煤矿地面钻探装备智能化升级路径与关键技术研究

刘宁
徐州长城基础工程有限公司　江苏 徐州　221000

摘　要　煤矿地面钻探装备的智能化升级，是提升开采效率与安全保障水平的关键路径。伴随物联网、人工智能技术的深度演进，传统钻探装备正稳步迈向自动化与信息化转型。通过融合智能感知、自主决策及远程控制等核心技术构建智能钻探系统，可实现精准定位、参数自适应调控与实时动态监测，为煤矿安全高效开采筑牢装备根基。

关键词　煤矿地面钻探装备；智能化升级路径；关键技术

Research on the Intelligent Upgrade Pathway and Key Technologies of Surface Drilling Equipment in Coal Mines

Liu Ning
Xuzhou Changcheng Foundation Engineering Co., Ltd., Xuzhou 221000, Jiangsu Province, China

Abstract　The intelligent upgrade of surface drilling equipment in coal mines is a key pathway to improving mining efficiency and safety. With the deep integration of Internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI) technologies, traditional drilling equipment is steadily transitioning toward automation and informatization. By integrating core technologies such as intelligent perception, autonomous decision-making, and remote control, an intelligent drilling system can be constructed to achieve precise positioning, adaptive parameter regulation, and real-time dynamic monitoring. This lays a solid equipment foundation for safe and efficient coal mining.

Key words　Coal Mine Surface Drilling Equipment; Intelligent Upgrade Pathway; Key Technologies

煤炭资源勘探开发对钻探装备的智能化要求愈发凸显，现代钻探装备亟待融合大数据分析、数字孪生与智能控制等技术，实现钻探过程的自主优化与故障预测。智能化升级既能够降低人工干预强度，亦有助于提升钻探精度与作业效率，降低安全事故风险[1]。

1　煤矿地面钻探装备智能化升级需求

1.1 智能化升级对煤矿钻探的重要性

煤矿地面钻探装备智能化升级是提升勘探效率与精度的关键技术支撑。传统钻探作业过度依赖人工经验判断，存在操作误差大、响应滞后等先天不足。借助实时数据采集与分析，智能化技术可对钻探过程实施精准调控，并自主适配钻进参数以应对复杂地质条件。其中，智能感知系统能精准辨识岩层变化，自主决策模块可优化钻进轨迹，远程监控平台则保障作业全程可视化。这种从经验驱动到数据驱动的技术转型，大幅提升了勘探质量与可靠性，并形成渐进式性能提升机制[2]。

1.2 智能化升级的技术可行性

当前技术发展水平已为煤矿钻探装备智能化升级提供了坚实支撑。物联网技术可实现装备状态全参数监测，5G网络为海量数据实时传输提供保障，边缘计算技术则助力现场决策的及时性。人工智能算法在参数优化、故障诊断等领域优势显著，数字孪生技术构建起虚拟调试与优化平台。各类传感器技术成熟可靠，能适配严苛工况监测需求；控制系统硬件处理能力大幅提升，可支撑复杂算法实时运行。这些技术进步共同筑牢智能化升级基础，使钻探装备具备自主感知、分析决策与精准执行能力。

1.3 智能化升级的市场需求分析

煤炭行业对智能化钻探装备的市场需求已较为明确。新建煤矿项目对勘探精度的高要求，亟须先进技术支撑以提升资源探明效率；存量煤矿则面临装备升级压力，旨在通过技术迭代优化勘探效能。安全监管趋严背景下，企业亟须借助智能化手段规避作业风险；环保政策的强化，则进一步推动清洁勘探技术的创新发展。设备制造商为增强市场竞争力积极寻求技术突破，服务商亦需依托智能系统拓展增值服务空间[3]。国际市场层面，高性价比智能钻探装备具备显著出口潜力，为智能钻探装备的研发与产业化应用营造了有利环境，且市场需求正逐步从单一设备采购向一体化解决方案供给转变。

