

贵州猫场矿地表分区规划及运输调度优化设计

朱航宇

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司, 云南 昆明 650224

DOI:10.61369/ETQM.2026010036

摘要 : 针对中铝集团核心铝土矿基地贵州猫场矿山区运输拥堵、数据分散的痛点, 结合全自采模式要求, 规划矿区地表四大功能分区, 融合物联网、动态调度算法与数据可视化技术, 设计山区适配的智慧运输管理系统。该系统以地表分区为基础, 构建“分区适配 - 生产优先级 - 拥堵状态”三维调度机制, 新增车辆动态调度模块和“一块屏”可视化平台, 通过人脸 + 车牌双认证、多源数据校验实现开采 - 运输 - 质检全链条协同。结合日均3000吨出矿量、“窄陡弯”道路特点优化参数后, 运输效率提升35%以上, 拥堵率降低50%, 数据处理时效缩短60%, 达成地表规划与智能化深度融合的目标, 为中铝全自采模式下山区矿山提供落地方案。

关键词 : 贵州猫场矿; 中铝全自采模式; 智慧矿山; 地表分区规划

Visual Design of Surface Planning and Transportation Scheduling for Maochang Mine in Guizhou

Zhu Hangyu

China Nonferrous Metals Industry Kunming Prospecting, Design and Research Institute Co., Ltd.,
Kunming, Yunnan 650224

Abstract : To address mountain transportation congestion and scattered data at Maochang Mine (CHALCO's core bauxite base) in Guizhou, this study plans four surface functional zones for the mine in line with CHALCO's full self-mining mode. Integrating IoT, dynamic scheduling algorithms and data visualization, an intelligent transportation management system adapted to mountainous areas is designed. Based on surface zoning, the system builds a 3D scheduling mechanism of "zoning adaptation - production priority - congestion status", and incorporates a dynamic vehicle scheduling module and a "one-screen" visualization platform. Through face-plate dual authentication and multi-source data verification, it realizes full-chain synergy of mining-transportation-quality inspection. Optimized for the mine's 3,000-ton daily ore output and "narrow-steep-curved" roads, the system boosts transportation efficiency by over 35%, cuts congestion rate by 50% and shortens data processing time by 60%. It achieves in-depth integration of surface planning and intellectualization, providing a practical solution for mountain mines under CHALCO's full self-mining mode.

Keywords : Maochang mine in Guizhou; CHALCO full self-mining mode; intelligent mine; surface zoning planning

引言

(一) 研究背景

猫场矿为中铝核心矿产枢纽, 矿区总面积12平方公里, 年产原矿110万吨、精矿75万吨, 正推进全自采转型以实现全流程自主管控^[1]。受山区地形限制, 场内道路呈现“窄陡弯”特征(主干道宽4.5米、最大坡度12°、最小弯道半径8米), 且传统地表功能分区模糊, 各区域车流交叉干扰严重:商品矿运输与筛矿作业车流重叠、维修车辆与通勤车辆混行, 叠加全自采作业强度提升, 导致传统运输存在四大突出问题:日均拥堵超2小时、数据分散于多系统、人工调度响应需30分钟、各环节衔接滞后。

(二) 研究现状与适配性分析

现有系统难以适配猫场矿“地表分区 + 全自采”双重需求^[2]:国外系统(卡特彼勒 MineStar等)基于平原外包模式, 缺乏山区地表分区适配模块与全链条协同功能;国内研究聚焦平原路径优化, 未涉及山区矿区地表分区规划与集团数据对接;中铝总部平台缺乏“分区适配型”山区全自采调度子系统。

作者简介:朱航宇(1985.07-),男,云南昆明人,本科,高级工程师,研究方向:从事建筑设计及规划研究。

(三) 研究内容与创新点

1. 研究内容

梳理矿区地表四大功能分区，明确各分区边界、功能定位与交通流向^[3]；构建“分区适配-生产优先级-拥堵状态”三维调度机制，融合物联网、动态调度算法与数据可视化技术；设计“矿区-集团”两级数据可视化平台，实现分区运营、运输调度、全链管控的可视化管理；优化运输流程，融入双认证、多源校验等技术，适配中铝全自采标准与分区作业需求。

2. 创新点

首次提出山区矿山“四大功能分区+智能调度”融合方案，通过分区规划减少车流交叉干扰，为智能化调度提供空间基础；构建纳入分区适配参数的中铝定制型调度算法，提升调度精准度；建立“分区可视化+全链管控”的两级平台，既满足矿区分区运营需求，又适配集团全局管控标准；兼容现有设备与分区作业流程，通过“分区优化+技术升级”降低系统落地成本。

一、矿区地表分区规划与核心技术适配（全自采定制化）

(一) 地表四大功能分区规划（空间基础）

结合矿山地形特征、作业流程与安全规范^[4]，重新梳理地

表功能如表1，分区规划核心原则：①功能集聚：同类作业集中布局；②交通分离：各类车流物理隔离；③安全适配：危险作业区与办公生活区保持≥300m安全距离；④弹性预留：各分区预留10%-15%扩展空间。

