

# 探索智能制造时代机械设计制造及其自动化技术

于瑞星

山东省路桥集团有限公司 山东 济南 250100

**摘要：**随着智能制造技术的深度发展，机械设计制造自动化成为制造业转型升级的核心支撑。阐述其数字化、智能化驱动的核心内涵，拆解设计、制造、控制、协同四大维度的技术核心体系，梳理全生产流程的自动化技术应用逻辑，深入分析精度、效率、稳定性、兼容性四大核心优化方向，为制造业实现柔性生产、提质增效与高质量发展提供系统的理论参考与技术路径指引。

**关键词：**智能制造；机械设计制造；自动化技术；智能优化

引言：工业智能化转型进程的持续加快，对机械设计制造的精度、效率与柔性适配能力提出了全新要求。传统制造模式下的自动化技术，已难以适配多品种、小批量的个性化生产需求，也无法满足全流程协同的智能制造发展趋势。厘清自动化技术的核心内涵与体系架构，明确其在生产全环节的应用逻辑，探索适配智能制造场景的技术优化路径，已成为制造业高质量发展亟待解决的核心课题。

## 1 智能制造时代机械设计制造自动化核心内涵

智能制造时代机械设计制造自动化核心内涵聚焦于技术革新与系统优化深度融合，以数字化、网络化、智能化为驱动，重构生产流程与价值创造模式；其核心在于通过智能算法与传感技术实现设备自感知、自决策、自执行，提升制造精度与效率；强调多学科交叉融合，如机械工程、电子工程、计算机科学协同创新，推动设计—制造—服务全链条智能化；注重人机协同与柔性生产，适应个性化定制需求，实现资源高效配置与可持续制造；通过数据互联互通打破信息孤岛，构建智能工厂生态，驱动制造模式从规模经济向质量经济、绿色经济山东省路桥集团有限公司转型，最终实现生产系统高度自适应与持续进化能力，为制造业高质量发展注入核心动力<sup>[1]</sup>。

## 2 机械设计制造及其自动化的技术核心体系

### 2.1 智能制造下机械设计的数字化技术核心

机械设计制造及其自动化的技术核心体系以数字化技术为基石，聚焦智能制造场景下的设计范式革新。其核心在于通过参数化建模、几何约束引擎与知识图谱融合，实现设计过程的精准表达与快速迭代；依托三维可视化与虚拟现实技术，构建沉浸式设计环境，支持多维度方案评估与优化。集成有限元分析、多物理场耦合仿真及拓扑优化算法，提升设计验证的科学性与效率；通

过数据驱动的智能设计系统，实现设计参数与制造工艺的深度关联，推动设计—制造一体化进程；强调设计数据的全生命周期管理，确保设计信息的可追溯性与可复用性。最终形成以数字孪生为纽带，连接物理实体与虚拟模型的设计生态，驱动机械设计从经验驱动向数据驱动、从静态设计向动态演进的设计模式转型，为智能制造提供坚实的技术支撑与创新动能。

### 2.2 智能制造下机械制造的自动化流程优化

智能制造下机械制造的自动化流程优化聚焦于生产环节的智能协同与动态调优。通过引入智能感知与决策系统，实现设备状态实时监测与工艺参数自适应调整，提升加工精度与效率。运用数字孪生技术构建虚拟生产线，模拟物理生产过程，提前识别潜在瓶颈并优化流程路径；集成机器学习算法对生产数据深度挖掘，实现工艺参数智能推荐与生产节拍动态平衡。强调人机协作模式创新，通过增强现实技术辅助操作人员完成复杂装配任务，降低人为误差；构建模块化、可重构的生产单元，支持快速换型与柔性生产，适应多品种、小批量制造需求。最终形成数据驱动、智能决策、人机协同的自动化生产流程，推动制造模式从刚性生产向柔性化、智能化转型，为机械制造的高质量发展提供持续优化的内生动力<sup>[2]</sup>。

### 2.3 智能制造下设备运行的自动化控制技术

智能制造下设备运行的自动化控制技术以实时感知与动态响应为核心，通过集成多类型传感器实现设备状态全维度监测，为精准控制提供数据基石。运用自适应控制算法实现工艺参数实时调优，提升加工精度与效率；结合机器学习模型对运行数据深度挖掘，实现故障预测与健康监测，延长设备使用寿命。引入边缘计算技术降低数据传输延迟，实现控制指令快速响应；强调人机交互界面优化，通过增强现实技术辅助操作人员实时

