

# 无人机倾斜测量结合 GIS 技术在矿山监管测量的应用

程觉元

湖南省城市地质调查监测所，湖南益阳，413000；

**摘要：**随着现代科技的进步，无人机测绘技术已广泛运用于测绘领域，无人机摄影测量可测绘复杂形态目标。在地形测绘中，常规的全站仪或 GNSS 方法测绘地物、地貌时，都是首先采集地形的特征点，然后依据离散特征点内插表示出连续的地形形态，已无法满足市场需求，在地形复杂且大范围矿山环境下传统测量效率低下，高边坡测量人员难以抵达且存在极大的安全隐患等问题。无人机测量技术面世不仅克服了传统测量设备的局限性，还提供了低成本、全方位、高效率、高精度的数据，通过专业的数据处理软件可以生成数字正射影像 DOM，数字地表模型 DSM，数字高程模型 DTM，通过三维建模可以实现对矿区地物地貌特征的立体三维展示，提高测量数据对采场实际地形地貌精细化绘制和相关计算，通过专业 GIS 软件为用户提供更加直观立体的数据成果。

**关键词：**无人机；测量；矿山

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.07.035

## 引言

随着科技的飞速发展，无人机测绘技术已经成为现代测绘领域的重要组成部分。它以其高效、低成本、高精度的特点，为复杂地形的测绘提供了全新的解决方案。特别是在地形复杂、范围广阔的矿山环境中，传统的测量方法效率低下，且存在安全隐患。无人机倾斜测量技术的出现，不仅克服了这些局限性，还通过结合 GIS 技术，为用户提供了更为直观和立体的数据成果。旨在将以无人机倾斜测量技术在矿山监管测量中的应用为例，探讨其在实际项目中的作业流程和 ARCGIS 软件的应用，展示这一技术如何为智慧数字矿山和绿色矿山的发展带来革命性的变化。

## 1 无人机倾斜测量技术特点及 ARCGIS

无人机测绘技术利用卫星导航定位和自主飞行控制技术，能够快速高效地完成测绘任务，通过无人机搭载的各种传感器和设备，如激光雷达，高清摄像头，动态 RTKGPS，对矿山进行全方位，全天后的监测大大提高了工作效率，通过航拍获取的图像资料能够生成高精度的三维模型和数字地图，满足不同领域的应用需求，无人机测绘技术避免了人工测量过程中可能出现的危险情况，如在高空、陡峭的山峰上进行测量等，无人机测绘技术优势表现如下：

### 1.1 快速高效适应性强成本低精度均匀

无人机可以按照项目范围事先划定航飞区域，根据项目需要进行优化设置，能够快速获取测量区域的包含地理空间坐标的影像数据，作业以内业为主，跟传统测绘相比大大降低作业人员外业工作强度，且成图精度均

匀，影像成果能生产传统线画图外还能输出影像图，相较传统测绘小型无人机具有体积小、携带方便、操作简单，维护成本较低，所需人员少的特点，适用于地形险峻、河流湍急等难以到达的区域，能够灵活应对各种复杂环境，无人机测绘技术不仅适用于建筑、桥梁等传统建设项目，还可应用于生态保护、农业、城市规划等领域，通过配置不同的传感器和设备来实现不同的需求。

### 1.2 无人机测绘数据应用广泛

无人机可以与卫星遥感、航拍测绘和地面监测方法相结合，更好地完成测绘工作，无人机可以采集多种类型的数据（如图像、点云、高度数据等），为后续分析提供更多信息，随着传感器技术、人工智能和大数据分析的发展，无人机测绘技术将不断提升精度和效率，市场需求增长和政策支持将推动其进一步发展，这些特点使得无人机测绘技术在多个领域中得到了广泛应用，并逐渐成为未来测绘的重要发展方向，本文以矿山监管测量为例介绍无人机测绘数据结合地理信息系统 GIS，对矿山前期勘察，建设管理，监管等各项活动提供高精度更加直观的影像地理空间数据，还可以将测量数据与其他数据进行深度融合分析，叠合分析，进一步提升和挖掘数据的应用价值，为矿山管理提供更全面的信息支持。为构建数字化矿山提供基础平台<sup>[1]</sup>。

