智能制造时代机械设计制造及自动化深度应用研究

刘亚辉
兰州兰石重型装备股份有限公司　甘肃　兰州　730314

摘　要：在智能制造产业快速迭代的背景下，机械设计制造及自动化迎来全新变革机遇。本文阐释智能制造与机械自动化的核心内涵与融合机理，聚焦智能设计、智能加工、智能检测运维等核心应用场景，结合多行业实践案例剖析应用成效。同时梳理产业技术融合不深、数据协同不足、核心技术受制于人、人才短缺等问题，并针对性提出技术升级与行业保障优化策略，为机械制造业智能化、高质量转型提供参考。

关键词：智能制造时代；机械设计制造；自动化深度应用

引言：新一代信息技术与制造业的深度融合，推动智能制造成为制造业转型升级的核心趋势，彻底改变了传统机械制造粗放化、经验化的生产模式。机械设计制造及自动化是装备制造产业的核心支撑技术，其与智能技术的深度融合是突破行业发展瓶颈的关键。基于此，本文深入探究智能制造背景下该技术的落地应用、现存短板与优化路径，旨在助力制造企业提质增效，推动行业高端化、智能化、集约化发展。

1 智能制造与机械设计制造及自动化核心概述

1.1 智能制造核心内涵与关键技术

（1）智能制造的定义与核心特征：智能制造是基于新一代信息技术，贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动各环节，具有信息深度自感知、智能优化自决策、精准控制自执行等功能的先进制造过程。其核心特征表现为数字化、网络化、智能化、集成化与柔性化，旨在构建动态优化、高效协同的制造系统。（2）智能制造关键技术：关键技术体系涵盖工业物联网（实现设备与系统互联互通）、大数据（驱动精准决策与预测分析）、人工智能（赋予系统学习与优化能力）、虚拟仿真（构建数字孪生实现虚实映射）、智能传感（提供高精度状态感知）以及数控技术（保障高柔性自动化加工执行）。（3）智能制造对传统制造业的变革价值：其核心价值在于推动制造业从经验驱动向数据驱动转变，实现生产模式由大规模标准化生产向大规模定制化生产转型，从而显著提升资源利用效率、缩短产品研制周期、降低运营成本，并增强企业对市场动态的快速响应能力[1]。

1.2 机械设计制造及自动化技术体系

（1）技术核心内涵：该技术体系是一门以机械工程、电子技术、计算机科学及自动控制理论为基础的多学科交叉综合技术，全面覆盖产品从概念设计、工艺规划、加工制造、质量检测到运行维护的全流程技术链。（2）核心基础技术：其技术基石主要包括CAD/CAM/CAE（计算机辅助设计、制造与工程分析）数字化设计制造技术、自动化加工装备技术（如数控机床、工业机器人）以及集成制造系统（如FMS/CIMS）等，构成了产品全生命周期的数字化支撑环境。（3）技术应用核心优势：该体系的技术优势集中体现于能够显著提升产品加工精度与质量一致性、大幅降低对高技能人工操作的依赖、实现生产流程的标准化、规范化与自动化，从而为企业构建高效、稳定、可复制的制造能力。

1.3 智能制造与机械自动化的融合逻辑

（1）技术融合：智能技术正全面赋能机械工程全流程，在设计端引入智能优化算法实现结构创新，在制造端依托自适应控制提升加工品质，在检测运维端运用AI视觉与预测性维护保障设备可靠运行。（2）流程融合：融合打通了纵向的制造执行链与横向的业务管理链，实现了从产品设计、生产调度、物料配送到售后服务的全链条信息化集成与智能化协同，推动制造过程向自组织、自决策方向发展。（3）产业融合：两者的深度融合正驱动机械制造业产业形态的根本性变革，推动传统低附加值加工制造向高端智能装备研发、成套解决方案输出及智慧工厂建设等价值链高端环节转型升级。

2 智能制造时代机械设计制造及自动化深度应用场景与实践

2.1 智能化设计环节的深度应用

（1）参数化与智能化三维建模：基于产品全生命周期大数据积累，运用机器学习算法构建设计参数与性能指标间的深度映射模型，自动推荐最优结构尺寸与材料方案；同时采用知识驱动模板化建模方式，依据产品族谱系快速调用标准特征库，实现三维模型的智能参数优化与分钟级快速重构，显著缩短开发周期并有效降低人为设计失误率[2]。（2）虚拟仿真与性能优化：在产品数

