

煤矿智能化开采技术研究

侯嘉恒 王 念

陕西彬长文家坡矿业有限公司 陕西 咸阳 713500

摘要: 煤矿智能化开采技术依托现代信息技术与采矿工程深度融合,构建集感知、决策、执行于一体的闭环系统。其核心在于通过多源异构数据采集、5G通信、AI算法与数字孪生技术,实现开采全流程动态感知、智能决策与自主调控。该技术显著提升开采效率,降低安全风险与资源浪费,推动煤矿向少人化、自适应、高效协同及绿色低碳方向转型,是煤炭产业可持续发展的关键路径。

关键词: 煤矿;智能化;开采技术

引言:煤炭作为我国能源结构中的主体资源,其开采方式正经历从机械化向智能化的深刻变革。面对传统开采模式存在的安全风险高、效率低、资源浪费严重等问题,煤矿智能化开采技术通过融合物联网、人工智能、5G通信等前沿科技,构建起全流程自主感知、智能决策与精准执行的闭环系统。该技术不仅为煤矿安全生产提供保障,更是推动行业绿色低碳转型、实现高质量发展的核心驱动力,对保障国家能源安全具有重要战略意义。

1 煤矿智能化开采技术体系架构

1.1 智能化开采的内涵与特征

(1) 定义:煤矿智能化开采是依托现代信息技术与采矿工程深度融合,构建集感知、决策、执行于一体的闭环系统。该系统通过对开采全流程的动态感知,经智能分析形成决策方案,再驱动装备精准执行,实现开采过程的自主调控。(2) 核心特征:一是少人化,通过装备自动化与远程操控减少井下作业人员,降低安全风险;二是自适应,可实时适配地质条件、设备状态变化,动态调整开采参数;三是高效协同,实现各环节装备、系统的协同联动,提升开采效率;四是绿色低碳,通过精准开采减少资源浪费,降低能耗与污染物排放。

1.2 技术体系分层模型

(1) 感知层:核心是多源异构数据采集,通过地质传感器、设备监测终端、环境监测装置等,全面采集地质构造、煤层赋存、设备运行参数、井下温湿度、瓦斯浓度等关键数据,为后续环节提供数据支撑。(2) 网络层:构建基于5G与工业互联网的实时通信架构,凭借5G低时延、高带宽、广连接特性,实现感知数据的实时传输、决策指令的精准下达,保障各层级间的高效通信与协同。(3) 决策层:以AI算法与数字孪生技术为核心,通过AI算法对采集数据进行分析挖掘,结合数字孪生构建的虚拟开采场景进行模拟推演,生成最优开采决策与参

数方案。(4) 执行层:依托自动化开采装备与采矿机器人,如智能采煤机、液压支架、巡检机器人等,按照决策指令完成割煤、支护、运输等作业,实现开采过程的自动化执行^[1]。

1.3 关键技术模块

(1) 智能地质勘探与建模技术:整合地质勘探数据,利用三维建模与AI预测算法,构建精准的地质模型,提前预判地质异常,为开采方案制定提供地质依据。(2) 透明化工作面构建技术:通过多源感知数据融合与数字孪生映射,实现工作面地质、设备、环境信息的实时可视化呈现,打造“透明化”作业场景,支撑精准开采。(3) 自主导航与路径规划技术:保障采矿机器人、运输装备在复杂井下环境中自主定位,动态规划最优行进路径,提升装备作业灵活性与效率。(4) 远程操控与故障诊断技术:通过远程可视化监控系统实现对井下装备的远程操作,结合AI故障诊断算法实时监测设备状态,提前预警并诊断故障,降低停机时间。

2 煤矿智能化开采核心技术研究

2.1 智能感知与数据融合技术

(1) 多传感器融合技术:煤矿井下环境复杂恶劣,单一传感器难以实现全面精准感知,需整合激光雷达、红外、声波等多种传感器协同工作。激光雷达凭借高精度测距优势,可精准捕捉工作面煤层界面、地质构造等空间信息;红外传感器能实时监测设备温度异常及井下火灾隐患;声波传感器可有效探测瓦斯泄漏、围岩松动等隐蔽风险。通过多传感器数据的互补融合,结合卡尔曼滤波、贝叶斯估计等融合算法,消除单一传感器的测量误差与数据冗余,提升感知数据的可靠性与全面性,为后续决策提供高质量数据支撑。(2) 边缘计算与数据清洗方法:井下数据具有海量、异构、实时性强的特点,传统云端处理模式存在传输时延高、带宽占用大的问题。边

