

智能化技术在矿山测绘数据采集与处理中的应用研究

王彬彬

华亭煤业集团陈家沟煤矿 甘肃 华亭 744100

【摘要】：矿山测绘是矿业开发全过程的重要技术基础，其数据精度和处理效率直接影响矿山开采规划、安全监测和生态修复决策。随着智能化技术的迅速发展，无人机遥感、激光雷达（LiDAR）、人工智能图像识别、自动化采集设备及多源融合算法逐渐成为矿山测绘的重要技术支撑，使数据采集能力、自动化处理水平和智能识别精度得到显著提升。本文系统梳理智能化技术在矿山测绘数据采集与处理中的关键应用环节，从矿山测绘的技术需求出发，分析智能化设备与算法在空间数据获取精细化、处理流程自动化、数据结果可视化等方面的作用机制。研究表明，智能化技术不仅显著提高测绘精度与效率，还有效降低人员风险，促进矿山测绘向数字化、网络化和智能化方向发展。在未来矿山测绘系统建设中，可进一步发展多源异构数据融合算法、智能监测预警模型与自动化时空分析系统，以推动矿山管理的精细化与智慧化。本文旨在为矿山测绘技术创新和行业升级提供理论参考与实践依据。

【关键词】：智能化技术；矿山测绘；无人机测绘；激光雷达；数据处理

DOI:10.12417/3083-5526.25.04.020

引言

矿山测绘作为矿产资源开发中的基础技术环节，承担着矿区地形测量、开采范围监控、边坡形变分析、地表沉陷监测及生态恢复评估等多项任务，对矿山安全生产和资源管理具有重要意义。传统测绘方式多依赖人工操作、单点测量和静态数据处理，难以满足当前矿山开采规模扩大、环境保护压力增大以及实时监测需求增强的趋势。此外，矿山地形复杂、作业环境恶劣，人工测量不仅效率低，还存在一定安全风险。随着新一代信息技术的不断发展，智能化测绘逐渐成为矿山行业发展的必然方向。近年来，无人机航测、激光雷达扫描、三维建模技术、自动化传感器网络、人工智能识别算法等不断成熟，使矿山测绘从传统的“人工测量—离线处理”向“自动采集—实时分析—智能应用”转变。智能化技术能够实现矿山测绘的高分辨率、多频次自动采集，显著提升数据获取精度与处理效率，并为矿山安全监测、动态分析及生态治理提供持续的数据支持。然而，智能化测绘技术在矿山领域的融合应用仍处于发展阶段，存在技术协同不足、标准体系不完善、多源数据融合难度大等问题。基于此，本文从矿山测绘的需求特点出发，系统分析智能化技术在数据采集、数据处理、三维建模、监测预警等方面的应用路径，探讨智能化矿山测绘系统建设的关键策略，以期为矿山数字化建设提供理论支持和技术参考。

1 矿山测绘数据采集的智能化技术基础

1.1 无人机航测技术特征

无人机航测具有灵活性强、成本低、分辨率高和覆盖效率高特点，已成为矿山测绘数据采集的重要手段。通过搭载高清相机、热红外传感器或多光谱设备，无人机能够快速获取矿区地表影像，实现大范围地形信息的连续采集。无人机平台包括固定翼、多旋翼及复合翼等类型，可根据矿区面积、地形条件和任务需求灵活选择。无人机航测能够显著减少人工采集的

强度，提高恶劣环境中的作业安全性，对复杂露天矿区具有明显优势。

1.2 激光雷达（LiDAR）技术优势

激光雷达通过高频激光脉冲测定目标距离，可在植被覆盖、地表破碎的复杂环境中实现高精度三维点云数据采集。LiDAR 具备穿透性强、数据密度高、受光照影响小等优点。其结构化点云数据便于后期处理，可用于矿区边坡分析、断层识别、沉陷监测等高精度测绘任务。机载、车载及地面激光扫描系统三者可结合使用，形成多角度、多尺度采集体系。

1.3 多源传感器融合采集方式

多源传感器融合已成为矿山测绘的重要趋势。通过将影像传感器、LiDAR、GNSS、INS 等设备进行一体化集成，可以在同一次作业中同时采集不同类型的数据，实现空间信息的高精度融合。此外，矿山自动化监测设备（如倾角计、地裂传感器、沉降计等）可实时获取动态变化数据，为三维模型更新和矿山安全预警提供可靠依据。多源融合采集不仅提高数据完整性，还可实现多维度信息互补，增强测绘结果的稳定性和精准度。

