

引用格式:廖云军,谭胜虎,许兰康,等.面向智慧料仓管理的全智能抓斗行车管理系统及其应用实践[J].有色设备,2025,39(6):96-103.

LIAO Yunjun, TAN Shenghu, XU Lankang, et al. Full intelligent grab crane system for intelligent silo management and its application practice[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2025, 39(6): 96-103.

# 面向智慧料仓管理的全智能抓斗行车管理系统及其应用实践

廖云军<sup>1</sup>, 谭胜虎<sup>2</sup>, 许兰康<sup>1</sup>, 李翔<sup>1</sup>, 董义坤<sup>1</sup>

(1. 山东中金岭南铜业有限责任公司, 山东 东营 257055; 2. 北京瓦特曼智能科技有限公司, 北京 100071)

**[摘要]** 随着智能制造与智慧物流的推进,传统厂房抓斗行车在效率与安全上难以满足需求。本文构建基于自动驾驶、人工智能与机器视觉的全智能抓斗行车管理系统,通过智能定位、目标识别与自主作业,实现备料车间的智慧料仓管理。系统在某原料厂应用后显著提升了设备稳定性与作业精度,降低运行成本,推动抓斗行车向智能化升级,并为有色冶金行业智慧化转型提供支撑。项目系统自投入运行以来,设备异常响应时间缩短了 60%,运维效率提升了 40%;远程检修指导减少了现场维护时间 30%,设备故障率降低了 25%。

**[关键词]** 全智能抓斗行车管理系统; 智慧料仓管理; 人工智能; 自动驾驶; 机器视觉

**[中图分类号]** TF355 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2025)06-0096-08

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2025.06.013

伴随着智慧生产时代的到来,现代库区对物料管理的智能化、精准化与高效化提出了更高要求。传统有色冶炼行业在行车作业区及卸料区等关键环节仍面临着诸多挑战,如人力成本高昂、作业环境恶劣、安全隐患大等<sup>[1]</sup>。传统的人工或半自动抓斗行车在作业效率、运行精度以及安全性方面已难以满足生产需求。抓斗行车作为大宗物料仓储与输送系统中的核心设备,其智能化升级已成为建设智慧料仓管理的关键技术路径<sup>[2-3]</sup>。本文通过为原有行车加装全智能抓斗行车管理系统,赋予了其环境感知、自主规划与精准控制能力,从而完成对备料车间的智慧化改造,最终实现安全、高效、智能的无人化作业。

## 1 项目概况

本项目位于某原料厂的备料车间,由于该项目原行车本体使用年限长,机械、电气、结构等各方面

老化劣化情况较为严重,无法满足高效化的物料抓取、转运作业需求。备料车间的环境如下:极端日最高温度,45.0℃;极端日最低温度,-20.0℃;年平均气温,24.5℃;全年平均相对湿度,54%。在该备料车间的物料包括铜精矿、吹炼渣、渣精矿、石英砂、石灰石、块煤和冷料。该备料车间的布置如图 1 所示。

原料场在该项目中面向智慧料仓建设需求,集成自动控制、全变频驱动与高精度定位技术,结合三维激光扫描、工业相机与惯性测量单元构建料堆在线建模与动态盘库能力,并通过智能调度算法实现多设备协同作业;安全防护感知系统覆盖堵料检测、防碰撞、限位、超载保护及人员避让,形成主动预警与中控联动的多层次安全体系;防摇摆控制系统与智能运维平台进一步提升了作业稳定性与设备健康管理水平。

