

# 煤矿井下工作面智能化开采技术的研究

赵 耀

汇能控股集团神木市银源矿业有限公司 陕西 榆林 719000

**摘要:** 随着煤炭行业转型加速,煤矿井下工作面智能化开采技术的研究愈发关键。本文聚焦煤矿井下工作面智能化开采技术展开研究。首先阐述智能化开采技术的内涵与架构,为理解该技术奠定基础。接着深入剖析关键技术,涵盖定位导航与智能调高、围岩智能耦合控制、智能化放煤控制、大断面巷道变形智能控制以及掘进机智能化技术等方面。最后探讨其未来发展趋势,包括技术融合、完全无人化开采、数字孪生技术深化应用以及机器人集群协作等。旨在为煤矿井下智能化开采提供全面的理论支持与技术展望,推动煤炭行业安全高效发展。

**关键词:** 煤矿井下;工作面;智能化;开采技术;研究

引言:煤炭作为我国重要的基础能源,在能源结构中占据关键地位。然而,传统煤矿开采方式存在劳动强度大、安全风险高、生产效率低等问题。随着科技的不断进步,智能化开采成为煤矿行业发展的必然趋势。煤矿井下工作面智能化开采技术融合了多种先进技术,能够实现开采过程的自动化、智能化控制,有效提高生产效率、降低安全风险、减少人力成本。深入研究煤矿井下工作面智能化开采技术,对于推动煤炭行业转型升级、实现可持续发展具有重要的现实意义和战略价值。

## 1 煤矿井下工作面智能化开采技术概述

### 1.1 智能化开采技术内涵

智能化开采技术是煤炭开采领域在机械化、自动化基础上,借助信息化与工业化深度融合实现的深刻变革。其核心内涵体现在三方面:一是设备具备智能化自主作业能力,如采煤机可依据记忆截割程序自动完成截割动作,液压支架能根据采煤机位置自动跟机移架,无需人工直接干预;二是实时获取并更新采掘工艺数据,涵盖地质条件、煤岩变化、设备方位、开采工序等,为智能调控提供依据;三是能根据开采条件变化自动调控采掘过程,例如通过煤流负荷反馈技术,实时检测刮板输送机煤流负荷,利用变频技术控制其传输速度,实现采装运自动协调。智能化开采以成套装备总控制网络信息综合决策为主,单机装备为执行机构,构建起相互联系、依存、制约的采煤系统,实现工作面连续、安全、高效开采。

### 1.2 智能化开采技术架构

智能化开采技术架构以物联网、大数据、人工智能等现代信息技术为支撑,构建起智能设备、物联网平台、大数据分析系统、人工智能算法的协同体系。智能设备是核心,通过安装传感器、执行器等,传统设备升

级为可远程监控、自动调节、故障预警的智能装备,如智能掘进机可根据地质条件自动调节参数。物联网平台作为数据中枢,将井下设备、传感器连接成庞大网络,实现数据实时采集、存储、分析,为生产管理提供全面信息。大数据分析系统是智能大脑,深度挖掘数据,预测设备故障、优化作业流程。人工智能算法是创新引擎,运用机器学习、深度学习等,实现地质灾害精准预警、生产环境智能识别<sup>[1]</sup>。

## 2 煤矿井下工作面智能化开采关键技术

### 2.1 定位导航与智能调高技术

煤矿井下工作面定位导航与智能调高技术是智能化开采的关键支撑,直接关系到设备运行的精准性与截割作业的高效性。在定位导航方面,由于井下空间封闭、环境复杂,传统卫星导航无法使用,因此多采用多传感器融合的定位方式。通过惯性导航系统(INS)提供连续的姿态与位置信息,结合超宽带(UWB)定位技术实现局部高精度定位,利用激光雷达或视觉传感器进行环境感知与地图构建,三者数据融合可有效提升定位的准确性与抗干扰能力。同时,5G通信技术的引入,保障了定位数据的高速、稳定传输,为实时控制提供可靠支撑。智能调高技术则聚焦于采煤机滚筒高度的动态调整,以适应煤层厚度的变化。该技术依托煤岩识别系统,通过太赫兹雷达、红外热成像、振动分析等多模态感知手段,实时获取煤岩界面信息。结合地质建模与机器学习算法,系统可预测煤层起伏趋势,并自动规划最优截割路径。此外,基于数字孪生的虚拟调试技术,可在实际作业前模拟不同工况下的调高策略,优化控制参数,从而减少现场调试时间,提升截割效率与资源回收率。

