

智能物流 AGV 在机械制造产线中的应用

杜纪柱¹, 李 帅¹, 徐洪森¹, 张忠强¹, 修永帅^{2*}

(1. 潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261061; 2. 天津职业技术师范大学机械工程学院, 天津 300131)

摘要: 随着机械制造领域智能化的持续推进, 智能物流 AGV 凭借其高效、低成本等优势, 应用范围日益广泛。在大型机械制造产线中, 不同类型 AGV 的混合调度已成为优化生产物流的必然选择。本文通过深入分析 AGV 的应用逻辑, 并结合多种交互技术手段, 探讨复杂场景下 AGV 的实际应用, 为加速智能物流进程、提高效率提供有力支持, 从而创造企业生产的最大价值。

关键词: AGV; 混合调度; 通道; 区域管理; 订单式管理; 误差校正

中图分类号: TH164 **文献标志码:** A

1 引言

2021 年, 工业和信息化部等七部门联合发布政策, 旨在推动制造业的绿色发展, 力争到 2023 年, 绿色工厂产值占制造业总产值的比重超过 40%。近年来, 我国加快建设现代化产业体系, 推进新型工业化, 推动制造业向高端化发展。制造业装备升级迫在眉睫, 加大推动自动化、智能化设备的应用是确保绿色工厂发展的必要措施^[1]。

机械制造行业是传统的劳动密集型产业, 现场人员多、物料杂。如何打造智能化的物料输送体系成为企业的首要技术攻关任务。物料的智能输送不仅节约人力, 而且极大地提高了产线效率, 保障了产线内物流输送的安全性, 为企业提质增效创造价值^[2]。

AGV 技术以其灵活的调度能力、高精度的移动性能

及对生产环境的适应性, 成功解决了机械制造产线中传统物流运输的诸多问题。通过自动化的物流运输方案, AGV 能够实现物料的高效输送、精准定位和即时调度, 大幅减少人力参与, 降低生产成本, 提高产线整体运转效率^[3]。此外, AGV 的应用还能有效减少生产过程中的安全隐患, 提升作业环境的安全性。因此, 研究如何充分利用 AGV 技术来优化机械制造产线的物流系统, 成为当前行业关注的热点。但在实际生产环境中, 智能物流 AGV 对现场的要求比较苛刻, 在转运的路径中需要充足的固定参照物和临时参照物进行导航才能运行^[4]。工厂厂房内的照明在对导航系统造成干扰的同时, 行走的通道质量对智能 AGV 的轮系也会造成影响。在厂房照明影响、通道不畅、地面硬化不够的现场应用多种类 AGV 同时运转, 会造成导航失效、地面磨损、故障频发及交互等待

* 通信作者: 修永帅

过多等问题的发生。因此,在日常生产过程中,合理规划厂房设备设施、优化照明条件、提升地面质量并进行科学的路线规划,对于智能 AGV 的高效应用至关重要。

本文探讨智能物流 AGV 在机械制造产线中的实际应用,分析其对提升生产效率和安全性作用。通过对 AGV 多场景混合调度、多种路线互斥、系统集成等关键技术的优化研究,进一步明确其在机械制造产线中的优势和应用效果,为行业的智能化转型提供参考。希望通过本文,能够为企业在机械制造产线中有效引入和优化 AGV 应用,提供理论和实践指导,从而推动行业实现高效、安全、智能的物流运输体系。

2 智能 AGV 性能及应用的探讨

2.1 智能 AGV 性能参数

(1) AGV 性能指标 最大载重是 AGV 的重要性能指标之一,通常根据不同的应用场景和任务需求而有所不同。在机械制造行业,AGV 的最大载重一般在 500kg~3t 之间,部分定制型号甚至可以承载更大的重量。这一参数直接决定了 AGV 在生产线上的物料搬运能力,确保其能够满足生产过程中不同工件和物料的运输需求^[5]。