**[收稿日期]** 2025-08-18

**[第一作者]** 廖云军(1974—),男,江西吉安人,高级工程师,本科,主要从事有色金属冶炼建设工程、生产流程统筹、企业管理及市场战略规划等工作。

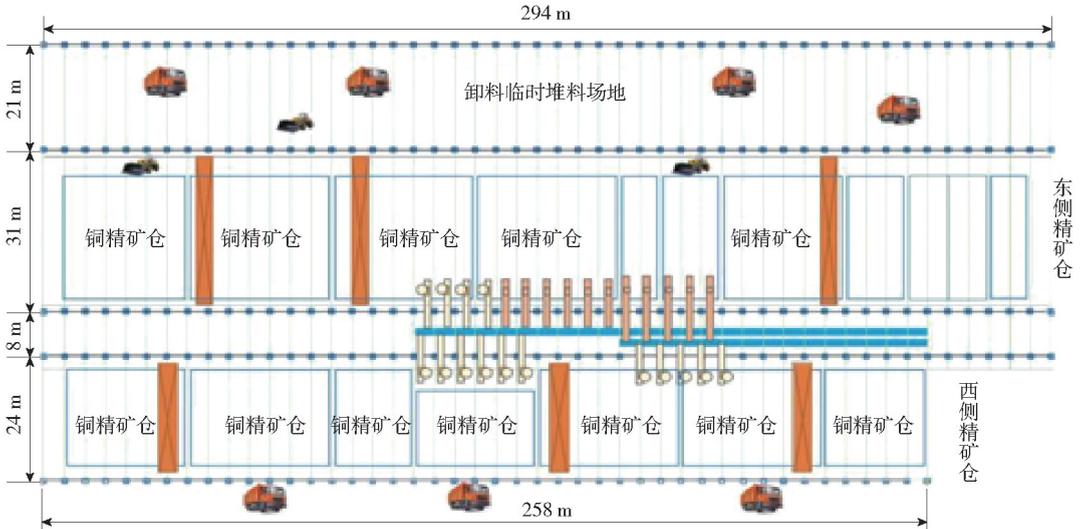


图1 备料车间布置

Fig. 1 Arrangement of material preparation workshop

## 2 全智能抓斗行车管理系统设计

### 2.1 系统介绍

该项目基于智慧料仓管理实践的思路,提出了

一套基于自动驾驶、人工智能、机器视觉、三维重建和数字孪生的全智能抓斗行车解决方案。该系统可在无人干预条件下安全、稳定地完成复杂作业任务。该无人行车系统的模块组成如图2所示。

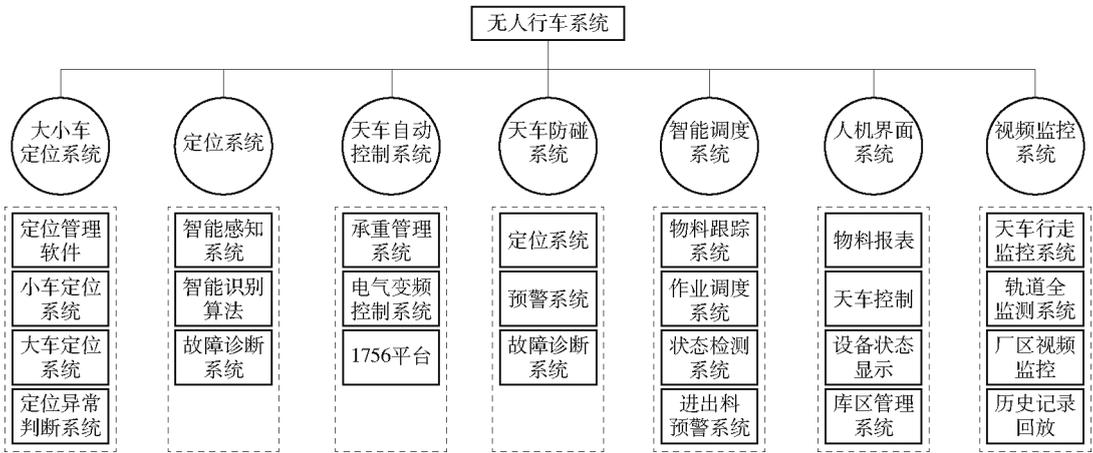


图2 无人行车系统模块

Fig. 2 Module diagram of unmanned vehicle system

### 2.2 人工智能技术与自动驾驶技术的应用

近年来,人工智能、自动驾驶等新技术的迅猛发展,数字化、智能化的生产系统架构升级逐渐成为推动新时代工业转型的重要引擎,并引领着工业领域的深刻变革。就人工智能而言,在历经百年的技术迭代之后,以深度学习为主的新方法成为掀起此次人工智能热潮的主要驱动力<sup>[4-6]</sup>。深度学习本质上是基于联接的特征提取算法,运用在钢铁、有色冶金

等基础工业领域的主要任务是基于问题综合不同深度学习算法,并搭载于机器设备替代此前高危、高难度的作业方式。人工智能的新突破也将自动驾驶的研究及应用推向了新高度。随着深度学习网络能力的增强,用端到端架构和神经网络将感知、预测、决策规划甚至控制模块替代,实现了高集成度和低延迟,逐渐成为自动驾驶行业研究热点,为自动驾驶系统发展提供了一条极具潜力的技术路径<sup>[7]</sup>。人工

