

# 数字矿山建设与智能化采矿技术

王昭舜

中煤科工集团武汉设计研究院有限公司 湖北 武汉 030024

**摘要:** 在全球矿业加速向智能化、绿色化转型的大背景下, 本文围绕数字矿山建设与智能化采矿技术展开。阐述数字矿山概念、支撑技术体系及信息基础设施建设, 介绍智能化采矿技术体系, 包括装备、工艺与生产过程控制技术。探讨数字矿山与智能化采矿在生产全流程、管理决策、外部环境方面的集成应用, 分析技术融合、绿色智能、无人化采矿发展趋势, 为矿山智能化发展提供参考。

**关键词:** 数字矿山; 智能化采矿; 技术体系; 集成应用; 发展趋势

引言: 矿山行业在经济发展中地位重要, 传统采矿模式面临效率、安全与环保等多重挑战。数字矿山建设与智能化采矿技术兴起, 借助信息技术实现矿山全要素数字化与智能化管控, 提升生产效率与安全性, 降低环境影响。深入研究相关内容, 对推动矿山行业转型升级、实现可持续发展意义重大。

## 1 数字矿山建设基础

### 1.1 数字矿山的概念与内涵

数字矿山是以矿山系统为原型, 通过信息技术手段实现矿山全要素、全流程数字化表达与智能化管控的先进模式。其本质是通过多维数据融合与智能算法驱动, 构建覆盖地质勘探、开采设计、生产运营到安全管理的全生命周期数字化体系<sup>[1]</sup>。核心要素涵盖空间信息数字化、生产过程自动化与管理决策智能化三个维度。空间信息数字化通过高精度三维建模技术, 将矿山地质结构、设备分布及人员活动等要素转化为可量化的数字模型, 为后续分析提供基础数据支撑。生产过程自动化依托物联网与智能装备, 实现采掘、运输、通风等环节的无人化操作与自主协同, 显著提升作业效率与安全性。管理决策智能化则基于大数据分析 with 人工智能算法, 对生产数据、设备状态及环境参数进行实时挖掘, 为资源调度、工艺优化及应急响应提供科学依据。

### 1.2 数字矿山建设的支撑技术体系

地理信息系统技术通过空间数据管理与分析功能, 为矿山规划提供动态决策支持。该技术可整合地质勘探数据、设备运行记录及环境监测信息, 生成多维度可视化地图, 辅助优化开采路径与资源分配方案, 单次规划可处理20类以上数据源, 生成5至8套备选方案。全球定位系统与北斗导航技术通过高精度定位模块, 实现矿山设备与人员的实时轨迹追踪, 定位精度可达厘米级, 结合调度算法可动态调整运输路线与作业顺序, 减少空载

率与等待时间, 单日运输效率提升8至12个单位。遥感技术通过卫星或无人机搭载的多光谱传感器, 持续监测地表形变与植被覆盖变化, 监测频率可达每日1次, 结合机器学习算法可提前识别滑坡、塌陷等地质灾害风险, 提前预警时间可达3至5天。三维建模与虚拟现实技术通过激光扫描与点云处理, 构建毫米级精度的矿山地质模型, 并支持沉浸式虚拟采矿环境模拟, 为新员工培训与应急预案演练提供安全高效的实践平台。

### 1.3 数字矿山的的信息基础设施建设

矿山通信网络采用有线光纤与无线5G/Wi-Fi6的异构融合架构, 通过软件定义网络技术实现带宽动态分配, 确保井下设备控制指令与视频监控数据的毫秒级传输延迟, 满足实时、高效通信需求。数据中心建设遵循分布式存储与边缘计算结合原则, 在井下关键节点部署微型数据中心, 就近处理设备状态数据, 减少核心系统计算压力, 提升数据处理效率。数据备份机制采用本地与云端双重冗余存储, 结合区块链技术确保数据不可篡改, 保障数据安全可靠。信息安全体系通过国密算法对传输数据进行加密处理, 结合零信任架构实施动态身份认证与权限管控, 防止数据泄露。网络安全防护部署入侵检测系统与流量清洗设备, 可实时阻断恶意攻击行为, 应急响应团队通过自动化脚本实现故障分钟级定位与修复, 保障系统连续稳定运行, 为矿山数字化建设筑牢安全防线。

## 2 智能化采矿技术体系

### 2.1 智能化开采装备技术

智能采掘设备通过集成高精度传感器与边缘计算模块, 实现采煤机与掘进机的自主路径规划与动态调整。设备搭载的激光雷达与视觉识别系统可实时感知周围环境, 结合强化学习算法自动优化截割参数, 适应不同地质条件下的作业需求<sup>[2]</sup>。状态监测系统通过振动、温度

