

Research on the application of intelligent technology in mechanical design, manufacturing and automation

Dongchao Wang

Harbin Qianxingda Technology Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang, 150001, China

Abstract

As the new round of technological revolution and industrial transformation continues to deepen, the field of mechanical design, manufacturing, and automation is at a critical juncture for intelligent transformation. Intelligent technologies, represented by artificial intelligence, the Internet of Things, and big data, are profoundly reshaping traditional manufacturing models in research, production, and service. This paper first elaborates on the foundation of intelligent technology and its applications across various aspects, then specifically analyzes the impact of the intelligent system on mechanical design, manufacturing, and automation. Finally, it proposes challenges and solutions for the application of intelligent technology, aiming to provide valuable references and insights for related research.

Keywords

intelligent technology; mechanical design and manufacturing; automation; core application

智能化技术在机械设计制造及其自动化中的应用研究

王东超

哈尔滨乾行达科技有限公司, 中国·黑龙江 哈尔滨 150001

摘要

随着新一轮科技革命与产业变革深入发展,机械设计制造及其自动化领域正面临智能化转型的关键节点。以人工智能、物联网、大数据为代表的智能化技术,正深刻重构传统制造业的研发、生产与服务模式。本文先是具体阐述了智能化技术基础以及智能化技术体系在各方面的应用,随后具体分析了智能化体系对机械设计制造及自动化的影响,最后提出了智能化技术应用所面临的挑战与解决方案,以期对相关研究提供有益参考与借鉴。

关键词

智能化技术; 机械设计制造; 自动化; 核心应用

1 引言

在全球化竞争加剧与个性化消费需求升级的双重压力下,机械设计制造及其自动化领域正迫切要求突破传统技术范式的局限。以人工智能、物联网及数字孪生技术为核心的智能技术集群的蓬勃兴起,为行业转型提供了前所未有的变革机遇。这类技术通过算法驱动的创新范式,不仅实现了设计迭代效率与加工精度的指数级提升,更依托数据要素流通构建起资源动态配置和产业链协同机制,支撑企业向柔性化生产、绿色制造和服务型制造的新型工业范式演进。本研究基于文献计量分析与企业实践案例的交叉验证,深入解构智能技术在装备研发、生产系统重构及全生命周期管理中的典型应用场景,系统剖析技术采纳过程中的组织适应性、数据安全及标准化等关键挑战,并前瞻技术演进路径与产业

赋能趋势,以期为理论研究和产业实践提供双向价值参考。

2 智能化技术体系及其在机械设计制造中的核心应用

2.1 智能化技术基础

智能化技术体系作为机械设计制造及其自动化领域创新的基石,该体系主要由人工智能(AI)、物联网(IoT)、大数据、云计算、机器人技术及数字孪生组成。人工智能通过机器学习和深度学习实现数据驱动的智能决策,例如在设计阶段精准预测材料性能;物联网则通过传感器网络实时采集设备状态与环境数据,为制造过程提供动态反馈;大数据与云计算支持海量设计、生产与供应链数据的存储与分析,例如利用 Hadoop 或 Spark 框架深度挖掘质量缺陷模式^[1];机器人技术结合运动控制算法与感知系统(如激光雷达),实现高精度装配与搬运;数字孪生通过构建虚拟模型与物理实体的实时映射,优化生产调度与维护策略。技术融合可进一步释放创新潜力,自动优化零件拓扑结构并生成可直接用

