

AGV智能系统在汽车焊装车间的开发应用

王永才 方波 高宏 许金龙 仝雷 崔宏亮

(东风汽车有限公司东风日产乘用车公司, 广州 510800)

摘要:重点介绍了自动导引车(AGV)系统在生产线之间的输送存储、排序以及作为调整线的应用场景下,在工艺规划布局、智能化系统化设计方面的应用案例,包括上下循环、集配排序工艺创新及料停机不停、多路径规划智能相邻调度、数字网联化等方面的应用创新,其应用不仅减少了生产面积,而且可更加方便和低成本地应对日益加速的个性化定制汽车发展对柔性模块化生产的汽车产线的改造需求。

关键词:上下循环 集配排序 自动脱挂车 相邻调度算法 多路径选择

中图分类号:TP29 **文献标志码:**B **DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20240300

Development and Application of AGV Intelligent System in Automotive Body Shop

Wang Yongcai, Fang Bo, Gao Hong, Xu Jinlong, Tong Lei, Cui Hongliang

(Dongfeng Motor Co., Ltd. Dongfeng Nissan Passenger Vehicle Company, Guangzhou 510800)

Abstract: This article mainly introduces the application innovation of Automatic Guided Vehicle (AGV) systems in the application scenarios of material transportation, storage, and sorting between production lines, in process planning layouts, intelligent system design, upward and downward circulation, consolidated sorting processes, and the technique of keeping materials moving continuously. Additionally, it covers multi-path planning with intelligent adjacent scheduling and digital network connectivity innovations. These advancements not only reduce the production area but also provide a more convenient and cost-effective response to the rapidly growing need for flexible, modular production lines in the automotive industry, driven by the increasing demand for personalized customized vehicles.

Key words: Cycle up and down, Consolidated sorting, Automatic trailer detachment, Adjacent scheduling algorithm, Multi-path selection

1 前言

汽车的生产模式包括规模化的批量生产和个性化定制化柔性生产。自动导引车(Automatic Guided Vehicle, AGV)电池续航、自动充电、高精度控制以及无线网络和系统集成数字化智能制造等技术的发展,以及AGV智能系统在个性化定制化多车型柔性模块化生产、降低制造成本的优势,使得AGV智能系统在汽车焊装、总装等领域的

应用越来越广泛。重点介绍AGV智能系统在汽车焊装领域的技术应用。

2 应用场景

现阶段,AGV智能系统在焊装车间的应用,主要是替代传统的搬运输送和存储缓冲(Buffer),如机器人第七轴搬运、积放站(Accumulating pallet Conveyor, APC)、往复杆、积放链、空中摩擦积放输送线(Overhead conveyor, OHC)、板链等,包括分拼

作者简介:王永才(1973—),男,学士学位,工程师,主要研究方向为焊装工程生产线及设备的规划建设。

参考文献引用格式:

王永才,方波,高宏,等. AGV智能系统在汽车焊装车间的开发应用[J]. 汽车工艺与材料, 2024(10): 50-59.

WANG Y C, FANG B, GAO H, et al. Development and Application of AGV Intelligent System in Automotive Body Shop[J]. Automobile Technology & Material, 2024(10): 50-59.

至分拼、分拼至主线、主线至调整线、调整线等,主要实现以下功能。

2.1 输送存储

汽车焊装车间主要是将内外制的冲压件,通过车身(焊接、涂胶、装配等)制造加工工艺,制造成白车身的生产车间,如图1所示。

如图2所示,从上游工序到下游工序,包括机舱分拼、机舱总成,前地板分拼、前地板总成,后地板分拼、后地板总成,侧围分拼、侧围总成,顶盖分拼、顶盖总成,地板主拼、地板补焊,车身主拼、车身补焊,门盖内板分拼、门盖总成,以及门盖装配和调整。

为了避免设备故障、品质异常以及缺件等对各工序生产的相互影响,根据车间规划的生产线关键评价指标(Key Performance Indicators, KPI)项目中的交车时间(Lead time, LT)、设备综合稼动率(Overall Equipment Effectiveness, OEE)及工序的复杂性,各工序之间设定一定的库存缓冲(Buffer)。以往,在AGV技术未发展成熟时,库存是通过APC、积放链、摩擦线OHC等输送线方式实现;现阶段,可全部用AGV智能输

