

Research on Influencing Factors of UAV Aerial Survey Mode Accuracy in Irregular Reservoir Area

Shuangsheng Wang

Heilongjiang Yichun Luming Mining Co., Ltd., Yichun, Heilongjiang, 153000, China

Abstract

Traditional measurement cannot achieve measurement work within the tailings pond area. This paper takes multi rotor unmanned aerial vehicle measurement of tailings pond as the research object, aiming to obtain coordinate data from the perspective of altitude and image control point layout. By constructing a three-dimensional model to compare and analyze the root mean square errors of plane and elevation, the following conclusions are drawn: The lower the altitude, the higher the accuracy, but below 140m, the lower the production efficiency. The uniform layout of control points at the edge of the measurement area has a significant impact on the accuracy of the model. The distance between image control points is about 600m, which can meet the measurement accuracy of 1:500. Adding control points to the center of the measurement area cannot significantly improve the accuracy of the model. When the altitude is 100m, the image control points are uniformly arranged at the edge of the irregular measurement area, and control points are added at the center, the model accuracy is the highest, reaching $\pm 2.8\text{cm}$ on the plane and $\pm 2.2\text{cm}$ on the elevation. Based on the comprehensive consideration of model accuracy and production efficiency, the 140m altitude flight plan is more reasonable and efficient. Strive to provide reference for the accuracy of unmanned aerial vehicle photogrammetry mapping in mining tailings ponds.

Keywords

Multi-rotor UAV; irregular area; 3D mode accuracy; flying height; image control point layout

不规则库区无人机航测模型精度影响因素研究

王双圣

黑龙江省伊春鹿鸣矿业有限公司, 中国·黑龙江 伊春 153000

摘要

传统测量无法实现尾矿库库区内测量工作, 论文以多旋翼无人机测量尾矿库为研究对象, 旨在以航高和像控点布设为视角, 通过构建三维模型获得坐标数据进行平面和高程均方根误差对比分析, 得出以下结论: ①航高越低, 精度越高, 但低于140m, 生产效率降低。②测区边缘均匀布设控制点, 对模型精度影响较大, 像控点间距600m左右, 即可满足1:500测量精度。③测区中心增加像控点不能显著提高模型精度。④航高100m、像控点在不规则测区边缘均匀布设且中心加控制点时, 模型精度最高, 达到平面 $\pm 2.8\text{cm}$ 、高程 $\pm 2.2\text{cm}$ 。⑤根据模型精度和生产效率综合考虑, 航高140m飞行方案更合理高效。力图为矿山尾矿库无人机摄影测量成图精度提供参照。

关键词

多旋翼无人机; 非规则区域; 三维模型精度; 航飞高度; 像控点布设方式

1 引言

目前, 国内矿山安全问题, 国家高度重视, 开展矿山区域测图项目意义重大。凸显出无人机航测技术在矿山应用前景和经济价值, 尤其在矿山尾矿库中的应用更为重要, 无人机摄影作为尾矿库地形测量重要的数据获取手段, 可以快速获取尾矿库环境现状和三维坐标数据, 为预防突发事件、汛期防洪等提供强有力的技术支撑。

在测绘方面, 适合的像控点布设方案和飞行高度选取

是无人机航测获取高精度成果的重要保证^[1-4]。国内诸多学者研究指出像控点的数量、分布及航飞高度对航测精度产生影响。吴波等指出当在测区布设一定数量的控制点后, 加密成果精度不再随控制点数量的增加而提高^[5]。朱进等提出四角点对式点组布点方案得到的空三精度最高^[6]。张光祖等指出当像控点连线围成的凸多边形包含整个不规则测区时, 才能有效保证构建的模型精度^[7]。买小争等采用“隔航带、隔基线”的方法布设像控点, 提出了满足1:1000数字正射影像图制作的像控点布设方案^[8]。彭议普等得出航测高度越低, 航线重合度越高, 模型质量越高, 航高因素影像模型质量更为敏感^[9]。在这些研究中, 针对不规则形态诸多专家和学者针对控制点布设方案、数量及航飞高度等方面影响, 论文使用旋翼无人机在黑龙江省伊春鹿鸣钼矿尾矿库现场试

