

飞马 D20 航测系统在植被密集区 1:500 地形图测绘中的应用

张钊 尚海兴

《中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司》

摘要:

在植被覆盖厚、密度大的区域测绘 1:500 大比例尺地形图,仅使用常规光学设备无法保证覆盖层下地面高程精度,且植被密集区交通条件差,像控点布设有难度。使用飞马 D20 航测系统搭载 DV-LiDAR20 激光雷达模块进行航空摄影测量,可以较好的解决此类地区面临的难题。在最终生产的地形图成果满足精度要求前提下,大幅减少常规光学手段所需像控点数量,有效缩短工期并节约成本。

关键词:

飞马 D20; 地形图测绘; 点云处理

1 前言

常规无人机搭载光学航摄仪在大比例尺地形图测绘中广泛使用,但此类设备应用于植被覆盖厚、密度大的地区出现短板,覆盖层下的地面难以被相机获取,故通过光学模型无法采集到真实的地面高程。且此技术也会受畸变因素及光照等天气因素影响,要保证成图精度,空中三角测量计算时就需要使用大量像控点。

针对这种地貌情况,本文以内蒙古某光伏 1:500 地形图测绘项目为例,使用飞马 D20 系统搭载 DV-LiDAR20 激光雷达模块进行航空摄影测量。该设备系统和技术可在仅布设少量像控点时进行高效作业。航测外业完成后使用机载雷达点云直接生成等高线,减少人工编修的工作量。测制出的地形图满足相应规范要求,测绘内业工期与成本同时降低。

2 项目及航测设备概况

2.1 项目概况

该项目位于内蒙古自治区内,为光伏能源基地建设项目。项目分为 4 个区块,总面积约为 33km²,要求生产用于项目设计的 1:500 地形图,工期为 30 天。项目海拔约为 1200-1400m,地物以大面积灌木为主,通车困难,像控点布设难度大。项目位置距民用机场近,本次航摄

受空域管制较大,需向有关部门申请空域手续并办理备案后严格按照批复的范围及时间进行航摄作业。

2.2 航测设备概况

经现场踏勘后,考虑各区块位置分散、交通条件差、工期紧、植被覆盖厚等项目特点,决定使用飞马机器人D20航测无人机系统搭载DV-LiDAR20激光雷达模块进行航空摄影测量。

飞马航测系统D20具有大载重、长航时、多功能、高精度、高效率等优点,搭配高精度差分GNSS板卡,标配网络RTK和PPK及其融合解算服务,支持高精度POS辅助空中三角测量,具备无控制点的1:500大比例尺成图能力,实现免像控应用。支持基于精准三维地形、满足各种应用需求的智能航线与联合航线规划,具备精准地形跟随飞行与三维实时飞行监控能力。DV-LiDAR20激光雷达模块具有大测距、无限次回波等特点,与其配备的专业相机相结合,航测时可同时获取激光点云与光学影像两种数据。航测设备参数表见表1、表2,飞马D20航测系统实物图见图1。

表1 D20无人机系统参数表

材质	碳纤维+锁始合金	通航速度	18m/s
对称电机轴距	1.65m	取动方式	电动
机体高度	0.6m	起降方式	无遥控器垂直起降
续航时间	1kg 载荷: 80min	定位精度	水平: $\pm 1\text{cm}+1\text{ppm}$
	6kg 载荷: 50min		垂直: $\pm 2\text{cm}+1\text{ppm}$
电机数量	6pcs	最大能升速度	5m/s
起飞重量	21kg	最大下降速度	5m/s
最大载荷重量	6kg	实用海拔升限	6000m
抗风能力	6级	包装运输箱	铝合金设备箱 EVA 内衬
载荷模块	激光雷达模块	任务响应时间	展开 $\leq 10\text{min}$
	航测模块		撤收 =10min
工作温度	-20° C-50°C	控制距离	50km

表2 机载激光雷达及数码航摄仪参数表

激光厂商	RIEGL	回波强度	16bits
测量距离	1350m ($p>60\%$)	视场角	330°

测距精度	1.5cm	相机有效像素	4200 万
回波数量	无限次回波	相机镜头焦距	18mm
航向角度精度	0.017	姿态角度精度	0.005°



图1 飞马 D20 航测系统实物图

3 项目技术流程及实施

采用机载激光雷达结合数字航空摄影测量技术，完成 1:500 比例尺地形图各类地物、地貌要素的采集，辅以外业调绘成果编辑数据，生产出及时、可靠、适用的地形图数据产品，其工作流程主要包括作业前准备及空域申报、航测外业、航测内业三大步骤。技术流程图见图 2。

