

基于数字化转型的企业生产效率提升路径研究

白 杨

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 辽宁 沈阳 110170)

摘 要 随着工业 4.0 和物联网技术的快速发展, 企业正在寻求通过技术创新来显著提高生产效率。然而, 当前许多企业在实际应用中面临“数据孤岛”“重硬轻软”的挑战, 即设备、管理和运营之间的信息割裂严重, 导致生产效率提升效果不明显。本文提出“五层三闭环”的技术路径, 通过研究设备级、流程级、系统级等效率提升技术, 明确关键技术和选型要点, 并通过案例对比数字化转型前后的生产效率提升实践, 以期为相关人员提供参考。

关键词 数字化转型; 生产效率; 设备级优化; 流程级优化; 系统级优化

中图分类号: F270

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.13.024

0 引言

工业 4.0 的推进和物联网技术的快速发展为企业的智能化转型提供了机遇。然而, 企业在技术创新过程中往往面临以下问题: 设备与管理系统的脱节、生产计划难以动态响应、故障诊断效率低下等。这些问题直接限制了企业提升生产效率的能力。基于此, 本文提出了基于多层次优化策略的技术框架, 通过设备级优化、流程级优化和系统级优化协同作用, 实现从设备到车间再到工厂的全维度生产效率提升。

1 数字化转型驱动生产效率提升的技术框架

数字化转型驱动生产效率提升的核心理论是通过数据流动的自动化, 优化资源配置效率, 从而实现资源(设备、物料、能源、人力、时间)投入与有效产出的比值升高。本文构建“五层三闭环”技术实施框架, 剖析各层级的核心技术构成、选型要点与协同机制, 为制造企业提供兼具理论与实践指导意义的“技术路线图”, 如图 1 所示。

各层级的核心功能、关键技术、对生产效率的主要贡献如表 1 所示。

2 设备级生产效率提升的关键技术

针对单台或产线设备, 实现“状态监控—故障预测—维护决策—运行效率提升”闭环, 提升设备可用率。通过物理资源层的准确选型、智能感知层的精准采集、网络互联层的高效通信、平台数据层的数据管理和智能应用层的自适应优化, 可以实现设备级的智能化管理, 不仅能够显著提升设备运行效率和可靠性, 还能降低停机时间和维护成本, 为智能制造提供坚实的技术支撑基础^[1]。其中, 基于智能传感与物联集成的数据采集、设备互联互通、仿真驱动的过程优化、“感知—决策”实时联动是关键技术。

2.1 物理资源层

物理资源层是设备的基础, 其核心参数决定了设备的性能和可靠性。在选型时, 需适配设备的核心参数, 结合智能感知技术提升智能化水平。例如: 自动钻铆设备、AGV 自动导引车等选型, 应对其核心参数如钻头直径、进给量、旋转速度、切削深度、最大载重量、移动速度、转弯半径等基本参数进行适配。

