第 8 卷◆第 4 期◆版本 1.0◆2025 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

无人机三维倾斜摄影测量技术在矿山监管核查中的应用

王祥健
广州中科云图智能科技有限公司
DOI:10.12238/gmsm.v8i4.2218

[摘　要] 为了推动我国矿产资源的有序开发和利用,矿山监管核查工作受到了人们的关注,对矿业权人矿产资源勘查开展行为进行监管,促进其规范化发展。矿山监管核查工作中,现代测绘技术的应用有利于获取地质、地形等方面的数据,可以为核查工作提供必要的数据。为此,文章对矿山监管核查中无人机三维倾斜摄影测量技术的应用进行研究和分析,在简单探讨无人机三维倾斜摄影测量技术运行原理的基础上,分析了矿山监管核查工作中无人机三维倾斜摄影测量技术的数据采集、控制点布设、数据处理等方面的技术流程。随后,文章针对矿山监管核查过程中的无人机三维倾斜摄影测量技术在矿产资源储量、用地红线勘察等方面的具体应用,从形成完善的飞行方案、测绘相机标定方面提出保障措施,为矿山监管核查工作中无人机三维倾斜摄影测量技术的推广应用提供参考。
[关键词] 无人机三维倾斜摄影测量技术；矿山监管核查；应用
中图分类号：V279+.2　文献标识码：A

The Application of Three-Dimensional Oblique Photogrammetry Technology of Unmanned Aerial Vehicles in Mine Supervision and Verification

Xiangjian Wang
Guangzhou Zhongke Yuntu Intelligent Technology Co., LTD

[Abstract] To promote the orderly development and utilization of mineral resources in our country, the supervision and verification work of mines has attracted people's attention. The supervision of the mineral resource exploration behavior of mining right holders is carried out to promote their standardized development. In the supervision and verification work of mines, the application of modern surveying and mapping technology is conducive to obtaining data on geology, topography and other aspects, which can provide necessary data for the verification work. For this reason, this article studies and analyzes the application of unmanned aerial vehicle (UAV) three-dimensional oblique photogrammetry technology in mine supervision and verification. Based on a brief discussion of the operating principle of UAV three-dimensional oblique photogrammetry technology, it analyzes the technical processes of data collection, control point layout, and data processing of UAV three-dimensional oblique photogrammetry technology in mine supervision and verification work. Subsequently, the article, in light of the specific applications of unmanned aerial vehicle (UAV) three-dimensional oblique photogrammetry technology in the process of mine supervision and verification, as well as in the exploration of mineral resource reserves and land use red lines, proposes safeguard measures from the aspects of forming a complete flight plan and calibrating mapping cameras, providing a reference for the promotion and application of UAV three-dimensional oblique photogrammetry technology in mine supervision and verification work.
[Key words] Three-dimensional oblique photogrammetry technology for unmanned aerial vehicles Mine supervision and verification "Application

在我国矿产资源开发利用的过程中，监管部门在矿山开发活动中所开展的检查、评估活动统称为矿山监管核查工作，对企业方的矿产资源勘查、使用行为进行监管，促进其规范化发展。监管核查工作内容以矿产资源储量变化、资源开采利用状况勘察、地质保护等多个方面为主。正因为矿山监管核查工作的内容较为丰富，且涉及地理、环境等多方面因素的多样性，需要引

入全新测绘技术获取精准数据和信息，制定正确的监管工作策略。无人机三维倾斜摄影测量技术，能够基于无人机设备从空中多个角度获取相应的地质数据和信息，使得矿山监管工作能够获得完善的数据支持。为此，文章针对矿山监管核查工作中无人机三维倾斜摄影测量技术的具体应用及其保障措施进行研究，为矿山监管核查工作获得数据提供参考。

1 无人机三维倾斜摄影测量技术的基本原理

无人机三维倾斜摄影测量技术以无人机作为拍摄设备，摄像头需要分别面向正前、斜前左右、正后、斜后左右等方向，能够在同一个地面区域从多个视角出发获取对应的数据和图像。在无人机进行航拍摄影测量工作之前，需要相关部门综合分析目标区域的形状、面积大小等因素规划完善的飞行航线，无人机能够根据设定飞行航线针对目标区域进行多方位摄影测量工作[1]。在获得目标区域数据、信息之后，需要优先经过预处理工作，在经过光照均衡、去噪等操作环节的前提下，针对不同角度的数据和信息进行处理形成较为完善的点云数据，以此为基础相关部门能够建立目标区域的地表和地形模型，并在当地的城市规划、土地利用管理、环境监测等方面发挥相应的作用。

