

机械设计制造及其自动化的节能设计

韩世康

珠海凌达压缩机有限公司 广东 珠海 519110

摘要: 文章聚焦机械设计制造及其自动化的节能设计。阐述其理论基础,包括核心原则与全生命周期视角下的设计要点。介绍关键节能技术,如智能驱动、能量回收、物联网能耗监控及轻量化材料应用等。通过工业机器人节能优化、数控机床绿色化改造案例说明实践成效,数据显示优化后设备能耗可降低28%-32%。展望未来,指出技术融合、绿色制造生态化、政策与市场驱动是发展趋势,为机械制造业节能发展提供理论支撑与实践参考。

关键词: 机械设计制造; 自动化技术; 节能设计; 绿色制造

引言: 在全球能源紧张与环境问题日益突出的当下, 节能减排成为各行业发展的关键议题。机械设计制造及其自动化领域作为能源消耗大户, 其能耗占工业总能耗的35%以上, 节能设计意义重大。节能设计不仅能降低企业生产成本、提升经济效益, 据统计, 机械制造企业实施节能设计后, 平均能耗成本可降低25%-30%, 还契合绿色制造理念, 对推动行业可持续发展至关重要。本文将深入探讨机械设计制造节能设计的理论基础、关键技术、实践案例及未来趋势, 助力该领域节能发展。

1 机械设计制造节能设计的理论基础

1.1 节能设计核心原则

机械设计制造节能设计以资源高效利用、能耗最小化为核心, 贯穿全流程, 是指导节能方案落地的根本准则。系统性原则要求打破单一部件优化局限, 从设备整体架构、动力传递、工况适配出发, 协同降低各环节能耗, 避免局部与整体矛盾, 其节能效果比单一部件优化提升超40%。经济性原则需平衡初期研发与长期运行成本, 在满足性能前提下选性价比最优方案, 避免资源浪费, 初期研发成本增5%-10%, 1-2年可收回。适配性原则要结合设备实际需求设计节能策略, 确保节能与作业效率、稳定性不冲突。绿色环保原则贯穿始终, 通过减排、选可回收材料等, 实现节能与环保协同, 可使挥发性有机物排放减60%以上, 为行业绿色转型奠基。

1.2 全生命周期视角下的节能设计

全生命周期节能设计覆盖机械产品全阶段, 追求全周期能耗最小化。设计阶段决定全生命周期70%-80%能耗, 是核心环节, 需提前预判能耗痛点, 优化结构等从源头控能。生产制造阶段聚焦工艺优化, 减少材料浪费、降低设备启停能耗, 精益生产可使能耗降15%-20%, 材料利用率超95%。运行使用阶段通过智能调控等避免能耗增加, 延长寿命, 定期维护可降能耗8%-12%。报废回收

阶段注重资源循环, 拆解分类实现零部件复用、材料再生, 资源回收利用率超75%, 减少资源消耗与环境负担^[1]。此视角打破传统思维, 提升产品竞争力, 契合绿色制造需求, 是行业转型重要方向。

2 机械自动化中的关键节能技术

2.1 智能驱动与传动系统优化

智能驱动与传动系统优化是机械自动化节能技术的核心。智能驱动以变频调速、伺服控制替代传统恒速驱动, 能依据设备负载变化实时调节动力输出功率, 避免轻载时能源浪费。其中, 变频调速技术可使风机、水泵类设备能耗降低 20%-30%, 伺服控制系统能让自动化设备能耗降低 15%-25%。传动系统优化着重减少机械摩擦损耗, 选用高精度齿轮、新型润滑材料、优化传动比配置, 可使动力传递效率从 85%提升至 95%以上。智能监测技术与驱动传动系统融合, 能实时捕捉传动部件运行状态, 预判问题, 避免故障导致能耗激增, 减少故障能耗损失 30%-40%。另外, 一体化驱动传动模块的研发应用, 简化设备结构, 减少部件间能量损耗, 广泛应用于工业机器人、数控机床等, 成为机械自动化节能升级的重要支撑。

2.2 能量回收与储能技术应用

能量回收与储能技术是提升机械自动化能源利用效率的关键。机械设备运行中, 制动能耗、重力势能、余热等冗余能量约占设备总能耗的 15%-25%, 通过回收装置可转化为可用能源。如工业机器人制动电能经能量回馈装置反馈电网, 回收率达 70%-80%; 数控机床余热用于车间供暖或设备预热, 可降低车间供暖能耗 40%以上。储能技术是能量回收的配套支撑, 分物理储能、电化学储能等类型, 可按需选用。超级电容器充放电快、循环寿命长, 适用于短期高频次存储, 循环寿命超10万次; 锂电池适用于长期稳定储能, 能量密度达 150-200Wh/kg。二