缘计算技术将数据处理节点下沉至井下感知终端附近,实现数据的实时预处理,快速筛选出关键有效数据,降低向云端传输的数据量。同时,针对采集数据中存在的噪声、缺失、异常等问题,采用基于统计分析、机器学习的智能数据清洗方法,剔除无效数据、修复缺失数据、修正异常值,保障数据的完整性与准确性,为后续数据融合与智能决策奠定坚实基础。

2.2 数字孪生与虚拟现实技术

(1) 工作面三维动态建模与仿真:基于井下感知数据、地质勘探数据,结合三维建模技术构建工作面数字孪生模型,实现对煤层、围岩、设备等实体的精准数字化映射。通过实时同步感知数据,使数字孪生模型能够动态反映工作面的实际状态变化,包括煤层赋存形态、设备运行参数、围岩应力分布等。借助仿真技术,可对开采过程进行全流程模拟,还原不同开采参数、地质条件下的开采场景,为开采方案优化提供直观的仿真依据^[2]。(2) 虚拟调试与风险预演:利用虚拟现实技术搭建沉浸式虚拟开采场景,实现对智能开采装备与系统的虚拟调试。在实际装备部署前,通过虚拟调试验证装备控制逻辑、系统协同性能,提前发现并解决装备与系统间的适配问题,降低现场调试成本与风险。同时,针对井下可能出现的瓦斯突出、顶板垮塌、设备故障等风险场景,在虚拟环境中进行风险预演,模拟不同应急处置方案的实施效果,优化应急响应流程,提升井下作业的安全保障能力。

2.3 人工智能驱动的决策优化

(1) 基于深度学习的煤层识别与开采参数预测:采用深度学习算法,对海量的煤层地质数据、开采作业数据进行训练学习,构建煤层识别模型,实现对煤层厚度、硬度、夹矸分布等关键信息的精准识别。结合识别结果与历史开采数据,建立开采参数预测模型,可提前预测不同地质条件下的最优割煤速度、截割深度、支护强度等开采参数,避免因参数设置不合理导致的资源浪费或安全隐患,提升开采的精准性与高效性。(2) 强化学习在设备调度中的应用:将强化学习算法应用于煤矿井下设备调度场景,以提升设备作业效率、降低能耗为目标,构建设备调度强化学习模型。模型通过与井下作业环境的实时交互,不断学习设备运行状态、作业任务需求等信息,动态优化采煤机、掘进机、运输设备等调度方案,实现设备的合理分配与协同作业,避免设备闲置或拥堵,最大化提升整个开采系统的作业效率。

2.4 5G+工业互联网的通信保障

(1) 低时延、高可靠通信协议设计:针对煤矿智能化开采对通信时延和可靠性的严苛要求,基于5G技术设

计专用的低时延、高可靠通信协议。通过优化通信时隙分配、采用短帧传输、引入冗余备份机制等方式,降低数据传输时延,确保决策指令能够实时精准下达至执行终端,同时保障感知数据的实时回传,满足开采过程中实时调控的需求,为智能化开采的协同联动提供通信保障。(2) 井下网络覆盖与抗干扰技术:煤矿井下巷道狭窄、地质结构复杂,存在电磁干扰、信号衰减等问题,严重影响网络覆盖效果。采用分布式天线部署、信号中继放大等技术,实现井下工作面、巷道、硐室等区域的全面网络覆盖。同时,运用抗电磁干扰、跳频通信等技术,抵御井下电气设备、金属构件等产生的干扰,保障通信信号的稳定性与完整性,确保各系统间的高效数据交互^[3]。

2.5 自主化装备与机器人技术

(1) 智能采煤机、掘进机、巡检机器人:研发具备自主感知、自主决策、自主作业能力的智能采煤机和掘进机,搭载高精度传感器与智能控制系统,可自动识别煤层界面、规避地质异常,实现自主割煤、掘进作业。同时,开发井下巡检机器人,配备红外热成像、气体检测、图像识别等功能,替代人工完成井下设备运行状态监测、瓦斯浓度检测、巷道安全巡查等危险作业,提升作业安全性与效率^[4]。(2) 多机协同控制策略:针对井下采煤机、掘进机、运输设备、支护装备等多设备协同作业需求,构建多机协同控制体系。通过工业互联网实现各设备间的实时信息交互,采用模型预测控制、分布式协同控制等算法,制定最优协同作业策略,确保各设备在作业时序、动作配合上精准协同,例如采煤机与液压支架的跟机支护协同、掘进机与运输皮带的物料转运协同等,提升整个开采系统的作业协调性与整体效率。

