

煤矿开采中的智能开采技术

苗振杰

伊金霍洛旗能源事业发展中心 内蒙古 鄂尔多斯 017200

摘 要：煤矿智能开采是当下煤炭行业转型发展的核心方向，相关技术落地应用正逐步重构传统井下开采的作业模式。围绕矿井空间数字化建模、井下环境智能感知等核心配套技术搭建完整支撑体系，本文结合掘进、回采两大核心作业场景梳理智能技术的落地路径，从设备适配、流程规整、技术融合三个维度提出可落地的优化方向，为不同赋存条件煤矿的智能化改造提供实操层面的参考，助力井下开采作业的安全水平与生产效率同步提升。

关键词：煤矿智能开采；数字化建模；采掘智能管控；多技术融合；矿山智能化体系

引言：传统煤矿开采长期依赖井下人员现场操作，不仅作业安全管控压力大，生产效率也容易受人工操作水平、现场环境波动等因素制约。随着数字化、智能化技术逐步向矿山场景渗透，智能开采已经成为煤炭产业升级的核心抓手。从井下空间的数字化还原，到环境、设备的全链条智能管控，整套技术体系正逐步覆盖采掘作业的全流程环节。梳理智能开采的配套技术构成与现场应用逻辑，补齐现有技术落地过程中的短板，能有效推动智能化技术真正适配各类复杂井下工况，支撑煤矿开采作业向少人化、高效化方向稳步推进。

1 煤矿智能开采配套技术体系

1.1 矿井空间数字化建模技术

矿井空间数字化建模技术依托数字化采集与图形重构方式搭建井下巷道、采掘工作面及周边岩体的空间模型。技术运行过程中可对矿井内部空间结构、岩层分布、巷道走向等基础地质信息进行精细化还原，构建贴合井下真实工况的数字化空间框架^[1]。建模工作覆盖矿井开采涉及的全部作业区域，能够精准呈现井下空间的结构特征与空间分布状态。建模生成的数字化空间框架可以为后续各类智能开采技术的落地运行提供基础空间支撑，为井下各类设备布设、作业区域划分、开采作业推进提供稳定的数字化载体。技术持续优化空间建模精度，细化井下复杂地质构造的空间呈现细节，适配不同开采区域的空间差异化特征。

1.2 井下环境智能感知技术

井下环境智能感知技术依靠多元化感知设备完成矿井内部环境参数与工况信息的持续采集。技术覆盖井下气体浓度、围岩状态、巷道湿度、地层应力等多项环境指标的采集工作，捕捉井下作业环境的动态变化状态。感知设备布设于井下核心作业区域，能够精准捕捉环境参数的细微波动，积累连续性的环境数据信息。采集获

取的环境数据可以支撑井下作业工况的动态把控，为井下作业模式调整、设备运行调节、作业状态管控提供基础数据支撑。技术可适配井下复杂昏暗、空间受限的特殊作业场景，保持长期稳定的数据采集能力，适配煤矿常态化开采作业需求。

1.3 煤矿设备智能控制技术

煤矿设备智能控制技术依托数字化运算程序与智能调控逻辑实现井下开采设备的自动化运行管控。技术针对采掘、支护、运输等各类井下作业设备搭建专属控制逻辑，适配不同设备的运行工况与作业模式。智能控制模式可以根据井下作业环境与开采推进状态，自主调整设备运行参数与作业强度，适配开采作业的动态变化需求。技术能够规范井下各类机械设备的运行状态，弱化人工操作带来的作业偏差，维持设备运行的稳定性与规范性。整套控制体系贴合井下设备连续作业的运行特征，适配煤矿常态化开采的设备管控需求。

1.4 矿井数据传输与智能研判技术

矿井数据传输与智能研判技术承担井下各类作业数据的传递、整理与分析工作。传输模块搭建稳定的井下数据传输链路，保障感知数据、设备运行数据、环境监测数据的有序传递，规避数据卡顿、缺失、失真等问题。智能研判模块依托内置运算逻辑对收集的海量矿井数据进行分层处理，挖掘数据背后对应的工况状态与作业隐患。技术可以对井下作业工况的运行状态进行精细化分析，筛选影响开采作业稳定推进的各类因素，为井下智能开采作业的动态调整提供可靠的数据依据，支撑煤矿智能开采体系的常态化稳定运行。

