煤矿地面钻探科技装备智能化升级与信息化融合

王晨浩
徐州长城基础工程有限公司　江苏 徐州　221000

摘　要　煤矿地面钻探装备正迎来从机械化向智能化的根本性转型。现代信息技术与钻探工艺的深度融合，催生出新一代智能勘探体系。依托高精度传感网络实时感知钻探动态，借助智能算法动态优化作业参数，通过远程监控平台实现全流程可视化管控。这一技术变革重构了传统钻探模式，推动勘探工艺向数据驱动、自主决策演进，为煤矿资源高效开发提供了全新技术方案。

关键词　煤矿地面钻探科技装备；智能化升级；信息化融合

Intelligent Upgrading and Informatization Integration of Scientific and Technological Equipment for Surface Drilling in Coal Mines

Wang Chen-hao
Xuzhou Changcheng Foundation Engineering Co., Ltd., Xuzhou 221000, Jiangsu Province, China

Abstract　Surface drilling equipment in coal mines is undergoing a fundamental transformation from mechanization to intelligence. The deep integration of modern information technology and drilling processes has given rise to a new generation of intelligent exploration systems. By relying on high-precision sensor networks to perceive drilling dynamics in real time, leveraging intelligent algorithms to dynamically optimize operating parameters, and utilizing remote monitoring platforms to achieve visual control over the entire process, this technological shift is reconstructing traditional drilling modes and advancing exploration techniques toward data-driven and autonomous decision-making, providing a completely new technical solution for the efficient development of coal mine resources.

Key words　Coal Mine Surface Drilling Technology and Equipment; Intelligent Upgrading; Informatization Integration

煤矿地面钻探科技装备是开展钻探作业的核心载体，信息化则是激活钻探数据价值、实现装备效能升级、构建勘探闭环管控的关键纽带[1]。当前我国煤矿地面钻探领域存在两大突出短板：一是装备层面，传统地面钻探装备以人工操控为主，缺乏智能感知与自适应调节能力；二是融合层面，钻探装备多为单机孤立作业，与信息系统完全脱节，钻探参数依赖人工记录、离线汇总，形成“数据孤岛”，无法实现钻探过程动态监控、数据协同研判及作业远程调度，严重制约钻探成果对深部开采的地质保障作用[2]。信息化技术正深刻重塑煤矿地面钻探装备的技术形态。物联网技术的深度嵌入实现装备状态全域数字化感知，云计算平台为海量勘探数据深度挖掘提供算力支撑，智能控制系统赋予装备自主决策能力。这种多技术融合态势，不仅提升单机作业效能，更构建起勘探全流程智能协同体系，与矿山钻探领域深度融合，推动煤矿地面钻探向“装备智能化、作业自动化、数据信息化、管控协同化”转型，已然成为提升勘探质量、筑牢安全生产防线的必然选择[3]。

1　煤矿地面钻探科技装备智能化升级与信息化融合的原则

1.1 精准智能原则

装备升级聚焦钻进与取样精度提升，依托智能算法动态适配复杂地层条件；信息平台以强化数据处理效能与研判准确性为核心，构建智能预警与决策支持体系。通过集成高精度传感器与实时分析模块，实现钻进参数的精准采集与处理，推动地层识别及异常预警的智能化发展；数据处理环节优化算法架构，提升地质参数计算精度，为工程决策提供可靠技术支撑。

1.2 互通融合原则

装备系统与信息平台需完成物理接口与通信协议的标准化适配，保障硬件控制指令与软件数据流的双向实时互通。确立统一通信标准与数据格式，实现钻探参数即时传输及远程控制指令的无损传递；系统架构设计兼顾各子系统数据贯通，构建完整钻探信息闭环，支撑远程监控与实时调整的协同作业。

1.3 稳定可靠原则

设备硬件采用矿用防爆标准设计，兼具防尘、防水及抗

电磁干扰能力，可稳定适配野外复杂环境的长期连续作业。信息系统层面，通过数据加密传输与存储机制，搭配异地容灾备份体系构建，保障数据安全与系统不间断运行。关键部件采用冗余配置，并集成应急处理模块，能在极端工况下维持系统稳定，同时实现故障快速恢复。

1.4 高效协同原则

优化钻探作业流程各环节的衔接效率，构建涵盖任务智能分配、钻进参数自动调节、数据实时传输及分析即时反馈的闭环工作模式。系统可快速响应并执行作业指令，缩短各环节时间延迟以提升整体作业效能；依托标准化接口与自动化流程精简人工干预环节，保障钻探作业与数据分析的高效协同运转。

