

# 机械电子技术在机械制造工程中的智能化应用

耿弘杨 袁建莹

景津装备股份有限公司 山东 德州 253034

**摘要:** 机械电子技术通过多学科交叉融合,为机械制造智能化提供从硬件到软件、从感知到决策的完整技术支撑。本文阐述机械电子技术与机械制造智能化的核心关联,分析设备改造、工艺优化、生产管控及产品赋能等智能化应用方向,探讨传感检测、自动控制、信息处理及机电一体化集成等关键技术支撑,并展望机电融合深度拓展、应用场景延伸及技术体系迭代完善等发展方向。机械电子技术的持续创新推动机械制造向柔性化、精准化与智能化转型,为产业升级与高质量发展注入新动能。

**关键词:** 机械电子技术;机械制造工程;智能化应用;技术支撑;发展方向

引言:制造业作为国民经济支柱,其核心领域机械制造工程正加速向智能化转型。随着人工智能、物联网等技术渗透,机械制造系统对环境感知、自主决策的需求显著提升。机械电子技术融合机械、电子、控制与信息技术,构建了从硬件集成到软件算法的完整技术体系,覆盖设备层改造、工艺层优化、生产层管控及产品层赋能,成为推动机械制造生态重塑与产业升级的核心驱动力。

## 1 机械电子技术与机械制造工程智能化的核心关联

### 1.1 机械电子技术对机械制造智能化的支撑作用

机械电子技术通过多学科交叉融合,为机械制造智能化提供了从硬件到软件、从感知到决策的完整技术链条<sup>[1]</sup>。在硬件层面,高精度传感器与智能执行器的集成应用,使制造设备具备实时采集环境参数与自身状态的能力,为智能化控制提供数据基础。例如,力觉传感器与视觉传感器的协同工作,可实现加工过程中力与位置的双重闭环控制,提升工艺稳定性。在软件层面,嵌入式控制系统与工业互联网平台的结合,赋予设备本地化决策与远程协同能力。通过部署轻量化人工智能算法,设备可在边缘端完成实时推理,快速响应工况变化,减少对云端计算的依赖。此外,机械电子技术推动的模块化设计理念,使制造系统具备快速重构能力,可通过更换功能模块适应多品种、小批量生产需求,为柔性制造提供物理基础。

### 1.2 机械制造智能化对机械电子技术的需求导向

机械制造智能化进程对机械电子技术提出更高维度的需求,驱动技术向精准化、自主化与协同化方向演进。在感知层面,单一传感器已无法满足复杂工况需求,多模态数据融合技术成为关键。通过整合力、温度、振动等多维度信息,系统可构建更全面的环境模

型,提升故障预测与工艺优化的准确性。在决策层面,传统控制算法难以处理非线性、时变性问题,需引入深度学习与强化学习等智能方法,实现参数自整定与策略自适应。例如,基于神经网络的预测性维护模型,可通过分析历史数据预测设备寿命,提前规划维护窗口。在执行层面,人机协作场景的普及要求执行器具备力控与安全感知能力,避免物理交互中的碰撞风险。此外,制造系统的智能化升级需机械电子技术与信息技术深度融合,通过统一数据接口与通信协议,实现设备间无缝对接,构建覆盖设计、生产、物流的全链条协同网络。这种需求导向促使机械电子技术突破传统边界,向跨学科、跨领域的综合技术体系发展。

## 2 机械电子技术在机械制造工程中的智能化应用方向

### 2.1 机械制造设备的智能化改造

机械制造设备的智能化改造是提升生产效能的核心路径,通过嵌入机械电子技术实现设备功能的跃迁<sup>[2]</sup>。设备运行的自动化控制依托高精度伺服系统与闭环反馈机制,将传统机械驱动升级为可编程的智能运动控制。例如,数控机床通过集成多轴联动控制器与位置传感器,可依据加工指令自动调整刀具轨迹,消除人工干预误差,提升加工精度与重复定位能力。设备状态的智能监测与调控则通过部署多类型传感器网络实现,力觉传感器可实时捕捉切削力波动,温度传感器可监测主轴热变形趋势,振动传感器能识别异常频段信号。这些数据经边缘计算单元处理后,驱动执行机构动态调整加工参数,如自动补偿主轴转速或进给量,维持设备运行在最优状态区间,延长关键部件使用寿命。

### 2.2 机械制造工艺的智能化优化

工艺智能化优化聚焦于突破传统工艺的刚性约束,构建自适应加工体系。工艺参数的智能调节通过机器学习

习算法实现,系统基于历史加工数据建立参数-质量映射模型,在加工过程中持续分析实时数据与模型偏差,动态修正切削速度、进给率等关键参数。例如,在磨削工艺中,系统可根据工件表面粗糙度反馈,自动优化砂轮线速度与磨削液流量,平衡加工效率与表面质量。工艺流程的智能适配则依托数字孪生技术,通过构建虚拟加工环境模拟不同工艺路径的能耗、周期与质量指标,为订单分配提供数据驱动的决策支持,实现多品种混线生产的高效切换。

