疫工作，在保证项目按要求完成的前提下，大量减少人员调动，缩短在外作业时间，经过多方面比对，最终选择采购**深圳飞马机器人科技有限公司的 D2000 无人机**进行航拍作业，采取倾斜摄影技术进行实景三维模型拍摄，获取模型数据进行内业矢量上图。

二、项目流程

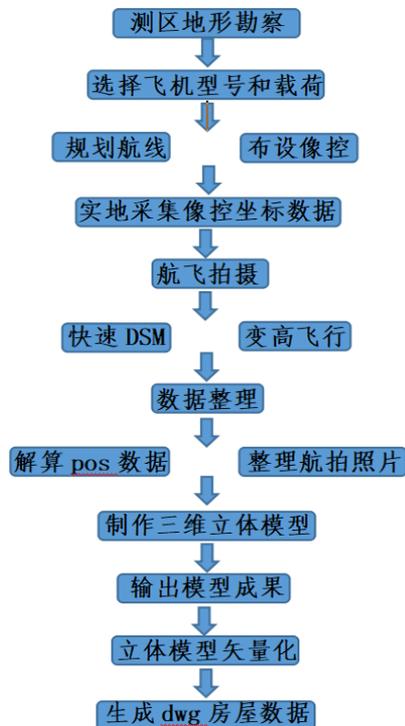


图 2 项目流程图

三、选择飞机

我公司在测区内部对不同航飞标段进行调查发现，大部分的四旋翼无人机、多旋翼无人机、固定翼无人机在这种海拔变化大，精度要求高的山区，普遍无法正常作业，存在拍摄照片偏转角度过大，成果精度不达标，甚至在飞行过程中多次出现坠机事故。

本次项目选择飞马智能航测/遥感/侦察系统 D2000。D2000 是飞马一款小型、长航时但同时满足高精度测绘、遥感及视频应用的多旋翼无人机系统。带有网络 RTK 服务基于千寻全球最大的 CORS 系统，依托其自研的潜龙服务器、高达 99%的基准站系统平均可用率和周跳

比、多路径等处于业界领先水平的数据质量指标，基于其全国范围内高密度地基增强网络以及全球自建基准站，为飞马用户保障高覆盖、全天候的服务。同时，借助千寻智能组网、长基线 RTK、反向平滑等算法，为用户提供更高精度、更高可靠性的服务。搭载倾斜模块 D-OP3000，相机型号：SONYa6000、传感器尺寸：23.5x 15.6m(aps-c)、有效像素：2400 万*5、镜头焦距：25mm（下视）、35mm（倾斜）。

飞马 D2000 无人机航测系统，在疫情期间及时地开通了针对于旋翼无人机的“变高飞行”技术，对山区的航测起到了至关重要的技术支持，使得项目得以顺利开展。



图 3 搭载 D-OP3000 的 D2000 无人机

四、技术要求

1. 倾斜摄影技术要求技术依据

项目实施执行的技术依据如下（表 1）：

序号	技术依据	编号
1	《航空摄影技术设计规范》	GB/T 19294-2003
2	《卫星定位城市测量技术标准》	CJJ/T 73-2019
3	《IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范》	GB/T 27919-2011
4	《数字航空摄影规范 第 1 部分：框幅式数字航空摄影》	GB/T 27920.1-2011
5	《数字航空摄影测量空中三角测量规范》	GB/T 23236-2009
6	《倾斜数字航空摄影技术规程》	CH/T 3021-2018
7	《无人机航摄安全作业基本要求》	CH/Z 3001-2010
8	《无人机航摄系统技术要求》	CH/Z 3002-2010
9	《低空数字航空摄影测量规范》	CH/Z 3005-2010
10	《低空数字航空摄影测量内业规范》	CH/Z 3003-2010
11	《低空数字航空摄影测量外业规范》	CH/Z 3004-2010