2 煤矿地面钻探装备智能化升级路径

2.1 数据采集与传输系统升级

煤矿地面钻探装备的数据采集系统亟须开展全面技术升级，在钻杆处加装振动传感器与扭矩测量装置，实时捕捉钻具运行状态；在钻头位置配置温度与压力传感器，精准采集前端作业参数；于井口布设流量计及泥浆密度检测仪，完善流体循环系统的监测维度。传感器选型需采用高防护等级工业级产品，保障复杂工况下的稳定运行。数据传输网络宜采用工业以太网与5G通信融合的混合组网模式，关键控制信号依托有线网络传输，移动监测数据采用无线传输方式。同步建立数据缓存机制应对网络波动，保障数据完整性；研发专用通信协议实现设备间数据互通，搭建边缘计算节点完成原始数据预处理与特征提取。结合参数特性分级设定采集频率，关键参数实现毫秒级采样，并构建数据传输质量评估体系，动态优化网络资源配置。

2.2 智能控制与决策系统构建

智能控制与决策系统的构建，需搭建多层级决策架构，实现从底层执行机构到高层优化模块的全流程智能闭环管控。研发基于深度学习的钻进参数优化算法，融合地质赋存条件、设备实时工况及作业目标要求开展多维度决策分析。同步整合专家经验与历史运行数据，搭建知识库系统以支撑决策研判，配套研发自适应控制算法，实现控制策略随工况动态调适。建立设备预测性维护模型，实现潜在故障风险的超前预警；开发人机协同控制接口，保留必要的人工干预通道。系统采用模块化设计以适配功能扩展与算法迭代需求，同步实现控制参数的自动标定与在线校准，保障控制精度的稳定性[4]。构建数字孪生仿真平台支撑控制策略虚拟验证，形成控制效果动态评估机制持续优化算法。

2.3 自动化操作与执行机构改进

自动化操作与执行机构改进，需聚焦于提升自动化作业水平与执行响应精度。钻机给进系统采用伺服电机驱动方案，实现毫米级位移精准管控；旋转机构配置高精度编码器，构建转速闭环调节体系。液压系统升级为智能电液比例控制模式，提升压力调节的动态响应性能。钻杆装卸装置升级为全自动作业模式，依托程序控制完成钻具装卸，大幅降低人工干预强度。关键执行部件集成状态监测与故障自诊断功能，配套开发智能防卡钻系统，异常工况下可自动触发保护机制。赋予执行机构参数自整定能力以适配多元作业场景，优化机械传动结构设计，减小运动间隙并降低能量损耗；选用新型耐磨材料延长关键部件服役寿命。构建完善的安全联锁机制，保障紧急停机可靠性，开发标准化接口以便与控制系统集成，建立执行效果反馈链路，为控制算法迭代优化提供数据支撑[5]。

2.4 远程监控与运维平台搭建

远程监控与运维平台的搭建，需构建全方位、多层次的一体化监测运维体系。开发三维可视化交互界面，直观呈现设备运行状态与作业进度；建立分级报警机制，依据故障严重程度匹配差异化处置策略，同步实现关键参数实时趋势可视化与历史数据追溯查询。开发移动终端适配应用，便于现场人员随时访问；嵌入专家诊断系统，精准输出故障分析报告与处置建议。构建设备健康度量化评估模型，系统梳理运维知识库沉淀故障处理经验；实现备件智能管理与采购建议自动生成，配套搭建运维任务调度体系优化人力资源配置。增设培训辅助模块提升人员专业技能，支持多站点集中监控赋能管理决策，建立全流程数据安全保障机制防范信息泄露与非法访问，开发标准化接口服务实现与企业其他信息系统的数据互通。

3 煤矿地面钻探装备智能化升级关键技术

3.1 传感器技术与数据处理

煤矿地面钻探装备智能化升级，需构建全域覆盖的传感监测体系，围绕钻探作业全流程各关键环节，精准配置专业化传感设备[6]。钻杆系统搭载高精度振动传感器与应变片，实时捕捉钻具受力动态；钻头区域布设温度传感器和声发射探头，精准采集前端作业参数。泥浆循环系统配套流量计、密度计及pH检测仪，全面掌控流体特性；井口位置设置位移传感器与倾角仪，实现对井口状态精准测量。传感器均选用防爆工业级产品，保障恶劣作业环境下的稳定可靠运行。数据处理层面，研发多源数据融合算法开展综合研判，构建数据清洗流程剔除异常值与噪声干扰，引入小波变换等技术提取关键特征参数；开发自适应采样算法适配工况动态变化，搭建实时数据库支撑海量数据高效存取，增设数据质量评估模块监测传感器状态，建立标准化流程保障多源数据一致性。

