

Analysis of Key Technologies of Automotive Intelligent Manufacturing System for Digital Factories

Na Zhao

Great Wall Motor Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract

The automotive intelligent manufacturing system for digital factories is a key path to promoting the high-quality development of the automotive industry. Its core lies in enhancing production efficiency and product reliability through the coordinated operation of technical links such as system integration, intelligent perception, data processing, and quality assurance. Under the background of digital factories, the deep integration of manufacturing execution systems and workshop control layers enables efficient interaction between information flow and logistics, supporting flexible and personalized production. The wide application of intelligent sensing, industrial robots and numerical control equipment ensures the stability and flexibility of the production process. Large-scale data collection, modeling and predictive control provide support for production optimization, and the storage and sharing mechanism based on the cloud platform enhances the efficiency of resource allocation. In terms of quality and reliability assurance, online detection, defect identification and data traceability methods have formed a closed-loop management system, promoting quality improvement throughout the entire life cycle. The construction of this system not only optimizes the manufacturing process but also lays a solid foundation for the green and sustainable development of the automotive industry.

Keywords

Digital Factory Automobile manufacturing System integration Data processing Quality management

面向数字化工厂的汽车智能制造系统关键技术分析

赵娜

长城汽车股份有限公司, 中国·河北保定 071000

摘要

面向数字化工厂的汽车智能制造系统是推动汽车产业实现高质量发展的关键路径,其核心在于通过系统集成、智能感知、数据处理与质量保障等技术环节的协同运行,提升生产效率与产品可靠性。数字化工厂背景下,制造执行系统与车间控制层的深度融合,使信息流与物流实现高效互动,支撑柔性化与个性化生产。智能传感、工业机器人以及数控设备的广泛应用,保障了生产过程的稳定性与灵活性。大规模数据采集、建模与预测控制为生产优化提供了支撑,基于云平台的存储与共享机制强化了资源配置的效率。在质量与可靠性保障方面,在线检测、缺陷识别及数据溯源方法形成了闭环管理体系,推动全生命周期的质量提升。该系统的建设不仅实现制造环节的优化,更为汽车产业绿色化和可持续发展奠定了坚实基础。

关键词

数字化工厂; 汽车制造; 系统集成; 数据处理; 质量管理

1 引言

汽车产业是现代工业的重要支柱,其制造过程涉及多工序、多环节和高度复杂的技术体系。在全球制造业转型的大背景下,数字化工厂作为先进制造模式的代表,正逐步重塑汽车生产的组织方式和运行机制。传统汽车制造往往依赖于标准化与规模化,虽然保证了产量,但在柔性化、精益化以及质量管理方面存在局限。随着消费者对个性化需求的增加以及产业升级的迫切要求,智能化与数字化的结合成为推

动汽车制造革新的必然选择。智能制造系统在汽车工厂的应用,不仅体现在生产设备自动化水平的提升,更通过数据驱动的方式实现生产链条的全局优化,从原料输入到成品输出形成贯通的价值链条。同时,质量控制与可靠性保障技术为产品性能的持续提升提供支撑,进一步推动了汽车产业向高效、绿色和可持续发展的方向发展。

2 汽车智能制造系统总体架构分析

2.1 数字化工厂环境下的系统集成模式

数字化工厂的核心在于通过信息化平台与自动化设备的深度融合,实现生产全过程的智能化管理。汽车制造环节涵盖零部件加工、车身焊接、总装检测等多个环节,每一环节都需要高度协调与资源配置。系统集成模式强调制造执行

【作者简介】赵娜(1981-),女,中国河北石家庄人,本科,工程师,从事汽车企业数智化建设研究。

系统、企业资源计划和车间控制层的互联互通，从而形成数据与流程的一体化平台。在这种模式下，信息系统能够实时获取生产状态，优化调度计划，避免资源浪费。与此同时，柔性生产线与虚拟仿真技术的应用，使生产方案能够根据需求快速调整，满足多样化车型的装配需求。通过多层次信息集成，数字化工厂不仅提升了生产透明度和可控性，还增强了产业链上下游之间的协同效率，为智能制造的全面落地奠定了架构基础。

2.2 制造执行系统与车间控制层的协同关系

制造执行系统作为承上启下的关键枢纽，在车间实际生产与企业战略目标之间发挥着桥梁作用。该系统能够将计划层的生产任务分解为可操作的工序指令，并传递至车间控制层的自动化设备与执行单元。车间控制层则通过传感器和控制器实时反馈运行状态，使生产过程能够与计划目标保持一致。这种双向互动机制不仅保证了生产流程的顺畅性，还能够在出现异常时迅速调整，避免生产延误或质量问题。协同关系的建立，使得生产现场的实际情况能够快速反映到管理层，实现动态决策。随着技术的发展，制造执行系统逐渐具备数据挖掘与优化功能，车间控制层的响应速度与精度也不断提升，两者之间的紧密结合使智能工厂具备更强的适应性和灵活性，从而推动汽车制造迈向高效与精益化的方向。

