

智慧化矿山背景下露天采矿智能化配矿系统设计与应用

李思晗

内蒙古大唐国际锡林浩特矿业有限公司 内蒙古锡林郭勒 026000

摘要: 在智慧矿山建设背景下,露天采矿智能化配矿系统通过融合三维时空演化模型、实时监测技术和智能决策算法,实现了资源的高效利用与生产流程的协同优化。在智慧化矿山建设背景下,露天采矿智能化配矿系统设计框架以动态三维时空数据库为核心支撑,通过多源数据融合与智能分析实现矿产资源的精准配置与动态管理。该系统框架通过整合地质勘探数据、无人机测绘数据、三维激光扫描数据以及实时传感器数据,构建能够反映矿山地质构造、矿体分布、开采进度等要素的数字化模型。

关键词: 露天采矿智慧化;配矿系统设计;应用

以“数据驱动-智能决策-全流程协同”为核心,通过技术分层与机制创新,推动露天矿山向安全、高效、绿色方向转型。

一、系统设计框架

1. 动态三维时空数据库

系统架构设计,系统采用分层架构设计,包括数据采集层、数据处理层、模型构建层和应用服务层。数据采集层负责获取多源异构数据,涵盖地质勘探数据、遥感影像、工程测量数据等;数据处理层通过数据清洗、格式转换和空间插值等方法提升数据质量;模型构建层基于处理后的数据建立三维地质模型、矿体模型和开采现状模型;应用服务层则为配矿决策、储量监测和安全生产等业务场景提供支持。动态三维时空数据库构建,动态三维时空数据库采用统一的数学基础和坐标系统,通常以CGCS2000国家大地坐标系为基准。数据库支持多种三维模型数据格式,包括3D Tiles、S3M和OBJ等开放格式,确保数据的互操作性和共享性^[1]。通过实时更新机制,数据库能够持续集成无人机航测、三维激光扫描等动态监测数据,保持模型与实际情况的一致性。数据库管理遵循矿山地理信息数据共享规范,实现属性数据与空间数据的一体化管理。智能化配矿核心功能,系统具备矿产资源动态储量监测能力,通过多期三维模型对比分析,实现矿体储量变化的精准计算,相对误差可控制在3%以内。配矿优化模块结合地质品位数据、开采成本因素和市场需求,运用智能算法生成最优配矿方案。同时,系统集成实时监控功能,对采矿车辆位置、设备状态进行可视化管控,有效防范超速、超载等安全风险。

技术集成与创新应用,系统深度融合人工智能技术,提升数据处理效率和模型构建的自动化水平。通过大数据分析技术,系统能够挖掘隐藏在多源数据中的规律,为配矿决策提供数据支撑。三维实景“一张图”平台整合了车辆轨迹、作业范围和报警统计等监测数据,实现矿区全要素的可视化表达。此外,系统还结合数值仿真技术,为矿山灾害预防和风险规避提供技术支持。系统实施与数据流转,系统实施遵循数据价值产出逻辑,涵盖全面感知、深度分析、科学决策和精准执行四个阶段。数据通过多层级闭环流动实现价值递增,其中全面感知阶段通过传感器网络量化隐性信息,深度分析阶段揭示数据内在规律,科学决策阶段生成优化策略,精准执行阶段实现方案的有效落地。

2. 实时监测与数据融合

以“空天地一体化感知体系”为核心,整合物联网、大数据、人工智能等技术,构建覆盖露天采矿全流程的智能化配矿系统。系统架构分为三层:感知层:部署高精度传感器、UWB定位基站、视频监控设备等,实时采集矿石品位、设备状态、环境参数等数据。平台层:基于云平台与5G技术实现数据高效流转,集成多源异构数据处理模块,支持实时分析与决策。应用层:提供配矿优化、预警响应、可视化监控等功能,通过智能算法动态调整开采方案。实时监测技术方案,多源数据采集,环境监测:通过气象API、水文传感器等实时获取降水量、涌水量等指标,预防水害风险。设备状态监测:利用IoT设备跟踪采矿机械运行参数,结合3D人脸识别技术强化人员安全管理。矿石品位监测:采用在线分析仪

