

飞马 V100 无人机在党河水库除险加固工程中的应用

张 军, 魏 博

甘肃省水利水电勘测设计研究院有限责任公司

摘 要:

随着无人机技术的普及和发展, 各行各业进入了无人机测量的全新时代, 传统的测绘方式已经无法满足当前工程对时间和精度的迫切需求。西北地区水资源匮乏, 同时存在时空分布不均匀的短板, 由此便促进了西部地区水利工程建设, 航空摄影测量能够真实的获取地球表面的真实纹理和起伏信息, 为设计人员在 BIM 协同设计和立体设计中提供必要的基础数据。

本文以飞马机器人公司生产的 V100 无人机在甘肃省党河水库的测量为例, 具体介绍了无人机正射作业和倾斜作业的操作流程, 同时创新提出了多软件融合处理数据的新思路, 最后提出了无人机航测目前存在的问题以及解决方案。

关键词: 飞马无人机 、 水利水电工程 、 航空摄影

1 项目背景

2019 年 9 月受敦煌市水务局委托, 我公司开展党河水库除险加固工程初步设计阶段的勘测设计工作。党河水库位于甘肃省敦煌市区西南 36km 处的党河峡口, 东经 $94^{\circ} 18' 35'' - 94^{\circ} 21' 30''$, 北纬 $39^{\circ} 54' 10'' - 39^{\circ} 58' 10''$ 之间。是一座以防洪、灌溉、排沙为主兼顾发电的中型水库, 总库容 4640 万 m^3 , 坝址以上控制流域面积 16600 km^2 , 多年平均径流量 2.927 亿 m^3 。测区左岸有敦煌-阿克塞 G215 道路通过, 右岸无通行道路。测量内容

主要的测量任务为地形图测绘, 坝区 1:500 地形图测绘; 水库大坝测图范围按主副坝左右岸两侧 100m, 坝轴线上游侧 100m, 下游侧至溢洪道与党河交汇口截止, 测图面积约 1.3 km^2 。地形图中需标注主、副坝、输水发电洞、泄洪排沙洞、溢洪道、电站引水发电系统控制点、线路、主要建筑物纵横断面图的平面位置。地形图中需标明各建筑物轮廓尺寸、位置关系, 现状坝轴线位置。库区 1:2000 地形图测绘; 测图面积约 7 km^2 。地形图中需标明各建筑物轮廓尺寸、位置关系, 现状轴线位置。



图 1 测区示意图

2 技术路线

低空无人机作业外业主要包括像控点布设及施测、航飞、飞行质检及外业调绘三部分组成。

2.1 像控点的布设和施测方法

本测区采用不规则区域网布点像控点,主要以红白相间 1.1 米见方的靶标为主,明显地物(房角、桥头等)为辅布设。1/500 地形图约 1.3 平方公里,按 1 平方公里 6 个像控点计,需布设 10 个。1/2000 地形图约 7 平方公里,按 1 平方公里 2 个像控点计,需布设 14 个。

2.1.1 像片控制点的编号

像控点采用两像片控制点的编号个大写英文字母加阿拉伯数字组成,像控点编号不得重复,编为 XK01、XK02、XK03--- XKnn,如 XK29,为像控点 29 号。

2.1.2 像控点的布设

在 Google Earth 软件中,像控点在上下库范围布设为均匀网状,两点间隔为 600-800 米,在无人机两个架次相接的重叠地带应针对性布设不少于 4 个像控点,以保证不同航高的相片处理时有足够控制点。

2.1.3 像控点选点、埋设

以布设的 Google Earth 图上像控点为基准,根据点位的经纬度放样到实地位置,根据实地情况选取易保存位置埋设靶标。



图 2 实测靶标示意图

2.1.4 像控点精度要求及施测方法

根据航摄外业规范要求,平面控制点相对邻近基础控制点的平面位置中误差不应超过地物点平面位置中误差的 1/5;高程控制点相对邻近基础控制点的高程中误差不应超过基本等高距的 1/10。