【作者简介】王东超(1986-),男,中国黑龙江绥化人,本科,工程师,从事机械、自动化研究。

于加工的 G 代码；而物联网与预测性维护的结合，则使传感器数据通过云平台传输至 AI 模型，预判设备故障并触发维护指令，进而大大提升运维效率。

2.2 在机械设计环节的应用

智能化技术已深度重塑机械设计流程，其核心应用中体现在智能设计与协同设计两大维度。一方面，智能设计通过 AI 驱动的优化设计，在应力、重量等约束条件下利用遗传算法或粒子群优化技术，精准求解材料选择与结构参数的最优解。同时，AI 还可自动生成有限元分析 (FEA) 模型，并结合流体力学仿真，优化热交换器流道设计，大大缩短研发周期。某航空企业的实际应用案例显示，利用神经网络优化机翼梁结构，可以成功减重 15% 且完全满足强度要求。另一方面，协同设计依托云平台支持的多方实时协作模式，PLM (产品生命周期管理) 系统有效整合设计师、工程师与供应商的修改意见，实现跨区域无缝协同。

2.3 在制造环节的应用

智能技术已深度赋能制造执行环节，其核心应用场景聚焦于智能生产与质量控制两大方向。在智能生产方面，柔性制造系统 (FMS) 通过 AI 算法动态调度机床、机器人与 AGV，实现多品种混流生产的高效协同。例如，某汽车工厂利用该技术实现单线生产多款车型，换模时间大幅压缩至 5 分钟以内，极大地提升了生产灵活性。与此同时，基于物联网的设备互联技术，使数控机床实时上传加工参数至云端，AI 通过分析振动频谱预判刀具磨损状态，自动触发换刀指令，有效避免了因刀具磨损导致的加工质量波动^[2]。在质量控制领域，机器视觉与图像识别技术结合卷积神经网络，实现对零件尺寸 (精度达 0.01mm) 与裂纹、划痕等表面缺陷的实时检测，确保产品质量稳定。此外，统计过程控制 (SPC) 系统对关键工艺参数进行实时监控，一旦超限，AI 将会自动微调设备设定，形成闭环质量修正机制，进一步保障生产过程的稳定性与产品质量的可靠性。

2.4 在自动化升级中的应用

智能化技术正推动自动化领域向更高层次演进，其应用重点聚焦于智能机器人与预测性维护两大领域。在智能机器人方面，协作机器人 (Cobot) 通过集成功率传感器与 AI 规划算法实现了与人类工人的安全协同作业，能够高效完成精密装配任务。同时，自主导航 AGV/AMR 运用同步定位与地图构建技术，可自主规划物流路径，实现物料的动态配送，大大提升了仓储与运输效率。在预测性维护领域，基于大数据的故障预测技术通过分析历史维修记录与环境数据，利用长短期记忆网络等算法，精准预测设备剩余寿命。例如，某数控机床主轴轴承故障的预测案例显示，该技术可提前 30 天预警，合理安排维护计划，有效避免非计划停机。此外，数字孪生技术通过构建虚拟产线镜像，模拟不同维护策略对产能的影响，为备件库存与人员调度提供数据驱动的决策支持，进一步优化了运维管理。

3 智能化技术对机械设计制造及其自动化的影响分析

3.1 生产效率提升

智能化技术通过构建自动化率提升与资源优化的双重驱动，实现生产效率的跃迁。一方面，基于 AI 的柔性制造系统 (FMS) 通过减少人工干预，使生产周期压缩 40% 以上。如某汽车零部件工厂引入协作机器人后，装配线换型时间从 45 分钟缩短至 8 分钟，设备综合效率 (OEE) 提升 22%。另一方面，动态调度算法使设备利用率突破传统上限。西门子数字化工厂案例显示，通过实时数据采集与 AI 决策，机床平均等待时间减少 60%，实现多品种混流生产下的资源最优配置。

3.2 产品质量优化

智能化技术构建了全新的质量管控体系，形成覆盖“预防防范-过程监控-实时修正”的全周期闭环。AI 赋能的实时质量监测系统，使缺陷控制实现突破性改善。以华为 5G 基站散热器生产线为例，通过部署机器视觉检测系统，成功将焊接缺陷的漏检概率从 0.3% 大幅压低至 0.02%，质检效能提升 15 倍^[3]。在工艺参数控制领域，智能化技术展现出精准调控优势，如激光切割设备采用自适应算法后，其加工精度波动范围被严格限定在 $\pm 0.05\text{mm}$ 以内，相较传统控制模式，精度稳定性实现 6 倍提升。