1.5 实用经济原则

设计方案统筹考量设备升级成本与平台建设投入，通过系统配置优化实现性价比最优匹配。操作界面契合煤矿钻探人员实操习惯，有效降低学习门槛与操作难度。系统选型兼顾实用性与可扩展性，保障技术方案在各类煤矿现场的落地可行性，在严控整体投入成本的基础上确保功能完备。

2 煤矿地面钻探科技装备智能化升级与信息化融合应用技术

2.1 任务下发

技术人员依托信息化平台制订钻探方案，明确钻孔坐标、目标深度、设计方位角等核心参数，同步界定勘探目标要求。作业指令涵盖钻孔设计轨迹、预期地层信息及安全钻进参数范围等技术指标，借助加密网络传输协议同步至对应智能钻探装备终端控制系统。终端接收模块完成指令数据完整性校验后，自动生成可执行钻进任务序列，同时匹配钻机型号与任务需求以保障设备适配性。方案中岩心采取率标准、特殊层位取样等特殊技术要求均精准编码传输，全流程设置双重验证机制，保障指令传输的精准性与安全性[4]。

2.2 智能钻进

钻探装备接收作业指令后，可自主启动钻进流程并完成系统初始化。自适应调控模块实时感知地层阻力、岩性变化等工况信号，动态匹配给进压力、旋转速度等钻进参数；智能纠偏系统同步追踪钻孔倾角与方位角数据，一旦偏斜值超出设定阈值，便自动触发纠偏机构完成轨迹校准。故障诊断单元实时解析电机电流、液压压力等20余项设备状态参数，精准识别潜在异常并执行预设处置策略。工作人员通过远程监控界面调取关键参数曲线，同步掌握设备状态与预警信息，系统每30 s自动生成钻进简报，汇总作业进度与异常情况。

2.3 数据传输

钻进作业全过程产生的各类参数，通过有线工业以太网与无线5G双模传输链路实时上传至信息化管理平台。传输数据涵盖设备运行、工程作业及地质探测三大类共120余项数据点，采样频率达10 Hz。传输模块采用分包校验机制，每个数据包均嵌入时间戳、设备编号及数据类型等元数据。双模链路支持自动无缝切换，有线网络中断时可在50 ms内切换至无线传输模式，保障数据传输不中断。平台接收端对数据包开展完整性校验，对错误数据包予以丢弃并发起重传请求，确保数据完整率达99.99%。传输系统内置数据缓存功能，网络临时中断时可本地存储最长8 h的作业数据，待网络恢复后自动完成续传。

2.4 融合处理

信息化平台接收原始数据后，先执行数据降噪处理，采用滑动平均滤波算法剔除异常波动信号。数据融合引擎对多传感器来源的多源数据进行时空对齐，构建统一的钻孔数据模型。解析模块可自动提取岩性识别结果、层位界面深度、异常体特征等有效地质信息，系统同步生成含三维坐标的钻孔轨迹图，直观呈现实际钻进路径与设计轨迹的偏差。地质参数表按深度序列罗列岩层厚度、硬度、含水量等指标的实测值，初步研判算法依托规则库标记断层接触面、含水层顶底板等特殊地质现象及关键界面。处理结果以标准化格式存入中间数据库，供后续模块调用。

2.5 研判决策

技术人员借助平台可视化界面，分析钻孔轨迹图与地质参数表，评估实际钻探效果与设计目标的契合度。结合实时地质信息，工程人员可动态调整后续钻进参数或修正钻孔轨迹设计。平台提供的异常体分布图、地层对比图等辅助决策工具，助力研判是否需开展补充勘探。管理层通过风险预警看板掌握已识别的突水风险系数、瓦斯异常区等地质风险点信息；安全管控策略制订模块依据勘探成果，自动生成工作面布置优化方案、防治水措施等级等开采建议[5]。决策支持系统提供多套备选方案及预期效果评估，辅助管理层决策，所有方案调整均记录版本历史，保障决策过程可追溯。

2.6 成果归档

系统自动将完钻报告、原始数据及处理结果等钻探成果按标准化格式归档至中心数据库，涵盖钻孔基本信息表、测斜数据表、岩层描述记录表等28类结构化数据表。钻孔影像、岩心扫描图等非结构化数据同步存入分布式文件系统，系统构建全流程数据溯源链，确保从原始采集到最终成果的各处理环节可追溯。归档时同步生成数据质量报告，标注异常数据点及处

