

汽车生产厂内物流的智能化发展分析

施炫宇, 呼格吉勒, 章宁静, 李晔卉, 陈佳琳, 江庭威

宁波工程学院经济与管理学院物流系, 浙江 宁波

收稿日期: 2025年6月11日; 录用日期: 2025年7月8日; 发布日期: 2025年7月17日

摘要

汽车制造柔性化、定制化转型背景下, 传统厂内物流存在动态生产适配不足、人工分拣依赖、数据协同低效等痛点。本文聚焦汽车入厂物流智能化升级需求与分拣效率瓶颈问题, 研究厂内物流模式的技术优化空间与智能技术融合路径, 提出“智能仓储-精准分拣-全链路协同”三位一体智能化升级路径及技术方案。通过优化仓储、提升分拣精准度、强化数据协同, 破解物流低效僵化问题, 推动行业向“低延迟响应、低差执行”智能生态演进, 为数字化转型提供参考建议。

关键词

汽车厂内物流, 智能化技术, 零部件分拣

Analysis of the Intelligent Development of Intralogistics in Automotive Production Plants

Xuanyu Shi, Hujegile, Ningjing Zhang, Yehui Li, Jialin Chen, Tingwei Jiang

Department of Logistics, School of Economics and Management, Ningbo University of Technology, Ningbo Zhejiang

Received: Jun. 11th, 2025; accepted: Jul. 8th, 2025; published: Jul. 17th, 2025

Abstract

In the context of flexible and customized transformation of automobile manufacturing, traditional in-plant logistics has pain points such as insufficient dynamic production adaptation, dependence on manual sorting, and inefficient data collaboration. This paper focuses on the demand for intelligent upgrading of automobile inbound logistics and the bottleneck of sorting efficiency, studies the integration path of technical optimization space and intelligent technology of in-factory logistics

文章引用: 施炫宇, 呼格吉勒, 章宁静, 李晔卉, 陈佳琳, 江庭威. 汽车生产厂内物流的智能化发展分析[J]. 传感器技术与应用, 2025, 13(4): 685-691. DOI: 10.12677/jsta.2025.134066

mode, and proposes the three-in-one intelligent upgrade path and technical scheme of “intelligent warehousing-precise sorting-full-link collaboration”. By optimizing warehousing, improving sorting accuracy, and strengthening data collaboration, we can solve the problem of inefficient and rigid logistics, promote the industry’s evolution to an intelligent ecosystem of “low-latency response and low-difference execution”, and provide reference suggestions for digital transformation.

Keywords

Automotive Intra-Plant Logistics, Intelligent Technology, Parts Sorting

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着消费需求的日益多元化和个性化发展，汽车行业竞争不断加剧，传统的大规模批量生产模式已难以充分满足市场多元化需求。在工业 4.0 与智能制造技术深度融合的背景下，物联网、人工智能以及数字孪生等前沿技术大力被运用到汽车生产与物流的各大场景，促使汽车制造业向柔性生产、个性定制和智能制造方向快速转型。本研究聚焦汽车零部件入厂物流，分析物料供应模式以及智能化发展现状。针对传统人工分拣环节凸显的效率瓶颈与较高出错率等关键问题，提出厂内物流智能化发展建议，促使驱动汽车零部件物流体系的数字化转型与高质量发展。

2. 汽车生产厂内物流组织模式

汽车制造厂内物流是指从原材料仓储区、缓冲存储区及 SPS (Set Parts Supply) 集配区向最终装配线的物料供应物流。入厂物流结合每天的车辆生产计划需求特征主要采用以下三种组织模式(如图 1 所示)。

