

引用格式:王健.物料转运中环轨 RGV 设计优化与应用[J].有色设备,2025,39(1):69-73,85.

WNAG Jian. Design optimization and application of circular rail RGV for material handling processes[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment,2025,39(1):69-73,85.

# 物料转运中环轨 RGV 设计优化与应用

王 健

(中国恩菲工程技术有限公司,北京 100038)

**[摘 要]** 针对金属冶炼企业在成品物料转运环节中存在的自动化程度低、人工强度高及安全性不足等显著问题,本文设计并实施了一种创新的自动化物流系统。该系统集成了环形轨道、有轨制导车辆(RGV)、链条输送机、调度系统以及 PLC 控制系统等组件,实现了金属成品物料的高效、自动转运。实际应用结果表明,该系统能显著提升转运效率,有效降低人工成本,并显著减少生产安全风险。目前,该自动化物流系统已应用于某公司的成品物料生产车间,为金属冶炼行业的自动化升级与改造提供了实践经验和参考价值。

**[关键词]** 自动化物流系统; 环形轨道; RGV; 链条输送机; 调度系统; 成品物料; PLC 控制; 自动化转运

**[中图分类号]** TH242 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2025)01-0069-05

**DOI:**10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2025.01.009

## 0 引言

工业物流的概念形成于 20 世纪 50 年代的美国,发展至今已有 70 多年历史,先后经历了人工时代、机械时代、自动化时代以及当前的智能时代<sup>[1]</sup>。随着我国经济的快速发展,工业物流行业的市场需求持续增长,推动工业物流体系向经济、可靠、高效和环保的方向转型升级,进而带动了智能物流装备产业链的发展<sup>[2]</sup>。其中,智能物流装备涵盖了立体货架、输送机、分拣机、AGV、堆垛机、穿梭车、RGV 等<sup>[3-4]</sup>。

在众多智能物流装备中,RGV 具有独特优势。作为一种在固定轨道或轨道系统上运行的自动化车辆,RGV 具备运输效率高、停靠准确、安全性能高、低成本、高效益等显著特点,且能够适应多种复杂工况,其应用能够有效提升生产加工或存储流转的整体效率,同时节省时间和资源<sup>[5-6]</sup>。

然而,目前金属冶炼企业成品物料下线后的转运主要依赖人工叉车,此种方式存在效率低下、人工成本高、人员劳动强度大等问题,且现场人车交叉作业存在严重的安全隐患。基于 RGV 的上述优势,本

物流系统引入 RGV 应用于金属成品物料转运环节,以自动化设备替代传统的人工叉车,提升了转运效率与安全性,降低成本与风险,实现连续作业,优化人力资源配置,增强生产灵活性,进而助力企业实现降本增效,推动工厂的自动化、数字化和智能化进程<sup>[7-8]</sup>。

## 1 物流系统组成

### 1.1 输送机系统

车间的金属成品物料生产区域划分为东、西两大区域,东区配置了 2 条合格品生产线及 2 条不合格品生产线,而西区则设有 1 条合格品生产线及 1 条不合格品生产线,旨在满足不同质量等级产品的生产需求。成品物料在完成生产流程后,需依据严格的质量标准进行判别,以确保其质量符合既定要求。此环节采用机械臂进行自动化分拣,将成品物料精准输送至对应的输送机系统。合格成品物料经码垛处理后下线,其标准尺寸为 1 010 mm × 1 029 mm × 500 mm,每垛重量控制在 2.4 ~ 2.6 t,下线速度可达 30 垛/h。而对于不合格成品则单独分拣码垛,待累计至设定数量后,由输送机系统执行下线操作,其下

**[收稿日期]** 2024-11-06

**[第一作者]** 王健(1987—),男,河北邯郸人,工程师,主要从事物流自动化设备的设计与应用研究、自动化设备程序设计等工作。

线速度根据产品质量状况进行动态调整。

为进一步提升生产流程的灵活性和效率,针对合格品转运输送机系统设计了双条输送机线,该设计能够高效、精准地将合格成品物料输送至下一生产阶段。同时,为应对不合格品的特殊处