字化模型中同步引入整机多体动力学仿真、加工过程切削热力耦合仿真及关键承载部件有限元力学分析，对结构强度、疲劳寿命与振动模态进行多物理场综合验证，在数字空间提前识别并规避设计缺陷，有效减少物理样机试制次数，将设计变更成本控制在源头阶段，大幅降低研发风险。（3）模块化智能设计：将产品按功能逻辑分解为标准化独立功能模块，建立涵盖接口定义、性能参数与装配约束的模块化资源库，通过智能匹配算法驱动模块快速组合，生成满足个性化需求的定制方案，提升零部件通用率与互换性，加速产品迭代，同时降低物料管理与供应链综合成本。

2.2 自动化生产加工环节的应用落地

（1）智能数控加工：依托高精度五轴联动加工中心与在线测量反馈系统，结合刀具磨损实时监测与机床热误差动态补偿模型，系统依据切削力波动与主轴负载变化自动优化进给速度及主轴转速，实现加工参数自适应调整，确保微米级加工精度全程稳定可控，显著降低尺寸超差与废品损失。（2）机器人自动化生产线：以多关节工业机器人为核心执行单元，配合末端力控传感器与视觉引导系统，在精密装配、复杂曲面打磨抛光及多层多道焊接等工序中实现全流程自动化作业；机器人集群通过工业以太网与中央控制器协同调度，自适应工件来料偏差，大幅提升生产节拍稳定性与作业一致性[3]。（3）柔性制造系统应用：由数控加工设备、自动化立体仓库、AGV智能物流与中央调度控制系统构成的柔性制造单元，支持工装夹具自动识别与快速换型、加工程序自动调用与参数匹配，实现多品种小批量混流生产的无缝衔接，有效解决传统刚性生产线换型时间长、设备利用率低的痛点，显著增强市场响应弹性。

2.3 智能检测与运维环节的创新应用

（1）机器视觉智能检测：采用高分辨率工业相机与深度学习图像处理算法，对产品表面划痕、气孔、毛刺及关键安装尺寸进行非接触式全数在线检测，检测精度达微米级且节拍完全匹配产线速度，彻底替代低效易疲劳的人工目检，从源头杜绝不合格品向下道工序流转。（2）设备状态智能监测：在主轴系统、进给系统及液压系统等关键部位部署振动、温度、压力及电流等多源传感器，构建实时数据采集网络，通过边缘计算节点完成数据预处理与特征提取，即时呈现设备健康态势，实现设备运行工况的透明化动态监控。（3）预测性智能运维：融合设备历史故障记录与实时监测数据流，构建机理-数据混合驱动预测模型，运用时频域分析与深度学习异常检测手段，提前识别轴承磨损、齿轮点蚀及刀具崩刃等早期故障征兆，精准推送维护建议与备件计划，将被动事后抢修转变为主动事前维护，大幅降低非计划停机造成的生产损失[4]。

2.4 行业典型应用案例分析

（1）高端装备制造行业智能化应用实践：在航空发动机整体叶盘五轴精密加工中，集成在线测头测量与自适应补偿闭环系统，通过粗加工后在线检测、余量智能优化分配及精加工参数动态调整，将薄壁扭曲叶片型面轮廓度误差稳定控制在±0.05mm以内，加工效率较传统方法提升40%，产品合格率由82%跃升至97.6%，单件综合制造成本节约超2万元。（2）汽车零部件智能制造自动化应用案例：某大型变速器壳体智能加工车间部署14台高速立式加工中心、8台六轴工业机器人及自动辊道输送系统，配合MES制造执行平台与机器视觉终检站，实现从毛坯上料到成品清洗干燥的全流程自动化运行。产线操作人员由三班48人精减至16人，班产能力由180件提升至420件，产品一次交验合格率达99.4%，年综合成本下降约2100万元，投资回收周期不足两年。（3）工程机械智能化改造落地成效分析：某工程机械企业针对大型结构件焊接车间实施智能化升级，引入12台弧焊机器人及协同变位机，搭载焊缝跟踪激光视觉与熔池监测系统，并接入MES系统实现焊接工艺参数自动下发、过程数据实时采集与质量全流程追溯。改造完成后焊缝一次合格率由88%提升至98.6%，焊接返工工时减少73%，单位产品能耗降低15.7%，设备综合利用率OEE由58%提升至83%，年新增直接经济效益约4600万元，项目投资回收期仅14个月，智能化改造成效显著。

