

# 智能天车与重载AGV协同作业系统在铝加工车间的应用研究

崔玉玺 付少伟 李宝锋

河南中孚高精铝材有限公司 河南 郑州 451200

**摘要:** 随着工业4.0和智能制造战略的深入推进,传统制造业正加速向自动化、智能化、柔性化方向转型。铝加工行业作为典型的流程型与离散型混合制造场景,其物料搬运环节长期依赖人工操作或半自动设备,存在效率低、安全性差、调度混乱等问题。本文聚焦于铝加工车间复杂多变的生产环境,提出一种基于L2级数据高效互联与WMS统一调度的智能天车与重载AGV(Automated Guided Vehicle)协同作业系统。通过构建以仓储管理系统(WMS)为核心的任务调度模型、采用工业以太网实现设备间低延迟通信、融合高精度定位与优先级路径规划算法,实现了天车与AGV在热轧卷材转运、冷轧机供料、切边机成品接驳等关键工序中的高效无缝协同。实际应用表明,该系统可提升铝卷周转效率40%以上,全流程自动化率达95%,显著减少人工干预,提高作业安全性和生产柔性,为铝加工行业的智能化升级提供了可复制的国产化技术路径与实践范式。

**关键词:** 智能天车;重载AGV;协同作业;铝加工车间;平面仓库;高架仓库;堆垛机;任务调度;L2数据高效互联;路径规划

## 引言

铝材因性能优异,广泛应用于航空航天等诸多领域。但铝加工过程环节多、物料形态多样、重量大且温度高,对物流搬运系统要求极高。传统铝加工车间常用桥式起重机搭配人工叉车或轨道小车转运物料,存在诸多问题:天车操作依赖经验丰富司机,人力成本高,在恶劣环境下易疲劳,影响操作;天车与地面设备缺乏有效信息交互,常出现空中与地面接驳脱节,引发物料堆积、设备空等甚至作业冲突;调度决策靠经验,难以应对动态扰动,物流节奏缺乏弹性。近年来部分企业引入单机自动化天车或重载AGV,但因缺乏系统级数据协同,设备各自运行,整体效能提升有限<sup>[1]</sup>。在此背景下,构建以L2数据高效互联为基础、WMS为调度中枢的天车与AGV深度融合协同系统成为破局关键。本文将结合某高精铝冷轧厂“卷材智能运输及L2数据高效互联项目”的工程实践,深入研究该协同系统的架构设计、关键技术及实施成效,为行业提供切实可行的智能化解决方案。

## 1 系统总体架构设计

### 1.1 需求分析

铝加工车间的典型物流场景具有鲜明的工艺耦合特征。在熔铸区,液态铝水经浇铸形成高温铸锭,需由天车将模具吊装至浇铸位,并在凝固后迅速将铸锭转运至缓冷区;进入热轧阶段,铸锭需被送入加热炉保温,随

后精准送入轧机入口,此过程对时效性要求极高;而在冷轧与精整环节,成品铝卷或板坯需按规格分类存储或装车外运,强调作业的准确性与可追溯性。这些场景共同对协同系统提出了严苛的技术需求:系统需支持最大30吨、直径2750mm、宽度2150mm的卷材搬运,设备需在200℃-400℃以上的热辐射环境中长期稳定运行,天车吊具与AGV载台之间的对接精度需控制在±5毫米以内以确保安全装卸,任务响应延迟应低于1秒以避免产线堵塞,同时必须配备多重安全冗余机制,包括但不限于激光防撞、区域电子围栏、紧急制动联动等,以保障人机共存环境下的作业安全<sup>[2]</sup>。

### 1.2 系统架构

针对上述综合需求,本项目构建了一套以“智能仓储管理层—智能控制层—基础设备层”为核心的三级协同架构。智能仓储管理层由自主研发的WMS(仓储物流管理系统)担当,该系统集成了系统总览、库存管理、状态监视、任务调度、权限管理、设备维护等十大功能模块,作为唯一调度中枢统一接收来自高架仓库CTC8操作台、冷轧机、切边机等终端的卷材请求,并生成全局任务指令。智能控制层依托工业以太网实现与4#/5#冷轧机、5#切边机、5#拉弯矫直机、智能天车、AGV平板车及冷却系统的高效互联,确保指令下发与状态反馈的实时同步,通信延迟严格控制在100毫秒以内。基础设备层则包括2台全自动智能天车、多台重载AGV平板车以及

