

Discussion on the application of intelligent mining technology in coal mine safety

Kuan Li

Inner Mongolia Mengtai Manlailiang Coal Industry Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017000, China

Abstract

Coal mine safety production remains a core challenge in the industry's development. With increasing mine depths and complex working environments, traditional safety assurance methods face growing challenges. Intelligent mining technology demonstrates significant advantages in perception monitoring, risk warning, and decision-making scheduling, providing new technical support for coal mine safety management. By establishing multidimensional sensing systems, deploying intelligent equipment and robots, and integrating big data with control platforms, coal mine safety prevention capabilities have been comprehensively enhanced. This paper discusses the application pathways of intelligent mining in coal mine safety, systematically analyzing its effectiveness and practical significance in improving risk identification capabilities, reducing accident probabilities, and ensuring worker safety from dimensions such as technological development background, key equipment deployment, intelligent system construction, and safety management strategies. The research provides theoretical foundations and practical insights to promote the transformation and upgrading of the coal mining industry while modernizing safety production systems.

Keywords

coal mine safety; intelligent perception; mine robot; intelligent scheduling; risk warning

智能化采矿技术在煤矿安全中的应用探讨

李宽

内蒙古蒙泰满来梁煤业有限公司, 中国·内蒙古·鄂尔多斯 017000

摘要

煤矿安全生产始终是行业发展的核心课题,随着矿井深度增加、作业环境复杂化,传统安全保障方式面临挑战。智能化采矿技术在感知监测、风险预警、决策调度等方面具备显著优势,为煤矿安全管理提供了新的技术支持。通过构建多维感知系统、部署智能设备与机器人、整合大数据与控制平台,煤矿安全防控能力得以全面提升。本文围绕智能化采矿在煤矿安全中的应用路径展开论述,从技术发展背景、关键装备部署、智能系统建设与安全管理策略等维度,系统分析其在提升风险识别能力、降低事故概率、保障作业人员安全方面的应用成效与现实意义,为推动煤矿行业转型升级与安全生产体系现代化提供理论依据与实践启示。

关键词

煤矿安全; 智能感知; 矿井机器人; 智能调度; 风险预警

1 引言

煤炭作为我国重要的基础能源,在国民经济体系中占据举足轻重的地位。然而,煤矿事故频发、灾害种类多样,长期困扰着行业的安全发展。在煤矿逐步向深层、高强度、高风险方向发展的背景下,传统以人为主要的安全管控手段难以满足新形势下的要求,迫切需要引入高效、精准、可控的技术支撑。智能化采矿技术应运而生,以自动化装备、信息感知、智能分析为核心,为煤矿安全生产带来新契机。本文聚焦其在实际煤矿安全体系构建中的关键作用,从多角度探

讨技术落地路径与安全提升机制,旨在为智能矿山建设提供安全维度的系统研究参考。

2 智能化采矿技术发展背景与安全需求驱动

2.1 煤矿安全形势的演变与传统技术的局限性

煤矿事故频发长期困扰行业发展,尤其在深部、高瓦斯、高地压等复杂环境下,作业风险不断加剧。随着生产强度和作业深度提升,传统依赖人工经验和机械巡检的方式暴露出监测盲区多、响应速度慢、预警精度低等问题。在突发灾害场景中,人员处置能力受限,信息获取滞后,无法实现及时有效的干预和撤离。井下通风、排水、供电等系统多为独立运作,缺乏整体协同,导致管理层面难以对全矿井安全态势做出精准掌握。面对这种高风险、高动态的工作环境,传统技术体系显现出其在本质安全控制、实时状态感知和应急联

【作者简介】李宽(1983-),男,工程师,从事智能化采矿研究。

动方面的明显短板，制约了煤矿行业向更高水平安全管理的转型升级。

2.2 智能化采矿技术的定义及核心构成

智能化采矿技术是融合感知、控制、通信与智能决策能力于一体的现代化矿山运行体系，旨在实现对生产过程的动态感知、精确控制和风险预防。其构成包括信息采集终端、数据传输系统、边缘计算平台、自动化控制装置和协同管理系统，通过多种传感设备对井下环境、设备状态、人员位置等关键变量进行实时监控。系统通过分析平台对感知数据进行实时处理，生成决策模型，进而驱动自动化装备完成采掘、运输等作业任务，达到少人或无人干预的运行目标。各模块之间构建起数据闭环和响应联动机制，既强化安全管理的精准化和协同性，又提升资源配置效率和事故响应能力，是实现煤矿本质安全的重要路径之一。