等多参数融合分析,提前识别关键部件磨损趋势,故障诊断模型基于历史数据训练,可精准定位故障源并推荐维修策略。智能运输设备采用车路协同技术构建运输网络,智能胶带输送机通过张力传感器与变频驱动装置实现运量动态匹配,矿车搭载的北斗定位模块与5G通信单元支持多车编组自动驾驶。路径规划算法综合考虑矿石流向、设备状态及巷道拓扑,自动生成最优运输方案,无人驾驶系统通过多传感器冗余设计确保复杂环境下的行驶安全性。智能支护设备利用惯性测量单元与液压伺服系统实现锚杆钻机的精准定位,液压支架配备电液控制系统,可根据顶板压力自动调整支护强度与姿态。姿态监测模块通过角度传感器实时反馈支架空间位置,协同控制算法确保多架联动时的同步性,避免因支护不当引发的冒顶事故。

## 2.2 智能化开采工艺技术

智能采煤工艺依托三维地质模型与设备运动学仿真,通过遗传算法优化采煤方法参数,生成适应不同煤层厚度的截割路径。工作面协同控制系统整合采煤机、刮板输送机与液压支架的实时数据,采用分布式控制架构实现三机联动,截割速度与推移步距根据煤层硬度自动调节,提升资源回收率。智能掘进工艺通过掘锚一体机实现破岩、支护与运输的连续作业,激光导向系统确保巷道掘进精度,支护参数根据围岩分类结果动态调整。掘进参数优化模块基于岩性识别结果实时修改钻进速度与推进压力,减少设备空转时间,提高作业效率。智能爆破技术利用数字孪生平台进行爆破参数设计,通过数值模拟分析不同装药结构下的破碎效果,优化孔网参数与起爆顺序。电子雷管精准延时控制技术实现毫秒级起爆同步,振动监测传感器网络实时反馈爆破振动强度,安全预警系统根据监测数据自动调整后续爆破方案。

## 2.3 智能化生产过程控制技术

生产调度智能化系统整合订单需求、设备状态与库存数据,通过混合整数规划模型生成周度生产计划,实时调度模块基于动态优先级算法调整任务顺序。数据采集网络覆盖井下所有作业单元,工业以太网与无线传感网络协同传输,确保数据时效性。设备控制智能化平台采用分层架构设计,底层设备控制器执行具体操作指令,中层协调控制器处理多设备间的逻辑关系,顶层优化控制器基于全局目标调整运行参数。远程集中控制系统支持多设备一键启停,协同控制算法确保设备动作时序精准匹配。安全监控智能化体系部署多类型传感器网络,瓦斯、粉尘与一氧化碳浓度数据通过无线传输至监控中心,异常值检测算法实时分析环境参数变化趋势。

应急救援指挥系统集成人员定位、视频监控与通风控制模块,灾害发生时自动规划最优逃生路线,联动通风系统调整风流方向,为救援行动提供决策支持。

## 3 数字矿山与智能化采矿的集成应用

### 3.1 矿山生产全流程集成

矿山生产涵盖勘探、设计、开采、选矿以及尾矿处理等多个环节,数字矿山与智能化采矿的集成,实现了这些环节的数字化无缝衔接<sup>[3]</sup>。在勘探阶段,借助高精度的地质探测仪器与先进的数据分析算法,能够精准定位矿藏的位置、规模与品质,为后续设计提供详尽准确的基础数据。设计环节依托数字化设计软件,结合勘探数据,可快速生成科学合理的开采方案,不仅考虑资源的最大化开采,还兼顾对周边环境的最小影响。进入开采阶段,智能化采矿设备在数字矿山系统的指挥下,按照预定方案精准作业,实时反馈开采进度与设备状态信息。选矿环节同样融入数字化技术,通过智能传感器与控制系统,精确控制选矿工艺参数,提高选矿效率与产品质量。尾矿处理环节也不再是简单的堆放,而是利用数字化手段进行科学规划与监测,确保尾矿的安全处置与资源再利用。各环节之间实现数据共享与协同作业,打破了信息孤岛,使得整个生产流程如同一个紧密协作的有机整体,高效有序运转。

### 3.2 矿山管理决策集成

数字矿山平台为矿山管理决策的集成提供了强大支撑。在这个平台上,生产管理、安全管理、设备管理和成本管理等各项管理职能实现深度融合。生产管理模块实时监控生产进度、资源消耗等关键指标,一旦发现偏差,能够及时发出预警并调整生产计划,确保生产按计划有序推进。安全管理模块借助智能监控设备和风险预警系统,对矿山的安全隐患进行全方位排查和实时预警,将事故风险扼杀在萌芽状态,为矿山安全生产保驾护航。设备管理模块通过物联网技术,实现对设备的远程监控和故障诊断,提前安排维护保养,减少设备停机时间,提高设备利用率,降低设备故障对生产的影响。成本管理模块则对各项成本进行精细化核算和分析,为成本控制提供精准依据,助力矿山企业实现降本增效。基于这些数据构建的决策支持系统,运用大数据分析和人工智能算法,对海量管理数据进行深度挖掘和分析,为管理层提供科学合理的决策建议,助力矿山实现精细化管理和可持续发展。