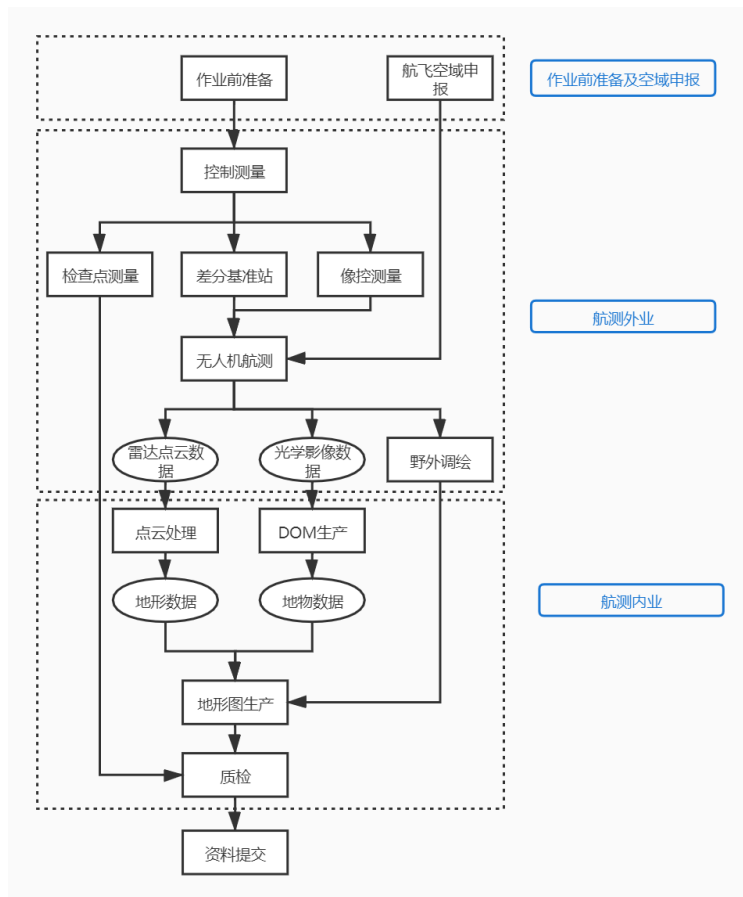


图 2 项目技术流程图

3.1 作业前准备及空域申报

接到任务后项目部先进行任务解析及现场踏勘，发现民用机场距项目最近地块不足 10km，其他地块也均在机场 30km 辐射半径内，作业区内高空时有军用飞机出现。外业踏勘同时向所在区域相关空域管理部门申请航飞空域，空域获批后将批件和项目相关材料提交当地地面治安管制部门进行备案。每次起飞前一天向空管部门传输申请文件，每日获批后，严格按照空管部门批予的时间、范围和高度进行航飞，起降报备。

飞马起司网可以查询空域管辖战区、航飞限制区和管制区等信息，增加对空域的情况了解。使用空域咨询服务，可以高效辅助空域手续申报，为无人机航测提供前置条件。本次与起司网合作，约一周完成了空域申报备案手续，为项目航测内外业留有了足够时间。起司网空域咨询界面见图 3。

