

# 采矿工程中的智能化技术应用与发展研究

赵鹏鑫 王立东

宁夏王洼煤业有限公司 宁夏 固原 756500

**摘要:** 在资源紧张与安全环保要求提升背景下, 采矿工程智能化转型成为必然趋势。其通过传感、通信、建模等技术融合, 实现矿山数据驱动、设备协同与远程指挥。涵盖自动化设备、实时监测、数字孪生决策等应用, 提升效率、安全性与环境适应性。虽面临成本、技术整合等挑战, 但未来将向无人化、绿色化、体系化发展, 推动行业高质量发展。

**关键词:** 采矿工程; 智能化技术; 应用; 发展

**引言:** 采矿工程作为资源获取的关键领域, 传统模式面临安全风险高、生产效率低、环境破坏大等困境。随着科技迅猛发展, 智能化技术为其变革带来新契机。物联网、大数据、人工智能等前沿技术不断融入, 推动采矿工程向自动化、数字化、智能化迈进。研究智能化技术在采矿工程中的应用与发展, 对提升行业竞争力、保障安全生产、实现可持续发展具有重大现实意义。

## 1 采矿工程智能化核心技术

### 1.1 智能感知与物联网技术

(1) 多源异构数据采集: 整合井下地质传感器、采掘设备状态监测装置及环境参数采集设备, 实现井工煤矿地质构造、煤层赋存条件、采掘设备运行参数、井下温湿度、瓦斯浓度、粉尘含量等多维度数据的实时采集与汇聚, 为后续智能决策提供全面的数据支撑。(2) 5G+边缘计算在井下通信中的应用: 依托5G高带宽、低时延特性搭建井下专用通信网络, 覆盖采掘工作面、运输巷道、硐室等关键区域, 结合边缘计算实现井下数据就近处理, 大幅降低传输延迟, 保障井下无人装备远程操控、实时监测数据传输的稳定性与高效性, 破解传统井下通信卡顿、延迟难题。

### 1.2 自动化与无人化装备技术

(1) 智能掘进设备: 研发应用井下无人掘进机、自动化锚杆钻机等装备, 集成井下精准定位、自动导向与自适应掘进功能, 适配井下复杂巷道环境, 减少人工干预, 提升掘进效率与施工安全性。(2) 井下无人驾驶运输系统: 部署矿用无人驾驶电机车、胶轮车, 通过井下巷道路径规划、多设备协同调度技术实现煤炭、物料的自动化运输, 规避井下运输巷道狭窄、视线差等作业风险。(3) 地面远程操控中心与数字孪生平台: 构建井工煤矿数字孪生体, 精准映射井下采掘、运输、通风等全系统场景, 结合地面远程操控中心实现对井下全流程设

备的远程监控与精准调度, 实现物理矿井与虚拟矿井的实时联动, 达成“采煤不下井”的智能化生产模式<sup>[1]</sup>。

### 1.3 人工智能与大数据分析技术

(1) 基于深度学习的矿压预测与灾害预警: 利用深度学习算法挖掘井下历史地质数据、生产数据, 构建矿压预测与瓦斯突出、水害、顶板坍塌等灾害预警模型, 实现风险提前预判与及时处置, 提升井下灾害防控能力。(2) 煤层品位动态评估与开采优化算法: 通过大数据分析实时评估井下煤层品位与赋存状态, 结合优化算法动态调整采掘参数与开采方案, 提升资源回收率与开采经济效益。(3) 设备故障诊断与预测性维护模型: 基于井下采掘、运输等设备运行数据, 利用AI算法实现故障精准诊断, 构建预测性维护模型, 提前排查设备隐患, 降低井下设备停机损失, 保障生产连续性。

### 1.4 绿色开采与智能环保技术

(1) 智能充填开采与资源综合利用: 采用智能充填系统精准调控充填材料配比与输送, 适配井下采空区形态实现高效充填, 同时推进煤矸石等井下废弃物资源化利用, 减少地面环境占用与井下地质灾害风险。(2) 井下粉尘/废水在线监测与智能治理系统: 在采掘工作面、运输巷道等关键区域部署在线监测设备, 实时掌握粉尘、废水排放数据, 联动智能喷雾降尘、废水循环处理等设备实现精准降尘、废水达标循环利用, 践行绿色采矿理念。

## 2 智能化技术在井工煤矿中的典型应用

### 2.1 井工煤矿综采工作面智能化开采

(1) 智能综采与跟机移架一体化: 依托智能感知与精准定位技术, 实现采煤机记忆截割、自动找直、自适应调高, 配套液压支架跟机自动移架功能, 通过传感器实时感知煤壁状态与支架受力, 动态调整截割与移架参数。作业过程通过地面远程操控中心完成全程监控, 无