理要求,系统还配备了 2 条专用的人工处理输送机。人工处理输送机专为不合格品设计,便于进一步的人工干预和精细处理,确保了生产流程的完整性和产品质量的控制。输送机系统布局示意图如图 1 所示。

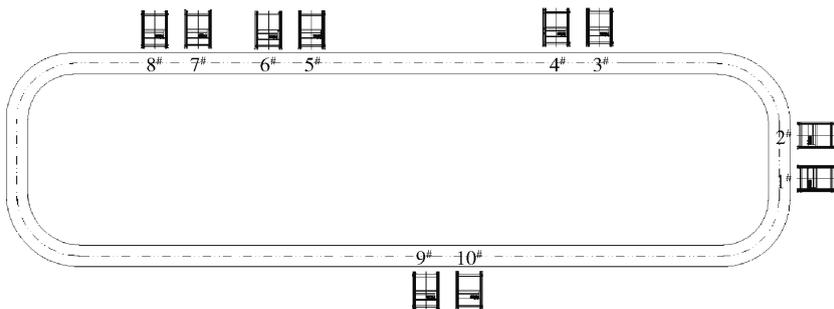


图 1 输送机系统布局示意

Fig. 1 Schematic diagram of conveyor layout

如图 1 所示,输送机系统依据功能划分为多个专用线路,以实现成品物料的高效分拣与输送。具体而言:1#、2#输送机线专设为合格品转运输送机线,其主要用于将合格成品物料从当前生产环节输送至下一工序,确保成品进入后续生产流程。3#、5#、7#输送机线为不合格品输送机线,负责将不合格成品从生产线上下线,并输送至特定区域进行后续处理,以保障生产线的连续性和产品质量控制。4#、6#、8#输送机线为合格成品物料产线,直接关联成品物料的生产环节,确保合格成品的高效产出。9#、10#输送机线作为不合格成品处理线,专门用于处理不合格成品,进行必要的分拣、修复或废弃处理,以优化资源利用和减少生产损失。

基于成品物料的重量、尺寸等特性以及车间场地条件,输送线系统设计选用了链条输送机。链条输送机在成品物料输送中展现出显著的优势,具体包括。

1) 承载能力高:链条输送机采用链条传送物料,这种传输方式相比其他方式具有更高的承载能力。其结构设计优化,能够有效支撑重型物料,降低变形或断裂风险。

2) 传输效率高:在输送重型物料时,链条输送机相较于其他方式更为省时省力。其设计可直接进入物流装载区域,实现快速装卸。此外,链条输送机可根据物料重量和物流需求调节传输速度,进一步优化传输效率。

3) 适用范围广:链条输送机具备广泛的适用范围,不仅适用于重工业原材料的运输,也可满足食品加工等轻工业领域的需求。

4) 使用寿命长:链条输送机采用耐用材料制造,并可根据使用环境选择合适的外壳,以适应各种气候条件。先进的制造工艺和设计标准进一步延长了其使用寿命,降低了维护成本。

5) 结构简单,便于维护:链条输送机结构简洁,组成单元较少,便于维护和保养。在维护过程中,故障易于诊断,维修成本较低。此外,可根据实际情况进行针对性维护,确保其长期高效运行。

## 1.2 环形轨道和 RGV

鉴于生产车间的实际场地条件,本设计方案采用了环形轨道的形式,该形式具有高效、灵活及高性价比的特点,实现了空间的最大化利用与 RGV 小车流转的顺畅性。该环轨系统采用 P24 或 P38 规格的钢轨,并设定 1 100 mm 的轨道间距,以确保 RGV 小车的稳定运行与高效接驳。RGV 小车的供电方式,方案选用了轨道供电技术,通过轨道直接传递 AC36V 的安全电压,既保障了电能稳定供应,又减小了现场布线的复杂性,从而提升了系统安全性。此外,针对不同产线的接驳需求及成品物料的特性,方案设计配置了 6 台背负式链条输送机的重载 RGV 小车,使其不仅能够承载重载成品物料,还能通过链条输送机实现与生产线、转运输送机等生产环节的无缝对接,有效提高了整体生产线的作业效