运行速度是影响 AGV 工作效率的关键因素。在常见的生产环境中,AGV 的运行速度通常在 0.5 ~ 2m/s 之间,可根据运输任务的紧急程度和工作区域的环境条件进行调整。在空载状态下,AGV 可以达到较高的运行速度,而在重载情况下,速度会相应降低,以保证运输的安全性和稳定性。

定位精度是确保 AGV 在生产线上准确运输物料的核心参数。得益于先进的导航与定位技术,现代 AGV 的定位精度通常可达到 $\pm 10\text{mm}$ 以内,这使得它能够在复杂的生产环境中进行精准的停靠和装卸操作,确保生产流程的顺畅衔接。

续航时间是 AGV 性能的重要考量标准。在长时间、高强度的生产任务中,AGV 的续航能力直接影响其工作效率。一般而言,AGV 的单次充电续航时间在 6 ~ 8h 之间,部分型号具备快速充电和自动充电功能,能够在短时间内完成电力补充,确保生产的连续性。

转弯半径是 AGV 在狭小空间内灵活作业的关键参数。现代 AGV 通常采用灵活的转向设计,最小转弯半径可达 500mm 左右,使其能够在拥挤的工厂环境中灵活运转,减少空间限制对物流运输的影响。

(2) 导航系统和信号交互系统 目前,产线智能 AGV 的导航方式主要包括激光导航、磁条导航、二维码导航及激光 SLAM 复合导航^[6]。各类导航方式在机械制造产线中有着不同的应用效果与适用场景。激光导航具备高精度与灵活性,能够在环境中自主定位,但对反射板的依赖性较高,安装与维护成本相对较大。磁条导航则因其技术成熟、路径规划简单、成本低等特点,在一些相对固定的场景中被广泛应用,但由于路径固定,灵活性和扩展性较差,难以满足产线灵活调整的需求^[7]。二维码导航具有路径标识明确、成本适中等优点,易于部署和维护,但在路径复杂、多 AGV 协作环境中,其定位精度和稳定性会受到一定影响^[8]。

在众多导航方式中,激光 SLAM 与二维码相结合的复合导航方式凭借其显著优势成为机械制造产线中应用最为广泛的方案。该复合导航方式不仅具备激光 SLAM 高精度、自主建图的特点,还能利用二维码进行定位补偿,实现路径编辑快捷、导航精度高等优点^[9]。此外,复合导航还具有开放的调度系统,能够灵活应对产线布局的变化与多种 AGV 的协同作业。然而,复合导航在多 AGV 运转时,面临着信号交互复杂与交通管制困难等挑战,尤其在种类不同的智能 AGV 共同作业时,容易出现调度混乱,影响 AGV 的输送效率与转运安全性^[10]。

针对现有 AGV 调度系统的不足,传统调度系统在多 AGV 环境中容易出现路径冲突、任务分配不均、对异常情况响应不及时等问题,难以满足机械制造产线对高效、灵活物流运输的要求^[11]。通常,这些调度系统依赖单一的算法进行任务分配和路径规划,缺乏对复杂生产环境的动态适应能力,导致 AGV 的利用率下降,甚至造成交通阻塞和效率损失。

混合调度平台的引入有效克服了传统调度系统的局限性。该平台通过集成多种调度算法,结合人工智能与实时数据分析,实现了任务分配、路径规划的动态优化和智能化调度。混合调度平台不仅能够根据产线的实际运行情况,实时调整 AGV 的任务执行顺序和路径选择,还具备快速处理异常情况的能力,确保 AGV 系统的高效运转与协同作业。此外,混合调度平台还支持多 AGV 间的信号交互与交通管制,显著提升了 AGV 的输送效率和转运安全性。因此,复合导航方式与混合调度平台的结合,充分发挥了 AGV 系统的高精度、灵活性与智能化优势,进一步提高了机械制造产线的物流运输效率与安全性,