动态检测采出矿石成分，确保配矿精度。高精度定位技术，联合UWB AOA定位基站与RTK技术，实现亚米级定位，支持车辆防撞与边坡位移监测。动态验证监测数据真实性，防范边坡坍塌等安全隐患。数据融合与智能分析，多源异构数据处理，运用时间同步、空间对齐算法整合地质勘探、气象、设备运行等数据，构建水文地质模型。通过大数据平台关联分析，实现通风、排水等系统的实时协同调控。智能决策支持，基于知识图谱与机器学习算法，动态优化配矿比例，平衡资源利用与成本控制。开发预警模型，对水害、设备故障等风险进行态势分析与应急指挥。应用场景与价值，精准配矿管理，根据开采计划自动调配高/低品位矿石比例，稳定输出矿石质量，降低资源浪费。安全与效率提升，非接触式监测减少巡检风险，3D人脸识别强化人员准入管理。应急指挥系统实现资源调度自动化，提升灾害响应速度。实施路径，分阶段建设：优先部署感知层与平台层，逐步扩展应用功能。

3. 智能决策与协同优化

协同优化机制，跨系统数据融合：打通爆破、采装、运输、排土等环节数据孤岛，构建统一时空演化平台。动态调度算法：通过智能管控中心优化车辆路径、装载顺序及设备协同，降低空驶率并提升运输效率。人机协同交互：支持无人装备与有人设备混编作业，通过5G远控实现高危区域零人工暴露。核心功能模块，智能配矿决策，基于实时品位数据与成本模型，自动生成出矿品位均匀化方案，资源利用率提升显著。引入“协调者-探索者”异构机器人架构，人形机器人统筹全局，四足机器人攻坚复杂地形巡检。全流程协同优化，生产调度：结合数字采矿软件，实现采-运-装全流程无人化，作业效率提升30%以上。安全环保：集成边坡雷达、微震监测与环保传感器，实时预警塌方、粉尘超标等风险。动态风险管控，通过AI算法分析设备状态与生产数据，自动触发维保指令与应急响应。构建安全综合监测系统，实现“人-机-环”全要素智能预警。技术实现路径，初级阶段：搭建三维数字化底座，实现资源与工程状态静态可视化。中级阶段：部署五维动态管控系统，集成生产调度、质量管控与设备管理模块。高级阶段：构建珠峰智慧施工大系统，覆盖“人、机、料、法、环、测”全场景智能管控。创新价值，安全效益：高危区域作业人员减少90%，边坡事故率显著下降。经济效益：设备利用率提升20%，油耗降低15%，年节省人工成本超

千万元。环保效益：通过能耗优化与粉尘监测，助力绿色矿山建设。

二、关键技术应用

1. 时空演化模拟

在智慧化矿山背景下，露天采矿智能化配矿系统通过时空演化模拟技术，实现了资源动态管理与开采过程的可视化推演。时空演化模拟技术，动态三维建模：基于GIS、GPS和遥感技术构建露天矿三维地质模型，实时更新采场、排土场等工程位置的空间变化，支持逐年或逐月的剥采排工程推演^[2]。参数可视化：可展示台阶高度、采掘带宽度、煤层厚度等关键参数，并以分布云图、图表形式呈现区域含矸率、矸石层数等数据。资源动态管理：通过时空演化模型实现资源储量的定期升级与核减，优化开采方案，提升资源利用率。智能配矿与协同管控，多目标优化：结合矿石品位、储量及成本数据，自动生成配矿方案，确保出矿品位均匀化。无人化作业：集成无人驾驶矿车、智能调度系统，通过5G通信与数字孪生技术实现“采-运-装”全流程协同，减少空驶率。安全预警：通过边坡雷达、微震监测等传感器实时预警塌方、粉尘超标等风险，保障作业安全。技术架构与进阶路径，初级阶段：构建静态三维模型，实现基础数据采集与可视化。中级阶段：融入生产、设备等实时数据，形成五维动态管控模型，支持决策优化。高级阶段：应用时空大模型（如龙软时空大模型1.0），实现智能设计、智能问数等深度功能，破解矢量图形处理与行业知识融合难题。

2. 无人驾驶与智能调度

在智慧化矿山建设中，露天采矿的智能化配矿系统通过无人驾驶与智能调度技术的深度融合，实现了运输环节的自动化、高效化和安全化。无人驾驶技术应用，环境感知与定位，露天矿采用“激光雷达+摄像头+毫米波雷达”多传感器融合方案，结合红外热成像和4D成像雷达技术，解决扬尘、夜间作业等恶劣环境下的感知难题，实现360度无盲区探测。例如，华为方案通过AI仿真调优，可在扬尘40米范围内精准感知障碍物。高精度地图与实时更新，基于多源数据融合的地图高频更新技术，支持作业区域分钟级动态调整，满足矿区快速变化的地形需求。易控智驾的“著山2.0”方案通过众包地图实现自适应路径规划，停靠准确率超99%。车规级冗余设计，全冗余制动、转向和电源系统确保故障时自动切换备份，保障连续作业安全。华为无人矿卡支持30厘米