### 2.3 机械制造生产过程的智能化管控

生产过程智能化管控强调全链条协同与动态响应能力。生产环节的协同联动控制通过工业互联网平台实现,设备间基于统一通信协议交换状态数据与任务指令,形成去中心化的分布式控制网络。例如,当检测到上游工序延迟时,系统可自动调整下游设备启动时间,避免在制品积压,提升产线整体节拍均衡性。生产流程的动态调整与适配则依赖实时数据分析与预测模型,系统根据订单优先级、设备健康状态与物料库存信息,重新规划生产序列与资源分配,确保紧急订单优先处理的同时,最大化设备利用率与物料周转效率。

### 2.4 机械制造产品的智能化赋能

产品智能化赋能将机械电子技术延伸至全生命周期管理。产品生产中的智能溯源与管控通过射频识别(RFID)标签与区块链技术实现,每个工件携带唯一数字身份,记录从原材料投料到成品出厂的全流程数据,支持质量追溯与防伪验证。产品功能的智能化延伸则依托嵌入式传感器与无线通信模块,使传统机械产品具备环境感知与远程交互能力。例如,智能工程机械可实时上传工作载荷、油耗与位置数据,支持远程故障诊断与预防性维护;消费级智能家电可通过用户行为分析自动调整运行模式,提升使用体验与能源效率。这种赋能不仅增强产品附加值,更推动制造企业向服务型制造转型。

## 3 机械电子技术在机械制造智能化应用中的关键技术支撑

### 3.1 传感检测技术的应用

传感检测技术是机械制造系统实现环境感知与状态监测的基础。在智能化场景中,传感器网络需具备高精度、多参数、抗干扰等特性,以实时采集设备运行数据、工艺参数及环境信息。例如,力传感器可监测加工过程中的切削力变化,温度传感器能追踪热处理环节的升温曲线,而振动传感器则用于诊断机床主轴的动态特性<sup>[3]</sup>。随着微机电系统(MEMS)技术的发展,传感器正朝着微型化、集成化方向演进,单芯片可集成多种物理

量检测模块,显著提升数据采集的密度与效率。此外,无线传感网络的部署减少了线缆束缚,使设备布局更灵活,同时支持大规模节点接入,为制造系统的全局感知提供可能。

### 3.2 自动控制技术的应用

自动控制技术赋予机械制造系统自主调节能力,推动设备从“被动执行”向“主动适应”转型。运动控制层面,伺服驱动系统通过闭环反馈机制实现位置、速度与转矩的精确控制,多轴联动控制器可协调多个运动单元的相位与轨迹,满足复杂曲面加工需求。过程控制层面,模型预测控制(MPC)算法通过构建系统动态模型,提前预测未来状态并优化控制输入,有效应对时变工况下的参数波动。例如,在注塑成型工艺中,MPC算法可根据熔体温度、压力等实时数据,动态调整保压时间与冷却速率,平衡生产效率与制品质量。自适应控制技术则通过在线参数辨识与调整,使系统自动适应负载变化、摩擦磨损等干扰因素,维持控制性能的长期稳定性。

### 3.3 信息处理技术的应用

信息处理技术是机械制造系统实现数据价值转化的核心。面对海量传感数据,需通过边缘计算与云计算的分层架构实现高效处理。边缘节点负责实时性要求高的任务,如故障特征提取、工艺参数优化,以减少数据传输延迟;云端平台则承担长期数据存储、模式识别与决策支持等复杂计算。在数据处理方法上,机器学习算法被广泛用于质量预测、设备健康管理等领域。例如,通过分析历史加工数据,支持向量机模型可预测产品表面粗糙度,为工艺参数调整提供依据;长短期记忆网络(LSTM)则能捕捉设备振动信号的时序特征,提前预警潜在故障。

### 3.4 机电一体化集成技术的应用

机电一体化集成技术通过功能融合与接口标准化,打破机械、电子、控制系统的传统边界,构建高度协同的智能单元。机械结构采用模块化设计,通过标准化接口实现动力、信号与能源的快速连接,例如快换夹具系统可在数秒内完成工装更换,支持多品种混线生产。电子系统嵌入分布式控制架构,将中央控制器功能分散至多个智能节点,提升系统可靠性与扩展性。例如,在柔性制造单元中,每个加工设备配备独立控制器,通过工业以太网交换任务指令与状态数据,实现去中心化的协同控制<sup>[4]</sup>。机电一体化设计还强调能量流与信息流的深度融合,例如能量回收装置将制动能量转化为电能储存,通过传感器监测能量转换效率,优化系统能效。这种集成化设计使机械制造系统具备更高的灵活性、可靠性与