智能技术和自动驾驶技术的深度融合共同构成了全智能抓斗行车管理系统的技术支撑,随之而来的是智慧化、智能化、低碳化的生产物料仓储设备及系统领域的创新实践。

### 2.2.1 本体自动控制系统

自动控制系统作为行车的核心处理单元,集中负责传感器信号采集、数据运算、逻辑控制、通信管理及故障诊断与报警功能,确保行车在智能库管系统调度下安全、稳定运行。为满足系统智能化升级需求,本项目对行车本体电气控制系统、传感系统、动力与传动系统实施了全面升级,并对结构件、安全装置及监控系统进行了协同优化,显著提升了设备的可靠性与智能化水平。

在改造过程中,拆除了原有老旧电气设备,更换为全套电控系统,并设立独立电气室。全部输配电装置均设于电气室内,其防护等级达 IP55,配备专用起重机空调系统,以满足防腐蚀、防粉尘和抗震动等环境要求。空调排水优先采用直排方式,受限时则采用蒸发器处理。原有行车电缆按“优先更换”原则进行全面更新,以保证设备长期运行的稳定性。全部限位开关均统一更换,保障供电与控制可靠性。原基于继电器逻辑的抓斗行车电气控制系统,本次升级为整车 PLC 控制系统。

### 2.2.2 传动控制系统

为兼顾备料车间的装卸效率、设备运行性能及作业工况,行车运行速度设计控制在 30 m/min 以内,定位精度要求不低于  $\pm 5$  mm。为满足无人化行车在长周期运行中的稳定性和精度要求,行车定位系统需具备自动纠偏能力。针对车间粉尘大、水雾重的恶劣环境,大车及小车运行机构( $x$ 、 $y$  方向)均采用格雷母线定位方式,保障在复杂环境中依然能够稳定提供定位信号。其中, $x$  轴方向水平位置检测精度控制在  $\pm 5$  mm 以内, $y$  轴方向水平位置检测精度同样保持在  $\pm 5$  mm 以内,以满足无人行车的高精度定位需求。为确保其具备优异的抗冲击与抗震动性能,选用防护等级达到 IP67 的工业级型号,且不受粉尘、光线、水汽及水雾等环境因素的干扰,从而保障在恶劣工业环境下的长期稳定运行。

### 2.2.3 定位控制系统

全智能抓斗行车管理系统考虑行车结构特性及负载变化等因素,为实现智能化运行,智能管控系统

需实时获取大车、小车及起升机构的空间位置( $x/y/z$  坐标),以实现速度控制、位置控制及防摇摆控制等功能的高精度闭环调节。

### 2.2.4 防碰撞系统

为确保备料车间内共轨抓斗行车在无人化运行状态下安全、可靠的作业,本系统建立了多层次安全防护策略,涵盖主动防护、被动冗余、防控切换以及紧急响应等多种手段,从而有效防范碰撞、设备损坏及作业安全风险。为保障共轨抓斗行车在备料车间无人化运行工况下的安全与可靠性,本系统构建了多层次的安全防护体系,涵盖主动预警、被动冗余、防控切换及应急响应等多种策略,从系统架构层面有效防范作业过程中可能发生的碰撞、设备损坏及人员伤害等风险。天车之间配备的防碰撞监测系统的示意如图 3 所示。

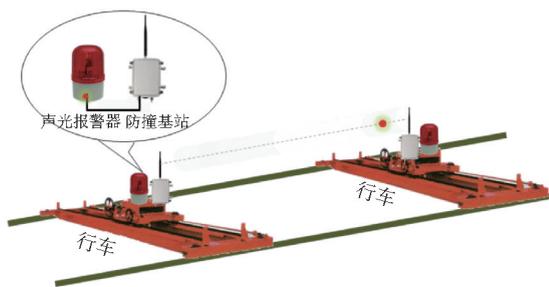


图 3 防碰撞监测系统示意

Fig. 3 Anti-collision monitoring system

#### 1) 抓斗运行防撞预警机制。

在抓斗下放接近地面及行车启动等关键工况阶段,控制系统自动启用防撞预警功能,基于传感器数据与作业流程逻辑,提前识别潜在冲突风险,并向系统发出安全提示信号,从而降低操作风险。