2 智能技术在煤矿掘进作业中的应用

2.1 智能掘进工序自动化管控

智能掘进工序自动化管控依托数字化程序整合掘进作业全流程的工序逻辑，重塑传统掘进作业的管控模

式。系统依托矿井数字化空间模型匹配掘进施工的基础参数,依据井下地质条件与巷道设计标准设定掘进作业的运行参数^[2]。系统可以自主完成掘进作业流程的有序排布,完成巷道切割、岩层剥离、断面修整等多道工序的自动化衔接运行。数字化管控模式可以精准把控掘进作业的推进进度,微调作业运行参数适配岩层硬度与巷道结构的细微变化。系统可以自动识别掘进作业中的异常工况,及时调整工序运行节奏,规避掘进作业出现的进度失衡与施工偏差。数字化程序可以规整掘进工序的运行节奏,弱化人工干预带来的工序混乱问题,提升掘进作业整体的规整度与有序性。

2.2 掘进设备智能化协同作业

掘进设备智能化协同作业依托智能联动程序打通各类掘进设备的运行链路,实现多类井下设备的一体化作业运行。掘进作业涉及的掘进机、除尘设备、输送设备可依托智能程序接收统一的作业指令,适配整体掘进作业的推进节奏。智能联动程序可以根据掘进作业的实时进度,匹配不同设备的启停状态与作业负荷,平衡各类设备的作业强度。设备联动运行模式可以规避单一设备独立运行产生的作业脱节问题,理顺设备之间的作业衔接关系。智能程序可以动态匹配设备运行状态与井下掘进工况,让各类设备的作业节奏贴合巷道掘进的整体施工需求,提升掘进作业整体的运行效率,优化井下设备作业的适配性。

2.3 掘进工作面智能防护与作业规范

掘进工作面智能防护依托智能感知与智能调控设备搭建全方位的工作面安全管控体系,覆盖掘进作业全程的安全管控工作。智能感知设备持续采集工作面围岩变化、空气状态、设备运行工况等关键信息,捕捉工作面工况的细微变动。系统可以依托实时采集的数据把控工作面作业环境状态,针对掘进作业中的不安全工况做出主动干预。智能防护体系可以规范工作面设备的运行边界,限定设备作业的活动范围与运行参数,规避超限作业引发的安全隐患。智能化管控模式可以规整工作面整体作业秩序,约束井下作业的操作行为,贴合煤矿掘进作业的标准化施工要求,筑牢掘进工作面的作业安全基础。

3 智能技术在煤矿回采作业中的应用

3.1 综采设备智能化联动运行

综采设备智能化联动运行依托数字化智能调控体系串联采煤机、液压支架、刮板输送机等核心综采装备,构建一体化的回采作业设备运行体系^[3]。智能调控体系搭载适配综采工况的运算逻辑,能够依据煤层厚度、倾角及围岩稳定状态,自主调节各类综采装备的运行参数。

装备之间的运行数据可以实现互通共享,让采煤切割、支架防护、煤炭输送等核心作业环节保持高度契合的运行节奏。智能调控体系可以精准匹配综采设备的作业负荷,削减装备空转或超负荷运转带来的作业损耗。设备联动运行模式可以弱化人工操作带来的装备运行错位问题,细化综采作业的运行精度,让整套综采装备始终贴合井下回采作业的动态工况变化。

3.2 采场状态智能动态调控

采场状态智能动态调控依托全域布设的智能感知设备,持续采集回采工作面围岩应力、顶板变形、煤层结构、巷道环境等关键工况信息,搭建动态更新的采场工况管控体系。感知设备持续捕捉采场内部的工况波动,积累连续性完整现场数据,为采场运行参数调整提供精准的数据支撑。智能系统依托实时采集的工况数据判别采场围岩稳定程度与作业环境状态,针对性调整支护强度、作业推进速度、设备运行参数等核心施工指标。系统可针对采场内部出现的围岩形变、应力波动等工况变化开展主动调控,优化工作面整体作业稳定性,化解回采作业推进过程中产生的工况失衡问题。动态调控模式适配煤层赋存条件的差异化特征,根据不同开采区域的地质特征调整管控逻辑,持续维持采场作业环境的稳定状态,规避地质变动引发的生产隐患,保障回采作业平稳有序开展。

3.3 回采工序智能化精细管控

回采工序智能化精细管控依托数字化程序梳理回采全流程作业逻辑,对落煤、推溜、移架、护顶等核心工序开展精细化管控。数字化程序可以梳理各道回采工序的衔接逻辑,规整工序推进节奏,杜绝工序穿插混乱或作业滞后问题。系统可以结合工作面实时作业状态,微调各工序的作业时长与推进幅度,适配煤层开采的动态变化特征。智能管控模式可以精准约束每道工序的作业标准,细化回采施工的操作精度,减少粗放作业引发的施工偏差。数字化管控模式可以细化回采作业的管控颗粒度,规整回采作业整体流程,提升煤矿回采作业的标准化与精细化水平,适配现代化智能矿山的回采施工要求。

