

智能制造背景下汽车生产线的数字化升级实践

李云鹤

大众汽车（安徽）有限公司，安徽 合肥 230000

DOI:10.61369/ME.2025110011

摘 要： 智能制造推动汽车生产线数字化升级，涵盖多方面实践。从技术支撑、协同控制到各环节系统开发，通过建设监测平台、构建调配模型等实现设备管理优化。经对比关键绩效指标和成本效益分析，成效显著，但存在工业大数据应用不足问题，未来 5G + AI 在远程运维领域前景广阔。

关 键 词： 汽车生产线；数字化升级；智能制造

Digital Upgrading Practice of Automobile Production Line under the Background of Intelligent Manufacturing

Li Yunhe

Volkswagen (Anhui) Co., Ltd., Hefei, Anhui 230000

Abstract： Intelligent manufacturing promotes the digital upgrading of automobile production lines, covering many aspects of practice. From technical support, collaborative control to system development of each link, equipment management optimization is realized by building monitoring platform and deployment model. By comparing the key performance indicators and cost-benefit analysis, the effect is remarkable, but there is a problem of insufficient application of industrial big data. In the future, 5g+AI has broad prospects in the field of remote operation and maintenance.

Keywords： automobile production line; digital upgrade; intelligent manufacturing

引言

2021 年颁布的《“十四五”智能制造发展规划》旨在推动制造业全面数字化转型，其中汽车装备领域的智能制造备受关注。智能制造通过将先进信息技术与汽车制造深度融合，实现智能化与高效化生产。在这一政策导向下，汽车生产线数字化升级涵盖设备互联、数据集成等多方面，借助工业物联网等技术协同支撑，构建多机器人协同控制方案、开发智能化焊接与装配系统等实践，虽成效显著，但仍面临工业大数据应用不足等挑战。未来，5G + AI 技术有望助力汽车制造业迈向更高水平的智能化。

一、智能制造体系下的汽车生产线数字化升级理论基础

（一）汽车装备智能制造概念框架

智能制造在汽车装备领域是将先进信息技术、自动化技术与汽车制造深度融合，实现汽车生产过程智能化、高效化的全新制造模式。其内涵不仅涵盖传统制造过程的自动化升级，更强调基于数据驱动的智能决策与柔性生产。在此基础上，可建立三维理论模型。设备互联是基础，通过各类通信协议与接口，让汽车生产线上的加工设备、检测仪器等实现互联互通，实时交换数据。数据集成则对设备互联产生的海量数据进行收集、整理与分析，挖掘数据背后的价值。智能决策利用数据集成的成果，借助人工智能算法与专家系统，对生产调度、质量控制等关键环节做出科

学决策，最终形成完整且高效的汽车装备智能制造概念框架^[1]。

（二）数字化升级技术支撑体系

在智能制造体系下，汽车生产线数字化升级离不开工业物联网、数字孪生、边缘计算等技术的协同支撑。工业物联网将生产线上的各类设备、系统连接起来，实现数据的全面采集与传输，为后续分析与决策提供基础^[2]。数字孪生则通过构建物理实体的虚拟模型，对生产线运行状态进行实时映射、模拟与优化，提前预测潜在问题，辅助精准决策。边缘计算在靠近数据源头的网络边缘侧进行数据处理，减少数据传输延迟，提升响应速度，让生产过程的控制更加及时、高效。这三种技术相互协同，工业物联网提供数据，数字孪生进行深度分析与优化，边缘计算保障实时性，共同搭建起汽车生产线数字化升级的技术支撑体系，推动汽车生产线向智能化、数字化方向迈进。