2.1.5 像控点像控点采用 RTK 作业模式等方法。

用 RTK 作业模式进行施测,按《全球定位系统实时动态测量(RTK)技术规范》中有关要求测定像控点的平面坐标和高程,采集像控点三维坐标时移动站距基准站距离不大于 5km,观测采用平滑 10s 采集。在测绘像控点时应在路途中采集特征碎部点以备检查地形图质量时使用。

2.2 航飞及飞行质量检查

测区地处高差大、气候变化大的区域,在航飞期间密切关注天气变化、风力大小等因素,突然起大风或下雨时应紧急返航降落,条件不允许时停飞等待,不宜勉强行事。

本次使用无人机型号为飞马 V100,根据任务书测量范围要求,在无人机管家软件智航线模块规划航线,计算好飞行时间,分配飞行架次;在智飞行模块用电脑连接无人机,依次按步骤操作,完成飞行过程,注意在飞行过程中应有专人在地面监控无人机飞行状态,确保

飞行任务的安全；在智检图模块完成航测数据质量检查，发现问题应及时重飞或补飞。

2.2.1 航飞内业处理

本次工程采用飞马公司“无人机管家”软件进行数据处理、编辑，生成合格的 DSM/DOM/DLG 等产品，再根据调绘片成果在立体环境下补调外业调绘成果并进行数据编辑，最后对产品进行检查

2.3 飞马 V100 作业流程

建立测区，导入原始数据（POS 文件、相片等）；

导入控制点文件，根据绘图比例尺、航高等因素，填写相关参数；

全自动空三加密，生成并输出 DSM/DOM/DLG 成果。

3 航测流程

3.1 平面与高程控制

为满足规范及工程设计要求，本次作业采用五等 GNSS 控制建立首级平面控制网，应满足相邻点平均间距为 0.5~4km，其相邻点最小距离不小于平均间距的 1/3，最大距离不大于平均间距的 3 倍。布设时考虑网形，对点之间尽量保证相互通视。GNSS 网一般布设为边点混合式网型。

三角高程测量与平面控制测量相结合，布设附和或闭合高程线路。天顶距采用全站仪，以中丝法进行观测。盘左位置和盘右位置分别照准同一目标读数为一个测回，用水平丝照准目标时应精确照准两次，各读数两次，两次读数允许较差为 3"。斜距采用全站仪进行观测，记录天顶距、斜距、温度、气压、仪器高、标高等相关信息。观测斜距进行气象、加常数、乘常数修正，推算测区大气折光系数。

3.2 像控布设与采集

本次任务采用飞马公司的 V100 无人机进行作业，该机型能够进行后差分处理，所以本次任务像控点布设于测区四周，同时测量了部分碎步点作为检查点，像控点的布设主要以靶标为主，在难以布设靶标像控点的地区采用固定地物作为像控点。现场采集 16 个点作为航摄像控点，经 RTK 平滑采集后进行存储。



图 3 像控点分布示意图

3.3 航线规划与参数调整

本次航测任务航线规划在飞马公司无人机管家的智航线中进行，首先导入测区范围，然后根据成图比例尺和现场地形设置适当的地面分辨率和飞行高度，相关参数如表 1 所示。

表 1 航飞相关参数

飞行平台	成图比例尺	载荷	航向重叠度	旁像重叠度	分辨率
V100	1/2000	CAM100	85%	65%	5CM
V100	1/500	OP100	85%	65%	11CM

在测区内进行踏勘时发现坝址区下游有一座 100 米高的信号发射塔，左坝肩山顶有一处 30 米的信号发射塔，且库区左岸分布有三条高压输电线路，根据现场踏勘的情况在无人机管家中进行了飞行高度的调整以保证飞行过程的安全，坝址区和库区的航线规划图如图 4 和图 5 所示所示。