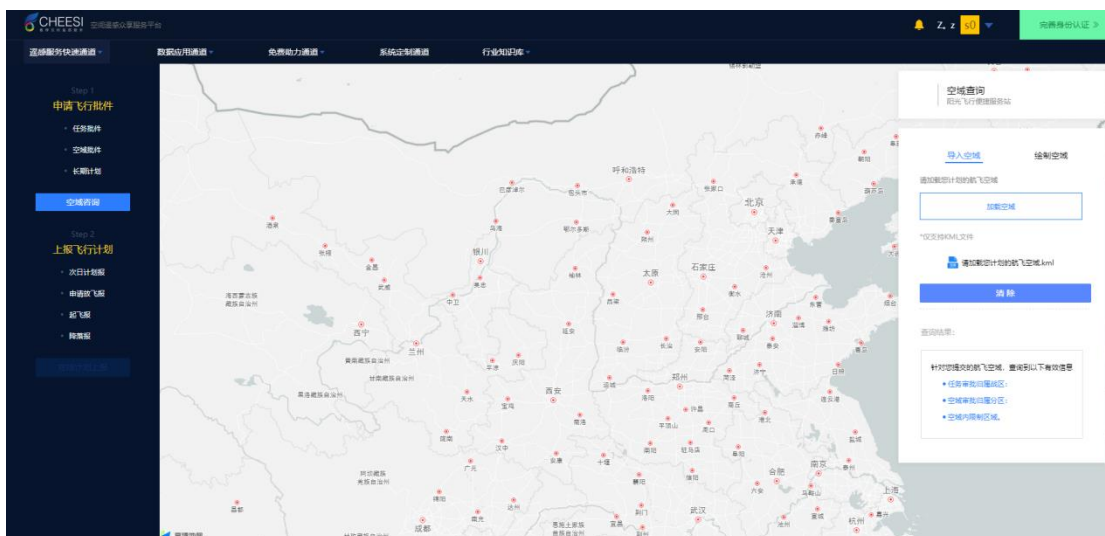


图 3 起司网空域咨询界面

3.2 航测外业

3.2.1 控制测量

根据任务内容和项目地形特点，基础控制网布设为 GNSS 网，平面采用 E 级 GNSS 控制网进行观测；高程整体采用 GNSS 高程拟合测量，联测若干国家控制点作为控制起算点。本控制成果输出 2 套，抵偿面投影成果用于工程项目施工，高斯正形投影成果为后期项目征地使用做准备；控制桩均埋设在交通便利的路边，便于后期架设差分基准站。

3.2.2 像控点及检查点测量

本项目共布设 40 个基本平高像控点，测设 2 个备选平高像控点。所有基本像控点均采用地标式像控点，备选像控点使用刺点模式，坐标成果使用网络 RTK 技术进行测量。像控点主要为航摄影像生产 DOM 提供平面坐标，并且可以作为雷达点云数据的高程检查点。部分区域像控点位置分布图如图 4，地标式像控点实物图如图 5。



