

无人机倾斜摄影测量技术在废弃矿山测量中的应用研究

陆金平

江西应用技术职业学院

DOI:10.12238/gmsm.v8i3.2194

[摘要] 我国作为矿产资源大国,长期无规划、无节制的开采导致废弃矿山面临地表塌陷、土地损毁、废物堆积等严重生态环境问题,亟需高效精确的测量手段支撑治理工作。无人机倾斜摄影测量技术凭借获取真实三维模型的特性,成为解决废弃矿山测量难题的关键工具。本文结合具体工程实例,详细介绍其在废弃矿山外业数据采集、内业数据处理中的应用,生成数字高程模型和数字正射影像图,为废弃矿山的环境评估、治理规划和资源再利用提供科学依据,证实了该技术的显著优势与应用价值。

[关键词] 无人机倾斜摄影; 废弃矿山; 测量技术; 三维建模; 环境治理

中图分类号: V279+.2 文献标识码: A

Research on the application of UAV tilt photogrammetry technology in abandoned mine survey

Jinping Lu

Jiangxi Vocational College of Applied Technology

[Abstract] As a major country with mineral resources, China has long faced serious ecological and environmental problems in abandoned mines, such as surface subsidence, land damage, and waste accumulation, due to unplanned and unrestrained mining. There is an urgent need for efficient and accurate measurement methods to support governance work. UAV oblique photogrammetry technology, with its characteristic of obtaining real 3D models, has become a key tool to solve the measurement problems of abandoned mines. Combined with specific engineering cases, this paper details its application in field data collection and indoor data processing of abandoned mines, generates Digital Elevation Models (DEMs) and Digital Orthophoto Maps (DOMs), provides a scientific basis for environmental assessment, governance planning, and resource reuse of abandoned mines, and confirms the significant advantages and application value of this technology.

[Key words] UAV oblique photography; abandoned mines; measurement technology; 3D modeling; environmental governance

引言

我国是矿产资源大国,矿产资源总量位居世界第三。在经济发展快速进程中,矿产资源作为基础原材料,为经济增长提供了重要支撑。然而,大规模、无规划、无节制的开采行为对环境造成了巨大冲击,引发地表下沉、地域破坏、空气灰霾、污水排放、垃圾处理等一系列问题,严重威胁周边生态系统稳定与民众生活安全^[1]。

传统测量技术在处理废弃矿山问题时存在明显局限性,难以准确捕捉复杂矿区地貌特征,易产生评估误差,且需投入大量人力物力,耗时耗成本,无法实现实时监控和提供精准环境数据,极大限制了废弃矿山处理的效率与成效。因此,探索新型高效的测量技术成为当务之急^[2]。

无人机倾斜摄影测量技术的引进为废弃矿山处理提供了全

新解决方案,具有重大战略意义。与传统方法相比,该技术能快速精确获取废弃矿山立体三维模型,实现在线监测,可更详细评估矿区地形地貌特征,为处理行动提供精细数据支持。同时,能显著减少人力物力消耗,提高整体处理效率并有效控制成本,为应对环境挑战提供科学高效的技术手段^[3]。

1 无人机倾斜摄影测量在废弃矿山测量中应用的主要测量工作内容

在废弃矿山测量中,无人机倾斜摄影测量主要工作内容如下:首先,无人机搭载多镜头摄影装置,对废弃矿山进行多角度、全方位拍摄,从垂直、倾斜等角度捕捉详细信息,为后续数据处理和模型构建提供数据;其次,利用专业图像处理软件对照片进行预处理和拼接,通过色彩校正、畸变矫正等步骤,确保照片质量和精度,再通过先进图像拼接算法,将多张照片拼接成完整矿

山影像图；最后，获取影像数据后，提取地形地貌特征点、线、面等元素，精确描绘地形地貌特征，利用三维建模软件构建三维模型，直观展示矿山空间结构和形态特征，为后续治理和规划提供重要参考^[4]。

