

南泥湖钼矿智能调度系统建设

张登伟¹, 姬光宗¹, 周 妞¹, 李旭阳¹, 蒋 红²

(1. 栾川龙宇钼业有限公司, 河南 栾川 471500;
2. 长沙迪迈科技股份有限公司, 湖南 长沙 410221)

摘要: 随着南泥湖钼矿采场条件变化和生产流程的调整, 原有的配矿系统和卡车调度系统在矿石品位控制和运输安全等方面暴露出功能单一、协同性不足等问题。为优化南泥湖钼矿生产调度流程, 提出了一套智能调度系统升级方案, 方案涵盖采场调度模式切换、矿石装运卸管控、挖机权限管理及基于矿石品位控制的二次配矿调度算法。通过构建“班前静态配矿+二次配矿修正”双层框架, 设计了基于目标挖机影响系数模型的二次配矿方法, 实现品位均衡与运输效率的协同优化, 将日品位波动范围压缩至 $\pm 0.003\%$ 。此外, 提出了多系统协同联动机制, 通过RFID定位、权限配置与数据反馈, 有效解决了外运车辆违规作业与交通冲突的问题。应用结果表明, 该系统使南泥湖钼矿的日平均出矿量稳定在1.5万吨(波动 ± 0.1 万吨), 出矿品位满足选厂需求。研究结果为复杂场景下矿山智能化升级提供了动态响应与多目标协同技术方案。

关键词: 智能调度系统; 矿石品位控制; 采场管理; 智能矿山; 南泥湖钼矿

中图分类号: TD57 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2025)04-0119-10

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2025.04.03

智能矿山建设是推动矿山提升生产效率、保障生产安全以及实现可持续发展的重要举措^[1]。当前, 随着资源开采规模的扩大以及环保需求的提升, 智能化技术正逐步成为矿山转型升级的核心驱动力^[2-3]。作为中国重要的钼资源开采基地, 南泥湖钼矿近年来积极推进智能矿山建设, 通过信息化与智能化技术提升矿山综合管理水平, 以适应日趋复杂的矿区开采条件。

目前, 南泥湖钼矿通过卡车调度系统发送配矿计划的调度指令, 内外运车辆按照调令执行作业。但随着生产作业的推进和采场面积的缩小, 矿石配矿系统与卡车调度系统逐渐暴露出功能单一、协同性不足等问题。为降低外运车辆进入采区作业的频率, 南泥湖钼矿计划建设堆料场以优化矿石暂存与转运流程。但堆料场投入使用后, 原矿石配矿系统和卡车调度系统难以满足生产流程变化后的需求。因此, 在确保生产作业安全的同时, 如何实现矿石配矿的均衡性与车辆调度的有序性, 成为南泥湖钼矿当前急需解决的问题。

近年来, 人工智能与自动化技术的快速发展和应用, 为矿山调度系统的智能化升级提供了坚实的技术支撑。目前, 矿山调度系统在提升生产效率、降低运营成本以及保障生产安全中发挥着重要作用, 但智能矿山建设对调度系统的实时性以及智能化提出了更高要求^[4-5]。传统矿石配矿与运输调度系统多依赖人工操作或基于固定规则的方法^[6-7], 无法应对生产环境变化及多目标调度需求。针对传统调度优化算法求解效率低的问题, 学者们提出了多种改进型智能优化算法^[8-10], 用以高效求解矿石配矿优化问题以及卡车调度优化问题。此外, 部分学者将强化学习和深度学习技术应用在露天矿卡车调度中, 提出了基于多智能体强化学习的露天矿车辆调度方法^[11]和基于轻量化图注意力机制的露天矿卡车调度优化算法^[12]。

除算法创新外, 矿山调度系统的智能化建设还离不开信息化基础设施的支撑。陈炳坤等设计了一款带有多矿协调的设备信息管理系统, 并将

收稿日期: 2025-04-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2024YFC2909500)。

第一作者简介: 张登伟(1982—), 男, 河南栾川人, 本科, 主要从事矿山生产与安全管理等工作。

通信作者简介: 姬光宗(1991—), 男, 河南栾川人, 本科, 工程师, 主要从事矿山生产与安全管理等工作。

该系统作为卡车调度系统的基础模块用于提高设备利用率^[13]。马天义等提出了一种以智能配矿与调度为核心的协同开采技术,通过地质建模、智能配矿与设备调度三位一体协同,基于实时矿石品位预测动态优化矿卡路径,实现了资源精准匹配与运输效率同步提升^[14]。张宏宇依托智能网联与无人驾驶技术,构建车-路-云协同调度系统,通过多车协同调度实现车流规划与实时调度^[15]。贺海涛等则提出了矿用辅助运输车辆智能无人运输系统总体架构,以达到降低安全隐患、提高运输效率、提升经济效益的目的^[16]。

综上所述,现有研究通过创新算法以及信息技术应用,为露天矿卡车调度优化提供了多维度解决方案,为提升运输效率、降低运营成本以及实现智能矿山建设奠定了重要基础;但在应对南泥湖钼矿“堆料场引入-调度体系重构”复杂场景时,现有方法在动态适应性、多系统协同机制及实时决策响应等方面仍显不足,尚不能有效解决因生产流程变化带来的调度挑战。因此,为提升南泥湖钼矿生产组织效率与调度系统的智能化水平,本研究拟构建一种融合智能调度算法与多系统联动的智能矿山调度系统升级方案,旨在实现矿石品位均衡与调度效率双重提升。