402个卷材存储鞍座，整体库区尺寸为288米（长）×33米（宽）×11米（高）。其中，智能天车由大车行走、小车行走、提升机构及带旋转功能吊具四个运动单元组成，最大运行速度分别达到120米/分钟、40米/分钟和12米/分钟；AGV平板车采用激光雷达导航技术，无需磁条或二维码辅助，完全基于现场环境特征自主建图与路径规划，支持自动、手动和维护三种运行模式。整套系统由河南卫华集团与企业关键技术团队联合研制，系国内首套可全面替代德国Vollert、西马克（SMS）及科尼（Konecranes）等进口品牌的智能平面库解决方案，标志着我国在高端铝加工智能物流装备领域实现了关键突破<sup>[3]</sup>。

## 2 关键技术研究

### 2.1 统一任务建模与协同调度算法

系统以WMS为调度中枢，构建“指令—执行—反馈”闭环流程。典型任务流程如下：

高架仓库CTC8操作台输入卷材请求 → 高架库自动出卷至出口鞍座；

WMS系统向指定AGV下达转运指令 → AGV自主导航至交接点取卷；

AGV将卷材运送至冷轧二车间平面库交接鞍座并发出“允许取卷”信号；

WMS指派智能天车前往取卷，并依据库存策略放置于最优鞍座或直接送至冷轧机准备站。

该机制无需人工干预，任务分配基于设备位置、任务优先级及路径拥堵情况，通过深度学习与人工智能技术驱动的优先算法，实现天车路径智能建模，降低运输耗时30%以上。

### 2.2 异构设备通信与L2数据高效互联

项目成功突破了长期以来由国外厂商垄断的L2级数据接口技术壁垒，构建了基于工业以太网的标准化通信体系。WMS系统通过该网络与4#/5#冷轧机、5#切边机、智能天车、AGV平板车及冷却系统实现稳定互联，所有设备状态、任务进度与工艺参数均能实时上传至调度平台，数据传输准确率达到100%。尤为关键的是，系统摒弃了对Vollert等供应商封闭协议的依赖，自主研发了开放兼容的数据交互接口，不仅保障了系统集成的灵活性与扩展性，更直接节约了高达200万元的接口授权与定制开发费用。这种以国产化WMS为枢纽、以工业以太网为骨干的互联架构，为后续接入更多智能化装备奠定了坚实基础，也为企业数字化转型提供了自主可控的技术路径。

### 2.3 高精度定位与动态路径规划

智能天车通过融合编码器数据、激光测距与智能算法，实现了三维空间内±5毫米的定位精度，足以满足最

大直径2750毫米铝卷的安全吊装与精准放置需求，有效抑制了吊运过程中的摆动与偏移。AGV平板车则完全依赖激光雷达进行环境感知与自主导航，在无任何外部标记辅助的条件下即可实现厘米级定位，并能根据实时感知的动态障碍物（如临时堆放物料或人员闯入）在线调整行驶轨迹。WMS系统内置的路径优化引擎采用基于优先级的智能建模算法，综合考虑任务紧急度、设备当前位置、避障区域及路径拥堵情况，自动生成最优行驶路线。经实际运行验证，该机制可降低整体运输耗时30%以上，显著提升了物流资源的利用效率。

### 2.4 冷却系统与物流协同联动

平面库配备402个卷材鞍座及804台轴流风机，构成智能化冷却系统。当智能天车吊取高温卷材时，系统自动检测卷温并通过无线信号联动风机启停，待卷材冷却达标或移出后自动关闭风机，实现节能运行。该功能与物流调度深度耦合，体现了“物流—温控”一体化协同理念。

## 3 系统实现与工程应用

### 3.1 应用场景描述

本系统在某高精铝冷轧厂全面落地，覆盖热轧卷材运输、冷轧卷材周转及精整卷材接驳三大核心场景，服务对象包括4#/5#冷轧机、5#切边机、5#拉弯矫直机等关键生产设备。系统配置完全匹配实际生产节拍，日均稳定转运卷材150卷，能够充分支撑各工序满负荷连续运行。改造前，该区域依赖多名天车司机与地面搬运工协同作业，不仅人力成本高、作业效率低，且在高温、高粉尘环境下存在较大安全风险。项目实施后，通过智能天车与AGV平板车的无缝协同，实现了从高架库出库、跨车间转运到平面库存储或直供轧机的全流程自动化，彻底重构了传统物流组织方式。