监控设备状态并干预异常；构建模块化控制架构，支持功能快速重构与扩展，适应多样化生产需求。最终形成数据驱动、智能决策、自主学习的设备控制生态，推动设备运行从被动维护向主动预测、从单一控制向协同优化转型，为智能制造提供高效、可靠、智能的控制技术支撑。

#### 2.4 智能制造下技术系统的一体化协同架构

智能制造下技术系统的一体化协同架构以跨域数据融合与智能决策为核心，通过标准化接口实现设计、制造、控制等子系统无缝对接。运用数字孪生技术构建虚拟—物理双生系统，支持全流程实时映射与交互验证；集成边缘计算与云计算架构，实现数据本地处理与全局优化的动态平衡。采用微服务架构提升系统模块化程度，支持功能快速迭代与弹性扩展；通过知识图谱构建领域知识网络，驱动跨环节智能推理与决策；强调多智能体协同机制，实现设备、产线、工厂多层级自主协同。最终形成数据互通、功能互锁、决策互信的一体化技术生态，推动制造系统从功能叠加向能力融合、从局部优化向全局智能转型，为智能制造提供高内聚、低耦合的系统架构支撑。

### 3 机械设计制造自动化技术的核心应用逻辑

#### 3.1 设计环节自动化技术的精准适配逻辑

设计环节自动化技术的精准适配逻辑以需求精准解析与智能匹配为核心，通过参数化建模技术实现设计参数与性能指标的动态关联，确保设计结果高度契合功能需求。运用智能优化算法对设计变量进行多目标寻优，在满足约束条件下实现性能与成本的平衡；集成知识工程方法构建设计知识库，驱动设计经验的沉淀与复用，提升设计效率与质量；采用数字孪生技术构建虚拟设计环境，支持设计方案的实时验证与迭代优化。通过数据驱动的设计方法，实现设计参数与制造工艺的深度融合，推动设计—制造一体化进程；最终形成需求驱动、知识赋能、数据支撑的精准设计生态，推动设计模式从经验驱动向数据驱动、从单点优化向全局智能转型，为机械设计制造自动化提供精准、高效、智能的设计逻辑支撑<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 制造环节自动化技术的高效运行逻辑

制造环节自动化技术的高效运行逻辑以动态资源优化与智能协同控制为核心，通过实时数据采集与分析实现生产状态的精准感知，为高效运行提供数据支撑。运用自适应控制算法动态调整工艺参数，确保加工过程稳定高效；集成多源异构数据构建生产知识图谱，驱动工艺优化与资源分配的智能决策；采用模块化产线设计

支持快速换型与柔性生产，适应多品种、小批量制造需求。通过数字孪生技术实现虚拟—物理产线同步映射，支持生产过程的实时监控与动态调优；最终形成数据驱动、智能决策、自主协同的高效运行生态，推动制造模式从经验驱动向数据驱动、从静态生产向动态演进转型，为制造环节自动化提供高效、智能、可持续的运行逻辑支撑。

#### 3.3 装配环节自动化技术的闭环管控逻辑

装配环节自动化技术的闭环管控逻辑以质量追溯与动态纠偏为核心，通过集成视觉检测与力觉传感器实现装配过程的实时监测与精度反馈。运用数字孪生技术构建虚拟装配环境，支持装配路径的预演验证与动态调整；采用自适应控制算法根据装配状态实时优化操作参数，确保装配精度与效率；通过数据闭环管理实现装配缺陷自动识别与智能修复，推动质量管控从被动检测向主动预防转型；构建装配知识图谱驱动经验沉淀与智能决策，提升装配过程的可重复性与可靠性。最终形成监测—分析—决策—执行的闭环管控生态，推动装配模式从人工经验驱动向数据智能驱动转型，为装配环节自动化提供精准、高效、智能的闭环管控支撑。

#### 3.4 运维环节自动化技术的全周期适配逻辑

运维环节自动化技术的全周期适配逻辑以设备状态全生命周期管理为核心，通过多维度传感器集成实现运行数据实时采集与深度分析。运用机器学习算法构建故障预测模型，提前识别潜在失效风险并触发维护指令；集成数字孪生技术实现物理设备与虚拟模型的实时同步，支持运维策略的动态验证与优化；采用自适应维护策略根据设备状态自动调整维护周期与内容，避免过度维护或维护不足。通过知识图谱构建运维知识库，驱动经验沉淀与智能决策，提升运维效率与可靠性；最终形成监测—诊断—预测—维护的闭环运维生态，推动运维模式从被动响应向主动预防、从经验驱动向数据智能驱动转型，为设备全周期健康管理提供精准、高效、智能的适配逻辑支撑<sup>[4]</sup>。

