

Exploration of Efficient Production Process of Fully Mechanized Mining Face under Intelligent Mining Mode

Shupeng Qi

Beijing Tianma Intelligent Control Technology Co., Ltd., Beijing, 101300, China

Abstract

Efficient production of fully mechanized mining face under intelligent mining mode requires the construction of a scientific overall framework, covering multiple levels such as technology and management. The key points of its efficient production process are highlighted: deep integration of intelligent perception and dynamic decision-making system to achieve precise perception and intelligent decision-making of the production environment; Breakthroughs have been made in intelligent collaborative control technology for device groups, achieving efficient linkage between devices; Intelligent reconstruction of adaptive mining technology, dynamically optimized based on geological conditions; Innovative construction of human-machine collaborative safety guarantee system, ensuring safety from multiple dimensions of technology, management, and culture, and promoting efficient production of fully mechanized mining face. The research on efficient production technology of fully mechanized mining face under intelligent mining conditions is of great significance. It can achieve certain results in process optimization and safety assurance, and also improve production efficiency.

Keywords

intelligence; Fully mechanized mining face; production

智能化开采模式下综采工作面高效生产工艺探析

齐树鹏

北京天玛智控科技股份有限公司, 中国 · 北京 101300

摘要

智能化开采模式下综采工作面高效生产需构建科学总体架构, 涵盖技术、管理等多层面。其高效生产工艺要点突出: 智能感知与动态决策系统深度融合, 实现生产环境精准感知与智能决策; 设备群组智能协同控制技术取得突破, 达成设备间高效联动; 自适应开采工艺智能化重构, 依据地质条件动态优化; 人机协同安全保障体系创新构建, 从技术、管理、文化多维度保障安全, 推动综采工作面高效生产。智能化开采条件下综采工作面高效生产工艺的研究具有重要意义, 工艺优化、保障安全方面都可取得一定成果, 而且还会提高生产效率。

关键词

智能化; 综采工作面; 生产

1 引言

煤炭工业智能化发展过程中, 综采工作面高产高效是主要方向, 在智能化开采条件下, 综采工作面发生巨大变化。合理的设计方案是前提, 但是对高效生产工艺的研究尤为重要。从智能化感知到设备间的配合, 从工艺优化到安全防护, 各个方面互相影响, 把握好每一个方面都能提高综采工作面生产水平, 促进中国煤炭工业智能化的发展。

2 智能化开采模式下综采工作面高效生产总体架构设计

智能化开采模式下综采工作面高效生产总体框架设计需要围绕“感知-决策-执行-优化”闭环进行, 形成多层次合作的智能化系统。整个系统以地面调度指挥中心作为决策中心, 利用工业以太网以及 5G 融合组网方式连接井下集控平台、设备执行层及感知层之间信息传输。感知层安装多种异构传感器组成的网络, 包括激光雷达、惯导、高清摄像机以及各种环境探测器等, 获取设备运行情况、煤层厚度、顶板压力、瓦斯含量等, 供智能决策使用。

决策层利用数字孪生技术建立虚拟工作面, 在大数据和人工智能支持下进行地质建模、设备故障预警以及生产计划优化等, 如基于机器学习的煤岩识别方法可以及时改变采

【作者简介】齐树鹏 (1998-), 男, 中国河北辛集人, 硕士, 助理工程师, 从事煤矿智能化研究。

煤机截割路线，而借助惯性导航与行程传感器组合定位方法保证刮板输送机平直度，提高整个运输系统的可靠性；此外，智能化决策系统还可以与液压支架自动控制相结合，依据顶板压力大小来改变支撑力大小从而达到“支架-围岩”的协调关系^[1]。

执行层包括采煤机、液压支架、刮板输送机等设备，采用电液控制并接入远程操控平台进行多机联合工作，如采煤机智能化截割可以进行路径规划、记忆割煤以及远程干预，“三机”智能化运输系统对功率调节和平直度智能调节也可以满足复杂地形要求。同时有视频监控及应急救援系统包含疲劳检测与紧急疏散方案并且利用区块链技术对事故发生进行责任倒查，全方位保护工作人员人身安全。

此架构利用云计算及边缘计算减少时延，在微服务基础上实现功能可灵活添加，从而实现“自主感知—智能决策—精确执行—不断改进”，使得综采朝着少人化乃至无人化的方向发展^[2]。

3 智能化开采模式下综采工作面高效生产工艺要点

3.1 智能感知与动态决策系统的深度融合

在智能化开采过程中，智能感知与动态决策相结合，是实现综采工作面向“机械化”到“智能化”的一个重要推动力量。这不仅仅克服以往传统开采中信息滞后以及依靠人工经验的问题，同时形成一个能够自主感知、自主分析、自主决策的“智慧大脑”，将千米以下矿井生产透明化、可控化、高效化^[3]。