1 南泥湖钼矿概况

近年来,南泥湖钼矿部署了包括配矿系统和卡车调度系统在内的多项数字化管理系统,这些系统在优化资源配置、提高矿石品位控制能力,以及保障运输作业安全等方面发挥了重要作用。随着采场条件的变化和生产组织模式的调整,原系统逐渐暴露出功能单一、响应能力不足等问题,已无法完全满足现代矿山对智能化管控的高标准需求。

1.1 采场调度现状

目前,南泥湖钼矿内运车辆根据指令直接到破碎站卸载矿石,外运车辆在破碎站完成装载后直接离开采区。然而,随着生产逐步推进,采场面积逐渐缩小,采场内交通环境日益复杂,时常出现内运卡车与外运卡车相遇且出现堵塞的情况。当前外运车辆直接进入采场装载矿石的作业方式存在显著的安全隐患。

为降低采场内交通冲突风险,矿山计划建设中间堆料场并引入皮带运输系统,以减少外运车

辆直接进入采区的频率(图 1)。中间堆料场和皮带运输系统的引入改变了矿山生产流程,需对原配矿系统和卡车调度系统进行全面升级与优化,以在不影响生产建设的前提下实现矿石品位的均衡控制与车辆的有序调度。

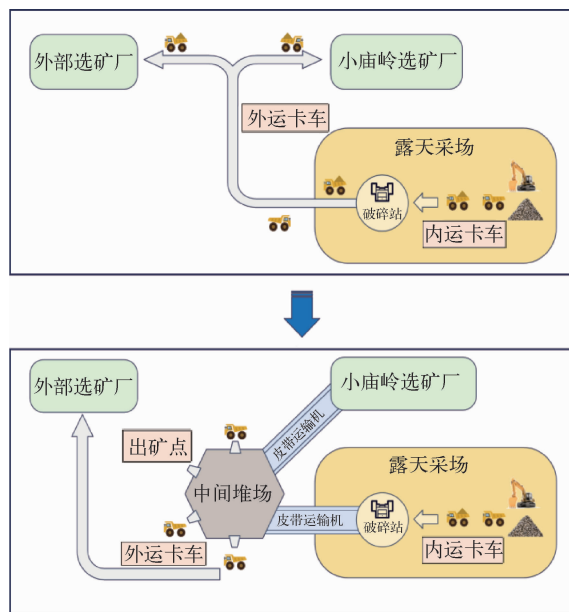


图 1 南泥湖矿调度流程变动

Fig. 1 Changes in the dispatch process of Nannihu mine

1.2 存在的问题

南泥湖钼矿生产流程的调整对原配矿和调度系统提出了更高要求。原系统在生产流程变动后暴露出以下问题:1)采场交通安全隐患突出。随着采场面积的缩减,外运车辆直接进入采区装载矿石的作业方式加剧了采场内的交通冲突,增加了运输作业的安全风险。中间堆料场的建设可缓解这一问题,但这一措施需要配矿系统与调度系统在新的矿石流转模式下实现高度协调,而原系统的支持能力明显不足。2)调度系统智能化水平低。原卡车调度系统在分配任务时主要基于固定规则,缺乏对装载点矿石品位、运输距离及车辆载重能力的综合考虑,难以实现优化调度。同时,当挖掘机或运输车辆发生故障时,系统缺乏动态调整能力,无法及时重新分配任务,导致运输效率下降。3)系统协同性和数据融合能力不足。原配矿系统与卡车调度系统间的协同性较低,存在明显的信息孤岛现象,数据共享与融合能力有限。这种局限性导致系统无法在生产过程中实现实时决

策和动态调度,影响了矿石品位均衡控制及车辆利用效率。4)缺乏智能化系统升级的技术支持。在中间堆料场和皮带运输系统的规划与建设过程中,缺乏成熟的智能化系统融合与升级案例可供参考。

原配矿系统和调度系统在整合新工艺流程时面临技术瓶颈,增加了矿山智能化改造的实施难度和技术风险,需进行定制化开发以弥补功能和性能不足。

2 智能调度系统优化策略

在生产工艺变动后,综合考虑矿石品位控制和车辆调度,基于采场与破碎站、中间堆场、地磅及门禁系统的协同运行,优化原配矿系统及相关生产调度系统。优化后的配矿系统旨在满足采场内运卡车在矿石装载及破碎站下料口下料模式下的矿石品位控制需求。采场内宽体车根据配矿指令(计划)出矿,调度系统依据配矿计划进行调度,并考虑装载点矿石品位、运输距离,及车辆载重能力等因素,确保卸载矿石品位均衡,并最大限度减少或避免排队现象。通过配矿计划、车辆调度与卸载控制的有机结合,确保进入采场破碎站卸载的矿石品位平稳,并保障从破碎站通过皮带运输到堆场的矿石满足配矿要求,进而实现堆场卸料时同一车队不同车辆按照调度指令进行轮巡装矿。

此外,对南泥湖钼矿原智能卡调度系统进行优化与升级,使其在配矿计划基础上实现采场内运卡车与外运卡车的自由调度。当因挖掘机或运矿车辆故障导致配矿点或运矿车辆减少时,系统能够合理调度车辆,保障运矿效率及卸矿品位的稳定性。通过智能卡调度系统与原地磅无人值守系统,以及皮带下坑项目地磅系统的融合,实现实时采集并上传装载点、空载与重载过磅时间等数据,以支持生产决策的优化。