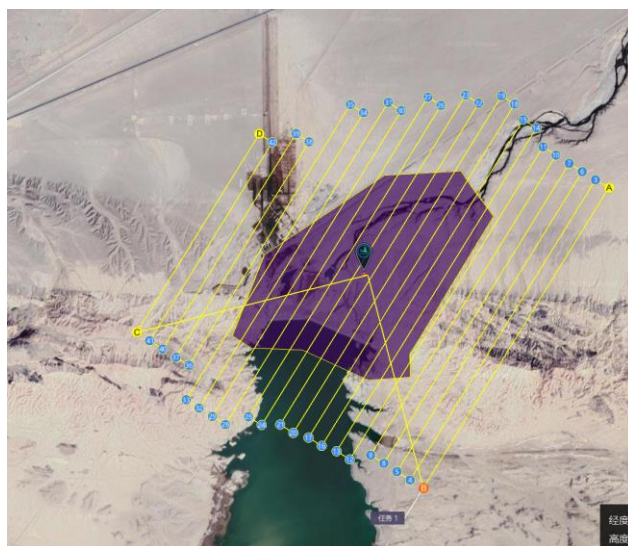


图 4 坝址区航线规划图

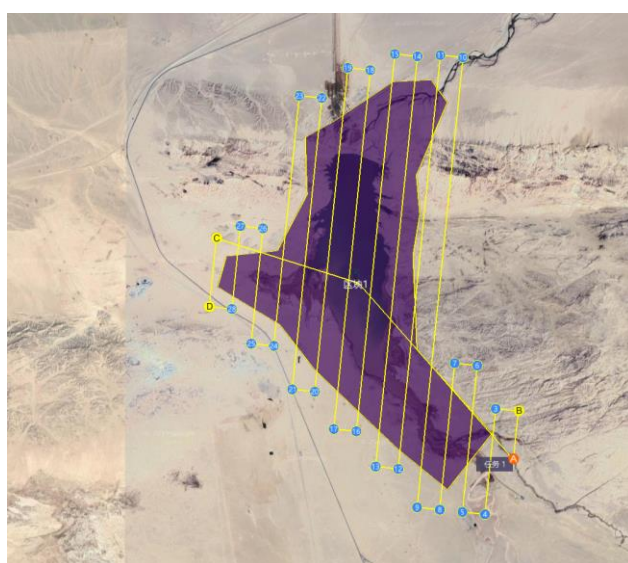


图 5 库区航线规划图

3.4 任务飞行与现场调绘

在航线规划完成后进行了天气查询和空域申请的相关流程，飞行前进行设备检查，确保设备安装和设置正确无误。严格把握天气标准和准确的曝光量。先试照，确定参考曝光量，实际工作中再根据天气实况、地物、地形情况以及参考曝光量，确定实际的曝光量，确保曝光量的准确。

准备工作完成后，即可智飞行中选择区块进行飞行作业。V100 采用垂直起降的方式，飞机全程自主飞行，并进行飞行状态的实时监控。飞行过程监控各飞行参数均正常，巡航时速度基本稳定在 18m/s，飞行姿态平稳，滚转、俯仰姿态角度偏差大部分在 5 度以内，个别影像由于风的影响，在 10 度左右，也可满足正射影像的成果需求。飞行完成后，进行原始影像、机载 POS 数据下载，并完成每个架次的飞行日志的信息填写，为后续的数据整理或问题查找提供依据。