#### 2) 共轨抓斗行车防碰撞控制机制。

在精矿仓区域内,3 台抓斗行车基于共轨结构实现协同运行。为避免设备间因路径交叉、调度失衡等导致的碰撞事件,系统设计并集成了主动与被动双重防碰撞控制策略,分别基于运行轨迹预测与物理隔离机制,实现设备间的运行冲突管控。

#### 3) 远程控制失效保护机制。

当智能管控系统出现故障且远程控制功能失效时,系统可切换至手持遥控操作模式或司机室本地人工控制模式。在部分设备故障或突发工况下,还可进入调试模式,使行车能够在受控状态下运行至安全区域,便于后续维护与检修。

4) 紧急停车响应机制。

在行车电控柜门体、地面操作按钮盒及中控室均设有紧急停车按钮。当任一装置被触发,系统立即切断主电源与变频驱动电源,确保行车实现快速停机,防止事故扩展,提升应急响应效率与安全保障水平。

5) 车辆作业交叉安全管控。

考虑到出库物料需通过汽车完成转运,车辆需驶入行车自动作业区域完成装载作业。为规避车辆与无人化行车间可能产生的交叉干扰,系统在作业流程中设置围蔽隔离、门禁联锁、安全提示及权限控制等防护手段,确保人车设备作业时时空解耦,避免碰撞事故发生。

6) 人员进出安全管理机制。

为保障人员在进入库区及智能化作业区域期间的作业安全,系统结合车间作业特性与安全管理规范,建立了完备的人员风险识别、防护与隔离机制,确保在设备运行状态下人员与其作业轨迹无重叠,形成有效的空间隔离与动态监管体系。

通过上述多层次、复合式的安全防护机制,系统能够适应复杂工况、多设备协同与人车交互的作业环境,为实现抓斗行车的无人化、安全化、稳定化运

行提供坚实保障。

2.2.5 智能运动规划与防摇摆控制

防摇摆控制系统旨在确保抓斗行车在高速运行及复杂作业过程中保持吊具与物料的稳定,从而提升作业精度与运行效率。防摇摆控制系统示意如图4所示,其中无静止通过及防摇摆控制曲线示意图分别如图5和图6所示。防摇摆控制系统包括以下主要功能。

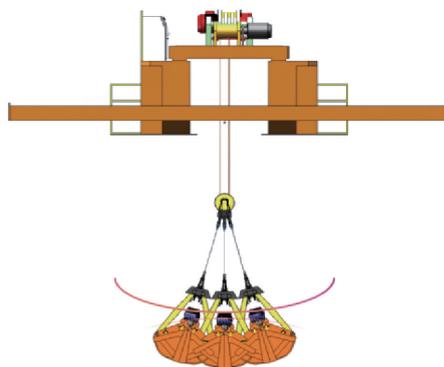


图4 防摇摆控制模型示意

Fig.4 Illustration of anti-sway control model

1) 降低吊具摆动幅度:通过实时检测吊具运动参数,采用前馈与反馈控制相结合的方式,有效抑制

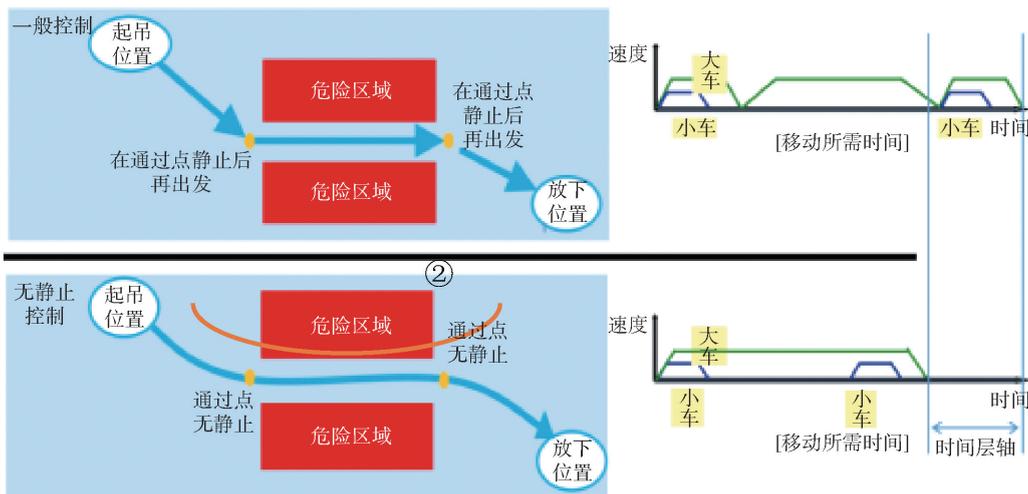
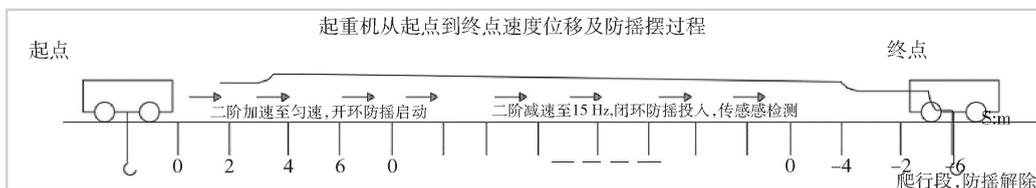