3 汽车智能制造中的核心感知与控制技术

3.1 智能传感与实时监测技术的应用价值

智能传感技术在汽车制造过程中的应用贯穿了原料检测、设备运行和成品质量控制等多个环节。通过高精度传感器的布设，生产线能够实时采集温度、压力、振动和位置等数据，为后续的工艺控制与设备维护提供依据。实时监测技术使生产状态透明化，使潜在故障能够被提前识别并进行预防性维护，从而降低停机风险。对于质量管理而言，传感器能够在焊接、涂装或装配环节即时反馈工艺参数，确保每一道工序符合标准。通过数据的持续采集与动态分析，制造企业能够形成工艺参数与产品性能之间的关联模型，推动工艺持续优化。智能传感与实时监测的结合不仅提升了生产效率，还增强了产品的一致性和可靠性，为汽车产业向高精度和高质量方向发展提供了有力支撑。

3.2 工业机器人与柔性生产单元的协同运行

工业机器人在汽车制造环节的应用极为广泛，涵盖焊接、喷涂、搬运与装配等多个领域，其高精度和高稳定性显著提升了生产线的自动化水平。柔性生产单元则通过模块化设计和可重构功能，实现生产任务的快速切换，以满足多车型和小批量生产的需求。两者协同运行的关键在于统一的调度与控制平台，使机器人能够根据生产单元的指令完成高效作业，而生产单元则根据实时数据动态调整资源配置。在车身焊装环节，机器人能够与柔性夹具配合完成复杂工艺，保证焊点位置与强度的稳定。在总装过程中，柔性单元可以根据车型差异快速更换工具，缩短切换时间。协同运行不仅提

升了产能利用率，还增强了制造系统的灵活性，使汽车工厂能够快速响应市场变化，保持竞争优势。

3.3 数控设备与自动化控制系统的优化配置

数控设备在汽车零部件加工中的作用不可或缺，其加工精度直接影响整车性能。随着制造需求的提升，数控机床逐渐向高效化与多功能化方向发展。自动化控制系统则为数控设备提供了实时调度与工艺参数优化的支撑，使加工过程具备更强的稳定性与一致性。优化配置的核心在于根据不同零部件的工艺特征合理分配加工路径与设备负荷，避免产能闲置或过载运行。在动力总成部件的生产中，数控机床通过自动化系统实现刀具状态监测与寿命预测，确保加工质量与生产节拍的稳定。通过工艺数据库的建立，控制系统能够实现参数的快速调用与自适应调整，大幅提升生产效率。数控设备与自动化系统的协同优化不仅改善了零部件的加工精度，还提升了整体制造系统的柔性和可控性，为汽车智能制造提供了坚实支撑。

4 汽车智能制造的生产数据处理与优化技术

4.1 大规模生产数据的实时采集与传输机制

汽车制造过程中产生的数据量极其庞大，包括设备运行状态、工艺参数、环境条件与质量检测结果等。实时采集机制依托高精度传感器、工业相机与嵌入式采集单元，能够在毫秒级完成对关键指标的监控。数据传输则通过工业以太网、5G专网等高速通信网络完成，从而确保生产现场信息能够快速上传至数据中心。为了保证传输的稳定性，系统往往采用边缘计算技术进行预处理，将无效数据剔除，仅保留关键特征值进入主系统分析。实时采集与传输机制的完善不仅提升了生产的透明度，也为后续的建模与优化提供了高质量数据来源。在多工序耦合的复杂环境中，该机制使得设备与工艺状态能够实现动态更新，形成闭环调控，有效支撑了汽车制造环节的智能化发展。

4.2 数据驱动的生产过程建模与预测控制方法

在智能制造场景中，数据驱动方法逐渐成为生产优化的重要途径。通过对历史数据与实时数据的融合分析，可以建立工艺参数与产品性能之间的映射模型，揭示关键变量对质量与效率的影响。预测控制方法依赖于该模型，在生产过程中对未来状态进行推演，并动态调整工艺参数。例如在车身焊接环节，模型能够预测焊点强度变化趋势，控制系统据此提前修正电流或速度，从而避免缺陷产生。该方法强化了生产过程的自适应能力，使系统能够在复杂工况下保持稳定运行。与传统经验控制相比，数据驱动方式更加精准可靠，能够显著降低不良率和能耗。通过不断迭代模型与优化控制策略，生产线逐步形成自主学习与优化的能力，为汽车制造的高质量发展提供了坚实支撑。

4.3 基于云平台的制造数据存储与共享模式

汽车智能制造对数据存储与共享的要求呈现高容量、高安全性与高可用性特征。云平台凭借分布式存储与弹性计