2.3 安全生产政策推动下技术升级的现实诉求

煤炭行业监管政策持续强化，对企业安全技术能力提出更高要求。国家层面出台一系列文件明确智能化是煤矿发展的方向，要求构建基于信息系统的风险防控和调度联动体系。政策推动的背景下，煤矿企业在安全治理方面面临转型压力，不仅需要提高生产效率，更需满足灾害预警、事故防控、应急指挥等综合管理目标。传统人工管理与分散系统已难以满足风险信息透明化和管控决策及时性的要求，促使企业迫切引入先进技术体系。智能化采矿技术能实现对各类隐患的快速识别与自动干预，符合政策导向，也顺应企业构建高效、闭环、安全生产体系的实际需要，为提升行业整体安全水平和监管能力提供技术支撑。

3 智能感知与监测技术在安全保障中的作用

3.1 井下环境多维感知系统的构建与响应机制

井下环境复杂多变，影响安全因素呈现高度耦合和动态演化特征，传统感知手段难以实现全面覆盖与精准识别。多维感知系统通过部署温度、湿度、气体浓度、通风风速、地压等多类传感器，实现对作业区域全要素环境的实时监控。数据通过无线通信网络回传至地面指挥中心，形成对环境状态的连续感知与动态判断机制。系统具备异常趋势捕捉和风险因子融合分析能力，能在危险源激增、通风异常或瓦斯浓度升高时自动发出预警，并联动控制装置启动通风、停电、人员疏散等响应程序。构建以物联感知为核心的智能监测网络，不仅提升了对事故前兆的识别深度，也增强了煤矿管理层对井下整体运行态势的实时掌控能力。

3.2 煤矿作业面人员与设备实时定位系统应用

井下作业人员分布分散、活动频繁，设备运行路径交叉密集，若无有效定位系统，极易导致指挥失误与应急失联等问题。实时定位系统采用超宽带、惯性导航、无线射频等多种技术手段，构建起高精度、高时效的三维定位网络。系统对作业人员、运输设备、采掘装备等实施全过程动态定位

与轨迹记录，通过可视化平台进行集中展示，实现人员聚集监控、轨迹回溯分析及危险区域入侵预警等功能。定位系统还可与调度系统、应急平台联动，当发生突发事件时快速锁定受困人员位置并指导救援路径。该技术有效解决了信息脱节与反应迟滞问题，提升井下生产的有序性和安全性，成为保障作业安全和高效协同的重要技术支撑。

3.3 瓦斯、水害、顶板等灾害的智能预警手段

煤矿常见灾害类型呈现多元叠加态势，传统单一监测方式难以满足对事故链条全过程的干预要求。智能预警手段基于多源数据融合与模型推演机制，构建起灾害演化趋势识别与风险级别判定体系。在瓦斯防控方面，系统能识别瓦斯浓度异常变动轨迹并结合通风状况进行危险等级评估；在水害防治方面，感知装置可监测地层含水率与压力变化并判断突水风险；在顶板管理方面，借助微震监测和围岩变形识别技术，实现对岩层失稳前兆的提前预判。系统将预测结果转化为指令联动设备响应并通知相关作业人员，实现对灾害的主动干预和风险闭环管理。多维度、集成化的预警体系显著提升了煤矿对复杂灾害的防控效率与应急响应水平。

4 智能决策支持与协同管控平台建设

4.1 多源数据融合下的风险评估与态势识别

煤矿井下作业环境中存在大量异构数据来源，包括气体浓度、通风参数、地压变化、设备运行状态及人员分布信息。将这些数据进行集成处理，需要构建统一标准的数据接口与清洗机制，通过边缘计算节点与云平台协同运行实现高效处理。在融合过程中，采用特征提取与模式识别算法对数据中潜在风险因子进行分析，从而形成动态风险评估模型。模型通过时序演变规律判断隐患趋势，在信息冗余背景下实现对事故征兆的早期识别。系统还可叠加历史事故库与经验知识图谱，强化对突发事件的模式匹配能力，形成全局态势感知图，实现风险等级分类、空间分布识别与预警区域标注，为调度指挥与风险控制提供实时决策依据。

4.2 智能化调度系统提升应急响应效率

煤矿调度系统作为作业指令与资源协调的核心平台，其响应效率直接关系到事故防控成效与救援时效。智能化调度系统以地面控制中心为指令源点，通过通信网络连接各类井下设备与人员终端，实现作业进程的全过程可视化管理。系统能够实时采集生产参数并动态调整作业节奏，在突发事件发生时迅速分析受影响区域、评估风险程度并调配应急资源。调度平台集成路径规划、避障计算、人员定位与状态评估等功能，指导救援力量快速抵达目标位置。系统与应急预案联动，自动生成撤离路径、调度指令和警报通知，提升应急响应速度与协调效率。通过智能算法优化作业区负荷分布与作业顺序，保障生产连续性的同时增强系统对不确定事件的快速处置能力。