3 智能制造时代机械设计制造及自动化应用问题与优化策略

3.1 技术应用现存核心问题

（1）技术融合深度不足：当前智能技术在机械制造领域的应用多停留在设备层面的单点改造与局部优化，人工智能、大数据分析与实际加工工艺的深度耦合不足，感知-决策-执行闭环尚未完全打通，系统整体效能难以充分发挥，浅层应用仍占主导地位。（2）数字化协同体系缺失：设计、制造、检测各环节数据格式不统一、接口标准不一致，信息孤岛现象严重，产品全生命周期数据链断裂，设计意图无法精准传导至加工与检测环节，跨部门协同效率低下，严重制约整体运营效能提升。（3）核心技术自主化不足：高端五轴联动数控系统、工业机器人精密减速器、高精度智能传感器及CAM核心算法等关键技术与产品严重依赖进口，国产化率偏低，不仅推高采购与运维成本，更在供应链安全与产业

自主可控方面构成重大隐患。

3.2 行业发展保障层面存在的短板

（1）行业标准体系不完善：智能制造装备互联互通、数据交互格式、系统安全防护及智能化水平分级评价等领域缺乏统一的技术标准与规范，不同厂商设备与系统间兼容性差，重复建设与集成成本高企，制约行业规模化推广与有序发展。（2）复合型专业人才匮乏：同时精通机械设计制造、自动化控制、信息技术与数据科学的复合型人才严重短缺，高校传统人才培养方案与企业智能化转型实际需求之间存在结构性错位，人才缺口已成为制约智能化进程的核心瓶颈。（3）中小企业转型难度大：广大中小制造企业普遍面临资金投入不足、技术基础薄弱、数字化底子差等现实困难，缺乏清晰可落地的智能化升级路径与轻量化解决方案，“不敢转、不会转、转不起”的困境尤为突出。

3.3 技术层面优化升级策略

（1）深化多技术融合：推动人工智能算法深度融入加工参数自适应优化、智能工艺规划与在线质量预测环节，强化物联网在设备互联互通与数据实时采集中的基础支撑，构建数字孪生驱动的全流程闭环控制体系，切实提升系统自感知、自决策、自执行能力。（2）搭建一体化数据平台：构建覆盖设计、生产、检测、运维全流程的统一数据中台与数据湖，制定标准化数据接口与通信协议，打通各环节数据壁垒，实现产品全生命周期信息的无缝流转与协同共享，为上层智能决策提供坚实可靠的数据基础。（3）攻坚核心自主技术：持续加大研发投入力度，重点突破高端数控系统、高精度光电编码器、智能视觉传感器及工业大数据分析算法等卡脖子环节，推进关键装备与核心软件的国产化替代进程，增强产业链供应链自主可控能力[5]。

3.4 行业与企业发展保障策略

（1）完善行业标准与规范：加快制定智能制造领域数据交互格式、设备互联互通协议、智能化水平评价指标体系等统一标准，规范行业发展秩序，降低系统集成难度与建设成本，为产业健康有序发展提供完善的制度保障。（2）构建复合型人才培养体系：依托产教融合与校企协同机制，优化高校相关专业课程设置，增设工业大数据分析、智能控制技术、工业互联网应用等交叉学科内容，建设产教融合实训基地并开展在岗人员技能再培训，系统化培育机械智能化专业人才梯队。（3）分层推进企业智能化转型：面向大型企业鼓励建设标杆性智能工厂与示范产线，发挥行业引领带动作用；面向中小企业推广轻量化、模块化、云服务化的渐进式升级方案，结合财政专项补贴与低息贷款降低转型门槛，形成差异化、阶梯式推进格局。

结束语

本文全面探究了智能制造时代机械设计制造及自动化的融合应用体系与发展现状，明确智能技术对优化生产流程、提升产品品质、降低生产成本的重要价值。现阶段行业仍存在技术融合浅层化、数字化体系不完善、中小企业转型困难等诸多问题。后续需持续攻坚核心自主技术、完善行业标准、培育复合型人才，分层推进智能化改造，持续赋能机械制造业转型升级与长效发展。

参考文献

[1]冯毅雄,赵泽田,胡炳涛.装备全生命周期协同设计与智能制造技术研究[J].计算机集成制造系统,2022,28(09):2633-2649.

[2]王磊,陈勇.智能制造下机械自动化技术融合应用与工艺优化[J].机械科学与技术,2024,43(07):1021-1027.

[3]程显云.智能制造时代机械设计制造及自动化深度应用研究[J].中国设备工程,2025,12(05):33-35.

[4]滕保健.智能制造时代机械设计制造及其自动化技术革新与应用[J].造纸装备及材料,2025,54(07):82-84.

[5]张杰.人工智能在机械设计制造及其自动化中的深度应用[J].中国科技期刊数据库工业A,202616(03):110-113.