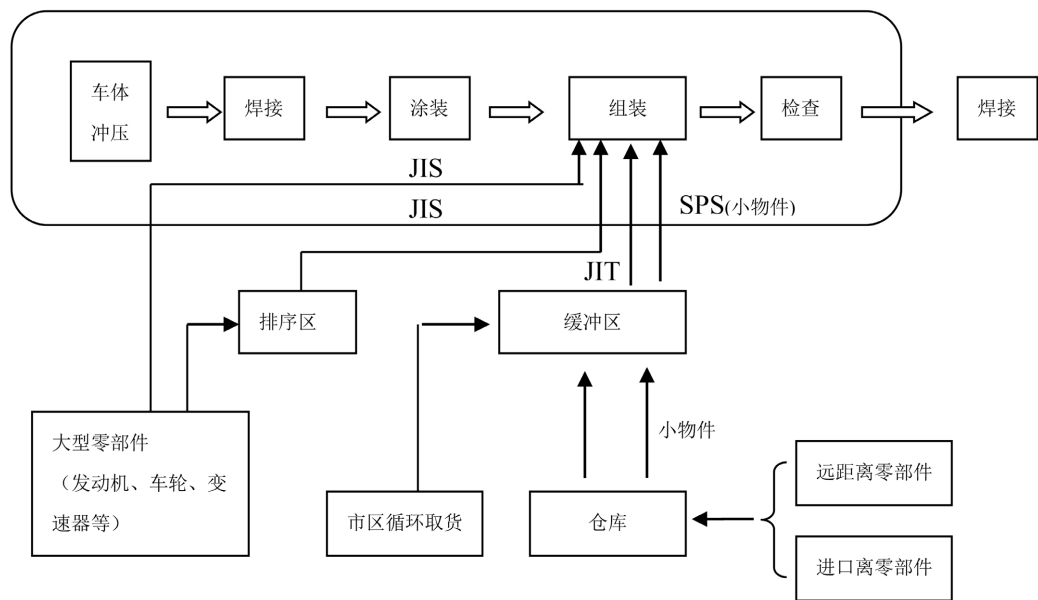


Figure 1. Organizational model of logistics in automobile plants
图 1. 汽车厂内物流组织模式

2.1. JIT 模式

JIT (Just in Time)模式起源于 20 世纪 50 年代丰田汽车的精益生产体系,以适时、适量、最小化库存为核心思想,以整车生产节拍为核心,通过看板管理从仓库向缓冲区定时拉动物料,最终精准配送至组装线边库,实现“按需拉动”的组织模式。该模式适用于标准化程度高、需求稳定的零部件。

2.2. JIS 模式

JIS (Just In Sequencing)模式将物料按装配线的生产顺序在排序区内事先放在专用的工位器具内,之后根据实际生产的需求,顺序供应。在汽车制造过程中,焊接工序生成 VIN (Vehicle Identification Number, 车辆识别代码)码后,涂装和组装环节的生产序列即被锁定。JIS 模式根据这一序列,将发动机、座椅等大型部件预先在排库区装载至专用工位器具,并严格按照生产节拍依次配送至组装线,该模式适用于大件,如发动机、变速器等。

2.3. SPS 模式

SPS 模式是事先在 SPS 拣选区以车辆上线顺序提前完成相应零件的拣选作业,将单台份的物料由 AGV 小车精准投送至组装工位的组织模式。该模式减少装配线作业者的拣选复杂度,提高生产柔性,适用于种类多、体积小的物料。

3. 入厂物流智能化发展现状

智能化技术是指通过计算机系统、信息技术与机器智能的有机融合,对人类智能分析及决策能力进行模拟、延伸与强化的综合性技术体系[1]。物联网(IoT)与数字化标识技术、机器视觉与智能分拣技术、自主移动机器人(AGV/AMR)技术、大数据与智能决策技术等被广泛应用到物流领域中。

