

智能制造中的机械自动化技术应用

曹若冰 谢文超 许宁 郭栋栋 唐凤姣
山东永聚医药科技股份有限公司 山东 淄博 255400

摘要：智能制造中，机械自动化技术通过融合物联网、大数据、人工智能等先进技术，实现了生产全流程的智能化升级。其核心应用涵盖智能生产线集成，提升生产效率与产品质量；智能检测与质量控制，确保产品精度与可靠性；智能物流与仓储，优化物料搬运与库存管理；以及设备维护与预测性管理，降低故障率与维护成本。这些应用共同推动制造业向高效、灵活、可持续方向发展。

关键词：智能制造；机械自动化技术；应用

引言：在全球制造业竞争加剧与消费需求个性化趋势下，传统制造模式面临效率瓶颈与柔性不足的双重挑战。智能制造作为新一代信息技术与先进制造技术深度融合的产物，通过引入机械自动化技术，实现了生产全流程的智能化重构。机械自动化不仅为智能制造提供了精准执行与高效作业的硬件基础，更通过智能感知、自主决策与自适应控制能力，推动制造系统向柔性化、智能化方向演进，成为破解传统制造困局的关键技术路径。

1 智能制造与机械自动化技术概述

1.1 智能制造的内涵与特征

(1) 定义、层级架构：智能制造是基于新一代信息技术与先进制造技术深度融合，实现生产全流程智能化决策、执行与优化的新型制造模式。其层级架构清晰，感知层依托各类传感器、智能终端实现生产数据的实时采集；网络层通过工业互联网、5G等技术完成数据传输与交互，构建互联互通的信息网络；执行层由智能装备、自动化生产线等组成，负责接收指令并完成具体生产作业，三层协同保障智能制造高效运行。(2) 关键技术：物联网、大数据、人工智能、数字孪生。物联网是智能制造的基础支撑，实现设备、物料、人员的全面互联；大数据技术对海量生产数据进行挖掘分析，为决策提供数据支撑；人工智能赋能生产过程的自主决策与智能优化；数字孪生构建物理实体的虚拟镜像，实现生产全生命周期的仿真、监控与预测，四大技术协同推动智能制造落地^[1]。

1.2 机械自动化技术的演进

(1) 传统机械自动化vs智能机械自动化：传统机械自动化以固定程序控制为核心，仅能实现单一工序的自动化作业，灵活性差、自适应能力弱；智能机械自动化融合新一代信息技术，具备感知、决策、自适应能力，可根据生产工况动态调整作业参数，适配多品种、小批

量生产需求，实现从“刚性自动化”到“柔性智能化”的跨越。(2) 技术发展驱动因素（成本、效率、柔性化需求）：劳动力成本上升推动企业以自动化设备替代人工，降低生产成本；市场竞争加剧促使企业通过技术升级提升生产效率，缩短交货周期；消费需求个性化趋势倒逼制造模式转型，柔性化生产需求推动机械自动化技术向智能化、可重构方向发展。

1.3 机械自动化与智能制造的融合关系

(1) 技术互补性分析：机械自动化技术为智能制造提供硬件执行基础，保障生产作业的精准高效实施；智能制造技术为机械自动化赋予智能感知与决策能力，突破传统自动化的功能局限，二者形成“硬件支撑+软件赋能”的互补关系。(2) 在生产流程中的协同作用：在生产全流程中，智能制造系统通过数据分析生成优化生产方案，机械自动化设备精准执行生产指令；同时，自动化设备反馈的实时运行数据为智能制造系统的决策优化提供依据，二者协同实现生产流程的动态调整、高效运转，提升制造系统的整体竞争力。

2 机械自动化技术在智能制造中的核心应用

2.1 智能生产系统

(1) 柔性制造系统(FMS)与自动化生产线：柔性制造系统是机械自动化与智能制造融合的核心载体，通过标准化模块、智能调度系统与多工位自动化设备的协同，实现多品种、小批量产品的高效生产。该系统可根据生产订单动态调整加工流程，无需大规模改造设备，大幅提升生产灵活性。自动化生产线则依托连续输送设备、智能加工装备与控制系统的集成，实现从原料投入到成品输出的全流程自动化作业，减少人工干预，提升生产效率与产品一致性，是大规模智能制造的基础支撑^[2]。(2) 案例：汽车装配线的机器人协同作业：在汽车智能制造工厂中，柔性装配线集成了多台工业机器

人、智能输送轨道与视觉定位系统,实现车身焊接、零部件装配、涂装等工序的机器人协同作业。通过工业互联网实现机器人之间的实时数据交互与动作协同,例如焊接机器人根据车身型号自动调用焊接参数,装配机器人精准抓取零部件并完成装配,全过程无需人工参与。该模式不仅将装配效率提升40%以上,还降低了人为操作误差,使产品合格率稳定在99.8%以上,同时可快速切换不同车型的生产,适配市场多样化需求。

