

机械设计制造的数字化与智能化发展趋势和前景探析

尚 宇

南京天加环境科技有限公司 江苏 南京 210034

摘要: 在机械设计制造领域,数字化与智能化正深刻改变行业面貌。本文围绕这一趋势,阐述融合的技术基础,涵盖生成式设计、数字孪生、工业时序大模型等核心驱动技术与协同效应;分析核心应用方向,包括设计、制造、管理环节的变革;探讨关键趋势,如技术融合加速、绿色化与可持续性、产业生态重构;并展望对行业格局、人才需求、全球竞争的影响。揭示数字化与智能化为机械设计制造带来的新机遇与挑战,推动行业向高效、智能、绿色方向发展。

关键词: 机械设计制造;数字化;智能化;技术融合;产业生态

引言:机械设计制造作为工业发展的基石,在科技进步浪潮中不断变革。当下,数字化与智能化成为推动行业升级的核心力量。数字化技术以数据为驱动,实现信息的精准传递与高效处理;智能化技术赋予机械系统自主决策与优化能力。二者深度融合,正重塑机械设计制造的各个环节,从生成式设计理念的创新到增材制造工艺的升级,再到数字孪生工厂管理模式的优化。深入探析这一发展趋势与前景,有助于把握行业脉搏,为企业发展提供方向指引,推动机械设计制造行业迈向新高度。

1 数字化与智能化融合的技术基础

1.1 核心驱动技术

生成式设计与拓扑优化是推动机械领域变革的关键力量。在机械设计环节,借助生成式设计算法分析多维度参数,实现火箭推力室、飞行器空气舵等复杂构件的优化设计,可将8个零件精简为1个,重量减少40%,强度增加20%,大幅提升设计效率与质量^[1]。在故障预测方面,工业时序大模型如TPT2可持续学习设备运行的温度、压力、振动等数据流,精准识别故障特征模式,提前预判潜在故障,助力设备维护。自适应控制场景中,LSTM神经网络建模技术依据实时反馈动态调整控制策略,让设备在不同工况下保持最佳状态。这些技术通过与边缘计算、边缘智能深度结合,进一步提升数据处理实时性与本地化部署能力,工业互联网与物联网构建起设备互联桥梁,统一技术架构实现各类设备无缝连接,确保数据高效采集与实时交互,为后续分析决策提供丰富信息。数字孪生技术构建虚拟模型与物理实体同步映射机制,实现虚拟与现实深度融合。产品设计阶段可在虚拟模型测试验证,生产过程中实时映射设备状态,为生产优化提供依据。该技术涵盖产品、设备的数字孪生,还拓展至车间、工厂、供应链的全维度孪生体系。

1.2 技术协同效应

数字化工具与智能化算法深度集成,释放出巨大能量。CAD、CAE等数字化工具为生成式设计算法提供精准数据输入,智能化算法对数字化工具生成的模型与数据进行深度剖析,实现设计方案自动优化以及生产过程智能控制。虚拟现实与增强现实技术为协同设计带来全新交互方式,设计师借助这些技术,在虚拟环境里直观展示点阵多特征结构等复杂模型,与团队成员实时交流协作,打破空间限制,大幅提升协同设计效率。通过数字线程技术串联各环节数据流转,实现设计、制造、运维全流程数据贯通与追溯,5G、6G网络的高速稳定特性,为实时数据传输与远程控制提供有力支撑,可实现数字孪生工厂的设备状态实时精准监控与远程灵活操作,确保生产过程连续稳定,推动机械制造朝着智能化、远程化方向稳步迈进。

2 数字化与智能化在机械设计制造中的核心应用方向

2.1 设计环节的变革

数字化与智能化技术正深刻改变机械设计环节。智能辅助设计借助生成式设计算法,深入分析复杂构件的几何特征与物理性能参数,挖掘潜在规律,自动生成多种设计方案,并依据性能指标、成本约束等条件进行优化筛选,为设计师提供更具创新性与可行性的参考^[2]。模块化与平台化设计成为重要趋势,通过制定标准化接口规范,不同功能模块可灵活组合与替换,实现功能的快速扩展与产品的快速定制,缩短产品研发周期,降低研发成本,满足市场多样化、个性化需求。结合客户需求画像与市场趋势预测,设计环节可提前融入定制化与前瞻性设计要素,仿真驱动设计借助数字孪生技术,构建产品的虚拟模型,在虚拟环境中模拟产品在实际工况下的运行状态,进行力/热/振耦合等多维度性能测试与分析,提前发现设计缺陷与潜在问题,避免实际生产中的反复修改与成本浪费。