图5 无静止通过示意

Fig.5 Schematic of a non-stationary passage

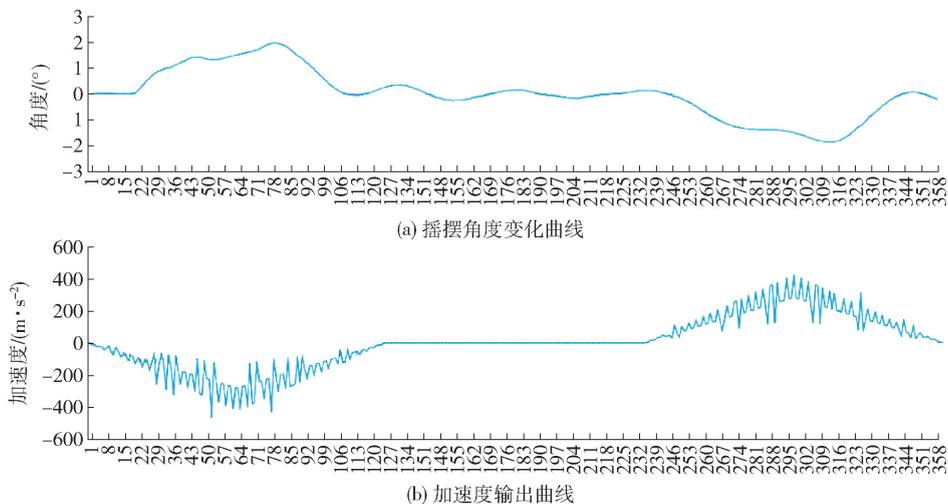
图 6 防摇摆控制系统曲线(移动距离 $\geq 20$  m)

Fig. 6 Anti-sway control system curve

运行过程中吊具的横向及纵向摆动。

2) 多轴联动控制: 实现大车、小车与起升机构的协调运动, 基于动态姿态调整算法减少吊具偏移, 实现多自由度协同稳定控制。

3) 无静止通过控制: 在作业点切换或路径调整过程中, 系统可通过速度曲线优化与轨迹平滑控制, 减少因加减速引起的摆动, 实现吊具在不静止条件下的平稳通过。

在调度决策过程中, 系统基于现场规则、决策树以及智能算法, 将整体作业计划科学合理地分解为可执行的子任务, 实现对抓斗行车、入库货车的智能调度与协同控制。通过 MES 系统(或客户端人工)下发的作业计划驱动整个生产调度流程, 系统实时采集料堆形态数据、抓斗行车运行状态、上料口状态及输料皮带运行状态, 并结合预设的调度策略, 自动生成具体的抓取点位。通过智能调度系统, 料场可实现多设备协同、高效有序的智能化管理, 在满足安全与质量要求的同时, 显著提升作业效率与资源利用率。在整体调度与控制逻辑中防摇摆控制系统与智能调度系统高度集成, 既能在单台行车运行中提升作业稳定性, 也能为多设备协作提供精准的作业支撑。

### 3 智慧料仓管理系统架构与关键技术

#### 3.1 智能库管与调度系统

##### 3.1.1 机器视觉感知与三维盘库系统

机器视觉是人工智能的关键组成部分, 其通过

成像设备获取场景图像或视频数据, 并借助图像处理与特征提取技术实现对环境的感知与理解, 进而模拟人类视觉功能, 为系统提供决策信息<sup>[8-10]</sup>。在无人抓斗行车管理系统中, 视觉感知系统依托多源传感器融合技术, 综合运用三维激光扫描、工业相机及惯性测量单元(IMU)等设备, 实现对作业环境与物料状态的实时动态感知。