2.2 智能检测与质量控制

(1) 基于机器视觉的缺陷检测技术:机器视觉检测是机械自动化技术在质量控制中的关键应用,通过高清相机、图像采集卡与智能算法的集成,实现对产品表面缺陷、尺寸精度的快速检测。系统可在生产过程中实时采集产品图像,通过图像预处理、特征提取与缺陷识别算法,精准识别划痕、裂纹、尺寸偏差等缺陷,检测速度可达每秒数十帧,远高于人工检测效率。相较于人工检测,机器视觉检测不受疲劳、主观判断等因素影响,检测精度更高,尤其适用于精密零部件、电子元器件等高精度产品的质量检测。(2) 在线质量监测与自适应调整系统:该系统依托分布在生产各环节的传感器与检测设备,实时采集加工参数、产品质量数据,通过大数据分析构建质量预测模型。当监测到质量数据出现偏差时,系统可自动向自动化生产设备发出调整指令,优化加工参数(如切削速度、压力、温度等),实现质量问题的实时纠偏。例如在精密机械加工中,系统通过监测刀具磨损数据与工件尺寸偏差,自动调整切削深度与进给速度,避免不合格产品产生,同时减少物料浪费与生产停滞时间^[3]。

2.3 智能物流与仓储

(1) AGV(自动导引车)与智能仓储机器人:AGV与智能仓储机器人是智能物流仓储的核心执行设备,依托激光导航、视觉导航、磁条导航等技术,实现物料的自动搬运、存取与分拣。AGV可根据调度指令自主规划行驶路径,规避障碍物,完成车间内原料、半成品的点对点搬运,替代传统人工搬运,提升搬运效率与安全性。智能仓储机器人(如堆垛机、分拣机器人)则实现仓库内货物的自动出入库、堆垛与分拣,结合智能仓储管理系统,大幅提升仓库空间利用率与货物周转效率。(2) 无人化物流系统的调度优化:无人化物流系统通过物联网、大数据与智能调度算法,实现对AGV、仓储机器人、输送线等设备的全局调度与优化。系统可实时采集物流节点数据,动态规划最优运输路径,合理分配设备任务,避免设备拥堵与资源闲置。例如在电商仓储中

心,无人化物流系统可根据订单信息,同步调度分拣机器人、AGV与智能货架,实现订单的快速分拣与打包,将订单处理效率提升50%以上,同时降低物流运营成本。

2.4 设备维护与预测性管理

(1) 基于物联网的远程监控与故障诊断:通过在机械自动化设备上部署温度、振动、电流等传感器,结合物联网技术实现设备运行状态的实时远程监控。传感器采集的运行数据实时传输至监控平台,系统通过数据异常检测算法,及时发现设备潜在故障(如轴承磨损、电机过热等),并自动发出预警。技术人员可通过远程平台查看设备运行数据,进行故障诊断与远程调试,减少现场维护工作量,缩短故障停机时间^[4]。(2) 数字孪生技术驱动的预测性维护:数字孪生技术构建机械自动化设备的虚拟镜像,实现设备运行状态的虚拟仿真与全生命周期管理。通过将物理设备的实时运行数据与虚拟模型同步,系统可模拟设备在不同工况下的运行状态,预测设备部件的老化趋势与故障发生时间。基于预测结果,制定精准的维护计划,提前更换老化部件,避免突发性故障,降低维护成本,提升设备运行可靠性。例如在风电设备中,数字孪生驱动的预测性维护可提前预判叶片磨损、齿轮箱故障,将设备故障率降低30%以上。

2.5 人机协作与柔性交互

(1) 协作机器人(Cobot)的安全交互设计:协作机器人突破了传统工业机器人与人类的隔离作业模式,通过力反馈传感器、安全监控系统的集成,实现与人的近距离协同作业。当机器人与人类发生碰撞时,力反馈传感器可快速检测到压力变化,触发紧急制动,保障人员安全。同时,协作机器人可根据人类操作意图自动调整作业节奏与动作,适用于定制化生产、精密装配等需要人机协同的场景,例如在电子元件装配中,协作机器人辅助人工完成精准定位与装配,提升作业效率与精度。(2) AR/VR辅助的远程操作与培训:AR(增强现实)/VR(虚拟现实)技术与机械自动化技术融合,实现远程操作与技能培训的柔性交互。在远程操作中,操作人员通过VR设备沉浸式查看设备运行场景,通过AR技术将操作指令叠加在真实设备上,实现对远程自动化设备的精准操控。在技能培训中,利用VR技术构建虚拟实训场景,操作人员可模拟操作自动化设备,熟悉操作流程与故障处理方法,无需占用真实生产设备,降低培训成本,提升培训效率。例如在大型工业设备维护培训中,VR实训系统可模拟设备拆解、故障排查等操作,帮助操作人员快速掌握维护技能^[5]。

