

智能化无人采矿设备在复杂地质条件下的作业效能分析

邓新刚

华电煤业集团工程技术有限公司，陕西榆林，719000；

摘要：智能化无人采矿设备在复杂地质条件下能够显著提升作业效能，成为采矿行业应对复杂环境挑战的关键技术方向。复杂地质条件常伴随地形起伏大、地质构造不稳定、有害气体积聚等问题，传统采矿设备作业时易出现效率低下、安全风险高的情况。智能化无人采矿设备通过搭载先进的传感技术、自主导航系统和远程操控平台，可实时感知地质环境变化，灵活调整作业参数，减少人工干预带来的不确定性。在实际作业场景中，该类设备能实现连续稳定运行，降低设备故障发生率，同时有效保障作业区域人员安全，为采矿行业在复杂地质区域的高效开发提供技术支撑。

关键词：智能化无人采矿设备；复杂地质条件；作业效能；传感技术；自主导航

DOI：10.64216/3080-1508.26.02.047

引言

采矿行业在开发过程中常面临复杂地质条件的制约，这类环境不仅增加了采矿作业的难度，还对作业安全性和效率提出更高要求。复杂地质区域可能存在断层、溶洞、高应力等问题，传统采矿方式难以精准应对，导致资源开采率偏低，且易引发坍塌、透水等安全事故。智能化无人采矿设备凭借其独特的技术优势，逐渐成为突破这一制约的重要手段。通过对复杂地质条件下作业需求的精准匹配，该类设备可优化作业流程，在保障安全的前提下提升资源开采效率，为采矿行业的可持续发展注入新动力，同时也为后续深入研究设备在不同复杂地质场景的应用奠定基础。

1 复杂地质条件对采矿作业的主要影响及问题梳理

1.1 复杂地质条件下地形与构造对采矿作业的阻碍作用

复杂地质条件中的地形起伏大、岩层走向不规则等情况，会对采矿设备的移动和定位造成极大阻碍。在山地、丘陵等复杂地形区域，采矿设备难以保持稳定的作业姿态，设备行走机构易受到凸起岩石、凹陷坑洞的影响，导致作业路径偏离预设轨迹，增加无效作业时间。地质构造中的断层、节理发育等问题，会使岩层稳定性下降，在采矿作业过程中易发生岩层剥落现象，不仅会损坏采矿设备，还可能堵塞作业通道，迫使作业中断，严重影响采矿作业的连续性和稳定性。

1.2 复杂地质环境中有害因素对采矿作业安全的威胁

复杂地质环境中常存在有害气体积聚、地下水富集等有害因素，对采矿作业安全构成严重威胁。有害气体如瓦斯、一氧化碳等，若不能及时监测和排出，当浓度达到一定阈值时，可能引发爆炸、中毒等安全事故，危及作业人员生命安全，即使采用无人作业模式，也可能对设备的电子元件造成腐蚀和损坏，影响设备正常运行。地下水富集则可能导致作业区域积水，增加设备漏电风险，同时软化岩层结构，进一步加剧地质灾害发生的可能性，给采矿作业带来多重安全隐患。

1.3 复杂地质条件下传统采矿设备的作业效能局限

传统采矿设备在复杂地质条件下作业时，其效能存在明显局限。传统设备的操控依赖人工经验，操作人员难以实时全面掌握复杂地质环境的动态变化，导致设备作业参数调整滞后，无法根据地质条件变化及时优化作业方式，进而影响开采效率。传统采矿设备的自动化程度较低，缺乏对地质环境的自主感知和适应能力，在面对复杂地质条件时，设备故障率较高，维修成本增加，且作业精度不足，易造成资源浪费，难以满足复杂地质条件下高效、精准的采矿作业需求。

2 智能化无人采矿设备应对复杂地质条件的核心技术支撑

2.1 多源传感技术在复杂地质环境感知中的应用

多源传感技术是智能化无人采矿设备感知复杂地质环境的核心，通过整合红外传感器、超声波传感器、地质雷达等多种传感设备，可实现对复杂地质环境多维度、高精度的监测。红外传感器能够检测作业区域的温度分布，及时发现因地质变化引发的异常热源，如地下煤层自燃隐患；超声波传感器可测量设备与周围岩体的

距离,避免设备与障碍物碰撞;地质雷达则能穿透地表岩层,探测地下溶洞、断层等隐蔽地质构造,为设备作业路径规划和参数调整提供精准的地质数据支持,确保设备在复杂地质环境中安全作业。