图 4 部分区域像控点位置分布图

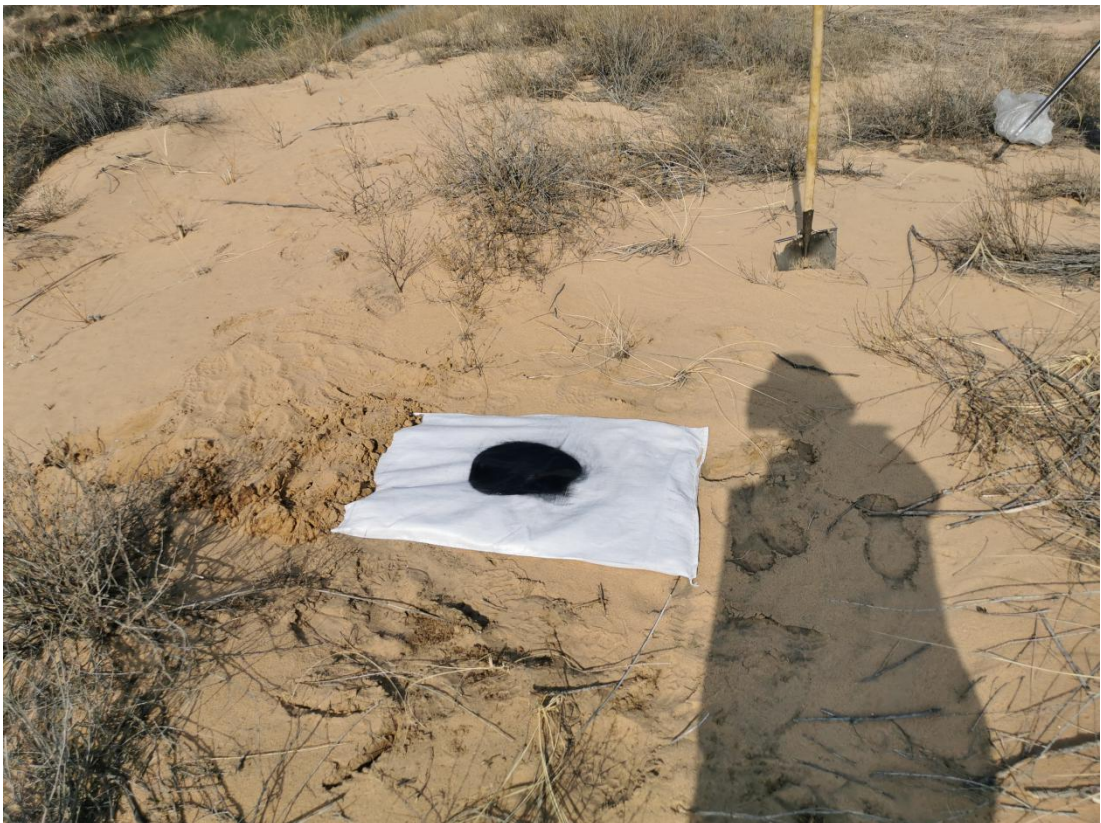


图 5 地标式像控点

实测检查点用于对点云数据高程精度、分类效果和 DOM 平面精度进行检查，本次测设检查点方式为：

(1) 测设像控点同时在灌木植被覆盖区的地面上测设高程检查点，用于对后期雷达点云数据处理的可靠度及精度进行检查；

(2) 在房角、道路中心等能明显分辨平面位置的地方测设平面检查点，用于后期对 DOM 平面精度进行检查；

(3) 使用车载 RTK 技术在测区内道路上测设大量平高检查点作为整体精度的检查。



图 6 部分区域检查点分布图

3.2.3 航空摄影及雷达测量

D20 设备的差分系统使用网络 RTK 实时记录差分数据同时保存供后差分解算的数据文件，正常区域两种差分数据进行融合计算出影像 POS 数据，辅助空中三角测量；在网络信号弱网络 RTK 无法工作时，可使用后差分数据与基准站数据进行差分解算，计算出 POS 数据。在固定基准站辐射区域可使用其提供的基准站文件进行解算，也可于飞行前在控制点上架设采样间隔设置小于 1Hz 的差分基准站，作为备用基站。

飞马无人机管家软件是无人机数据获取、处理、显示管理以及无人机维护的一站式软件系统，本次使用其进行航线设计规划，该软件可在输入部分关键参数后自动计算出剩余航测参数，并规划出符合设计意图的航线。航摄监控、航测数据整理、激光点云计算等功能同样在该软件中实现。本次全区航空摄影飞行共完成 13 个架次，无人机管家软件图见图 7，部

分区域航线规划设计图如图 8，航测预设参数表见表 3。



图 7 无人机管家软件图



图 8 部分区域航线规划设计图

表 3 航测预设参数表

点云密度	24 点/m ²	预设 GCD	5cm
航摄高度	200m	航向重叠度	80%
基线长度	50m	旁向重叠度	60%
点频	40kHz	航线间距	160m

航测外业结束后可获取到雷达点云数据和光学影像数据，以影像为底图进行全要素野外调绘，对变更和新增地物进行野外数字化补测。

3.3 航测内业

3.3.1 点云数据处理

使用飞马无人机管家软件中“智激光”模块进行点云解算等工作，最终生成标准点云。将整理好的标准点云进行处理，处理后生成地形数据的点数据和线数据。地形数据生产流程图见图 9。

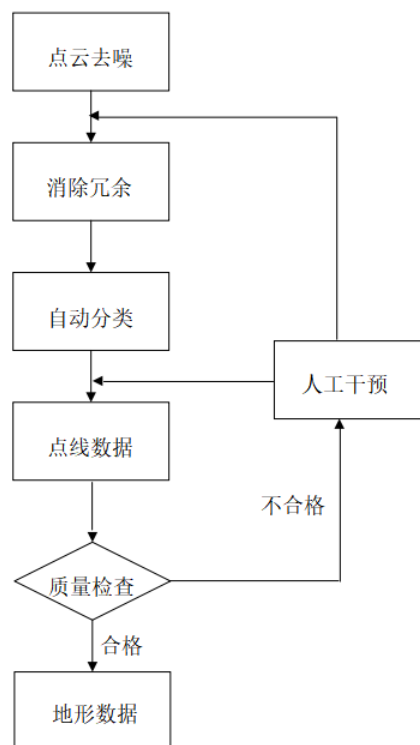


图 9 地形数据生产流程图

(1) 点云去噪使用商用点云编辑软件进行自动处理，对于自动无法去除的噪点人工进行干预删除，否则会在进行点云分类时因噪点干扰导致分类异常，正常地面点归类有误后被删除，从而形成漏洞错误，去噪完成后自动消除冗余数据，保证航带点云精度和点云厚度。无法自动去除的噪点示意图见图 10。

