

智能制造背景下机械加工设备自动化改造方案研究

陈文辉

杭州华新机电工程有限公司余杭分公司 浙江 杭州 310030

摘要: 智能制造浪潮下,机械加工设备自动化改造是产业升级关键路径。改造聚焦技术创新、工艺优化及智能运维构建,通过激光检测、5G互联、数字孪生等技术融合,提升加工精度、压缩生产周期,构建“预测-诊断-决策”闭环维护机制。其推动设备从“经验驱动”向“数据驱动”转型,为制造业高质量发展提供智能装备支撑,助力构建高效智能制造新生态。

关键词: 智能制造;机械加工设备;自动化改造

引言: 全球制造业正经历智能制造变革,机械加工设备作为生产核心单元面临效率、精度与柔性生产的多重挑战。传统设备依赖人工操作导致精度波动大、换型耗时长,且状态监测滞后制约生产连续性。自动化改造通过引入智能传感器、闭环控制系统及数字孪生技术,突破传统设备性能边界,实现加工过程自主优化与全生命周期智能管理,成为制造业向高阶智能模式转型的关键抓手。

1 智能制造背景下机械加工设备自动化改造概述

智能制造浪潮席卷全球制造业,机械加工设备自动化改造成为推动产业升级的关键引擎。通过融合先进传感技术、智能控制系统与精密执行机构,传统设备实现从“被动执行”到“主动优化”的蜕变,显著提升生产效率与加工精度。(1) 技术协同创新:改造聚焦多技术深度融合,例如将激光检测模块嵌入数控系统,实现加工尺寸实时闭环控制;通过5G网络构建设备互联平台,支持远程监控与协同调试,打破空间限制提升响应速度。(2) 工艺动态优化:基于数字孪生技术构建虚拟加工环境,通过仿真验证优化刀具路径与切削参数,减少试切浪费;引入自适应学习算法,使设备能根据材料硬度、表面粗糙度等特性动态调整加工策略,实现“一机多能”柔性生产。(3) 智能运维体系:通过安装多维度传感器阵列,实时采集设备运行状态数据,结合边缘计算进行本地化故障诊断;构建云端知识库整合历史维修案例与专家经验,形成“预测-诊断-决策”闭环维护机制,降低设备停机时间与维护成本。此类改造以数据为纽带重构设备功能架构,推动机械加工从“经验驱动”向“数据驱动”转型^[1]。通过持续技术迭代与生态协同,设备将逐步进化为具备自主感知、智能决策与精准执行能力的制造单元,为制造业高质量、可持续发展提供坚实支撑。

2 机械加工设备自动化改造的核心需求与现存问题

2.1 机械加工设备自动化改造的核心需求

智能制造背景下,机械加工设备自动化改造的核心需求聚焦于提升生产效能、适应柔性制造趋势及保障长期运行稳定性。企业通过改造实现从“人工依赖”向“智能自主”转型,以应对多品种、小批量订单的响应要求,同时降低对熟练工人依赖,缓解劳动力成本上升压力。(1) 效率与精度双提升:自动化改造需通过高精度伺服系统与闭环控制算法,将加工误差控制在微米级,同时通过连续作业模式缩短单件加工周期,实现产能与质量升级。(2) 柔性生产适配:模块化设计使设备能快速切换加工程序与夹具,适应不同规格零件加工需求;数字孪生技术支持虚拟调试,提前验证工艺路径,减少生产试错成本。(3) 全生命周期管理:通过设备状态监测与预测性维护系统,实时追踪部件磨损情况,结合故障预警算法提前安排维修,避免非计划停机;同时,标准化数据接口支持与上层制造执行系统无缝对接,实现生产数据全流程追溯。这些需求共同指向“智能、高效、可靠”目标,推动机械加工设备从单一执行单元进化为具备自主决策能力的智能节点,为制造业向更高阶智能制造演进奠定基础。

2.2 传统机械加工设备的固有局限性

传统机械加工设备在长期使用中逐渐暴露出与智能制造需求不匹配的固有局限,这些局限不仅制约生产效率提升,更影响产品质量稳定性与制造系统整体协同能力。(1) 精度控制依赖人工干预:传统设备多采用开环控制系统,加工精度高度依赖操作人员经验;例如在孔位加工中,分中、对刀等步骤若由人工完成,易因视觉误差或操作习惯差异导致位置偏差,影响零件互换性与装配精度。(2) 柔性生产能力薄弱:设备通常针对特定零件设计,工装夹具更换复杂,程序调整需专业技术人员介入;当生产任务切换时,从工艺参数调整到夹具更