### 2.2 围岩智能耦合控制技术

围岩智能耦合控制技术是煤矿井下工作面智能化开

采的核心环节,旨在通过多物理场协同感知与动态调控,实现围岩与支护系统的智能匹配,保障开采过程的安全与高效。该技术以“感知-决策-执行”闭环控制为核心,首先利用高精度传感器网络实时监测围岩应力、应变、位移及声发射等参数,结合微震监测技术捕捉围岩破裂前兆信息,构建多源数据融合的围岩状态感知体系。其次,基于大数据分析机器学习算法,建立围岩稳定性预测模型,动态评估不同开采阶段围岩的失稳风险,并划分安全等级。在决策层面,通过多目标优化算法,综合考虑围岩条件、支护成本与开采效率,生成最优支护参数组合,实现支护强度与围岩变形的智能耦合。执行环节则依托电液控制液压支架、自适应锚杆(索)等智能支护装备,根据决策指令自动调整支护阻力、支护间距或预紧力,形成动态支护体系。此外,该技术还融入数字孪生理念,通过虚拟仿真验证控制策略的有效性,减少现场试验成本,进一步提升围岩控制的精准性与可靠性,为智能化开采提供坚实的安全保障。

### 2.3 智能化放煤控制技术

智能化放煤控制技术是提升综放工作面资源回收率与生产安全性的关键,其核心在于通过多参数协同感知与智能决策,实现放煤过程的精准控制与动态优化。该技术以“感知-分析-执行”闭环为框架,首先利用高精度传感器网络实时采集顶煤厚度、煤矸分界、支架压力、放煤口流量等关键参数,结合红外热成像、振动频谱分析等无损检测手段,构建多维度放煤状态感知体系,精准识别煤矸分界面位置与放煤进程。其次,基于机器学习算法建立放煤过程动态模型,融合地质勘探数据与实时监测信息,预测顶煤冒落规律及矸石混入趋势,并通过多目标优化算法生成最优放煤策略,平衡回收率、含矸率与生产效率。执行环节则依托电液控制放煤系统,根据决策指令自动调节放煤口开度、放煤速度及放煤顺序,实现单架精准放煤或多架协同控制。此外,该技术还融入数字孪生与虚拟调试功能,通过仿真平台模拟不同工况下的放煤效果,优化控制参数,减少现场调试时间,进一步提升放煤控制的智能化水平与适应性,为综放工作面高效、安全开采提供技术支撑。

### 2.4 大断面巷道变形智能控制技术

大断面巷道变形智能控制技术是保障深部开采或复杂地质条件下巷道稳定性的核心手段,其通过多源信息融合感知与动态调控,实现支护结构与围岩变形的智能协同。该技术以“实时监测-智能分析-主动支护”为闭环控制框架,首先利用分布式光纤传感、激光扫描及三维雷达等设备,构建巷道表面位移、深部围岩应变、支护

结构受力等多参数监测网络,结合微震监测捕捉围岩破裂前兆,实现变形信息的全时空覆盖与高精度感知。其次,基于大数据挖掘与机器学习算法,建立巷道变形预测模型,融合地质条件、开采扰动、支护参数等多元数据,动态评估变形风险等级,并划分预警区域。在决策层面,通过多目标优化算法生成最优支护方案,综合考虑支护强度、成本及施工效率,实现支护参数与围岩变形的智能匹配。执行环节则依托自适应锚杆(索)、可伸缩钢支架等智能支护装备,根据变形监测数据自动调整支护阻力或预紧力,形成动态支护体系。此外,该技术还融入数字孪生技术,通过虚拟仿真验证控制策略的有效性,优化支护设计,减少现场试验成本,为大断面巷道长期稳定提供智能化解决方案。

### 2.5 掘进机智能化技术

掘进机智能化技术是提升巷道掘进效率与安全性的关键,其通过多系统集成与智能算法融合,实现掘进过程的自主感知、决策与执行。该技术以“环境感知-路径规划-动态调控”为核心闭环,首先利用激光雷达、视觉传感器与惯性导航系统,构建掘进工作面三维空间模型,实时识别煤岩界面、障碍物及巷道轮廓,为智能掘进提供精准环境数据。其次,基于地质勘探数据与实时监测信息,结合强化学习算法动态规划最优截割路径,自动调整截割头转速、推进速度及摆动角度,实现截割参数与煤岩硬度的智能匹配,减少设备磨损与能耗。执行环节则依托电液控制系统与远程操控平台,实现掘进机自主行走、定向截割及自动调平,同时集成故障诊断与预警功能,通过振动、温度等多参数监测,提前识别设备异常状态。此外,该技术还融入数字孪生与虚拟调试技术,通过仿真平台模拟不同地质条件下的掘进效果,优化控制策略,减少现场调试时间<sup>[2]</sup>。