2.2 自主导航与路径规划技术对复杂地形的适应性

自主导航与路径规划技术赋予智能化无人采矿设备在复杂地形中自主移动的能力,该技术基于实时获取的地质环境数据和预设作业目标,通过先进的算法如A*算法、Dijkstra算法等,快速规划出最优作业路径。在地形起伏较大的区域,设备可通过激光雷达获取地形三维数据,结合惯性导航系统实时校正位置偏差,确保设备沿规划路径稳定移动;当遇到临时出现的障碍物如掉落的岩体时,设备能自主识别障碍物并重新规划路径,避免作业中断,显著提升设备在复杂地形中的作业灵活性和效率。

2.3 远程监控与智能控制平台的作业协同作用

远程监控与智能控制平台实现了对智能化无人采矿设备的集中管理和作业协同,平台通过无线网络实时接收设备传输的作业数据,如设备运行参数、地质环境监测数据等,工作人员可在远程监控中心对设备作业状态进行实时监控。当设备在复杂地质条件下出现运行异常时,平台能及时发出预警信号,并根据异常情况自动生成控制指令,远程调整设备作业参数,如降低开采速度、调整挖掘角度等,实现对设备的精准控制。平台可对多台设备的作业任务进行统筹规划,合理分配作业区域,避免设备作业重叠或遗漏,提升整体作业效率,确保复杂地质条件下采矿作业的有序开展。

3 智能化无人采矿设备在复杂地质条件下的作业效能提升策略

3.1 基于地质数据的设备作业参数动态优化策略

基于前期获取的复杂地质区域详细地质数据,建立地质数据与设备作业参数的关联模型,实现设备作业参数的动态优化。通过分析不同地质条件如岩层硬度、裂隙发育程度等与设备作业参数如挖掘力度、切割速度的匹配关系,确定各地质条件下的最优作业参数范围。在实际作业过程中,设备根据实时传感数据判断当前地质条件变化,依据关联模型自动调整作业参数,如在岩层硬度较高的区域,适当增加挖掘力度、降低切割速度,确保设备高效破碎岩层;在裂隙发育的区域,减小挖掘力度、提高作业稳定性,避免岩层坍塌,从而实现不同复杂地质条件下设备作业效能的最大化。

3.2 设备故障预警与快速维护体系的构建策略

构建设备故障预警与快速维护体系是保障智能化无人采矿设备在复杂地质条件下持续高效作业的关键。通过在设备关键部件如发动机、液压系统、传动系统等安装状态监测传感器,实时采集部件运行数据,如温度、振动频率、压力等,利用大数据分析技术对数据进行处理,建立故障预警模型。当监测数据超出正常范围时,模型及时发出故障预警信号,明确故障类型和可能发生故障的部件,同时生成对应的维护方案。提前在作业区域附近设置维护站点,储备常用维修配件和工具,当设备出现故障时,维修人员可根据预警信息和维护方案快速抵达现场进行维修,缩短设备停机时间,减少故障对作业效能的影响。

3.3 多设备协同作业的任务分配与调度优化策略

针对复杂地质条件下采矿作业任务量大、作业区域广的特点,制定多设备协同作业的任务分配与调度优化策略。根据采矿作业的整体目标,将作业区域划分为多个子区域,结合各子区域的地质条件、作业量大小等因素,为不同类型的智能化无人采矿设备如挖掘设备、运输设备、支护设备分配相应的作业任务。利用智能调度算法实时监控各设备的作业进度和运行状态,当某一设备因地质条件变化出现作业延迟时,及时调整其他设备的作业任务,如将相邻区域作业进度较快的设备调配至延迟区域协助作业,确保整体作业任务按时完成。优化设备间的作业衔接流程,减少设备等待时间,提升多设备协同作业的整体效能。

4 智能化无人采矿设备在复杂地质条件下的作业效能验证与案例分析

4.1 不同复杂地质场景下设备作业效能的测试方案设计

为验证智能化无人采矿设备在不同复杂地质场景下的作业效能,设计针对性的测试方案。选取具有代表性的复杂地质场景,如高应力煤层区域、溶洞发育的石灰岩采矿区域、山地地形的金属矿采矿区域等。在每个测试场景中,设置明确的测试指标,包括设备作业效率如单位时间开采量、作业精度如开采范围偏差、设备故障率、安全指标如有害气体控制效果等。测试过程中,采用对比测试的方式,将智能化无人采矿设备与传统采矿设备在相同地质场景下的作业效能进行对比,同时记录设备在不同作业时段、不同地质条件变化下的效能数据,为后续效能分析提供全面、准确的测试数据。