者融合应用，打破传统能源“一次性消耗”模式，降低设备对外部能源依赖，减少浪费，在多领域应用前景广阔。

2.3 基于物联网的能耗监控与管理

基于物联网的能耗监控与管理技术通过物联网、大数据、云计算等技术的融合应用，实现机械自动化设备能耗的实时监测、精准分析与智能调控，为节能优化提供数据支撑。该技术通过在设备关键耗能部件安装传感器，实时采集电流、电压、功率、温度等能耗数据，采集频率可达10-15Hz，经物联网传输至云端管理平台，实现能耗数据的集中管控。云端平台通过大数据分析算法，对能耗数据进行深度挖掘，识别能耗异常波动、低效运行工况等问题，识别准确率可达95%以上，生成能耗分析报告和优化建议^[2]。同时，结合智能调控模块，可实现设备能耗的自动化优化，例如根据车间生产计划动态调整设备运行参数、关闭空载设备、优化设备联动逻辑等，可使车间无效能耗降低30%-40%。另外，该技术支持能耗数据的全周期追溯，为企业制定节能目标、评估节能效果、优化节能方案提供可靠依据。通过物联网技术构建的能耗监控与管理体系，实现了机械自动化生产能耗的可视化、精细化管控，帮助企业大幅降低无效能耗，提升节能管理的科学性和高效性。

2.4 轻量化材料与绿色制造工艺

轻量化材料与绿色制造工艺是机械自动化节能设计的重要支撑，通过降低设备自重、减少生产过程能耗，实现全流程节能。轻量化材料以高强度铝合金、碳纤维复合材料、工程塑料等为代表，在保证机械结构强度、刚度的前提下，替代传统厚重钢材，有效降低设备自重，减少动力驱动能耗。下表为常用轻量化材料与传统钢材的性能及节能效果对比，可见其节能优势显著。例如，采用碳纤维复合材料制造的工业机器人臂，自重可降低40%以上，同时提升运动灵活性，间接减少驱动能耗15%-20%。绿色制造工艺则聚焦于生产过程的节能降耗，包括精密成型工艺、少无切削加工工艺、绿色涂装工艺等。精密成型工艺可使材料利用率从60%提升至90%以上，减少材料浪费和后续加工能耗；少无切削加工工艺通过优化加工路径，缩短加工时间30%-40%，降低设备运行能耗；绿色涂装工艺选用环保型涂料，减少挥发性有机物排放70%以上，同时降低烘干环节的能耗^[3]。轻量化材料与绿色制造工艺的协同应用，不仅降低机械设备的运行能耗和生产能耗，还减少生产过程中的污染物排放，契合绿色制造的发展理念，推动机械自动化行业向低碳化转型。

常用轻量化材料与传统钢材的性能及节能效果对比表

材料类型	密度 (g/cm ³)	抗拉强度 (MPa)	替代钢材减重比例 (%)	驱动能耗降低比例 (%)
传统钢材	7.85	450	0	0
高强度铝合金	2.7	500	65-70	15-20
碳纤维复合材料	1.6	1200	79-82	30-40
工程塑料	1.2-1.5	300-400	81-85	25-30

3 机械自动化节能设计的实践案例

3.1 案例1：工业机器人节能优化

汽车零部件制造企业针对车间100台工业机器人能耗过高问题，开展全方位节能优化改造，取得显著成效。该企业机器人主要用于零部件焊接、搬运作业，原设备采用传统恒速驱动模式，空载运行能耗占比达35%，且传动部件摩擦损耗严重，单台机器人每小时能耗达12.5kWh，年耗电量约109500kWh，电费成本约8.76万元。优化过程中，首先更换智能伺服驱动系统，采用变频调速技术，根据作业负载动态调节电机转速，空载时降低转速至怠速状态，负载时精准匹配动力输出，减少无效能耗。其次，优化机器人传动结构，选用高精度谐波减速器，搭配新型润滑材料，降低机械摩擦损耗，提升动力传递效率。同时，基于物联网技术搭建能耗监控平台，实时采集机器人运行参数、能耗数据，通过算法优化作业路径，减

少重复动作和空载移动。改造后，单台机器人每小时能耗降低28%，降至8.9kWh，年节约电费超3万元，且传动部件使用寿命延长50%，减少维护成本和停机损失，设备有效作业率从82%提升至95%。该案例证明，通过驱动系统升级、结构优化与智能管控融合，可实现工业机器人高效节能，为制造业自动化设备节能改造提供参考。

