

Research on Technical Challenges and Scientific Innovation in Intelligent Coal Mining

Jiahang Li

Shaanxi Huaneng Yulin Coal and Power Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

Intelligent mining of coal mines is the only way to achieve safe, efficient, and green development of the coal industry. This article deeply analyzes the main technical difficulties faced in the current intelligent mining process of coal mines, including insufficient accuracy and real-time environmental perception under complex geological conditions, the need to improve the intelligent collaborative control level of mining equipment groups, and the incomplete intelligent safety guarantee system. In response to these difficulties, this article systematically explores corresponding technological innovation paths and solutions, focusing on key areas such as high-precision geological exploration and perception technology based on multi-source information fusion, intelligent collaborative control and optimization technology for mining equipment groups, intelligent safety risk warning and prevention technology based on big data and artificial intelligence, human-machine collaborative optimization technology for intelligent mining systems, and intelligent standard system and platform construction, providing strong technical support for the transformation, upgrading, and high-quality development of the coal industry.

Keywords

coal mine intelligence; Mining technology; Technical difficulties; Technological innovation; Intelligent mining system

煤矿智能化开采技术难点与科技创新研究

李佳航

陕西华电榆横煤电有限责任公司，中国·陕西 榆林 719000

摘要

煤矿智能化开采是实现煤炭工业安全、高效、绿色发展的必由之路。本文深入分析了当前煤矿智能化开采进程中面临的主要技术难点，包括复杂地质条件下环境感知的精准性与实时性不足、开采装备群智能化协同控制水平有待提升、智能化安全保障体系尚不完善等核心问题。针对这些难点，本文系统性地探讨了相应的科技创新路径与解决方案，重点研究了基于多源信息融合的高精度地质探测与感知技术、开采装备群智能协同控制与优化技术、基于大数据与人工智能的安全风险智能预警与防控技术、智能化开采系统的人机协同优化技术以及智能化标准体系与平台建设等关键领域，为煤炭行业的转型升级与高质量发展提供强有力的技术支撑。

关键词

煤矿智能化；开采技术；技术难点；科技创新；智能开采系统

1 引言

煤炭作为我国主体能源，其安全高效开采对国家能源安全与经济发展至关重要。近年来，随着物联网、大数据、人工智能、机器人等新一代信息技术的迅猛发展，煤矿智能化建设已成为煤炭工业高质量发展的核心方向与战略选择。国家层面相继出台多项政策，大力推动煤矿智能化建设，旨在通过科技创新提升煤矿本质安全水平、改善作业环境、提高生产效率。然而，煤矿井下环境极端复杂，具有强干扰、高粉尘、空间受限、地质条件多变等特点，对智能化技术的

适应性、可靠性与稳定性提出了严峻挑战。

2 煤矿智能化开采技术现状与发展趋势

2.1 智能化开采技术发展现状

从当前的技术应用来划分，基于综采工作面的智能化开采系统已经从单机自动化逐步向系统智能化发展。其应用表现如下：一是先进矿井已经具备采煤机基于记忆截割或基于地质模型引导的自动截割功能；二是初具采煤机动作带动下的液压支架自动跟机移架及成组控制技术；三是工作面运输系统中的刮板输送机、转载机、破碎机实现了联合的集中控制监测；四是煤矿采用了巡检机器人代替工人去监测设备状态以及生产环境参数等；五是初具以工业以太网为依托的矿山物联网体系构建，实现了系统间的一定数据传输通道

【作者简介】李佳航（1994-），男，中国山东邹城人，本科，工程师，从事煤矿智能化、信息化、矿山供电研究。

的构建。

2.2 智能化开采技术发展趋势

一是感知维度的深化,由单一的传感器向多传感器协同、由点状监测向空间连续探测发展,结合地质透明化技术,建立高精度、实时三维地质模型以及工作面环境模型,进而为智能决策提供有力保障。二是个体装备智能化程度的提高,采煤机、液压支架、运输系统等主体装备具有更高的环境感知能力、自我检测能力和基于复杂算法的自我决策能力,从程序化控制向智能化控制发展。三是系统化协作能力提升,通过统一的智能化管控平台,将采、掘、机、运、通、安各个子系统进行高度集成并进行智能化协同,全矿井智能运行。

3 煤矿智能化开采面临的关键技术难点

3.1 复杂地质条件下环境精准感知与建模难题

煤矿井下地质环境存在煤层厚薄变化大、断层多、顶底板岩性变化频繁、瓦斯区域异常、水文地质条件复杂等问题,对智能化开采系统的环境感知带来了极大的挑战。其中难点在于现有井下传感器在粉尘浓度高、湿度大、电磁干扰等因素严重的大环境下其精度、稳定性、寿命易受到影响,难以保证井下采集数据的连续性、准确性。井下小断层、陷落柱等小特征的细部探测和超前识别技术还不成熟,缺少高效率、高精度的随掘随探或随采随探技术。瓦斯、粉尘、水灾等多源灾害信息的多元融合与关联建模能力较弱,难以达到对灾害隐患准确定位和尽早预警分析的目标。针对不完整和不准确的井下感知数据所建立三维地质模型的精度不高,难以支撑采煤机等高精自动化设备的自适应控制,如何突破极端环境下井下高可靠感知技术、井下超前精细地质探测技术、多灾害信息智能融合建模等技术问题,是智能化开采中目前存在的首要瓶颈问题。