2.2 制造环节的升级

在制造环节,智能制造系统成为核心发展方向。集成自动化设备、传感器与控制软件,构建柔性生产线,能够根据生产任务的变化快速调整生产流程与工艺参数,实现多品种、小批量生产的高效运行,提高生产灵活性与响应速度。智能加工技术利用传感器实时采集加工过程中的切削力、温度、振动等数据,通过智能算法分析处理,自适应调整加工参数,确保加工质量稳定可靠。依托工业机器人与协作机器人的柔性作业能力,进一步拓展生产线的适配范围与作业精度,同时,对刀具磨损状态进行实时监测与预测,提前安排刀具更换,避免因刀具故障导致的生产中断。智能装配与检测基于视觉识别与力控技术,视觉识别系统准确识别零部件的位置与姿态,引导机器人完成精准装配操作;力控技术确保装配过程中的力度适中,避免损坏零部件,通过对装配过程与成品质量的实时检测,保证产品质量一致性。

2.3 管理环节的优化

管理环节的数字化与智能化优化同样关键。生产流程数字化借助数字孪生工厂平台,实现生产计划的精准排产与资源的合理调度,实时监控生产进度与设备状态,及时调整生产策略,提高生产效率与资源利用率。供应链协同利用工业互联网平台,整合上下游企业的数据与资源,实现信息共享与协同运作,供应商实时了解生产需求并调整供货计划,企业更好地掌握原材料库存与供应情况,降低库存成本,提高供应链的稳定性与响应速度。引入智能决策系统与动态优化算法,实现管理策略的实时调整与全局最优配置,预测性维护通过在设备上安装各类传感器,实时采集设备运行数据,运用TPT2等时序大模型的分析技术对设备状态进行评估与预测,提前发现设备故障隐患,安排维护计划,避免设备突发故障导致的生产停滞,降低维护成本,延长设备使用寿命。

3 数字化与智能化发展的关键趋势

3.1 技术融合加速

在数字化与智能化浪潮推动下,机械设计领域正经历着前所未有的学科交叉创新^[3]。机械设计与电子、软件、生物工程等学科的边界日益模糊,多学科知识深度融合,催生众多创新成果。电子技术为机械系统赋予智能感知与控制能力,软件技术实现复杂算法的快速运算与数据处理,生成式设计则为机械设计提供创新路径。随着量子计算在复杂问题求解中的应用探索,技术融合将向更深层次、更广范围拓展,人工智能与工业互联网的深度融合成为推动系统自主决策的关键力量,TPT2等工业时序大模型凭借强大的数据处理与分析能力,从工业互联

网采集的海量数据中挖掘有价值信息,为系统决策提供精准依据。二者协同作用,使机械系统具备自主感知、自主分析、自主决策与自主执行能力,实现从被动响应到主动智能的转变。微纳制造与精密工程在高端装备中的应用不断拓展,生成式设计结合增材制造技术能够实现对微观结构的精确加工,精密工程确保装备各部件的高精度配合,推动高端装备向更小、更精、更强方向发展,满足航空航天、生物医疗等领域对高端装备的严苛需求。

3.2 绿色化与可持续性

轻量化设计是降低能耗的关键办法。借助拓扑优化技术,在保证机械产品性能稳定的基础上,对产品结构开展优化设计,把多余材料去除,实现结构轻量化。选用高强度材料,能在减轻产品重量的同时,让强度与刚度满足使用需求,有效降低产品运行时的能耗。低碳工艺的推广应用有助于减少材料浪费,增材制造技术通过逐层堆积材料的方式制造产品,与传统减材制造相比,能够显著减少材料浪费,降低生产过程中的碳排放,还能实现复杂结构的一次成型,缩短生产周期,提高生产效率。结合碳足迹核算与绿色认证体系,推动产品全生命周期的环境影响量化与优化,全生命周期管理实现对产品碳足迹的追踪与优化,从产品设计阶段开始考虑环境影响,通过优化设计方案降低产品全生命周期的碳排放,在生产、使用与回收阶段,持续监测产品碳足迹,及时发现碳排放高的环节并采取优化措施,实现产品全生命周期的绿色化与可持续发展。

3.3 产业生态重构

跨行业创新平台的涌现整合了设计企业、制造工厂与科研机构资源,打破行业壁垒,促进不同领域企业与机构之间的交流与合作,实现资源共享与优势互补,加速新技术、新工艺、新产品的研发与应用,推动产业创新发展。“设计+服务”模式推动企业从单一产品向整体解决方案输出转型,企业围绕产品为客户提供产品设计、安装调试、运维保障等全方位服务,更好地满足客户个性化需求,提升客户满意度,增强企业市场竞争力^[4]。依托工业互联网平台的生态聚合能力,吸引上下游企业、金融机构、科研院所等多元主体参与,标准化与国际化进程的推进促使数据接口、通信协议实现全球兼容,统一的标准与协议消除不同企业、不同地区之间的技术障碍,促进机械产品的全球流通与互联互通,有助于企业拓展国际市场,提升国际竞争力,推动全球机械产业协同发展。