料堆三维感知及盘库系统(以下简称“智能盘库系统”)由自主研发的在线建模与识别设备构成, 包括硬件平台与软件算法两大部分。硬件核心采用多线束三维激光扫描仪、工业相机及 IMU, 结合专用防护结构, 具备良好的热隔离、防尘与防潮特性, 能够适应高粉尘、温湿度波动大及温差显著的库区环境, 保障长期稳定运行。该系统通过多线束激光雷达实时扫描物料堆形, 获取高密度点云数据并构建高精度三维模型, 动态监测物料形态与体积变化。激光雷达布设于行车大车特定位置, 其安装布局与姿态经优化设计以满足全库区覆盖与高精度建模需求, 其布置如图 7 所示。

安全感知识别系统主要包括上料口堵料检测、行车安全报警与限位保护等功能模块。在作业过程中, 系统可实时感知上料口物料状态并识别堵料风险, 触发报警信号并联动行车控制逻辑, 防止因堵料导致的溢料或设备损坏。同时, 系统集成的行车安全报警与限位保护功能能够实时监测行车运行状态, 当发生越界、限位失效或潜在碰撞风险时, 自动触发安全连锁, 实现设备的紧急防

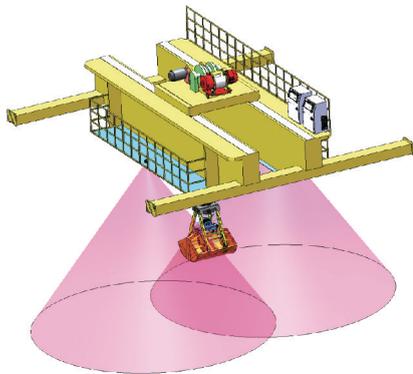


图7 3D扫描仪安装示意

Fig.7 Installation of 3D scanner

护与安全停机,从而保障无人化作业的持续稳定运行。

### 3.1.2 数字孪生驱动的三维料场建模

在视觉感知系统提供的环境与目标检测基础上,三维料场建模技术进一步实现对备料车间物料堆放形态的高精度数字化表达——基于数字孪生的三维料场建模。具体安装数量将根据现场空间布局与扫描效果优化确定,确保实现全覆盖、无死角的扫描范围。激光扫描仪随行车移动过程中,持续扫描其作业覆盖区域下方料堆,并将三维点云数据传输至智能管控系统。智能管控系统基于这些数据,每30 s更新一次数字孪生模型,确保作业效率与库区空间利用率的最优化。本系统所采用的三维激光扫描器性能参数如下:最大扫描距离 $\geq 200$  m,点云输出速率 $\geq 20$  万点/s,工作温度范围为 $-40$   $^{\circ}\text{C}$  ~  $+80$   $^{\circ}\text{C}$ ,支持现场 PLC Modbus 总线及 Ethernet 接口输出。三维扫描系统的数据输出频率 $\geq 10$  Hz,可满足动态堆料监测的实时性要求。料场的三维建模效果如图8所示。

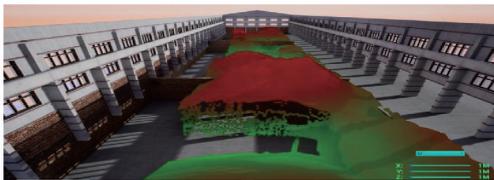


图8 料堆三维模型效果

Fig.8 3D rendering of material stack

### 3.1.3 远程运维与智能健康管理

在防摇摆控制系统提升行车运行稳定性与作业精度的基础上,人工智能驱动的WMS与智能调度控制系统进一步实现车间多设备的全局协调、资源

优化与智能化管理。为保障设备健康与作业连续性,行车远程智能运维系统引入人工智能算法,建立覆盖设备全生命周期的运维管理机制。

行车远程智能运维系统通过在关键部件增设传感检测装置,实现行车运行状态及健康状况的实时在线监测。系统可将设备运行参数、关键状态数据、操作记录及故障信息以图表及图形等形式直观呈现,并在远程客户端界面实时显示。当系统分析算法检测到运行数据异常时,边缘数据采集与计算单元会即时将异常信息上报至智能运维平台,远程客户端自动弹出检修提醒,引导运维人员实施检查与维护作业。