3.2 开采装备群智能协同控制与自主决策瓶颈

从采煤机、液压支架、刮板输送机等多个装备相互配合协同作业方面看,装备群的协同智能化控制与自主决策方面困难重重。困难原因有:各个装备间协同的控制逻辑难度较大,需要按照煤层赋存条件以及自身装备运转状态的变化不断进行控制逻辑的调整与优化,基于预先的规则约束实现的控制策略缺乏灵活与变动性,难以应对各种复杂工况;采煤机-支架间的精确空间位置协同控制难度较大,针对井下采煤工作面受条件限制的受限空间定位技术(惯性导航、里程计、UWB等)均存在定位的累积误差或者定位信号干扰等问题,影响了支架移架的空间位姿精度以及移架时序协同性;刮板输送机具有较大的负载变化,输送机的运行状态变化直接制约采煤机的速度变化,而采煤机-液压支架-运输机的装备全局动态优化控制的算法并不成熟;针对大型装备群间的通信实时性与可靠性保障与控制策略依然存在问题,即控制策略的通信指令在执行过程中存在较大时间延迟以

及通信的控制指令出现丢包现象时,难以实现作业的正常控制甚至导致事故发生;针对采煤机、支架等大型装备在突然工况(如大块煤矸、顶板不正常来压)下自主的应急决策不够成熟,仍需要人员人工干预。

3.3 智能化安全保障体系构建与可靠性挑战

安全是煤矿生产的永恒主题,智能化开采也对安全保障提出更高的要求,但同时也存在新的问题,主要是:传统安全监控系统基本是独立的子系统,数据杂乱,形成很多的数据孤岛,无法提供基于多系统数据融合的风险联动动态监测预警。瓦斯、水、火、顶板、粉尘、冲击地压等灾害的实时监测数据量巨大,有效信息提取和灾害演化规律的智能判读不足,灾害的预警精确性和时效性不高等问题。设备故障诊断主要基于阈值的报警、人工的定期检修、巡检等,基于运行数据实现设备早期故障智能预测与健康评估管理尚不深入,无法提供预防性维护手段。在极端工况或部分系统失效情况下,能否保证智能化系统支持人员安全撤离、能否提供安全的闭锁或降级运行等功能,其可靠性验证和保障机制尚不完整^[1]。

4 推动煤矿智能化开采的科技创新策略

4.1 突破地质透明化与精准感知技术

探索感知,主要是为了解决复杂地质条件下感知难的问题。要着力攻克地质透明化与高可靠感知技术,加大随掘随探、随采随探等高精度、抗干扰、一孔多能的多技术耦合随进工作面内部构造精细化成像和超前识别技术的发展力度,开发适应井下环境的新型智能传感器,实现瓦斯浓度、粉尘浓度、温度、湿度、压力、微震、设备振动等参数的高维度、实时、高精度感知,重点开展多源异构感知数据智能融合技术研究,采用人工智能算法对地质、环境、装备等状态数据进行动态相关分析,形成动态更新的高精度三维地质-工程模型,为智能决策提供“数字孪生”基础。开发应用基于光纤传感、量子传感等先进技术环境感知研究,增强系统的感知精度和可靠性^[2]。

4.2 强化开采装备群智能协同与自主控制能力

智能协同提高装备群的生产效率、确保生产安全是核心,科技创新应针对如下问题开展探索:研究多源融合的井下精准定位导航技术,如基于UWB、里程计、惯性导航、激光SLAM的井下定位技术,确保采煤机、液压支架等移动装备厘米级精准定位,为装备群协同控制提供时空基础。研究基于人工智能的装备群协同控制算法,采用强化学习、模型预测控制等方法进行采煤机割煤速度、液压支架移架步序与步距、刮板输送机运行速度的全局动态优化、实时自适应调整,使其适用于煤层变化与负载波动等。研究装备群故障在线智能诊断与预测性维护方法,从设备运行状况数据出发进行故障分析,提前判断可能发生的故障,改善设备检修计划,确保设备可靠运行^[3]。加强装备自主决策能力,赋予

其一定边界条件约束下的应急处置权限,如遇顶板异常自动闭锁或降速等,减少对人的依赖性。研究低延时、高带宽、高可靠的井下装备群工业控制网络,确保控制指令实时可靠传输。通过装备智能、控制智能和网络智能,使装备群由机械化协同向智能化协同迈进。

