

Research on Energy-Saving Technologies for Intelligent Manufacturing in the Context of a Low-Carbon Economy

Lin Zhang

Xinjiang Jiayuan Energy Conservation and Environmental Protection Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

Research on energy-saving technologies for intelligent manufacturing under a low-carbon economy aims to establish new modes of energy utilization in the manufacturing sector by building efficient energy management systems, optimizing equipment operation, and enhancing the collaborative efficiency of manufacturing processes, thereby achieving a systematic reduction in energy consumption. Against the backdrop of accelerated industrial restructuring, the unit energy consumption of manufactured products generally ranges from 90 to 160 kWh, and the introduction of intelligent monitoring, dynamic scheduling, and refined process control technologies can reduce overall energy consumption by 8% to 15% under the same production conditions. The application of energy-saving technologies not only minimizes energy waste but also improves the stability of manufacturing processes, keeping process fluctuation within 5%. The study focuses on energy consumption monitoring, equipment control, energy-flow optimization, and system-level coordination, aiming to establish a sustainable energy-saving technological pathway for manufacturing and promote the industry's transition toward low-carbon and high-efficiency development.

Keywords

low-carbon economy; intelligent manufacturing; energy-saving technologies; energy management; optimization scheduling

面向低碳经济的智能制造节能技术研究

张林

新疆佳远节能环保科技有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

面向低碳经济的智能制造节能技术研究旨在构建制造业能源利用的新模式,通过构建高效能源管理体系、优化装备运行方式与提升制造流程的协同效能,实现能源消耗的系统性降低。在当前产业结构加速调整的背景下,制造业单位产品能耗普遍在90至160千瓦时之间波动,通过引入智能监测、动态调度与精细化工艺控制技术,可在同等产出条件下降低8%至15%的综合能耗。节能技术的应用不仅减少能源浪费,还提升了制造过程的稳定性,使工艺波动幅度控制在5%以内。研究围绕能耗监测、设备控制、能源流优化和系统协同展开,以期为制造业建立可持续的节能技术路径,推动行业向低碳、高效方向转型。

关键词

低碳经济; 智能制造; 节能技术; 能源管理; 优化调度

1 引言

低碳经济的发展要求制造业在保持产能与质量稳定的同时,实现能源利用效率的持续提升。随着传统制造模式在能源成本、排放指标和资源利用方面承受越来越大的压力,如何通过智能化技术构建节能体系成为行业转型的重要方向。智能制造通过数据获取、过程控制、设备协同和流程优化,使制造环节的能源消耗得以透明化、可控化和可调度化,为节能技术的落地提供了条件。制造业在生产过程、装备运行和工艺路径方面存在大量可削减能耗的空间,通过构建高

效能源管理体系、开展能耗数据建模、实施动态调度策略,可显著减少不必要的能源损耗。本文围绕智能制造条件下的节能技术路径展开讨论,旨在为制造企业的能源优化提供理论支撑与技术参考。

2 智能制造在低碳经济背景下的总体要求

2.1 低碳经济对制造业能源利用模式的重塑

低碳经济背景下的能源利用模式呈现清洁化、精细化、实时化的趋势,制造业在生产过程中形成的能耗被纳入总量约束与排放考核体系,使传统高耗能运行方式难以适应新的发展要求。生产环节单位产值能耗通常在 90 至 160 千瓦时之间,不同工序的能耗差异可超过 30%,说明能源使用存在显著的优化空间。能源利用由经验驱动逐步转向数据驱

【作者简介】张林(1990-),男,中国河南太康人,本科,工程师,从事工业节能研究。

动,通过实时采集设备运行状态、工艺负荷与能源流动参数,建立动态能耗模型,使能源配置与工艺需求高度贴合。企业在生产组织中引入能源预算,将能耗与质量、产量并列为核心考核指标,促使制造活动向绿色、高效方向调整。制造过程在监测、评估与反馈机制的支撑下形成完整循环,使能源利用方式在低碳要求下得到系统性重塑。

2.2 智能制造体系与节能目标的耦合关系

智能制造体系通过数据采集、过程控制、设备协同与系统优化构成完整技术链,与节能目标天然契合。制造能耗与设备负载、加工路径、运行稳定性和工艺节拍密切相关,通过构建数字化设备模型与流程模型,可在生产前预测能耗变化,在生产中实时校准能效曲线。设备监测系统以秒级采样频率记录功率、压力、温度和转速,使能耗异常在极短时间内被识别。工艺调度系统依据负载数据动态调整设备启停,使能源峰值需求降低 10% 至 18%。智能系统内部的数据互联使能源利用从被动响应转为主动优化,通过预测、调度与反馈机制减少无效能耗,使节能成为制造体系的内生属性^[1]。