二、工业机器人集成应用关键技术研究

（一）多机器人协同控制方案

在智能制造背景下的汽车生产线数字化升级中，多机器人协同控制方案至关重要。研究基于视觉引导和力觉反馈的机器人协同作业模式，是实现高效协同控制的关键。通过视觉引导，机器人能够精准识别作业目标的位置、形状等信息，快速定位操作对象，提高作业的准确性和效率^[9]。力觉反馈则让机器人在操作过程中感知力度变化，避免因用力不当造成零部件损坏或装配偏差。在此基础上，构建动态路径规划算法，充分考虑生产线环境的动态变化，如其他机器人的运动、物料的运输等，实时调整机器人的运动路径，防止机器人之间发生碰撞，确保多机器人在复杂且动态的汽车生产线上有序、高效地协同工作，提升生产线整体的数字化水平与生产效率。

（二）智能化焊接与装配系统开发

在智能制造背景下，以某车型侧围生产线为例，智能化焊接与装配系统开发至关重要。在该生产线中，工业机器人需实现高精度的焊接与装配任务。通过整合机器人柔性夹具系统与在线检测技术，可显著提升系统性能。机器人柔性夹具系统能依据不同生产需求，快速灵活地调整夹具构型，适应多种侧围型号生产，提高生产柔性^[4]。在线检测技术实时监测焊接与装配过程中的关键参数，如焊接温度、装配尺寸偏差等，一旦出现异常立即反馈，以便及时调整机器人操作，保证产品质量。这种整合应用实现了智能化焊接与装配系统的高效稳定运行，推动汽车生产线的数字化升级，为智能制造在汽车产业的深入发展奠定基础。

三、设备全生命周期数字化管理实践

（一）数字化设备管理系统构建

1. 设备状态监测平台建设

在智能制造背景下汽车生产线的数字化升级实践中，设备状态监测平台建设极为关键。通过开发集成振动分析、热成像监测等功能的预测性维护系统来实现。振动分析功能能够实时捕捉设备运行时的振动参数，依据振动的频率、幅度等指标变化，精准察觉设备潜在的机械故障隐患，比如零部件松动、磨损等^[5]。热成像监测功能则可借助热成像技术，监测设备关键部位的温度分布与变化，及时发现因过载、异常摩擦等导致的过热问题，防止设备因高温受损。该平台将各类监测数据进行整合分析，利用大数据和人工智能算法，提前预测设备可能出现的故障，为汽车生产线设备的稳定运行提供有力保障，实现设备状态的全方位、实时化监测，支撑汽车生产线的数字化升级。

2. 备件智能调配模型

在智能制造背景下汽车生产线数字化升级实践中，备件智能调配模型基于建立的贝叶斯网络备件需求预测算法展开。通过对历史故障数据进行深度挖掘与分析，利用贝叶斯网络的特性，精准预测各备件的需求情况。依据预测结果，结合设备运行状态、维修计划以及库存信息等多源数据，构建智能调配模型。该模型

能够自动生成最优的备件调配方案，实现备件资源的高效分配，减少库存积压与缺货风险。同时，模型具备动态调整能力，可根据实时反馈数据对调配方案及时优化，确保在汽车生产线运行过程中，备件供应始终与实际需求高度匹配，有效提高生产效率与设备管理水平^[6]。

（二）数字孪生技术应用探索

1. 生产线三维可视化建模

在智能制造背景下汽车生产线的数字化升级实践中，生产线三维可视化建模是关键环节。借助数字孪生技术，以BIM技术为依托来实现生产线三维可视化建模。通过对生产线的设备、布局、工艺流程等进行精细的三维建模，将现实中的生产线以数字化的三维形式呈现出来。建模过程中融入工艺参数，精准反映各设备运行状态、物料流转路径等。这样不仅能使工作人员直观了解生产线全貌，还方便进行虚拟调试、优化布局等操作。该建模为设备全生命周期数字化管理提供可视化基础，助力提前发现潜在问题，提升生产效率与质量，为汽车生产线数字化升级奠定坚实基础^[7]。