行车远程智能运维系统的核心功能模块包括以下功能。

1) 在线监测:实时采集并记录设备运行数据及关键部件健康状态。

2) 界面监控:提供可视化运行界面,动态展示设备运行状态与异常告警。

3) 维护保养:建立周期性维护计划,支持自动提醒与任务跟踪。

4) 数据分析与管理:基于长期运行数据开展健康趋势分析与性能评估。

5) 报表生成:自动生成运行、维护及故障分析报告。

6) 专家知识库:提供基于经验与历史案例的故障诊断与维护指导。

通过行车远程智能运维系统,能够实现抓斗行车设备从运行监测、预防维护到故障诊断的全流程智能化管理,进一步提升无人化料场系统的运行安全性、稳定性与可维护性。

## 3.2 多层级安全防护与感知系统

安全防护感知系统依托分布于行车、上料口及作业区域的激光雷达、限位开关、超载限制器、门禁状态检测器等传感器,实现对设备运行状态、物料状态及人员位置的实时监测。各感知信号经行车本地控制单元进行快速判断,并同步传输至中控系统进行全局协调。当系统检测到堵料、越限、超载或人员违规进入无人作业区等风险事件时,中控系统会触发联动响应,向相关行车下发减速或停机指令,暂停共轨行车运行,切断相关输送设备,启动声光报警,并通过门禁及警示装置提示人员避让。各子系统的感知、分析与执行单元形成纵向闭环,设备之间通过

中控系统实现横向协同,构建起全厂区多点互联、实时响应的安全防护体系。

安全防护感知系统通过传感器采集、边缘计算与中控系统的多级联动,实现上料口堵料感知、行车安全防护与人工避让控制之间的实时协同。其联动逻辑可分为以下 3 个层面。

#### 1) 信号采集与实时判断。

前端感知:上料口激光雷达、行车限位开关、超载限制器、碰撞传感器、门禁状态检测器等传感器实时采集设备状态、物料状态及人员/车辆进入情况。

边缘分析:安装在行车及关键节点的边缘计算单元(ECU)对原始数据进行滤波、阈值判断与初步诊断,生成报警、联锁或停机信号。

中控汇总:边缘单元的事件信息通过工业通信总线(如 Profinet、Ethernet/IP)传输至中控室 PLC/DCS 系统,形成全局安全状态。

#### 2) 系统联动触发逻辑。

上料口堵料联动:激光雷达检测到堵料后,ECU 发出堵料报警信号后,中控系统同步下发停机命令至相关抓斗行车及皮带输送机,直至堵料解除。

行车安全防护联动:限位触发或超载预警后,行车本体 PLC 启动减速/停止程序。同时通过中控系统向其他共轨行车下发速度限制或暂停运行指令,防止连锁碰撞。

人工避让联动:门禁开启信号被检测后,中控系统触发作业区行车暂停运行,并在区域内声光报警器启动提示,待人员离开并门禁恢复关闭后,系统解除暂停状态。

#### 3) 多模块协调与冗余防护。

主动预警 + 被动保护:声光报警、指示灯及中控监控界面在风险发生前给出主动提示,若风险未解除,行车本体与中控系统同步执行被动停机策略。

单机控制 + 中控联锁:单台行车具备本地安全保护(限位、超载、碰撞检测),中控系统在监测到单台异常时,会同步对共轨行车、输送皮带及相关设备发出安全联锁指令,实现区域级防护。

事件闭环:所有安全事件及触发操作记录由中控系统实时存档,并上传至智能运维平台,用于故障分析、预防性维护及安全策略优化。

通过硬件感知与软件逻辑协同运行的安全控制体系,系统能够在无人化抓斗行车运行过程中,实现

对设备、车辆与人员多维度的实时防护,有效降低复杂作业条件下的安全风险,并保障作业流程的稳定与安全。

## 4 系统的实际应用效果

本项目的全智能抓斗行车管理系统设计部署于中金岭南铜业有限公司某原料厂,实现了生产物料存储库区的智能化作业,物料储量讯息的数字化与可视化、在线监测和故障预警等目标。

项目系统自投入运行以来,设备异常响应时间缩短了 60%,运维效率提升了 40%;远程检修指导使现场维护时间减少了 30%,设备故障率降低了 25%。

综上所述,本项目的全智能抓斗行车管理系统通过智能化运维,显著提升了行车系统的安全性和可靠性,推动了整体生产效率、成本、安全指标的稳步提升。

## 5 结论

本项目通过集成人工智能、自动驾驶、机器视觉、数字孪生等前沿技术,构建了一套全智能抓斗行车管理系统,实现了对生产物料存储车间的智能化管控,具体可归纳为以下 3 个层面。

