

针对复杂带状地形测量方案的探讨

王杰 王斌 荆常伟 吴昊

【淄博市勘察测绘研究院有限公司】

摘要：

本文首先介绍了无人机倾斜摄影测量和三维建模技术的原理。根据误差传播理论，依据实际案例对长带状复杂地形航摄方案进行总结和探讨。

关键词：

无人机倾斜摄影；飞马无人机；带状地形测量；误差传播理论

1 摄影测量发展历程

摄影测量经历了模拟摄影测量、解析摄影测量、数字摄影测量几个阶段，从主要靠人工判读到智能化自动计算，给整个测绘行业带来了翻天覆地的变化，对技术人员的外业工作量大大减少。

2 测区概况

本次测区为某山区，整个测区高海拔、大高差，带状图长度为 20.8 公里，起点与终点落差达到 480 米，且有风力发电风扇、高压线（塔），给飞行带来了极大的风险。



图 1 测区范围

3 摄影测量作业实施

3.1 仪器设备

对于此次项目采用飞马 D2000 搭载 OP3000 五镜头进行航测作业。

D2000 无人机系统具有长航时、机型小的特点，能满足高精度测绘，同时标配高精度差分 GNSS、网络 RTK、PPK 等融合服务。可搭载航测模块、倾斜模块、可见光、热红外等。

OP3000 五镜头，下视镜头焦距为 25mm，倾斜镜头为 35mm。相机总像素 1.2 亿。

利用飞马无人机管家“智航线”模块，进行航线规划，利用“智理图”模块进行融合解算出高精度 POS。

3.2 航线规划

设计分辨率（GSD）为 2.0CM，飞行高度 130m。由于测区高差大，依据 DEM 进行变高飞行并分块飞行。

3.3 像控点布设

根据航摄区域和精度要求均匀布设，采用对角标制作，采集用双频 GNSS 接收机，采用平滑采集测量坐标。

3.4 影像数据获取

对航摄系统进行组装检查，确保安全。依靠飞机自主飞行，依次获取地面影像。

3.5 差分数据融合解算

利用飞马无人机管家“智理图”模块，将基站 GNSS 数据与机载 GNSS 数据格式转换为 Rinex 文件，然后导入转换后的基站 GNSS、机载 GNSS 数据以及机载 RTK 成果设置参数，获取精准 POS 数据。

4 实景三维建模

4.1 处理流程

利用瞰景 smart3D 经过格网切块、构建 TIN、自动纹理映射等流程，生产出测区实景三维模型。具体路线为：数据预处理、空三加密、匹配生成密集点云、构建 TIN 模型、自动纹

理映射、实景模型。

4.1.1 空三计算

根据高精度 POS 建立航带，依据共线方程，基于匹配像点和像控点，进行整体区域网平差，进行相对匹配和同名点的密集匹配，依据成像模型，计算物方坐标。采用优化模式，按照控制点的移动来实现绝对定向。

4.1.2 构建实景三维模型

经空三加密后，通过多视影像联合平差得到密集点云，最后进行配准和纹理映射等构建出实景三维模型。

5 技术难点

(1) 在长带状、高差大且弱纹理的地形时，空三计算的难度相应的增加，出现分层、翻转、飞片。

(2) 对于像控点布设要求高，布设难度大。我们经实际生产验证，尽管仪器设备精度已经达到厘米级精度，但在长带状地形中，精度效果仍然达不到预期的效果。

(3) 在飞行过程中，地形起伏大，飞行难度大、危险高。通过飞马无人机管家中“智航线”模块，利用其地形 DEM 采用变高飞行，但软件在自动化分区的过程中，对于狭长带状图，规划航线较少，有时无法满足项目要求。

(4) 在整个测区中，距离越长，图传信号衰弱越快，飞行效率较低。对项目工期和成本都有一定的影响。

6 技术探讨

(1) 在面对长带状、弱纹理、高差大的空三计算时通过率低的问题，我们尝试修订相机参数，自检参数的不同，对定位精度的影响程度也不同。在相机自校模型中，增加径向畸变和切向畸变时，计算结果将会获得最优的收敛结果。在必要的时候也可增加人工连接点，效果在生产中也得到了验证。

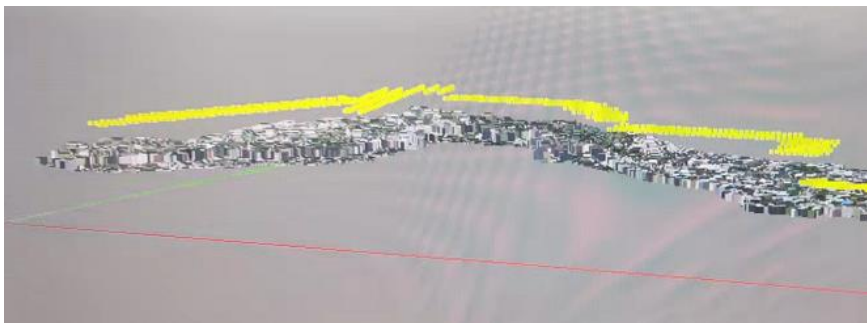


图 2 空三计算

(2) 在精度要求高的情况下，在带状图中，对像控点的布设提出了更高的要求。山区

地形复杂，选点和布设难度大。在生产中我们发现，如果求效率而忽视布设方法和要求，精度无法满足项目要求，尤其是高程精度呈不规则离散型呈现。

按照路线沿直线布设：



图3 直线布设

表1 精度对比表

点号	图上坐标	实测坐标	高程
G1	X: 025.558 Y: 242.825	X: 025.772 Y: 242.570	图上: 521.55 实测: 523.60
G2	X: 862.380; Y: 253.129	X: 862.298; Y: 253.132	图上: 480.56 实测: 481.32
G3	X: 683.512; Y: 248.759	X: 683.411; Y: 248.776	图上: 320.10 实测: 322.41
G4	X: 704.345; Y: 949.151	X: 704.426; Y: 949.172	图上: 238.05 实测: 239.11
中误差	平面中误差: 0.152m		高程中误差: 1.452m

