智能制造时代机械设计制造及其自动化技术

周志超

中冶华天南京工程技术有限公司　江苏　南京　210000

摘　要：智能制造重构了现代制造业生产体系，推动机械设计制造及其自动化技术向数字化、智能化、集成化全面转型。作为工程制造领域的核心支撑技术，其能够优化生产流程、提升加工精度与生产效率，助力制造业突破传统生产瓶颈。本文结合智能制造发展背景，阐述该技术的应用价值、关键技术与核心发展要点，为工程制造领域技术升级与产业化落地提供理论参考。

关键词：智能制造时代；机械设计制造；自动化技术

引言

工业 4.0 与智能制造战略的全面推进，彻底改变了传统机械制造粗放式、人工主导的生产模式，数字化、智能化生产成为行业发展主流趋势。机械设计制造及其自动化技术是衔接产品设计、加工生产与智能管控的核心载体，适配现代化工程制造的高标准需求。立足工程技术服务视角，深度探究该技术的应用逻辑、核心技术与发展要点，对推动制造业提质增效、转型升级具有重要现实意义。

1 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术的重要性

在智能制造产业高速发展的背景下，机械设计制造及其自动化技术已然摆脱传统辅助加工的定位，成为现代工程制造体系的核心基石，贯穿产品研发、结构设计、精密加工、智能管控、质量检测全流程，是制造业转型升级、提质增效的核心支撑。该技术的迭代升级精准适配高端制造、绿色制造与智能制造的发展趋势，有效破解了传统机械制造人工依赖度高、加工精度有限、生产流程割裂、资源浪费突出、容错率低等行业痛点。传统制造模式下，产品设计、工艺规划、加工生产、质量检验各环节相互独立，信息传递存在滞后性，易出现设计与生产脱节、工艺适配性差、加工误差累积等问题，不仅拉长了产品研发生产周期，还大幅增加生产成本，无法满足现代大型工程高精度、高效率、标准化的建设要求。而融合智能理念的机械设计制造及其自动化技术，依托数字化、智能化、集成化优势，打通设计、制造、管控全流程壁垒，构建起一体化智能生产体系。该技术以智能设备和自动控制系统替代人工重复性操作，有效规避人为误差，保障机械零部件与工程装备的高精度、标准化生产，显著提升产品合格率与生产稳定性，适配多领域高端建设标准。同时，通过智能算法与数字化管控系统，可精准调配生产物料、管控设备能耗、优化生产时序，大幅减少原材料与能源损耗，降低生产与服务成本，契合绿色低碳的工业发展政策[1]。此外，智能化生产模式减少了高危、高强度岗位的人工投入，优化作业环境、筑牢生产安全防线，全面提升生产管控与运营效率，更是行业突破技术壁垒、强化核心竞争力、向高端化、智能化、一体化转型的关键，为制造业高质量可持续发展提供坚实保障。

2 智能制造时代机械设计制造及其自动化的关键技术

2.1 数字化建模与智能设计技术

数字化建模与智能设计技术是智能制造体系下机械设计制造的基础核心技术，彻底颠覆了传统二维图纸人工设计模式，实现机械产品设计的数字化、可视化、精准化与智能化。该技术依托 CAD、CAE、CAM 一体化设计平台，结合三维数字化建模、虚拟仿真、拓扑优化等核心模块，完成机械产品结构建模、性能分析、工艺优化、虚拟验证全流程设计工作。在工程技术应用中，设计人员可通过三维数字化建模技术精准还原机械零部件、成套装备的结构形态，直观排查结构设计漏洞、尺寸偏差与装配冲突问题，从源头规避设计缺陷。同时，结合有限元分析、动力学仿真等智能分析技术，可对产品的承重性能、抗震性能、耐磨性能、能耗性能进行模拟检测，精准优化产品结构参数，剔除冗余结构，实现产品轻量化、高性能化设计。依托智能拓扑优化算法，系统可根据工程使用场景与功能需求，自动迭代最优结构方案，大幅提升设计效率与产品适配性。