2. 虚拟调试与实时仿真

在智能制造背景下汽车生产线的数字化升级实践中，虚拟调试与实时仿真作为数字孪生技术的重要应用，在冲压设备调试环节发挥关键作用。通过构建冲压设备的虚拟模型，将其与实际物理设备相对应，利用实时数据交互实现虚实联动^[8]。在此过程中，对冲压设备的各项参数，如压力、速度、行程等进行模拟调试，提前发现潜在问题并优化工艺参数。实时仿真能够逼真再现冲压过程，工程师可依据仿真结果对设备运行状态进行精确预判，避免在实际调试中出现因设计缺陷或参数不合理导致的设备故障、生产延误等情况，有效缩短冲压设备调试周期，提高调试效率与精准度，为冲压生产的高效、稳定运行奠定基础，助力汽车生产线实现数字化升级。

四、生产数字化实施路径与效果分析

（一）工艺流程数字化重构

1. 基于MES的生产节拍优化

在智能制造背景下，汽车生产线的数字化升级实践中，工艺流程数字化重构里基于MES（制造执行系统）的生产节拍优化至关重要。MES通过实时采集与分析生产数据，精准洞察各生产环节的运行状况。例如，对汽车焊装线，MES能详细记录每个焊点的操作时间、设备运行状态等信息。基于这些数据，可识别生产瓶颈，如某些焊接工位耗时较长影响整体节拍。借助MES系统的模拟功能，可尝试不同的生产节拍调整方案，如优化工位人员配置、更新设备参数等。实施优化后，不仅能提高生产效率，减少生产周期，还能提升产品质量稳定性。经实践验证，运用MES进行生产节拍优化，焊装线体平衡率显著提升，有力推动了汽车生产线的数字化升级，为企业带来更高的经济效益^[9]。

2. 柔性化生产模式设计

在智能制造背景下，汽车生产线的柔性化生产模式设计是关

键环节。通过工艺流程数字化重构，以开发支持多车型混流的模块化工艺布局方案为依托。对生产工艺流程进行深度剖析，利用数字化技术对每个环节进行精准建模与模拟，从而清晰掌握各流程的特性与关联。在此基础上，设计柔性化生产模式，使生产线能够依据不同车型的需求，灵活调整生产参数与工艺顺序。例如，在冲压、焊接、涂装和总装等核心工序，通过智能化控制系统，实现设备的快速切换与精准操作。这种柔性化生产模式不仅提升了生产效率，减少了车型转换时间与成本，还增强了生产线对市场需求变化的响应能力，有效满足了消费者多样化、个性化的需求，在汽车行业竞争中占据优势^[10]。

（二）数据驱动的生产决策优化

1. 实时生产数据分析平台

构建实时生产数据分析平台，是实现数据驱动生产决策优化的关键环节。该平台集成各类生产设备数据、工艺参数数据以及质量检测数据等，利用大数据技术对海量实时数据进行快速采集与整合。通过先进的数据挖掘算法，从繁杂数据中提取关键信息，例如识别生产过程中的异常波动、预测设备潜在故障。借助可视化技术，以直观的图表、图形呈现分析结果，让生产管理人员能实时掌握生产状态。基于这些精准、实时的数据，管理者可快速调整生产策略，如优化生产节拍、及时更换即将失效的模具等，有效提升生产效率与产品质量，推动汽车生产线的数字化升级，确保生产决策更科学、更合理。

2. 能源消耗智能监控

在智能制造背景下汽车生产线数字化升级实践中，能源消耗智能监控是关键环节。通过部署基于物联网的电力负荷动态调节系统，可实时采集设备的电力数据，包括各生产环节的用电功率、电量等参数。系统对这些数据进行深度分析，利用智能算法预测不同生产场景下的能源需求。依据分析与预测结果，动态调节设备的电力负荷，如在非关键设备上适时降低功率，在设备空闲时自动进入低能耗模式。这不仅有效降低了汽车生产线的能源消耗，还提升了能源利用效率。实践证明，该系统助力企业实现能源精细化管理，降低生产成本，提升了企业在绿色制造方面的竞争力，为汽车生产线数字化升级中的能源消耗管控提供了高效且可行的方案。