需人员现场跟机作业，大幅提升综采工作面生产效率，综采工作面减员75%以上，人工工效提升6倍，同时彻底规避工作面冲击地压、片帮等安全风险<sup>[2]</sup>。（2）井下智能转载与运输协同管控：基于大数据、物联网技术构建井下运输智能调度平台，实时采集转载点、皮带输送机、电机车等设备的运行状态、煤炭装载量等数据。系统通过智能算法动态优化运输路径与启停时序，实现采掘工作面与运输系统的协同联动，合理分配运输任务，有效减少设备空转、拥堵等现象。同时，系统可实时监控运输设备运行安全状态，及时预警跑偏、过载等违规工况，显著提升运输效率与作业安全性，降低运输成本。

## 2.2 井工煤矿掘进与支护智能化

（1）智能掘进与支护一体化技术：集成井下无人掘进机、智能锚杆钻机装备，结合地质超前探测技术，实现掘进过程的自动导向、自适应切削与精准掘进。掘进完成后，支护设备可根据掘进断面参数自动调整支护方案，精准完成锚杆、锚索的安装与喷射混凝土作业，实现掘进与支护的无缝衔接。该技术大幅减少了井下掘进工作面作业人员数量，提升了掘进与支护的施工质量和效率，有效应对井下复杂地质条件下的施工难题。

（2）掘进工作面智能通风与除尘协同：基于掘进工作面环境参数实时监测数据，智能通风系统自动调节局部通风机转速、风筒风量，精准配送新鲜空气，及时排出瓦斯、粉尘等有害气体；联动智能喷雾除尘系统，根据粉尘浓度动态调整喷雾压力与范围，实现精准降尘，保障掘进工作面作业环境安全<sup>[3]</sup>。

## 2.3 井工煤矿选矿与加工环节智能化

（1）智能分选设备与工艺优化：采用智能传感器、图像识别等技术，智能分选设备可精准识别煤炭的灰分、硫分及粒度，自动调节分选参数，实现不同品位煤炭的精准分选。同时，基于大数据分析技术对选矿全流程数据进行挖掘，优化破碎、磨矿、浮选等工艺参数，提升选矿回收率与精煤品位，降低选矿药剂消耗，提升选矿加工的智能化水平与经济效益。（2）能源管理系统与能耗优化：构建覆盖井工煤矿采掘、选矿全流程的能源管理系统，实时监测电力、水资源等能耗数据，精准定位井下采掘设备、地面选煤厂等高能耗环节。通过智能算法优化能耗分配方案，对高能耗设备进行智能调控，实现错峰用电、节水减排。同时，系统可对能耗数据进行统计分析，为节能改造提供数据支撑，有效降低全流程能源消耗，践行绿色发展理念。

## 2.4 井工煤矿安全监控与应急响应智能化

（1）井下人员定位与行为识别系统：基于UWB、

RFID等技术实现井下人员的实时精准定位，精度可达米级，实时掌握人员位置、移动轨迹及所在区域风险等级。结合井下视频监控与AI行为识别技术，自动识别人员未佩戴防护装备、违规进入危险区域、违章作业等不安全行为，及时发出声光预警并同步至地面指挥中心。该系统为人员安全管理提供了精准保障，便于在突发情况下快速定位人员位置，提升救援效率<sup>[4]</sup>。（2）井下灾害模拟仿真与逃生路径规划：利用数字孪生、数值模拟等技术构建井下灾害模拟仿真系统，可精准模拟瓦斯爆炸、水害突涌、顶板坍塌等灾害的发生过程、扩散范围与影响程度。基于仿真结果与实时监测数据，系统能自动规划最优逃生路径，通过井下广播、指示灯等设备及时引导人员疏散。同时，该系统可为应急救援方案制定提供数据支撑，提升应急处置的科学性与高效性，最大限度减少灾害损失。

## 3 智能化技术在井工煤矿建设中的实施路径与保障机制

### 3.1 实施路径设计

（1）分阶段推进策略：采用“试点示范→局部推广→全面覆盖”的渐进式推进模式。优先选取地质条件相对简单、基础条件较好的采掘工作面作为试点，集中部署核心智能化技术与装备，验证技术可行性与应用效果，总结形成可复制的实施经验。在试点成功基础上，将成熟技术方案向井下运输、通风、支护等局部区域推广，扩大智能化应用范围，逐步优化技术与管理流程。最终结合矿井整体规划，实现智能化技术在采掘、运输、选矿、安全监控等全流程、全区域的全面覆盖，达成矿井整体智能化升级。（2）技术-管理双轮驱动模式：构建技术创新与管理优化协同联动的驱动体系。技术层面聚焦井下专用智能化装备研发、核心算法迭代，推动智能感知、无人装备、AI算法等关键技术的融合应用；管理层面同步推进组织架构调整、管理制度完善与流程再造，建立适配智能化生产的高效管理机制。通过技术突破破解智能化建设瓶颈，以管理升级保障技术落地实效，形成“技术引领、管理护航”的良性循环，加速智能化建设进程。