能效，为智能化应用提供物理载体。

#### 4 机械电子技术在机械制造智能化应用中的发展方向

##### 4.1 机电融合的深度拓展

机电融合正从功能集成向本质融合演进，推动机械系统与电子系统的边界持续消解。在硬件层面，新型智能材料的应用为机电融合提供物理基础，例如形状记忆合金与压电陶瓷的集成，使机械结构具备主动变形与能量转换能力，可实现振动自抑制或执行器自驱动。在控制层面，嵌入式系统与机械结构的共设计模式成为趋势，通过将控制算法直接嵌入传感器或执行器芯片，减少信号传输延迟，提升系统动态响应速度。例如，集成式力觉传感器可同时完成力信号采集与补偿计算，将控制周期缩短至毫秒级。此外，机电融合还延伸至能量管理领域，通过构建机械-电能耦合模型，优化能量流动路径，例如在数控机床中实现主轴制动能量回收与液压系统压力补偿的协同控制，提升系统整体能效。这种深度融合使机械制造设备具备更强的环境适应性与自主调节能力，为智能化应用奠定物理基础。

##### 4.2 智能化应用的场景延伸

智能化应用正突破传统制造场景的局限，向全生命周期与跨行业领域渗透。在生产前端，智能设计系统通过融合知识图谱与生成式算法，可自动生成符合工艺约束的机械结构方案，缩短产品开发周期。例如，基于拓扑优化的智能设计工具，可根据载荷条件与材料属性，生成轻量化且强度达标的结构模型，减少人工试错成本。在生产后端，智能运维系统通过部署物联网终端与预测模型，实现设备健康状态的实时评估与维护窗口的精准预测，将计划检修转为状态检修，降低非计划停机风险。跨行业延伸方面，机械电子技术与生物技术、能源技术的融合催生新业态，例如生物3D打印设备通过集成高精度运动控制与细胞活性监测技术，实现活体组织的高精度制造；智能风电装备通过嵌入振动传感器与自适应变桨控制器，提升风能捕获效率与设备可靠性。这种场景延伸推动机械制造从单一产品制造向系统解决方案提供转型。

##### 4.3 技术体系的迭代完善

技术体系迭代聚焦于构建开放、协同的智能化技术

生态。在底层技术层面，新型传感原理与通信协议的突破为数据采集与传输提供更高性能支撑，例如量子传感器可实现纳米级位移测量，5G-Advanced技术支持亚毫秒级时延的工业通信，满足远程操控与实时协同需求。在算法层面，小样本学习与联邦学习技术的引入，解决工业场景中数据标注成本高与隐私保护难题，例如基于迁移学习的故障诊断模型，可通过少量目标设备数据快速适配新工况；联邦学习框架支持多企业数据共享模型训练，提升算法泛化能力<sup>[5]</sup>。在系统层面，数字孪生技术向全要素、全流程映射演进，通过构建包含物理实体、虚拟模型、数据与服务的高保真孪生体，支持生产系统的虚拟调试、工艺优化与能效分析。这种技术体系的迭代完善，使机械制造智能化具备更强的可扩展性与可持续性，推动产业向高端化、绿色化方向升级。

#### 结束语

机械电子技术在机械制造智能化中的应用，不仅提升了生产效率与产品质量，更推动了制造模式从“规模驱动”向“价值驱动”转型。通过设备智能化改造、工艺参数动态优化、生产流程协同管控及产品功能延伸，机械制造系统实现了从单一功能执行向复杂环境自适应的跨越。传感检测、自动控制、信息处理及机电一体化集成等技术的协同发展，为智能化应用提供了坚实支撑。随着机电融合的深化、应用场景的拓展及技术体系的完善，机械制造工程将持续突破传统边界，构建覆盖设计、生产、服务全链条的智能生态，为制造业高质量发展提供持续动力。

#### 参考文献

- [1]肖宁.人工智能技术在机械电子工程领域的应用[J].中国设备工程,2021(6):23-24.
- [2]胡晓承,康雨涵.人工智能技术在机械电子工程领域的应用[J].数字通信世界,2023(11):130-132.
- [3]张希斌.智能机器人技术在机械电子工程领域的应用[J].造纸装备及材料,2021,50(6):108-110.
- [4]陶攀,刘鹏.智能技术在机械电子工程中的应用[J].科技视界,2024,14(33):58-60.
- [5]杨阳,张诚.机械电子工程领域智能机器人技术的应用前景[J].造纸装备及材料,2021,50(3):100-102.