## 2 项目由来及任务目标

为加强矿山监管，督促采矿权人合法守界开采，益阳市自然资源局委托我单位作为技术单位对全市 15 家矿山进行超深越界年度检测。这项工作的核心目的在于通过实地测量，结合内业资料的收集整理，对矿山的历

史影像和现状进行矢量地形图的对比分析和更新。具体来说，这项任务涉及到分析开采区域的边界变化、高程变化，并提取相关违法行为信息数据，以检查矿山企业在生产过程中是否存在超深越界开采的情况，并最终出具矿山现状开采平面图。

这项任务的紧迫性和重要性在于，它不仅有助于确保矿山企业的合法合规开采，还能够通过精确的测量数据，为矿山资源的合理开发和环境保护提供科学依据。通过无人机测绘技术的应用，可以高效地获取矿山的高精度三维模型和数字地图，这些数据不仅能够满足监管的需求，还能够为矿山的安全管理、资源评估和环境恢复提供重要的决策支持。此外，这项任务的实施也体现了无人机倾斜测量技术在现代矿山监管中的重要应用。通过无人机搭载的高清摄像头和动态 RTKGPS 等设备，可以对矿山进行全方位、全天候的监测，大大提高了工作效率，并且避免了人工测量过程中可能出现的危险情况。这种技术的应用，不仅提升了矿山监管的效率和精度，还为矿山的数字化管理提供了强有力的数据支持，预示着未来矿山监管技术将更加智能化、精准化。

### 3 项目作业前资料收集整理

项目作业前的资料收集整理工作至关重要，以确保无人机倾斜测量与 GIS 技术在矿山监管测量中的有效应用。矿区位于益阳市桃江县牛田镇，是由原万功塘矿山和东方红矿山合并后新设立的，经济类型为有限责任公司。该矿山采用露天开采方式，主要开采水泥用石灰岩矿，目前正处于活跃的生产作业中。为本次测量任务，已收集矿区的详细边界坐标，并获取了上年度的 1: 200 比例尺地形图，这些资料将作为分析和更新矢量地形图的基础。同时，根据业主要求，影像采集范围需外扩至矿界外 300 米的安全爆破区域，以便全面查看实际开采区域与安全爆破区之间的相互关系，这对于确保矿山的安全开采作业至关重要。通过这些资料的整理，能够为后续的无人机测绘作业提供准确的地理和地质信息，为矿山监管提供科学依据。

## 4 无人机倾斜测绘工作流程

### 4.1 飞行区域规划与 KML 数据创建

在实施无人机倾斜测量之前，基于收集的矿界坐标数据，创建了精确的飞行区域 KML 数据。这一步骤涉及到将矿界范围外扩 350 米，以确保飞行路径能够全面覆盖矿区及其周边的关键安全区域。通过将 KML 数据导入奥维地图，可以预览飞行区域的覆盖情况，并对矿区的准确位置进行核查。这一预检过程对于确保无人机飞行任务的精确性和效率至关重要，它允许对飞行计划进行必要的调整，以适应地形和监测需求，从而为高效的数

据采集和后续的 GIS 分析打下坚实基础。

### 4.2 像控点布置与 GPS-RTK 测量

在项目作业前，实地踏勘和布置像控点是关键步骤，以确保无人机测绘数据的精确性。选择了大疆 MAVIC3E 测量型无人飞机，这款飞机以其卓越的性能和厘米级定位数据而著称。MAVIC3E 携带的动态 RTKGPS 系统能够在飞行成像过程中实时测量并记录飞机的位置和姿态，获取高精度的 POS 数据。这一技术的应用，使得即使在少量或无地面相控控制点的情况下，也能通过空三加密获得较高精度的影像外方位元素，实现高精度免相控测量。在固定解状态下，这一过程能够显著提升测量的精度和效率。因此，在项目开始前，利用 GPS-RTK 技术采集了矿区周边一定数量的特征点，这些特征点在后期进行精度评定和检核时发挥重要作用，确保了测绘数据的准确性和可靠性。通过这些精细的前期准备工作，为无人机测绘的高效执行和数据的精准分析打下了坚实的基础。