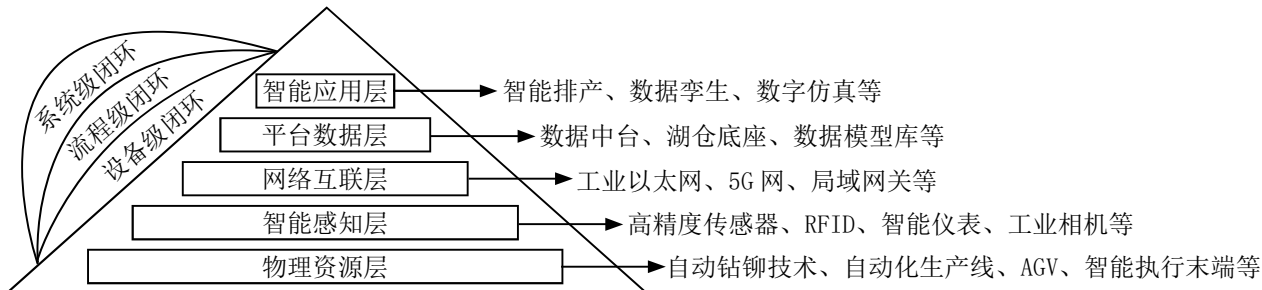


图 1 “五层三闭环”的技术路线图

作者简介: 白杨 (1983-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 飞机装配、数字化转型。

表 1 生产效率提升技术框架层级功能与核心技术组成

层级	核心功能	关键技术组成	对生产效率的主要贡献
物理资源层	支撑和承载生产执行	自动钻铆机、自动化生产线、AGV、机器执行末端等	直接决定加工精度、作业速度与物流效率
智能感知层	数据采集与状态数字化	高精度传感器（视觉 / 力觉 / 声学）、RFID、智能仪表	实现生产过程可视化，为分析优化提供数据源
网络互联层	数据可靠传输与边缘计算	工业以太网、5G 网、局域网关	保障实时控制与反馈，支撑快速响应
平台数据层	数据汇聚、治理与模型服务	数据中台、数据模型库等	打破数据孤岛，推动数据资产化与服务化
智能应用层	业务场景智能化	数字仿真、数据孪生、智能排产（APS）等	生产决策与执行，实现效率提升

2.2 智能感知层

基于智能传感与物联集成的数据采集技术是数字化转型的“神经末梢”，旨在实现从“哑设备”到“智能体”的转变。其技术核心与挑战在于选择高精度、抗干扰的传感器，如采用嵌入式压电式振动传感器监测主轴健康状态、应用高光谱相机对产品内部缺陷非接触式检测等。结合高精度传感器数据，实时评估设备的运行状态。

2.3 网络互联层

使用物联传感器将设备运行数据实时传输到云端系统，包含钻头磨损情况、切削参数变化、设备负载波动等信息。使用物联网传感器技术（无线传感器网络、M2M 通信等），实现设备间的互联互通。利用 5G 网络的高速率和低时延特性，实现设备与云端平台之间的快速数据传输^[2]。

2.4 平台数据层

平台数据层是设备级生产效率提升的核心部分，它通过整合和管理设备的原始数据、中间结果和分析结果，为设备优化提供决策支持。具体的技术实现和技术选择如下：建立统一的数据仓库，整合设备数据，提供可视化界面，将复杂的数据转化为易于理解的图表或报告，如通过趋势图展示设备参数变化，通过热力图显示异常区域分布。

2.5 智能应用层

数据驱动的预测模型是通过历史数据分析和机器学习算法（回归分析、时间序列预测或深度学习等），对加工参数（切削速度、进给量等）进行优化，以实现质量、效率和能耗的最佳平衡，并用于提前识别潜在故障^[3]。

仿真驱动的过程优化是结合工艺参数调整和设备状态优化，制定最优的生产策略，从而提高整体生产

效率。结合历史数据与强化学习算法，对加工参数（切削速度、进给量等）进行迭代寻优。

“感知—决策”实时联动是当传感器检测到某工序质量波动时，数字孪生系统可立即调用模型库，分析原因并推荐调整工艺参数，经仿真验证后下发执行，形成快速闭环。

3 流程级生产效率提升的关键技术

针对多工序生产流程，实现“计划—执行—监控—动态调度”闭环，提升生产节奏与资源利用率。与设备级聚焦单点效率不同，流程级更注重多工序的协同联动、跨层级的技术融合。通过物理资源层的设备优化、智能感知层的数据采集与分析、网络互联层的高效通信、平台数据层的多维度监控以及智能应用层的动态优化，实现对生产过程的实时监控和动态调整，显著提高生产效率和产品质量，其中智能排产（APS）、数据驱动的流程决策支持是关键技术。

3.1 物理资源层

物理资源层涵盖参与生产的设备、传感器、执行机构等硬件设施。其关键技术在于根据工艺要求优化设备参数（刀具直径、速度、进给等），确保设备处于最佳工况，以提高加工效率和产品质量。

3.2 智能感知层

智能感知层涉及传感器数据的采集、处理和分析。包括实时数据采集与传输、异常检测与预警，如使用多传感器阵列实时采集设备运行参数、利用机器学习算法（异常检测模型等）识别设备运行中的异常状态、通过结合机器学习算法和实时数据整合，开展智能排产技术（APS）。其核心在于利用高精度传感器和智能传感器对设备状态进行监测，设定规则基于历史数据建立预测模型，提前识别潜在瓶颈和调整生产参数^[4]。

3.3 网络互联层

为确保设备与系统之间的高效数据传输，实现多工序协同优化，采用5G/物联网等高效率通信技术实现实时数据传输，通过统一的数据平台实现不同工序之间的信息共享，分析各工序的参数设置对产品质量的影响。

