

机械设计制造及其自动化发展趋势

郝巍淞

四川公路桥梁建设集团有限公司公路隧道分公司 四川 成都 610200

摘要: 机械设计制造及其自动化是工业体系的核心支撑,其发展水平彰显国家工业实力。本文梳理该领域从传统机械到智能自动化的演进历程,剖析核心技术体系与现代自动化本质特征。重点研究六大核心发展趋势:智能化实现全流程自主优化,数字化重构生产体系,绿色化践行可持续发展,模块化与定制化适配市场需求,人机协作创新劳动范式,跨领域融合拓展技术边界。研究成果为行业转型升级提供理论参考,助力机械制造向高效、智能、绿色方向发展。

关键词: 机械设计制造; 自动化; 核心发展趋势

引言: 在工业4.0与“双碳”目标双重驱动下,机械设计制造及其自动化迎来颠覆性变革。作为支撑能源、交通等关键领域发展的基础产业,其技术升级与模式创新直接影响国家产业竞争力。传统制造模式已难以适配个性化需求与高效生产的双重诉求,人工智能、数字孪生等新技术与产业的融合成为破局关键。本文以机械设计制造及其自动化发展为核心,系统分析其发展历程、技术体系,聚焦当前核心发展趋势,为行业高质量发展提供思路与方向。

1 机械设计制造概述

机械设计制造是融合设计理论、制造技术与工程实践的综合性学科,也是支撑工业体系运转的核心基础。其核心内涵是通过系统化的设计流程与精准化的制造工艺,将抽象的功能需求转化为具备实用价值的机械产品,贯穿从概念构思到成品交付的全链条。作为工业文明的重要标志,机械设计制造的发展水平直接反映一个国家的工业实力与科技竞争力。机械设计作为前置环节,以力学、材料学、工程图学为理论支撑,通过功能分析、结构优化、性能仿真等步骤,确定产品的几何参数、材料选型与技术标准,核心目标是在满足使用要求的前提下,实现可靠性、经济性与可制造性的统一。现代机械设计已突破传统经验设计模式,依托数字化工具完成参数建模与多目标优化,形成从需求分析到方案验证的闭环体系。机械制造则是将设计方案落地的执行环节,涵盖材料加工、精度控制、质量检测等关键流程,涉及切削、锻压、焊接、装配等多种工艺方法。随着技术发展,制造环节已从单一工序加工转向集成化生产,通过工艺参数的精准调控与生产流程的协同管理,实现产品精度与生产效率的双重提升^[1]。

2 机械设计制造及其自动化的发展历程与特征

2.1 发展阶段演进

机械设计制造及其自动化的演进是技术革新与工业需求共振的结果,呈现清晰的阶梯式发展特征。传统机械阶段以机械结构为核心,设计依赖经验积累与手工绘图,制造以单机离散加工、人工操作为主,技术核心聚焦于机械功能的实现,生产效率与精度受限于人力与机械本身性能。机电一体化阶段以电子技术与机械技术的融合为标志,计算机辅助设计工具开始应用,制造环节引入电气控制系统实现工序联动,摆脱了单一机械驱动的局面,实现了生产稳定性与产品功能性的双重提升。智能自动化阶段则依托人工智能、大数据等技术突破,设计环节实现参数化优化与仿真验证,制造系统具备自感知、自决策、自执行能力,完成了从“机器替代人力”到“智能优化生产”的质变。

2.2 核心技术体系构成

现代机械设计制造及其自动化的核心技术体系是多学科交叉的综合体,涵盖设计、制造、控制三大维度。设计技术体系以计算机辅助设计、参数化建模、多目标优化算法为支撑,构建从需求分析到方案验证的数字化闭环。制造技术体系包含精密加工工艺、柔性制造技术、自动化装配技术,通过工艺革新与设备升级保障产品精度与生产效率。控制与感知技术体系由高精度传感器、工业控制软件、数据传输协议组成,实现制造过程参数的实时采集与精准调控。此外,智能决策技术体系依托人工智能算法对生产数据深度挖掘,为流程优化与故障预判提供支撑,各技术分支协同形成完整的产业技术支撑网络。

2.3 现代机械制造自动化的本质特征

现代机械制造自动化已突破传统技术边界,呈现鲜明的本质特征。(1)集成化实现设计、制造、管理全流

程信息贯通与流程衔接,打破环节壁垒形成一体化生产模式。(2)智能化体现为系统具备自主感知与动态决策能力,可根据工况变化实时调整参数,降低人工干预依赖。(3)精准化通过高精度传感与闭环控制技术实现,从设计参数计算到制造执行全程保障质量稳定性。(4)网络化特征日益凸显,借助工业互联网实现设备间、企业间的协同联动,支撑远程控制与跨域制造^[2]。