2 矿山监管核查工作中无人机三维倾斜摄影测量技术的应用流程

2.1数据采集

在利用无人机三维倾斜摄影测量技术获取目标矿山区域的地质数据时，需要相关单位优先了解采集区域的基本范围，并就其中的地形、地貌特征等环境条件进行调查和研究。在划定目标采集区域范围后，需要使用专业飞行规划软件，针对目标区域以及设备参数进行研究和分析，从而制定完善的飞行规划，包括航线间隔、飞行高度、速度等参数，确保无人机在航拍期间飞行路径能够覆盖整个目标区域，最终所采集的数据和影像能够满足目前的分辨率要求[2]。

2.2像控点布设

相关人员为了保障无人机最终获取的地图数据等成果具有较高的精度与完整性，需要在数据采集期间针对目标区域设置对应的像控点。在目标矿山区域核查的过程中，需要针对位置已知的标志点，测量其投影坐标以及经纬度，控制点通常会选择在识别度较高的地物附近。如果是以建筑工程的角点、边坡位置的铁栅栏等为主，通常会使用全站仪、测距仪等工具测量相片控制点的距离，同时要针对各种数量数据进行记录和保存。

2.3空三加密

在空三加密环节，需要相关人员在无人机上添加高精度GPS设备，并对GPS偏心分量进行测量、修正。在无人机改造结束验收合格之后进行航空摄影，获取无人机影像数据、影像拍摄时刻数据以及GPS流动观测数据。在无人机航摄的同时，相关人员需要架设地面基准站，及时收集GPS静态观测数据，借此进行计算获取精确的摄站坐标。随后，需要完成地面控制点布设及测量工作，并进行GPS辅助空三加密，采用不同的地面控制点布设方案来进行数据收集、处理。

2.4点云生成

在利用无人机获取目标区域多角度的测量数据和信息之后，需要进行质量评估，随后经过图像预处理形成较为完善的点云数据。在建立三维坐标点集合的前提下，针对特征点进行提取和匹配，综合使用多种类型的计算机视觉算法，对关键点及其描述符进行提炼，确保不同测量影像中的关键点能够形成相对应的关系。在特征点匹配工作结束之后，可以选择使用几何方法，针对无人机相机位置和场景中的特征点三维坐标进行计算，综合使用光束法平差针对密集点进行校正，最终保障所形成的点云数据有着较为完善的结构信息。

2.5三维建模

在目标矿山区域的点云数据集形成之后，需要相关人员在三维空间中表达其中的点云数据坐标信息，借此建立目标区域的三维空间模型。模型中预设的表面数据算法能够将已经成型的点云数据转化成三角网格，对模型表面进行重建。体素化方法则是能够在三维体素网络体系中进行点云数据的映射，以此对物体的结构和形状进行计算。相关人员可以就目前已经掌握的地物表面构成信息生成对应的模型，针对目标区域的高程和表面特征进行研究[3]。DEM模型可以有效清理因为树木和建筑工程对于地物产生的实际影响，DTM模型则能够反映目标区域的地表高程信息和地形特征，从而提高数据的准确性。相关人员可以基于点云数据所形成的实景三维模型，就目标勘查区域内的矿山地表变化以及矿山资源开展状况进行研究和分析，使得矿山监管核查工作能够得到完善的数据支撑，并由监管部门提出正确的管理工作决策。

3 矿山监管核查工作中无人机三维倾斜摄影测量技术的应用领域

3.1用于矿山资源储量的监测工作

矿山监管核查工作需要针对目标矿山区域内的矿产资源储量进行监管以及分析，可以使用无人机三维倾斜摄影测量技术在建立三维地表模型的前提下，利用数据获取地表高程信息，并客观分析目标区域内的地物特征和地表纹理，借此了解当地的地表形态及其变化，在二者叠加之后，管理人员能够根据已经获得的矿产地质钻孔数据进行煤矿资源动态储量检测，具体的计算公式如下。

$$\begin{aligned} &V=S\times M \\ &Q=V\times D \\ &P=Q\times C \end{aligned} \tag{1}$$

