

基于无人机技术的地质矿产工程测绘新方法

范多铭

陇南大地测绘工程院 甘肃 陇南 746000

摘要：针对传统地质矿产测绘作业效率低、精度不足、高危场景适配性差、人工成本高的行业痛点，本文研究无人机地质矿产测绘全新技术方法。结合无人机设备特性与测绘理论，优化航线规划、影像处理及地质要素智能提取技术，搭建标准化作业流程。通过矿区试验验证，该方法可显著提升测绘精度与作业效率，降低人力、经济成本及安全风险，可为矿产勘探与安全管控提供可靠技术支持。

关键词：无人机技术；地质矿产工程；测绘新方法

引言：地质矿产工程测绘是矿产资源开发、地质灾害防控的核心基础工作。传统测绘依赖人工实测与常规设备，在复杂地貌、高危矿区作业中存在诸多短板，难以适配现代化矿产测绘高精度、高效率、高安全性的作业需求。为破解传统技术瓶颈，本文依托无人机测绘技术，创新适配矿产场景的测绘新方法，通过试验验证技术优势，旨在完善矿产测绘技术体系，推动地质矿产测绘工作智能化、高效化升级。

1 地质矿产工程传统测绘与无人机测绘技术基础

1.1 传统地质矿产工程测绘方法及局限性

(1) 传统地质矿产工程测绘核心技术以地面实测技术为主，主流方法包含全站仪测绘、GPS静态测绘及人工实地勘测。全站仪依托角度与距离测量实现点位定位，是矿区常规地形测绘的基础手段；GPS静态测绘通过卫星定位获取静态坐标数据，适用于大范围矿区点位布设；人工实地勘测主要依靠测绘人员现场踏勘、记录地质点位与地形特征，辅助完成基础测绘工作。(2) 传统测绘方法短板显著，作业流程繁杂，需人工逐点测量、记录与校核，作业周期长，耗费大量人力、物力资源，作业成本偏高。同时该方法适配性有限，在山地、沟壑等复杂地貌矿区，点位布设难度大，整体作业效率大幅下降。(3) 在高危矿区、深山勘探区场景中，其缺陷更为明显。人工进场易遭遇滑坡、坍塌等安全风险，且野外复杂环境易造成视线受阻、卫星信号偏移，导致测绘数据偏差、点位精度不足，无法满足高精度矿产勘探的作业标准^[1]。

1.2 无人机测绘系统核心组成与工作原理

(1) 适配地质矿产测绘的无人机主要分为多旋翼与固定翼两类。多旋翼无人机操作灵活、悬停稳定，适配小范围、复杂地形精细测绘；固定翼无人机续航久、覆盖范围广，适用于大面积矿区、长距离勘探区域测绘，

二者可根据勘探场景灵活选型。(2) 测绘载荷设备是数据采集核心，高清相机负责获取地表高精度影像；激光雷达可穿透植被遮挡，精准采集地形、地质构造三维数据；多光谱传感器可捕捉地表光谱信息，辅助矿产资源识别与地质分析。(3) 飞控系统为无人机作业提供姿态调控、航线执行保障，导航定位系统依托卫星定位技术实现厘米级精准定位，二者协同运行，有效规避野外环境干扰，保障测绘作业稳定、数据精准。

1.3 无人机地质矿产测绘核心技术理论

(1) 无人机航摄测量核心理论包含航线规划、影像重叠度设置与像控点布设。依据矿区地形地貌规划最优航线，通过合理设置航向、旁向重叠度保障影像完整度，科学布设像控点为后续数据解算提供精准坐标基准。(2) 遥感影像采集与三维建模理论适配矿产地质特征，通过采集多角度连续影像，依托影像拼接、空三加密技术，构建贴合矿区地形、地质构造的三维实景模型，直观呈现矿区地貌与地质分布特征。(3) 测绘数据需遵循行业技术标准，通过坐标转换将影像、三维模型数据统一为工程坐标系，同时针对飞行、拍摄、环境产生的误差进行系统修正，保障测绘数据的准确性与规范性。

2 基于无人机技术的地质矿产工程测绘新方法

2.1 适配矿产场景的无人机航摄优化方法

(1) 针对矿区陡坡、沟壑、废渣堆积等复杂地形存在测绘盲区、覆盖不全的问题，采用复杂矿区地形自适应航线规划方法。该方法依托前期地形预处理数据，自动识别矿区高低落差、遮挡区域与不规则地貌，摒弃传统固定航线模式，动态调整飞行高度、航线间距与飞行姿态，针对凹陷沟壑、陡峭坡面进行补飞航线规划，彻底消除测绘盲区，实现复杂矿区地形无死角全覆盖航摄。(2) 矿区光照多变、扬尘天气多发，易导致影像模糊、曝光不均。多时段、多光照航摄参数动态调整方法