利用全方位覆盖的工作面立体感知体系，高精度惯性导航就像一个“指南针”，不断修正采煤机的空间方位，使截割路径准确无误；而激光雷达以及多光谱成像仪犹如一双“千里眼”，透过灰尘与黑暗，观察煤层起伏、夹矸位置和顶板裂缝等信息；分布式压力传感器更是一种灵敏的“触觉”，能够及时反映支架载荷以及围岩情况变化。以上各种信息形成一条细流，在虚拟世界里重建了一个“地质-设备-环境”的真实数字孪生体。这个数字孪生体不再是一张死板图纸，而是随着生产进行而跳动的生命体，对后续决策奠定良好基础。

动态决策系统不再采用以往基于驾驶员经验“盲割”，而是利用机器学习以及深度学习方法从大量感知信息中提取有用内容并进行预测，在截割方面可以根据生成煤岩层硬度分布图自适应选择避开硬质夹矸、提高采出率路线并且可以自主调节滚筒转速及牵引速度从而减少对刀具磨损同时提高煤炭品质；而在顶板控制方面可以通过对离层以及支架压力变化趋势进行分析从而提前发现潜在危险区域然后发出相应信号让液压支架及时伸出护帮或者加大支撑力以防止事故发生。

这种“感知-分析-决策-执行”反馈回路对整个生产

工艺起到优化作用，在遇到千差万别的地层时，系统不会消极等待，而是积极改变自身操作方式来保证生产顺利进行并且安全可靠。这大大减少了工人的工作量以及危险程度，同时也因为精确的操作提高了矿石回收率及机器寿命。因此可以说智能化感知加上灵活决策正在改变传统煤炭开采理念并朝着更加安全、高效、环保方向发展。

3.2 设备群组智能协同控制技术的突破

综采工作面是地下的一个“交响乐团”，有采煤机、液压支架、刮板输送机、转载机等一系列几十台大型机械要在有限的空间里频繁互动。过去，这些机器就像一个个“信息孤岛”，靠人的指挥或者简单的逻辑联锁来实现彼此之间的沟通，很容易因为反应迟钝、配合不当而造成生产的混乱，甚至出现互相撞在一起或者把煤堆起来的情况。而智能化开采的最大进步之处就是建立了高速低延时的通讯系统以及一套协调一致的操作方式，使它们能够像一个整体一样行动，而不是各自为战。

从横向协同来看，采煤机与液压支架的“截割—支护”协同是工序控制的新高度，在5G或F5G工业网下，采煤机的位置、牵引速度以及截割高度等重要信息以接近零时延的方式传送到支架电液控制系统中，系统根据预先设定的空间时间关联关系进行跟机移架、推溜和成组动作，避免了人的干预带来的时间滞后性和判断失误等问题。这一协同配合使工作面“三直一平”保持良好状态的同时，在复杂地质条件下也能够做到支护与截割的良好衔接，提高了工作效率和安全性。

在纵向协同方面，智能化技术串联起工作面至主井“产-运-销”的全过程。系统不再单独考虑某一设备，而是把工作面生产能力、顺槽转载能力和主运输皮带输送能力作为一个整体看待，在线检测煤流量大小、电动机电流大小以及煤仓存煤量的变化情况，智能化调控采煤机截割速度和刮板输送机运行频率。一旦发现下游运输受阻，就使上游设备降低速度减轻负担；而当运输有富余时就可加快生产释放产能。这样一种优化配置资源的方式可以防止出现“前堵后空”或者“供过于求停止工作”，从而实现生产的协调有序进行。

另外，协同控制还应用于设备整个生命周期管理中，在系统基础上搭建基于状态监测预防性维护平台，实时获取设备振动频谱、温度场分布以及油液中磨粒等微小信息，通过大数据故障诊断算法，可以准确判断出重要元件劣化情况，从而做到提前预见性维修而不是发生故障后再进行维修，大大减少意外停工时间的同时也增加了设备寿命，有利于企业稳定生产运行。

3.3 自适应开采工艺的智能化重构

而在传统的综采工作中，地质条件的复杂多变一直是影响生产效率和安全生产的主要问题。对于煤层厚度变化、断层发育以及顶板岩性等，传统的做法都是依靠人的经验和主观判断来应对，这使得反应迟缓、准确率低并且容易造成

资源的浪费甚至事故的发生。而智能化开采的解决方法就是应用自适应控制的方法,把固定的操作模式变成灵活的操作方式,使煤炭开采由原来的粗放型“一矿一策”转变为精确化的“一面一策”,甚至是更加细致的“一米一策”。