3.3 成本与能耗降低

智能化技术正在引发成本与能耗的结构性优化，其降本增效作用呈现几何级数增长。在材料利用领域，AI 仿真技术突破了传统设计的物理边界，通过拓扑优化与智能排样算法，航空结构件制造中的钛合金材料损耗率从 18% 锐减至 8%，材料利用效率显著提升。能源管控方面，智能传感器与节能算法协同作用，构建起数字孪生能源管理系统。实践案例显示，某数控机床集群实施空载节能策略后，年度节电量达到 120 万千瓦时，相当于减少二氧化碳排放约 1000 吨，能源使用效率实现质的飞跃。

3.4 创新驱动发展

智能化技术正深刻重构产业创新逻辑，推动制造业向价值链高端攀升。在个性化定制领域，模块化设计与 AI 配置器共同构建了“按需生产”的新范式。以服装行业为例，C2M 平台通过 3D 量体建模技术，已实现 72 小时内交付完全定制西装，将大规模个性化生产变为现实。同时，智能化技术催生了商业模式创新，预测性维护技术衍生出“设备即服务”的新型业态^[4]。某压缩机制造商运用远程监测与 AI 诊断系统，使客户运维成本降低 35%，开创了制造业服务化转型的典范。这种创新驱动已超越单纯技术升级，正在重塑制造业价值链结构。麦肯锡研究表明，全面应用智能化技术的制造企业，净利润增长率较行业平均水平高出 2.6 倍，库存周转率提升 40%，充分彰显了智能化技术作为产业变革核心驱动力的战略价值。

4 挑战与解决方案

4.1 技术融合难题

在智能制造领域，多源异构数据的集成难题与跨平台协议兼容问题构成了技术融合的首要挑战。工业现场中，PLC 控制系统、MES 生产执行系统、ERP 资源管理系统之间普遍存在着数据孤岛现象，而 OPC-DA、Modbus 等传统协议割据进一步加剧了系统间互联互通的难度。针对这一困境，宝马丁格芬工厂通过实施 OPC-UA 统一架构标准，并结合边缘计算节点进行数据的本地化预处理，成功将设备连接效率提升了 70%，有效打破了数据壁垒。与此同时，华为与库卡联合研发的边缘智能网关，已实现对 30 余种工业协议的支持，为不同设备间的协议转换提供了关键基础设施，显著推动了工业设备间的互联互通。

4.2 数据安全风险

数据安全风险随工业数字化进程呈现指数级增长。西门子调研数据显示，68% 的制造企业曾发生数据泄露事件，35% 的生产系统遭受过网络攻击，凸显防护升级的紧迫性。构建“区块链+零信任”双重防护体系成为关键策略：区块链技术通过分布式账本建立不可篡改的数据溯源机制，航天科工应用此技术已实现供应链全链条数据可追溯；零信任架构（ZTE 原则）强化设备身份验证与数据加密传输，三一重工工业互联网平台部署的动态权限管理系统，使非法入侵风险显著降低 85%。这种多维度防护策略，为工业数据安全构筑起坚固屏障。

4.3 人才瓶颈

智能制造领域面临严峻的复合型人才短缺问题。麦肯锡全球调研结果显示，85% 的制造企业正在遭遇智能制造人才缺口。传统机械工程师往往缺乏人工智能算法能力，而 IT 技术人员则对工业机理认知不足。为突破这一瓶颈，海尔智家通过校企合作模式建立了“灯塔工厂实训中心”，已成功培养出 2000 余名掌握数字孪生技术和预测性维护能力的工程师^[5]。同时，清华大学与西门子联合推出的“工业智能工程师”在线认证课程，已累计培养超过 5 万名具备跨界整合能力的技术人才，有效缓解了智能制造领域的结构性人才矛盾。