率。RGV 小车示意图如图 2 所示。

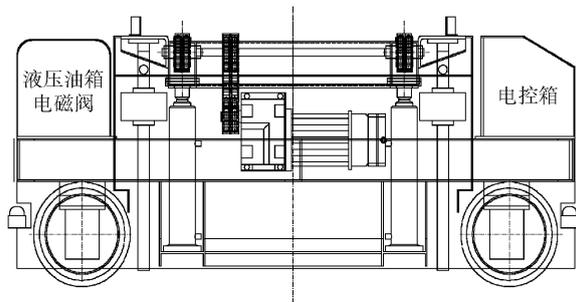


图 2 RGV 小车示意图

Fig.2 Diagram of RGV cart

RGV 小车有以下 2 种转运需求:①RGV 小车负责从 3 条合格品生产线接收已打包的成品物料,并确保以安全、高效的方式转运至 2 个合格品转运输送机,从而实现合格成品迅速下线,显著提升生产线的运行效率;②对于 3 条不合格品生产线上的成品物料,RGV 小车负责将其转送至人工处理区输送机进行下线处理,此环节有效加快了不合格品的处理速度,确保了产品质量管控的高效性。

### 1.3 调度软件系统

调度系统在整体运行和管理中扮演着“大脑”的角色,其关键作用已被广泛认可<sup>[9]</sup>。本方案所开发的调度软件系统,基于微软 Visual Studio. NET 开发平台,采用 Visual Basic. NET (VB. NET) 编程语言,确保了系统的稳定性和高效性。该系统通过集成先进的无线局域网技术和有线网络,采用西门子 PROFINET 通讯协议,实现了与 6 台 RGV 小车、输送机系统及上位机系统等核心设备之间的高速、实时、可靠通讯,从而实现了 RGV 小车运行状态的全面、实时采集与监控。此外,该系统具备即时下发运行指令至 RGV 小车的功能,确保其按照最优路径与策略执行转运任务,实现了高度智能化的调度控制,显著提升了生产效率和系统管理水平。

调度软件系统不仅具备丰富的功能,更能根据客户特定需求进行定制化开发,从而充分展现其灵活性和易操作性<sup>[10-12]</sup>。该系统主要包括以下核心功能:①调度控制管理,通过灵活的交管算法和高效的避让原则,实现对每台 RGV 小车的合理调配;②车辆管理,实时采集 RGV 小车的运行位置、顶升状态、避障状态及故障信息等,以逻辑最优的方式管理小车;③全局监控管理,实时采集并存储设备的工作状态、运行状态和任务状态,同时提供地图实时显示

小车位置及实时报警提醒;④任务管理,实时动态显示任务执行状况与进度,并支持根据生产需求设定任务优先级;⑤告警管理,实时监控并统计正在执行任务的异常状态信息,便于导出和追溯;⑥日志管理,支持设备运行日志和数据日志的存储于数据库,为客户提供历史数据查询和数据统计的基础;⑦系统对接管理,实现与客户现有 ERP、MES、WMS、WCS 等系统的无缝对接,并提供相应的接口协议,确保系统的高度集成和协同运作。