4 数字化与智能化发展的前景展望

4.1 对行业格局的重塑

数字化与智能化浪潮正以磅礴之势重塑机械行业格局。在生产环节,自动化与智能化技术的深度渗透,极大减少了人为操作带来的误差,智能设备依据预设程序精准运行,从零部件加工到成品组装,每一步都严格遵循标准,确保产品质量的高度稳定性与一致性。研发与制造成本的降低是数字化与智能化带来的又一显著成效,数字孪生的虚拟仿真技术让产品研发在虚拟空间中先行一步,通过模拟各种工况与性能测试,提前发现并解决潜在问题,避免实际生产中的反复修改与资源浪费。模块化设计则将复杂产品拆分为多个标准模块,实现快速组合与定制,大幅缩短研发周期,降低制造成本。市场响应能力的增强得益于柔性制造系统的广泛应用,该系统能够根据市场需求变化迅速调整生产计划与工艺流程,支持小批量、多品种生产模式,企业能够灵活应对市场多样化需求,在激烈的市场竞争中占据先机。

4.2 对人才需求的转变

随着数字化与智能化发展,机械行业对人才的需求发生深刻转变。复合型技能成为机械工程师的必备素养,他们不仅要精通机械设计与制造专业知识,还需掌握人工智能编程、时序数据分析等跨学科技能。这种跨学科能力要求源于数字化与智能化技术对机械系统的深度改造,例如生成式设计算法能够优化机械结构参数,TPT2模型分析可精准定位生产环节的能耗异常点。面对技术的快速迭代,终身学习机制成为企业和个人适应发展的关键。企业需建立完善的培训体系,为员工提供持续学习的机会与平台,帮助员工及时掌握新兴技术工具与行业前沿动态,不断更新知识结构,提升技能水平^[5]。个人也应树立主动学习意识,紧跟技术发展趋势,通过参加培训、自主学习等方式不断提升自身能力,以适应行业变革带来的挑战。

4.3 对全球竞争的影响

数字化与智能化为我国制造转型升级提供了强大动

力,借助这些先进技术,我国机械企业能够突破传统发展瓶颈,向高端价值链攀升,从低端制造向高端制造迈进,提升产品附加值与国际竞争力,在全球市场中赢得更大话语权。例如,通过数字孪生技术实现产品全生命周期管理,我国企业在高端机床、航空航天装备领域已逐步缩小与国际巨头的差距,部分产品性能指标甚至达到国际领先水平。在国际舞台上,数字化与智能化既带来合作机遇,也加剧竞争挑战。跨国企业通过技术共享与资源整合,实现优势互补,进一步巩固在全球市场的领先地位,这种合作模式不仅体现在技术层面,还延伸至供应链协同与市场渠道共享。各国企业需加强国际合作,共同探索数字化与智能化发展新路径,不断提升自身创新能力,在合作与竞争中实现共同发展与进步。

结束语

机械设计制造的数字化与智能化发展已成不可阻挡之势。这一进程重塑了行业格局,推动企业向高端制造迈进,提升了产品附加值与国际竞争力;促使人才需求向复合型转变,终身学习成为适应发展的关键;在国际舞台上,既带来合作机遇,也加剧竞争挑战。面对这一趋势,企业需积极应对,加强技术创新与人才培养,各国企业应加强国际合作,共同推动机械行业在数字化与智能化道路上持续进步,实现行业的高质量发展。

参考文献

- [1]许靳凯,孙浩波,陈琛.浅析机械设计制造的数字化与智能化发展[J].上海轻工业,2025(2):152-154.
- [2]孙占涛,杜立红,关爱如,等.机械设计制造的数字化与智能化发展思考[J].现代工业经济和信息化,2023,13(2):41-43.
- [3]蔡丽娟,蔡佳丽,罗富娟.机械设计制造的数字化与智能化发展[J].时代汽车,2022(9):46-47.
- [4]蒋婷婷,郑莹.机械设计中的数字化技术与先进制造应用实践[J].中国金属通报,2025(20):134-136.
- [5]葛长城,王铭,牟轩.数字化设计技术在农业机械设计中的应用分析[J].南方农机,2023,54(20):84-86.