2 矿山测绘数据处理的智能算法与流程优化

2.1 点云数据预处理技术

在激光雷达或无人机采集的点云数据中，常存在噪声点、无效点和重复点等问题。智能预处理技术利用自动滤波算法、噪声识别算法和特征提取模型，可实现点云数据的去噪、分类、密度均衡与误差纠正。常用算法包括基于统计特征的滤波方法、基于机器学习的点云分类方法以及基于深度学习的自动分割模型。通过高效的点云预处理，可提高空间模型构建的精度和稳定性。

2.2 影像数据处理智能化应用

矿区影像数据量大、内容复杂，传统处理方式易受光照、阴影等影响。智能化图像识别算法通过卷积神经网络（CNN）等深度模型，可实现自动特征提取、地物识别及变化检测。例如，可自动识别矿区运输道路、采空区、水体、边坡和植被分布，实现无人干预的数据解译过程。智能化影像处理大幅降低人工工作量，提高矿区动态监测效率。

2.3 多源数据融合技术

矿山测绘通常需要将点云数据、影像数据、遥感数据及地面监测数据进行融合。融合算法包括卡尔曼滤波、多尺度融合、基于图模型的融合方法和基于深度学习的特征融合模型。多源融合能够提升数据精度，加强信息补偿，实现三维立体化表达。例如，将影像纹理信息映射至激光点云表面，可生成高分辨率三维模型，为矿区规划提供更真实的数据基础。

3 三维建模与矿山空间表达的智能化发展

3.1 基于点云的三维建模方法

采用点云数据可构建矿山高精度地表模型，包括数字高程模型（DEM）、数字表面模型（DSM）和数字正射影像（DOM）。智能建模算法如 Poisson 重建、三角网（TIN）重建及深度学习建模技术，可自动提取关键地形特征，提高模型表达能力。三维模型能够真实反映坑道、边坡和采空区的空间形态，为开采设计、安全管理提供重要参考。

3.2 矿山动态变化三维表达

矿山生产具有时变性特征，边坡形变、地表沉陷和采区扩展需进行连续监测。基于时序激光扫描、多源影像变化检测及动态点云比对，可构建矿山动态三维模型。智能算法在变化识别、沉降监测和空间差异分析中具有高精度优势，可对危险区域进行自动标记，提高管理者的风险判断能力。

3.3 三维可视化平台构建

利用虚拟现实（VR）、增强现实（AR）等技术，可将三维模型以交互式形式呈现，提高矿山空间信息理解效率。三维平台支持模型旋转、切片、动态分析等操作，可用于安全培训、开采设计模拟及生态治理规划。可视化技术强化数据表达能力，使测绘成果更直观、更具应用价值。

4 智能化技术在矿山安全监测中的应用

4.1 边坡稳定性智能监测

矿山边坡受地质构造、采动扰动和降雨风化等多重因素影响，其稳定性具有较强的不确定性，一旦发生滑坡或坍塌，将对矿区安全造成严重威胁。为实现对边坡状态的持续监测，可在重点区域布设倾角仪、裂缝位移传感器、微波雷达监测仪和高频激光扫描设备，自动获取边坡姿态变化、裂缝扩展及表面形变等参数。多类传感器协同工作，可形成时空分辨率较高的

数据链，为识别潜在风险提供丰富信息。在监测数据基础上引入深度学习预测模型，通过对历史形变序列与环境因素进行分析，能够评估未来的变形趋势，推断边坡可能进入的不稳定状态。

4.2 地表沉陷监测技术发展

地表沉陷是矿山开采活动的重要影响之一，对地面建筑、交通设施和生态环境均具有潜在威胁。为了提高沉陷监测的精度与可靠性，可综合应用 InSAR 干涉技术、激光扫描与 GNSS 连续观测方法，获取沉陷区域的高分辨率空间位移数据。InSAR 能在大范围快速识别微小形变，激光扫描可提供精细的地形变化信息，GNSS 监测能够实现关键点位的实时位移追踪。基于这些多源数据，智能算法能够自动识别沉陷中心位置，分析形变的速率与扩展趋势，并通过构建沉陷演化模型揭示沉陷的时间—空间规律。模型输出可用于预测潜在灾害发展方向，辅助管理部门制定风险管控措施，实现对沉陷灾害的提前预警与科学治理，为矿区安全生产提供有力技术支持。