换的全流程耗时较长,难以适应“多品种、小批量”的现代生产模式。(3) 状态监测与维护滞后:设备运行状态监测多依赖定期巡检,缺乏实时数据采集与分析能力;关键部件如主轴、导轨的磨损情况无法动态追踪,故障发生前缺乏预警机制,导致非计划停机频繁,影响生产连续性^[2]。这些局限性迫使企业寻求自动化改造路径,通过引入智能传感器、闭环控制系统与数字孪生技术,逐步突破传统设备的性能边界,推动制造系统向更高效、更可靠的智能模式转型。

2.3 自动化改造与智能制造的适配难点

自动化改造与智能制造的深度融合面临多重适配难点,这些难点源于技术、系统与人才的复合性挑战,需通过系统性创新逐一突破。(1) 技术标准碎片化:不同设备厂商采用差异化的通信协议与数据接口,导致设备间难以实现无缝对接;例如数控机床与工业机器人的协同作业,常因运动控制指令不兼容而出现节拍不匹配问题,影响整体生产效率。(2) 数据孤岛效应凸显:设备运行数据、工艺参数与质量检测信息分散在不同系统中,缺乏统一的数据治理平台;这种割裂状态阻碍了数据价值的深度挖掘,例如无法通过历史加工数据优化切削策略,或通过设备状态数据预测维护需求。(3) 复合型人才缺口显著:改造不仅需要机械工程师掌握自动化技术,更需具备数据分析、系统集成等跨领域能力;当前既懂传统机械加工工艺,又精通智能算法与数字孪生技术的复合型人才稀缺,制约了改造方案的落地速度与实施效果。这些难点要求企业在推进改造时,同步开展技术标准统一、数据平台建设与人才梯队培养,形成“技术-数据-人才”的协同创新生态,最终实现从单机自动化向智能制造系统的跨越式升级。

2.4 自动化改造的核心技术适配要求

自动化改造的核心技术适配需聚焦设备智能升级的关键支撑点,通过技术迭代实现从“功能叠加”到“能力融合”的质变。(1) 多源感知融合:集成激光位移传感器、力觉传感器与视觉检测模块,构建多维感知网络;例如在精密铣削中,通过力觉传感器实时监测切削力变化,结合视觉系统检测表面质量,动态调整进给速度与切削深度,避免过切或欠切问题。(2) 控制算法升级:采用自适应控制算法替代传统PID(比例-积分-微分)控制,使设备能根据加工环境变化自动调整参数;如针对不同材料硬度,算法可实时优化切削策略,减少人工干预需求,提升加工稳定性。(3) 开放接口标准:建立统一的设备通信协议与数据接口规范,支持不同品牌、型号设备的互联互通;通过标准化接口,实现数控系统与

工业机器人、AGV(自动导引车)物流系统的无缝对接,构建完整的智能生产线^[3]。这些技术适配要求推动设备从“单机智能”向“系统智能”演进,通过感知、控制、通信技术的协同创新,最终实现生产效率、加工质量与系统可靠性的全面提升,为智能制造提供坚实的技术底座。

3 智能制造背景下机械加工设备自动化改造具体方案

3.1 自动化改造的核心实施原则

智能制造背景下,机械加工设备自动化改造需立足三大核心实施原则,推动设备向智能协同方向演进;这些原则贯穿改造全过程,确保技术方案与实际需求紧密结合。(1) 系统协同优化:改造需从设备本体、工艺流程与控制系统三方面统筹推进;例如在铣床升级中,同步优化主轴刚度、刀具路径规划算法及切削参数自适应模块,避免单一环节改进导致整体性能失衡,实现各子系统高效配合。(2) 功能模块解耦:采用模块化设计思路,将设备分解为独立的功能单元;如动力模块、传感模块、执行模块等,各模块通过标准化接口连接,支持快速替换与技术迭代,延长设备使用寿命,降低长期维护成本。(3) 数据价值挖掘:构建以数据为核心的智能决策机制;通过实时采集设备运行状态、加工参数及质量检测信息,结合机器学习算法分析参数关联规律,动态调整加工策略,提升加工精度与生产效率,形成持续改进的闭环体系。这些原则通过系统协同、模块解耦与数据驱动深度融合,推动机械加工设备在智能制造体系中实现高效、稳定、可持续的智能升级,为制造业高质量发展提供坚实支撑。