该技术应用提高了测量效率和准确性，降低了传统测量方法的安全风险，还能获取更多详细矿山数据，全面了解矿山实际情况。

2 无人机倾斜摄影测量在废弃矿山测量中应用的测量数据获取流程

随着测绘技术革新和测量设备迭代，人们对精确丰富、直观易懂的数据资料需求更高。无人机倾斜摄影成像技术通过无人机执行拍摄任务，处理影像数据，形成清晰的矿山正射影像图和三维立体模型^[5]。正射影像真实反映矿场周边环境全貌，三维立体影像允许从不同角度审视地形地貌特征，配套影像处理软件可提取矿山高度、距离、深度和面积等关键数据，简化数据获取、处理和应用步骤，节省资源，提升工作效率^[6]。

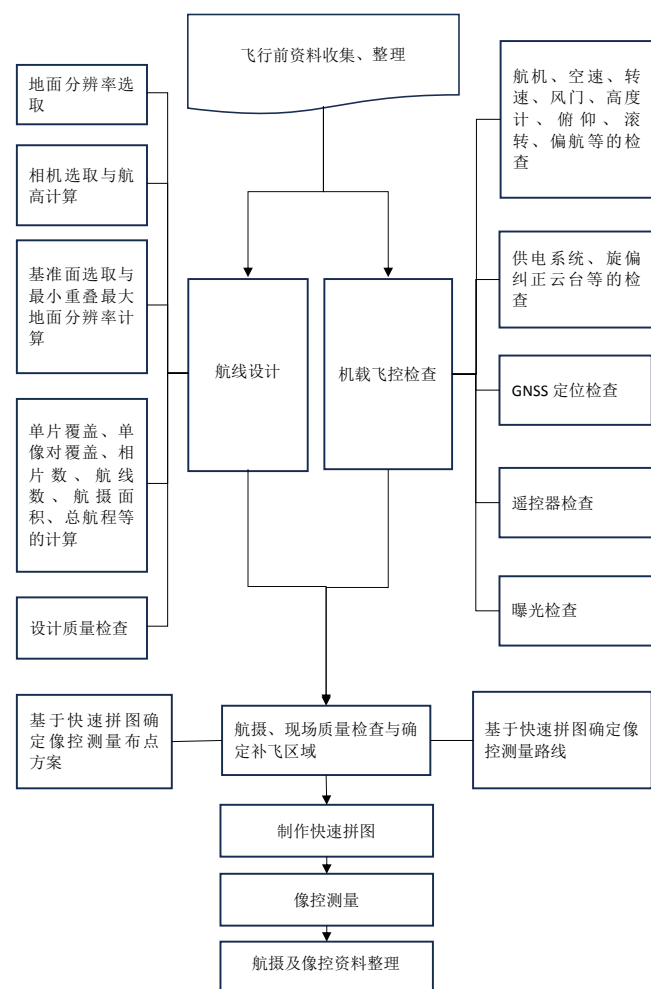


图1 无人机航拍倾斜成像技术的操作流程

首先进行像控点布设，在测量区域合理布置，确保影像清晰可见，为后续测量提供准确基准；其次进行控制点数据采集，通过先进测量仪器采集每个像控点地面坐标数据，建立与影像精

准关联，实现地面真实情况与航拍影像有效匹配；最后利用搭载倾斜摄影设备的无人机进行航测，航飞过程中同时获取垂直影像和倾斜影像，覆盖整个测区地形地貌信息，后续使用专业软件处理数据，创建精确三维模型，为废弃矿山测量提供高精度高效率解决方案，确保测量准确性和可靠性。

航测前，根据用户需求确定矿山拍摄区域，适当扩大范围避免数据不足或缺失，根据航飞范围信息和测区形状，航线按任意方向设计，复杂测区采用倾斜摄影技术获取全面摄影数据，以特定角度倾斜相机生成三维数据，提供高精度地形数据和非垂直方向数据。

实施航空飞行时，需关注测区气象条件，避免恶劣天气航测，严格遵循飞行规章制度和安全标准，保障飞行安全。复杂测区设计阶段采用高精度技术设计飞行路线，尽可能覆盖整个区域，航飞期间实时监控记录各项参数，保证拍摄数据完整准确。