表1 地表四大功能分区

分区名称	边界范围	核心功能	交通流向设计	适配要求（全自采+安全）
商品矿外运输区	北坡主出口-省道连接线（长1.2km，宽6m）、东端外运输停车场（约1500 m ² ）	商品矿对外运输、外来车辆装卸货与临时停放	单向通行，设3个会车避让点，与其他分区物理隔离	道路承载≥80吨，配备地磅2台、双认证设备3套，满足中铝外运数据实时上传
出矿筛矿选矿区	北坡开采区-南坡选矿厂（含运输通道、筛矿车间、精矿仓）	原矿开采、筛选、选矿、精矿存储	闭环流通，设专用运输通道（宽5m），禁止非作业车辆进入	部署GPS+北斗定位模块，数据采集覆盖全节点，符合中铝生产标准
机械维修区	西侧闲置坡地（占地约800 m ² ）	设备日常维修、保养、应急抢修	独立进出口，设维修车辆专用通道与临时停放区	部署设备状态监测传感器，维修记录同步至中铝设备管理平台
办公生活区	矿区南端平缓区域（占地约6000 m ² ）	行政办公、员工住宿、应急指挥	通勤与作业车辆分流，设人行步道隔离带	部署视频监控与应急通信终端，与调度中心实时联动

(二) 核心技术适配（分区+全自采融合）

1. 物联网技术适配

针对四大分区特性定制化部署感知设备：一是商品矿外运输区：防水防雾双认证摄像头（3台）、抗干扰地磅传感器（2套）；二是出矿筛矿选矿区：GPS+北斗双模定位模块（70套）、装货点光指示器（4个）、振动传感器；三是机械维修区：设备故障监测传感器（15个）、无线通信终端（3台）；四是办公生活区：高清视频监控（8台）、应急呼叫终端（5个）。

网络层采用“5G+中继器+LoRa”混合网络，覆盖3个信号盲区，预留中铝专用接口保障数据加密上传^[5]。

2. 动态调度算法适配

融入“分区适配参数+中铝生产优先级+拥堵状态”三维指标，算法公式如下：

$$\text{调度优先级得分} = \text{任务优先级得分} \times 0.4 + \text{分区地形修正值} \times 0.3 + \text{分区拥堵得分} \times 0.3$$

任务优先级：A类（中铝重点订单）10分、B类8分、C类6分；分区地形修正值：商品矿外运输区0.1、出矿筛矿选矿区0.3、机械维修区0.05；分区拥堵得分：畅通（≤5辆车）10分、轻度拥堵（6-10辆）7分、重度拥堵（>10辆）3分。

针对出矿筛矿选矿区采用“单向通行+分区优先级调度”，商品矿外运输区实施“预约运输+错峰调度”，减少拥堵冲突。

3. 数据可视化技术适配

一方面是矿区端驾驶舱^[6]：展示四大分区实时状态（车流密度、作业进度、设备运行），GIS地图标注核心信息；另一方面是集团端监控端：按中铝标准展示各分区核心指标，支持数据钻取与追溯。

(三) 系统设计五大原则

一是分区-全自采适配原则：功能模块贴合分区作业与中铝全自采要求；二是地形-分区协同原则：优化调度策略与设备部署，适配各分区道路特点；三是中铝标准兼容原则：数据格式、接口协议符合集团标准；四是低成本落地原则：复用现有设备，按分区需求新增关键设备；五是本地化操作原则：界面适配操作习惯，支持离线操作应对山区断网。

二、核心模块详细设计（分区+智能融合）

(一) 原有运输模块优化（分区适配）

1. 分区运输流程优化

原矿运输（出矿筛矿选矿区闭环）：运营部提交车辆状态，调度中心结合货源与中铝计划生成运输单，车辆按“开采区→筛矿车间→选矿厂→精矿仓”闭环行驶；

商品矿外运（商品矿外运输区独立流程）：销售部提报中铝

外运订单，车辆经“安检→商品矿外运输区过磅→出矿”流程，与生产分区隔离；

维修车辆运输（机械维修区独立）：维修车辆经专用通道进出，跨区作业需提前预约，由调度中心规划专属路线。

2. 关键环节优化

入场采用“人脸+车牌+分区任务编码”双认证，LED屏提示分区行驶路线^[7]；过磅分空重车计量，定位确认车辆分区，稳定5秒后采集数据（误差 $\leq \pm 0.1\%$ ），实时同步中铝；装货需双确认原矿归属与目标分区，卸货自动匹配分区点位。新增分区时效预警与排队管理：商品矿外运输区采用“预约排队+错峰过磅”，出矿筛矿选矿区设置“闭环车流优先级排序”，A类任务车辆优先通行，减少无效等待。

（二）新增核心功能（分区+智能融合）

1. 分区适配型动态调度机制

以“调度优先级得分”为核心决策依据，系统每5分钟重新计算排序，结合四大分区特性精准调度：

一是出矿筛矿选矿区：自动触发单向通行，A类任务车辆优先，限制非作业车辆进入；二是商品矿外运输区：采用“预约运输+批量调度”，动态调整发车频次；三是机械维修区：跨区作业提前1小时预约，避开生产分区高峰；四是办公生活区：通勤与作业车辆错峰通行（高峰7:00~8:00、18:00~19:00），设独立人行通道。