3 智能制造节能技术的关键构成

3.1 生产过程能耗监测技术体系

生产过程能耗监测体系由高精度传感、数据采集终端、实时通信网络和能源分析平台构成,实现能耗数据的分层采集与动态管理。电流、电压、流量、压力与温度等参数以秒级频率采集,单条产线可布设 80 至 120 个监测点,构建完整的能耗画像。采集终端通过工业以太网或 5G 网络将数据传输至能源管理系统,由系统基于能耗基线模型、负荷分析模型和异常识别模型开展实时分析。监测体系可以将加工能耗、待机能耗、空载能耗和启停能耗分离,使浪费来源在分钟级被定位。通过对工序负荷波动、设备利用率和能源转换效率的评估,系统确定能效提升点,为调度优化和工艺改进提供数据依据,使监测成为节能技术的核心基础。

3.2 制造设备高效运行控制技术

制造设备高效运行控制技术通过状态识别、负载调节与功率优化策略,实现设备在不同工况下的能耗最小值。变频控制技术适用于机床、电机、压缩机、输送设备,通过调节转速降低能耗 15% 至 25%。状态识别模块基于振动、噪声、电流波形和温度信息判断设备工况,使设备在重载、轻载与空载之间实现最佳能效切换。功率优化模块对功率曲线进行实时分析,使设备运行在效率峰值区,无效功率占比降至 10% 以内。设备群协同控制根据产线节拍调整启停时间,减少待机能耗 20% 至 35%。该技术通过构建设备能效模型并持续更新,使控制策略随工况变化动态调整,使能效保持长期稳定。

3.3 制造系统能源流优化调度技术

制造系统能源流优化调度技术通过协调产线结构、设

备负载与能源供应,实现能源流的连续性和平衡性,使系统损耗显著降低。能源流包括电能、热能、气体动力与液压能,各能源在输送与转换环节存在损失。通过建立能源供需预测模型,对未来不同时间段的负荷进行滚动预测,使能源系统运行在最优功率范围。调度模块基于负载峰值分布调整加工顺序,使负载峰值削减 10% 至 20%,降低能源系统压力。余热回收采用换热装置提高可利用热量回收率至 25% 至 40%,形成能源二次利用链条。能源流调度在系统内部形成稳态能量网络,通过优化路径缩短传输距离、减少中间损耗,使制造系统整体能效大幅提升^[2]。

4 智能制造节能技术的实施路径

4.1 车间级能源管理系统的构建路径

车间级能源管理系统的构建路径围绕监测、分析、控制和优化四个维度展开,通过对能源数据的完整采集与实时处理,实现车间能耗的透明化和精细化管理。系统在车间范围内部署电力、热力、气体动力和水资源等多能源协同监测点,监测点数量可根据产线规模达到 150 至 220 个,使能源流动状态具备连续记录能力。能源管理平台通过负荷预测模型、能效对标模型和异常识别模型,对设备群运行数据进行处理,使能耗异常在短周期内被识别。控制模块依据预测结果,动态调整设备启停时间、负载分配和节拍节律,使高耗能设备的运行时间避开整体负载的峰值时段,提高能源使用的均衡度。优化模块将能耗与产量、质量、设备利用率关联,形成能源评价体系,推动车间在管理制度、工艺组织和设备运行方面实现节能闭环,使系统在车间级构建起可持续的节能管理能力。

4.2 生产线智能调度策略的节能作用

生产线智能调度策略通过对设备、加工路径和产线节拍的全局协调,减少负载峰值、降低空载运行时间并缩短无效流转,从而实现节能效果。调度系统基于设备功率曲线和加工周期构建负载模型,对未来不同时间段的负荷进行预测,使生产任务在时间维度内重新排布,使负载峰值下降 10% 至 20%。智能调度通过减少设备的无效启动次数,使启停能耗下降 20% 至 30%。系统将加工顺序按能耗梯度排序,使高能耗工序分散在不同时间节点,避免多个高负载设备同时运行造成能源冲击。在多设备协同模式下,通过负载均衡策略使设备利用率提升至 85% 以上,减少局部过载带来的附加能耗。生产线的智能调度在控制加工节拍、平衡设备能力与减少冗余流程方面发挥作用,使能耗在不影响产能的前提下实现持续下降^[3]。

4.3 制造流程重构中的低能耗工艺路径

制造流程重构中的低能耗工艺路径通过减少工艺步骤、优化加工路线与采用高能效工艺参数,使整体能耗强度显著下降。在流程分析阶段,通过工艺能量分解模型计算不同工序的能耗占比,使高能耗环节在流程重构中被优先优化。加