4 煤矿智能开采技术的优化提升路径

4.1 智能开采设备适配性优化

市面主流智能开采设备多依托标准化工矿参数完成设计与调试,固定的运行程序与硬件结构仅适配常规开采场景,难以适配复杂多变的井下生产环境。不同开采区域的煤层厚度、岩层构造、围岩稳定性存在明显差异,标准化智能装备在特殊开采场景中容易出现运行匹配度不足、作业精度下降、运行稳定性不足等各类问

题^[4]。针对智能开采设备开展适配性升级改造,需要立足井下采掘工作面的真实生产条件,对设备硬件结构与底层控制程序开展针对性调整。技术升级工作可围绕采掘核心装备的作业结构展开,调整设备作业行程、作业力度与运行精度,适配薄煤层、起伏煤层、复杂构造煤层等差异化开采场景的作业需求。针对井下高粉尘、低照度、空间狭窄的特殊环境,优化各类感知设备的采集灵敏度与安装布设形式,提升设备在恶劣工况下的数据采集质量。持续迭代设备底层控制程序,拓宽智能调控逻辑的适配范围,依托现场开采数据持续优化设备自主调节能力,让各类智能装备可以主动适配不同开采区域的工况变化,强化设备运行稳定性与场景适配能力,解决标准化装备与个性化井下工况不匹配的核心问题。

4.2 井下智能作业流程体系优化

现阶段矿井智能化作业模式呈现碎片化特征,不同采掘区段的智能管控流程相互独立,管控标准与运行节奏无法形成统一体系,造成井下智能化作业衔接松散、整体效能偏低。零散的作业流程会割裂各施工环节的内在关联,弱化智能技术在全流程开采中的应用价值,造成智能化硬件与数据资源的闲置浪费。作业流程体系优化需要统筹井下掘进、回采、支护、运输等全部生产环节,整合分散的智能化管控模块,搭建全域统一的智能化作业运行标准。系统梳理现有作业流程中的衔接漏洞与管控短板,补齐各施工环节的智能化管控盲区,打通不同作业模块之间的运行链路。统一全矿井数据采集频率、数据处理规范与设备管控标准,规整各类智能作业的执行流程与管控尺度。结合井下煤层开采的推进规律与生产节奏,动态调整各工序的排布方式与运行时序,规整各环节作业节奏,构建全覆盖、闭环式的智能作业管控体系,提升井下智能化作业的规整度与整体运行效率。

4.3 多类智能技术融合拓展优化

单一类型智能技术的功能覆盖范围存在明显局限,仅能针对井下局部作业环节完成智能化管控,无法覆盖煤矿开采全流程的生产管控需求。各类智能技术独立

运行的应用模式,会造成不同系统的数据壁垒与功能割裂,让矿井空间建模、环境感知、设备控制、数据研判等技术体系相互独立,限制智能化开采体系的升级维度与应用深度。多技术融合拓展优化需要打破不同技术门类的运行壁垒,整合各类智能技术的核心功能与应用优势。搭建一体化的数据交互与功能协同框架,统一各类技术的数据传输协议与处理标准,实现矿井空间数据、环境感知数据、设备运行数据的全域互通与共享^[5]。依托多技术融合框架拓展全新的智能化管控功能,实现井下工况感知、数据研判、设备调控、流程优化的一体化联动运行。持续延伸智能技术融合的应用边界,将协同化技术体系融入井下常规开采与特殊工况治理的各类场景,逐步完善煤矿智能开采技术架构,提升智能化开采体系的完整性与综合性。

结束语

智能开采技术的落地落地不是单一设备的简单叠加,而是整套井下作业体系的系统性升级。从基础空间模型搭建到采掘作业的全流程智能管控,相关技术的迭代始终围绕井下真实开采需求展开,逐步破解传统开采模式下的诸多痛点。随着各类技术适配性的持续提升,不同矿井都能找到贴合自身工况的智能化改造路径,让煤炭开采作业的安全底线更牢固,生产运行的节奏更顺畅,为煤炭行业的高质量发展注入持续动力。

参考文献

- [1]陈中强,杨岫锬,戴月.煤矿综采工作面智能化开采技术应用探究[J].内蒙古煤炭经济,2026(1):97-99.
- [2]梁芮.基于人工智能技术的煤矿开采辅助运输机械运行系统设计及性能测试[J].煤矿机械,2025,46(9):28-31.
- [3]王忠鑫,刘英璐,孙鑫,等.露天煤矿智能开采技术装备进展与展望[J].煤炭科学技术,2026,54(1):424-444.
- [4]丁继国.煤矿智能开采技术的发展进展与挑战[J].西部探矿工程,2025,37(11):60-62.
- [5]王志强,唐劼.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.