### 3.2 关键保障机制

#### 3.2.1 政策与标准保障

（1）国家层面政策支持：依托国家煤矿智能化发展、能源产业升级相关政策，建立针对性的政策扶持体系。通过实施税收优惠、专项补贴、信贷支持等政策，降低煤矿企业智能化改造的资金压力，激发企业投入积极性。同时，搭建跨部门协同推进机制，统筹协调技术

研发、资源配置等工作,为井工煤矿智能化建设营造良好政策环境。(2)行业标准制定:加快完善井工煤矿智能化相关行业标准体系,重点规范井下数据接口、设备兼容性、安全技术规范等关键领域标准。统一井下数据采集与传输标准,实现不同系统、不同装备间的数据互通共享;明确智能化装备与安全运行规范,防范技术应用风险,为智能化技术的规范化、标准化推广提供依据。

### 3.2.2 技术与人才保障

(1)核心技术攻关:建立“企业主导、产学研协同”的技术攻关机制,聚焦井下专用芯片、高精度传感器、先进控制算法、透明地质保障等“卡脖子”技术领域集中发力。鼓励企业与科研院所、高校开展深度合作,搭建技术创新平台,加速核心技术研发与成果转化,提升智能化技术的自主可控水平<sup>[5]</sup>。(2)复合型人才培养:构建多元化的复合型人才培养体系,一方面依托高校调整专业设置,开设采矿工程与IT、自动化融合的交叉学科,培养专业基础扎实的后备人才;另一方面加强企业现有人员培训,开展井下智能化装备操作、远程操控等专项培训,提升在职人员的综合技能,打造一支兼具采矿专业知识与智能化技术能力的人才队伍。

### 3.2.3 安全与伦理保障

(1)网络安全防护体系:建立井下全流程的网络安全防护体系,部署防火墙、入侵检测、数据加密等安全技术,加强对智能化系统数据采集、传输、存储全环节的安全防护。定期开展网络安全风险评估与应急演练,防范数据泄露、网络攻击等安全风险,保障井下智能化系统的稳定安全运行。(2)人机协同伦理规范:制定完善的井下人机协同伦理规范,明确人机协同作业中的责任界定标准,厘清人为操作与智能系统决策的责任边界。合理划分地面远程操控与井下现场巡视的操作权限,规范智能装备的操作流程,防范因权限滥用或操作不当引发的安全事故与伦理问题,保障智能化技术的健康有序应用。

## 4 井工煤矿智能化发展的挑战与未来趋势

### 4.1 当前面临的挑战

(1)技术瓶颈:井下地质构造复杂、环境恶劣,高应力、强振动等易干扰传感器,导致地质应力、煤层边

界等关键数据采集精度不足,限制智能决策准确性与无人装备复杂场景稳定应用。(2)投资回报周期长:智能化改造需巨额资金用于装备更新、网络搭建及人才培养,中小煤矿资金实力薄弱,难以承担前期投入,形成行业转型不均衡格局,阻碍全行业升级。(3)数据孤岛与兼容性问题:不同厂商装备、监测系统接口不统一,数据无法互通;新旧系统衔接不畅,智能调度、协同管控等核心功能难以发挥,降低整体运行效率。

### 4.2 未来发展趋势

(1)全链条智能化:打通勘探、采掘、选矿、物流各环节数据壁垒,构建全流程智能决策体系,实现各环节协同联动,提升产业整体运营效率。(2)新能源与智能化融合:井下电动、氢能驱动装备逐步替代传统燃油设备,结合智能能源管理系统精准调控能耗,践行绿色发展理念并提升运行稳定性。(3)元宇宙与虚拟矿山融合:构建高保真虚拟矿山镜像,支撑跨地域远程协同调试与调度;搭建沉浸式培训平台,模拟复杂工况与灾害处置,提升人员实操与应急能力。

### 结束语

智能化技术于采矿工程的应用,是行业发展的必然走向,已显著提升生产效率、强化安全保障、降低环境影响。然而,技术融合深度、人才储备等方面仍存挑战。展望未来,随着关键技术持续突破与创新,智能化采矿将向全流程无人化、高度集成化、深度绿色化迈进。我们应把握机遇、积极应对挑战,推动采矿工程智能化发展迈向新高度,实现资源高效开发与行业转型升级。

### 参考文献

- [1]马超.采矿工程中的智能化设备与技术应用[J].冶金与材料,2024,44(07):109-111.
- [2]郭翔翔.发展智能化矿山应与采矿工艺技术深度融合[J].矿业装备,2024,(01):132-134.
- [3]鲁伟.采矿工程中的智能化技术应用与发展趋势研究[J].中国矿业,2024,33(S1):199-202.
- [4]周其安.采矿工程中的智能化技术的创新应用[J].葡萄酒,2023(04):171-173.
- [5]王浩宇.煤矿采矿工程中的采矿工艺与技术初探[J].冶金管理,2021,(23):97-98.