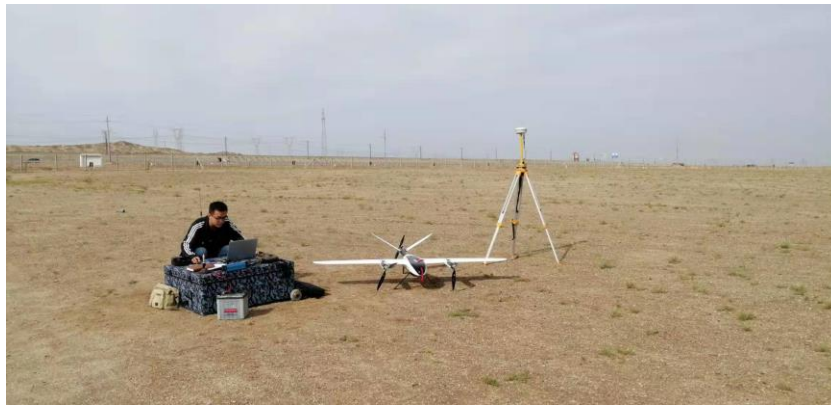


图 6 现场架设基准站

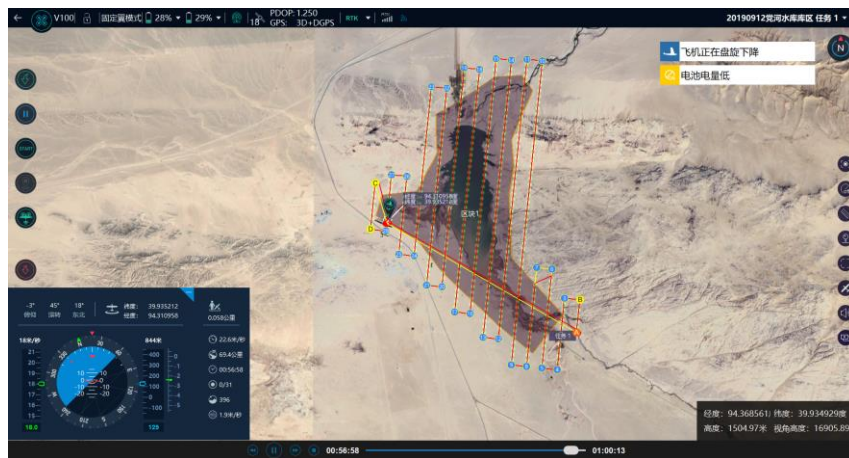


图 7 库区飞行作业

3.5 内业处理与成果输出

飞行完成后进行的机载 POS、基站 POS 和飞行影像的下载，并现场在无人机管家智检图模块中进行飞行质检，质检结论均满足工程要求。V100 无人机采用先进的后差分处理系统，在无人机管家智理图模块中进行了 POS 解算和坐标转化，从而得到了高精度的飞行 POS 数据。

然后进入无人机管家智拼图模块导入照片和高精度 POS，在空三计算精度满足要求后进行了 DSM、DOM、DEM 以及点云数据的输出和编辑，然后在 Global mapper 中进行了模型的裁剪和等高线的输出。为保证本次航测任务的精度和可靠性，在使用无人机管家进行空中三角测量加密的同时使用 PIX4D 软件进行加密计算，经过比对得到了更加可靠精度高的空三成果，并为后面的 4D 产品的输出提供的可靠的基础数据。最后将得到的 DLG 在南方公司的 CASS 软件中进行地物的绘制和等高线的修整分幅等工作。