（三）实施效果量化评估

1. 关键绩效指标对比

在智能制造背景下汽车生产线数字化升级实践中，关键绩效

指标的对比清晰展现了升级成效。设备综合效率（OEE）是衡量生产效率的重要指标，数字化升级前，汽车生产线设备因故障、换型等导致 OEE 处于一定水平。升级后，通过设备联网实时监控、智能维护预测等措施，OEE 提升了 12%，意味着设备生产能力得到显著增强，能产出更多合格产品。生产异常响应时间也至关重要，以往人工巡检与传统响应机制下，生产异常发现与处理耗时较长。数字化升级引入智能传感与数据分析系统，能快速定位异常，使响应时间缩短 40%，极大减少了因异常造成的生产停滞，保障了生产线的高效稳定运行，有力推动了汽车生产线的数字化转型。

2. 成本效益分析

在智能制造背景下汽车生产线数字化升级的成本效益分析中，从收益角度看，通过预测性维护降低设备故障停机损失约 800 万 / 年，这显著减少了因设备故障导致的生产中断，提升了生产效率与产品按时交付率，同时降低了紧急维修成本，也减少了因设备故障可能带来的产品质量缺陷成本。从成本角度而言，数字化升级过程涉及硬件设备更新、软件系统采购与开发、人员培训等成本投入。然而，综合来看，长期的收益远超过前期投入成本，不仅在设备故障损失减少方面成效显著，还因生产效率提升、产品质量改善等带来更多潜在收益，整体呈现出良好的成本效益比，有力证明了汽车生产线数字化升级在经济层面的可行性与重要性。

五、总结

智能制造背景下汽车生产线的数字化升级实践成效显著，生产效率得到大幅提升，自动化设备与数字化系统的协同作业，减少了生产环节的时间损耗，实现了更高效的生产节奏。同时，质量控制也获得明显改进，数字化检测手段与实时监控系统能够及时发现并纠正生产偏差，保障产品质量的稳定性。然而，目前仍存在工业大数据应用深度不足的问题，数据挖掘与分析能力有待加强，未能充分发挥数据对生产优化的潜在价值。展望未来，5G + AI 技术在远程运维领域具有广阔的发展前景，有望实现设备故障的精准预测与远程快速修复，进一步提升汽车生产线的运行稳定性与维护效率，推动汽车制造业向更高水平的智能化迈进。

参考文献

- [1] 刘佳雁. 基于数字孪生的汽车连杆生产线虚拟仿真调试与优化 [D]. 上海应用技术大学, 2023.
- [2] 高大伟. 智能制造背景下 X 公司制造系统优化研究 [D]. 吉林大学, 2022.
- [3] 孙寒梅. 智能制造背景下 F 电子制造服务企业成本控制优化研究 [D]. 苏州大学, 2022.
- [4] 夏慕恺. 人工智能背景下装备制造转型升级能力评价研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2023.
- [5] 艾艳儒. 智能制造背景下制造业企业培训体系改革现状与对策研究 [D]. 重庆大学, 2021.
- [6] 邵青伟. 工业机器人在汽车智能制造生产线中的应用研究 [J]. 汽车测试报告, 2023, (09): 52-54.
- [7] 陈永刚, 梅阳寒. 智能制造背景下包装装备制造类专业技术技能人才培养模式的探索与实践 [J]. 包装工程, 2024, 45(S02): 139-144.
- [8] 张伟, 李亚, 刘磊. 浅谈智能制造背景下企业设备管理转型升级 [J]. 中国设备工程, 2023, (14): 44-46.
- [9] 谭妍玮. 智能制造背景下汽车制造专业“三教”改革路径研究 [J]. 汽车实用技术, 2023, 48(04): 156-159.
- [10] 吴星, 张迎凤. 广西汽车产业智能制造转型升级策略研究 [J]. 柳州职业技术学院学报, 2021, 21(05): 22-26.