送系统替代。

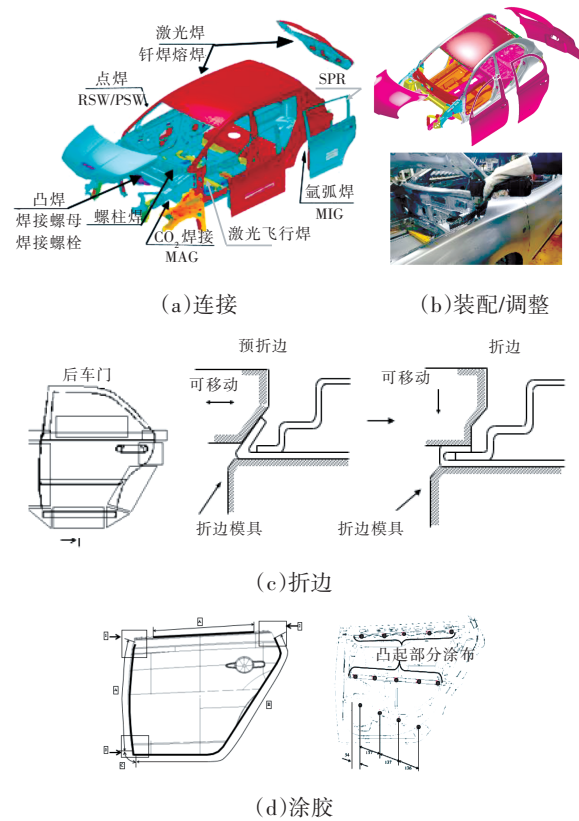


图1 车身制造加工工艺

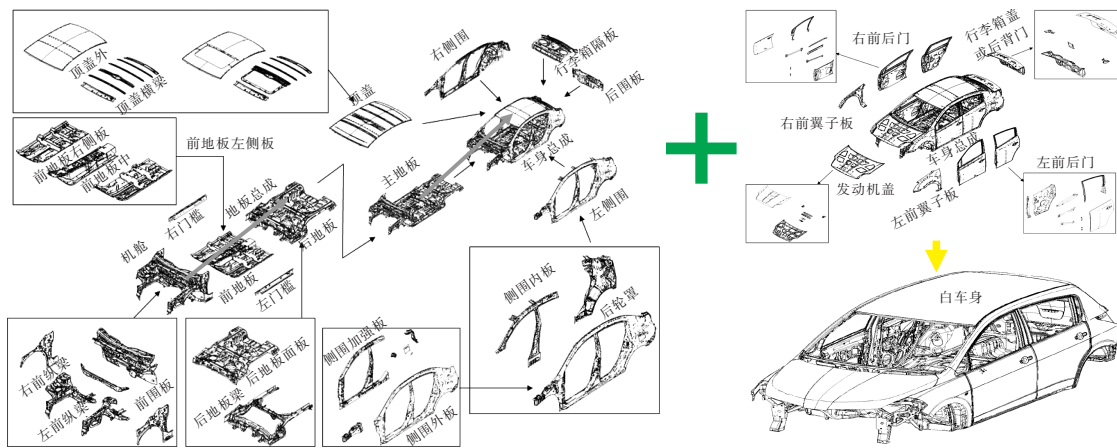


图2 车身工序流程

2.2 柔性顺序生产排序输送

AGV智能输送系统除了可实现正常的上游生产线工序向下游的生产线或部品的输送和存储外,因为同一条生产线生产的多车型汽车产品平台和车型零件外形、材质等的差异,以及对应的制造工艺的差异,分拼及门盖线无法实现通用化,所以一般对于特殊构造、特殊材质及特殊制造工艺,采用专用线生产应对;在顺序柔性生产的前提下,各车型专用生产线生产的中间产品至

下游工序通用化生产线的输送,就需要排序输送。

2.2.1 串行筛选排序输送

例如,不同平台车型的同一分拼A的相对独立的A1、A2专用生产线生产的中间产品,向下游顺序生产的通用化生产线B的输送,根据生产顺序,AGV智能系统自动到A1、A2对应生产线接专用生产线生产的中间产品,输送到下游顺序生产的B通用化线;串行筛选排序如图3所示。

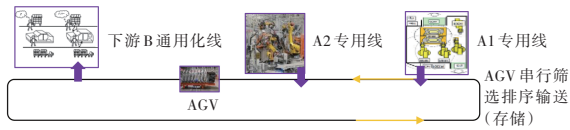


图 3 串行筛选排序示意

2.2.2 并行下游呼叫排序输送

例如,不同平台车型的同一分拼 A 的相对独立的 A1、A2 专用生产线生产的中间产品,向下游顺序生产的通用化生产线 B 的输送,根据生产顺序,AGV 智能系统自动到 A1、A2 生产线接专用生产线生产的中间产品,分别将 A1、A2 车型产品分流送到对应产品存储通道;下游 B 通用化线根据车型生产顺序,将需求车型数据传给 AGV 智能系统,AGV 智能系统根据需求顺序,放行 A1 或 A2 产品存储通道上的产品输送到下游顺序生产的 B 通用化线;并行下游呼叫排序如图 4 所示。

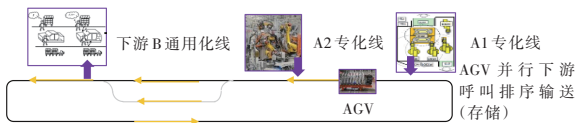


图 4 并行下游呼叫排序示意

2.2.3 下游呼叫集配排序输送

例如,不同平台车型的同一分拼 A 的相对独立的 A1、A2 专用生产线生产的中间产品,向下游顺序生产的通用化生产线 B 的输送;同时,B 生产线作业还需要 C 部品,根据生产顺序,AGV 智能系统自动到 A1、A2 生产线接专用生产线生产的中间产品,分别将 A1 车型产品和 A2 车型产品送到存储成套零件(KIT)集配区,同时部品 C 也由仓库送到存储 KIT 集配区;下游 B 通用化线根据车型生产顺序,将需求车型数据传给集配系统将 A、C 配对集配,由 AGV 智能系统配套输送到下游顺序生产的 B 通用化线;下游呼叫集配排序如图 5 所示。