4.3 智能分析平台辅助安全生产决策优化

安全生产决策要求高度依赖数据支持与风险判断，智能分析平台通过构建知识模型与逻辑框架，实现多维数据的分析与决策建议生成。平台集成感知系统、专家库与安全规则数据库，基于大数据挖掘算法对事故高发点、风险累积区与异常行为模式进行建模，提供决策模拟与情境推演功能。管理者可通过平台界面直观获取作业区状态分布图、事故预测趋势图和处置建议，辅助制定精准化干预措施。平台具备自动学习与模型迭代功能，在新数据接入后自动优化风险评估体系，增强决策适应性与科学性。在日常生产管理中，平台还可对各类管理制度执行效果进行评估，对可能出现的制度漏洞或操作偏差提前发出风险预警，为构建闭环化的安全治理机制提供有力支撑。

5 智能化采矿技术推进中的安全管理策略

5.1 技术适应性与作业人员技能转型机制

智能化采矿技术的落地实施不仅依赖于设备配置和系统搭建，更需要作业人员对新技术的理解与掌握。传统作业方式下形成的工作习惯与岗位技能难以满足智能系统操作和信息化平台管理的要求，亟需构建系统化的人员技能转型机制。通过岗位分类设置技能模块培训内容，结合虚拟仿真与实际操作场景提升培训效果，推动作业人员向系统操作、数据分析、设备远程控制等方向复合转型。企业应同步优化组织结构，设立智能系统维护岗位与安全数据分析岗位，引导技能人才向技术型、管理型复合方向发展。制定适应性评估机制，动态评估人员对系统功能的掌握程度，将技能达标与岗位绩效、操作权限挂钩，提升整体作业队伍对智能技术的融合与操作能力。

5.2 系统冗余与容错机制保障运行安全

煤矿智能系统在高风险环境下运行，需具备足够的冗余结构与容错能力以应对通信中断、传感故障或控制失灵等突发状况。在系统设计阶段应构建多级备份通道与关键节点热备方案，确保信息链路中断时仍可保留核心数据并维持基本功能运转。对于关键传感器与自动控制单元，应采用多点布置与交叉验证策略，提升信息采集的可靠性与一致性。控制系统设置误差检测与自动纠偏模块，在出现逻辑异常或数值偏离时可自主切换至安全模式，避免误操作引发次生风险。在人机交互层面，引入人工干预窗口与权限分级机制，在系统自主处理失败后由人工介入快速接管，形成技术自动控制与人工应急处置相结合的复合安全防线，增强整体系统

对不确定风险的韧性。

5.3 安全管理体系与智能系统融合的制度保障

智能化采矿技术在煤矿行业的持续推广，使得传统安全管理体系在实际应用中面临结构性调整与机制性重构的现实压力。为有效适应技术系统所带来的管理逻辑变化，企业需从制度层面对智能系统的各个功能模块进行职责划分与流程规范，明确运维责任边界与操作权限划定，建立涵盖感知监测、数据分析、风险评估、应急调度与自动执行全过程的标准化管理体系。通过制定系统运行与人员操作的双重流程制度，实现从设备运行状态到安全风险判定的直接映射，推动以系统数据为基础的风险识别与管理评价机制建设。制度建设中还需强化对系统稳定性的过程监督，嵌入自诊断程序、升级机制与容错调节方案，保障系统在突发情况下仍具备可控与可恢复能力。同时，应将平台记录的预警信息、行为轨迹、权限变更与处置记录等数据纳入绩效考核与安全评估，实现闭环式的数据追踪与责任落实。在组织架构上设立智能安全管理专岗，专职负责系统运行评估、技术平台维护、人员协同调配及制度更新对接，强化管理链条的完整性与技术管控的实效性。通过制度化保障手段与系统功能深度融合，推动管理体系从依赖人工经验向依托系统逻辑转型，实现矿山安全治理模式的系统升级与治理能力的持续跃升。

6 结语

智能化采矿技术的应用为煤矿安全生产注入了新动力，不仅显著提升了风险识别与应急处置能力，也推动了煤矿管理模式的深层变革。通过构建以感知、分析、决策、执行为一体的智能体系，煤矿企业能够实现作业流程的精细化管控与动态预警，在复杂环境中稳步提升本质安全水平。未来，应持续深化技术融合，优化制度配套，强化人员培训与系统韧性，推动安全管理与智能系统协同发展，构建高效、可靠、可持续发展的煤矿智能安全新格局。

参考文献

- [1] 孟繁伟.智能化技术对煤矿机电运输的影响与探究[J].中国设备工程,2025,(14):35-37.
- [2] 马建文.煤矿安全监控系统智能化水平的提升研究[J].能源与节能,2025,(07):149-151.
- [3] 孙黎明,吕日震,穆帅.智能化技术在煤矿机电运输中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2025,(13):139-141.
- [4] 王志强,唐劫.煤矿智能化开采技术的创新与管理研究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(13):148-150.