可有效解决该问题。系统可根据实时光照强度、天气状况、阴影分布,自动调整快门速度、光圈、感光度等航摄参数,在正午强光、晨昏弱光、阴天漫反射等不同场景下适配最优拍摄参数,大幅提升矿区影像的清晰度、色彩均匀度与数据完整性^[2]。(3)针对高危废弃矿区、边坡塌陷区、无人勘探区作业风险高的痛点,构建全自动航摄作业模式。作业前录入矿区电子边界与禁飞区域,无人机可自主完成起飞、航线飞行、数据采集、返航降落全流程作业,无需人工现场操控,有效规避人员进入高危区域的安全风险,真正实现高危矿区无人化、规模化、全覆盖测绘作业。

2.2 无人机测绘数据精细化处理新方法

(1)矿区作业易受粉尘、烟雾、光影杂点干扰,导致原始影像存在噪点、模糊、色差等问题。基于AI算法的影像处理技术,可智能识别矿区粉尘遮挡、光影瑕疵、无效杂点,完成自动化去噪、锐化处理,同时优化影像拼接算法,解决传统拼接出现的错位、重叠模糊、缝隙缺失等问题,保障原始影像数据的纯净度与完整性。(2)采用矿产地质三维模型精细化重构方法,适配矿区独特的地形与地质结构特征。依托优化后的航摄影像与激光雷达点云数据,通过空三加密、点云去噪、网格重构等技术,精准还原矿区地形起伏、地层分层结构、矿体边界形态以及岩层破损特征,相较于传统建模,细节还原度更高,可精准呈现隐蔽地质构造特征。(3)引入测绘数据误差智能修正方法,针对无人机飞行姿态偏差、坐标偏移、环境干扰等产生的系统误差和偶然误差进行智能校正。区别于传统人工比对校准、逐点修正的模式,该方法依托大数据比对与智能算法,批量修正数据偏差,统一坐标基准,有效提升矿产测绘点位、高程、体积等核心数据的精准度^[3]。

2.3 地质矿产要素智能识别与提取方法

(1)依托深度学习智能识别算法,实现矿区核心地质要素自动提取。通过训练矿区岩层、矿体、裂隙、断层等地质样本模型,无人机可自动识别影像中的矿体边界、岩层构造、裂隙发育范围及断层走向,替代传统人工判读方式,大幅提升地质要素识别的效率与准确性。(2)创新矿区土方量、矿产储量快速测算方法,基于精细化三维模型与坐标数据,通过智能体积运算算法,自动核算矿区开挖土方量、矿体储量与资源存量,无需人工繁琐计算,有效简化资源核算流程,提升矿产资源量核算的精准度与工作效率,为矿产开发规划提供数据支撑。(3)构建矿区地质灾害隐患点智能筛查体系,结合无人机高精度测绘数据,自动识别边坡坍塌、岩体松

动、地面裂缝、塌陷隐患等风险区域,实现测绘数据采集与灾害隐患筛查同步完成,达成地质测绘与安全预警一体化作业,助力矿区安全生产防控。

2.4 无人机测绘新方法作业流程体系

(1)前期勘查与方案设计是作业核心基础,工作人员通过现场踏勘掌握矿区地形地貌、作业风险、范围边界,结合勘探需求完成设备选型,根据矿区地形复杂度选择多旋翼或固定翼无人机,同时定制专属航线规划方案、参数标准与安全作业方案,为外业作业奠定基础。(2)外业航摄数据采集严格遵循标准化流程,按照预设航线与航摄参数开展飞行作业,全程把控飞行姿态、影像重叠度、拍摄质量,实时监测设备运行状态,及时补拍模糊、缺失影像,保障外业采集数据全面、规范、有效^[4]。(3)内业处理与成果验收形成闭环流程,对外业数据进行去噪、拼接、建模、误差修正与要素提取,生成三维模型、地质图纸、数据报表等成果,最后按照行业技术标准开展质量验收,核查数据精度、成果完整性,确保测绘成果符合矿产工程应用要求。

3 工程应用试验与效果分析

3.1 试验工程概况与试验方案

(1)本次试验选取某露天金属矿区作为试验区域,矿区地处山地丘陵地带,总面积约2.2km²。区域地形起伏较大,最大高差达186m,存在大量陡坡、采坑与废渣堆积体。矿区地质构造复杂,断层、节理发育,岩层破碎程度高。本次测绘作业主要难点为陡坡区域人工难以抵达、局部植被遮挡地形、早晚光照差异大、局部粉尘较多,传统测绘存在作业盲区大、精度难以统一、安全风险较高等问题。(2)试验设备选用六旋翼专业测绘无人机,搭载2000万像素高清相机与轻量化激光雷达设备,飞行相对航高设置120m,航向重叠度85%、旁向重叠度80%。试验设置传统测绘对照组,采用全站仪、GPS静态测绘结合人工实地勘测的常规作业模式,两组试验覆盖同一矿区范围、统一坐标系统与验收标准,保证试验数据具备可比性。(3)本次试验设定四大核心评价指标,全面量化测绘效果。精度指标包含地形点位误差、高程误差、矿体边界拟合精度、储量测算偏差;效率指标涵盖外业采集时长、内业处理周期;成本指标包含人工成本、设备损耗及时间成本;安全性指标主要统计高危区域作业频次、人员进场时长及安全风险隐患数量。