障碍物自动绕行,平均时速达32公里。智能调度系统优化,动态任务分配与路径规划,采用强化学习算法,综合车辆位置、电量、任务紧急度等因素动态调度。例如,某批发市场50台无人物流车通过AI调度,日均完成超25趟次转运。华为云控平台支持“时空预定”技术,避免路口死锁。多机协同与车路协同,通过5G专网实现车-路-云实时交互,边缘计算平台处理本地感知数据,提升调度效率。井下运输场景中,V2X技术结合UWB定位,实现低延迟任务分配。能效与成本优化,无人驾驶降低60%运输基建投资和50%以上人力成本。露天矿通过5G+无人驾驶,解决招工难和安全风险问题。规模化应用挑战与趋势,技术通用性:不同矿区工况差异要求方案具备快速适配能力,如易控智驾已实现55%矿卡常态化无人驾驶。

3. 安全预警与设备预维

在智慧矿山建设背景下,露天采矿智能化配矿系统通过融合物联网、大数据、人工智能等技术,实现了安全预警与设备预维的突破性进展。安全预警:构建主动防控体系,多源数据融合预警,通过整合边坡监测、环境传感器、视频AI分析等数据,构建智能感知网络。例如,煤科院“山石”系统V3.0可兼容多品牌监测设备,利用大数据算法实现边坡变形全自动判识,串联中长期与临滑预警分析,提升灾害辨识精度。动态风险评估与应急响应,基于数字孪生技术,实时模拟矿山环境变化,结合UWB高精度定位(亚米级)和3D人脸识别,实现人员设备安全监控与应急资源智能调度。例如,鞍钢矿业通过全流程智能开采技术,打通“采-运-排”环节,减少因信息滞后导致的安全事故。设备预维:从被动维修到预测性维护,状态感知与寿命预测,通过IoT传感器采集设备运行数据(如振动、温度),结合AI模型分析故障趋势。例如,主扇风机、矿卡等关键设备采用预测性维护后,非计划停机时间减少30%以上。智能诊断与协同优化,利用数字孪生平台动态诊断设备健康状态,联动生产调度系统调整配矿计划。

三、实践案例与挑战

1. 关键技术实践案例

鞍钢资源智能工厂,鞍钢资源通过物联网、云计算等技术构建智能工厂,实现选矿流程的智能化再造。磨矿、磁选等工序由人工调控转为系统自动调节,形成工序协同的智慧生产模式。其数智管控中心以“一总部多基地”原则,实现产供销全产业链数据协同,解决了传统矿山“地质不清、配矿不准”的痛点。数字孪生技术应用,星图云平台推出的露天矿山数字孪生解决方案,结合无人机、IoT传感器和5G技术,构建矿山监测网络。通过可视化后台管理,实现填挖方分析、爆破设计等辅助决策,提升管理精度与响应速度。

2. 核心挑战

技术装备自主可控,大型连续化开采装备核心部件依赖进口,需突破“卡脖子”技术,实现轻量化、高可靠性的自主设计。现有系统在大型化、成套化方面仍存在产能不足问题。数据标准与系统协同,矿山信息系统存在“信息孤岛”现象,不同业务模块数据标准不一,导致协同性差。需统一数据维度与管理标准,实现全链条数据融合。智能化场景定义模糊,无人化作业效率低,场景建设缺乏统一标准。需明确智能化场景定义,优化采剥作业链的智能协同运行。安全与环保压力,露天矿面临边坡失稳、粉尘排放等风险,传统监控系统难以实现全方位预警。需构建多源数据融合的安全监测体系,满足环保合规要求。

总之,智能化配矿系统通过“感知-分析-决策-执行”闭环,推动露天矿向绿色、高效、安全方向转型,未来需进一步突破行业知识壁垒与复杂环境适应性难题。

参考文献

- [1] 谭章禄, 马营营, 郝旭光, 等. 智慧矿山标准发展现状及路径分析[J]. 煤炭科学技术. 2019, (3).
- [2] 汪义龙, 李义朝, 石芬芬, 等. 国内智慧矿山标准可转化为国际标准的选择策略研究——以露天煤矿为例[J]. 中国煤炭, 2022, 48(6): 35-43. DOI: 10.3969/j.issn.1006-530X.2022.06.007.