

# 智能化采掘技术在提升煤矿安全中的作用研究

王明明

永煤集团股份有限公司新桥煤矿 河南 商丘 476600

**摘要：**智能化采掘技术深度融合信息技术与采矿工程，成为煤矿安全生产变革的关键驱动力。通过实时动态安全监测、远程无人化作业、精准应急支持及设备智能管理等技术手段，显著降低人员伤亡风险，提升灾害防控能力。然而，地质条件复杂、数据处理瓶颈及设备稳定性问题制约其发展。需聚焦智能探测、数据优化与设备可靠性提升，构建安全高效的智能化煤矿开采体系，为行业高质量发展筑牢安全基石。

**关键词：**智能化采掘技术；煤矿安全；作用

## 引言

煤矿安全生产关乎国家能源安全与矿工生命健康，传统开采模式下，瓦斯爆炸、顶板坍塌等灾害频发，暴露人工操作与粗放管理的局限性。随着物联网、大数据与人工智能技术突破，智能化采掘技术为煤矿安全治理提供新路径。本文从安全监测预警、无人化作业、应急救援及设备管理等维度，剖析智能化采掘技术的作用机制，探讨技术应用中的挑战与应对策略，旨在为煤矿安全水平提升提供理论支撑与实践参考。

## 1 智能化采掘技术概述

智能化采掘技术以自动化、信息化和集成化技术为核心，是对传统采掘作业模式的革命性突破。该技术融合机械工程、电子信息、人工智能等多学科知识，通过构建感知、分析、决策与执行一体化系统，实现采掘作业流程的智能调控与优化。在煤炭、金属矿等资源开采领域，智能化采掘系统借助高精度传感器实时采集地质参数、设备状态及作业环境数据，经边缘计算与云计算平台处理，构建动态三维地质模型与开采作业数字孪生体，为精准开采提供数据支撑。在硬件层面，智能化采掘装备配置先进的伺服驱动系统、高精度定位装置及智能控制模块，可实现采掘设备的自主定位、自动截割、精准支护等功能。例如，智能综采工作面的液压支架通过压力传感器与电液控制系统联动，能根据顶板压力变化自动调整支护参数；无人掘进机搭载激光雷达与视觉识别系统，可自主规划掘进路径并规避障碍物。软件方面，基于大数据分析机器学习算法开发的智能决策系统，可对采掘过程中的复杂工况进行预测与诊断，提前识别设备故障风险与开采安全隐患，通过优化开采工艺参数提升资源回收率与生产效率。当前，智能化采掘技术正朝着更高水平的自主化、协同化方向发展。5G通信技术的应用实现了井下设备与地面控制中心的低延迟数

据交互，保障远程监控与指令传输的实时性与可靠性；物联网技术构建的设备互联网络，使采掘设备间形成高效协同作业机制。随着数字孪生、人工智能等前沿技术的深度融合，智能化采掘技术将持续提升资源开采的安全性、高效性与绿色化水平，成为推动矿业行业转型升级的核心驱动力。

## 2 智能化采掘技术对提升煤矿安全的作用机制

### 2.1 实时动态安全监测与预警

(1) 借助各类先进传感器，智能化采掘技术可对煤矿井下的瓦斯浓度、一氧化碳含量、粉尘浓度、温度、湿度以及顶板压力等关键安全参数，展开全方位、实时且动态的监测。这些传感器能够精准捕捉参数的细微变化，并迅速将数据传输至数据分析系统。以瓦斯传感器为例，其能够对井下瓦斯浓度进行持续监测，一旦瓦斯浓度接近预警阈值，系统便会立即发出预警信号。(2) 通过构建安全监测预警模型，运用数据分析算法对采集到的海量数据进行深度分析与处理。模型可依据历史数据和实时监测数据，精准预测可能出现的安全隐患。比如，基于对顶板压力数据的长期监测与分析，预测顶板可能出现的垮落风险，提前采取相应的支护加固措施。(3) 当监测到安全参数超出正常范围或预测到潜在安全隐患时，系统会及时发出多种形式的预警，如声光报警、短信提醒等，确保相关人员能够迅速得知。将详细的预警信息，包括隐患类型、位置、严重程度等，实时推送至管理人员和作业人员的终端设备，以便及时采取有效的应对措施，将安全事故扼杀在萌芽状态<sup>[1]</sup>。

### 2.2 远程控制与无人化作业

(1) 操作人员可在远离危险区域的地面控制中心，借助远程控制系统对井下采掘设备进行精准操控。通过高清视频监控、传感器反馈等技术，实时获取设备的运行状态和工作环境信息，实现对设备的远程启停、速度