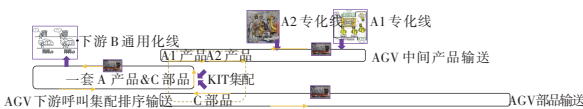


图 5 下游呼叫集配排序示意

2.3 门盖装配调整线(替代板链)应用

传统的门盖装配和调整作业的生产线为板链形式,因其为很长的直线生根设备,会形成工艺墙,导致车间物流规划困难和物流成本增加(要

避开工艺墙,物流线路增长)。同时,板链式调整线是连续运转,有 3 个弊病:一是各作业工位因为作业节拍不平衡相互影响,经常由于单个工位的作业节拍异常使全线停线而降低整线设备综合稼动率,降低生产效率;二是连续运转向前移动,目前阶段无法实现门盖的随动自动装配和调整,只能手工作业;三是连续运转,无法定义明确的工位,车体无法带生产车型数据,作业指示电子化无法实现,只能用纸板方式。基于此,新建的焊装车间都将调整线规划为 AGV 形式。

3 工艺规划

现阶段 AGV 智能系统在汽车焊装车间主要用于二次物流部品仓库(集配区)至各生产线、各分拼生产线(集配区)至下游工序生产线以及调整装配线的输送、排序(集配)和存储。工艺规划主要包含主体线路规划(含车间内各线体间以及不同车间仓库或厂房间)、线头线尾接送料规划、生产顺序排序(集配)规划和各在制库存(Buffer)规划。

3.1 应用范围

从投资和运行效率、成本\改造便利性方面考虑,现阶段 AGV 智能系统一般应用在二次物流输送、排序(集配)存储和作为调整线的输送应用,AGV 智能系统在焊装车间的应用范围如图 6 所示。

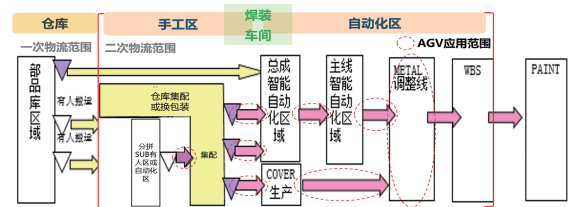


图 6 AGV 智能系统在焊装车间应用

3.2 工艺布局形式

根据工厂规划生产平台和车型、节拍、生产方式等前提条件,规划各生产线及布局,并规划 AGV 智能系统。

3.2.1 平面循环线路

根据工艺需求,设计 AGV 平面循环输送线路:工艺简单的点对点的输送,设计简单的循环线路,AGV 沿循环固定线路输送;工艺复杂的输

送点位、集配排序或存储排序输送,设计复杂的循环线路,AGV可智能选取最佳的不固定路线实

现高效输送^[1]。AGV系统平面输送路线如图7所示。

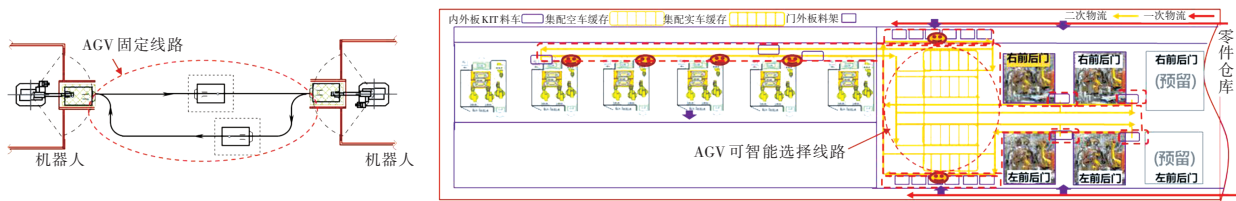


图7 AGV智能系统平面输送路线示意

3.2.2 双层上下循环线路

当车间面积有限或设备改造时,需在有限的面积内实现生产要求,AGV输送路线可设计为双层立体循环,充分利用空中空间,减少平面的面积。通过在AGV输送线的端头设置提升机,实现空车AGV和实车AGV分层输送,如图8所示。

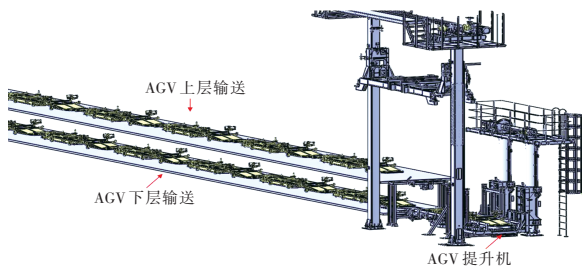


图8 AGV智能系统双层输送路线

3.3 在制库存及AGV数量

根据生产线节拍及整体设计KPI,一般设定15~30 min在制库存(Buffer),消除各个生产线系统的相互影响;AGV智能系统设计自动脱挂车,实现料停机不停,提升AGV系统输送效率^[2]。通过仿真模拟,进一步减少AGV数量,降低投资成本。

3.4 线头线尾自动接送料

为了减少生产线线头线尾的人工搬运,发挥AGV输送的优势,通过AGV智能系统设计,实现AGV自动到前序生产线的出料点接料并输送至后续生产线的上线点上料,从而消除人工的搬运。线头线尾自动接送料如图9所示。