为实现生产线的智能化升级提供了强有力的技术支持。

(3) 调度系统 目前各种智能 AGV 的订单调度均由各自用途的服务器进行, 多种 AGV 行走过程中采用信号互锁的方式传递交通管制, 该方法使用硬件作为信号传输较多, 现场信号交互线路多, 容易出现掉信号或者信号传递不到位的情况, 造成 AGV 在通道上堵塞, 运力下降等问题。为减少交互, AGV 转运路径规避较多, 现场占地面积大, 不但侵占了部分加工装配工作区域, 而且对各通道地面破坏较大, 影响长期转运。

2.2 改进思路

(1) 搭建混合调度平台 为了使各种 AGV 调度有序, 使各场景、各任务的 AGV 顺利工作, 合并各 AGV 的调度系统, 使之成为统一的调度平台, 使各 AGV 任务能够均衡工作, 任务下发统一管理, 提高 AGV 订单效率。

(2) AGV 线路多重互斥区应用 多种 AGV 路线交互交通管制优化, 改善路线冲突造成的停机或等待, 提高 AGV 转运效率。

(3) 分级任务及任务优先级应用 建立订单任务分级策略, 优先保障生产急需订单的执行, 确保产线生产的顺利进行。

3 智能 AGV 的调度与应用

3.1 搭建专用 AGV 高速通道

AGV 在地面长时间运行导致了地面破损等问题。为解决 AGV 通道破损问题测试铁板 (Q235) 和 304 不锈钢两种方案对 AGV 全路径进行铺设。最终在投入成本、通道防滑、保养维护等条件对比下选用铁板 (Q235) 作为专用高速通道的方案。

搭建防护设施及警示, 防止人员或车辆闯入高速通道。全路径安装 AGV 通道专用投影灯, 警示通道闯入。搭建高速通道后 AGV 转运速度提升 50%。

3.2 多品种混合调度集成及应用

通过对各类 AGV 的调度进行平台化集成, 使所有 AGV 的运单执行集中于一台服务器上。这样, 各种任务和订单能够独立执行并实现交互运行, 有效减少了现场各服务器之间的信号连接需求, 现场布线量因此减少了 90%。与此同时, 信号的执行速度提升了 50%, 大幅优化了系统的整体性能和响应效率。通过搬运任务集成, 实现 3 个独立的转运系统融合, 如图 1 所示。

通过调度平台的搭建, 使 AGV 订单执行效率提升

20%, 保障了系统的正常运行, 多服务器的故障率降低了 80%。如图 2 所示, 混合调度平台实现了更高效的资源管理。该服务器平台基于 LINUX 系统架构, 运行效率提升了 30%, 在高负荷下有效避免了服务器死机的风险, 为现场生产提供了坚实保障。

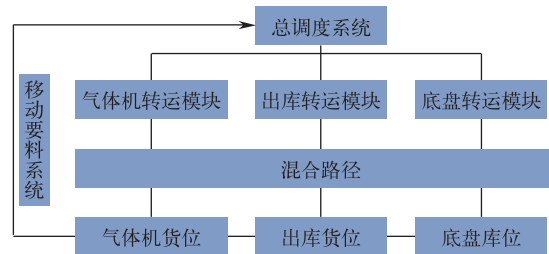


图 1 转运任务集成流程

3.3 多种路线交互及互斥区的应用

现场多种 AGV 运行路线中交互地段设置多重互斥区, 实现不同任务的 AGV 路线能够按照互斥区的逻辑依次通行或者按数量类通过, 依次提高交互现场的安全性和高通过率。

系统提供多色快速选择面板, 方便操作人员能够快速选择互斥区域分类, 如图 3 所示。

实现平面区域互斥和单线路互斥之间的融合, 使 AGV 行走逻辑更加清晰便捷, 交互区域可存在多色防错区, 保证了各小车运行的安全性。

多色互斥区的建立如图 4 所示, 通过编辑 15 种区域及线路的互斥关系, 使 AGV 通过逻辑性得到明显提升, 避免线路通过因拥堵造成的停线及等待。AGV 的通过率相比优化前有了显著提升, 进一步保障了智能物流体系的输送效率。这一改进不仅加快了物料的流转速度, 还增强了生产线的整体运作能力, 为企业的智能化生产奠定了坚实基础。