完成倾斜摄影后，对测量数据预处理，将原始数据转化为可用地形数据，此过程需大量数据处理和算法处理，特别注意测区最高点和最低点测高数据处理，其精度直接影响地形数据精度。生成的地形数据可通过不同可视化工具展示分析，了解地形地貌特征和土地利用情况，过程中需严格遵循技术规范和标准，确保数据准确完整，避免错误分析结果影响决策。

无人机航飞时可能因环境和气候因素偏离方向或影响图像品质，拍摄完成后，图像处理前需利用POS信息评估图像数据质量，检测是否符合标准，包括确保图像间覆盖率、视角角度、旋转角度及高度差异达标，防止遗漏拍摄，保证图像清晰度，避免过暗、过亮区域及模糊点等明显缺陷。

3 无人机倾斜测量在矿山测量中的具体应用分析

3.1 外业数据采集

3.1.1 影像的采集

通过无人机摄影测量为废弃矿山后续复垦工程做细致筹备，获取精确三维空间信息以优化设计过程。根据《低空数字航空摄影技术指南》，航向重叠度推荐在60%至80%之间，最低不低于53%，旁向重叠需保持在15%至60%，最低为8%。但无人机倾斜摄影为构建精细立体模型，通常需要更高影像重叠度，实践中倾向于增加重叠度提升影像配准精准性，航向和旁向重叠通常设为80%和60%，地势平坦、建筑稀疏地区可适度调整。

3.1.2 航线的布设

受无人机电力和电池容量限制，无法在大规模区域持续飞行，本次模型构建区域相对较小。但利用大疆公司研发的地面操控应用程序，用户可在特定范围内，按预设高度及照片重合比率等条件自主制定摄影路径。例如，界面顶部右侧显示无人机状态信息，包括通信状况、摄像头运行状况、电池剩余量及飞行高度；主界面呈现摄像机捕捉的一手画面；底部左侧显示飞机信息，如飞行速率、照片重合比例、实时飞行高度等。

3.1.3 像控点的布设

像平面点在平地 and 丘陵地按区域网周边布点原则（六点法、八点法、十点法）布置，高程点全野外布设。一般每幅图像控点

数量不少于30个,图幅范围较大时适当增加。居民区应避开高大建筑物、树木、电线等障碍物;大型建筑物、高塔、桥梁等周边均匀布设控制点,保证清晰测得外轮廓;河流、湖泊等水域两岸均匀布设控制点,清晰测得水域中心线位置;地形复杂、起伏较大地区周边均匀布设控制点,清晰测得地形特征点。

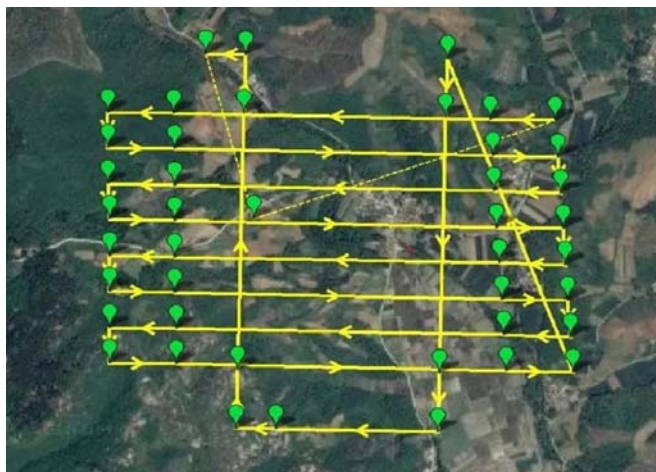


图2 无人机航线布设图

布设像控点需注意:设置在地形、地物显著、易于测量位置;布置在视野开阔无遮挡处;尽可能在高程变化较小区域;优先选择距离测区近、交通便利等便于测量区域;选择便于保存地点,降低破坏和盗窃风险;优先布置于易于检查区域;确保位置便于仪器和软件操作使用;选择易于维护位置;优先选择便于扩展地点;尽量选址于方便共享位置。