### 4 智能制造下机械设计制造自动化的技术优化核心

#### 4.1 机械设计自动化技术的精度优化核心

机械设计自动化技术的精度优化核心聚焦于多维度精度提升机制。通过参数化建模技术实现设计参数与几何约束的精准关联，确保模型初始精度；运用多物理场仿真分析设计变量对加工精度的影响，识别关键误差源。集成高精度传感器实现加工过程的实时监控，通过误差补偿算法动态修正加工路径；采用数字孪生技术构建虚拟加工环境，支持加工参数的预演验证与动态调

优；结合机器学习算法对历史加工数据深度挖掘，构建精度预测模型，实现加工精度的主动控制。最终形成设计—仿真—加工—检测的全流程精度闭环管控，推动设计精度从静态达标向动态优化、从单点控制向全局智能转型，为机械设计自动化提供高精度、高可靠的技术优化支撑，驱动制造质量向更高标准迈进。

#### 4.2 机械制造自动化技术的效率优化核心

智能制造下机械设计制造自动化的技术优化核心聚焦于数字孪生与智能算法深度融合，通过构建虚拟生产模型实现设计—制造—验证全流程数字化协同。技术优化需突破传统机械设计局限，融入自适应控制算法与动态路径规划技术，提升设备自主决策能力；同时，结合物联网传感器实时采集生产数据，利用机器学习模型分析设备运行状态，实现故障预测与主动维护。技术优化还需关注材料科学突破，探索高强度轻量化复合材料在机械结构中的应用，降低能耗并提升产品性能。此外，模块化设计理念与标准化接口的推广，可增强设备兼容性与可扩展性，适应多样化生产需求，推动智能制造向柔性化、个性化方向演进，最终形成高效、精准、可持续发展的机械设计制造自动化技术体系。

#### 4.3 自动化技术系统的稳定性优化核心

自动化技术系统的稳定性优化核心聚焦于动态抗干扰与长效可靠运行机制。通过多维度传感器阵列实现系统状态全域实时监测，结合自适应滤波算法动态抑制外部干扰对系统的影响。运用容错控制技术构建冗余执行路径，在局部故障时自动切换至备用通道，确保系统连续运行；集成机器学习模型对运行数据进行深度挖掘，构建稳定性预测模型，提前识别潜在失效模式并触发预防性维护；采用数字孪生技术实现物理系统与虚拟模型的实时同步，支持稳定性策略的动态验证与优化。结合知识图谱构建稳定性知识库，驱动经验沉淀与智能决策；最终形成监测—诊断—预测—维护的全流程稳定性闭环管控，推动系统稳定性从被动维护向主动预防、从单一防护向智能协同转型，为自动化技术系统提供高可靠、高稳定的运行支撑，驱动系统稳定性向更高水平

迈进<sup>[5]</sup>。

#### 4.4 自动化技术体系的兼容性优化核心

自动化技术体系的兼容性优化核心聚焦于跨平台数据互通与功能协同机制。通过标准化接口协议实现不同设备、系统间的无缝对接，确保数据传输无损且高效；运用统一数据模型构建跨域数据映射体系，消除数据格式差异导致的兼容障碍；集成中间件技术实现异构系统的桥接与转换，支持多源数据融合与智能决策。采用模块化架构设计提升系统可扩展性，支持功能模块的快速集成与替换；通过数字孪生技术构建虚拟兼容性验证环境，支持跨平台协同策略的预演验证；结合知识图谱构建兼容性知识库，驱动经验沉淀与智能决策。最终形成标准统一、接口开放、协同高效的兼容性技术生态，推动技术体系从封闭独立向开放协同、从单一兼容向全局智能转型，为自动化技术体系提供高兼容、高扩展的运行支撑，驱动系统兼容性向更高层次演进。

结束语：智能制造为机械设计制造自动化的升级迭代提供了全新的技术范式与发展方向。其以数字化为基础、以智能化为核心，构建起覆盖设计、制造、装配、运维全流程的技术体系与应用逻辑，通过多维度的技术优化，有效破解传统制造的瓶颈约束。该技术体系的持续完善，将推动制造业实现生产模式的系统性变革，为产业向高效、精准、绿色、可持续发展的方向提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1]柴琪,郑德荣,赵训茶,等.智能制造背景下机械设计制造及其自动化技术发展路径[J].新潮电子,2025(2):40-42.
- [2]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.
- [3]孙一.计算机技术在机械设计与自动化制造中的应用与创新探索[J].计算机应用文摘,2025,41(16):242-244.
- [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.
- [5]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(2):23-25.