2.1 调度模式切换

针对皮带运输系统的运行状态,调度系统设定2种生产模式以适应不同工况:1)生产模式一。当皮带运输系统正常运行时,内运卡车将矿石运输至破碎站卸矿,而外运卡车仅可在中间堆场装矿;调度系统对外运卡车进行权限控制,防止其进入采场装矿,违规行为将触发系统警报;

通过动态调度算法,系统依据配矿计划实时调整矿车调度,确保采场矿石出矿品位的均衡性及运输效率。2)生产模式二。当皮带运输系统停用时,调度系统允许外运卡车进入采场装矿,权限配置及调度规则将随之调整;系统对外运卡车的装载行为进行实时监控,并同步上传相关数据,确保生产活动的有序性及矿石品位控制。

2.2 基于矿石品位控制的二次配矿调度算法

针对矿区生产调度过程中矿石品位控制与产量提升之间的矛盾,提出了一种基于矿石品位控制的中间堆场二次配矿调度算法。该算法通过引入目标挖机影响系数模型,在综合考虑矿石品位偏差与排队长度等因素的基础上,动态优化车辆派遣流程,实现调度效率与矿石品位平衡的有机统一。目标挖机的影响系数(I_k)是评价出矿点优先级的核心指标,其定义为

$$I_k = \omega_1 \Delta G_k + \omega_2 L_k,$$

式中: I_k 为第 k 个出矿点的目标挖机影响系数; ΔG_k 为第 k 个出矿点矿石品位与目标品位的偏差; L_k 为第 k 个出矿点的当前排队长度; ω_1 和 ω_2 分别为品位控制与排队长度在影响系数中的权重。

中间堆场二次配矿调度算法具体流程:1)初始化输入数据,输入目标品位(G_0)、各出矿点的矿石品位(G_k)和当前排队长度(L_k);2)计算品位偏差,对于每个候选出矿点,使用 $\Delta G_k = |G_k - G_0|$ 计算品位偏差;3)根据 $I_k = \omega_1 \Delta G_k + \omega_2 L_k$,计算每个出矿点的影响系数;4)根据影响系数排序,选取影响系数最小的出矿点($k^* = \arg \min_k I_k$);5)将进入中间堆场的车辆派往出矿点 k^* ;6)动态更新目标品位(G_0)以及各出矿点的品位和排队状态,实时优化下一次派车决策。

二次配矿采用“班前静态规划+二次配矿修正”两阶段策略,具体流程见图2。在班前配矿阶段,首先准备出矿点剩余矿石量、品位等基础数据,并配置设备生产能力、计划生产矿石量、破碎站处理能力及目标入选品位等模型参数;随后基于智能优化算法进行多目标优化解算;最终生成各出矿点至破碎站的矿石分配总量计划,确保全局品位均衡。

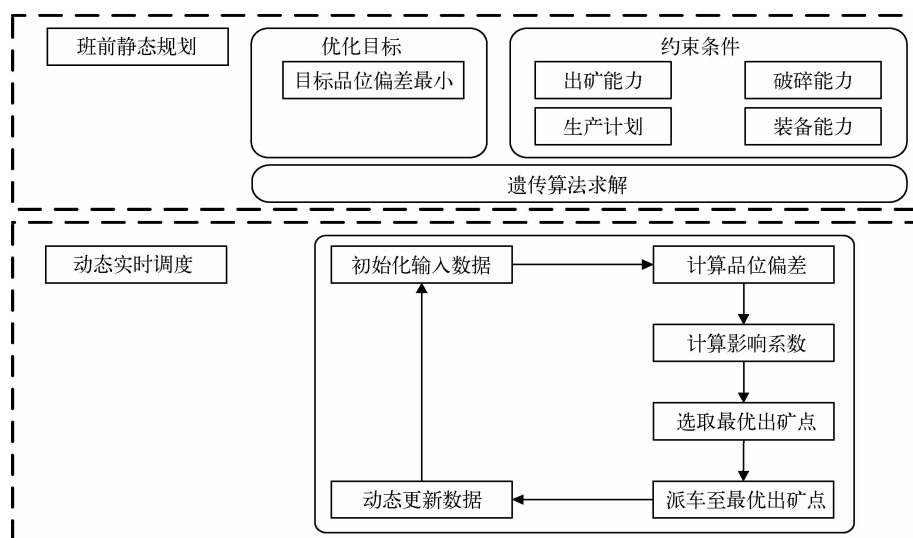


图2 二次配矿流程

Fig. 2 Secondary ore blending process

进入动态调度阶段后,系统实时采集破碎站目标品位波动数据,计算各出矿点矿石品位与目标值的偏差,并结合矿卡排队长度评估出矿点作业饱和度。根据图2所示算法流程,优先选择影响系数最小的出矿点,向矿卡下发调度指令。

2.3 矿石装载运卸管控

为了提高矿石装载、运输与卸载各环节的管理效率,基于生产作业设备的实时定位数据、矿区路网结构以及矿区生产作业现状,研发了一套矿石装运卸流程管控方法,实现对整个矿石装载运输卸载过程的记录与有效管控。通过智能化系统的全面升级,能及时识别并预警不按调度指令操作的行为,如偷盗矿石、重复过磅、插队等违章行为,从而确保矿石发运全流程的安全性与规范性。