3.1. 智能仓储与无人配送

当前,汽车入厂物流的智能仓储与无人配送已进入规模化应用阶段。现代智能仓储管理系统与 RFID (Radio Frequency Identification)、云计算、物联网、大数据分析、人工智能等技术结合应用,不仅提升了物流仓储效率和服务质量,还通过全程追踪技术确保了物流过程的时效性和可视化管理[2]。在智能仓储领域,立体化仓储系统可以通过自动化存取设备与多层货架的高密度布局,显著提升仓储空间利用率,仓储管理系统(WMS)与制造执行系统(MES)的深度集成实现数据实时交互,动态优化存储策略。刘佳楠提出的智能仓储系统可自动识别看板信号,触发立体仓库出库指令,由 AGV 执行精准补货任务,确保生产线物料供给的及时性[3]。在智能配送方面,Yong-Shin 等基于 RFID 技术建立起一个可视化的零部件防错系统,能够实时监管和追踪供应商到制造商的配送线路,防止出现因配送失误导致生产线停滞的问题[4]。北京奔驰汽车有限公司顺义工厂在 2020 年试制新一代电动车型时,引入了语音拣选技术,不仅能够在很大程度上减轻拣选人员的工作量,而且可以将原有的拣选效率提升 40%以上[5]。

3.2. 数据驱动的智能供应链

智能供应链其核心在于利用物联网传感器、RFID 标签实时采集物流数据,并构建覆盖焊接、涂装、组装全流程的三维数字孪生模型,实现物理与虚拟世界的动态映射与同步。Wright 等[6]从数字模型和数字孪生的内涵出发,提出数字孪生的本质是创建一个和物理实体等价的数字模型;Grieves 等[7]基于物理实体、虚拟实体及其之间的连接构建数字孪生系统三维模型。通过全链路数据整合与智能决策,形成“感知-分析-决策-执行”闭环,推动汽车行业从经验驱动转向模型驱动,实现效率、弹性与可持续性三

重突破。在 JIS 模式中,数字孪生技术映射焊接工位数据至物流系统,动态调整涂装与组装环节的配送序列;建立覆盖焊接、涂装、组装全流程的三维数字模型,通过实时数据映射,实现生产过程可视化监控与预测分析,避免生产延迟导致的库存堆积[8]。基于物联网与大数据技术,智能供应链系统实现生产数据(如 MES、ERP)与物流数据的实时交互,动态调整物料配送序列,优化供应链响应效率。数据驱动的决策模型(如库存预警、需求预测)进一步强化供应链韧性,支撑多场景下的敏捷响应[9]。厂内数字孪生系统运作模型如图 2 所示。