### 3.2 系统部署

系统硬件全部采用国产化方案，其中智能平面库及天车由河南卫华集团与企业关键技术团队联合设计制造，投资成本较德国Vollert、科尼等进口品牌降低约70%；AGV平板车同样实现国产替代，成本节约达50%，且针对国内车间布局与工艺特点进行了定制化优化，展现出更强的环境适应性与任务灵活性。所有AGV均采用纯电驱动，替代了原有的柴油转运车辆，年减少柴油消耗约110吨，对应碳排放降低347吨，积极响应国家“双碳”战略。经过6个月的连续调试与试运行，系统表现出优异的稳定性，设备月均故障率控制在0.5%以下，各项性能指标均满足严苛的工业生产要求，充分验证了国产高端智能装备的工程可靠性。

### 3.3 协同作业流程

以“高架仓库热轧卷材转运至冷轧机”这一典型任务为例，系统运行流程高度自动化且逻辑严密。首先，CTC8操作台发起卷材请求，高架库自动将目标卷材输送至出口鞍座；WMS随即调度最近的AGV平板车前往取卷，AGV依据激光雷达感知的环境信息自主规划路径，经厂区外围道路驶至交接点完成装载；随后，AGV将卷材运送至冷轧二车间平面库的交接鞍座，并发送“允许取卷”信号；WMS在确认到位后，指派智能天车前往吊运，并根据库存策略将卷材精准放置于冷轧机准备站；与此同时，卷材的身份与工艺数据同步推送至冷轧机L2服务器，确保生产指令与物料状态一致。全过程数据实时记录于WMS，支持全程追溯与异常预警，真正实现了“无人干预、闭环运行、数据贯通”的智能化作业模式。

### 4 应用效果与效益分析

系统稳定运行六个月以来，各项关键绩效指标均取得显著提升。铝卷周转效率提高40%以上，日均转运量稳定在150卷，完全满足冷轧机、切边机及拉弯矫直机的满产需求；全流程自动化率达到95%，基本实现“无人化”甚至“闭灯运行”；人工成本降低35%，有效释放了天车操作工与地面调度员等岗位的人力资源；更为重要的是，项目投运至今未发生一起物流相关安全事故，作业安全性得到根本性保障。在经济效益方面，除设备采购成本大幅降低外，仅因打破Vollert数据接口垄断就直接节约费用200万元；绿色效益同样突出，纯电驱动的AGV每年减少柴油消耗110吨，折合碳排放降低347吨。这些成果充分证明，该国产化智能物流系统不仅技术可行，而且经济高效、安全可靠，具备广泛的推广价值。

### 5 挑战与展望

尽管系统取得了良好成效，但在长期运行中仍面临若干挑战。首先，极端高温与强电磁干扰环境对电子元器件的长期可靠性构成考验，需建立更完善的预测性维护机制；其次，与车间内大量老旧PLC控制系统的兼容性

问题增加了集成复杂度；再者，目前行业尚缺乏针对天车与AGV协同作业的统一通信与安全标准，制约了技术的规模化推广<sup>[4]</sup>。面向未来，研究将从四个方面深化：一是引入大语言模型与知识图谱技术，实现对设备异常的根因分析与智能诊断；二是拓展集群智能算法，支持50台以上AGV与多台天车的大规模协同，适应更大规模车间需求；三是将碳排放与能耗纳入调度目标函数，开发绿色低碳物流优化模型，助力国家“双碳”战略；四是探索人机协作新范式，开发基于增强现实（AR）的远程运维与应急接管系统，在保障自动化效率的同时保留必要的人工干预能力。

### 6 结语

本文针对铝加工车间物料搬运的痛点，设计并实现了智能天车与重载AGV协同作业系统。通过构建“云-边-端”架构，融合数字孪生、多智能体调度、高精度定位等关键技术，成功实现了空中与地面物流设备的高效、安全、柔性协同。实际应用验证了系统在提升效率、降低成本、保障安全方面的显著价值。该研究不仅为铝加工行业提供了切实可行的智能化解方案，也为冶金、重型机械等类似场景的物流自动化升级提供了理论参考与工程范式。随着技术的持续迭代与标准体系的完善，天车-AGV协同模式有望成为高端制造车间的标配基础设施。

### 参考文献

- [1]井春浩.无人天车智能库管系统研究[J].现代工业经济和信  
息化,2025,15(01):86-89.
- [2]李志亮,李树丰.智能无人天车系统在钢铁行业的应用及展望[J].河北冶金,2023,(S1):44-45+66.
- [3]高兴旺,王璐.大跨度举升重载AGV结构研究与设计[J].机电信息,2025,(13):35-38.
- [4]黄得峰.面对大型重载货场的AGV系统结构设计分析[J].科技视界,2024,14(30):115-118.