2.3.1 挖机锁定装矿

原系统运矿车辆有时未到达装载范围即可确认并开始装矿,导致装矿过程不规范。为了改进这一问题,在挖掘机与宽体车辆上安装定位天线,确保只有当运矿车辆进入挖机装载范围(30 m)以内时,系统才允许确认装矿(图3)。此外,挖机不允许在指定车辆未进入装载范围时切换作业。此举有效避免了车辆未按照指令进行装矿、过磅或卸矿等作业情况,例如,原本应在A挖机装矿的车辆可能错误地到B挖机装矿。

2.3.2 排队等待卸矿

在生产模式一情况下,系统在破碎站下磅口设置了卸矿等待区。重载车辆在完成毛重称重后

需在该区域等待,车载终端会通过语音提示司机前方排队车辆的数量。随着排队顺序的变化,系统将通过车载终端语音通知司机前往相应的卸料口。卸矿请求需经调度台确认,只有在确认后,车辆才能开始卸矿。此外,在破碎站下料口设置RFID读卡器与道闸,确保排队车辆能够按照顺序有序卸矿。在正常情况下,车辆过磅顺序与卸载顺序一致,系统能够在品位均衡的前提下优化派车顺序。当出现插队、不按规定卸矿等异常情况时,道闸将进行有效控制。

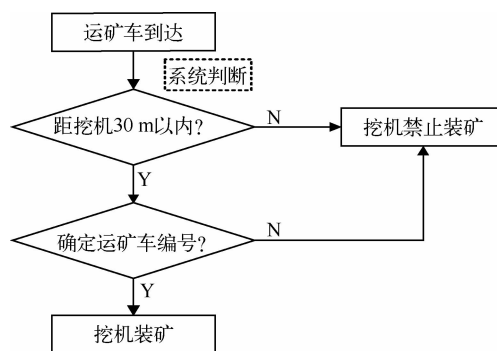


图3 挖机锁定状况

Fig. 3 Locking status of excavator

2.3.3 挖机权限管理

采场内的挖机车载终端可结合2种生产模式对挖机装载权限进行调整。在外运卡车未进入采场装矿时,车载终端将只允许挖机为内运卡车装矿。在生产模式一下,若挖机误为外运卡车装矿,

系统将实时预警,并将预警信息上传至信息调度中心,预警信息需由权限人员登录账号后处理,并保存处理记录;在生产模式二下,当外运卡车进入采场进行装矿时,通过录入外运矿车辆信息,挖掘机终端将控制挖机只为相应的外运卡车进行装矿。

2.3.4 堆场放矿匹配

在中间堆场的各放矿口处安装了 RFID 读卡器与显示大屏等硬件设施。当运矿车辆到达放矿口时,系统通过 RFID 读卡器识别车辆信息。车载的 RFID 电子标签被放置在挡风玻璃上,当车辆通过道闸前的入场感应线圈时,系统会激活车载双频电子标签,远距离读取器将自动读取标签信息并上传至主机数据库,显示屏会实时显示车辆信息及其匹配情况。匹配成功后,现场放矿人员将根据系统指示进行放矿操作。

2.3.5 装载调度功能

在外运矿车辆完成称重后,智能卡调度系统将根据车队匹配信息与配矿计划信息,指派各车辆至不同的放矿口进行装矿操作。该系统确保同一车队的不同车辆在中间堆场装矿时,能够按照调度指令轮流在不同放矿口装矿,从而保证选厂矿石的品位要求得到满足。

2.4 多系统联动

2.4.1 与地磅系统联动

在采场地磅系统中,设置有效值范围来限制

车辆的过磅数据。当车辆的过磅数据超出该范围时,系统记录异常数据,不进行过磅操作。通过对这些异常过磅信息的分析,系统能够发现并查处不按规定装矿或卸矿的行为。此外,系统通过破碎站下料口的 RFID 读卡器,精确记录车辆的卸矿时间。结合现场监控、卸矿后的下一环节过磅数据及装载信息,系统能够有效识别重载车辆是否按要求卸矿,从而避免出现不按要求卸矿或重复过磅的现象。

2.4.2 与门禁系统联动

1)中间堆场门禁系统

在生产模式一下,内运卡车将矿石运输至破碎站卸矿,外运卡车仅可在中间堆场装矿(图4)。由于中间堆场的场地有限,智能卡调系统可根据当天的生产计划、堆场存储情况及车辆运输能力,计算允许进入的车辆数量。当车辆数量达到计算阈值时,系统将联动门禁系统提示暂时不允许外运卡车进入;待部分运矿车辆完成装矿作业并经过重车过磅流程后,后续车辆才可依次进入,以保障现场生产秩序。排队车辆将按照顺序有序装矿,在矿卡出门禁前系统会检查车辆的过磅和装矿记录是否匹配,确保记录一致后放行;如出现异常,门禁系统将禁止放行,并将异常信息发送至调度中心。调度员将根据异常信息判断是否为违规行为,并确认异常处理后解除限制。