调节、方向控制等操作。例如，远程操控采煤机进行煤层切割作业，操作人员能够在地面清晰地看到采煤机的工作情况，如同身临其境。（2）在一些危险系数较高的作业区域，如地质条件复杂的采煤工作面、存在瓦斯突出风险的区域等，采用无人化作业设备，如无人采煤机、无人掘进机等。这些设备能够按照预设程序自动完成采掘任务，避免了作业人员直接暴露在危险环境中，极大地降低了人员伤亡风险。（3）通过自动化运输系统，如皮带输送机、无人驾驶矿车等，实现煤炭及矸石的自动运输。皮带输送机可根据煤炭产量自动调节运输速度，无人驾驶矿车能够按照规划好的路线，精准地将煤炭运输至指定地点，减少了运输过程中的人为失误和安全事故发生概率，提高了运输效率和安全性。

### 2.3 精准定位与应急救援支持

（1）利用高精度定位技术，如井下人员定位系统、设备定位系统等，能够实时精确定位井下作业人员和设备的位置信息。在发生紧急情况时，救援人员可迅速获取被困人员的准确位置，为救援行动提供关键依据。例如，通过人员定位系统，能够清晰地看到被困人员在井下的具体位置，以及他们的移动轨迹。（2）结合地理信息系统（GIS）和三维建模技术，构建井下三维可视化模型，直观展示井下巷道布局、采掘工作面位置、通风系统、排水系统等信息。在应急救援过程中，救援人员可通过该模型快速制定救援方案，规划最佳救援路线，提高救援效率。比如，在制定救援方案时，能够根据三维模型清晰地了解到各个巷道的连通情况，选择最快捷的救援路径。（3）智能化采掘技术还可与应急通信系统紧密结合，确保在紧急情况下通信畅通无阻。在矿井复杂的环境中，一旦发生事故，被困人员能够迅速通过应急通信设备与外界取得联系，清晰及时地反馈自身状况和现场关键信息。救援人员也可借助该系统，准确无误地向被困人员传达救援指令和注意事项，各方紧密配合，实现高效的救援协同<sup>[2]</sup>。

### 2.4 设备健康管理及故障预测

（1）在采掘设备上安装各类状态监测传感器，对设备的关键部件，如电机、减速器、轴承等的运行状态进行实时监测，包括温度、振动、压力、电流等参数。通过对这些参数的分析，能够及时发现设备部件的潜在故障隐患。例如，通过监测电机的温度和电流变化，判断电机是否存在过载或故障风险。（2）运用大数据分析和机器学习算法，对设备的历史运行数据和实时监测数据进行深度挖掘与分析，建立设备故障预测模型。该模型能够根据设备的运行状况，预测设备可能出现故障的时

间和类型，提前安排设备维护和检修，避免设备突发故障导致的生产中断和安全事故。比如，通过对减速器振动数据的长期分析，预测减速器齿轮可能出现的磨损情况，提前进行更换。（3）基于设备健康管理系统，实现设备维护的智能化决策。该系统全面整合设备的故障预测结果、运行时间、维护记录等多维度信息，通过先进算法进行深度分析。依据分析结果，系统能够自动生成科学合理的维护计划和维护建议，精准指导维护人员开展针对性的设备维护工作，进而提高设备的可靠性和使用寿命，保障煤矿生产的安全稳定运行。

## 3 智能化采掘技术面临的挑战与对策

### 3.1 面临的挑战

#### 3.1.1 复杂地质条件适应性问题

智能化采掘技术在复杂地质条件下难以达到理想的作业效果。地下采掘环境中，断层、褶皱、破碎带等地质构造广泛存在，地层岩性的非均质性导致煤岩界面识别困难，传统基于固定参数的采掘模型难以精准适配多变的地质结构。例如，在高应力软岩巷道掘进时，岩层变形速率与支护需求的动态变化超出常规算法预测能力，易引发巷道失稳风险。富含水层、瓦斯突出区域等特殊地质条件，对采掘设备的智能感知与决策系统提出更高要求，现有技术难以在保障安全的前提下实现高效开采。地质条件的隐蔽性和动态演化特征，使得前期探测数据与实际开采过程存在偏差，导致智能采掘系统的规划路径与实时工况脱节，制约了采掘作业的连续性与稳定性。