3.4 智能派单系统的搭建, 确保产能优先级分配

在 PC 端及手持端设计智能派单系统, 使操作者能够最方便地进行要料, 要料流程简化后方便操作者操作。服务器端连接现场 OPC 数据, 使调度系统能够实时收集各 AGV 的运单情况, 能够根据现场的生产自动派单紧急任务, 避免操作者因要单不及时造成的物料中断。

任务下发后, 在服务器区分现场气体机 AGV 要料、底盘要料、整机转运要料, AGV 根据库区状态、要料数量、路线规划等分别对三个任务进行优先级分析, 确保急需的物料优先转运, 确保正常的生产秩序顺利进行。

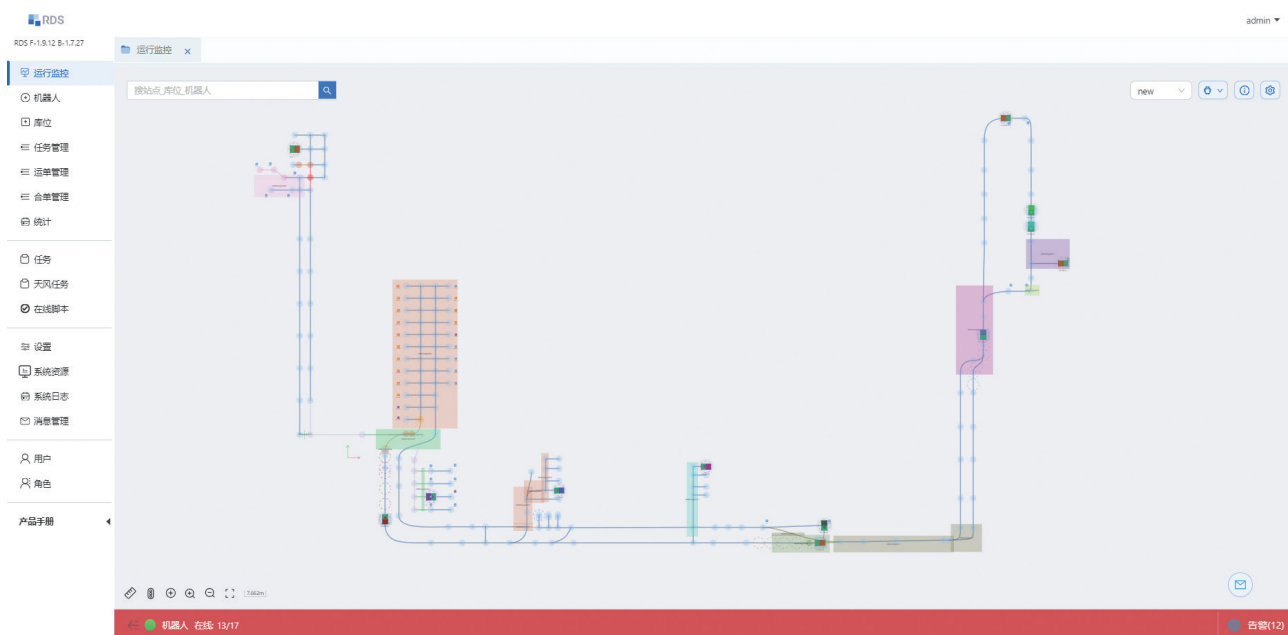


图2 混合调度台

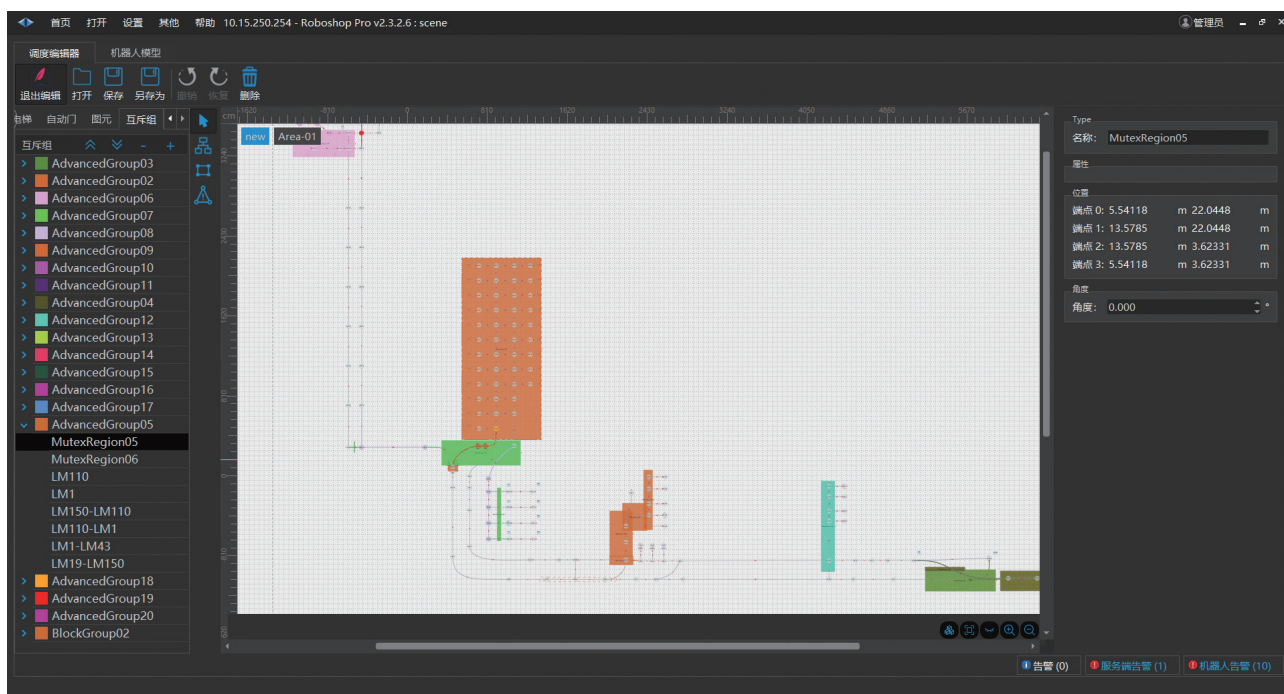


图3 互斥区快速选择

3.5 AGV 智能地图拼接及实时纠正算法的应用

开发 SLAM 导航 AGV 智能地图拼接算法，使车间产线内易变化的场景采取实时地图拼接法来修正 AGV 地图，让 AGV 永远按照最佳地图行驶，确保了 AGV 行驶的准确度，地图拼接模块如图 5 所示。