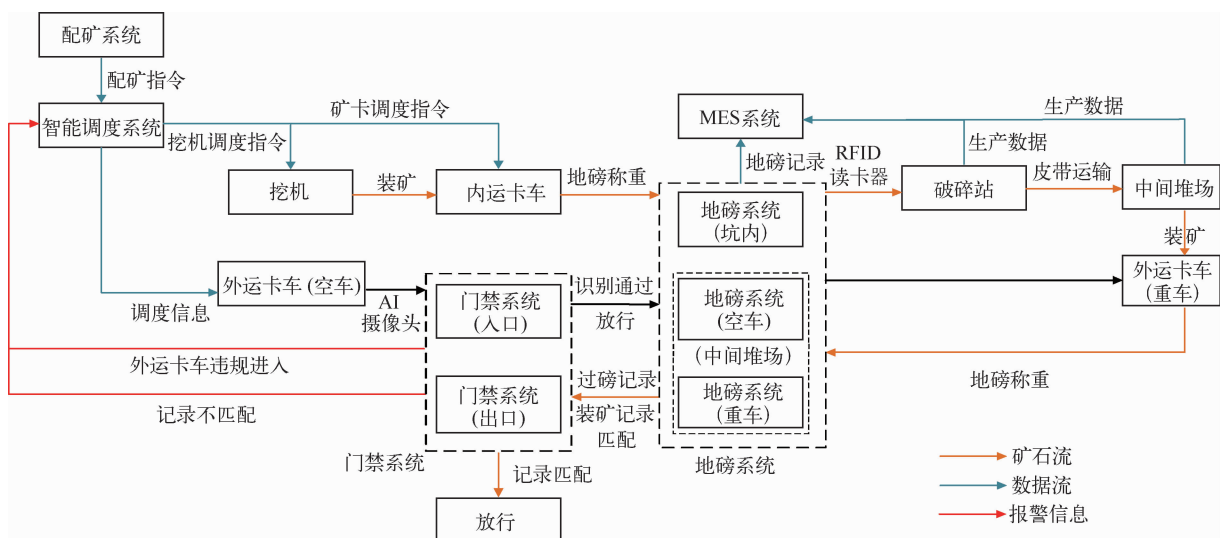


图4 生产模式一下门禁系统联动示意图

Fig. 4 Schematic diagram of access control system linkage under production mode 1

2) 采场门禁系统

在外运卡车进行采场作业时,即生产模式二,门禁系统与卡调系统实现联动(图 5)。矿卡出门禁前,系统会检查车辆的过磅和装矿记录,确保两者匹配,

只有通过验证后才能放行;如果过磅和装载记录存在异常,门禁系统将禁止抬杆,并将异常信息反馈至调度中心。调度员可根据异常信息判断是否存在违规行为,并要求确认异常信息后方可消除。

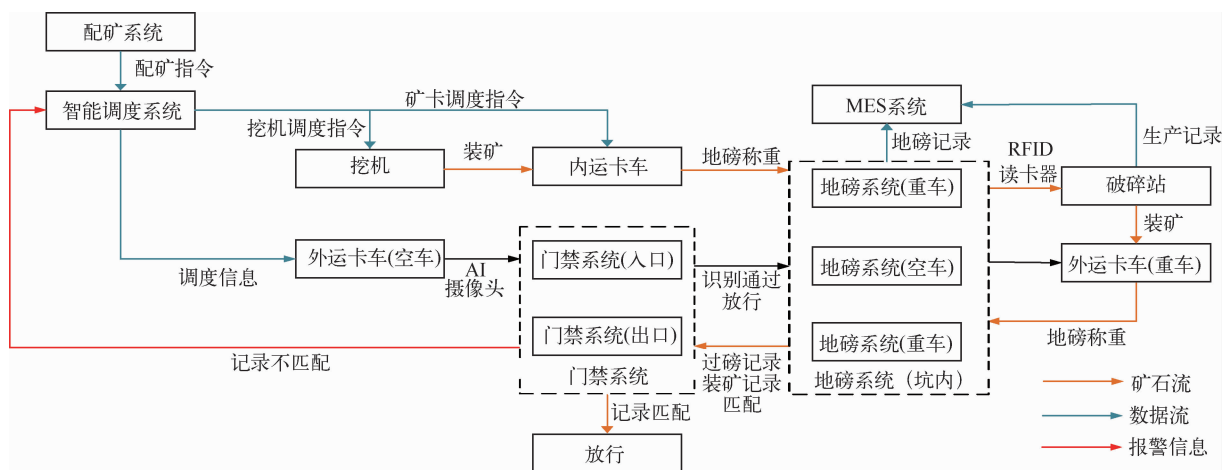


图 5 生产模式二下门禁系统联动示意图

Fig. 5 Schematic diagram of access control system linkage under production mode 2

3 智能配矿调度系统设计

为实现矿区生产调度过程中矿石品位控制与生产效率提升的综合优化,设计了一套智能配矿调度系统。该系统基于数据采集与分析、智能决策算法和多系统协同联动,旨在实现矿区生产过程的实时监控、动态优化和高效管理。

3.1 系统架构设计

智能配矿调度系统以“分层管理、模块协作、实时决策”为核心架构,结合矿区现有设施设备及生产调度需求,设计了涵盖数据采集、数据处理、决策、执行和反馈的 5 层架构,各层次功能描述见图 6。

3.1.1 数据采集层

该层是系统的信息基础,负责对矿区生产相关设备及作业状态进行实时数据采集,包括挖掘机、矿车、地磅和门禁系统等设备的运行状态、地理位置,及矿石品位等关键数据。为了保证数据的全面性与实时性,采集层结合了物联网感知技术(如 RFID 传感器、定位天线等)和现场监控设施,形成多源异构数据的实时汇聚。通过数据采集层,系统能够准确掌握矿区设备状态、矿石特性及作业流程,为调度算法提供全面可靠的数据支撑。

3.1.2 数据处理层

采集到的多源异构数据需要经过清洗、格

式化、融合等处理,才能为系统的决策分析提供基础支持。该层通过构建高效的数据处理流程,对异常数据进行排除,对不完整数据进行补全,并对动态生产状态进行实时更新。结合历史数据和生产计划信息,数据处理层生成可用于智能分析的结构化数据,支撑后续的智能决策与执行环节。