### 4.3 无人机数据采集

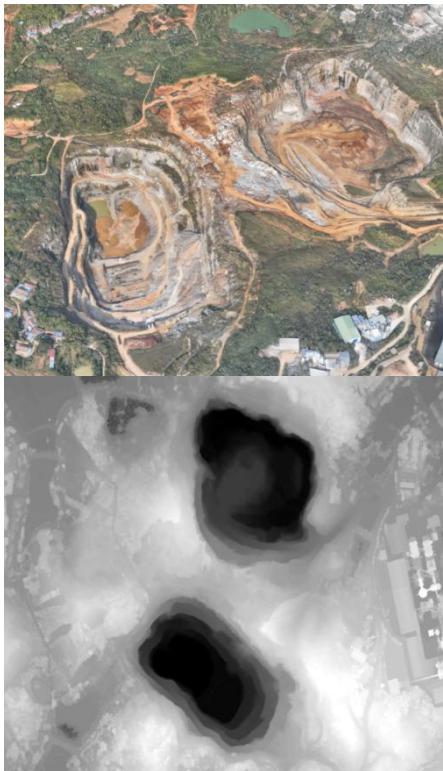
由于矿山测区较大，由矿区技术人员带领选定矿区相对中心开阔位置为起飞点，飞行参数的设置基于以往的航飞经验，确保地面分辨率保持在 8-10cm，以满足高精度测绘的需求。飞行高度设定为 200 米，航向重叠率 70%，旁向重叠率 40%，这样的设置可以确保图像的连续性和覆盖的完整性。每个架次的飞行时间控制在 30 分钟左右，既保证了数据采集的效率，也考虑到了电池续航的实际情况。

无人机的感光避障功能和智能电池管理是其两大亮点。感光避障功能使得无人机能够在复杂的环境中安全飞行，智能电池管理则确保了在电量不足或信号丢失的情况下，无人机能够自动返航，保障了飞行的安全性。在飞行过程中，无人机自动记录并存储数据，这些数据包括了高精度的 POS 信息，对于后续的数据处理和分析至关重要。完成既定的飞行架次后，无人机能够自动在断点处继续执行任务，展现了其智能化的一面。此外，对于矿山中复杂隐蔽的高边坡和乱掘地等区域，还可以手动起飞无人机进行补充拍摄，确保数据的全面性。这些照片连同 POS 数据一起，将被用于内业处理，为矿山监管提供详尽的地理空间信息<sup>[2]</sup>。

### 4.4 三维模型构建

及时下载当天无人机的照片资料和 POS 数据，利用大疆智图软件完成照片加载处理，导入软件。无需进行人工干预，只需要设置少量参数如坐标投影带，自动进行空三运算便可以生成带有地理参考的 TDOM 二维影像数据，DSM 地表模型，OSGB 三维模型和点云数据。通过大疆软件生成的空山质量报告，566 张影像全部为固

定解状态，经影像 POS 数据约束平差，地理配准均方根误差 0.038 m。三维重建后，真正射影像地面采样距离 0.076 m。《CH/T9008.3-2010 基础地理信息数字成果 1:500、1:1000、1:2000 数字正射影像图》规范中要求 1:2000 数字正射影像图影像地面分辨率应优于 0.2m。此次生成的 DOM 分辨率为 0.076m，满足规范要求。三维重建后生产模型效果如下：