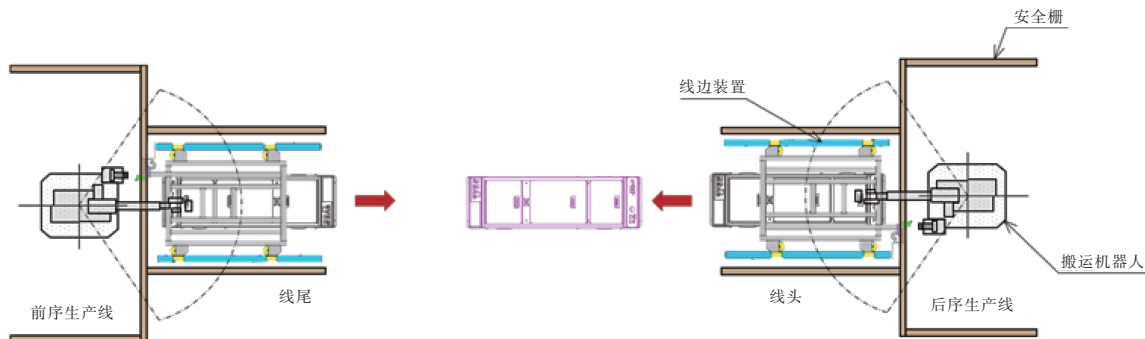


图9 线头线尾自动接送料

4 系统方案

AGV智能系统应用,一般从目标、思路、场景和方案及优化等方面考虑,满足质量、成本、周期、安全、环保等各方面需求。

4.1 应用目标

通AGV智能系统方案需满足如表1所列的目标。

4.2 设计思路

常用的设计方法有平台模块化设计、模拟

仿真等;常用的评价分析优化工具有 IFA 平面布局改善和评价、智能化评价、QCTSE 综合评价等。

4.3 系统设计

从应用场景考虑,系统设计包括运行布局、导航形式、智能控制方案及模拟仿真进一步实现方案优化。

4.3.1 应用工况和选型方案

AGV智能系统在焊装车间的应用场景和选型如表2所示。

编号	KPI	计算指标	目标		备注
			必 达	挑 战	
1	品质	零件输送过程中无变形	无变形零件比例/%	100	
2	品质	设备 OEE	设备正常运行时间比例/%	90	93 标杆
3	成本 TDC	设备投资	实际设备投资金额/万元	≤700	≤650 按投资回收2年
4	成本 TDC	生产节拍	每小时生产台数/JPH	60	按稼动率80%计算
5	成本 TDC	IFA 自动化方案评价	东风日产 IFA 自动化方案评价评分	≥4.0	≥4.3 追求理想姿态
6	成本 TDC	物流人员递减率	(HD#3 输送人员 - WH 输送人员) / HD#3 物流人员 × 100%	≥50	≥60 双班 12 人 (花都#3)
7	成本 TDC	物流自动化率	(出料+输送+投料自动化岗位) / 总物流岗位 × 100%	≥55	≥60 8 岗位 (花都#3)
8	成本 TDC	生产车型数	实际可通过车型数	4	6
9	成本 TDC	顺序生产率	顺序生产车体比例/%	100	
10	绿色环保	人机工程 FSSE 评价	人工重体力岗位比例/%	0	
11	绿色环保	作业指示及手边化	电子化工作业指示岗位比例/%	100	
12	绿色环保	噪声	设备噪声声压级/dB	<80	<75
13	智能化	智能化方案评价	东风日产智能化评价四级以上评分	≥3.8	≥3.9 智能制造优化级以上

序号	行业应用	常用类型		
		拖头式 AGV	背负式 AGV	潜伏式 AGV
1	应用场所	室外/室内	室内	室内
2	卸料方式	人工对接	人工/机器人对接	

4.3.2 运行布局规划

根据工艺规划,设计 AGV 智能系统的运行布局及线路,同时设计在线自动充电的位置和方案^[1]。

4.3.3 运行导航方案

结合应用场景和工况,设计 AGV 智能系统运行导航方案如表 3 所示。

序号	项目	导航方式			
		磁条	二维码	惯性	激光
1	导航介质	地面贴磁条	地面贴二维码	地面埋磁钉	不需要
2	导航精度/mm	±10	±20	±20	±10
3	导航传感器检测介质的距离/mm	20	40	30	不需要
4	底盘高度限制/mm	≤20	≤40	≤30	无限制
5	爬坡度限制/(°)	≤1	≤5	≤2	无限制

4.3.4 运行控制方案

AGV 本体采用可编程控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 控制,整个系统通过无线网络控制 AGV 个体;(Information system, IS) 设立并规划频段用途, AGV 按规定的频段接入,有效避免频段交叉及干扰。另外, AGV 系统均接入工厂自动化办公 (Office Automation, OA) 网,可实现数据互通及大数据收集; AGV 系统生产车型顺序信息从生产中心控制系统 (Centre Control Room, CCR) 或下序生产线控制主站接入,每个 AGV 带身频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 生产数据存储卡和全自动读取数据,接到车和车体移出 AGV 后自动刷写和删除生产数据; AGV 智能系统与作业指示系统相连,自动实时显示当前车型数据,保证多车型顺序生产作业防错。