3.1.3 决策支持层

该层是智能配矿调度系统的核心功能层,通过一次配矿调度算法和二次配矿调度算法实现动态智能决策。另外,决策支持层还具备对特殊生产情况(如设备故障、生产异常)的实时应对能力,能够调整调度方案以保证矿区生产的持续稳定。

3.1.4 执行控制层

执行控制层负责将决策支持层生成的派车方案转化为可执行任务,并通过联动矿区的生产设施设备实现高效的闭环控制。系统通过车载终端向矿车司机实时推送派车任务,同时联动地磅系统、门禁系统及其他配套设施,对任务执行进行全程监控。派车任务的执行情况会被动态记录和反馈至系统,形成数据闭环,确保调度决策的高效落地。此外,该层还可对违规作业(如不按调度装卸矿、重复过磅)进行识别和干预,为矿区安全生产提供保障。

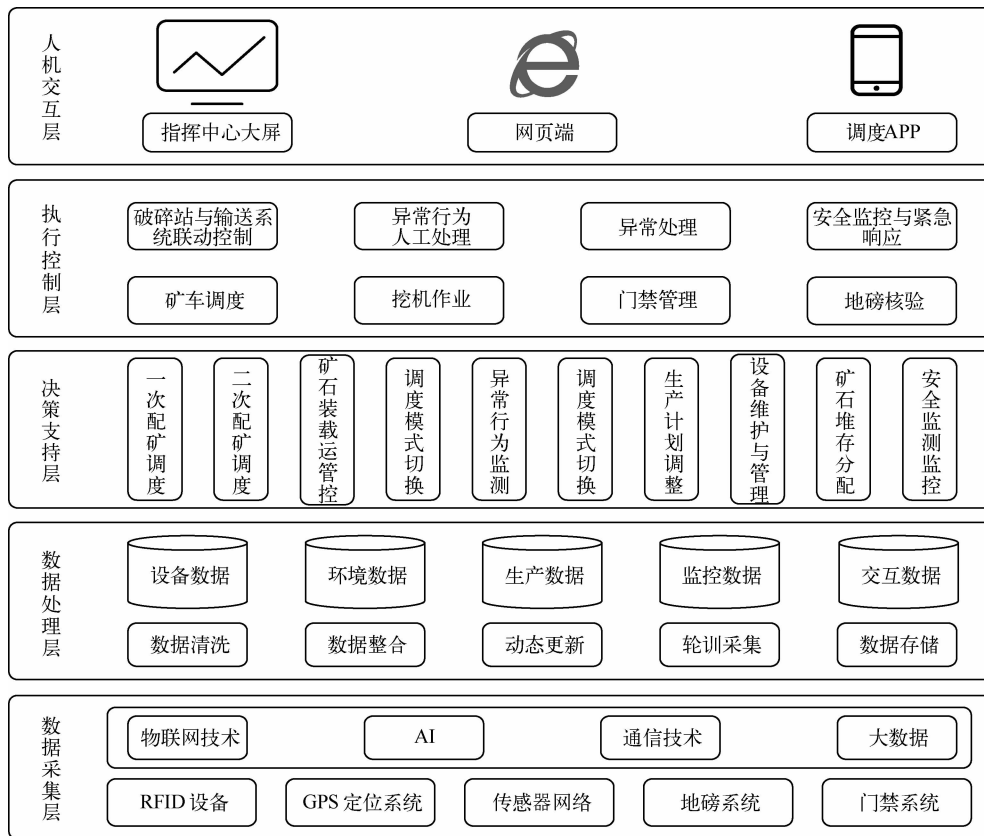


图 6 系统架构图

Fig. 6 System architecture diagram

3.1.5 人机交互层

人机交互层为操作人员提供了直观友好的管理界面,是系统与用户之间的桥梁。界面设计以实时性、可视化和操作便捷为核心,能够动态展示矿区的生产状态,包括车辆位置、矿石品位、设备运行状态,及排队长度等信息。调度员可以通过该层查看系统生成的配矿调度方案,并在异常情况下进行人工干预。此外,人机交互层还提供历史数据的统计分析功能,生成详细的生产报表,为管理人员的生产决策和调度优化提供有力支持。

通过 5 层架构的有机整合,智能配矿调度系统实现了从数据采集、智能分析到任务执行的全流程闭环控制,为矿区的生产调度效率提升和矿石品位的精准控制提供了坚实保障。

3.2 系统应用

智能配矿调度系统通过智能化技术与实时数据处理,在矿区的生产调度、矿石品位控制、设备管理和安全生产等方面发挥重要作用。

3.2.1 矿石品位控制

系统能够实时监控矿石品位的变化,并根据实时数据动态调整调度方案,优化矿车和设备的分配,确保生产过程中的矿石品位稳定。通过矿石品位控制,提高了生产效率,增强了矿区的经济效益,降低了品位控制带来的成本风险。

3.2.2 生产调度优化

系统通过结合矿区设备运行状态、运输需求、作业进度等多维度数据,实时生成并动态调整最优调度方案。智能化调度能提高矿车和设备的利用率,减少空驶时间和无效等待,极大地提升了生产效率。此外,在矿区生产调度中,系统通过结合皮带运输系统的运行状态,动态切换 2 种生产模式以应对不同的工况。当皮带运输系统正常运行时,内运卡车将矿石运输至破碎站,而外运卡车仅在中间堆场装矿;系统还采用基于矿石品位控制的二次配矿调度算法,通过动态优化车辆派遣流程,平衡矿石品位控制与生产效率,进一步提高调度效率和矿石品位稳定性。而当皮带运输系统停用时,系统