3 机械设计制造及其自动化的核心发展趋势

3.1 智能化:机械设计制造的核心发展方向

智能化是机械设计制造产业升级的核心引擎,通过人工智能、机器学习与传统制造流程的深度融合,实现生产全链条自主决策与优化,推动产业从“自动化”向“智慧化”跨越。(1)设计环节的智能升级。传统机械设计依赖工程师经验,效率低且易受主观因素影响。智能设计借助大数据挖掘历史案例与工况数据,构建涵盖材料性能、结构参数、工况适配性的数据库,通过机器学习生成多套方案。同时,神经网络仿真系统可对方案进行力学性能、疲劳寿命等多维度验证,自动修正参数偏差,实现精准优化,大幅缩短研发周期、提升成果可靠性。(2)制造过程的智能调控。智能制造装备是过程智能化的核心载体,通过集成高精度传感器与智能控制系统,实时采集切削速度、温度、振动等加工参数。结合边缘计算实时分析数据,参数偏离标准时系统可自主调整设备状态,实现闭环控制。智能调度系统还能基于任务优先级与设备状态,动态优化排程、分配资源,避免设备闲置与工序拥堵,提升生产连贯性与效率。(3)运维管理的智能保障。智能运维打破“事后维修”模式,通过在装备上安装振动、温度、油液等多维度传感器,持续监测运行状态。利用预测性维护算法分析数据趋势,精准预判故障风险与维护时间,提前制定计划。智能诊断系统可通过数据比对快速定位故障原因,提供标准化维修方案,降低停机时间,保障生产稳定。

3.2 数字化转型:重构机械制造的全流程体系

数字化转型通过构建虚拟数字空间与物理生产系统的映射关系,实现制造全流程数字化驱动与可视化管,打破信息壁垒,重构高效协同的生产体系。(1)数字孪生技术的全流程应用。数字孪生通过三维建模、数据采集与实时同步,构建与物理产品、生产线一致的数字镜像。设计阶段可基于模型进行虚拟装配与性能仿真,提前发现缺陷;生产阶段能模拟加工过程,优化工序布局与参数;运维阶段通过数字镜像反映设备状态,为维护提供依据,实现全生命周期数字化联动。(2)制造数据的一体化管理。数字化推动数据从分散存储转向

集中化、标准化管理。通过构建制造执行系统(MES)与企业资源计划(ERP)、产品生命周期管理(PLM)的集成接口,实现设计图纸、工艺文件、生产计划等数据无缝流转。统一数据平台对各类数据分类存储、规范处理,确保完整性、准确性与实时性,为生产调度、质量追溯、成本核算提供支撑。(3)虚拟仿真技术的深度落地。虚拟仿真已从单一环节覆盖全流程,研发阶段可完成结构分析、运动学仿真等测试,替代部分物理样机试验以降低成本;生产准备阶段能模拟生产线布局与流程,优化设备配置与工序衔接;培训阶段构建虚拟场景,让操作人员在模拟环境中熟悉操作与故障处理,提升培训效率与安全性。

3.3 绿色化发展:机械制造的可持续转型路径

在“双碳”目标引领下,绿色化成为机械制造的必然选择,通过设计、生产、回收全流程融入绿色理念,实现资源高效利用与环境影响最小化。(1)绿色设计理念的全面渗透。绿色设计以“全生命周期减碳”为核心,设计初期即考虑材料环保性、结构可回收性、能耗优化等因素。优先选用轻量化、可降解、可再生材料,减少高污染高能耗材料使用;采用模块化设计提升零部件通用性,便于维修与回收;通过结构优化降低产品运行能耗,从源头减少碳足迹。(2)绿色制造工艺的创新应用。生产环节通过工艺革新与设备升级实现节能减排,推广低温切削、干式切削等技术,减少切削液带来的污染与消耗;采用激光焊接、增材制造等工艺提升材料利用率,降低废料产生;对废气、废水、废渣集中处理与循环利用,构建循环生产模式,实现污染物达标排放与资源高效回收。(3)废旧机械产品的资源化回收。建立完善的回收再制造体系,通过拆解、检测、修复、再装配实现零部件循环利用。采用无损检测评估废旧零部件性能,合格件修复升级后重新投入使用,不合格件进行材料回收。构建逆向物流网络提升回收效率,形成“生产-使用-回收-再利用”的闭环产业链^[3]。