3.4 平台数据层

为整合、存储、分析和可视化层级间的数据，可以将来自设备、传感器、工业自动化系统等各层级的数据，通过平台构建、规则设定、挖掘有用信息，实现对设备和工艺的动态优化，将复杂的数据转化为可视化界面，帮助操作人员快速理解和洞察生产状态。

3.5 智能应用层

构建统一的企业级管理平台，整合实时数据和历史数据分析结果，实现对生产、库存、设备状态等多维度数据的可视化管理和智能分析，支持数据驱动的流程决策，如实时监控设备运行状态（温度、压力、振动等），为生产管理决策提供智能化支持；利用智能传感器对设备状态进行实时采集，提前识别潜在故障，实现“预防性维护”。

4 系统级生产效率提升的关键技术

系统级的架构优化是实现整体效率提升的关键，需要从设备、工艺、物流和数据等多个层面进行协同设计，要求从底层传感器到顶层决策系统实现深度集成，形成从数据采集、智能分析到执行反馈的完整闭环。

4.1 物理资源层

物理资源层是工业4.0系统的基础，涵盖了生产设备、生产线、物料和能源等物理资源的管理与分配，通过优化物理资源的使用效率，可以显著提高系统的整体效能。例如：实时监控设备运行状态，及时发现并调整参数（温度、压力、速度等），防止设备过载或故障；结合数据分析技术预测设备故障，实现设备的自动化运行，减少停机时间；根据生产需求动态调整物料库存和运输安排，避免资源浪费和瓶颈问题；优化设备能量消耗，如通过节能控制提高能源利用率。

4.2 智能感知层

智能感知层是工业4.0系统的技术核心，其高效运行直接决定了系统的整体效率。通过传感器技术和物联网技术整合设备、环境、物料等多源数据，形成全面的生产感知系统，并结合人工智能算法进行数据分析和决策支持。

4.3 网络互联层

网络互联层是工业4.0系统的关键基础设施，它将分散在不同物理位置的设备、平台和应用连接起来，实现数据的高效传输和实时共享。高效、统一的通信平台，支持设备、平台和应用之间的无缝协作，实现生产数据在不同层级（设备层、工艺层、物流层等）的实时共享，支持协同优化。

4.4 平台数据层

平台数据层是工业4.0系统的数据中枢，负责整合来自物理资源层、智能感知层和网络互联层的海量数据，通过数据分析技术提取价值，支持决策优化和系统改进。搭建统一的数据标准和架构，利用大数据平台对生产数据进行高效存储和管理，对生产数据进行全面分析，优化生产工艺、设备参数和物流安排。

4.5 智能应用层

智能应用层是工业4.0系统的价值实现核心，通过集成化、智能化的应用程序和工具，将物理资源、数据和网络互联层的优化成果转化为实际的应用场景。通过数据分析和算法支持，实现设备的预测性维护，利用人工智能算法对物料运输、生产线调度等进行智能优化，通过闭环控制系统对生产过程进行实时监控和动态调整，显著提升系统的智能化水平和整体效率^[5]。

5 结束语

在数字化转型背景下，生产效率作为企业核心竞争力的关键载体，其系统性提升需要从设备、流程、系统着手。本文深入探讨了设备级、流程级、系统级等各层级的效率提升关键技术，为企业转型及产业高质量发展提供实践方向。数字化转型是企业提升生产效率、提升核心竞争力的选择，其核心在于突破数据孤岛，构建跨部门协同机制，实现数据全链路闭环管理，为传统产业的高质量发展提供了可复制、可推广的实践范式。

参考文献：

- [1] 杨佳节,詹光远,冉晖.数字化转型的内涵、机遇、挑战与实施路径[J].中国集体经济,2026(07):100-103.
- [2] 于永进.数字经济赋能企业差异化经营战略探析[J].中国集体经济,2026(07):71-74.
- [3] 施文婷.企业数字化转型中组织文化适配与变革管理策略研究[J].中国电子商情,2026,32(04):46-48.
- [4] 张文彬.企业数字化转型对流通效率异质性影响[J].合作经济与科技,2026(06):86-88.
- [5] 李秋月,徐聪,王常静.数字化转型驱动企业高质量发展的机制研究[J].统计理论与实践,2026(02):62-72.