

基于贴近摄影测量的露天矿山精细化实景三维重建 ——以武汉市蔡甸区某处废弃露天矿山为例

黄 锐 刘昭玥 廖祥东 李 云 刘志勇
湖北省地质局武汉水文地质工程地质大队 湖北 武汉 430051

摘 要：本文针对常规倾斜摄影实景三维模型分辨率难以统一、立面纹理细节缺失等问题，以武汉市蔡甸区某处废弃露天矿山为例，研究贴近摄影测量在露天矿山精细化实景三维建模中的应用。简要介绍了常规倾斜摄影航线规划及粗略模型生成、贴近摄影航线规划及精细化模型生成的操作流程。从模型的立面纹理效果方面对实验结果进行对比分析：与倾斜摄影三维模型相比，贴近摄影三维模型其精度能达到厘米级甚至毫米级，且模型具有更加细致丰富的立面纹理和更高的分辨率。结果表明：将贴近摄影测量用于露天矿山精细化实景三维重建是可行的，具有普遍应用参考价值。

关键词：无人机；贴近摄影测量；精细化；实景三维模型；露天矿山

引言：近年来，基于无人机倾斜摄影测量的实景三维建模技术，已经广泛应用于矿山地质环境调查评价与地质灾害监测预警等领域。然而随着对模型精度要求的提高，倾斜摄影实景建模立面细节缺失、纹理模糊甚至失真、影像特征不足以满足高精度的需求。为此，张祖勋院士首次提出了“贴近摄影测量”这个概念，并且创先应用在滑坡、崩塌、危岩体等地质灾害调查、监测与预警^[1]。露天矿山地质环境复杂，原有植被岩层被破坏，地质环境脆弱，存在较大安全隐患，且区域高程落差大，立面细节复杂。本文以武汉市蔡甸区某处废弃露天矿山为例，阐述采用旋翼无人机贴近摄影测量技术实现精细化实景三维建模的技术方法和工作流程，并与常规倾斜摄影三维模型效果进行对比。结果表明，将贴近摄影测量用于露天矿山精细化实景三维重建是可行的，能显著提高数据获取精度，具有推广应用参考价值。

祖勋院士^[1]2019年提出的，被称为区别于正射摄影测量、倾斜摄影测量的第三种摄影测量技术。它是精细化对地观测需求与旋翼无人机发展相结合的必然产物。贴近摄影测量是面向对象的摄影测量，它以物体的“面”为摄影对象，通过贴近摄影获取超高分辨率影像，进行精细化地理信息提取。贴近摄影测量起源于滑坡、高位危岩的地质调查与监测预警，具有可高度还原地表和物体精细结构的特点，也可应用于高精度城市重建、建筑物重建、工程监测等方面^[2-4]。贴近摄影测量是利用拍摄设备贴近物体表面摄影（摄影距离一般为5m至50m），获取厘米级甚至毫米级超高分辨率影像，经空三处理，根据被摄对象细节坐标来实现精细化三维重建，大幅提高模型精度，其技术流程如图1所示。其中“由粗到细”的工作策略、基于初始地形的三维航迹规划、无人机自动贴近飞行技术、局部手控无人机补拍的“人机协同”策略，是本方法的关键技术。

1 贴近摄影测量技术简介

“贴近摄影测量”是由武汉大学遥感信息工程学院张

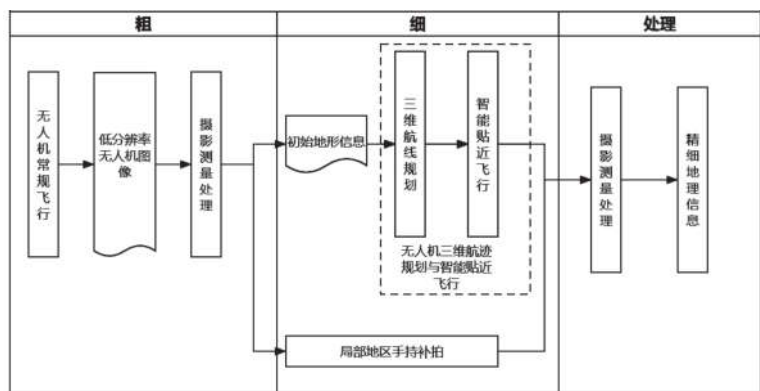


图1 贴近摄影测量技术流程图

2 应用案例及方案实施

2.1 研究区概况

本次研究区为武汉市蔡甸区侏儒山街某处废弃的建筑石料用灰岩矿山，测区总面积约0.5km²，标高范围3-45m，相对高差约42m。由于历史采挖行为，山体严重受损，植被岩层大面积裸露。岩石破碎且节理裂隙发育，深度切割形成了大规模积水采坑，形成众多高陡边坡、危岩体和废渣堆，稳定性较差，时有碎裂岩块崩落，易发生崩塌、滑坡等地质灾害。为开展该矿山生态地质环境调查与监测工作，拟获取该区的亚厘米级超高分辨率无人机航摄影像，进而开展精细化三维重建，精确还原其支离破碎的微地貌特征、斜坡结构特征和节理裂隙纹理。