3.2 人工智能与机器学习应用

人工智能与机器学习技术是煤矿地面钻探装备智能化升级的核心驱动力，深度学习算法可赋能岩性识别，通过解析振动信号频谱特征实现地层岩性精准研判；强化学习技术适用于钻进参数优化，构建涵盖钻速、转速、钻压的多目标优化模型。基于神经网络开发故障诊断系统，能实现设备异常的早期预警；迁移学习可将跨领域经验适配钻探场景，知识图谱系统则能整合专家经验与历史数据形成决策支撑。同步构建数字孪生模型助力虚拟调试与参数优化，采用联邦学习在保障数据隐

私的前提下实现多设备协同学习。配套开发可解释AI模块提升决策透明度，借助计算机视觉实现钻杆螺纹自动检测，优化智能报警系统降低误报率。建立算法自学习机制积累运行数据迭代性能，搭建模型版本管理与性能评估体系，量化算法适用场景，支撑技术持续优化。

3.3 通信技术与网络架构

采用工业以太网构建设备间高速通信链路，保障控制指令实时传输；部署5G专网支撑移动监测数据回传，精准匹配大带宽、低时延的传输需求。开发多协议转换网关破解新旧设备互联互通瓶颈，构建分层网络架构并按数据类型划分传输优先级，引入时间敏感网络技术保障关键控制信号传输的确定性。部署边缘计算节点实现数据本地预处理，研发自适应路由算法优化网络资源分配，搭建网络状态监测系统实时评估通信质量。采用软件定义网络技术实现网络配置灵活调适，开发数据传输加密模块筑牢通信安全防线，建立网络冗余机制提升系统可靠性；应用网络切片技术提供差异化业务服务，研发轻量级通信协议降低终端功耗，构建统一网络管理平台实现全网可视化监控，配套建立通信中断应急机制保障关键业务连续性，确保多源数据一致性[7]。

3.4 机器人与自动化控制技术

基于模型预测控制的钻进参数动态调节算法，实现精准闭环控制；应用自适应控制技术补偿系统参数漂移影响，配套研发智能防卡钻算法，实时监测并预判处置卡钻风险。开发自动换杆机器人系统，实现钻杆装卸全流程无人化作业；引入视觉伺服控制技术提升辅助设备定位精度，研发协作控制算法保障多执行机构协同联动。构建故障容错控制体系筑牢异常工况安全防线，采用模糊控制技术破解不确定工况下的控制难题；制订能耗优化控制策略降低运行成本，搭建数字孪生控制系统支撑虚拟调试与参数优化。应用力反馈控制技术实现钻压精准调控，开发智能润滑系统自动适配各部位润滑需求，构建远程操控系统支持专家异地介入，设计标准化控制接口便捷系统扩展维护，建立控制性能评估体系驱动算法持续迭代。

4 结束语

煤矿地面钻探装备智能化升级已然成为行业技术迭代的必然方向，未来需聚焦自主感知、智能决策与协同控制等核心技术突破，推动装备向高效化、安全化进阶。通过持续迭代技术路径，构建标准化、可复制的智能钻探解决方案，为煤矿勘探与开采环节提供坚实的技术支撑。

参考文献

[1]高晓亮.煤矿井下智能化钻探配套钻具研究进展[J].煤田地质与勘探,2023,51(10):156-166.

[2]董洪波.煤矿井下智能化钻探技术与装备[J].智能矿山,2022,3(7):138-140.

[3]李泉新,刘飞,方俊,等.我国煤矿井下智能化钻探技术装备发展与展望[J].煤田地质与勘探,2021,49(6):265-272.

[4]郝世俊,姚克,方鹏,等.煤矿井下智能化钻探装备发展现状及展望[C]//中国地质学会.第二十一届全国探矿工程（岩土钻掘工程）学术交流年会论文集.中煤科工集团西安研究院有限公司,2021:41-44.

[5]马新平,刘伯.煤矿井下钻探装备和钻探施工技术发展与探索[J].煤炭与化工,2021,44(2):55-58.

[6]姚宁平,姚亚峰,方鹏,等.我国煤矿坑道钻探装备技术进展与展望[J].钻探工程,2021,48(1):81-87.

[7]王清峰,辛德忠,陈航.煤矿井下自动化钻探技术概况与智能化发展前瞻[J].智能矿山,2020,1(1):71-77.

（本文编辑　曹　阳）