4.3 矿区生态环境监测智能化

矿山开发过程对生态系统的植被结构、水文条件和地表形态产生不同程度的影响，因此构建科学、持续的生态监测体系具有重要意义。借助无人机多光谱影像，可获取植被覆盖度、叶绿素含量和生长状况等关键信息，红外监测数据能够反映地表温度变化、水体分布及湿度状况，为识别受扰区域提供直观依据。通过智能图像分析技术，可自动提取裸地范围、滑坡迹象和废弃物堆积等特征，提升生态监测的精度与效率。在此基础上引入机器学习模型，对植被恢复速度、地表稳定性和水体改善情况进行综合评价，为判断生态修复成效提供量化标准。监测结果可作为绿色矿山建设的重要依据，推动矿区生态治理向科学化、精细化方向发展，实现资源开发与生态保护的协调统一。

5 矿山测绘智能化系统的建设路径与策略

5.1 构建多源融合的数据采集体系

未来矿山测绘的发展趋势指向统一化、集成化和智能化的数据采集体系。通过构建统一的数据采集平台，可将无人机航测、LiDAR 激光扫描、遥感影像、地面监测仪器等多类型设备接入同一系统，实现多维度、高频次的自动化数据获取方式。平台能够对不同来源的数据进行同步管理与调度，使采集计划更具系统性，避免各监测环节之间出现信息割裂。多设备协同采集不仅提升了空间数据的覆盖度，也增强了采集结果的完整性与连续性。通过平台化运行，可以减少重复测量带来的资源浪费，提高人员与设备使用效率。数据在统一框架下实时上传、存储与预处理，为后续分析、预警及管理提供高质量基础信息，使矿山测绘工作向高效、精准和智能的方向持续迈进。

5.2 推动数据处理流程标准化

当前智能化测绘技术不断发展,所使用的算法体系、硬件设备性能以及数据处理模式差异明显,容易导致同一地区或同一类型测绘成果之间缺乏统一性与可比性。这种差异不仅影响数据精度的稳定性,也对后续分析、模型构建与工程应用带来一定限制。为提升整体应用水平,可通过制定标准化的点云处理流程,明确滤波、分类、配准与精度校核的统一规范,使点云成果具备一致的处理逻辑。影像分析流程也需统一关键步骤,如影像预处理、特征提取、纹理匹配与误差修正等环节,确保不同设备与算法生成的成果可形成可靠对比。三维建模应建立统一的结构表达、纹理规范与数据格式标准,使模型在工程、监测与管理场景中具备良好的通用性与可移植性。通过构建完整的行业标准体系,可有效提升智能化测绘的规范化程度,为数据高质量应用提供坚实保障。

5.3 建立智能分析与应用决策系统

在多源融合数据的支撑下,可开发面向矿区运行全过程的智能化管理平台,通过自动化监测、数据分析与风险预警实现对矿山安全状态的实时掌控。平台能够集成遥感监测、地质参数、传感器数据、历史沉陷信息等多类数据源,为智能决策提

供充足的信息基础。借助人工智能模型,可构建具有自学习和预测能力的采空区监测系统、边坡稳定性预警系统与沉陷演化预测系统,形成覆盖矿区关键风险点的综合监测体系。系统可在出现异常趋势时及时推送预警信息,使管理人员能够迅速采取干预措施。通过可视化界面展示监测结果和安全状态,使矿山管理由经验驱动向数据驱动转变,推动管理方式向自动化、精细化和智能化升级,从而全面提升矿区安全保障能力与运行效率。

结论:

智能化技术在矿山测绘数据采集与处理中的应用具有显著优势,能够提高数据精度、增强处理效率并降低作业风险。无人机航测、激光雷达、多源传感器融合与智能算法为矿山测绘提供了强大技术支撑,使矿区空间信息获取更加全面、精细和高效。本文从智能化采集、智能处理、三维建模、安全监测及系统建设等方面进行了深入分析,表明智能化技术是未来矿山测绘发展的必然趋势。建议未来进一步加强算法创新、整合多源异构数据、构建统一数据标准及行业规范,推动矿山测绘向智慧化、自动化方向发展,为矿山安全生产与资源管理提供强有力的技术保障。

参考文献:

- [1] 刘旭,王智勇. 智能化矿山测绘技术体系构建研究[J]. 中国矿业, 2021.
- [2] 张强,刘峰. 激光雷达技术在矿山测绘中的应用进展[J]. 测绘科学, 2020.
- [3] 赵磊,陈浩. 无人机航测在露天矿测量中的应用分析[J]. 煤炭工程, 2019.
- [4] 孙立新,郑伟. 多源数据融合技术在矿区三维建模中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2021.
- [5] 郭冬青,王晨. 智能监测技术在矿山安全中的应用研究[J]. 金属矿山, 2020.