4.3.5 系统运行仿真

通过 Plant simulation 软件对设计的 AGV 智能系统进行仿真,找出方案中运行不畅区域并优化 AGV 数量,减少投资的同时,使系统处于最佳的高效运行状态, AGV 系统优化模拟仿真如图 10 所示^[4]。仿真模型通过遗传算法建立并持续优化。

4.4 系统评价

对 AGV 智能系统的自动化集成布局 (Integrated Factory Automation, IFA) 进行综合评价和改良,优化方案达成情况如表 4、表 5 所示。

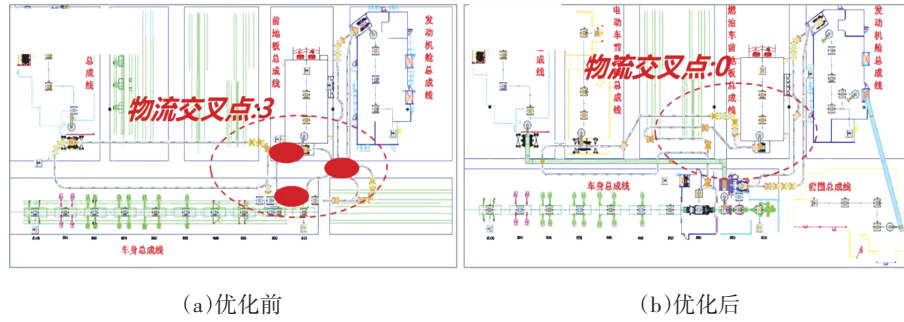


图10 AGV智能系统模拟仿真示意

表4 AGV智能系统 IFA 评价

编号	支柱	评价内容	方案评价说明	评分	备注
1	布局路线设计(L)	回避工艺墙 L1(线路)	迁引车和AGV是非生根设备,不存在工艺墙	5	
2		缩短二次物流距离 L2 (线路)	内外板集中配送,外板物流距离缩短50%; 单程≤200 m	4	标准包装 容纳数为8
3		回避物流路线交叉 L8 (线路)	一二次物流分开,实车\空车道分开,不同滚边线入料口 AGV 系统自动调配	5	
4	物流自动化(A)	线体出料投料自动化 A1 (自动化)	内板出料自动化,滚边线投料手工,集配手工	3	
5		物流搬运自动化 A2 (自动化)	内外板 AGV 全自动输送,无需人员干预	5	
6	物流作业(O)	回避巡视供给 O2 (作业)	自动输送,系统实时监控,不会发生缺料,无需缺料巡视	5	
7	工位作业(P)	最少步行作业 P2 (单工位作业)	滚边线边和集配区边都是3个料架,步行≤2 m	4	增加铁内板岛后料架增加至3个
8		消减选择作业部品损失 P3 (单工位作业)	内外板集配后顺序送至滚边线,集配区有电子显示,无选择作业	5	
9		消除非定型作业 P4 (单工位作业)	滚边线投料和集配区集配作业均无非定型作业	5	非定型作业如倒换料架等
10		集配作业改善 P5(单工位作业)	集配区集中化(2个),作业电子指示	4	
综合评分				4.6	

表5 AGV智能系综合智能化评价

编号	评价项目	评价说明	评分	加权评分	权重 %	评价标准	评价结果
1	自动化	物流装备	输送自动化	5	0.65	15	0.8~1.8 一级 1.8~2.8 二级 2.8~3.8 三级 3.8~4.8 四级 4.8~5.0 五级
2		辅助装备	搬出自动化,集配和滚边线投料手工	3			
3		数据获取	从滚边线自动获取数据	5			
4	数字化	设计措施	3D 数字化设计	5	0.75	25	
5		工艺文件	集配电子化	5			
6	网联化	数据采集	AGV 状态、车型通过二维码及视觉自动采集跟踪	5	1.75	35	
7		数据共享	通过 IOT 接入公司数据中心	5			
8		设备监控	设备状态无线网监控	5			
9	智能化	数据分析	AGV 电池状态提示	3	0.75	25	
10		故障处理	停机\故障报警提示	3			
综合评价得分				3.9			四级

5 应用创新

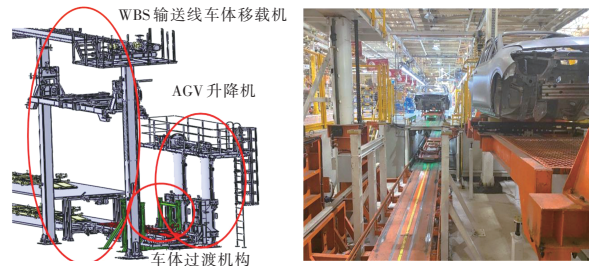
5.1 系统运行布局优化

AGV 智能系统的运行布局路线设计对 AGV 智能系统至关重要。好的布局路线设计,在满足工艺要求前提下,可减少面积,提升系统运行效率,降低投资和减少运营成本。

5.1.1 AGV 上下循环方式优化

通过改造调整线,将原板链调整线改造为双层上下循环的 AGV 调整线,节省 2/3 的面积,消除了地面物流交叉;充分利用原板链的地坑,投资和工期大幅削减;将 AGV 提升机和车体的提升移栽机集成在一个工位,精准完成白车身存储(White Body Storage, WBS)输送线的 AGV 接车及 AGV 和空台车返回地坑的接车;AGV 调整线及线头线尾

