

# 机械制造及其自动化中节能设计的应用

高椿超

华电曹妃甸重工装备有限公司 河北 唐山 063200

**摘要:** 在双碳发展背景下, 机械制造自动化行业高能耗、低能效问题愈发突出, 制约了行业绿色可持续发展。本文立足机械制造自动化技术内涵, 剖析设备、工艺、系统三大核心能耗来源, 阐述节能设计的核心原则, 从设备、工艺、控制系统等多维度探究节能设计的具体应用。同时梳理当前节能技术应用不均、智能化不足等问题, 提出全流程优化、智能化升级等对策, 并预判行业节能设计智能化、绿色化的发展趋势。

**关键词:** 机械制造及其自动化; 节能设计; 应用

引言: 机械制造及其自动化是工业体系的核心支柱, 支撑着制造业规模化、精准化生产发展。但当前行业普遍存在生产能耗偏高、能源利用率低等问题, 传统生产模式资源损耗严重, 不符合绿色制造发展理念。为推动行业转型升级、落实节能降耗目标, 节能设计成为机械制造自动化发展的关键方向。基于此, 本文系统研究节能设计在机械制造自动化中的应用路径, 分析现存问题并提出优化策略, 助力行业实现能效提升与绿色高质量发展。

## 1 机械制造及其自动化与节能设计相关概述

### 1.1 机械制造自动化技术核心内涵

(1) 机械制造自动化定义: 依托计算机技术、数控技术、传感技术、智能控制技术, 实现机械产品加工、装配、检测、运输等生产环节的自动化运转, 替代人工操作, 提升生产精度与效率的现代化制造技术。其通过软硬件系统集成, 使生产设备按预设程序自主完成作业任务, 减少人为因素对产品一致性的干扰。(2) 自动化技术应用优势: 具备生产精度高、效率稳定、人工成本低、标准化程度高等优势, 可实现规模化、流水线生产, 是现代机械制造行业发展的核心支撑。数控系统可将加工误差控制在微米级别, 设备支持全天候连续运行, 长期效益显著优于传统人工产线。

### 1.2 机械制造行业能耗主要来源

(1) 设备能耗: 自动化生产设备、加工机床、输送设备长期运行产生的基础能耗, 设备空载、过载运行造成的无效能耗, 老旧设备能耗损耗过高问题。大量设备在待机与运行状态间频繁切换, 电机空转及负荷不匹配情形普遍, 能源转换效率偏低。(2) 工艺能耗: 传统加工工艺繁琐、工序冗余, 加工参数不合理, 造成原材料浪费与额外能耗损耗, 冷热加工工艺匹配度不足增加生产能耗。切削速度、进给量等关键参数多依赖经验设

定, 难以稳定维持在最佳能效区间<sup>[1]</sup>。(3) 系统能耗: 自动化控制系统调控滞后、能耗管控机制不完善, 生产流程衔接不畅, 辅助系统(通风、照明、冷却)能耗管控粗放导致的资源损耗。控制系统偏重任务调度而轻视能效优化, 辅助设施常按固定模式运行, 缺乏自适应调节能力。

### 1.3 节能设计核心原则

(1) 高效低耗原则: 在保障机械产品加工质量、生产效率的前提下, 优化设备、工艺、系统参数, 最大限度降低无效能耗, 提升能源利用效率。节能措施须以不牺牲产出质量与效率为前提, 通过技术手段消除各环节中的非必要能源损耗。(2) 实用性原则: 节能设计方案贴合企业生产实际, 适配现有自动化生产设备与流程, 改造难度低、落地性强, 兼顾节能效益与生产成本。改造路径应优先考虑投资回收期短、实施风险低的方案, 确保在现实生产环境中稳定运行并产生实质效益。(3) 整体性原则: 摒弃单一环节节能改造思维, 从设备、工艺、控制、管理全维度开展节能设计, 实现生产全流程能耗优化, 达成整体节能降耗目标。四个维度相互关联、互为支撑, 系统化推进方能避免局部优化引发其他环节能耗反弹, 实现全局能效提升。

## 2 节能设计在机械制造及其自动化中的具体应用

### 2.1 自动化设备节能设计应用

(1) 设备选型与优化: 优先选用节能型数控机床、变频自动化设备, 替换高能耗老旧设备; 根据生产需求匹配设备型号, 避免大设备小负荷运行造成的能耗浪费。在设备选型阶段, 应将单位产品能耗、待机功耗、功率因数等能效指标纳入综合评价体系, 从源头控制能耗水平。同时, 针对不同加工任务合理配置设备规格, 使设备额定功率与实际负载需求相匹配, 防止“大马拉小车”造成的能量冗余损耗。(2) 设备运行节能调控:

依托自动化智能调控技术,设置设备空载休眠、过载保护、定时启停功能,减少设备无效运行时间;优化设备转速、负荷等运行参数,降低运行能耗损耗。通过传感器实时采集设备运行状态数据,当检测到连续空载超过设定阈值时自动切换至休眠模式,待接收加工指令后再快速响应唤醒,实现运行状态的动态优化,有效压缩非生产性能耗<sup>[2]</sup>。(3)设备维护节能设计:建立自动化设备智能巡检、保养机制,及时排查设备磨损、故障问题,避免设备故障运行导致的能耗增加,延长设备使用寿命,降低长期能耗成本。借助振动监测、油液分析和热成像检测等技术手段实现设备健康状态的在线诊断,在故障初期即进行预防性维护,防止因传动副磨损加剧、润滑不良等因素导致摩擦阻力增大、能量转换效率下降,从而减少不必要的能耗损失。

## 2.2 生产工艺节能设计应用

(1)简化加工工序:依托自动化技术优化生产流程,删减冗余加工、检测工序,合并同类操作环节,缩短生产周期,减少工序切换产生的能耗损耗。采用工艺过程图与价值流分析相结合的方法,系统识别并剔除不创造价值的辅助环节,将分散的加工步骤整合为复合工序,降低工件多次装夹、转运和重新定位带来的重复能耗,使生产节奏更加紧凑高效<sup>[3]</sup>。(2)优化加工参数:通过仿真模拟技术调试机械加工温度、压力、速度等核心参数,确定最优加工方案,减少原材料损耗与工艺能耗,提升加工精准度。利用有限元分析和切削仿真软件替代传统经验试切法,在虚拟环境中快速迭代不同参数组合,系统评估其对加工质量、刀具寿命及能耗的综合影响,以数据驱动的方式锁定兼顾效率与节能的最佳工艺窗口。(3)创新节能工艺:引入精密加工、近净成型等新型节能工艺,替代传统粗放加工工艺,降低材料切削损耗与设备能耗,适配自动化流水线生产需求。近净成型技术使毛坯形状和尺寸逼近成品要求,显著减少后续切削加工的余量,既节约了材料投入,又缩短了机床运行时间。精密加工技术则通过优化切削机理,在保证精度的同时降低切削力和切削热,减少加工过程中的能量消耗。

## 2.3 自动化控制系统节能设计应用

(1)智能能耗监控系统搭建:依托物联网、传感技术搭建自动化能耗监控平台,实时采集、统计、分析生产各环节能耗数据,精准定位高能耗环节,为节能优化提供数据支撑。监控系统覆盖设备级、产线级和车间级三个层次,通过智能电表、流量计等终端采集设备分层获取能耗数据,借助数据可视化平台直观呈现能耗分

布,使能效评估从粗放估算转向精准量化,为后续改进措施的制定提供可靠依据。(2)自动化精准调控:利用PLC控制系统、智能算法实现生产设备、工艺流程的动态调控,根据生产负荷实时调整设备运行状态,避免能源闲置与浪费。引入模糊控制或预测控制策略,使驱动电机的输出功率、液压系统的工作压力等关键参数随负载需求柔性变化,自动匹配不同加工阶段的能量需求,杜绝恒定高速运行或固定供能模式下的无效耗能,实现能量供给与生产负荷的动态平衡。(3)多设备协同节能控制:优化多设备联动运行逻辑,实现流水线设备同步启停、有序衔接,解决设备运行不同步、空载待机时间过长的问题,提升整体生产能效。通过工业以太网实现上下游设备间的实时信息交互,前道工序完成后自动触发后续设备启动准备,使整条产线的启停响应协调一致,大幅缩短工序间等待时间,避免各设备独立运行导致的空载累积,提高系统整体能源利用效率<sup>[4]</sup>。

## 2.4 原材料与辅助系统节能设计应用

(1)节能材料选型与应用:选用高强度、低损耗、可回收的新型机械加工材料,降低材料加工难度与损耗率,减少材料加工过程中的能耗消耗。高性能材料在满足相同结构强度条件下允许采用更紧凑的截面设计,减轻成品重量,且其良好的切削性能有助于降低切削力和切削温度,进而减少机床主传动系统的功耗,实现从材料端到加工端的全链条节能。(2)辅助系统节能优化:对生产车间通风、冷却、照明等辅助自动化系统进行节能改造,采用智能感应、变频调控技术,实现辅助系统按需运行,降低辅助能耗。照明系统可根据自然光照度和人员活动情况自动调节亮度;通风冷却系统利用温湿度传感器监测车间环境参数,结合变频调速技术动态调整风机和水泵运行频率,使辅助系统供能始终与实际需求相匹配,避免固定工频运行模式下的能源浪费,全方位压缩辅助生产环节的能耗空间。