允许外运卡车进入采场装矿,并实时调整相关权限和调度规则,确保生产活动有序进行。

3.2.3 设备协同与联动控制

系统负责对矿车、挖掘机等设备进行调度,实现其与地磅、门禁系统、运输路径等的智能联动。通过实时监控各项作业任务,确保矿车按计划装载并顺利运输;同时联动控制门禁和地磅系统,实现车辆作业规范,防止重复过磅或违规作业,减少资源浪费,保障设备的高效运行。

3.2.4 调度大屏展示

系统通过调度大屏(图 7)将矿区的实时生产数据可视化,展示矿车位置、作业状态、矿石品位、设备运行状态等关键指标。调度员和管理人员可以通过大屏实时掌握矿区的生产状况,及时调整生产计划,并在异常情况下做出决策。大屏界面直观且动态更新,为生产过程中的信息透明化、决策效率提升提供了有力支持。



图 7 调度大屏

Fig. 7 Scheduling large screen

4 系统效益分析

南泥湖钨矿智能调度系统的优化与应用在经济、生产管理、安全、环境,以及智能化发展等方面均取得了显著的成效,全面助力矿山实现高效、安全与可持续发展。

4.1 经济效益

系统通过精准调度和优化分配,实现了矿石品位的动态平衡控制。统计显示,在一个月的试运行周期中,日平均出矿量稳定在(1~2)万吨,波动范围控制在 ± 0.1 万吨以内;日平均出矿品位在 $0.079\% \sim 0.085\%$,日波动幅度小于 $\pm 0.003\%$,出矿品位接近选矿厂设计入选品位(0.083%),有效保障了选矿作业的稳定性并降低

了因品位偏差导致的金属损失。此外,基于运输路径优化和车辆智能派遣的功能,大幅减少了车辆空载运行时间,车辆平均空载率下降约 12% ,运输燃油消耗相应降低,节省了运输成本。

4.2 生产管理和效率

系统通过大数据采集和智能分析,实现了生产活动的精确化和动态调整。智能派遣算法与实时监控相结合,使矿山调度能够快速响应采矿和运输过程中的突发情况,提升了运营的灵活性和科学性。同时,皮带运输系统和中间堆料场的引入,简化了矿石流转流程,减少了采场内车辆频繁往返的需求,提高了生产效率。

4.3 生产安全性

通过对设备运行状态和作业环境的实时监

测,系统能够提前发现潜在风险并及时发出预警,显著降低了设备故障和安全事故的发生率。此外,智能调度优化减少了采场内的交通冲突,有效保障了工人的作业安全。

4.4 矿山智能化建设

该系统提供了一套具有实践意义的成功范例。其在矿山运营中的全面应用,提升了生产效率,为行业数字化、智能化转型积累了宝贵经验。作为南泥湖钼矿迈向智能化的重要里程碑,该系统对国内矿山领域的现代化升级有示范效应。

5 结论

1)结合矿山实际情况,运用大数据分析、智能算法优化和工业物联网技术,构建了智能调度系统的整体架构。在模型优化方面,提出了基于动态需求的路径优化算法,实现了矿山运输路径的精准规划;在系统整合方面,通过实时监控和预测分析相结合,提升了生产计划的精准度和执行力。

2)系统在南泥湖钼矿的实际部署和运行表明,该方案在经济效益、生产效率、安全性与环境保护等方面均取得了显著成效。其中,在经济方面系统实现了矿石品位的动态平衡控制,日平均出矿品位稳定在 $0.079\%\sim 0.085\%$,波动范围控制在 $\pm 0.003\%$,接近选矿厂入选品位(0.083%),有效减少了因品位波动造成的选矿损失。