### 1.4 PLC 控制系统

为满足现场控制的高度灵活性需求,本系统精心构建了 RGV 小车驱动系统与输送机驱动系统的控制架构,其核心采用西门子 S7-1200 系列 PLC (Programmable Logic Controller) 作为智能控制中心。该系统集成了先进的输入模块、输出模块及通讯模块,实现了对各类传感器信号的精准采集与电气元件的精细控制,同时促进了设备间高效、可靠的信息交换与协同作业<sup>[13-16]</sup>。西门子 S7-1200 系列 PLC 以其卓越的性能,为提升整体生产效率和系统稳定性奠定了坚实基础,其主要具备以下优势。①广泛的应用领域:适用于制造业、自动化生产线、楼宇自动化等,具备高度灵活性,可根据不同需求进行配置;②强大的性能:具备快速运算速度、多种通信接口和高精度控制,能够处理复杂控制任务,支持多任务运行;③强开放性和兼容性:采用 TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) 作为编程和工程软件,易于与其他设备和系统集成,如 HMI (人机界面)、传感器、驱动器等;④先进的编程语言:TIA Portal 支持梯形图、结构化文本、函数块图 (FBD) 等多种编程语言,使程序员可以选择最适合的编程方式;⑤高可靠性和稳定性:西门子 1200 系列 PLC 经严格质量控制和测试,具有高度可靠的性能和稳定性<sup>[17-19]</sup>。

PLC 控制系统实现对 RGV 小车和输送机系统复杂逻辑控制的同时,可以完成与其他控制设备间的信息交换,是整个系统的重要组成部分。设备间信息交换的通讯拓扑图如图 3 所示。

## 2 调度逻辑设计

调度系统的核心控制逻辑构成了本物流系统高效运作的基石。针对现场实际布局,该系统需精确调度 6 台 RGV 小车,以实现 3 条合格品生产线与

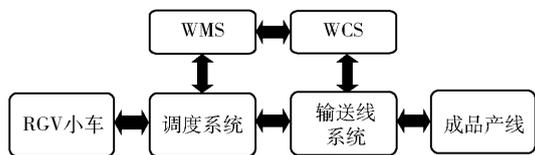


图 3 设备通讯拓扑图

Fig. 3 Equipment communication topology diagram

3 条不合格品生产线上成品物料的高效转运。为优化调度逻辑与控制程序编写过程,系统化地对生产线及输送机进行了编号,旨在提高调度指令的清晰度与准确性,进而最大化提升整体物流效率与作业流畅性。

在 6 台 RGV 小车的部署与调度策略中,本方案进行了细致规划与编号,将小车从 1#至 6#进行标识,使每台小车均拥有其专属身份。为了优化运作效率与资源分配,现场特设 6 个选定的待命点,作为 RGV 小车在任务执行前后的指定等待位置。为了进一步提升物流系统的灵活性与响应速度,本方案采用了单向顺时针循环补位的调度逻辑,确保了 6 台 RGV 小车在预设方向上有序运行,并在任务空缺时实现自动补位,从而保障成品物料转运的连续性与高效性。该方式不仅优化了物流路径,还减少了等待时间,为生产系统的高效运作提供了坚实保障。

2.1 取货流程

在系统初始状态,1#至 6#RGV 小车分别停驻于与其编号相对应的待命点。合格成品物料完成打包后,被输送至产线末端,此时产线向调度系统发送到货信号,呼叫小车接货;同样,不合格成品物料产线在累积至设定数量后,会发出呼叫指令。调度系统在收到呼叫任务后,将指派空闲 RGV 小车前往相应产线口进行接货,并启动小车循环补位机制,以维持待命点的连续性,确保下一次任务能够准确分配和执行。小车到位后,调度系统确认并通知产线出货。成品物料交接完成后,小车向调度系统反馈接货成功信号,随后调度系统将信息同步至输送线及 WMS (仓储管理系统),同时小车驶向卸货口继续执行下一步流程。取货流程如图 4 所示。

2.2 卸货流程

在完成对合格成品的接货任务后, RGV 小车自动运行至指定的 1#或 2#卸货口(合格品转运输送机)。抵达指定位置后,调度系统立即向转运输送

线系统发送卸货准备信号,输送线系统随即响应,向调度系统确认已就绪并启动输送链条,为卸货流程做好充分准备。在此条件下, RGV 小车开始执行卸货操作,确保货物安全、高效地转移至转运输送线上。卸货完成后,调度系统指令当前小车安全返回至待命点,进入待命状态,准备接收下一次任务分配。卸货流程如图 5 所示。