升降机如图 11 所示。



(a)调整线系统示意 (b)车间实例

图 11 AGV 智能调整线系统

5.1.2 AGV 布局路线及集配工艺集成优化

开发设计不同材料 4 车门内板线内板总成向滚边线输送→内外板 KIT 集配→输送的 AGV 智能系统工艺布局路线,通过系统的智能调度和路径规划,消除干涉、等待和逆行,提升效率 50%,减少面积 60%,AGV 门盖内外板集配输送系统布局如图 12 所示。

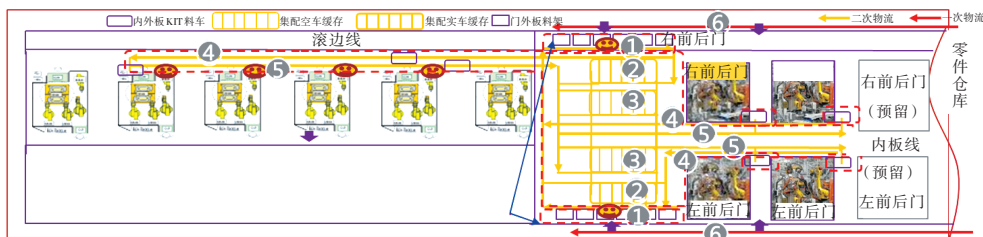
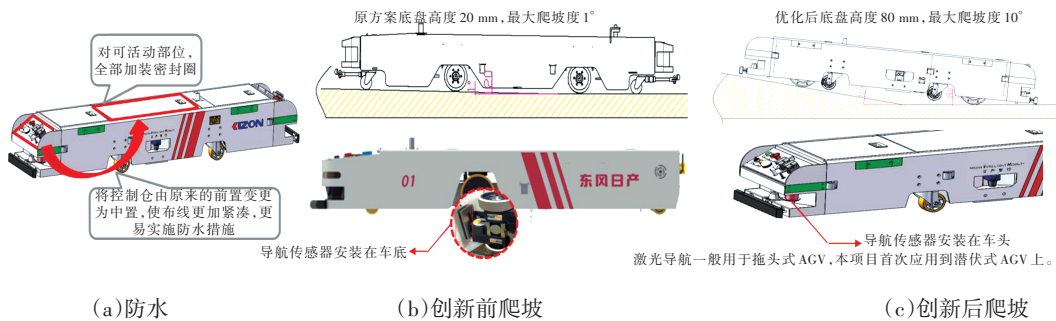


图 12 AGV 智能门盖内外板集配输送系统

5.2 AGV 本体防水和爬坡设计优化

通过将控制仓由前部改为中部,活动部分全部加装密封圈,实现防水等级提升至 IP65,可以实现室外运输,应对雨天环境。将激光导航传感器安装

在潜伏式 AGV 的车头位置,使 AGV 底盘脱离地面介质制约,将底盘加高至 80 mm,爬坡角度高达 10°,极大提升了 AGV 的通过性,轻松应对高落差环境。AGV 本体防水和爬坡能力改善如图 13 所示。



(a)防水

(b)创新前爬坡

(c)创新后爬坡

图 13 AGV 本体防水和爬坡设计开发

5.3 AGV 本体作业和安全提示优化

使用无线遥控,在零件下线检查及测量时,无需弯腰操作,作业更便利;使用智能语音进行故障提醒及恢复指导,使 AGV 的使用更简单。AGV 本体作业改善和语音功能如图 14 所示。



(a)本体作业

(b)语音改善

图 14 AGV 本体作业和语音提示开发创新

5.4 AGV 智能系统优化

通过包含料车自动脱挂和自动接送料、自动交通管制和路线自动智能调度的全自动化、生产数据从下游产线的 PLC 自动获取、数据存储 RFID 自动读写数字化、物联网 (Internet of Things, IoT) 互联及生产和设备在线实时监控等,使系统高效运行。

5.4.1 自动化创新

设计托盘自动顶升,AGV 自动与料车脱离,实现料停机不停功能,AGV 使用效率提升一倍,AGV 数量减少一半,从而降低成本。同时托盘顶升后自动旋转,正对作业人员,方便作业。AGV 自动运行到前序工位,通过料车自动固定加紧装置,与前序自动化工作的自动搬运机器人配合,从而完成自动接料;同理,AGV 自动运行到后序工位,完成自动送料。

复杂的运输存储(或含集配)系统,设置四通八达输送存储路径,AGV 根据任务通过就近调度原则自动调度 AGV,从而实现 AGV 快速调度,减少等待^[5]。需求任务型 AGV 调度和路径规划如图 15 所示。