理方式；数据库搭建多级索引体系，支持按地理位置、施工时间、地层特性等多维度快速检索。归档数据自动同步至企业知识库，与历史勘探数据关联，形成持续更新的地质模型，系统通过严格的访问权限控制保障数据安全与使用可追溯性。

3 煤矿地面钻探科技装备智能化升级与信息化融合智能化升级

3.1 智能化钻探装备在高精度勘探与自适应钻进中的集成应用

煤矿地面钻探装备集成高精度传感监测与自适应智能钻进模块，大幅提升钻探精度与效率。钻孔测斜（精度0.01°）、岩心识别及钻进压力传感器实时采集数据，精准捕捉地层变化；自适应模块依地层特性自动调整钻进参数，卡钻故障率降低95%、效率提升45%，智能纠偏可将垂直度误差控制在≤0.12°。例如，山西某煤矿项目中，装备钻进至300 m处检测到岩性由砂质泥岩转为硬砂岩后，迅速调整压力与转速规避卡钻，同时修正0.15°东向偏斜至0.08°。该孔岩心采取率98.7%，效率提升40%，为开采设计提供高精度地质数据。

3.2 边缘计算与智能识别技术在煤层精准勘探中的协同应用

钻探装备的边缘计算、数据直传模块与煤层智能识别技术深度协同，实现岩心分析与煤层定位高效融合。轻量化AI算法可现场快速辨识岩心岩性及完整性，推动岩心采取率提升至98.5%；5G模块保障钻探参数实时上传，支撑数据同步分析。煤层智能识别模块集成高灵敏度传感器与钻孔成像仪，识别准确率达99.8%，有效破解传统勘探煤层漏判、错判难题。例如：内蒙古某煤矿复杂煤层勘探，钻进至250 m时，边缘计算模块识别岩心为碳质泥岩后切换至高精度探测模式，精准定位煤层顶板并确认厚度1.5 m（传统方法易误判）。数据实时传至指挥中心，技术人员远程调控参数保障样本完整性，最终煤层定位误差仅0.3 m，数据准确性经开采验证达99.5%，显著降低资源误判风险[6]。

3.3 水文勘探靶点精准定位与多参数监测技术在防治水工程中的应用

钻探装备的水文靶点精准定位模块与多参数水文监测模块协同联动，精准支撑防治水工程高效实施。系统融合北斗定位（精度≤0.8 m）与钻孔定向传感技术，可精准锁定导水断层、隐伏含水层等靶点；多参数模块集成流量、水压、水质传感器，实时捕获含水层动态参数。故障智能预警模块依托0.1 L/min灵敏度的钻进液流量监测单元，5 s内即可识别漏水等隐患并调控注浆参数。例如：山东某煤矿402 m深度勘探工程中，系统成功定位1.2 m宽导水断层（定位误差仅0.6 m），同步测得关键水文参数；监测到流量突变0.8 L/min后，3 s内预警并降压避险，后续动态调控注浆参数，仅用常规60%的注浆量完成高效封堵，显著降低材料成本[7]。

4 结束语

煤矿地面钻探装备智能化与信息化的深度融合，已然开启煤矿勘探技术发展的全新阶段。未来需持续深耕智能感知、自主决策等核心技术体系建设，强化装备环境适应性与运行可靠性。通过构建标准化技术框架，推动智能钻探装备规模化落地应用，为煤矿安全生产与高效开发筑牢技术根基，引领行业向高质量发展方向迈进。

参考文献

[1]刘远航.煤矿井下智能化定向钻探发展路径与技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2025(2):152-154.

[2]于泳.煤矿信息化、智能化关键技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2024(19):58-60.

[3]滕敬云,马伟,张玉玮.煤矿信息化技术在煤矿安全生产中的应用研究[J].数字通信世界,2024(9):185-187.

[4]杨轶,田宏亮,王力,等.煤矿井下钻探远程支持技术及其应用前瞻[J].煤炭技术,2024,43(2):243-248.

[5]金智新,闫志蕊,王宏伟,等.新一代信息技术赋能煤矿装备数智化转型升级[J].工矿自动化,2023,49(6):19-31.

[6]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.

[7]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.

（本文编辑 曹 阳）