公式组中提到的V：矿产总体积(m³)、S：投影后水平面积(m²)、M：矿体平均厚度(m)、Q：矿石总量(t)、D：平均体重(t/m³)、P：金属储量(g)、C：平均品位(g/t)分无人机三维倾斜摄影测量技术用于矿山资源储量精确估算的过程中，需要针对同一个目标区域的时间点内数据进行收集、处理，管理人员在提高其坐标系统和分辨率一致性的前提下，避免出现数据误差的问

题。此外，需要针对已经采集到的各种影像数据进行，矫正和色彩平衡处理，保证影像质量能够逐渐提高，搭配使用专业建模软件对影像完成预处理工作，随后进行影像匹配、空三加密等工作，最终形成完善的三维模型以及数据。管理人员可以在不同时间节点数据对比的情况下，计算数据差值展示矿山体积的具体变化量。管理部门也可以在地表高程变化数据计算之后，与当下的矿产资源开采量以及储量变化进行对比，在计算过程中需要针对两个或者多个时间节点的数据进行对比以及计算，根据目前地质钻孔工作获得的矿石密度以及品位数据，针对目前的矿产资源储量进行估算，使得矿产资源的开采行为能够变得更加规范[4]。

3.2用于用地红线方面的监测

在矿山监管核查工作中，用地红线界定也是矿产资源合法开采以及避免出现越界问题的有效方式。在之前的管理工作模式下，红线界定通常都是以数据的人工测量和图纸手绘作为核心方式，在工作效率和数据精确性等方面都有着明显的优势。无人机三维倾斜摄影测量技术因为有着拍摄效率、数据精度多方面的优势，可以在目前的矿山红线用地监测方面发挥相应的作用。无人机可以选择使用多旋翼无人机，搭配5个镜头相机，在发挥其精确测量以及飞行稳定等方面作用的前提下，针对目标区域从多个角度出发获取相应的影像数据。无人机可以按照之前设置的航线对整个矿山区域进行摄影测量，并将已经采集到的相关数据及时传送到控制站后台。地面操作人员借助软件对目前的无人机飞行参数和影像数据进行监管以及分析，在此之后可以利用专业的建模软件进行原始数据的导入、处理，最终形成较为完善的实景三维模型，无人机三维倾斜摄影测量的处理工作流程如图1所示。

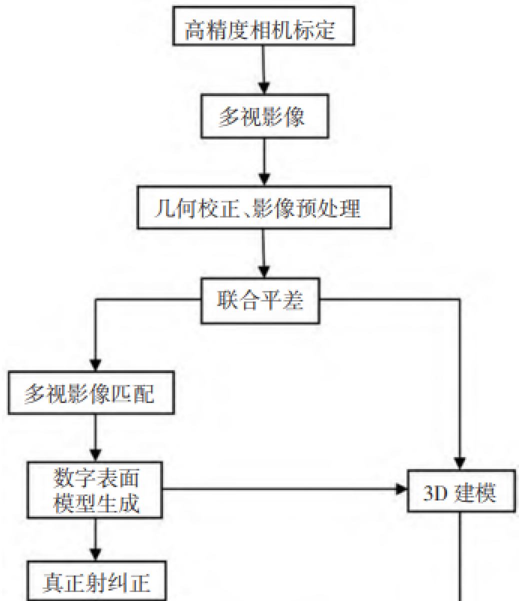

图1 无人机三维倾斜摄影测量技术流程

以无人机三维倾斜摄影测量技术为基础所形成的三维模型，数据精度能够达到厘米级别，在客观反映目标区域的地形、地貌和地物特征信息的前提下，针对每一个特征点都可以形成相应的地理坐标信息，使得监管部门可以对矿山区域的用地红线准确地进行界定。这种测量技术在提高工作效率的同时，各项数据的精确性也能够得到保障。相关部门完全可以利用无人机三维倾斜摄影测量技术，针对目标矿山区域的红线范围实时进行分析，了解当地矿产资源开采活动的具体情况，避免出现开采越界的问题。