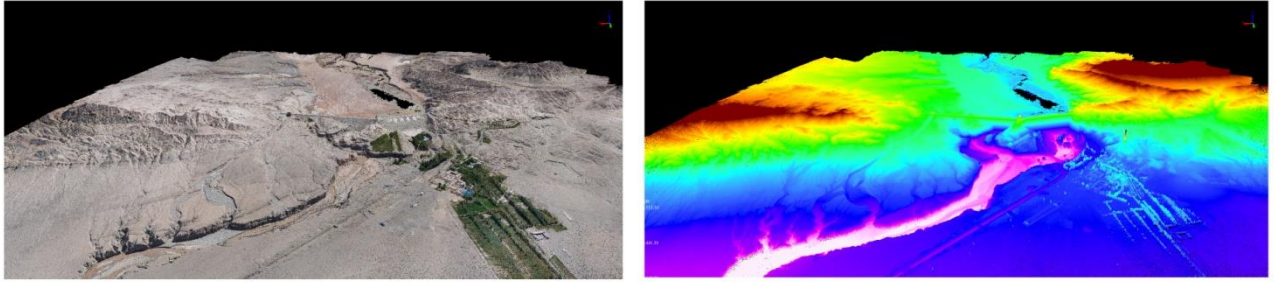


图 8 坝址区点云数字模型

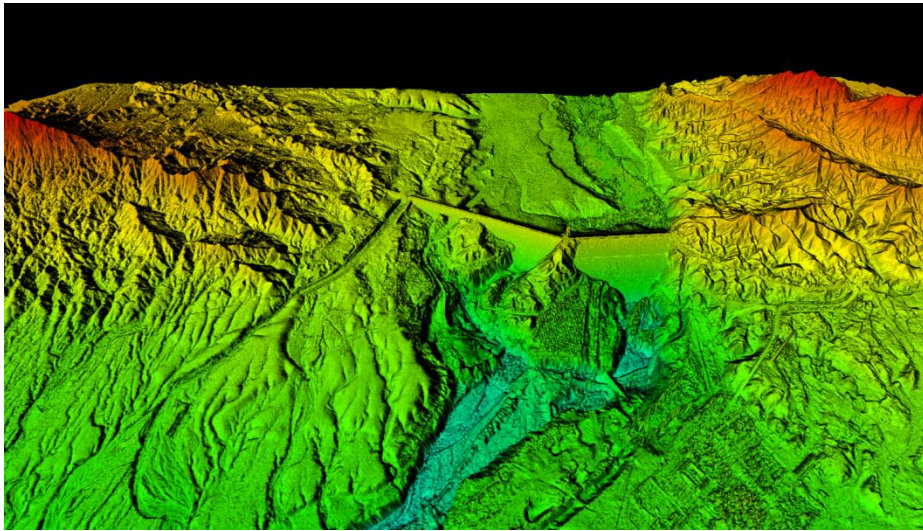


图 9 坝址区数字表面模型（DSM）

4 生产要点

4.1 飞行平台

考虑到本次测区为隔壁偏远地区，且常年有风沙天气，因此对飞机的性能等各方面有严苛的要求，结合公司实际生产任务情况，本次任务选择飞马机器人公司的 V100 无人机进行航空作业，V100 无人机是飞马推出的基于高性能垂直起降固定翼平台的一站式行业解决方案；主打“高精度成图”、“专业遥感”、“视频侦察”。起飞重量 8.5kg，标准载荷 1kg，续航时间 90min；可搭载航测模块、倾斜摄影模块、热红外遥感模块、多光谱模块、可见光视频模块、热红外视频模块、双光视频模块；所有载荷均可无工具快速拆装，实现一机多用，具备多元化数据获取能力，并提供系统级解决方案。配备高精度差分 GNSS 板卡，支持 PPK、RTK 及其融合作业模式，支持 POS 辅助空三，可实现免像控 1:500 成图。

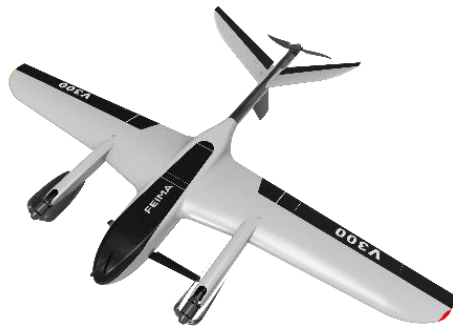


图 10 飞马 V 系列无人机

4.2 飞行监控

本次飞控采用无人机管家的智飞行模块，飞行前进行设备的各项安全检查例如电池电量和连接锁扣，同时起飞和降落时录制现场视频，在完成飞行任务后及时将飞行工程进行云端上传和共享，最后填写飞行日志。