在生产现场利用车间内固定的立柱、墙面等组成固定参照物组件，利用日常变换位置的物料架、临时围挡等组成临时参照物组件，各参照物在地图中分层显示。

根据 AGV 实时导航路径中与固定参照物遇的位置偏差，利用 AGV 控制器算法对实时位置进行纠正。

运行过程中对不固定的临时参照物的位置偏差，利用地图编辑功能对临时参照物坐标进行实时更新，确保

现场与地图匹配度高于 85%，从而使定位更加精准。

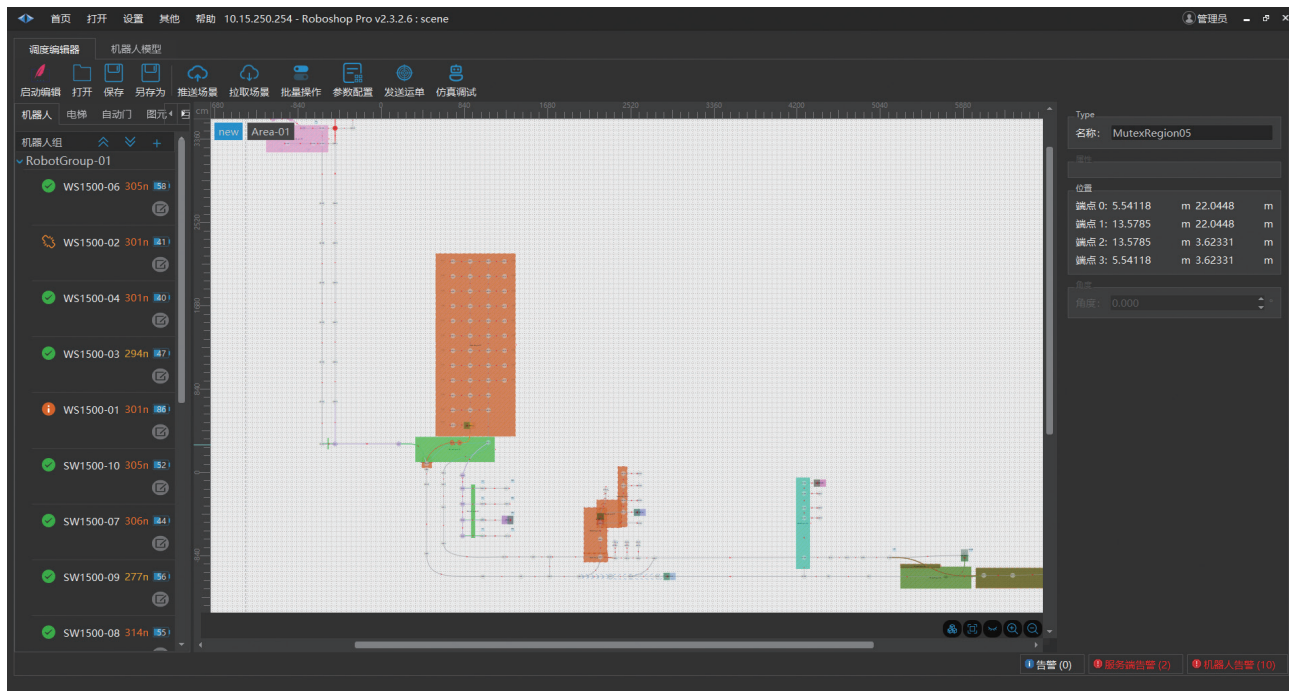


图 4 多色互斥区的建立

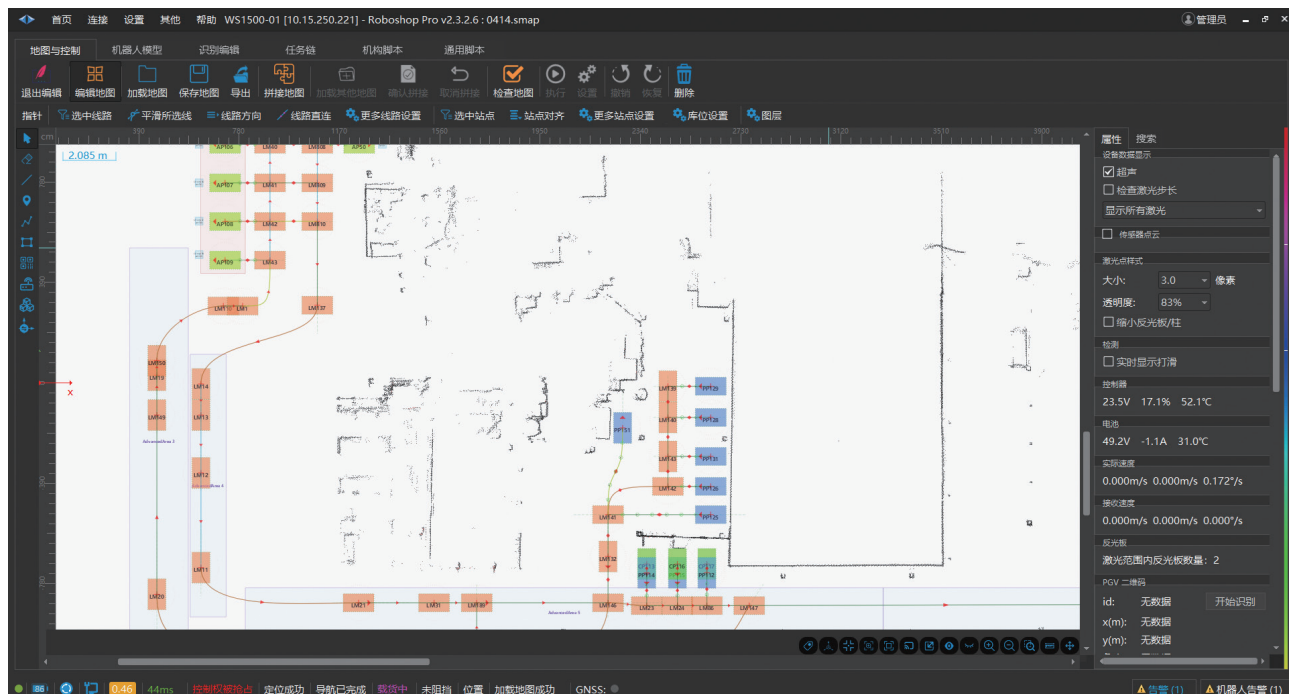


图 5 地图智能拼接模块

4 结束语

4.1 实施效果

项目完成后，使现场智能 AGV 转运更加顺畅，接单量稳步提升，同时降低了生产线物料交通的安全隐患，提高了物流转运效率，为企业提质增效提供了相应的技术方案。

该项目利用原设备的自带属性进行开发利用，混合调度平台在不同任务、不同场景中的运用，提高智能 AGV 综合转运效率 50%，提升现场交通安全性。

2023 年 3 月份实施以来，气体机 AGV 转运效率提升 200%，底盘 AGV 效率提升 10%，整机转运 AGV 提升 20%。现场取消人工叉车辅助转运 3 台，节约操作者 3 人 / 班次，年节约设备和人员支出 150 万元。

4.2 推广价值

该项目适合于机械制造相关产线复杂场景下的 AGV 调度，具备完善的技术改造经验。企业采用智能 AGV 合调度后，能够大幅提升现场转运效率，减少产线内交通堵塞，为员工建立一个安全高效的工作平台，为企业和社会的可持续发展做出重要贡献。 

参考文献