2.2 柔性自动化制造技术

柔性自动化制造技术是适配智能制造多品种、小批量、定制化生产需求的核心技术，解决了传统自动化生产线模式单一、适配性差、难以灵活调整的短板，是现代机械制造自动化升级的核心方向。传统机械自动化生产线多为固定化流水线，仅适配单一产品、固定工艺的批量生产，一旦产品结构、生产工艺调整，就需要大规模改造生产线，适配成本高、转型效率低，无法满足当前工程领域定制化、多元化的装备生产需求。而柔性自动化制造技术依托模块化生产架构、可调节智能加工设备、自适应控制系统，实现生产线的灵活调整与快速适配。该技术以数控加工中心、智能机器人、柔性输送设备为硬件支撑，结合可编程逻辑控制系统，可根据不同产品的工艺参数、加工需求，快速切换生产模式、调整加工工序与设备参数，无需大规模改造生产线，即可完成多品类、差异化机械产品的加工生产[2]。在工程技术服务场景中，柔性自动化制造技术能够高效适配各类工程项目定制化机械装备、非标零部件的生产需求，大幅提升生产线的通用性与灵活性，有效缩短生产调试周期，提升生产资源利用率。同时，该技术可实现生产工序的自动化衔接，完成上料、加工、装配、下料全流程自动化作业，减少人工干预，显著提升生产效率与产品加工一致性。

2.3 智能传感与实时监测技术

智能传感与实时监测技术是保障机械自动化生产稳定运行、实现智能管控的关键支撑技术，贯穿机械加工、设备运行、质量检测全流程，是智能制造精准化、可控化生产的重要保障。该技术依托物联网、高精度传感器、数据采集终端、实时传输网络，实现对机械生产设备运行状态、加工参数、生产环境、产品质量数据的全方位、实时化采集与传输。在机械设计制造生产过程中，温度传感器、振动传感器、压力传感器、位移传感器等各类智能传感设备，可实时采集机床转速、加工精度、设备振动幅度、作业环境温湿度等核心数据，通过工业以太网、5G 网络实时传输至智能管控平台。相较于传统人工巡检、事后检测模式，该技术能够实现生产状态的实时动态监测，精准捕捉设备微小故障、加工参数偏差、生产异常隐患，避免人工监测滞后性、疏漏性问题。同时，结合数据实时分析技术，可实现设备故障提前预警、加工参数自动微调，有效规避设备故障停机、产品加工不合格等问题，保障生产线连续稳定运行。在工程制造领域，该技术能够大幅提升生产过程的可控性，降低设备故障率与产品次品率，保障工程项目配套机械产品的生产质量与交付效率。

2.4 数字孪生与集成管控技术

数字孪生与集成管控技术是智能制造时代机械设计制造及其自动化技术的高端核心技术，实现了物理生产场景与虚拟数字场景的双向联动，是制造业智能化升级的核心突破口。数字孪生技术可依托三维建模、数据映射、仿真模拟技术，构建与实体生产线、机械设备、生产产品完全同步的虚拟孪生模型，将实体生产的设备运行、工序推进、物料消耗、质量数据等信息实时映射至虚拟模型中，实现生产全流程的可视化、数字化管控。依托该技术，技术人员可在虚拟场景中完成生产工艺模拟优化、设备故障仿真分析、生产流程推演优化，提前预判生产风险、优化工艺方案，无需实体试生产即可完成工艺迭代，大幅降低生产试错成本、缩短生产周期[3]。同时，集成管控技术依托 MES 生产管理系统、PLM 产品生命周期管理系统，整合设计、生产、质检、仓储、运维全流程数据，打破各环节信息壁垒，实现设计数据、生产数据、质量数据、设备数据的互联互通、统一管控。在工程技术应用中该技术能够实现机械产品全生命周期智能化管理，从产品设计研发、加工生产、质量检测到后期运维改造，形成闭环管控体系，全面提升机械制造的智能化、集成化、精细化水平。

3 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术的核心要点

3.1 智能化升级为核心发展主线

智能化转型是智能制造时代机械设计制造及其自动化技术发展的核心主线，区别于传统机械自动化单纯的工序自动化，新时代自动化技术以智能算法、人工智能、大数据分析为核心驱动力，实现生产过程的自主感知、自主判断、自主调控、自主优化。传统机械自动化仅能按照预设程序完成固定工序作业，缺乏自主适配与优化能力，无法应对生产过程中的突发问题与动态需求。而智能化升级核心要点，就是推动自动化技术从“被动执行”向“主动智能”转型，将人工智能、机器学习、大数据分析技术深度融入设计、生产、管控全流程。在产品设计环节，依托智能算法实现结构自动优化、方案智能匹配；在生产加工环节，系统可根据物料性能、环境变化、加工误差自主调整设备参数，适配动态生产需求；在管控环节，可通过大数据分析挖掘生产规律，自动优化生产流程、预判生产隐患。对于工程技术领域而言，坚守智能化发展主线，是持续提升机械制造核心竞争力、适配高端工程制造需求的关键，也是技术迭代升级的根本方向。