## 3 煤矿井下工作面智能化开采的未来发展趋势

### 3.1 技术融合发展

未来煤矿井下工作面智能化开采将呈现多技术深度融合的发展态势。一方面,5G、工业互联网与智能化开采技术的融合将进一步深化。5G网络凭借其高速率、低时延、大容量的特性,能实现井下设备之间更高效、稳定的数据传输,让远程操控、实时监测更加精准流畅;工业互联网则可构建起覆盖全矿井的数字化生态,实现设备、人员、物料等要素的全面互联与智能协同。另一方面,人工智能、大数据与智能化开采技术的融合将更加紧密。人工智能算法能够对海量的开采数据进行深度挖掘和分析,实现故障预测、生产优化等智能决策;大数据技术则为人工智能提供丰富的数据支撑,通过不断

积累和更新数据,提升模型的准确性和适应性。此外,虚拟现实(VR)、增强现实(AR)技术也将逐步融入,为井下作业人员提供直观的操作指导和培训,进一步提升开采效率和安全性,推动煤矿智能化开采迈向更高水平。

### 3.2 完全无人化开采

完全无人化开采是煤矿智能化发展的终极目标,未来将逐步从“少人化”向“无人化”深度迈进。随着定位导航、智能感知、自主决策等技术的持续突破,井下设备将具备更强的环境适应能力和自主作业能力。采煤机、掘进机等核心装备可依据预设程序与实时感知数据,独立完成截割、支护、运输等全流程作业,无需人工现场干预。同时,借助5G、工业互联网构建的远程监控与指挥系统,地面控制中心能实时获取井下设备的运行状态、生产数据等信息,实现对开采过程的全方位、精细化管控。一旦设备出现故障或异常情况,系统可自动触发预警机制,并指导远程维修或启动备用设备,确保生产连续性。完全无人化开采不仅能大幅降低井下作业人员的劳动强度和安全风险,还能提高开采效率和资源利用率,推动煤炭行业向绿色、安全、高效的方向转型升级,是未来煤矿发展的必然趋势。

### 3.3 数字孪生技术深化应用

数字孪生技术将在煤矿井下工作面智能化开采中实现更深层次的应用与融合。未来,通过构建高精度、全要素的井下工作面数字孪生模型,能够实时映射物理开采场景的每一个细节,包括设备运行状态、围岩变形情况、煤流运输动态等,实现虚拟与现实的无缝交互。在开采前,可利用数字孪生模型进行开采方案的模拟与优化,提前预测不同工况下的生产效果、安全风险及设备负荷,为实际开采提供科学依据。开采过程中,基于实时数据驱动的数字孪生体能够动态更新,对开采过程进行实时监控与智能分析,及时发现潜在问题并给出调整建议。此外,数字孪生技术还可用于设备故障预测与健康健康管理,通过对设备运行数据的深度挖掘,提前预警设备故障,指导精准维护,减少停机时间。

### 3.4 机器人集群协作

未来煤矿井下工作面智能化开采中,机器人集群协作将成为重要发展方向。不同类型的机器人将依据各自功能定位,形成高效协同的作业体系。巡检机器人可凭借灵活的移动能力和高精度传感器,对井下环境、设备状态进行实时巡查,及时发现安全隐患与设备故障,并将数据快速反馈至控制中心。运输机器人则负责物料与煤炭的自动化转运,根据生产需求精准配送,提高运输效率。而作业机器人,如采煤机器人、支护机器人等,能依据预设程序与实时指令,完成复杂的开采与支护任务。通过集群控制算法,各机器人可实现信息共享与任务分配,根据现场情况动态调整作业顺序与协作方式。例如,在遇到复杂地质条件时,巡检机器人迅速反馈信息,运输机器人提前调整运输路线,作业机器人则改变开采策略,共同应对挑战。机器人集群协作将大幅提升开采的自动化、智能化水平,降低人工干预风险,推动煤矿开采向高效、安全、绿色方向发展<sup>[3]</sup>。

### 结束语

煤矿井下工作面智能化开采技术研究是煤炭行业顺应时代发展、实现转型升级的必然选择。从定位导航、围岩控制到放煤、掘进等关键技术的突破,再到未来技术融合、无人化开采、数字孪生深化应用以及机器人集群协作等趋势的展望,每一步进展都凝聚着科研人员的智慧与努力。尽管当前研究已取得诸多成果,但仍面临诸多挑战。未来,需持续加大研发投入,加强产学研用深度融合,不断攻克技术难题,推动智能化开采技术迈向更高水平,为煤炭行业安全、高效、绿色发展筑牢坚实基础。

### 参考文献

- [1]郭金刚,李化敏,王祖洸,等.综采工作面智能化开采路径及关键技术[J].煤炭科学,2021,49(1):128-138.
- [2]刘泽宏.综采工作面智能化开采技术分析[J].能源与节能,2021(9):144-145.
- [3]王昕,张学亮,刘清.智能开采工作面建设解决方案及对策建议[J].中国煤炭,2021,47(9):77-84.