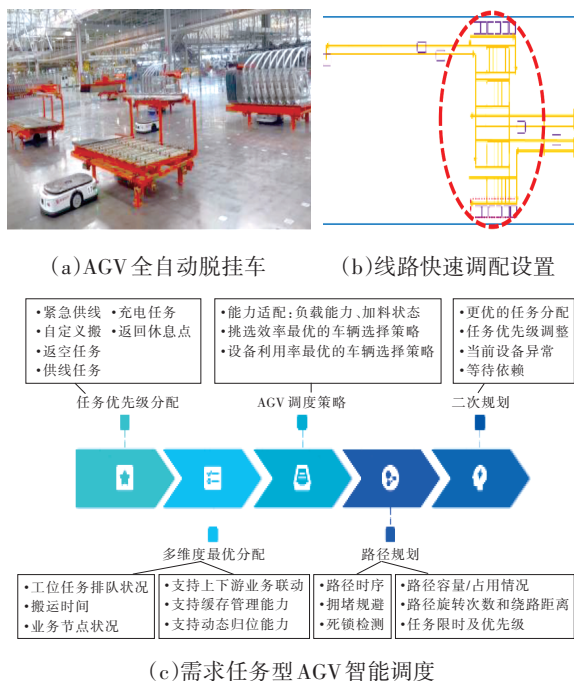
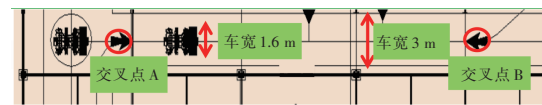


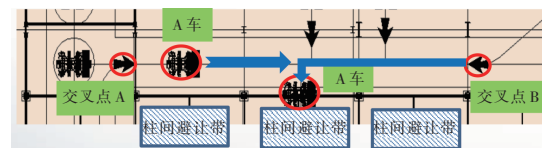
图 15 需求任务型AGV智能调度和智能路径规划

同时,通过利用管理协议(Service Level Agreement Management, SALM)地图定位技术,在狭小空间设置避让带,通过两车会车时其中一车

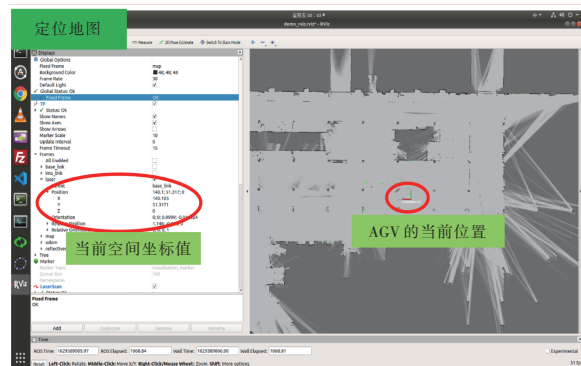
自动进入避让带避让,消除固定的交通管制带来的长时间等待。AGV 自动会车避让功能如图 16 所示。



(a)原方案



(b)优化方案



(c)定位地图

图 16 AGV 自动智能会车避让示意

图 16a 中,当 A、B 处同时有 AGV 要通过该路段,采用交叉点管控,一处 AGV 处于等待状态,直至另一处通行离开 AB 段,AB 段长度越长,会车时间越长;图 16b 中利用 SALM 地图定位技术,将立柱间的狭小空间设置成避障带,A、B 车可同时进入,会车时 B 车进入避让区,等待 A 车通过后汇入主路,仅用 100 s 即可完成会车;图 16c 中使用全场景地图定位技术,结合实际环境编制算法,实现狭窄道路智能避让,缩短会车时间至 100 s,满足 30 JPH/102 s 的节拍要求。

5.4.2 数字网联化创新

改变以往全部生产车型数据从 CCR 获取的计划型生产获取方式,下游 AGV 智能输送存储(或含集配)系统和生产线的生产车型数据由下游生产线根据生产任务向上游传输,下游生产线的生产数据从 CCR 获取;这种任务型的数据传输方式,减少了在制的库存,从而也减少了 AGV 的需求数量。