3 煤矿智能化开采的挑战与对策

3.1 技术瓶颈

(1) 井下极端环境下的设备可靠性:煤矿井下普遍存在高瓦斯、高湿度、高粉尘、强振动及电磁干扰等极端环境,对智能化设备的稳定性和耐久性提出严苛要求。现有传感器、执行器等核心部件在极端环境下易出现信号失真、故障停机等问题,智能采煤机、巡检机器人等装备的连续作业能力受限,难以满足24小时不间断开采需求,成为制约智能化开采规模化应用的关键技术瓶颈。(2) 多源异构数据的高效处理:智能化开采过程中产生的地质数据、设备运行数据、环境监测数据等具有来源分散、格式多样、体量庞大的特点,形成多源异构数据壁垒。当前数据处理技术难以实现不同类型数据的快速融合与深度挖掘,数据价值转化率低,无法为智能决策提供及时、精

准的支撑,导致部分智能化功能难以充分发挥作用。

3.2 管理挑战

(1) 传统作业模式与智能化转型的冲突:长期以来,煤矿行业形成了以人工现场操作为核心的传统作业模式,部分企业管理层及一线员工对智能化技术的认知不足,存在抵触心理。同时,传统管理流程僵化,与智能化开采所需的灵活协同管理模式不匹配,导致智能化设备与现有生产体系融合不畅,转型推进受阻。(2) 人才短缺与技能更新需求:煤矿智能化开采涉及采矿工程、信息技术、人工智能等多学科交叉,急需既懂采矿工艺又掌握智能技术的复合型人才。目前行业内此类人才储备严重不足,且现有一线员工年龄结构偏大、技能水平滞后,难以快速适应智能化设备的操作与维护需求,人才短板成为智能化转型的重要制约因素。

3.3 政策与标准缺失

(1) 数据安全与隐私保护规范:智能化开采过程中涉及大量矿山地质、生产运营等核心数据,这些数据的采集、传输、存储及共享过程中存在数据泄露、篡改等安全风险。但目前煤矿行业缺乏针对性的数据安全与隐私保护标准,数据安全管理体系不完善,难以有效规避数据安全隐患,制约了跨企业、跨区域的数据协同应用。(2) 智能化设备认证体系:当前市场上的煤矿智能化设备种类繁多,但缺乏统一的技术标准和认证体系,设备质量参差不齐。部分设备存在兼容性差、性能不稳定等问题,且缺乏权威的检测认证机制,导致企业在设备选型、应用过程中面临较大风险,也阻碍了智能化设备的规范化、规模化推广。

3.4 对策建议

(1) 构建产学研用协同创新机制:整合高校、科研院所的技术研发优势与煤矿企业的生产实践资源,联合开展井下极端环境设备可靠性、多源异构数据处理等关

键技术攻关,加速技术成果转化应用。鼓励企业与科技企业合作,共建智能化开采创新平台,形成“研发-试验-应用-迭代”的闭环创新体系,破解核心技术瓶颈^[5]。(2) 推进标准化体系建设与政策扶持:政府相关部门应牵头制定煤矿智能化开采的数据安全、设备接口、性能认证等一系列标准规范,统一技术路线和市场准入门槛,解决设备兼容和数据安全问题。同时,出台针对性的政策扶持措施,加大对智能化技术研发、设备购置、人才培养的资金补贴,鼓励企业加快智能化转型步伐。此外,建立健全人才培养和引进机制,校企合作开展定向培养,加强现有从业人员的技能培训,提升人才队伍的智能化素养。

结束语

煤矿智能化开采技术是煤炭工业转型升级的必由之路,其通过集成多学科前沿技术,实现了开采过程的精准化、安全化与低碳化。尽管当前仍面临井下极端环境适应性、多源数据融合处理等挑战,但随着产学研协同创新的深化与标准体系的完善,智能化技术将加速突破瓶颈,推动煤矿向无人化、少人化生产迈进。未来,需持续强化技术创新与政策支持,为煤炭行业可持续发展注入新动能,助力国家能源安全战略目标实现。

参考文献

- [1]詹召伟.煤矿综采工作面智能化开采关键技术和发展方向[J].能源与节能,2023(1):82-86.
- [2]王峰.煤矿智能化开采关键控制技术[J].智能矿山,2022,3(7):57-62.
- [3]胡杰.煤炭智能化开采关键技术创新进展与展望[J].矿业装备,2022(3):160-161.
- [4]马广伟.煤矿智能化开采技术研究现状及展望[J].内蒙古煤炭经济,2025,(5):112-114.
- [5]郝瑞峰.煤矿高效开采技术与应用研究[J].当代化工研究,2025,(5):136-138.