在截割工艺改进方面,智能调高实现从“盲割”到“精切”。基于先进的煤岩识别技术和记忆截割算法,可以及时判断出煤层情况并给出最优截割路径,在煤层有变化情况下,滚筒高度会以毫秒级别进行微调,保证切割面平直的同时又使顶煤遗留在最低程度以及底煤损失最少,最大限度提高煤炭回收率;而在遇到地质条件较差地方时,则不会盲目作业,而是采取“人为操作+智能化辅助”方式。利用三维可视化界面,系统把隐藏的地质风险显示给操作者,使操作者做出正确判断,在恶劣情况下也能保证正常、安全地进行截割。

支护工艺智能化是实现由“被动支撑”到“主动防护”。智能支护系统不是采用固定支护参数,而是根据顶板岩性和埋深以及构造应力场等因素进行实时监测,给出最佳支护参数。对于破碎顶板,自动增加支架动作次数以及加大初撑力,形成良好防护;而对坚硬顶板,则自动减少支护力度以节省能源消耗,在经过断层、陷落柱等地质构造时,使用数值模拟方法预测顶板运动趋势,及时改变支护方式及推进速度,预防冒顶发生,达到支护与地质条件良好配合。

在特厚煤层综放工作面,放煤工艺智能化改革破解了长期以来困扰行业的“煤矸混杂”。基于“时间-空间-运能”的三维协同优化策略,系统对整个放煤过程进行全方位、全过程管理。根据顶煤放出曲线以及后部输送机载荷情况,自动计算并设定每个放煤口开启时间和开度。这不但大大增加原煤回收率,而且减少矸石混入,提高原煤质量,而且避免由于放煤不均造成后部输送机超载或空转,实现经济和安全效益双丰收。

3.4 人机协同安全保障体系的创新构建

智能化开采的美好愿望是达到“少人化、无人化”,但并不是简单地用机器代替人,而是要进行一场以建立完善的人机协同安全保障为基础的重大革命。“技术赋能、管理重塑、文化升维”三位一体,形成多重防护屏障,在高产的同时把人的生命放在第一位。

从技术角度来看,智能化工作面形成“天眼+地网”的全方位防护。先进的人员定位如同看不见的眼睛时刻监控

每一个工人位置。如果有人进入禁区或者机器有异动,系统可以在极短时间内发出警报并且立即停止运转,从而切断事故发生源。而摄像头安装上AI“智慧大脑”,不仅可以二十四小时监控还可以自主发现工人未戴安全帽、违章跨越等不良习惯以及设备偏离轨道、断裂等问题。同时,环境监测系统对瓦斯浓度、粉尘密度以及温度等进行实时监控,如果出现异常,立即启动通风、喷雾降尘设备,把事故消除在萌芽状态,实现了由“亡羊补牢”到“未雨绸缪”。

从管理上讲,智能化使煤矿安全管理模式由原来的“人盯人”到现在的“以数据为中心”的变化。以前的安全管理主要依靠经验和巡查,有漏洞也有滞后性。现在基于智能安全管理系统,管理者可以通过数字孪生可以看到井下实际情况并且能够准确地判断出隐患并采取措施。系统自动生成的安全日报以及风险评估报告为安全管理提供有力支持,做到闭环管理。同时利用虚拟现实技术开展安全培训,用真实感强的场景模拟透水、火灾、冒顶等情况,使职工身临其境学习如何应对突发情况,大大提高了全体员工的实战能力。

从文化上讲,“科技兴安”成为智能化开采的新生态。伴随着大量智能化设备的应用,一线生产者身份也发生巨大改变:“操作工”变成了“监控员”、“决策者”,这对他们的安全意识以及能力都提出新的挑战。企业开展全面智能化培训工作,使他们掌握数据分析、远程控制以及故障判断等一系列新技术,培养出一批既有专业知识又能分析问题并且能够解决突发情况的技术人才。“科技兴安”文化使人们不再只是单纯的操作者与被操作对象,而是相互信任并能够共同合作的一体化伙伴,这是智能化开采得以长期稳定发展的最根本力量所在。

4 结语

在今后发展中,伴随着不断的技术进步和完善,智能化开采会越来越成熟,对中国煤炭行业发展起到更加积极的作用,使其在全球能源转型过程中处于更有利的位置。

参考文献

- [1] 张展华. 智能化综采工作面顶板及围岩控制技术研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (24): 43-45.
- [2] 郑彦鹏. 综采工作面智能化开采技术的应用与优化[J]. 能源与节能, 2025, (12): 289-292.
- [3] 武瞰, 庞如英. 煤矿智能化综采工作面区域安全评价指标体系构建[J]. 山西焦煤科技, 2025, 49 (12): 40-43+52.