三维效果图及 DSM 地表高程模型

## 5 内业数据处理与计算

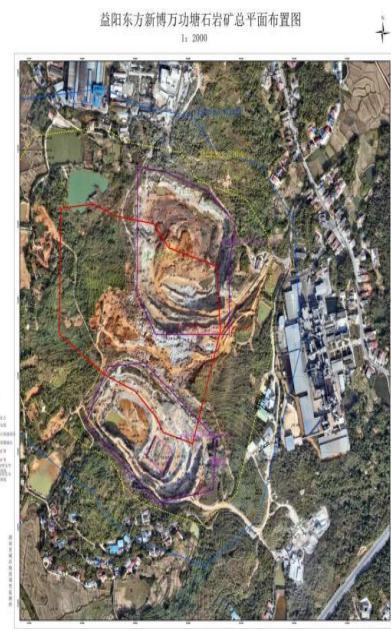
### 5.1 高程数据及坐标系统

目前大多数工程采用的基准为 1985 国家高程基准，高程系统采用正常高系统，然而 RTK 接入 CORS 采集的 WGS84 或 CGCS 2000 是大地高，由无人机生成的 DSM 地表模型和地面 RTK 实测高程均为大地高，利用由湖南省测绘科技研究所布设提供的湖南省 HNCORS 网及高程拟合参数在已有的控制点上校正（RTK 平面精度为  $1\text{cm}+1\text{ppm}$ ，高程精度为  $2\text{cm}+1\text{ppm}$ ）进行测绘，或直接计算高程异常常数求测区正常高程，坐标系统直接采用 CGCS 2000 坐标系投影到当地中央子午线，内业 DLG 线画图采用的南方 CASS10.1 绘图软件三维模型进行更新绘制<sup>[4]</sup>。

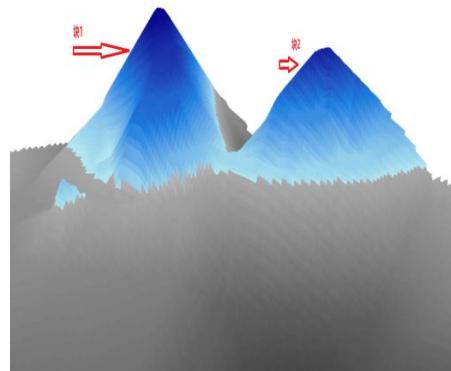
### 5.2 ARCGIS 数据处理与土方量计算

在基于 ARCGIS 技术的数据处理和计算方面，通过将更新好的 DLG 线画图导入 ARCGIS 软件，实现了对矿山地形图的精确更新和分析。这一过程涉及到对相关图层的转换和影像叠加，生产出更加直观的成果，使得矿

山的地形变化和开采情况一目了然。传统的土方量计算方法，如断面法和方格网法，依赖于地面高程的精度和密度，以及地形特征点的采集。然而，在矿山这种复杂多变的环境中，这些方法往往难以保证计算的精度，特别是在存在不规则乱掘的情况下。ARCGIS 的强大数据处理能力，结合无人机测绘得到的连续表面 DSM/DTM 栅格数据，使得土方计算的速度和精度大大提高。这种方法不仅能够处理大量的点数据，还能够实现三维可视化，提供了更好的实效性。通过 ARCGIS 软件，可以快速计算出土方量，并且能够对矿山的地形变化进行实时监测和分析，这对于矿山的资源管理和环境保护具有重要意义。此外，无人机倾斜摄影测量技术的应用，相较于传统 RTK 土方计算，能够节省大量的内外业工作时间，提高工作效率，并且满足土方计算的规范要求。形成效果如下图：



影像叠加矢量图



部分山体三维直观图

### 5.3 精度评定

航飞前,利用GPS RTK采集了部分特征点平面和高

程数据,包括道路夹角、固定设备角、以及航飞自行携带的相控标识点等<sup>[5]</sup>,通过内业无人机影像提出的坐标值与RTK实测点比较如下:

点号	RTK 实地测量			三维模型影像点			较差		
	X	Y	H	X1	Y1	H1	△x(m)	△y(m)	△h(m)
1	3129340.582	624687.509	137.723	3129340.702	624687.419	137.753	0.12	-0.09	0.03
2	3129507.213	624966.194	76.207	3129507.343	624966.314	76.297	0.13	0.12	0.09
3	3129273.945	624960.636	139.757	3129273.875	624960.616	139.917	-0.07	-0.02	0.16
4	3129028.962	624878.073	55.492	3129029.102	624878.113	55.432	0.14	0.04	-0.06
5	3128905.295	625224.021	159.921	3128905.515	625224.201	159.941	0.22	0.18	0.02
6	3129098.82	625201.733	158.939	3129098.73	625201.733	159.139	-0.09	0	0.2
7	3129320.481	624777.34	142.528	3129320.611	624777.56	142.428	0.13	0.22	-0.1
8	3129484.719	624854.654	77.554	3129484.879	624854.564	77.684	0.16	-0.09	0.13
9	3129602.031	624740.155	124.317	3129602.151	624740.275	124.247	0.12	0.12	-0.07
10	3129760.883	625063.64	136.126	3129761.033	625063.56	136.276	0.15	-0.08	0.15
11	3129503.908	625333.295	115.386	3129504.148	625333.325	115.516	0.24	0.03	0.13
12	3129484.866	624975.006	72.892	3129485.046	624975.026	73.052	0.18	0.02	0.16
13	3129094.578	624837.329	47.454	3129094.798	624837.359	47.384	0.22	0.03	-0.07
14	3129174.389	625067.852	145.017	3129174.589	625067.972	145.177	0.2	0.12	0.16
15	3129164.518	625336.51	141.238	3129164.688	625336.65	141.158	0.17	0.14	-0.08
16	3128780.168	625170.991	156.299	3128780.098	625171.121	156.379	-0.07	0.13	0.08
17	3128829.925	624767.335	138.493	3128829.985	624767.245	138.663	0.06	-0.09	0.17
18	3129076.738	624589.582	123.82	3129076.858	624589.662	123.96	0.12	0.08	0.14

根据《CH/Z3003-2010 低空数字航空摄影测量内业规范》1: 2000 丘陵地区连接点(检查点多余相控点)距离最近野外控制点平面位置中误差 0.80m, 高程中误差 0.35m, 本次成果  $m = \pm \sqrt{\frac{\sum |\Delta A|}{n}}$  平面上误差 0.186m 高程中误差 0.122m, 满足要求。

### 6 结语

综合上述,无人机倾斜测量技术与GIS的结合在矿山监管测量中展现出显著的应用优势。这种技术的应用不仅提高了测量的效率和精度,还降低了成本,为矿山的数字化管理提供了强有力的数据支持。通过精确的三维模型和高程数据,监管人员能够直观地掌握矿区的实时变化,有效预防和检测超深越界开采等违法行为。展望未来,随着技术的不断进步和创新,无人机测绘技术将在矿山监管领域扮演更加关键的角色,为实现矿山资源的合理开发和环境保护提供坚实的技术保障。

### 参考文献

- [1] 宋永飞,康荣华. 无人机航空摄影测量在矿山监管中的应用分析[J]. 建筑工程技术与设计, 2019(29): 3291.
- [2] 谢超. 探究无人机摄影测量技术在矿山建设中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(24): 142-144.
- [3] 王路,李锦明. 倾斜摄影测量技术在露天矿山开采监测中的应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(7): 18-20.
- [4] 梁彦虎. 无人机倾斜摄影测量在测绘中的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2019(32): 3528.
- [5] 赵鹏. 倾斜摄影测量与GIS技术在工程测量中的应用[J]. 砖瓦世界, 2021(13): 102.

作者简介: 程觉元(1985—),男,汉族,湖南浏阳人,研究方向为测绘地理信息方向。