表 1

2. 影像要求

倾斜摄影影像分辨率：1.5cm 以内的真彩色数码影像。影像质量清晰，反差适中，颜色饱和，色彩鲜明，色调一致。有较丰富的层次、能辨别与地面分辨率相适应的细小地物影像。

3. 摄影时间

选择可见度良好的天气进行拍摄，保证具有足够的光照度，避免过大的阴影。

4. 像控点布设采集

1. 像控点的布设原则

像控点在影像上应该比较清晰，容易被识别；由于阴影会使影像上的像控点标志不清晰，所以在实地布设像控点尽量避开有阴影的区域；像控点要选择在宽敞的地方，要避开电视塔、信号塔、大片水域等干扰信号的地方以免影响像控点的测量精度。

2. 外业像控点标记方式及测量

① 像控点布设方式为了保证最终的成果数据精度，需要在航飞拍摄前布设像控点标记。准备红色标记材料，一般是手喷漆或布条。布点方式采用“L”形，要求边缘清晰，内外角明显不圆滑，宽度不小于 15CM，硬化地表上的像控点旁边标记序号；

② 像控点测量方式统一测量“L”形像控点标志的内角，如下图：



图 4 像控点测量示意图

③ 像控点测量时，按照《卫星定位城市测量技术标准》（CJJ/T

73-2019) 中的相关要求:

④ 接收机设置的水平收敛阈值不应超过 0.02m, 垂直收敛阈值不应超过 0.03m。

⑤ 观测前必须对仪器进行初始化, 且应该在得到稳定的固定解之后方可记录。

⑥ 每个像控点测回数不少于 3 次, 每测回观测时间不得少于 60 个历元, 并取平均值作为本次观测结果。

⑦ 测回间必须对接收机进行重新初始化, 测回间的时间间隔应超过 60 秒。

⑧ 测回间的平面坐标分量较差不得超过 0.02m, 垂直坐标较差不得超过 0.03m, 各测回的平均值作为最终的观测成果。

⑨ 初始化时间超过 5 分钟仍然不能获得固定解时, 须断开通讯链路, 重新关闭并开机, 进行重新初始化。

五、航测实施方案

1. 快速 DSM 获取精准高程数据

由于凉山地区高山较多, 测区范围内海拔高差大于 200 米的均进行高程数据预扫, 在生成默认航线的同时会形成一个略大于测区范围的 DSM 预扫范围 (红色线), 单击【导出 DSM 预扫范围】, 形成一个名为“工程名-区块名 DSM Bandary.KML”的预扫范围文件, 然后在管家智航线中导入该预扫范围文件 (.KML 文件), 以此预

扫范围作为测区，按照 10cm 左右的 GSD（最高不得高于 20cm）、重叠度 80%*60%规划正射航线。进行正射航拍。将获得的数据在智拼图中处理，新建工程，导入影像和 POS 数据（机载 POS 或者差分 POS 均可以），设置工作路径，然后在【其他处理】中点击【快速 DSM】（需要使用加密狗），处理完之后即可在工作路径中找到名为“2=dsm-s_海拔.tif（使用加密狗）”或“2=dsm-f_海拔.tif（使用加密狗）”的快速 DSM 文件，分辨率为 1m。

为了保证 DSM 精度满足变高飞行安全需求，需在测区内典型的地形上选择一些地物点作为检查点进行 DSM 高程精度检核，然后利用智理图中的 DSM 精度检查工具进行检查，检查点的精度优于 10 米时认为此 DSM 满足精度要求。

2. 变高飞行

“变高飞行”是飞马多旋翼无人机航测系统，针对海拔波动大的山区独家研发的飞行模式，飞机可以根据地面海拔高度进行航高调整，飞行高度一直控制在可以满足精度要求的范围内。相比常规航拍模式，变高飞行保证了获取的倾斜影像的分辨率和重叠度保持一致，大量减少了照片的数量提高了数据整理的效率。