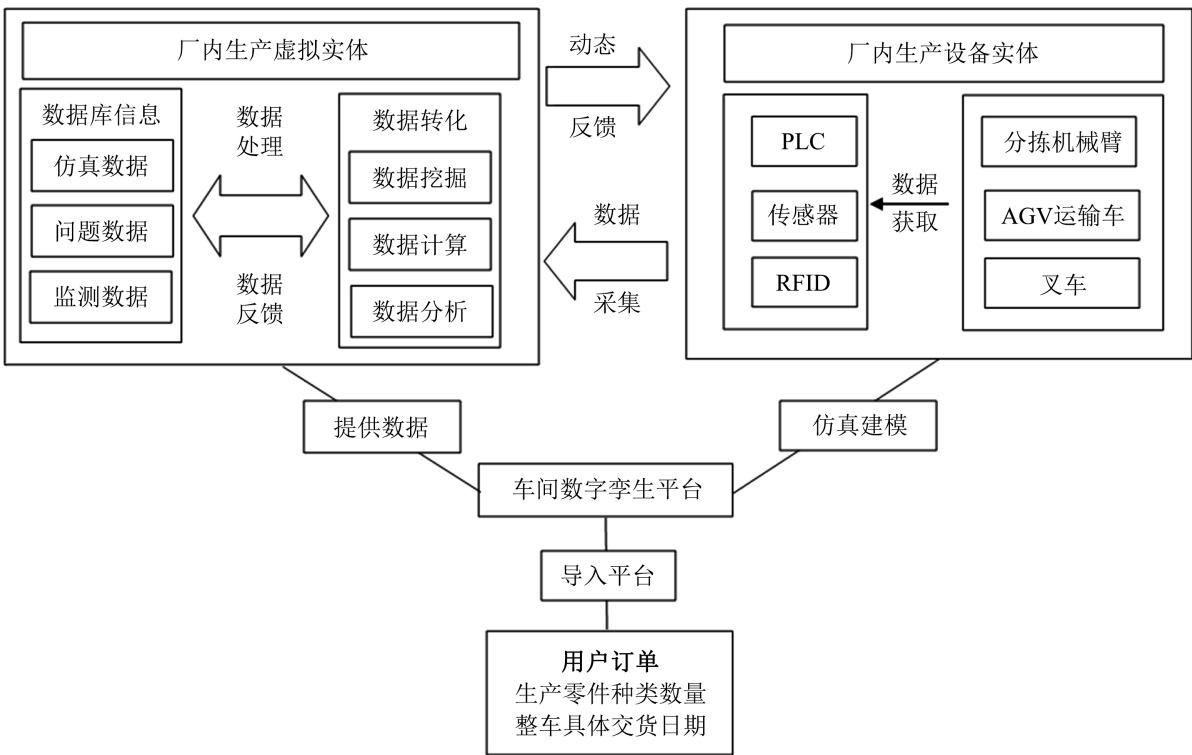


Figure 2. An operational model of the in-plant digital twin system
图 2. 厂内数字孪生系统运作模型

3.3. 柔性制造与智能物流协同

柔性制造要求物流系统具备动态适配能力。其目标是使生产资源在不同需求环境下能够快速响应、灵活调整。柔性制造与智能物流协同通过动态调度、模块化设计与数据贯通实现多车型混线生产的高效响应。其核心在于构建“中央调度 + 边缘计算”的分布式架构,中央服务器统筹全局任务,边缘节点实时处理 AGV 路径规划与避障决策,结合集成 RFID 技术的模块化货架快速适配产线换型需求,并通过 OPC UA (OPC Unified Architecture, 统一架构)协议实现物流系统与 MES (Manufacturing Execution System) 的深度集成,确保物料供给与生产节拍的精准匹配。例如,丰田生产系统是一种基于物流平衡和工序平衡原理的混合线生产模式,采用跟踪方法进行混合流调度,实现整体物流平衡、运行和柔性产出。该模式依托智能物流系统,确保零部件精准供给与动态调整,从而提升生产柔性 with 效率[10]。在成套供应管理模式中,模块化设计的货架系统集成射频识别(RFID)装置,实现物料信息的全流程自动化采集与精准校验,据雷佳彬等提出的电子货架系统,通过 200 次读取测试,系统的读取准确率可以达到 100%,平均识别时间小于 0.1 s [11]。

4. 厂内物流智能化升级瓶颈分析

4.1. 车型快速增加背景下物料固定布局对动态生产的适应性不足

传统装配线布局依据固定车型生产需求设计，工位、仓储与分拣区域为固定配置，稳定生产时具有一定优势。新车型导入或订单需求波动时，固定布局难以迅速适应。新车型导入需大规模人工改造与重新布置，周期长、成本高，且影响正常生产。订单波动时分拣任务分布不均，固定布局难以平衡工序负荷，影响整体效率。传统布局动态适应性不足，是制约企业智能化转型与柔性生产的重要瓶颈之一。

4.2. SPS 物料区依然依靠人工经验拣选与体力劳动

SPS 物料区的拣选作业大多依靠人工操作。作业人员要依据长期积累的经验来记忆并判断零部件的位置以及规格。引入条码扫描和简易 RFID 设备可对拣选起到辅助作用，降低错误率，但人工判断依旧无法被取代，存在着拣选路径规划不够合理，重复行走的问题。在新型车型与工艺频繁变化情况下，重复劳作加重了劳动强度，造成时间的浪费，而基于人工拣选的分拣作业，整体的效率和准确性也难以契合高效生产的需求。