3.2 数字化集成赋能全流程协同

数字化集成是保障机械设计制造及其自动化技术高效落地的核心基础，核心是打破传统制造各环节信息割裂、流程脱节的问题，实现设计、制造、管控、运维全流程数字化协同。智能制造背景下，机械制造不再是单一的加工工序，而是涵盖产品全生命周期的系统化工程，各环节的信息互通、流程协同直接决定生产效率与产品质量[4]。数字化集成核心要点包含三层内容，一是设计与生产数字化对接，将三维设计模型、工艺参数直接同步至生产设备，实现设计数据一键落地，规避人工参数转换带来的误差与效率损耗；二是生产各工序数字化联动，通过智能系统衔接加工、装配、质检、物流等工序，实现生产流程无缝衔接，提升整体生产效率；三是数据资源集成共享，整合设备数据、生产数据、质量数据、运维数据，构建一体化数据库，为技术优化、生产管控、工艺升级提供数据支撑。数字化集成能够实现机械制造全流程标准化、规范化、高效化运行，是自动化技术落地见效的关键保障。

3.3 高精度与稳定性保障产品质量

高精度加工与运行稳定性是机械设计制造及其自动化技术的核心应用目标，也是工程制造领域的核心质量要求。各类工程装备、机械零部件作为工程项目的核心配套设施，其加工精度、运行稳定性直接决定工程项目的建设质量、运行安全与使用寿命。智能制造时代，自动化技术的核心优化要点就是持续提升加工精度与生产稳定性，通过智能设备、精准控制系统、实时监测技术，全方位严控产品加工误差。一方面，依托数控精密加工设备与自适应控制技术，将机械零部件加工误差控制在极小范围，满足高端装备、精密工程的精度要求；另一方面，通过实时监测、故障预警、参数自校准技术，规避设备运行波动、人工操作偏差带来的质量问题，保障批量生产产品的质量一致性。同时，通过全流程质量数字化管控，实现质量问题溯源追责，持续优化生产工艺，稳步提升产品质量稳定性，契合工程制造领域高标准、高质量的发展要求。

3.4 绿色节能与高效化协同发展

绿色节能、降本增效是智能制造时代机械设计制造及其自动化技术可持续发展的核心要点，贴合国家绿色制造、低碳工业的发展政策，适配工程技术行业提质降本的发展需求。传统机械制造存在物料损耗大、能源消耗高、生产效率低、污染物排放多等问题，而智能化自动化技术的应用，核心要点之一就是通过技术优化实现资源高效利用与低碳生产。一是物料优化利用，通过智能设计优化产品结构、精准计算物料用量，依托自动化精准加工技术，减少原材料切割、加工损耗，提升物料利用率。二是能耗智能管控，智能设备可根据生产工况自动调节运行功率，规避设备空载、过载能耗浪费，降低生产整体能耗。三是流程高效提效，自动化、智能化生产减少人工冗余工序，优化生产时序，大幅提升生产效率，缩短产品生产周期[5]。四是绿色生产优化，通过闭环生产管控减少生产废弃物排放，优化生产工艺降低污染，实现机械制造与生态环保的协同发展。绿色高效的发展要点，推动机械制造从粗放式生产向精细化、低碳化、高效化转型，助力行业可持续发展。

结语

综上所述，智能制造产业的快速革新，为机械设计制造及其自动化技术带来了全新发展机遇与升级方向。该技术凭借数字化、智能化、集成化、绿色化的核心优势，成为现代工程制造业转型升级的核心支撑。通过梳理其应用价值、关键技术与核心发展要点，可明确技术迭代与落地应用的核心方向。未来需持续深耕智能设计、柔性制造、数字孪生等核心技术，聚焦智能化、数字化、高效化发展核心，持续优化技术体系，助力工程制造业高质量发展。

参考文献

[1] 滕保健. 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术研究 [J]. 造纸装备及材料,2025,54(7):82-84.

[2] 邓金敏. 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术探究 [J]. 今日自动化,2023(9):106-108.

[3] 王成. 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术分析 [J]. 模具制造,2023,23(7):173-175.

[4] 王辉. 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术发展策略研究 [J]. 仪器仪表用户,2024,31(6):55-57.

[5] 何平. 智能制造时代机械设计制造及其自动化技术的探讨 [J]. 佛山陶瓷,2023,33(12):54-55.