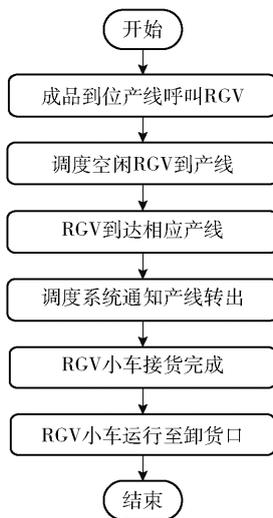


图 4 取货流程

Fig. 4 Flowchart of picking process

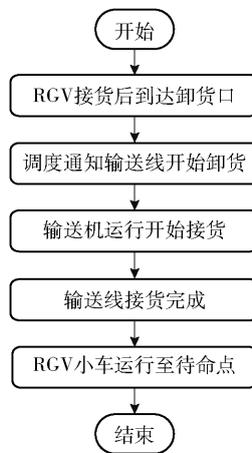


图 5 卸货流程

Fig. 5 Flowchart of unloading process

针对不合格成品产线,小车在完成接货任务后,依据调度系统的指令前往 9#或 10#不合格品卸货口进行卸货。抵达不合格品卸货口后,调度系统与输送线系统进行协同作业,通知其准备接收不合格品。卸货口输送线随即启动,接收不合格成品物料。待接收完成,输送线系统向调度系

统发送接货完成的确认信号。调度系统随即指派当前小车安全返回待命点,进入待命状态,等待下一次任务分配。

### 3 结语

本研究通过在实际生产场景中对所设计的物流系统进行应用,验证了该物流系统解决方案的可行性与有效性,其运行效果显著,实现了系统设计之初设定的各项预期目标。该物流系统在多个方面具有重要实施意义。

1)系统实现了金属成品物料的高效自动化转运。这一技术创新不仅大幅缩短了物料转运周期,还显著提升了生产线的整体运行效率。通过减少转运过程中的等待时间和人为错误,该系统有效优化了生产流程,使其更加顺畅和高效。

2)在成本控制方面,自动化物流系统的实施显著降低了人工成本和维护成本,为企业带来了显著的经济效益。自动化设备的稳定运行减少了对人工的依赖,有效避免了因人员疲劳或操作不当导致的效率下降和事故风险,进一步提升了生产的安全性和稳定性。

3)在实际应用中,该自动化物流系统展现出自动化技术在提升生产效率与降低成本方面的潜力,也为行业内的其他企业提供了具有借鉴价值的实施范例。通过其高效、稳定的运行表现,为推动金属冶炼行业的智能化、数字化转型提供了有力的技术支撑和实践依据。

#### [参考文献]

- [1] 潘洁. 我国工业物流现状及解决措施分析[J]. 现代工业经济和信化,2022,12(6):10-11,15.
- [2] 王小立. 智能物流装备的应用及发展趋势[J]. 中国储运,2022(10):150-152.
- [3] 严家福,李玉峰. 智能物流发展趋势与区域物流产业加快发展的对策研究[J]. 物流工程与管理,2022,44(2):20-22.
- [4] 张之臻,林树茂. 出入立体库的环形有轨穿梭车布局设