4 矿山监管核查工作中无人机三维倾斜摄影测量技术应用的保障措施

4.1编制科学、合理的无人机飞行方案

无人机三维倾斜摄影测量技术想要发挥在效率、数据精确性等方面的优势，需要监管部门根据目标监测区域的实际需求提出完善的飞行方案，确保无人机的飞行航线能够覆盖目标范围，保障地形高度差值控制在合理范围内，通常不得超过飞行高度的1/6。在无人机飞行航线规划期间，航线附近不得存在任何障碍物，避免出现关键部位拍摄遗漏的问题。在航线设计环节，也需要综合分析外界风力变化对于无人机飞行、拍摄稳定性产生的影响，尽可能避开风力较大的区域，对飞行高度进行调整，以此提高数据和影像的精确性[5]。监管部门在无人机航线设计期间，需要针对航线的间距和拍摄间距进行调整以及优化，保障影像分辨度能够不断提升，避免出现大幅度误差。航线间距合理控制则能够在无人机不同的飞行航线下针对影像进行无缝衔接，最终形成完善的控制模型。相关部门需要根据不同地形数据精度方面提出的具体需求，针对测量区域准确地进行划分，在调整其飞行参数的前提下，对整个航线合理进行管控，从多个角度出发获得目标区域的测量数据。

4.2测绘镜头的有效标准

在无人机三维倾斜摄影测量技术应用期间，因为飞行振动以及外界环境的影响，测绘镜头很容易出现变形以及参数偏移的问题，这也是矫正工作必须落实的主要原因，避免对图像和数据的精确性产生影响。监管部门需要基于镜头参数的优化，针对各种光学畸变区域进行调整，使用专业的矫正软件对影像弯曲变形进行矫正处理。在数据影像采集期间，因为无人机飞行振动带来的像素偏移问题也需要进行修正和处理，工作人员需要在无人机拍摄前针对镜头抗振性能指标进行调试，并且在完成数据采集工作之后利用矫正算法有效消除因为飞行振动所带来的影像偏差。在无人机飞行航线设计的过程中，航线数量、影像的重叠率通常需要控制在60%~80%的范围内，确保不同区域的拍摄影像能够有效地覆盖目标区域，避免因为影像数据过多带来的数据冗余现象。针对目标矿山区域内的偏远地区或者地形较为复杂的区域，技术人员需要在影像数据的处理阶段给予关注，通过利用各种校正方法进行精细化处理，最终所获得的区域数据需要与其他区域基本保持一致。

5 总结

总而言之,我国矿产监管核查工作的实施可以对资源开采利用行为进行规范化管理。无人机三维倾斜摄影测量技术可以用于目标区域的全部地形、地质以及矿产资源数据实时拍摄,为矿山监管核查工作提供数据和影像支持,表现出实时性、精准性的优势,已经在矿产资源的储量检测以及用地红线检测等方面发挥相应的作用。监管部门需要在优先经过数据采集、处理、点云数据生成、模型建立等相关步骤的前提下,对各项数据进行研究和分析。为了全面发挥无人机三维倾斜摄影测量技术的作用,需要相关部门在建立完善飞行航线的基础上,对镜头参数进行校正,避免出现数据和影像偏差的问题,为矿山监管核查工作提供技术、数据支撑。未来随着AI及云计算等技术的持续发展,无人机三维倾斜摄影测量技术可以通过指令预设完成测试工作,且可以在云端进行数据计算、储存,勘察数据的精准性明显提升,后续的矿山开采工作可以更加完善的数据支持。

[参考文献]

[1]李旭东,刘坚.基于Cesium的无人机倾斜摄影测量数据二三维一体化展示技术研究[J].价值工程,2024,43(32):146-148.

[2]莫炎凉,魏任红.无人机倾斜摄影三维建模技术在矿山开采中的研究及应用[J].工程技术研究,2024,9(12):205-207.

[3]王一飞.无人机倾斜摄影测量技术在矿山治理中的应用[J].自动化应用,2024,65(11):22-24.

[4]李小平.无人机三维倾斜摄影测量技术在露天矿山监测中的应用[J].江西测绘,2023,(04):32-35.

[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.

作者简介：

王祥健(1996--),男,汉族,江西赣州人,硕士研究生,助理工程师,研究方向：时空数据挖掘。