AGV 智能系统和 AGV 本体均由 PLC 控制,

系统与 AGV 通过以太网和无线网络进行通信;同时通过 IoT 数据平台与外部终端相连。系统对生产状态和 AGV 设备都实时监控,故障实时报警,通

过设备运行情况统计分析,实现提前预防保全。智能 AGV 系统的网络拓扑图、共享及实时监控如图 17~图 19 所示。

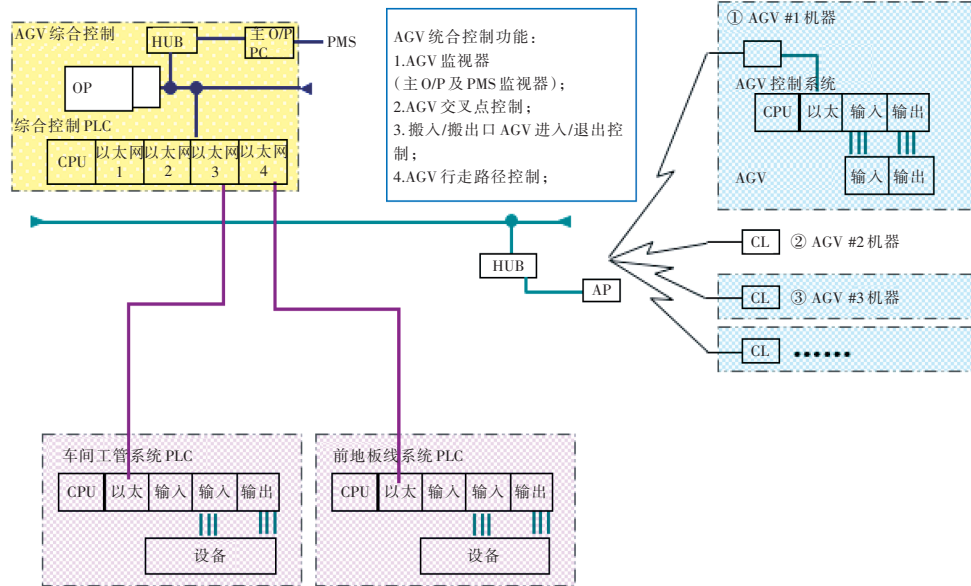


图 17 网络拓扑图

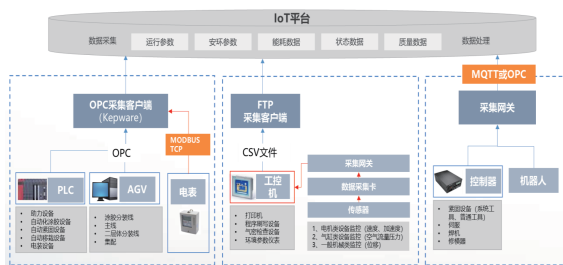
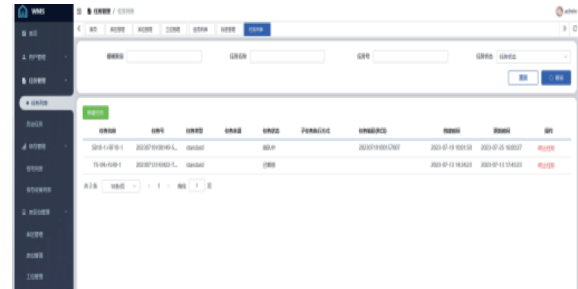


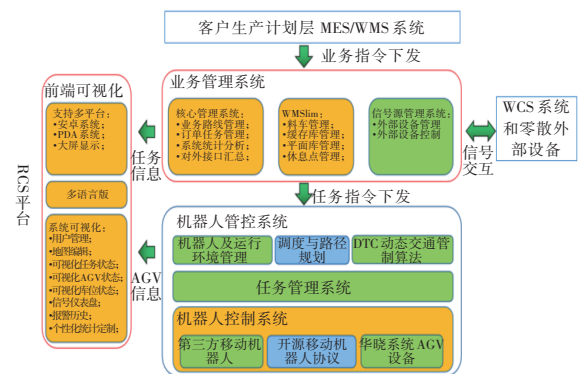
图 18 IOT 共享



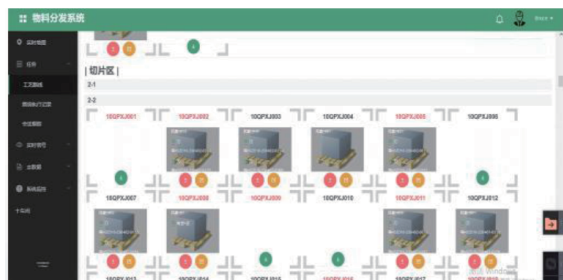
(c)库区状态及货品统计



(a)AGV 运行状态实施显示



(d)可视化地图和实时轨迹监控



(a)库位状态及货品显示

图 19 实时监控

6 应用发展方向

随着个性化定制化柔性生产需求的增加,结合视觉纠偏定位技术的发展应用,AGV 智能系统在焊装车间的应用会逐步扩展。

6.1 应用范围

首先,通用化高的工位,包括车身主线的焊接工位、车身一级分拼总成的补焊工位等,可由AGV搭载通用的补焊定位工装台车和车身进行补焊作业和向下一个工位输送进一步,所有的车身分拼连接工位均可通过AGV智能系统调度和输送车型专用夹具进行相关连接、涂胶等作业。

6.2 发展方向

随着汽车车身工艺的多样化发展,以及车型造型的差异化增加,在考虑高节拍和柔性生产的前提下,AGV智能系统的应用对于高效布局的设计要求更高,这包含2个方面,一是各车身生产线的整体布局,二是AGV智能系统以及夹具库的布局设计。这需要根据节拍、车型数、车型差异等前提条件,结合工厂KPI指标进行专业设计。另外,AGV搭载定位夹具在作业工位对夹具体体的二次精确定位,为了不影响生产线的柔性减少投资,必要时可导入视觉纠偏定位。

7 结束语

AGV智能系统由于其无生根的设备特性,无回避工艺墙、智能调度输送效率高、后期新车型追加改造容易、投资低等优势点,在焊装车间、还是总装车间,与传统的物流运输/存储排序的解决方案,如板链、积放线、摩擦线等相比,都有很大的优势。

参考文献:

- [1] 利胜东, 蒋伟, 蒋志经. AGV在车身车间物料转运应用[J]. 装备制造技术, 2020(2): 4.
- [2] 黄一钧. 汽车车身制造车间AGV物料搬运系统规划[D]. 上海: 上海交通大学, 2016.
- [3] 彭西洋. AGV小车在车身制造车间的应用分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(4): 3.
- [4] 葛能鹏, 陈金兰, 吴利清. 柔性制造车间AGV小车物流配送路径优化研究[J]. 装备制造技术, 2023(5): 70-73.
- [5] 黄西利, 覃鑫. AGV小车在车身车间应用[J]. 装备制造技术, 2015(4): 201-203.