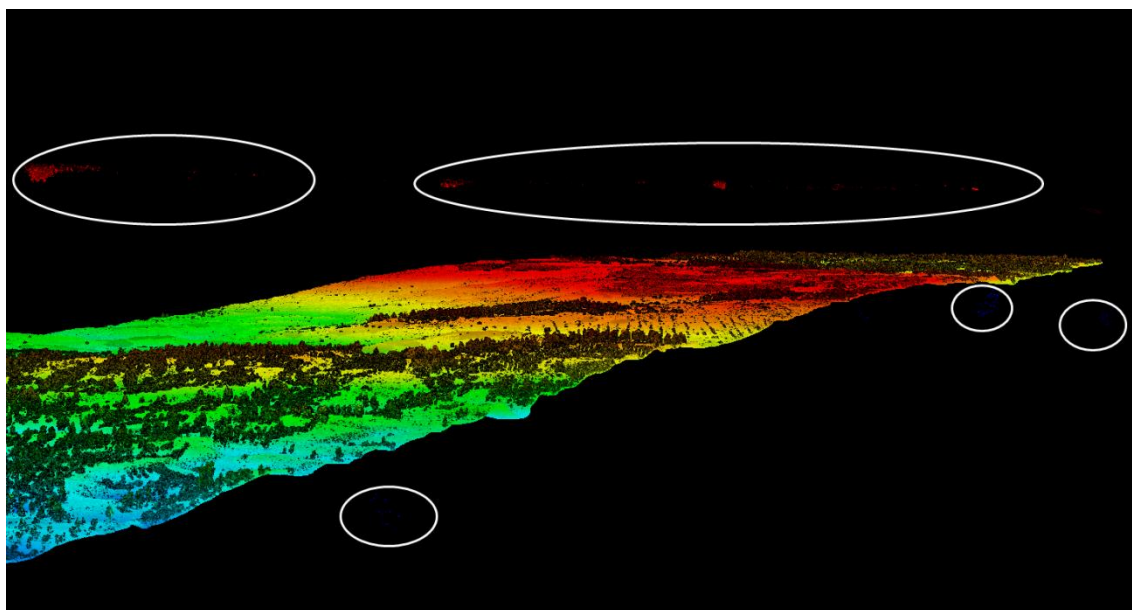


图 10 无法自动去除的噪点（白色圈内）

（2）利用“智点云”模块检查点云密度和点云高程精度，本项目每平方米点云密度及高程中误差均优于规范限定指标的要求，点云密度和高程精度情况表见表 4。

表 4 点云密度和高程精度情况表

区块名	点云密度	点云密度要求	高程中误差	高程中误差限差
区块 1	52 点/m ²	> 16 点/m ²	0.048m	< 0.15m
区块 2	55 点/m ²		0.049m	
区块 3	62 点/m ²		0.064m	
区块 4	54 点/m ²		0.039m	

（3）使用软件对去除冗余后点云进行自动分类。在雷达点云数据处理时，不能过分依赖自动去噪及点云分类功能。若不进行人工检查，自动去噪效果不理想时，可能会因为噪点影响将大量噪点附近地面点分类为非地面点，从而导致此处出现点云漏洞。

项目进行中也发现部分因取土形成的异形“土岛”，其形状酷似建筑物，自动分类时被自动过滤，此处形成漏洞，在检查后进人工干预补充漏洞后生产地形图。每款自动分类软件的算法不同，在点云数据的自动处理方面效果也不尽相同，特殊区域特殊地形需多次尝试才能还原现实情况，且必要时要进行人工干预。建议在雷达数据处理过程中，每道工序完成后都进行严格检查，避免如本项目点云处理时出现的在等高距为 0.5 米的地形图中，近十米高的地形被“优化”的严重错误。

3.3.2 DOM 生产

使用 DOM 生产软件将原始影像文件和像控点进行计算处理，生成 DOM 数据。将 DOM 数据加载至制图软件中，使用检查点检查地物平面精度，DOM 平面中误差为 0.2 米，小于《1:500、1:1000、1:2000 地形图航空摄影测量数字化测图规范》（GB/T 15967—2008）中的 0.3 米要求，精度满足要求后开始地物采集工作，局部地物采集展示图见图 11。



图 11 局部地物采集展示图

3.3.3 地形图生产及质检

将激光雷达生成的标准点云数据进行分类后，使用分类出的地面点数据进行高程点及等高线生成，将二者套合相互检查修改，并结合调绘成果行成最终的地形图数据。部分区域地形图成果见图 12。