3.4 模块化与定制化:适应市场需求的制造模式创新

随着市场需求向个性化、多元化转变,模块化与定制化融合的制造模式成为企业提升竞争力的关键,可同时保障生产效率与差异化需求。(1)模块化设计的标准化构建。模块化设计将产品拆解为多个功能独立的标准模块,各模块接口规格与性能参数统一。通过制定设计标准,实现模块标准化生产与互换性,企业可快速组合不同模块形成多样化产品。同时,模块化减少零部件种类,便于批量生产,提升效率与质量稳定性,降低研发与生产成本。(2)定制化生产的自动化实现。自动化技

术支撑大规模定制化生产,通过搭建柔性生产线实现不同规格产品快速切换。柔性制造系统可根据订单需求,自动调整加工参数、更换工装夹具完成个性化零部件加工;自动化装配线借助机器人与视觉识别技术实现精准装配。数字化订单管理系统则实现从订单接收至交付的全流程自动化衔接,提升定制效率。(3)模块化与定制化的协同优化。模块化是定制化的基础,定制化推动模块化升级,二者协同发展。企业构建丰富模块库为定制需求提供支撑,基于客户反馈优化模块功能与性能,拓展应用场景。利用大数据挖掘需求规律,提前布局热门模块生产,缩短定制产品交付周期,实现“标准化生产”与“个性化需求”的平衡。

3.5 人机协作:自动化生产中的新型劳动范式

人机协作打破“人-机对立”模式,通过人与自动化设备优势互补,构建高效、安全、灵活的生产团队,重塑机械制造劳动形态。(1)协作机器人的技术突破与应用。协作机器人凭借轻量化结构、力控感知、安全防护等优势,实现与人近距离协同。其具备快速编程、灵活移动特点,适应多品种小批量生产;通过力反馈与视觉识别技术精准完成装配、搬运等精细作业,且无需复杂安全围栏,节省空间、提升布局灵活性。(2)人机任务的合理化分配。基于人与机器优势差异划分任务:重复性高、劳动强度大、环境恶劣的工序交由自动化设备;需要经验判断、灵活决策、复杂调试的环节由操作人员负责。这种分配既发挥机器高效稳定优势,又凸显人智慧灵活特质,提升生产整体效能。(3)人机交互界面的智能化升级。语音控制、手势识别、AR增强现实等技术降低协作门槛,实现直观高效交互。操作人员可通过语音下达任务、手势调整设备状态;AR技术将设备参数、操作指引叠加在物理设备上,辅助完成复杂调试与维修,提升协作便捷性与准确性。

3.6 跨领域融合:拓展机械自动化的技术边界

跨领域融合通过吸纳物联网、5G、新材料等领域成果,推动机械制造技术突破,拓展应用场景与发展空

间。(1)与物联网技术的深度融合。物联网通过在装备、设备上部署智能传感器,构建全流程感知网络,实现设备、物料、人员全面互联。分析采集的设备运行、物物流转数据,可优化生产调度与资源配置;利用物联网实现产品全生命周期追溯,提升质量管控与供应链透明度。(2)5G技术支撑下的远程协同制造。5G的低延迟、高带宽、广连接特性,为远程化、协同化制造提供保障。通过5G实现设备远程控制,操作人员可异地精准操控调试设备,打破地域限制;支持多企业多地域协同,共享设计数据与资源,联合完成复杂产品研发生产,提升产业协同效率。(3)与新材料技术的协同发展。新材料为机械制造带来机遇:高强度轻量化材料降低产品重量,提升性能与能耗效率;耐高温耐腐蚀材料拓展装备极端环境应用;智能材料使产品具备自感知、自修复功能。机械制造技术则为新材料产业化提供支撑,通过工艺优化实现精准加工与高效成型,推动二者协同发展^[4]。

结束语:机械设计制造及其自动化的发展始终与技术革新同频共振,智能化、数字化等趋势已成为产业升级的必然路径。从设计到运维的全流程优化,从单一制造到跨域协同的模式创新,标志着行业正迈入全新阶段。面对核心技术自主化等挑战,需持续推动技术突破与模式创新。随着多领域技术的深度融合,机械制造将实现更高层次的高效、智能与绿色发展,为我国从制造大国向制造强国转型提供坚实支撑。

参考文献

- [1]罗静.机械制造工艺设备自动化技术的发展趋势与应用研究[J].石油石化物资采购,2025(6):112-114.
- [2]翟利国.机械设计制造及自动化技术智能化发展趋势研究[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(1):80-82.
- [3]那恒毅.机械设计制造自动化的特点与发展趋势[J].中国金属通报,2025(6):136-138.
- [4]刘鹏.智能制造背景下机械设计制造及其自动化技术发展趋势[J].时代汽车,2025(20):123-125.