按照“S”型布设时：



图4 “S”型布设

表2 精度对比表

点号	图上坐标	实测坐标	高程
G1	X: 025.675	X: 025.772	图上: 523.04

	Y: 242.615	Y: 242.570	实测: 523.60
G2	X: 862.311; Y: 253.139	X: 862.298; Y: 253.132	图上: 480.98 实测: 481.32
G3	X: 683.429; Y: 248.766	X: 683.411; Y: 248.776	图上: 322.67 实测: 322.41
G4	X: 704.451; Y: 949.169	X: 704.426; Y: 949.172	图上: 238.56 实测: 239.11
中误差	平面中误差: 0.117m		高程中误差: 0.251m

按照“Z”型布设时:



图5 “Z”型布设

表3 精度对比表

点号	图上坐标	实测坐标	高程
G1	X: 025.725 Y: 242.610	X: 025.772 Y: 242.570	图上: 523.71 实测: 523.60
G2	X: 862.305; Y: 253.139	X: 862.298; Y: 253.132	图上: 480.19 实测: 481.32
G3	X: 683.423; Y: 248.769	X: 683.411; Y: 248.776	图上: 322.50 实测: 322.41
G4	X: 704.443; Y: 949.175	X: 704.426; Y: 949.172	图上: 238.89 实测: 239.11
中误差	平面中误差: 0.075m		高程中误差: 0.128m

1) 误差传播定律

$Z = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, 则有:

$$m_z = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_n}\right)^2 m_n^2}$$

2) 权值与中误差的平方成反比, 精度越高, 权值越大。

结论: 观测值中误差会随着距离增大, 离实际精度偏差越大, 相应的权值则会越小(对

其约束则会减小), 精度也会随之下降。

同时这也验证了之前我们生产中遇见的在较短长度带状图中精度衰弱不明显的情况。

(3) 在高差大的地形中, 利用现有 DEM 进行变高飞行, 保证分辨率一致。在项目要求高的情况下, 为避免发生意外, 可以预扫测区 DEM, 快速处理, 以达到更高的要求。但也因为持续变高工作, 电池耗电量大, 相较于之前能衰减 30% 以上。影响作业效率和提高了项目成本。

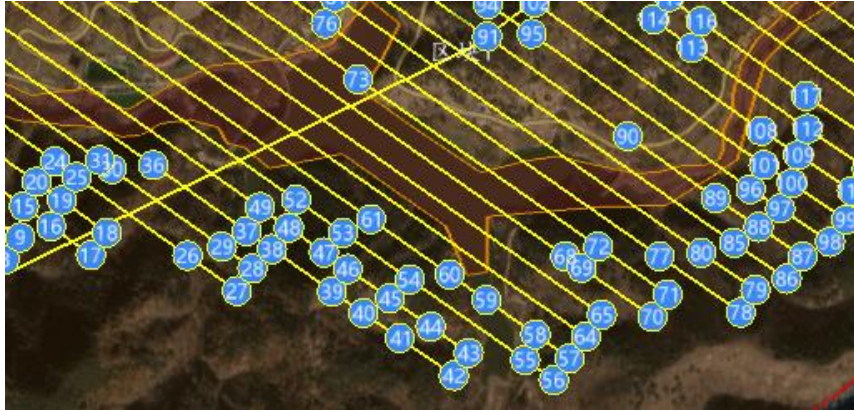


图 6 变高航线

(4) 在长距离中, 图传随着距离增加而逐渐减弱, 影响飞行安全, 尝试更换天线长度以此来增长遥控距离。也可以根据“智航线”进行智能分区。但是在实际生产中也存在一定的限制问题, 软件在自动化分区的过程中, 对于狭长带状图, 规划航线较少, 有时无法满足项目要求。

7 总结展望

(1) 依据误差传播定律和实际数据表明, 在较长带状图作业中, 尽量进行分区分块作业, 控制点布置宜采用“Z”型布置。也希望在高精度 POS 和 PPK 的融合支持下, 减少甚至免像控作业, 大大的减少工作量。

(2) 在对于内业处理中, 空三计算和重建工作受设备限制, 工作效率低。航摄数据量大, 存储、传输、发布都受一定的限制和影响。在以后的生产中, 结合“云技术”“云存储”等大数据平台来解决目前存在的一些问题。

(3) 三维模型用途较单一, 主要服务单一项目, 对资源是一种严重的浪费。开发三维模型的多维利用 GIS 平台 (BIM、CIM)。探索在市政建设领域、规划设计领域、城市应急、急救等领域的多维应用。

(4) 解决目前生产中的难点和实现三维模型的多维利用, 还需要行业内更加深入的交流和研究。

参考文献:

- [1] 张祖勋, 张剑清.《数字摄影测量学》武汉大学出版社 2012.
- [2] 《误差理论与测量平差基础》武汉大学出版社 2003.
- [3] 《1:500、1:1000、1:2000 航空摄影测量数字化测图规程》CH/T 3007.1-2011.