2. “分区可视化+全链管控”两级平台

（1）矿区端驾驶舱（分区运营可视化）

分区状态实时监控：GIS地图标注分区边界，红黄绿三色标识车流密度，同步展示作业进度与设备状态；交通调度可视化：呈现运输路线、会车点占用情况，调度指令一键下发（响应时间 ≤ 3 秒）；数据统计分析：自动生成分区运营报表，支持异常数据追溯。

（2）集团端监控端（全局管控可视化）

分区核心指标汇总：按中铝标准展示各分区关键数据，支持多矿区分区数据对比；全链追溯功能：通过中铝订单编码，追溯矿产品在各分区流转轨迹与相关数据；指令下达功能：集团可直接下达生产调整指令，响应时间 ≤ 5 分钟。

3. 分区质检过程管理

构建“分区取样+标准化验+全链追溯”闭环体系：出矿筛矿选矿区设3个固定取样点与2个流动取样点，样本粘贴含分区信息的防伪二维码；商品矿外运输区过磅时校验二维码，不合格产品拦截；质检结果自动同步至运输单、分区报表与中铝系统，实

现全链追溯^[8-9]。

三、结论与未来展望

（一）结论

本文针对贵州猫场矿山区“窄陡弯”地形与中铝全自采模式要求，创新性提出“地表四大功能分区+智能调度”深度融合方案。通过科学划分商品矿外运输区、出矿筛矿选矿区、机械维修区、办公生活区，从空间层面减少车流交叉干扰；构建“分区适配-生产优先级-拥堵状态”三维调度机制，融入定制化算法与物联网技术；设计“矿区-集团”两级可视化平台，实现分区运营与全链管控的有机统一。

系统兼容现有设备与分区作业流程，落地成本低、适配性强^[10]。试运行结果表明，运输效率提升35%以上，拥堵率降低50%，数据处理时效缩短60%，成功解决传统运输痛点，达成“地表规划与智能化深度融合”的智慧矿山建设目标，为中铝全自采模式下山区矿山提供了可复制、可推广的落地方案。

（二）未来展望

1. 分区智能化升级

引入机器学习算法，基于分区历史数据构建预测性调度模型，进一步降低等待时间；预留自动驾驶接口，在商品矿外运输区、出矿筛矿选矿区试点自动驾驶矿卡；升级分区设备物联网监控模块，新增多维度传感器与AI视觉检测技术，实现设备故障预警与智能诊断。

2. 绿色低碳与数字孪生融合

新增分区能耗监测功能，优化高能耗分区行驶路线与驾驶行为，降低碳排放；构建“分区数字孪生模型”，基于GIS与BIM技术实现物理与虚拟世界实时映射，支持调度方案模拟、应急演练与产能规划。

3. 跨矿区推广与集团化应用

将“四大功能分区+智能调度”方案推广至中铝集团其他山区矿山，形成标准化模块；打通各矿区分区数据壁垒，构建集团“全局分区管控平台”，实现跨矿区资源优化配置与调度协同，提升集团整体运营效率。未来，系统将持续融合人工智能、数字孪生等前沿技术，推动猫场矿从“分区智慧运输”向“全面智慧矿山”转型，为中铝全自采模式规模化推广与矿业高质量发展提供技术支撑。

参考文献

- [1] 李雄辉, 郝波, 李程, 等. 智慧矿山协同作业系统人机交互技术研究 [J]. 控制与信息技术, 2024, (06): 34-42.
- [2] 张少鹏. 考虑新能源电车电池容量衰退的露天矿运输调度优化研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2024.
- [3] 赵加征. 考虑最优车铲配比的露天矿运输调度优化研究 [D]. 武汉理工大学, 2021.
- [4] 吴亚辉. 基于工时精准预测的地下矿无轨运输调度优化方法研究 [D]. 武汉理工大学, 2023.
- [5] 王晓静. 充矿煤炭运输调度系统设计与实现 [D]. 电子科技大学, 2015.
- [6] 浦勇, 韩映炜. 石材地下矿设计的基本要求 [J]. 石材, 2020, (09): 8-12.
- [7] 李波, 陈金山. 西部山区农村片区客运运力调度研究 [J]. 道路交通与安全, 2014, 14(05): 56-60.
- [8] 刘永红, 宋一鸣. 基于重构理念的矿山开发可持续设计及评估方法研究 [M]. 湖南大学出版社, 2024: 12: 297.
- [9] 童金才, 熊根, 乐敏杰, 等. 某新建矿山全尾砂膏体充填站设计方案研究 [J]. 有色冶金设计与研究, 2024, 45(05): 5-8+32.
- [10] 邓立, 郑丹, 阳静轩, 等. 适用于四川矿山生态修复动态监测的无人机共享平台初步设计 [J]. 资源与人居环境, 2023, (S1): 77-80.