- 计与优化[J]. 起重运输机械,2023(20):78-84.
- [5] 王文刚. 基于PLC的轮对RGV运输车自动控制系统[J]. 自动化技术与应用,2023,42(9):20-24.
- [6] 吕德领. 集成多功能RGV设备的技术研究与应用[J]. 电子机械工程,2023,39(6):16-19,55.
- [7] 刘文杰,左双杰. 铜选矿厂基础自动控制系统与专家控制系统融合探讨[J]. 有色矿冶,2024,40(5):43-47.
- [8] 王鹏,陈春灿,王欣. 有色金属加工数字化工厂建设探索[J]. 有色金属加工,2024,53(3):1-3,11.
- [9] 王佳,巫江,方异锋,等. 铸造车间RGV柔性动态调度系统的设计与应用[J]. 机电工程技术,2023,52(9):62-65,104.
- [10] 王天浩. 自动化立体仓库中环形2-RGV系统入库调度优化研究[D]. 西安:西安科技大学,2022.
- [11] 陈华,王天浩,王新平,等. 自动化立体仓库中直线往复2-RGV系统入库作业调度[J]. 制造业自动化,2023,45(4):74-80.
- [12] 高泽宇,陈昌松,和继高,等. 锌冶炼企业智能化工厂建设研究与探索[J]. 有色设备,2024,38(6):1-7.
- [13] 陆积屹,项前,徐志翔,等. 仓储设备及作业流程监控虚拟化技术研究[J]. 制造业自动化,2022,44(4):1-4,44.
- [14] 路石鑫. 自动化发展在有色金属矿山行业的展望[J]. 有色矿冶,2022,38(3):59-61,58.
- [15] 黄治亮,杨国年,邓冰,等. 铜冶炼厂阳极板转运及存储生产技术[J]. 有色设备,2024,38(1):68-74,93.
- [16] 刘森,张敬敏,徐汉均,等. 一种同轨多RGV与多落丝机协同落丝系统的开发与应用[J]. 制造业自动化,2023,45(7):195-199.
- [17] 马朝阳,张元生,郭策,等. 矿冶行业设备上云工业互联网平台建设与实践[J]. 矿冶,2024,33(4):622-630.
- [18] 姜子维,叶凌,曹霞,等. 发烟硫酸智能装酸系统的设计与应用[J]. 硫酸工业,2024(6):61-64.
- [19] 莫中凯. 有色金属冶金工艺智能集成建模的软约束调整及锌电解综合优化控制技术[J]. 湿法冶金,2020,39(5):440-444.

(下转第85页)

管理开发,2024,39(12):209-210,213.

[6] 宋佳. 浅析九辊矫直机换辊[J]. 冶金与材料,2024,44(2):127-129.

[7] 王敏. 轧钢机械设计[M]. 北京:机械工业出版社,1984.

[8] 黄华清. 轧钢机械[M]. 北京:冶金工业出版社,1986.

[9] 王喜新. 工程力学[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1992.

[10] 徐灏. 机械设计手册(第一卷)[M]. 北京:机械工业出版社,1991.

## Analysis and research on fracture failure of gear shaft of double-sided milling nine-roll straightener

CHANG Xuesi

(Chinalco Luoyang Copper Processing Co., Ltd., Luoyang 471039, China)

**Abstract:** In response to the frequent occurrence of gear shaft breakage in the nine-roll straightener of the double-sided milling machine set, this paper systematically analyzes the working mechanism of the straightener and conducts an in-depth and comprehensive investigation into the bending deformation of the straightening rolls. On this basis, the paper rigorously selects and calculates the main parameters of the straightener, and performs a strict check analysis on the bending deformation of the working rolls. Through comprehensive research, this paper reveals the root causes of gear shaft breakage and proposes key points that should be focused on during production and use. The aim of this study is to provide operational guidance for production personnel to ensure the stable operation and efficient performance of production equipment.

**Keywords:** gear shaft; Snap off; bending deformation; straightening; straightening scheme; proofread



(上接第 73 页)

## Design optimization and application of circular rail RGV for material handling processes

WANG Jian

(China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Addressing the prominent issues of low automation level, high labor intensity, and insufficient safety in the finished material transportation process of metal smelting enterprises, this paper designs and implements an innovative automated logistics system. The system integrates components such as a circular rail, Rail Guided Vehicle (RGV), chain conveyor, advanced scheduling system, and PLC control system, achieving efficient and automated transportation of finished metal materials. Practical application results demonstrate that the system significantly enhances transportation efficiency, effectively reduces labor costs, and markedly decreases production safety risks. Currently, this automated logistics system has been applied in the finished material production workshop of a certain company, providing practical experience and reference value for the automation upgrade and transformation of the metal smelting industry.

**Keywords:** automated logistics system; circular rail; RGV; chain conveyor; scheduling system; finished materials; PLC control; automated transportation