飞行过程中密切观察电池组电量、RTK 信号强度、电台信号强度、以及飞机的姿态元素，同时观察空速、风速和地速的相互关系是否正常。在飞机完成前 4 条航线后进行单条航线耗电量的计算，预估飞行任务完成后返航电量是否充足保证飞机的降落安全。

飞行任务结束后及时下载 POS 数据和照片文件，对电池进行充电保养。同时认真分析飞行日志回放过程中飞机的飞行情况，将飞机的飞行稳定性和电池的使用情况进行总结并填入飞行日志。

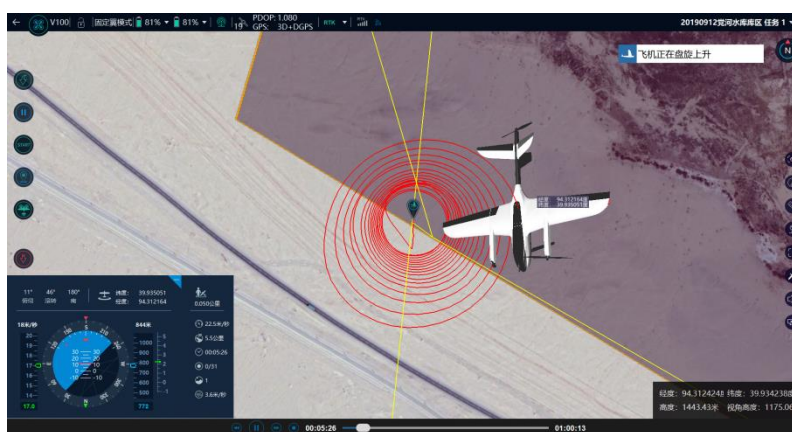


图 11 飞马 V100 爬升监控图片

5 创新应用

5.1 多软件交互使用

飞机的外业飞行使用无人机管家的智航线和智飞行模块，然后使用智检图模块进行数据的预处理和重叠度检查，内业加密使用智理图和智拼图，在使用点云数据进行 DEM 生成之前采用智点云模块进行点云数据的过滤和地面点的提取，后使用 Global mapper 软件进行等高线的生成和滤波，最后使用南方公司的 CASS9.0 软件进行数字线划图的提取和测绘。

结合每个软件不同的特点和优势，将数据分别导入不同的数据处理软件可以最大程度的发挥软件的功能，同时能够提高作业的效率。

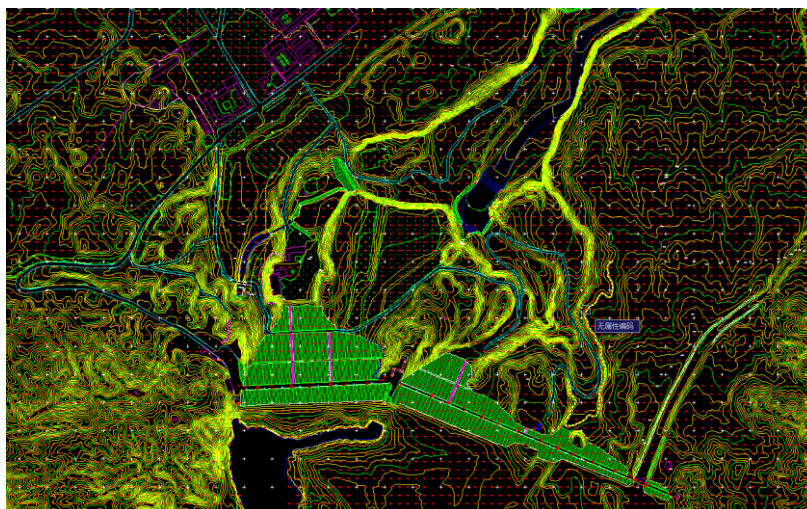


图 12 坝址区数字线划图 (DLG)