3)本系统为矿山智能化发展提供了切实可行的范例。相关经验可推广应用于其他类型矿山,为矿山行业的数字化、智能化转型提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 胡乃联,李国清.我国金属矿山智能化现状与问题探讨[J].金属矿山,2024(1):7-19.
HU Nailian, LI Guoqing. Discussion on the status and issues of intelligence for metal mines in China [J]. Metal Mine, 2024(1): 7-19 (in Chinese).
- [2] 王李管,陈鑫.数字矿山技术进展[J].中国有色金属学报,2016,26(8):1693-1710.
WANG Liguan, CHEN Xin. Advancing technologies for digital mine [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2016, 26(8): 1693-1710 (in Chinese).
- [3] 侯志永,刘海洋,马云超,等.智能矿山建设在硬岩钼矿山的实践应用[J].铀矿冶,2025,44(3):108-113.
HOU Zhiyong, LIU Haiyang, MA Yunchao, et al. Practical application of intelligent mine construction in hard rock uranium mines [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2025, 44(3): 108-113 (in Chinese).
- [4] 王李管.我国金属矿智能化开采现状与发展[C]//中国金属学会.第十三届中国钢铁年会论文集(摘要):大会特邀报告 & 分会场特邀报告.重庆:[出版者不详],2022:40.
- [5] 鞠建华,韩见,鞠方略.中国智能矿山发展趋势与路径分析[J].中国矿业,2023,32(5):1-7.
JU Jianhua, HAN Jian, JU Fanglue. Development trend and path analysis of intelligent mines in China [J]. China Mining Magazine, 2023, 32(5): 1-7 (in Chinese).
- [6] 王李管,古德生.采矿手册:第6卷:矿山智能化[M].长沙:中南大学出版社,2024.
- [7] 柴修伟,张龙,胡建华,等.鄂西磷矿智能矿山建设现状与发展方向[J].金属矿山,2024:1-11.
CHAI Xiuwei, ZHANG Long, HU Jianhua, et al. Current situation and development direction of intelligent mine construction in western Hubei phosphate mine [J]. Metal Mine, 2024: 1-11 (in Chinese).
- [8] 田丰,唐晓骞,乔东青.基于SA-CSA算法的露天矿卡车调度优化方法[J].中国安全科学学报,2023,33(S2):176-181.
TIAN Feng, TANG Xiaoqian, QIAO Dongqing. Open-pit truck scheduling optimization method based on SA-CSA [J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(S2): 176-181 (in Chinese).
- [9] 王俊栋,李宁,吴亚辉,等.基于改进DCW-QPSO算法的露天矿卡车调度优化方法[J].金属矿山,2019(12):156-162.
WANG Jundong, LI Ning, WU Yahui, et al. Truck scheduling optimization in open pit mines based on improved DCW-QPSO algorithm [J]. Metal Mine, 2019(12): 156-162 (in Chinese).
- [10] 周晓将,刘鹏程,文历学,等.基于SPEA2和熵加权TOPSIS的露天矿配矿多目标优化方法[J].铀矿冶,2024,43(4):25-32.
ZHOU Xiaojang, LIU Pengcheng, WEN Lixue, et al. Multi-objective optimization method for ore blending of open-pit mine based on SPEA2 and entropy-weighted TOPSIS [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2024, 43(4): 25-32 (in Chinese).
- [11] 李新华.基于多智能体强化学习的露天矿车辆调度方法[J].西安邮电大学学报,2023,28(1):104-110.

- LI Xinhua. Vehicle scheduling algorithm in open pit mine based on multi-agent reinforcement learning [J]. Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications, 2023, 28 (1): 104-110 (in Chinese).
- [12] 黄石, 陈钊宇, 曾蕾. 基于轻量化图注意力机制的露天矿卡车调度优化算法[J]. 金属矿山, 2024(4): 202-208.
- HUANG Shi, CHEN Zhaoyu, ZENG Lei. Truck scheduling optimization algorithm for surface mine based on lightweight graph attention mechanism [J]. Metal Mine, 2024(4): 202-208 (in Chinese).
- [13] 陈柄锟, 何帅, 赵力. 露天矿卡车调度系统中设备信息管理的应用[J]. 露天采矿技术, 2020, 35(4): 21-24.
- CHEN Bingkun, HE Shuai, ZHAO Li. Application on equipment information management in truck dispatching system of open-pit mine [J]. Opencast Mining Technology, 2020, 35(4): 21-24 (in Chinese).
- [14] 马天义, 董培林, 张翼翔, 等. 基于智能配矿调度的露天矿协同开采技术研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2024, 76(6): 119-125.
- MA Tianyi, DONG Peilin, ZHANG Yixiang, et al. Study on collaborative mining technology of open pit mines based on intelligent ore blending and scheduling [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2024, 76(6): 119-125 (in Chinese).
- [15] 张宏宇. 面向露天矿山的卡车智能调度方法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2022.
- [16] 贺海涛, 张立辉, 王旭峰, 等. 面向矿用辅助运输车辆的智能无人运输系统研究[J]. 工矿自动化, 2022, 48(S1): 72-75.
- HE Haitao, ZHANG Lihui, WANG Xufeng, et al. Research on intelligent unmanned transportation system for mine-used auxiliary transportation vehicles [J]. Journal of Mine Automation, 2022, 48(S1): 72-75 (in Chinese).

Construction of Intelligent Dispatching System for Nannihu Molybdenum Mine

ZHANG Dengwei¹, JI Guangzong¹, ZHOU Niu¹, LI Xuyang¹, JIANG Hong²

(1. Luanchuan Longyu Molybdenum Industry Co., Ltd., Luanchuan 471500, China;

2. Changsha Dimine Co., Ltd., Changsha 410221, China)

Abstract: With the changes in mining conditions and the adjustment of production processes, the original ore distribution system and truck dispatching system have exposed problems such as single function and lack of coordination in terms of ore grade control and transportation safety. In order to optimize the production dispatching process of Nannihu molybdenum mine, a set of intelligent dispatching system upgrade solutions was proposed, which covered the switching of mining dispatching modes, ore loading and unloading control, excavator authority management and secondary ore distribution scheduling algorithm based on ore grade control. By constructing a two-layer framework of "static ore distribution before shift + secondary ore distribution correction", a secondary ore distribution method based on the target excavator influence coefficient model is designed to achieve the coordinated optimization of grade balance and transportation efficiency, and compress the daily grade fluctuation range to $\pm 0.003\%$. In addition, a multi-system collaborative linkage mechanism was proposed, which effectively solved the problems of illegal operation and traffic conflicts of outbound vehicles through RFID positioning, authority configuration and data feedback. The application results show that the system has stabilized the average daily output of the Nannihu molybdenum mine at 15 000 t ($\pm 1\ 000$ t), and the ore grade meets the needs of the concentrator, providing a technical solution of dynamic response and multi-target coordination for the intelligent upgrade of mines under complex scenarios.

Key words: intelligent scheduling system; ore grade control; mining site management; intelligent mine; Nannihu molybdenum mine