2.2 工作思路及实施方案

由于该测区的高陡边坡临空面接近垂直，如使用传统正射摄影，其正射影像会投影压缩成线状甚至点状，生成的三维模型其立面的纹理细节难以辨识；如果单纯以恒定航高开展倾斜摄影，由于测区落差大，会造成地面分辨率不同，从而无法对其进行精细化三维重建。于是工作人员考虑选择贴近摄影测量方案，获取测区超高分辨率影像，进而获得精细化实景三维模型，解决陡坡立面纹理信息缺失的问题，该方案的实施包括以下几个步骤：(1)从无到有，采集测区粗模：利用旋翼无人机，以较高飞行高度快速采集测区整体范围的倾斜摄影数据，并使用三维重建软件生成测区的粗略三维模型，获得测区内初步的三维空间地理信息；(2)由粗到细，精模航线规划：使用贴近摄影测量航线规划软件，在测区粗模基础上根据地形起伏规划精细化航线，通过人机交互得到无人机贴近飞行的三维航迹信息，包括航迹点位置、相机姿态、镜头朝向、拍摄距离、时间间隔等信息，综合考虑安全与航测效率，获取最优效果的三维航线；(3)精细化数据采集：将规划的贴近摄影测量航线导入无人机飞控系统并再次执行航飞任务。无人机根据导

入的航迹路线以及拍摄姿态角度等信息，以贴近飞行模式自动获取测区的高分辨率影像。对于航摄死角、地物遮挡等无人机无法到达的区域，通过手控无人机进行补拍获得高分辨率影像，实现航测区域细节全覆盖；(4)精细化数据处理：对无人机采集的超高分辨率影像进行精细化数据处理，包括高精度空三加密解算、高质量正射影像制作以及精细化实景三维模型重建等，最终得到高质量的地理信息产品。

2.3 设备及软件准备

本次研究所需设备及软件包括：旋翼无人机（大疆精灵P4RTK）、RTK接收机（华星A30 GNSS RTK）、空三加密解算软件（Meta shape）、实景三维建模软件（Context Capture）、常规倾斜摄影航线规划软件（DJI GS RTK）、贴近摄影航线规划软件（Nap Flight Plan）、模型浏览及精度检查软件（Das Viewer）。

2.4 常规摄影测量影像及粗略模型获取

操控无人机先以较高的航高快速获取测区的低分辨率影像，以生成测区的粗略模型，是贴近摄影测量航线规划的必备基础条件。首先在测区范围内用RTK接收机布设并采集了20个像控点（检查点）及其坐标和高程。然后利用大疆P4RTK无人机遥控器自带地面站软件DJI GS RTK的“摄影测量3D”功能，对测区规划“井”字形扫描航线，其主要航摄参数设置为：①航高：300m（地面分辨率GSD：8.22cm/pix）；②航速13m/s；拍摄模式：定距拍摄；④照片比例：3：2；⑤白平衡：晴天；⑥测光模式：平均测光；⑦云台角度：-60°；⑧航向重叠率：70%；⑨旁向重叠率：70%；⑩边距设置：自动。

按常规倾斜摄影航线，无人机航测面积0.5km²，共飞行1个架次，飞行时间约15分钟，共获取照片297张。利用Meta shape软件对照片进行空中三角测量，将生成的XML空三解算文件，导入实景三维建模软件Context Capture中进行三维粗模重建，成果如下所示（图2、图3、图4）。

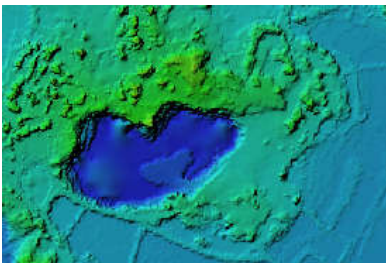


图2 低精度数字表面模型(DSM)



图3 低精度数字正射影像(DOM)



图4 低精度实景三维模型(OSGB)

2.5 贴近摄影测量影像及精细化模型获取

此次使用武汉大学遥感信息工程学院开发的Nap

Flight Plan软件进行贴近摄影精细航线规划。为了能更真实地展示测区内陡崖、绝壁、高陡边坡等近似垂直处岩

体的节理裂隙纹理细节,本次三维重建的模型分辨率设定为1cm/pix,因此按照无人机距离地物36.5m作等距航空摄影。为了既能确保飞行安全又能实现精细化建模的预期要求,航测人员在现场进行了试飞,并对有碰撞隐患的关键航点逐一手动控无人机航拍,以保证飞行安全。在所有关键点均能正常飞行的前提下进行贴近摄影航线规划。其主要航摄参数设置为:①拍摄分辨率:1cm/pix;②拍摄距离:36.5m(软件自动计算);③航向重叠率:70%;④旁向重叠率:70%;⑤交向夹角:20°;⑥拍摄方式:平行-正对;⑦等距(仿地)摄影:开启;⑧避障:开启。