4.4 传统设备改造难题

传统设备数字化改造面临成本效益平衡的重大挑战。我国现存机床中，服役超过十年的传统设备占比高达 62%，直接进行数字化改造存在成本高企、周期漫长的难题。美的集团创新采用“试点—迭代—推广”的三阶段实施策略，首先在注塑车间开展试点，通过部署 5G+ 边缘计算模块，使设备联网成本降低 40%；随后开发标准化改造套件，将单台机床的改造时间从 72 小时压缩至 8 小时。这种分阶段推进模式，使传统设备数字化改造的投资回报率（ROI）提升至 2.3 年。应对此类挑战需要构建“技术—政策—教育—资本”四维协同机制。德国“工业 4.0 平台”已发布超过 300 项标准规范，我国工业和信息化部也在积极推进智能制造标

准体系建设。随着技术成熟度的提升和生态系统的完善，智能化技术将加速推动制造业向更高发展阶段演进，传统设备改造的难题也将逐步得到系统性破解。

5 未来发展趋势与展望

智能化技术正在重塑机械设计制造及其自动化领域的未来图景，呈现出技术创新、绿色可持续与人机协作三大核心演进方向。在技术深化层面，AI 与量子计算形成双引擎驱动：量子计算已展现出在复杂系统仿真中的颠覆性潜力，如 D-Wave 量子退火计算机将热-力耦合多物理场分析速度提升百万倍；而自主决策系统则通过强化学习实现动态生产调度，华为诺亚方舟实验室的算法使紧急订单插入场景下的产线调整时间从 45 分钟压缩至 8 分钟。绿色化与可持续性方面，AI 正加速环保材料革命，巴斯夫利用 AI 预测模型开发出高精度可降解材料；同时低碳制造闭环体系通过数字孪生优化能耗模型，施耐德电气平台提升工厂能效 18%。人机协作模式迎来神经交互与沉浸感知的突破，脑机接口技术如 Neuralink 展示的 0.1mm 控制精度机械臂，与 AR 增强现实重构服务场景，微软 HoloLens 2 支持的远程运维系统使跨国调试效率提升 60%。这些演进方向正在催生“智能+绿色+共生”的新制造范式，麦肯锡预测至 2030 年，全面采用相关技术的制造企业将实现新产品开发周期缩短 50%、综合成本降低 30%、碳排放减少 45%，标志着制造业从自动化向自主化、粗放型向精微型、人机分离向脑机共生的深刻转型。

6 结论

本文研究表明，智能化技术已深度渗透机械设计制造的全生命周期，成为驱动行业转型升级的核心引擎。通过智能设计、预测性维护、柔性生产等创新应用，企业可实现效率与质量的双提升，并显著降低运营成本。然而，技术融合复杂度、数据安全风险及复合型人才短缺等问题仍需通过协同创新逐步破解。随着量子计算、脑机接口等前沿技术的成熟，机械设计制造将进一步向超智能化、超绿色化方向演进。构建开放共享的创新生态，推动“人·机·物”三元融合，将是释放智能制造潜力的关键路径。

参考文献

- [1] 徐一凡.智能化技术在机械设计制造及其自动化中的应用研究[J].模具制造,2025,25(02):23-25.
- [2] 苗垒.人工智能在机械设计制造及其自动化中的应用探析[J].当代化工研究,2021,(09):175-176.
- [3] 邹相宝.人工智能在机械设计制造及其自动化中的应用[J].集成电路应用,2021,38(09):144-145.
- [4] 张浩.提高机械设计制造及其自动化的有效途径[J].内燃机与配件,2021,(01):156-157.
- [5] 罗逸敏.浅析提高机械设计制造及其自动化的有效途径[J].内燃机与配件,2020,(23):182-183.