【作者简介】王双圣(1977-), 男, 中国吉林德惠人, 本科, 工程师, 从事高新测绘技术在露天矿山中的应用研究。

验,重点分析航拍高度和控制点位置、数量对三维模型精度的影响,并得出三维模型精度试验结论,对矿山尾矿库无人机摄影测量成图精度有一定的参考意义和价值。

2 现场生产试验

2.1 生产试验概况

论文以黑龙江省伊春鹿鸣钼矿尾矿 1# 库为试验区域,地理坐标为东经 128.3328753949,北纬 47.2053314504。试验区面积 0.77km²,形状为不规则图形,地势呈阶梯式高低起伏,地表地类要素为草地、砂石道路、干滩等。航拍平台选用南方雷凌 SL700 四旋翼无人机,影像采集选取 T55 五镜头云台。

2.2 航飞高度设计方案

航飞高度对模型精度影响,是由于航飞高度影响地面分辨率进而影响三维模型精度。根据《低空数字航空摄影规范》,由相对航高计算公式可得,航飞高度越高,地面分辨率越低,而地面分辨率越低则会导致多视角影像密集匹配时错误匹配特征点数量增多,进而影响模型精度。为探究航飞高度对倾斜影像数据的精确度产生直接影响。论文通过不同的航飞高度对三维模型精度进行研究,根据多旋翼无人机在尾矿库非规则地形区域航测,设计了 100m、140m、180m 三种航飞高度,对应的地面分辨率、航线速度、拍摄间隔。

2.3 像控点布设方案

如果采用传统的航测像控点布设方式和布设图形较为规则,不仅要求布点数量多,而且在布点困难的区域不具有操作性,性价比不高。论文根据开展的外业测量作业实践,我们设计了以下 4 种无人机控制点布设方案:

方案一:边缘单点布设,根据库区实际地形,本次布设 4 个像控点,如图 1(a)所示。

方案二:边缘均匀布设,在测区边缘位置按一定密度均匀布设像控点,本次布设 8 个像控点,如图 1(b)所示。根据外业控制点的布设规范,像控点的选择和布设需遵循一定的原则,通常根据地形条件、摄影资料及信息处理方法的不同,布设方案也要做相应调整。