5.2 大面积长航程

本次作业面积大，飞行时间长是本次作业的特点，且本次库区测量需要多期测量进行库区淤积量的计算，所以靶标的埋设都选择在易于保存的地方，在保证飞行安全的前提下本次飞行采用 V100 系列飞机的“断点续飞”功能，能够在保证飞机电量充足的前提下多次飞行进行测区影像的采集。

表 2 飞行相关参数

飞机型号	飞行高度	作业面积	比例尺	区域	载荷	飞行时间	飞行里程
V100	304m	9.02km ²	1/500	坝址区	CAM100	51min	59.00km
V100	844m	19.95km ²	1/2000	库区	OP100	54min	57.92km

6 精度评定

作业过程中严格按照公司的质量管理体系文件和行业测量规范以及国家标准，参考的国家标准规范如表 3 所示：

表 3 作业过程中参考的规范标准

序号	标准名称	标准代号
1	《航空摄影技术设计规范》	GB/T19294-2003
2	《1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量外业规范》	GB/T 7931-2008
3	《1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量内业规范》	GB/T 7930-2008
4	《低空数字航空摄影测量内业规范》	CHZ 3003-2010
5	《数字航空摄影测量 空中三角测量规范》	GB/T23236-2009
6	《全球定位系统(GPS)测量规范》	GB/T18314-2009
7	《低空数字航空摄影规范》	CHZ 3005-2010
8	《国家基础航空摄影补充技术规定》	国家测绘局
9	《数字测绘成果质量检查与验收》	GB/T 18316-2008
10	《国家基础航空摄影产品检查验收和质量评定实施细则》 (试用稿)	国家测绘局
11	《摄影测量航空摄影仪技术要求》	MH/T1005-1996

像控点采集的准确性关系到后续空三加密和 4D 产品的精度，本次像控点采用对中杆整平对中的方式，进行平滑 20 次坐标采集，同时拍摄现场测量照片。在完成空三计算后，利用合格的空三成果进行 DSM 和 DEM 以及 DOM 的生产，现场采集了部分碎步点作为检查点，同时对影像上没法判别的输电线和通讯线进行了现场采集，对于坝址区溢洪道、排沙洞等重要水工建筑物的高程进行了现场采集。

经空三计算得到相控点的平面精度 X 方向为 0.027M，Y 方向为 0.017M，高程精度为 0.034M，满足技术设计的相关要求，现场选取了部分房角和道路拐点作为 DOM 平面精度的检查数据，均达到了技术设计书的设计要求。

表 4 相控点精度评定

GCP NAME	ERROR X[M]	ERROR Y[M]	ERROR Z[M]
XK01	0.007	-0.012	-0.002
XK02	-0.008	0.030	0.083
XK03	-0.019	0.005	-0.047
XK04	0.036	0.021	-0.047
XK05	-0.033	0.011	0.017
XK06	0.075	-0.035	0.066
XK07	-0.043	0.000	0.001
XK08	0.016	-0.020	0.037
XK09	-0.008	0.016	0.020
XK10	-0.026	-0.003	-0.002
XK11-1	0.002	-0.026	0.004
XK11	0.024	0.008	-0.020
XK13	-0.009	-0.011	0.005
XK13-1	0.000	0.007	0.010
XK14-1	0.010	0.009	0.012
XK15	-0.003	-0.015	-0.024
RMS ERROR[M]	0.027	0.017	0.034