3.2 案例2：数控机床绿色化改造

机械加工企业针对车间50台传统数控机床能耗高、污染物排放多、资源浪费严重等问题，实施绿色化改造工程，实现节能与提质增效双赢。改造前，该企业数控机床采用普通电机驱动，加工过程中转速固定，无论负载大小均保持满功率运行，单台机床每小时能耗达25kWh，且冷却系统持续工作，能耗浪费严重，同时切削液排放超标，年排放切削液约120吨，污染环境，材料利用率仅60%。改造过程中，首先更换高效节能电机与变频

控制系统,实现转速精准调控,根据切削工况动态调整功率输出,减少轻载、空载能耗。其次,优化冷却系统,采用智能温控冷却装置,根据加工温度自动调节冷却强度,引入切削液循环处理系统,实现切削液过滤、净化后重复利用,重复利用率达85%,减少排放与资源消耗。另外,采用轻量化材料改造机床床身、主轴等部件,降低设备自重30%,减少驱动能耗,同时引入少无切削加工工艺,减少材料浪费和加工能耗。改造后,数控机床单位工件能耗降低32%,单台机床每小时能耗降至17kWh,切削液利用率提升至85%,年减少污染物排放60吨,且加工精度提升10%,生产效率提高15%,材料利用率从60%提升至92%,年节约材料成本约80万元。

4 未来发展趋势与展望

4.1 技术融合趋势

未来机械自动化节能设计将多技术深度融合,构建高效协同体系。人工智能与节能技术融合是核心,AI算法精准分析设备数据,预判准确率超98%,实现能耗自适应优化,降低综合能耗15%~20%。物联网、大数据与云计算构建全域能耗管控网络,预计2028年物联网能耗监控技术在机械制造行业普及率达85%以上,形成规模化节能效应。新能源技术与机械自动化融合深化,清洁能源搭配高效储能构建自给能源体系,降低对传统电网依赖,企业用电成本降40%~50%。数字孪生技术广泛应用,通过虚拟模型模拟节能方案,提前预判问题,缩短研发周期30%~40%,提升设计科学性与精准性,推动技术向智能化、高效化升级^[4]。

4.2 绿色制造生态化

绿色制造生态化是机械自动化节能设计重要方向,构建全产业链、全生命周期绿色生态体系。产业链上游,原材料供应商加大绿色材料研发,预计2030年轻量化材料使用率达70%以上。中游制造企业优化工艺,推动清洁、精益生产,降低能耗25%~30%,加强设备全生命周期管

理。下游回收企业完善回收体系,提升废旧设备回收利用率至80%以上,形成闭环生态。企业间加强绿色协同合作,共享节能资源,带动上下游转型,形成绿色制造生态集群,助力行业实现碳中和,推动经济社会可持续发展。

4.3 政策与市场驱动

政策与市场是推动机械自动化节能设计发展的核心驱动力。政策上,各国完善绿色制造法规标准,出台严格能耗、排放标准,预计未来3~5年企业节能改造覆盖率达90%以上。政府加大政策扶持,我国每年超50亿元补贴机械制造节能研发。市场上,绿色消费理念普及,下游企业对节能型设备需求年增长18%~22%,倒逼企业加大节能设计投入。碳交易市场完善,企业节能减排可获收益,每减1吨碳排放收益50~80元,激发节能积极性。国际市场绿色准入门槛提高,推动我国企业升级节能技术,提升出口产品绿色合规性,促进行业低碳、高质量发展。

结束语

机械设计制造及其自动化的节能设计是行业发展的必然趋势。通过理论基础指导、关键技术支撑与实践案例验证,已取得一定节能成效。未来,技术融合、绿色制造生态化以及政策与市场驱动将进一步推动该领域节能发展。企业应紧跟趋势,积极应用节能技术与理念,提升产品绿色竞争力,实现经济效益与环境效益双赢,共同推动机械制造行业迈向低碳、可持续的未来。

参考文献

- [1]李由.机械设计制造自动化技术应用分析[J].现代农机,2024(4):124-126.
- [2]夏逸凡.浅谈机械设计制造及其自动化的应用[J].仪器仪表用户,2025,32(2):154-156.
- [3]涂岐旭.机械设计制造中人工智能技术的应用[J].模具制造,2024,24(11):186-188.
- [4]李美波.现代机械设计制造工艺综述[J].模具制造,2023,23(9):274-276.