[1] 文啸. 制造业中智能数据中台的设计与实现 [J]. 智能制造, 2023 (5) : 128-134.

[2] 段丽梅. 智能运输调度系统在物流配送中的应用 [J].

中国航务周刊, 2024 (31) : 91-93.

[3] 张中伟, 高增恩, 王菁锐, 等. 分布式 AGV 调度研究综述与发展趋势分析 [J]. 制造技术与机床, 2024 (11) : 55-61.

[4] 陈媛媛, 陈菁, 张守兴. AGV 导航技术研究现状的探讨 [J]. 机械管理开发, 2020, 35 (5) : 249-250.

[5] 田学华, 张志毅, 贾广跃, 等. 面向智能车间的空中物流系统研究与设计 [J]. 智能制造, 2022 (4) : 112-116.

[6] 杜志. 智能 AGV 物流分拣系统的设计与实现 [D]. 烟台: 烟台大学, 2024.

[7] 赵海伦. 智能加铅物流系统在海缆铅护套生产过程中的应用 [J]. 智能制造, 2022 (3) : 109-113.

[8] 郭新宇. 基于 AGV 机器人的智能物流系统在医用耗材管理中的应用 [J]. 中国医疗器械杂志, 2024, 48 (1) : 108-110.

[9] 王森磊, 胡昊程, 张星晨, 等. AGV 的技术应用现状与发展趋势 [J]. 数字技术与应用, 2023, 41 (12) : 17-21.

[10] 张千里. 我国 AGV 导航技术研究热点与发展趋势可视化分析 [J]. 中国储运, 2023 (6) : 171-172.

[11] 张毓兰, 田海兰, 宋梦悦, 等. 基于智能物流的 AGV 路径优化研究 [J]. 长江信息通信, 2024, 37 (6) : 100-101, 139.

收稿日期: 2024-09-09