使用无人机管家专业版中的智航线模块进行航线规划，将作业区块导入，利用智航线模块中的全球地形数据，通过设置成图比例尺和航向、旁向重叠率等参数，进行航线规划。因区块内海拔高度差较大，整体使用“变高飞行”功能。具体航线规划如图所示。



图 5 区块范围示意图



图 6 航线布设图

航线规划设计参数表（表 2）：

飞机类型	四旋翼无人机	航向重叠度	80%
飞机型号	飞马机器人 D2000	旁向重叠度	70%
相机型号	D-OP300	飞行速度	8 米/秒
比例尺	1:500	拍照间距	12 米
分辨率	1.5 厘米/像素	航线间距	27 米

表 2

在飞行过程中，航飞人员在智飞行中实时监控无人机飞行状态，包括飞机实时位置、风速、电量、姿态等，同时地面站具备一套完整的安全应急措施，包括电池加锁、立即返航、立即降落等，保障了无人机的安全作业。



图 7 智飞行实时监控界面

3. 在多次实际变高飞行中总结出几点经验：

- ① 尽量避免跨山飞行，跨山飞行会形成视野盲区、影响信号传输，增大飞行风险；
- ② 到达测区时，观察测区内是否有高压电塔，大型变电器，对测区内最高建筑物进行高度预测，在布航线时添加高度数据，避免飞行过程中不必要的麻烦；
- ③ 做好 DSM 高程数据预扫，保证不同海拔的成果数据一致、精度合格；
- ④ “变高飞行”航线布设应按照海拔由高到低，由远及近布设，

避免产生过多航点，提高飞行效率和安全；

⑤ “变高飞行”严格遵守无人机的规定，当阴天下雨、风速达到 6 级时，停止作业，避免因天气情况产生的安全风险；

⑥ 无人机起降点，应选择测区内宽阔场地，避免群众聚集围观，形成安全风险；

⑦ 飞行作业结束后，按流程回收设备，及时检查成果数据的质量，避免重复作业。

以上经验为本人实际作业总结，仅供参考。实际规定以飞马官网和项目而定。

六、飞行数据整理

1. 解算 pos

D2000 无人机自带 PPK/RTK 融合差分模式，经过无人机管家智理图解算获得高精度 pos 坐标数据，与照片配合进行空三处理。在无人机管家中的智理图模块，选择 gps 解算输入飞行获取的机载 pos 数据，实现 POS 解算，如下图所示：