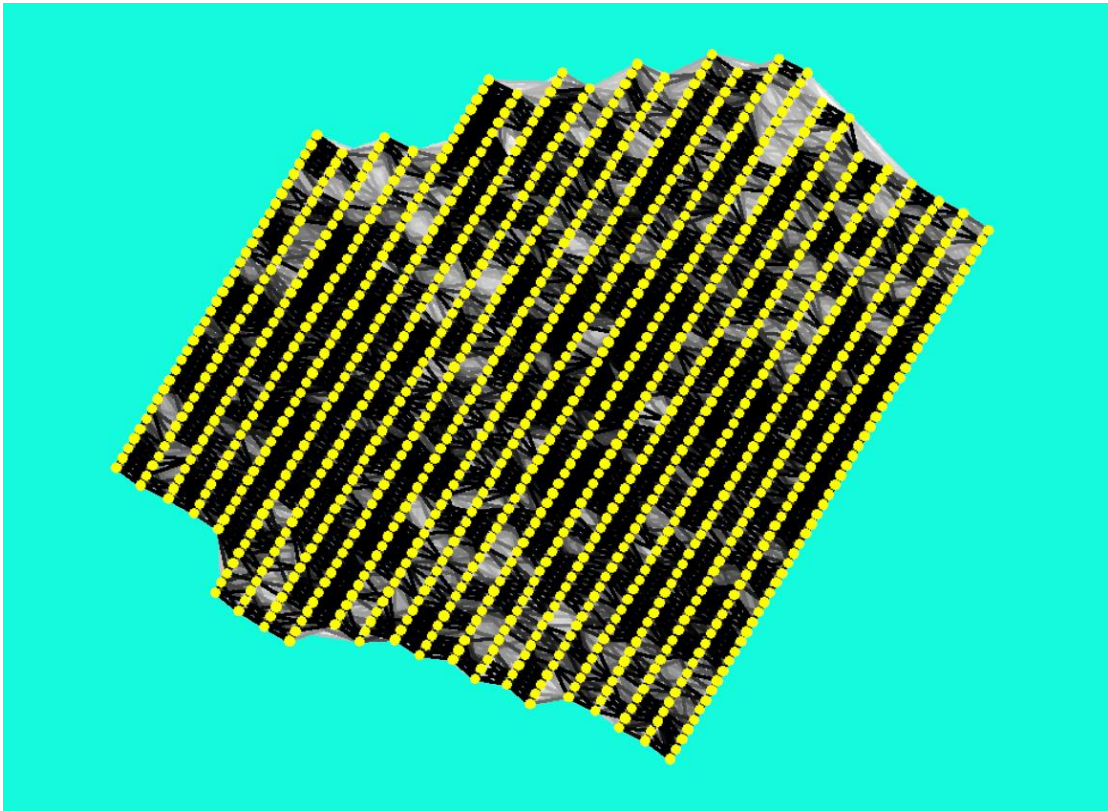


图 13 坝址区匹配点连接强度示意图

7 总结展望

7.1 存在的问题

结合项目实际情况发现本次航测任务中存在一些问题需要解决,例如水面匹配点较少在后续的建模过程中容易产生数据空洞;对于重要建筑物例如泄水闸的建模任然需要地面补拍部分照片来进行精细建模;由于物理带宽网速的限制使数据的集群处理难以达到理想的工作效率,可以建立万兆网和磁盘资源共享的方法提高航测数据处理的效率,真正使航测成为测绘行业的主流作业方法。



图 14 航测数据集群处理

7.3 新技术展望

随着飞行平台的不断发展和载荷的多元化,在后续测量中应该综合利用光学影像和多光谱数据以及雷达数据,真正做到 3S 集成处理,将航空摄影测量的发展推进到一个新的高度。同时更应该重视航测数据处理软件的数学算法研究,将高效的数学模型应用到数据处理软件中。

同时应该将传统的工程测量和航空摄影测量以及水下地形测量有机结合,使陆海空三个空间的测量数据能够高效快速的融合,从而形成完整的测量数据。测绘行业真正进入到了一个无人机时代,在这个无人机测量时代更需要大量的人去掌握和研发这项新技术,让这个新技术在科技发展的浪潮中不断前进创造更多的生产价值。