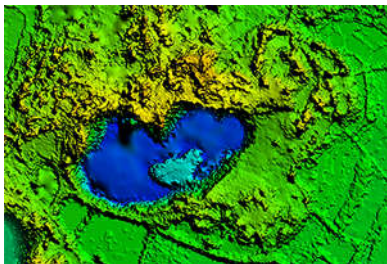


图5 精细化数字表面模型(DSM)



图6 精细化数字正射影像(DOM)



图7 精细化实景三维模型(OSGB)

3 模型立面纹理效果对比

在实验区选择两块典型的开挖后形成的近似垂直高陡边坡区域,将其对应的贴近摄影模型和常规倾斜摄影模型的纹理特征进行对比(图8、图9)。观察发现使用常规倾斜影像重建的模型在立面上纹理模糊不清,细节丢失严重,整体效果粗糙还原度不高;而贴近摄影方法生成

利用Nap Flight Plan软件完成贴近摄影航线规划后,导出大疆带屏遥控器支持的.MIS航线文件,将此文件存入SD卡的“DJI/EXPORT”目录,再将SD卡插入P4RTK无人机带屏遥控器,导入任务,连接无人机后调用航线规划任务,让无人机按精模航线再执行一次贴近摄影测量任务,本次共获得照片2563张。

利用Meta shape软件对照片进行空中三角测量(最高精度),以及像控点刺点(每点选择10张照片),将生成的.XML空三解算文件,再次导入实景三维建模软件Context Capture中进行精细化实景三维重建(材质纹理质量选择100%),成果如下所示(图5、图6、图7)。

的模型其立面纹理层次显示清晰,细节完整丰富,岩石节理裂隙及夹石条带清晰可辨,坡面上堆积的碎石颗粒分明,使用贴近摄影三维重建使得分辨航摄区域的地层岩性更加方便,整体效果更加真实且精细度更高。可见贴近摄影三维重建效果明显优于常规倾斜摄影三维重建效果。



图8 贴近摄影三维重建效果



图9 常规倾斜摄影三维重建效果

4 结论

(1)本文针对常规倾斜摄影三维模型在露天矿山区域

内立面信息获取不足的问题,利用当前主流的旋翼无人机及影像数据处理软件,探索了一套可行的基于贴近摄

影测量的露天矿山精细化实景三维重建技术方法。结果表明使用该方法得到的三维模型弥补了倾斜摄影难以获取立面完整信息的缺陷,得到的三维模型其纹理更加丰富细致,整体效果明显优于倾斜摄影测量。贴近摄影测量以单镜头消费级旋翼无人机作为飞行平台,在实际生产中有利于节约成本。凭借其精细化对地观测的特点,该技术可应用于测绘、地质、水利、建筑、文物等多个行业领域。(2)贴近摄影测量虽然可以获取超高分辨率影像及模型,但是对于大面积场景而言,存在重建效率不高和处理速度偏慢的问题。倾斜摄影测量适合大范围、精度要求不是很高的场景,而贴近摄影测量则更适合小范围、单体地物的精细化三维建模。在后续工作中,需研究贴近摄影测量与其他测量方式如何优势互补,如在整体范围上使用倾斜摄影测量,结合重点区域使用贴近摄影测量,从而进一步提高大范围精细化实景三维建模的效率。(3)应当指出的是,本文在获取测区粗略模型阶段,使用的是大疆地面站软件DJI GS RTK的“摄影测量

3D”即倾斜摄影“井”字飞行模式,该模式拍摄照片的数量较多导致外业工作时间较长。为了缩短粗模获取时间,后续研究可以尝试使用“摄影测量2D”即正射摄影模式进行“弓”字形航摄,将会大大减少拍照数量进而提高粗模获取效率,而通过正射摄影三维重建的粗略模型,其质量是否满足精细化建模航线规划的要求,有待进一步验证。

参考文献:

- [1]言司.独辟蹊径,不断创新 贴近摄影测量:第三种摄影测量方式的诞生—专访武汉大学遥感信息工程学院张祖勋院士[J].中国测绘,2019(10):31-37.
- [2]王棋.贴近摄影测量技术在历史建筑保护中的应用[J].测绘与空间地理信息,2022,45(04):66-67,72.
- [3]蒋霖.基于三维激光扫描与贴近摄影测量的地质灾害监测研究[J].南方自然资源,2022(03):42-47,54.
- [4]黎娟,李昊燊,王伟峰.基于贴近摄影测量技术的实景精细建模[J].测绘与空间地理信息,2021,44(11):40-42,47.