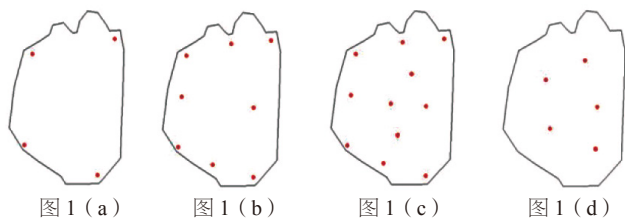


图 1 无人机控制点布设方案

①一般像控点根据测区实际范围统一布点,应在测区范围内均匀、立体地布设。

②布设在同一位置的像控点应联测成平高点。

③像控点应布设在空旷、地表平坦区域。

④像控点应尽量布设在明显目标点处,或选择地面标

志,便于辨别以提高刺点的精度,增强像控点的可靠性。

⑤相邻像对和相邻航线之间的像控点应尽量公用。

方案三:边缘均匀布设加少量内部控制,在满足边缘均匀布设的情况下,测区中部增设少量像控点,本次共布设 11 个像控点,如图 2(c)所示。

方案四:测区中心布设,仅在测区中部布设像控点,本次布设 5 个像控点,图 2(d)所示。根据以上像控点布设原则,本试验测区内共布设像控点和检查点 35 个。

3 三维模型精度与生产效率分析

3.1 构建三维模型

论文试验主要基于四旋翼无人机倾斜摄影测量构建三维可视化模型,根据现场地形试验设计了三个航飞高度和四种控制点布设方案,在三种不同航高下,通过不同的像控点布设方案进行空三加密处理及构建三维模型得到相对应的三维模型成果。利用 ContextCapture Center 软件共构建 12 个三维模型。本次试验三维模型构建以航飞高度为 100m 的照片序列为例,构建了 1 个三维模型。三维模型构建流程,首先对影像预处理、导入影像照片、POS 数据、进行空中三角测量计算、影像区域网联合平差,导入控制点及坐标进行刺点,再次提交空中三角测量计算,使用控制点进行精确平差,进行模型生产、构建 OSGB 瓦片模型,将瓦片数据整理修饰等步骤构建三维模型,如图 2 所示。

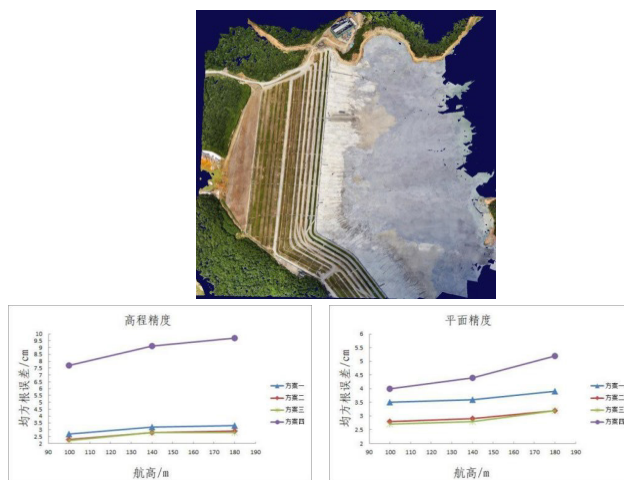


图 2 三维模型

3.2 三维模型精度分析

通过构建的三维模型,得到三种航高下四种像控点布设方案成果,为了检测倾斜摄影测量重建三维模型的精度,利用 RTK 在试验区实地量测 35 个像控点的坐标作为检核点,记录为 CGCS2000 坐标,在软件中提取每个检核点对应的 4 个三维模型中的坐标,同样记录为 CGCS2000 坐标。以检核点的 RTK 测量坐标为真值,对应的模型点坐标为测量值,计算出每个模型中所有检核点的平面和高程方向的均方根误差,来进行精度分析。均方根误差计算公式为:

$$RSME_{xy} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2]}{n}} \quad RSME_z = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - h_i)^2}{n}}$$

其中，n 为检核点的数量； X_i 、 Y_i 、 H_i 分别为三维模型中检核点的三维坐标； x_i 、 y_i 、 h_i 分别为外业实测检查点的三维坐标； $RSME_{xy}$ 和 $RSME_z$ 分别为三维模型的平面和高程均方根误差。根据三种飞高度设计及四种像控点布设方案试验，利用 ContextCapture 软件构建三维模型，可以计算出检查点的平面和高程均方根误差（RMSE）。三种航飞高度下三维模型平面和高程精度（如图 4 所示）及四种像控点布设方案三维模型平面和高程精度（见表 1~ 表 3，表中 $RMSE_{XY}$ 平面均方根误差， $RMSE_Z$ 高程均方根）。

表 1 100m 航高像控点布设方案平面和高程精度统计表

像控点布设方案	$RMSE_{xy}/cm$	$RMSE_z/cm$
方案 1	3.5cm	2.7cm
方案 2	2.8cm	2.3cm
方案 3	2.7cm	2.2cm
方案 4	4.0cm	7.7cm

表 2 140m 航高像控点布设方案平面和高程精度统计表

像控点布设方案	$RMSE_{xy}/cm$	$RMSE_z/cm$
方案 1	3.6cm	3.2cm
方案 2	2.9cm	2.8cm
方案 3	2.8cm	2.8cm
方案 4	4.4cm	9.1cm