4.3. 分拣过程信息化覆盖不足

SPS 物料区分拣作业大多依靠传统纸质拣货单，借助人工核对，信息化程度不高。引入基础 WMS 系统以及 PDA 终端可实现有限的记录。然而分拣过程中并未达成实时且全面的信息共享。例如，拣选数据无法及时同步到 MES 系统，使得库存状态以及生产计划信息出现滞后；分拣过程缺少条码、RFID 或者视觉识别技术的自动校验手段等。信息化覆盖不够限制了物料调度、异常预警以及动态调整能力。不能快速应对订单波动或者紧急生产需求。需要加大信息系统建设的力度，推进分拣过程的全流程数字化改造。

5. 汽车入厂物流智能化发展策略

5.1. 智能仓储建设：动态感知与自动化调度

面对汽车柔性制造中存在的物料种类繁多、需求变化快速、人工找货搬运效率低下等问题，构建以自动化立体仓库为核心的智能仓储。在物料出入库高频次、仓库面对订单需快速响应产线需求的场景下，采用 RFID 射频识别系统、配备传感器的智能货架、基于 SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) 技术的 AMR 集群技术。RFID 自动绑定物料信息以实现全程追踪；智能货架实时监控库存状态，动态将高频使用物料分配至邻近对应产线的最优储位；AMR 集群依据 SLAM 构建的动态地图规划配送路径，自动规避障碍；MES 系统监控物料消耗速率，预测需求并生成 AMR 补货任务队列。最终实现物料入库、存储、按需配送的全流程自动化闭环，显著减少人工操作时间，提升仓储空间利用率与供料准时性、准确性，有效降低产线等待风险。以拥有整车四大工艺车间的 S 公司为例，其公司的 ACR (Autonomous Case-Handling Robot) 料箱机器人无人仓采用的三面读码识别率达到 99%、动态库位管理、预分配备料等创新方案，已实现汽车小件仓储全流程自动化闭环，且与本方案技术路径基本一致。核心模块如 RFID 视觉融合识别、AMR 集群调度、数字孪生监控等均属规模化商用技术[12]。

5.2. 精准分拣中枢打造：视觉识别与柔性抓取

在定制化生产模式下，针对零件种类繁杂、人工分拣易出错且易损伤精密零件等问题，建立融合视觉与机器人技术的智能分拣中枢。在需要高速度、高精度识别零件并执行安全可靠抓取操作的场景下，

采用多视角 3D 视觉成像系统、深度学习算法混合控制的六轴协作机械臂及模块化夹具库。视觉系统快速捕获零件三维点云数据,深度学习模型精确辨识外观相似零件的规格差异;机械臂依据零件物理属性(材质、重量、易损性)与视觉定位信息,自动选择夹具并调整抓取力度、角度及轨迹;针对精密或易损零件,利用力传感器实时感知接触力并微调动作以规避损伤。以某汽车零部件生产企业的视觉分拣系统试验为例,其采用的 3D 视觉定位 + 六轴机械臂抓取技术方案,已实现异形工件多姿态分拣全流程自动化闭环。核心模块如多视角视觉成像(6 类工件随机位姿识别)、深度学习算法(规格差异辨识)、协作机械臂控制(100 次抓取零损伤)等均属规模化验证技术[13]。