4.2 典型复杂地质采矿项目中的设备应用案例分析

以某山地金属矿采矿项目为例,该项目采矿区域地形起伏大,存在多条断层和溶洞,地质条件复杂,传统采矿设备作业效率低且安全风险高。引入智能化无人采矿设备后,通过多源传感技术精准探测地下溶洞和断层位置,自主导航技术规划出避开危险区域的作业路径,远程监控平台实时调整设备作业参数。在实际作业中,设备单位时间开采量较传统设备有明显提升,且在连续作业3个月期间,未发生一起安全事故,设备故障率较传统设备大幅降低。通过对该案例的深入分析,详细梳理设备在应对复杂地质条件时的技术应用细节,总结设备作业效能提升的关键因素,为其他类似复杂地质采矿项目提供参考。

4.3 设备作业效能提升效果的量化评估与数据解读

对智能化无人采矿设备在复杂地质条件下的作业效能提升效果进行量化评估,选取作业效率、安全性能、资源利用率三个核心维度构建评估指标体系。作业效率方面,通过对比设备应用前后的单位时间开采量、作业循环周期等数据,评估效率提升情况;安全性能方面,统计设备应用前后的安全事故发生率、设备故障导致的停机时间等数据,衡量安全性能改善程度;资源利用率方面,分析设备开采作业后的矿石回收率、废石混入率等数据,判断资源利用水平的变化。结合具体的量化数据,如单位时间开采量提升的具体数值、安全事故发生率的下降情况等,解读数据背后反映的设备技术优势,明确设备在复杂地质条件下作业效能提升的实际价值,为设备的进一步推广应用提供数据支撑。

5 智能化无人采矿设备在复杂地质作业中的现存问题与改进方向

5.1 当前设备在极端复杂地质条件下的技术短板分析

尽管智能化无人采矿设备在复杂地质条件下展现出较好的作业效能,但在极端复杂地质条件下仍存在技术短板。在超深矿井复杂地质环境中,由于地下压力大、温度高、电磁干扰强,设备搭载的传感设备易出现数据采集误差增大、信号传输不稳定的问题,导致设备对地质环境的感知精度下降,影响作业参数调整的准确性;在高瓦斯、高水压的极端地质区域,设备的防爆、防水性能难以完全满足作业需求,存在设备损坏和安全事故的潜在风险;设备在应对突发地质灾害如地震、山体滑

坡时,自主应急响应能力不足,无法快速做出有效的避险动作,易造成设备损毁,影响采矿作业的连续性。

5.2 针对技术短板的设备硬件与软件改进方向

针对上述技术短板,从硬件与软件双维度制定改进方向。硬件上,研发适配极端地质的高性能传感器,用耐高温、抗高压及抗电磁干扰材料制作元件,提升其在超深矿井的稳定性与数据精度;强化设备防爆防水设计,采用新型密封材料与防爆结构,提高高风险区域防护等级;优化机械结构,增设缓冲机构、紧急制动系统等应急装置。软件方面,开发先进数据分析算法以处理复杂干扰数据、降低误差;升级自主应急程序,结合大量灾害案例数据训练算法,提升设备突发情况应对能力。

5.3 基于行业需求的设备未来发展与应用拓展方向

结合采矿行业未来需求,智能化无人采矿设备需从两方面明确发展与应用方向。绿色开采层面,需集成环保技术,如加装粉尘收集、废气净化装置减少污染,开发电动等新能源驱动设备,降低化石能源依赖以实现节能减排。应用拓展上,要突破陆地局限,向深海、极地采矿延伸,针对这些区域复杂地质,研发适配深海高压的采矿机器人、抵御极地低温的专用设备,助力采矿行业开拓更广阔资源领域。

6 结语

本文围绕智能化无人采矿设备在复杂地质条件下的作业效能展开深入分析,明确了复杂地质条件对采矿作业的影响,阐述了设备的核心技术支撑,提出了效能提升策略,通过案例验证了设备的应用价值,并指出了现存问题与改进方向。智能化无人采矿设备为复杂地质条件下的采矿作业提供了有效的技术解决方案,显著提升了作业效能与安全性。未来随着技术的不断优化与创新,该类设备将在采矿行业发挥更重要的作用,推动采矿行业向高效、安全、绿色的方向持续发展,为全球资源的合理开发与利用提供有力保障。

参考文献

- [1] 冯智伟,李鑫.智能化技术在金属矿山采矿中的应用[J].冶金与材料,2025,45(09):76-78.
- [2] 王千敏.煤矿采矿工程中智能化开采技术的应用与发展[J].内蒙古煤炭经济,2025,(15):121-123.
- [3] 田丁.采矿工程中的智能化技术应用与发展研究[J].科技资讯,2025,23(12):43-45.