表 3 180m 航高像控点布设方案平面和高程精度统计表

像控点布设方案	$RMSE_{xy}/cm$	$RMSE_z/cm$
方案 1	3.9cm	3.3cm
方案 2	3.2cm	2.9cm
方案 3	3.2cm	2.8cm
方案 4	5.2cm	9.7cm

3.3 生产效率成本分析

在无人机测绘工作中，不仅要满足三维模型精度，同时还应提高模型生产效率，给生产工作提供综合保障。根据无人机倾斜摄影测量内外业操作流程，论文对航飞时间、空中三角测量计算时间、建模时间、生产总时间进行生产时间成本分析。

通过分析不同方案下三维模型精度及其无人机作业效率，来综合评价无人机在矿山尾矿库非规则测区的应用前景。分析以上数据，得出以下结论：

①通过三种航飞高度方案对比可知，航飞高度 100m 时，模型平面和高程精度最高，当飞行高度在 100~180m 范围内模型精度影响变化较小，但是航飞高度对模型清晰度有一定影响，高度降低清晰度增强。

②通过像控点布设四种方案对比结果发现，测区边缘布设控制点，对模型精度影响较显著，像控点均匀布设在非规则测区边缘，间距 600m 左右，即可满足 1 : 500 测量精度要求。

③通过布设方案 2 和方案 3 对比结果显示，测区中心增加像控点不能显著提高模型精度。

④通过三种航飞高度和四种像控点布设方案对比结果发现，航飞高度 100m、像控点在尾矿库非规则测区边缘均匀布设且中心加控制点时，模型精度最高，最高精度达到平面 $\pm 2.8cm$ 、高程 $\pm 2.2cm$ 。

⑤根据模型精度和生产效率综合考虑，飞行高度在 140m 时飞行方案更合理高效。

4 展望

多旋翼无人机摄影测量服务于矿山尾矿库工作是未来测绘工作的一个重要发展方向，制定一种最经济、高效和高精度的控制点布设方案及设计最优的航飞高度，是应用无人机获取高精度尾矿库三维模型成果数据的基础。通过论文试验，解决了矿山尾矿库难于测量问题，提高测量工作效率及安全性，验证了无人机倾斜摄影测量在尾矿库非规则区域应用精度值，总结出了针对矿山尾矿库不同航飞高度和像控点布点方案，明显减少了外业像控成本和时间，为今后多旋翼无人机在矿山尾矿库测绘工作中更好地发挥参照作用。

参考文献

- [1] 苏世伟,汪云甲.通过控制点布设探究航测精度[J].测绘科学, 2012,37(6):115-117.
- [2] 桑文刚,李娜,韩峰,等.小区域消费级无人机倾斜摄影像控点布设及建模精度研究[J].测绘通报,2019(10):93-96.
- [3] 杨阳,孙建军.旋翼无人机外业像控点布设方案研究[J].测绘与空间地理信息,2021,44(8):78-83.
- [4] 陶顺勇,杨培兵.不同航高对无人机航测地形制图精度影响研究[J].水利水电快报,2022,43(2):28-31.
- [5] 吴波,李俊,蒋大鹏,等.针对地质灾害隐患点的无人机航摄像控点布点方案[J].测绘通报,2020(6):125-127.
- [6] 朱进,丁亚洲,陈攀杰,等.控制点布设对无人机影像空三精度的影响[J].测绘科学,2016,41(5):116-120.
- [7] 张光祖,王春,徐燕,等.像控点布设对无人机小范围非规则区域实景建模精度的影响[J].全球定位系统,2020,45(2):60-67.
- [8] 买小争,杨波,冯晓敏.无人机航摄像控点布设方法探讨[J].测绘通报,2012(S1):268-271.
- [9] 彭议普,程阳,韩征,等.基于多旋翼无人机航测的工程结构三维建模质量影响因素研究[J].铁道科学与工程学报,2019,16(12):2969-2976.