5.3. 全链路协同引擎构建:数据驱动与智能决策

为解决多车型混线生产中因订单变更、计划调整、设备异常等因素导致的物流资源冲突与响应延迟问题,构建数据驱动的全链路协同决策系统。在全局状态感知、生产变化快速及资源配置优化的动态复杂场景下,采用物流数字孪生平台、边缘-云协同架构、集成多物流模式。JIT、JIS 与 SPS 的智能调度引擎及自适应学习模块。数字孪生平台实时映射物理环境状态,仿真推演不同物流方案影响以辅助决策;边缘计算节点快速处理现场设备(AMR、叉车、机械臂)实时数据,执行任务分发与局部异常(如工位缺料)自主应急响应;云端调度引擎综合订单优先级、设备负载、库存位置等多维数据,动态优化物料配送路径、AMR 任务分配及仓储作业计划;自适应模块持续分析历史运行数据,迭代优化核心算法参数与策略,实现物流全环节覆盖的动态感知、分析预测、优化决策与敏捷执行闭环管理,显著增强系统对生产变更与突发事件的适应能力与响应速度,减少人工协调干预,为柔性化生产的高效稳定运行提供关键支撑。

6. 结论

当前,汽车制造业加速向“柔性化、数智化”转型,厂内物流智能化需以技术穿透与系统重构为核心路径:一方面,通过物联网 + 数字孪生构建“虚实映射”的物流基座,实现仓储动态优化与 AGV 集群的自主避障调度;另一方面,依托多模态感知与边缘智能打造“视觉-机械臂-数字线程”协同体系,突破复杂零件分拣的精度瓶颈。随着 3D 视觉定位、力控机器人及自适应学习算法的深度应用,厂内物流将实现“需求秒级响应、资源动态适配、误差自主纠偏”的进化跃迁,这不仅在运营效率与成本控制层面,也反映在产业升级、绿色发展等方面具有深远战略意义。

基金项目

国家级大学生创新创业训练计划项目(202411058043):“汽车零部件物流智能化分拣关键技术研究”。

参考文献

- [1] 章淑琴,魏霖静.基于智能化与自动化的物流供应链管理优化研究[J].物流科技,2024,47(22):131-135.
- [2] 王靖轩.智能仓储技术在现代物流管理中的应用[J].物流科技,2025,48(6):145-147.
- [3] 刘佳楠,原丕业,刘畅.拉动式物料供应过程分析与电子看板系统设计[J].制造业自动化,2021,43(3):24-31.
- [4] Kang, Y., Kim, H. and Lee, Y. (2018) Implementation of an RFID-Based Sequencing-Error-Proofing System for Automotive Manufacturing Logistics. *Applied Sciences*, **8**, Article No. 109. <https://doi.org/10.3390/app8010109>
- [5] 潘荣胜.智能物流配送在汽车生产中的应用研究[J].运输经理世界,2023(2):64-66.
- [6] Wright, L. and Davidson, S. (2020) How to Tell the Difference between a Model and a Digital Twin. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, **7**, Article No. 13. <https://doi.org/10.1186/s40323-020-00147-4>
- [7] Grieves, M. and Vickers, J. (2016) Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In: Kahlen, F.-J., Flumerfelt, S. and Alves, A., Eds., *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, Springer International Publishing, 85-113. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4
- [8] 冯炳玉,张春燕,张胜文,等.船用柴油机气缸盖装配车间数字孪生监控技术研究[J/OL].制造技术与机床,2025:

-
- 1-16. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3398.TH.20250319.1534.012.html>, 2025-03-31.
- [9] 李晓梅, 刘梦雪. 数字技术、供应链韧性与企业可持续绩效——吸收能力的调节作用[J]. 华东经济管理, 2025, 39(4): 93-103.
- [10] 邱伏生, 李志强. 柔性生产模式下的制造业物流系统升级[J]. 物流技术与应用, 2024, 29(3): 77-83.
- [11] 雷佳彬, 罗哉, 郑永军, 等. 基于射频识别技术的低频玻璃管电子货架系统[J]. 现代制造工程, 2023(4): 69-75+86.
- [12] 赖佳, 米晓芳, 赵俊才. 小件无人仓在汽车零部件智能仓储中的应用[J]. 物流技术与应用, 2023, 28(9): 76-79.
- [13] 李慧芳. 视觉识别系统在小件分拣中的应用[J]. 电子技术, 2025, 54(4): 272-273.