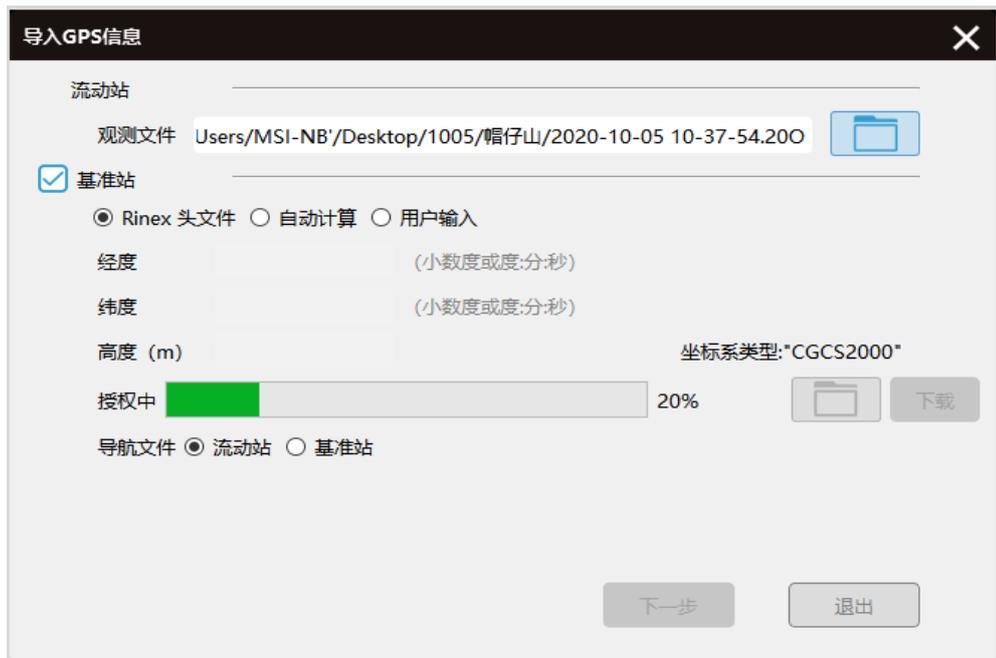


图 8-1 智理图解算 pos 示意图



图 8-2 智理图解算 pos 示意图

2. 整理照片

查看影像质量是否清晰，无模糊发虚等现象，色彩明暗度适中，色彩鲜明，色调一致。有较丰富的层次、能辨别与地面分辨率相适应的细小地物影像，满足三维数据制作实际需求。

七、三维建模

1. 模型构建

用 Smart3D 做空三计算，构建三维模型 Smart3D 实景建模软件是一款根据多种传感器针对静态对象获取的影像进行全自动三维建模的软件。操作流程如下：

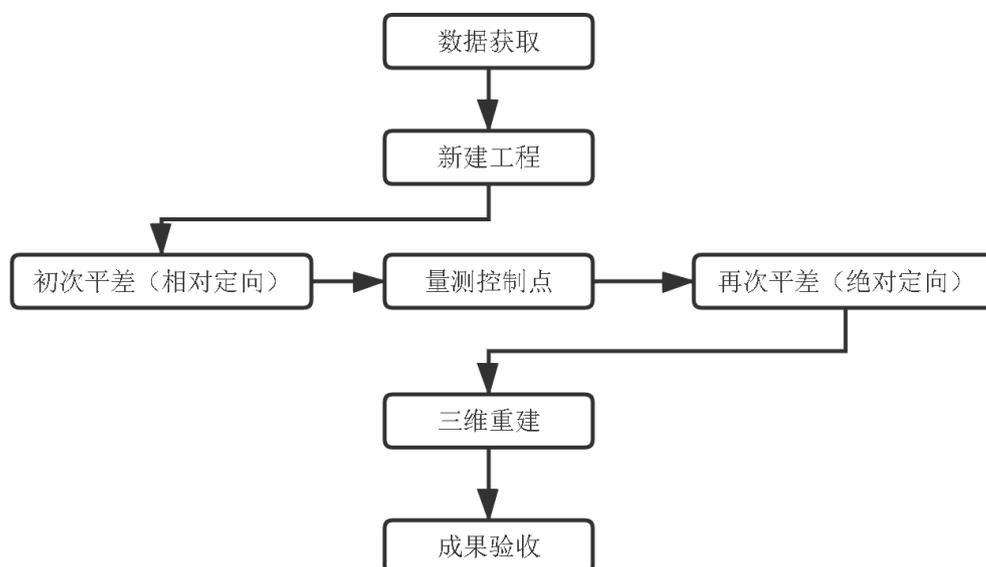


图 9 建模流程图



图 10 三维模型示意图

2. 精度检查

根据项目规定，平面精度误差优于 0.03m，高程误差优于 0.05m，实际误差如下（表 3）：

控制点								
控制点误差								
名称	类型	照片数	精度(米)	RMS (像素)	RMS (米)	三维误差(米)	水平误差(米)	高程误差(米)
31	水平+垂直	61	水平:0.01 高程:0.01	0.0558701	0.041569	0.00143212	0.00110814	0.000907191
36	水平+垂直	39	水平:0.01 高程:0.01	0.10222	0.0213093	0.00179731	0.00176649	0.000331414
38	水平+垂直	40	水平:0.01 高程:0.01	0.0893289	0.0163872	0.0019875	0.00173646	0.00096687
37	水平+垂直	22	水平:0.01 高程:0.01	0.144938	0.0241973	0.00245967	0.00190602	-0.0015547
33	水平+垂直	42	水平:0.01 高程:0.01	0.0462278	0.0273005	0.000855417	0.000643598	-0.000563488
34	水平+垂直	41	水平:0.01 高程:0.01	0.0930227	0.0201994	0.00175032	0.00154673	0.000819306
35	水平+垂直	45	水平:0.01 高程:0.01	0.0509764	0.0210202	0.000950655	0.000842717	-0.00043997
32	水平+垂直	47	水平:0.01 高程:0.01	0.102132	0.0309952	0.0021118	0.0020819	-0.000354119
			RMS	0.0910885	0.0264386	0.00174786	0.00153492	0.0008361
			中位数	0.0930227	0.0241973	0.00179731	0.00173646	0.000331414

表 3 控制点误差表