像控点编号采用四位阿拉伯数字前冠英文字母统一编号,平高点前冠P,序号从P001开始,整个测区不得重号。

3.2 空中三角测量

3.2.1 空三加密

无人机航空摄影测量外业完成后,需立即处理影像资料,空中三角测量是关键核心步骤,其质量直接影响后期影像数据处理整体效果和精度。空三加密通过数学解析方法解算出测区内所有影像的外方位元素,以提升空三处理精确度,加密相应控制点。

无人机航测图像质量受飞行风速、地形复杂性、大气透明度、卫星数量、地表色彩等外部条件影响,可能干扰空三加密步骤,特定区域甚至因匹配点不足影响空三计算精度。此次研究选择12个代表性地面测量控制点进行空三计算,采用pix4D专业图像处理软件,取得的精度结果符合国家航空摄影测量内业规范严格标准。

3.2.2 光束法区域网平差

(1)内定向:借助仿射变换技术自动测算图像框标,严格遵循航空摄影关键参数准确设定及影像坐标体系定位方向定义。

(2)相对定向:自主进行影像精确匹配,相对定向连接点上、下视差中误差不超过1/3像素,最大残差不超过2/3像素,高难度资料可放宽至原始设定的0.5倍;每个标准定位区布置足够连接点,自动相对定向时每个相对连接点数量不少于30个;航向连接

点建议保持3度重叠度,旁向连接点建议达到6度重叠度;测区范围线外布置连接点;自动航线连接运用外方位元素等辅助参数;删除误差超限的连接点,人工添加连接点不足或不满足要求区域。

(3)绝对定向及区域网光束法平差计算:导入实地控制点绝对定向数据,立体逐点观测,核对野外控制点标注和照片,确保平面、高程控制点等限差符合行业规定;绝对定向完成后,利用软件光束法平差模块计算,区域网平差后,连接点对最近野外控制点平面位置中误差控制在0.175米内,高程中误差控制在0.28米内,基本定向点残差、检验点误差及公共点较差设定最高限值,符合相关规定;平差计算中对连接点和像片控制点进行粗差检测并剔除;GPS辅助空三测量项目导入摄站点坐标、像片外方位元素等信息联合平差,计算天线分量和偏心角修正值。

(4)确定工作区域及生成核线影像:使作业区域靠近控制点连线,高差较大地区采取措施避免像对裂隙,借助全数字摄影测量软件观察模型拼接结果确定最优作业区域。

3.3 内业数据处理

3.3.1 建模过程

利用Smart3D建模步骤简便,首先获取原始影像数据中的POS文件(通常文本形式存储),导入区块时导入Excel表格并预处理;启动Smart3D的Context Capture Center Master软件,新建项目,输入工程名称,选择合适工程目录;添加建模图片并检查是否符合要求;添加像片控制点,从图片选取适当控制点;利用Smart3D内置的ContextCapture Center Engine进行空三运算;对拍摄影像分块处理;进行3D建模,选择输出格式和坐标系,勾选需要建模的瓦片;等待建模完成获取最终结果。

3.3.2 建模结果分析

借助Smart3D软件完成矿区深度处理和三维建模,成果展示了矿区地形、地表、建筑物等细节的三维表达效果,构建出整体矿区静态模型和动态模型,直观呈现矿区整体情况。其中,矿区整体三维建模效果清晰展示地形、地表、建筑物等细节;矿区建筑物细部图清晰呈现建筑物结构、形状及内部细节;山体背面树木图展示树木分布情况;水体图展示水体分布情况。



图3 矿区建模结果

分析表明,三维模型一致性和连贯性良好,地形地貌连接紧

凑真实,准确描绘矿山基本形状及建筑设施设计,房顶、建筑物附属部分展示全面,山坡植物大致呈现颜色与主要特性。可见,无人机航测高清多视角图像结合实地测量地标数据,可有效创建高质量三维模型。但建筑细节如角落、屋顶覆盖等区域稍显模糊,矿坑底部植物变形较大,水体周围物体扭曲变形,影响模型质量,需进一步后期调整优化。