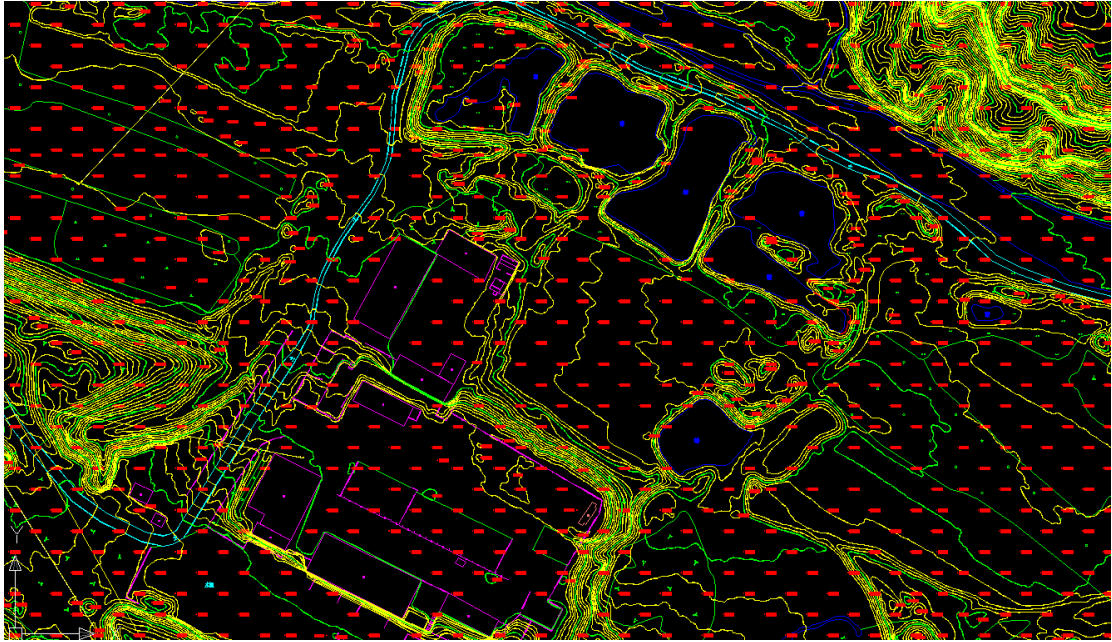


图 12 部分区域地形图成果

4 项目总结

4.1 技术方案设计及设备选用合理，项目总体质量优

本项目选用飞马 D20 系统机载雷达设备结合光学摄影相机进行航测外业作业，机载雷达可获取到植被较厚区域地面高程，光学相机使用常规航测方法流程生产出 DOM 数据后采集地形，两者相结合生产满足精度的地形图数据。

激光雷达设备对差分数据依赖严重，本次航测系统拥有网络 RTK、PPK 数据同时记录的功能，在无人机飞行至网络信号弱的地区时，使用 PPK 技术对该区域进行数据解算。且使用本套设备同时可下载到其基准站静态数据，这也可以减免自行架设基准站的工序，提高作业效率。

在植被覆盖厚区域进行大比例尺测图时激光雷达作业精度和效率远优于光学相机航摄，但需要注意的是，使用此种方法进行作业，检查点测设尤为重要。覆盖区地面精度检查需作业人员进入其中进行实测，平面精度检查需实测特征地物。本次检查点多且范围广、分布均匀、远离像控点，检查的意义明显，最终地形图成果精度优于相应规范要求。

4.2 克服不利因素，工期保障有力

项目位置距民航机场最近处不足 10km，且又处于部队作业区，将两者工作时间避开的被批准时段内一般气象条件差，在工期压力下，对作业人员容错度低，此时娴熟的航飞技术和充足的作业经验尤为重要。

飞马起司网提供的空域咨询服务在项目进行时起到很大作用,在总工期不变情况下大幅缩短空域申请手续的时间,减缓航测内外业的工期压力。对空域管制部门的报备手续及地面治安管制部门的协调工作是每日的重要任务,做好组织协调后才能顺利、有序生产。项目整体运行流畅,生产各环节无缝衔接,未出现返工现象,全流程质量控制严密,航测外业组、航摄作业组、航测内业组之间组织有力,分工明确。在遇到困难后,积极采取应对措施,按甲方指令性工期内完成项目履约,有效保障了项目设计人员用图关键时间节点。