3.2 自动化改造的关键技术选型与应用

机械加工设备自动化改造围绕生产效率提升与工艺优化推进,关键技术选型与应用直接决定改造的最终成效。(1) 工业机器人集成应用:通过高精度工业机器人替代传统人工操作,实现搬运、装配、焊接等工序的自动化,提升生产效率与一致性;机器人末端执行器可根据加工需求灵活配置,适配多品种、小批量生产模式,降低人力成本的同时增强生产柔性。(2) 智能传感器网络部署:利用多类型传感器实时采集设备运行状态、加工参数及环境数据,构建闭环控制系统;例如,温度传感器监测切削区域热变形,压力传感器反馈夹具夹紧力,通过数据融合实现加工过程的动态调整与优化,减少废品率。(3) 数控系统升级与智能算法融合:结合先进数控系统与人工智能算法,实现加工路径智能规划、刀具寿命预测及故障预警;通过机器学习分析历史加工数据,优化切削参数与加工策略,提升设备自适应能力,延长关键部件使用寿命。自动化改造需注重系统集成与协同

控制,确保各技术模块无缝衔接^[4]。通过模块化设计实现快速部署与迭代,同时强化设备间的通信协议标准化,构建可扩展的智能加工单元,推动机械加工向高效、精准、可持续方向发展。

3.3 自动化改造的标准化实施流程

智能制造背景下机械加工设备自动化改造需遵循标准化实施流程,确保改造过程规范高效且可复制推广。(1)需求分析与技术路线规划:需系统评估设备现状、生产瓶颈及工艺特性,明确自动化改造的核心目标,如提升加工精度、缩短辅助时间等。基于目标制定技术路线图,涵盖硬件选型、软件架构及系统集成方案,确保改造方向与生产需求高度匹配。(2)模块化设计与接口标准化:采用模块化设计理念,将自动化系统拆解为独立功能模块,如运动控制单元、数据采集模块、人机交互界面等;通过标准化接口实现模块间无缝连接,降低系统复杂度,提升部署效率与维护便利性,同时增强系统扩展能力以适应未来升级需求。(3)全流程验证与动态优化:改造完成后需进行全流程验证,包括单机性能测试、联机调试及试生产验证,确保设备运行稳定且生产流程顺畅。建立动态优化机制,通过实时采集运行数据、分析生产瓶颈,持续调整工艺参数与系统配置,推动加工效率与产品质量的持续提升。标准化实施流程通过分阶段、模块化的推进方式,既保障改造过程的可控性,又为后续技术迭代与规模复制奠定基础,最终推动机械加工向智能化、高效化方向稳步迈进。

3.4 改造后的调试与长效优化方向

机械加工设备自动化改造完成后的调试与长效优化,要立足生产实际搭建动态提升体系。(1)精度与稳定性双重校准:针对设备运动系统开展精度复测,重点调整主轴转速、进给速度等关键参数,确保加工尺寸公差稳定在工艺要求范围内;同时通过振动分析仪监测设备运行状态,优化减震装置布局,降低加工过程中的振动干

扰,提升表面光洁度。(2)智能监控系统部署:集成多参数传感器网络,实时采集温度、压力、电流等运行数据,构建设备健康状态评估模型。通过边缘计算节点实现异常数据快速识别与预警,如刀具磨损预警、液压系统压力异常等,推动维护模式从“故障维修”向“预测性维护”转变。(3)工艺参数动态优化:基于加工过程数据建立工艺知识库,运用机器学习算法分析切削参数与加工质量的相关性。通过迭代优化切削速度、进给量等参数组合,在保证加工质量的前提下提升材料去除率,实现加工效率与刀具寿命的平衡^[5]。调试与优化过程需与生产节奏紧密结合,通过持续的技术迭代与数据积累,推动机械加工设备在智能制造体系中发挥更大效能,实现高效、稳定、可持续的生产目标。

结束语:未来,需持续深化多技术融合创新,完善标准化数据接口与智能算法模型,构建覆盖设计、生产、维护的全链条智能生态。通过工业互联网实现设备实时互联,运用人工智能优化工艺流程与资源分配,结合数字孪生技术完成虚拟调试与动态优化。最终推动制造业突破传统生产模式限制,形成以数据驱动、智能协同为核心的新质生产力,迈向更高效、更可持续的智能发展新阶段。

参考文献:

- [1]王玉江,王建华.智能制造背景下机械加工设备电气控制系统的数字化改造实践[J].时代报告,2022(40):0093-0094.
- [2]王硕.单头钻冲机床改造双头钻床的技术方案与效益评估[J].冶金与材料,2024,44(3):171-173.
- [3]傅兴刚.基于智能机器人辅助的自动化机械加工焊接技术研究[J].消费电子,2025(5):131-133.
- [4]李明辉.基于机电一体化的门锁锁舌零件加工设备自动化改造设计研究[J].五金科技,2025,53(2):69-72.
- [5]孙丰伟,陈孝兰,王洪娜.五金加工设备的自动化改造与效能提升分析[J].五金科技,2025,53(2):80-82.