1) 在技术集成与系统构建方面,系统融合了自动驾驶、人工智能视觉感知、三维重建与数字孪生等关键技术,形成了具备自主调度、高效盘库与多重安全防护能力的智慧管控平台,为车间作业全流程的无人化与智能化奠定了技术基础。

2) 在功能实现与作业模式创新方面,系统实现了物料转运、混料、上料、散料等作业的全面自主规划与远程操控,显著提升了库区物料管理的效率与精准度,推动了作业方式从“人控”向“智控”的转变。

3) 在应用成效与行业推广价值方面,该系统在实际运行中有效提升了设备运行稳定性、作业安全性与整体运维效率,降低了故障率与人力成本,为有色冶金行业智慧料仓的建设提供了可复制、可扩展的工程示范与技术路径,有力支撑了智能制造在传统工业场景中的深度融合与落地实践。

#### [参考文献]

[1] 李江昀. 深度学习在冶金人工智能中的思考及应用[C]//中国金属学会,辽宁省科学技术协会,中国金属学会青

- 年工作委员会,中共鞍山市委,鞍山市人民政府. 第十届中国金属学会青年学术年会暨第四届辽宁青年科学家论坛会议指南. 北京科技大学, 2020: 106.
- [2] 苏亚洲,杨荣,魏鹏飞. 粮库散料仓通风除湿系统智能化升级改造 [J]. 现代食品, 2025(9): 15-18.
- [3] 张程,张锁荣. 智能仓储加工一体磨削制造单元物料调度优化研究 [J]. 科技与创新, 2025(6): 76-79.
- [4] 王明明. 人工智能技术在自动驾驶领域的应用 [J]. 汽车知识, 2025, 25(6): 140-142, 244.
- [5] 宫文峰,王元哲,陈辉,等. 基于深度学习的无人驾驶汽车导航传感器异常诊断方法 [J]. 机械工程学报, 2021, 57(24): 268-278.
- [6] 徐谦,李颖,王刚. 基于深度学习的行人和车辆检测 [J]. 吉林大学学报(工学版), 2019, 49(5): 1661-1667.
- [7] 罗平. 5G+数字孪生赋能无人行车精准控制与配料系统 [J]. 中阿科技论坛(中英文), 2024(12): 95-99.
- [8] WANG Tianhai, CHEN Bin, ZHANG Zhenqian, et al. Applications of machine vision in agricultural robot navigation: a review [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 198:107085.
- [9] 黄思翰,彭志诚,朱启章,等. 面向工业元宇宙的人本智造系统数字孪生建模与分布式虚拟协作方法 [J]. 机械工程学报, 2025, 61(15): 385-398.
- [10] 刘康文,段洪俊,陈丽平. 机器视觉在智能仓储中的应用 [J]. 信息记录材料, 2024, 25(7): 92-94.

## Full intelligent grab crane system for intelligent silo management and its application practice

LIAO Yunjun<sup>1</sup>, TAN Shenghu<sup>2</sup>, XU Lankang<sup>1</sup>, LI Xiang<sup>1</sup>, DONG Yikun<sup>1</sup>

(1. Shandong Zhongjin Lingnan Copper Co., Ltd., Dongying 257055, China;

2. Beijing Wattman Intelligent Technology Co., Ltd., Beijing 100071, China)

**Abstract:** With the advancement of intelligent manufacturing and smart logistics, traditional factory grab cranes are struggling to meet the requirements in terms of efficiency and safety. This paper constructs a fully intelligent grab crane management system based on automatic driving, artificial intelligence and machine vision. Through intelligent positioning, target recognition and autonomous operation, it realizes intelligent silo management in the material preparation workshop. After the system was applied in a raw material factory, it significantly improved equipment stability and operation accuracy, reduced operating costs, promoted the intelligent upgrading of grab cranes, and provided support for the intelligent transformation of the non-ferrous metallurgy industry. Since the project system was put into operation, the response time for equipment anomalies has been shortened by 60%, and operational efficiency has been improved by 40%, and remote maintenance guidance has reduced on-site maintenance time by 30%, and the equipment failure rate has been reduced by 25%.

**Keywords:** fully intelligent grab crane system; intelligent silo management; artificial intelligence; automatic driving; machine vision