3.3.3 数字高程模型制作

本项目将无人机航测影像导入Pix4D软件,经严谨空三加密计算,自动生成测区数字高程模型(DEM)数据,软件还提供进一步编辑处理功能。作业流程包括:定向建模,将测区空中三角测量结果导入Pix4D软件,生成单模型数字高程模型(DEM);软件参数设置完成后,自动生成全测区数字高程模型(DEM);对生成的数字高程模型(DEM)进行拼接,整合各个单模型。

软件生成的数字高程模型(DEM)可能存在粗差点,需编辑和反复匹配消除,否则影响其精度和数字正射影像(DOM)质量。Pix4D Mapper软件数字高程模型(DEM)编辑模块功能强大,已实现人机交互式帮助用户从立体模型中提出不可靠点。

3.3.4 数字正射影像图制作

Pix4D软件采用先进匀光匀色技术和便捷高效图像拼接功能,制图及编辑能力卓越,具备数字正射影像图(DOM)制作、编辑和查询等多元化功能。Easy Photo Tour(EPT)直观展示图像制作效果,可根据项目或客户需求定制化调整数字影像图镶嵌效果等细节,其独特的原始无人机航测影像编辑修改功能,在众多航测影像数据处理软件中罕见。用户处理数据时,修改房屋、植被、水系等地物无需重新编辑数字高程模型(DEM),减轻作业人员压力,提升效率,降低图像拼接难度。



图4 矿区数字正射影像图

4 结语

废弃矿山治理中,三维模型提供全新视角和依据,助力深入了解废弃矿山空间结构和特征,对优化治理规划、提高治理效果至关重要,为矿山可持续发展奠定基础。

依据高精度三维模型,可获取废弃矿山实际地形、地貌和矿体分布等详细数据,全面了解矿山复杂结构,为后续治理方案制定提供有力数据支持。

结合数字正射影像图(DOM),能更直观观察分析废弃矿山周围环境状况。数字正射影像图(DOM)高清晰度、广覆盖,呈现矿山周边整体面貌。综合分析数字正射影像图(DOM)与三维模型,可清晰看到矿山对周边植被、水源和土壤等生态要素的影响,深入剖析矿山治理与生态环境的相互作用关系。

在深入研究和综合分析基础上,可制定科学合理的矿山治理方案,方案需考虑矿山实际情况、治理需求,以及生态环境保护 and 可持续发展等要求,利用三维模型和数字正射影像图(DOM)提供的信息,对治理措施进行精细规划和整体部署。

参考文献

- [1]Shen H,Gao Y,Yang X.Matching organizational climate and control mechanisms for fast strategic change in transitional economics[J].Journal of Organizational Change Management,2017,30(2):124-141.
- [2]杨溢华.无人机倾斜摄影技术在废弃矿山测量中的应用——以山西大同某废弃矿山为例[J].华北自然资源,2023,(04):92-94+98.
- [3]雷祖健.无人机倾斜摄影测量技术在矿山监测中的应用[J].冶金与材料,2023,43(04):103-105.
- [4]Shin J,Kwon S,Moon D,et al.A Study on Method of Vertical Zoning of Construction Lift for High-rise Building based on Lift Planning Operation History Database[J].KSCE Journal of Civil Engineering,2018,22(8):2664-2677.
- [5]杨文武,戴丽雯.无人机倾斜摄影测量三维建模技术在露天矿山中的应用[J].世界有色金属,2023,(16):126-128.
- [6]陶茜.无人机倾斜摄影测量技术在废弃矿山测量中的应用[J].工程技术研究,2023,8(24):80-82.

作者简介:

陆金平(1980--),男,甘肃永昌人,硕士研究生,副教授,注册测绘师,研究方向:工程测量技术、无人机应用技术、摄影测量与遥感、地理信息系统。