#### 3.1.2 数据处理与分析能力不足

智能化采掘系统运行过程中产生海量多源异构数据，包括设备传感器数据、地质探测数据、环境监测数据等，现有数据处理架构难以满足实时性与精准性需求。数据采集环节存在协议不统一、传输延迟等问题，导致数据完整性受损；数据清洗与预处理阶段，复杂工况下的噪声干扰难以有效剔除，影响后续分析准确性。在数据分析层面，传统统计模型与机器学习算法在处理高维度、非线性数据时，难以挖掘数据背后的潜在规律，无法为采掘设备的智能调控提供可靠依据。例如，在设备故障预警方面，由于无法精准提取特征参数，导致误报率与漏报率偏高。数据存储与管理系统缺乏统一标准，数据孤岛现象严重，限制了跨系统数据融合与协同分析，难以支撑智能化采掘的全流程优化<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.3 设备可靠性与稳定性有待提高

智能化采掘设备在恶劣井下环境中面临多重可靠性威胁。高湿度、高粉尘、强振动的作业环境加速设备零

部件的磨损与老化,频繁的启停与重载运行加剧了机械结构的疲劳损伤。电子控制系统在电磁干扰环境下,信号传输稳定性下降,易出现控制指令延迟或丢失现象。设备智能化模块集成度高,故障点增多且定位困难,一旦发生故障,传统维修手段耗时较长,严重影响采掘作业效率。例如,液压支架电液控制系统的传感器失效可能导致支护参数失准,引发顶板事故风险;连续采煤机的智能导航系统故障会造成开采路径偏差,降低资源回收率。设备间的协同作业对系统稳定性要求更高,单个设备的故障可能引发连锁反应,破坏整个采掘系统的运行秩序。

### 3.2 对策

#### 3.2.1 加强地质探测与智能决策技术研发

研发高精度、动态化地质探测技术是提升系统适应性的关键。采用多源地球物理探测手段,如三维地震勘探、地质雷达、瞬变电磁法等,构建井下地质信息三维可视化模型,实现对地质构造的精细化刻画。结合人工智能算法,建立基于深度学习的地质特征识别模型,通过海量历史数据训练,提升煤岩界面识别、地质异常体预测的准确性。在智能决策方面,开发自适应控制算法,根据实时地质数据动态调整采掘参数,优化设备作业轨迹与支护方案。例如,利用强化学习算法,使采掘设备在复杂地质条件下自主学习最优作业策略,实现开采效率与安全性的平衡。构建地质-采掘-支护一体化协同决策系统,增强各环节间的信息交互与协同响应能力。

#### 3.2.2 提升数据处理与分析水平

构建智能化数据处理平台是解决数据难题的核心。在数据采集端,统一数据传输协议,采用工业物联网技术实现多源数据的高速、稳定传输;部署边缘计算节点,在数据源头完成初步清洗与特征提取,降低数据传输压力与云端处理负荷。数据存储方面,采用分布式存储架构与大数据管理技术,实现数据的高效存储与快速检索。在分析环节,引入先进的深度学习算法与数据挖掘技术,如卷积神经网络、长短期记忆网络等,对复杂数据进行深度特征提取与模式识别,构建精准的设备运

行状态评估、故障预测模型。开发可视化数据分析工具,将复杂数据转化为直观易懂的图表,为操作人员提供决策支持,实现数据驱动的智能采掘优化。

#### 3.2.3 提高设备可靠性与稳定性

通过技术创新与优化设计提升设备可靠性。在机械结构方面,采用高强度、耐磨材料与先进制造工艺,增强设备零部件的抗疲劳、抗腐蚀性能;优化设备动力学设计,降低振动与冲击对设备的影响。电子控制系统采用冗余设计与抗干扰技术,提高信号传输的稳定性与可靠性;引入故障诊断与容错控制算法,实现设备故障的快速定位与隔离,确保关键功能持续运行。在设备维护管理上,建立基于大数据分析的预测性维护系统,通过实时监测设备运行参数,提前预判故障隐患,制定科学的维护计划。加强设备间的协同控制技术研发,采用分布式控制系统与智能通信协议,实现设备间的精准同步与协同作业,提升整个采掘系统的稳定性与可靠性<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,智能化采掘技术通过技术创新重构煤矿安全生产模式,在风险预警、无人作业、应急响应等环节展现显著安全效能。尽管当前面临地质适配性差、数据处理能力不足及设备稳定性弱等挑战,但通过强化技术研发、完善数据体系与优化设备性能,智能化采掘技术将成为煤矿安全生产的核心保障。未来需持续推进技术迭代,深化产学研协同,推动煤矿开采向本质安全型转型。

### 参考文献

- [1]何西华.智能化采掘技术在现代煤矿中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(5):49-51.
- [2]李祖信.综采工作面智能化采掘技术研究[J].煤炭新视界,2024(1):176-178.
- [3]范士福.煤矿智能化建设实践及采掘工作面关键技术[J].矿业装备,2025(2):83-85.
- [4]刘卓然,刘康,刘塘.智能化建设实践及采掘工作面关键技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2024(4):61-63.