3 智能制造中的机械自动化关键技术挑战与创新方向

3.1 技术瓶颈分析

(1) 多源异构数据融合难题: 智能制造场景下, 机械自动化系统需采集设备运行数据、环境传感数据、生产工艺数据等多类型数据, 这些数据存在格式不统一、维度差异大、实时性要求不同等问题。传统数据融合技术难以实现多源数据的高效整合与精准关联, 导致数据价值挖掘不充分, 无法为智能决策提供全面支撑, 制约了自动化系统的智能化升级。(2) 复杂环境下的自适应控制能力不足: 工业生产现场常存在振动、温湿度波动、物料差异等复杂干扰因素, 现有机械自动化系统的控制算法多基于预设模型, 对动态变化的环境适应性较弱。当生产工况超出预设范围时, 系统易出现控制精度下降、作业中断等问题, 难以满足柔性生产对设备自适应能力的高要求。(3) 网络安全与数据隐私风险: 机械自动化系统与工业互联网深度融合, 数据传输与共享过程中面临网络攻击、数据泄露等风险。工业控制系统一旦遭受攻击, 可能导致生产中断、设备损坏; 同时, 生产数据、工艺参数等核心数据的泄露会损害企业核心竞争力, 给企业带来经济损失与声誉风险。

3.2 创新技术路径

(1) 边缘计算与5G融合的实时控制: 边缘计算技术将数据处理能力下沉至设备端, 结合5G低延迟、高带宽的特性, 可实现生产数据的本地实时分析与控制指令的快速响应, 有效解决传统云端控制延迟过高的问题。该技术路径能提升机械自动化系统的实时性与可靠性, 为复杂工况下的精准控制提供技术支撑。(2) 人工智能赋能的自主决策系统: 基于深度学习、强化学习等人工智能算法, 构建自主决策模型, 让机械自动化系统具备工况识别、风险预判、参数优化的自主能力。通过对海量生产数据的学习, 系统可动态调整控制策略, 应对复杂环境变化, 实现从“被动执行”到“主动决策”的转变, 提升生产过程的智能化水平。(3) 模块化与可重构机械结构设计: 采用模块化设计理念, 将机械自动化设备拆解为标准化功能模块, 通过模块的快速组合与重构, 适配不同产品的生产需求。该设计思路可降低设备

改造难度与成本, 提升生产柔性, 同时便于设备的维护与升级, 契合小批量、多品种的智能制造发展趋势。

3.3 可持续发展视角下的技术优化

(1) 绿色制造与能源效率提升: 通过优化机械自动化设备的动力系统、采用节能型元器件, 降低设备能耗; 引入智能能耗监测与优化系统, 实时调控设备运行状态, 实现能源的高效利用。同时, 推广低污染、低排放的生产工艺与材料, 减少生产过程对环境的影响, 推动智能制造向绿色化转型。(2) 循环经济模式下的设备再制造技术: 基于数字孪生、无损检测等技术, 对废旧机械自动化设备进行状态评估与寿命预测, 开展精准的再制造升级。通过零部件修复、功能模块更新, 提升废旧设备的性能, 实现设备资源的循环利用。这不仅能降低企业设备采购成本, 还能减少资源浪费, 契合循环经济发展理念。

结束语

智能制造浪潮下, 机械自动化技术已成为推动制造业转型升级的核心力量。其深度融合不仅显著提升了生产效率、产品质量与资源利用率, 更通过柔性化、自适应的制造模式, 助力企业快速响应市场变化。未来, 随着技术的持续创新与跨领域协同, 机械自动化将进一步向智能化、绿色化、服务化方向演进, 为构建高效、可持续的现代制造体系注入强劲动能, 引领全球制造业迈向更高水平的智能化发展新阶段。

参考文献

- [1]王明.机械自动化技术在智能制造中的应用[J].机械工程,2020,12(3):45-50.
- [2]滕昇.智能技术在机械制造自动化中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(03):88-90.
- [3]陈林.现代人工智能技术在机械设计制造中的应用[J].模具制造,2023(10):184-186.
- [4]王勇.智能化技术在机械设计制造及其自动化中的应用研究[J].时代汽车,2025,(13):23-25.
- [5]刘永辉,徐家福.智能技术在机械制造自动化中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(08):82-84.