实际成果精度最大误差 0.03，最小 0.0003，完全满足精度要求。

检查点点名	Y 方向	X 方向	Z 方向
检查点 d11	3128607.051	672822.5204	1062.094
模型上 d11	3128607.058	672822.5365	1062.1591
精度误差	-0.0066	-0.0161	-0.0651
检查点 d12	3128901.46	672717.0245	1087.0437
模型上 d12	3128901.478	672717.0427	1087.0672
精度误差	-0.0182	-0.0182	-0.0235



图 11 检查点 d11 模型坐标



图 12 检查点 d12 模型坐标

3. 矢量采集

内业根据实景三维模型上图矢量化，在软件中测量出房屋的尺寸和面积，标注房屋结构属性，权属信息，形成数据全面的矢量数据。后期经过外业使用全站仪实地测量检查，精度均在 0.05m 之内。最终数据精准可靠，信息全面。

八、解决的生产问题

1. 由于项目地处山区，传统测量调查开展难度较大，本次采用飞马 D2000 无人机进行航测，避免了人工测量存在的安全隐患和人为精度误差，实现不入户测量，大幅度提高作业效率，降低项目成

本；

2. D2000 无人机带有网络 RTK 服务基于千寻全球最大的 CORS 系统，配合“变高飞行”的应用，实现了在山区海拔波动大的情况下，保证获取的坐标数据精准可靠，平面误差在 0.03m 内，高程误差在 0.05m 内；
3. D2000 无人机采用“变高飞行”，在海拔波动大的地区保证与地面相对航高不变，使得获取的照片分辨率一致，保障了成果精度合格；
4. 无人机可以远距离，高效率地完成工作，还可以避免大量人力支出，减少人员接触，实现安全防控。

九、项目特点及优势总结

本次项目测区地形复杂，海拔高差较大，因此市面上大部分机型无法在保证不同海拔分辨率均在 0.015m 内完成航飞，采用的飞马 D2000 型号无人机具有“变高飞行”独有专利技术，能够在保证精度的条件下，根据地面海拔高度数据实时以固定距地面高度变高飞行，让此项目最大的难题得以解决。

“变高飞行”模式的出现，将会是测绘行业中里程碑式的技术革命，山区将不再是测量的难题，同平原一样进行高精度，高效率，高标准航测不再是愿景，而是触手可得的航测技术。飞马无人机用顶尖的技术，精良的无人机践行了“简单的航测，不简单的无人机”。

D2000 四旋翼无人机变高飞行的应用使得项目的难度大幅度的降低，让难走的山路不再是问题，节约了项目的成本，缩短了项目的工期，让外业人员从艰苦的工作环境中抽离出来，在室内温暖舒适的环境中完成高精度的测量采集。

无人机管家专业版软件在后期的数据处理方面起到了很大的作用，让大量的数据处理起来简单快捷，得到的结果精准可靠，为项目的进度提供了保障。

在此感谢深圳飞马机器人科技有限公司提供的专业软硬件设备，愿测绘飞马无人机能在不远的未来做大做强，再上一层楼。为我国的测量事业提供更强大的技术支持和帮助。