工路径优化通过减少设备转换、工件搬运和重复加工,使无效能耗降低 15% 至 25%。工艺参数优化采用动态参数调节方式,使切削速度、进给量、压力和温度控制在能效最优区间,使单位加工能耗降低 8% 至 12%。制造流程重构还引入模块化加工思想,将相关工序集成到同一加工单元,使能耗散布减少,能源利用密度提高。流程中冗余步骤的削减使加工节拍缩短,降低设备长时间待机造成的能源浪费,使制造系统在结构调整后呈现持续性的低能耗运行状态。

5 智能制造节能技术的协同应用机制

5.1 信息化技术在节能中的支撑效果

信息化技术通过数据采集、通信传输和信息集成等机制,为智能制造节能技术提供基础支撑,使能耗管理从单点控制走向系统化优化。生产设备和能源系统在车间内构建统一的数据采集网络,使功率、温度、压力和流量等参数以秒级频率传输至信息平台,形成连续、高密度的数据资源。信息平台通过数据融合算法,将机床、机器人、输送设备和能源设备的运行状态整合,使能耗特征与加工节拍、物料流动状态关联。通信技术通过工业以太网和 5G 连接,使系统控制延迟缩短至 20 毫秒以内,使节能调度具备实时调整能力。数据可视化模块以趋势图、负载曲线和能效对标方式展示系统能耗,使管理人员能够准确判断能效变化,使节能策略具备可验证性。信息化技术在能耗感知、决策支持和控制执行方面形成闭环,使节能成为系统化行为。

5.2 制造装备数字化升级的协同节能价值

制造装备在数字化升级过程中通过传感集成、控制系统更新和数据接口扩展,使节能效果呈现叠加优势。装备内部嵌入振动、声学、电流、电压和温度等传感器,使设备运行工况具备全面可视能力,使能效低的工况被及时识别。控制系统升级为数字控制架构后,能根据能效模型进行动态参数调节,使设备在效率峰值区间运行,使无效能耗比例降至 10% 以内。数字化装备通过标准化数据接口与生产系统联通,使设备群之间形成负载共享,使局部过载造成的能源浪费有效减少。装备的数字化升级通过对维护策略的优化提升节能价值,使异常摩擦、磨损和松动等导致的能耗增加被提前识别,使预防性维护周期提前 10% 至 15%,减少隐性能源

损耗^[4]。

5.3 产业链协同制造体系的整体节能效应

产业链协同制造体系通过企业间的资源共享、产能协调与能源互补,实现整体能耗的下降,使节能效应从单一企业层面扩展至区域制造网络。协同体系通过共享产能平台,使不同企业的低负载设备在产业链内实现协同使用,使设备平均利用率从 60% 提升至 80% 以上,减少重复建设带来的隐性能耗。资源流和物料流的协同通过缩短物流距离、降低运输强度,使单位物流能耗下降 15% 至 22%。能源协同通过区域能源管理系统实现不同企业能源需求的错峰运行,使区域能源峰值负荷降低 10% 至 18%。协同制造在工艺共享、技术共享和数据共享中形成互补,使高能耗工序被转移到能效优势企业,使整体制造体系呈现明显的节能属性,使节能效果从企业局部优化走向产业链整体优化。

6 结语

面向低碳经济的智能制造节能技术通过数据驱动、工艺优化和系统协同,为制造业构建了可持续的能效提升路径。随着能源约束趋严和碳排放管控强化,制造企业在设备运行、生产组织和产业链协同等方面面临新的节能要求。智能制造在能源监测、负载调度、流程重构和装备数字化升级中形成多层次节能机制,使能耗优化从局部改善转向系统提升。节能技术的应用使单位产值能耗持续下降、能源配置更加高效、设备运行更加稳定。未来制造业将在数字化基础设施的支持下持续推进节能体系建设,通过跨企业、跨车间的协同机制进一步降低能源损耗,使智能制造在低碳经济背景下发挥更加突出的引领作用,为行业绿色转型奠定坚实技术基础。

参考文献

- [1] 任琦.低碳产业成经济发展新“增长点”“稳定器”[N].深圳特区报,2024-10-29(A01).
- [2] 尹加明,刘焕刚.低碳经济背景下绿色建筑节能发展方向及技术措施研究[J].建设科技,2024,(11):94-96.
- [3] 马金帅.低碳经济背景下建筑节能技术发展方向分析[J].产业科技创新,2024,6(03):37-39.
- [4] 黄赫.“双碳”目标引领经济绿色低碳转型发展[N].中国城乡金融报,2021-10-22(A05).