### 3.3 矿山与外部环境的集成

数字矿山通过开放接口实现与供应链上下游企业的

获取矿山物料库存水平,根据消耗速度自动补货,减少库存积压,降低运营成本。物流企业通过共享运输计划与车辆位置信息,优化配送路线,提升运输效率,实现物流资源的优化配置。下游客户可查询订单生产进度,根据交付时间调整生产安排,增强供应链的灵活性与响应速度。与政府监管部门的集成方面,矿山企业通过数据直报系统自动上传环保监测数据、安全检查记录等信息,监管平台可远程核验数据真实性,对异常情况及时介入,提升监管效率。合规管理模块内置最新政策法规库,自动比对企业运营数据,识别合规风险点,指导企业调整运营策略,确保始终符合监管要求,助力矿山企业合规稳健发展。这种内外协同机制推动矿山从独立作业单元转变为产业链协同节点,提升整体运营韧性<sup>[4]</sup>。

#### 4 数字矿山建设与智能化采矿技术的发展趋势

##### 4.1 技术融合趋势

人工智能、大数据、物联网与云计算等前沿技术正加速向采矿领域渗透,形成多技术协同驱动的创新格局。人工智能算法通过机器学习与深度学习模型,对海量矿山数据进行智能分析,实现设备故障预测、生产参数优化及安全风险预警。大数据技术构建矿山数据湖,整合地质勘探、设备运行、环境监测等多源异构数据,为决策提供全面数据支撑。物联网技术通过部署在矿山各环节的传感器网络,实现设备状态实时感知与数据自动采集,推动生产过程透明化。云计算平台提供弹性计算资源,支撑复杂模型训练与大规模数据处理,降低企业信息化成本。多学科交叉融合催生新型采矿模式,地质学、计算机科学、控制工程等领域的理论方法相互渗透,推动采矿技术向智能化、精准化方向演进。

##### 4.2 绿色智能采矿趋势

智能化技术成为绿色采矿的关键支撑,通过资源高效利用与环境保护的协同优化,推动采矿行业可持续发展。智能开采系统根据矿石品位动态调整截割参数,减少贫化损失,提升资源回收率。智能选矿技术通过在线品位分析仪实时监测精矿质量,自动调整药剂添加量与分选强度,降低药剂消耗与尾矿排放。节能减排方面,智能通风系统根据人员分布与设备运行状态动态调节风

量,减少无效能耗;智能供电网络通过负荷预测与峰谷调度优化能源配置。生态修复环节,无人机搭载多光谱相机定期监测植被覆盖度,结合土壤养分数据生成修复方案,智能灌溉系统根据气象条件自动调整喷灌量,提升修复效率。

##### 4.3 无人化采矿趋势

矿山开采正逐步向全流程无人化作业迈进,远程操控与自动化控制技术持续突破。井下设备搭载5G通信模块与高精度定位系统,实现地面控制中心对采煤机、掘进机等装备的远程精准操控。自动驾驶技术应用于矿山运输车辆,通过车路协同系统完成矿石转运任务,减少人员暴露于危险环境的时间<sup>[5]</sup>。智能支护设备根据顶板压力自动调整支护强度,巡检机器人搭载多种传感器定期巡查巷道,替代人工完成高危作业。随着技术成熟度提升,无人化采矿将从局部试点向全矿区推广,最终构建"少人化、无人化"的新型矿山生产体系,显著提升作业安全性与生产效率。

##### 结束语

数字矿山建设与智能化采矿技术发展,为采矿行业带来全新变革。从建设基础奠定发展根基,到智能化技术体系提升生产效能,再到集成应用实现全流程优化与内外协同,以及呈现出的技术融合、绿色智能、无人化发展趋势,均推动采矿行业向高效、安全、绿色方向稳步迈进,在当下及后续发展中持续发挥关键作用。

##### 参考文献

- [1]姚占辉.基于数字化技术的矿山自动化智能采矿系统设计与优化[J].中国金属通报,2025(13):140-142.
- [2]张文全.数字化智能矿山系统在露天石灰石矿山采矿技术应用[J].西部探矿工程,2023,35(11):159-161,164.
- [3]郭怡琳,张柏.砂石矿山加工全流程智能化系统建设[J].采矿技术,2022,22(5):191-193.
- [4]郭贤.煤炭企业数字矿山建设规划研究探讨[J].装饰装修天地,2022(18):43-45.
- [5]石建刚.浅析数字矿山和矿山信息化建设的现状与发展对策[J].世界有色金属,2023(14):205-207.