3.2 测绘成果与数据精度分析

(1)本次无人机新方法测绘完成全覆盖矿区三维实景模型,完整还原矿区地形起伏、采坑形态、边坡结构等地貌特征。精准提取矿体边界、岩层裂隙、断层走

向等核心地质要素,完成矿区土方量与矿产储量测算,共提取有效地质特征点位1200余个,成果完整覆盖试验矿区全部测绘区域,无明显数据盲区。(2)通过与传统测绘实测数据比对,无人机测绘平面点位平均误差为 $\pm 2.3\text{cm}$,高程平均误差为 $\pm 3.1\text{cm}$,远优于传统测绘 $\pm 5.8\text{cm}$ 、 $\pm 7.2\text{cm}$ 的误差标准。矿体边界拟合重合度达98.6%,储量测算误差控制在1.8%以内,相较于传统方法4.5%的测算误差,精度提升显著,充分验证了新方法的测绘准确性与可靠性。(3)在复杂地形与特殊气象条件下,无人机测绘表现出良好稳定性。在坡度大于 45° 的陡坡区域,数据有效采集率达99%;在多云、微风及轻度粉尘天气下,影像清晰度与数据完整性无明显衰减,可正常完成测绘作业,相较于传统方法复杂场景作业失效、数据偏差过大的问题,环境适配性大幅提升。

3.3 作业效率与综合效益分析

(1)效率与成本对比数据差异明显,传统方法完成该矿区全流程测绘需8名作业人员、耗时6天,综合成本约2.8万元;无人机新方法仅需2名操作人员,全程作业2天即可完成,综合成本降低至1.2万元,作业周期缩短67%,人力与经济成本压缩超50%,作业效率提升效果突出。(2)无人化航拍作业模式具备极高安全效益,可完全替代人工进入高危边坡、深采坑、塌陷隐患区等危险区域作业,本次试验零人员进场高危区域,彻底规避高空坠落、岩体坍塌等安全风险,解决了传统测绘高危场景作业安全隐患多、风险不可控的行业痛点^[5]。(3)该无人机测绘新方法具备极高长期应用价值,可常态化应用于矿产资源勘探、开采动态监测、矿区边坡治理、生态修复测绘等场景,能够实现矿区数据定期更新、隐患动态排查,为矿产资源合理开发、安全生产管控、矿区生态治理提供持续、精准的数据支撑。

3.4 现存问题与优化改进方向

(1)当前无人机测绘技术仍存在场景局限性,在暴雨、强风、浓雾等极端天气下无法正常飞行作业,同时

在超密集植被覆盖、极狭窄深部巷道等超复杂地质场景中,激光雷达穿透与影像采集效果受限,存在少量数据采集不完整的问题。(2)技术层面存在明显短板,目前外业数据采集与内业处理存在时间差,无法实现测绘数据实时传输、实时解算。动态监测连续性不足,难以完成矿区毫秒级、全天候的实时形变监测,无法第一时间捕捉微小地质形变与资源变化。(3)后续将针对性开展技术优化升级,优化无人机防风、防水作业性能,升级AI去噪与三维建模算法,提升复杂场景数据处理精度。同时搭建实时数据处理平台,实现航摄数据实时解算、动态更新,进一步拓展井下测绘、全天候动态监测等应用场景,完善矿产测绘技术体系。

结束语

本文构建的无人机地质矿产测绘新方法,有效解决了传统测绘的各类弊端,在测绘精度、作业效率、安全防控与成本控制方面优势显著,适配多数矿区复杂作业场景。同时研究发现该技术存在极端天气适配性弱、数据实时处理不足等问题。后续将优化设备性能与智能算法,搭建实时数据处理平台,拓展全天候、井下测绘场景,进一步完善无人机矿产测绘技术体系,拓宽其工程应用范围。

参考文献

- [1]张勤军.低空无人机遥感技术在岩溶山区高陡边坡危岩体精细化识别中的应用[J].中国地质调查,2025,12(2):120-128.
- [2]顾晓东,于海生.基于无人机倾斜摄影的井位设计场景构建及应用[J].物探化探计算技术,2025,47(5):781-790.
- [3]张俊阳.矿区地表沉陷与裂缝无人机遥感观测研究现状及发展[J].煤炭科学技术,2024,52(S2):435-444.
- [4]刘阳.无人机航测技术在地质矿产勘查测绘中的创新应用[J].世界有色金属,2024,32(18):189-191.
- [5]陈浩.基于无人机三维建模的矿山地质测绘优化方法研究[J].矿产勘查,2022,13(9):132-136.