## 3 机械制造及其自动化中节能设计应用问题与优化对策

### 3.1 节能设计应用现存问题

(1)节能技术应用不均衡:多数企业仅聚焦设备单一环节节能改造,工艺、控制、管理等环节节能设计缺失,整体效果有限。企业往往选择见效快的设备替换为主要手段,而工艺参数优化、控制逻辑改进、管理制度完善等边际效益显著的领域却被忽视,各环节缺乏协同配合,难以形成系统性能耗下降。(2)节能智能化水平不足:部分中小企业自动化节能设备老旧,智能能耗调控与监控技术普及率低,精准度和效率难以保障。受

限于资金投入和技术储备,大量企业停留在人工抄表、经验判断的粗放管理阶段,缺乏实时监测和动态调控能力,节能措施多依赖外部方案被动移植,而非基于自身数据的主动优化。(3)节能管理体系不完善:缺乏标准化节能管理制度,员工节能意识薄弱,节能设计落地执行不到位,后续运维优化机制缺失。许多企业引入节能技术后未配套操作规程和考核标准,员工对相关要求不了解或不重视,方案在执行中逐渐走样。同时,缺乏持续跟踪评估机制,已部署措施长期得不到校准优化,节能效益随时间推移而衰减。

### 3.2 全方位优化应用对策

(1)推进全流程节能设计升级:构建设备、工艺、控制、管理一体化节能体系,补齐各环节节能短板,实现生产全链条节能优化,提升整体节能效益。从设备选型与运行调控、工艺参数优化与工序精简、控制系统动态调控与多设备协同,到管理制度建设与人员培训,形成环环相扣的节能链条,消除薄弱环节对整体效果的制约。(2)提升节能智能化技术水平:加大智能节能设备、能耗管控系统投入,引入大数据、人工智能技术优化节能调控算法,提升节能设计的智能化、精准化水平。鼓励企业引入基于机器学习的能耗预测模型和自适应控制算法,使节能调控从"设定阈值触发的被动响应"升级为"基于趋势预判的主动优化",实现能耗管理从静态到动态、从粗放到精准的转变<sup>[5]</sup>。(3)完善节能管理保障体系:建立标准化节能生产规范,强化员工节能技术培训,搭建节能考核机制,保障节能设计方案有效落地、持续优化。将节能指标分解到车间、班组和具体岗位,与绩效挂钩形成刚性约束。定期开展节能专项培训,使一线操作人员掌握节能设备的正确使用方法和参数调整要领。建立"实施-监测-评估-改进"的闭环管理流程,确保节能措施始终保持在最优运行状态。

### 3.3 节能设计未来发展趋势

(1)智能化深度融合:人工智能、大数据与节能设计深度结合,实现能耗智能预判、自动优化,达成无人化精准节能生产。未来节能控制系统将具备自学习能力,能够基于历史数据和实时工况自动预判能耗变化趋

势,在保证生产质量的前提下自主调整设备运行参数,形成"感知-分析-决策-执行"的智能化闭环,实现人对能耗管理的少干预甚至零干预。(2)绿色一体化发展:节能设计与环保、资源回收利用深度融合,实现低能耗、低污染、高资源利用率的绿色智能制造模式。节能不再单纯追求能耗数字的下降,而是与碳排放控制、废弃物减量、材料循环利用等环保目标统筹推进,形成能源效率与环境效益双轮驱动的可持续制造范式。(3)标准化普及应用:行业节能设计标准不断完善,节能技术、方案逐步标准化、规模化,成为机械制造自动化生产的标配设计。随着国家"双碳"目标推进和行业节能标准体系日益健全,节能设计将从少数企业的自发行为转变为全行业的强制性要求,成熟的节能技术和方案经过标准化后可快速在各类型企业中复制推广,推动整个机械制造行业能效水平的整体跃升。

### 结束语

综上所述,节能设计贯穿机械制造自动化生产全流程,对降低生产能耗、减少资源浪费、提升生产效益具有重要意义。当前行业节能应用仍存在技术、管理、智能化层面的诸多短板,需通过全流程优化、技术升级、完善管理体系加以改善。未来,随着智能技术与绿色理念的深度融合,节能设计将愈发标准化、智能化,全面赋能机械制造行业转型升级,助力工业领域达成双碳发展目标。

### 参考文献

- [1]王磊,赵军.智能制造模式下机械加工全过程节能优化策略[J].机械科学与技术,2023,42(09):1421-1426.
- [2]刘艳.机械自动化设备结构节能优化与能效提升研究[J].工程设计学报,2022,29(03):368-374.
- [3]周宇.节能设计理念在机械制造与自动化系统中的应用探析[J].现代制造技术与装备,2026,23(05):178-180.
- [4]吴浩.机械制造自动化生产中的节能降耗设计与优化措施[J].内燃机与配件,2025,17(12):132-134.
- [5]孙博文.绿色制造理念下机械自动化节能设计技术研究[J].造纸装备及材料,2024,53(08):91-93.