4.3 构建基于大数据与人工智能的安全智能预警防控体系

一要通过科技创新构建智能化安全保障体系。实施数据共享工程。构建煤矿安全大数据平台,实现安全监控、人员定位、设备状态监测、视频图像、地质等全面集成统一的数据采集、接入、处理和应用,开发以大数据分析处理及人工智能算法为理论基础的多灾害耦合风险智能化安全预测、预报警模型,如利用机器学习算法分析瓦斯涌出趋势、微震信号辨识预警冲击地压、融合水害地质参数判别突水危险程度等,从而实现超前、预知预报警灾害隐患。发展人工智能视频识别技术。智能识别人员不安全行为、设备故障、巷道变形等风险;强化“空、灵、活”智能化视频平台的研发。实现对现场风险的及时分析研判。发展智能视频分析技术,自动识别人员违章、设备异常状态、巷道变形等安全隐患,提升监控效率。一旦遇到预警情况,煤矿应急联动或指挥系统自动执行防控措施,如区域限制供电、人员安全撤离引导、应急排水等,辅助管理人员决策,强化网络安全防护。通过科技创新手段,实现由被动保障安全到安全超前、主动预测防控的跨越式改变,全面提升煤矿安全生产“智能化”水平和本质安全保障能力。

4.4 优化智能化开采人机协同交互与决策机制

智慧开采不应是为了替代人,而是为了更好地发挥人的效用、保障人的生命安全的人机协同开采。通过智能技术创新,进一步重视以下几个方面:开发人工智能化的交互界面和决策信息,基于虚拟和现实技术,构建虚拟沉浸式地面实时监控操作界面,让人能够在地面看到真实井下情况,并顺利对井下情况轻松地进行操作或指挥;开发智能辅助决策系统,基于实时数据、事前规则库等为地面管理层决策提供更好的生产组织、计划优化、设备检修、安全风险管理等决策优化依据;开展智能化系统与人工经验的深度融合机制,将领域专家的知识经验转化为机器可理解的规则或模型,同时保留人工在复杂、突发情况下的最终决策权,形成优势互补;探索不同智能程度时人机功能的最佳分配方式和不同阶段的人的技能培训和角色变更策略,以期达到人机协同最优效应。

4.5 推进智能化标准体系与开放平台建设

基础设施标准化、平台化支撑煤矿智能化规模化、可

持续发展。科技创新同时发力:加快推进煤矿智能化标准体系建设,从标准、参数及接口协议上统一煤矿智能装备制造、应用及服务标准体系,包括统一通信协议、数据接口标准、设备互联互通标准、信息安全标准、智能化评级评价标准等,破解不同厂商设备及系统之间的对接标准,助力煤矿智能化产业良好发展。开发具备强大的智能化综合管控和丰富的扩展接口的综合管控平台,功能具备数据融合、集中监视、智能分析、联动控制、决策支持等作用,支持可扩充的模块插件或第三方应用,为矿山智能化各类应用软件提供基础运行环境和技术支持,鼓励产学研用联合攻关,建设煤矿智能化相关测试验证平台或开放实验室,以最快速度孵化新技术、培养新人才、构建新技术生态圈。鼓励支持我国自主研发煤矿智能化核心的软件和硬件,加快煤矿智能化核心软硬件的自主化研制及应用,进一步提高我国煤矿智能化核心产品产业链上的自主创新能力。以标准统领、平台驱动等手段,有效缓解智能化建设过程中技术、人员等方面的投入高、集成成本高等问题,加快推动智能化技术在煤炭行业的“开花”“结果”,并全面提升煤矿智能化技术的应用范围及水平,实现煤矿从“点线突破”到“面”的推进。

5 结语

煤矿智能化开采是煤炭工业实现安全、高效、绿色发展的关键技术创新,是煤炭开采技术未来发展方向。论文全面剖析现有煤矿智能化开采在复杂地质精细感知、开采装备群协同智能、安全保障体系构建等方面面临的核心技术问题,针对性提出基于地质透明与精准感知、基于装备群智能协同的开采技术控制、大数据与人工智能安全保障、人机协同的控制技术优化、基于标准体系与平台建设等五大科技创新策略;认为煤矿智能化开采能够克服现有挑战,必须通过持续全面地开展科技创新,突破感知与探测技术、技术装备群协同智能控制技术、安全保障体系构建等技术瓶颈,才能有效解决煤矿智能化开采在技术方面遇到的关键性难题,使之技术持续升级。未来煤矿智能化将随着新一代信息技术迭代和与煤炭开采的深度融合,技术进一步提升,实现煤矿少人/无人安全高效开采。

参考文献

- [1] 吴群英,胡俭,刘凯,等.浅埋多煤层群协调绿色开采关键技术研发与实践[J].煤炭科学技术,2024,52(9):19-30.
- [2] 魏文艳.我国煤矿智能化发展及技术创新[J].煤炭经济研究,2024,44(8):102-108.
- [3] 胡明军.贵州豫能新田煤矿:智能化开采驶入“快车道”[J].能源新观察,2023(1):35-37.