节能环保约束下机械产品设计优化探究

韩玉岭[1]，张鹏飞[2]，宋晨华[3]，崔 健[4]，郑 鑫[5]

（1. 北京源通电力科技有限公司山东分公司，山东 济南 250002；
2. 烟台富耐克换热器有限公司，山东 烟台 265215；
3. 潍坊奥司特工贸有限公司，山东 潍坊 262100；
4. 青岛前湾联合集装箱码头有限公司，山东 青岛 266000；
5. 青岛得顺电子机械有限公司，山东 青岛 266000）

摘 要 机械产品作为工业生产与装备制造核心载体，其节能环保性能与设计优化水平直接决定能源利用效率、污染物排放控制及全生命周期绿色发展能力。当前，该领域存在结构设计冗余、能效匹配不足、材料选型粗放、绿色工艺缺失等问题。为摆脱困境，需构建“结构轻量化—材料绿色化—能效高效化—工艺低碳化”一体化体系，通过拓扑优化、节能驱动、循环选材、智能管控及全流程协同等策略，实现环保约束与产品性能的协同提升，推动机械装备行业低碳转型与高质量发展。

关键词 节能环保；机械产品设计；绿色制造；轻量化设计

中图分类号：TH122 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.27.038

0 引言

工业绿色转型持续推进，机械产品作为装备制造与生产运行的关键基础，其节能水平与环保性能直接影响行业“双碳”目标实现。而设计优化与节能环保约束的协同适配，是机械产品研发制造的重点环节，二者融合效能决定产品能耗水平、环境友好性及市场竞争力。目前，在机械产品设计过程中存在结构冗余、能耗偏高、材料不可降解、生产排放超标等问题。传统设计模式下重性能轻环保、重成本轻绿色、重功能轻生命周期等短板逐渐显现，制约行业低碳化、集约化发展[1]。基于此，探究节能环保约束下机械产品设计优化路径，创建科学高效的绿色设计体系，对于提升能源利用效率、推动装备制造业提质降碳有着重要的理论和实际价值。

1 节能环保约束下机械产品设计优化的必要性

1.1 落实“双碳”战略要求，筑牢绿色制造根基

机械产品作为工业能耗与排放的重要来源，其设计阶段的绿色化水平直接决定全生命周期环境影响。设计优化的核心价值在于通过源头结构与参数规划，规避高能耗、高排放、高耗材的冗余设计，确保产品全流程符合环保标准；节能环保约束则为设计全过程提供刚性底线，使材料选用、结构布局、动力匹配等要素符合低碳与清洁要求[2]。二者协同发力，既能避免因设计缺陷导致的能耗浪费与污染排放，又能保障产品合规入市，推动制造体系绿色化与低碳化，为工业生态安全筑牢基础。在绿色转型加速背景下，机械产品的环保合规性直接影响产业可持续发展，设计与节能的精细化管控成为实现低碳制造的关键前提。

1.2 提升能源利用效率，降低全生命周期成本

机械产品设计涉及结构、材料、动力、工艺等要素繁多，粗放式设计易引发能耗过高、耗材浪费、运维成本偏高并存的矛盾，进而推高全生命周期成本。科学的设计优化体系能够基于节能环保目标动态调整结构参数与动力方案，实现结构轻量化与载荷需求精准匹配、动力系统与运行工况同频适配、材料选用与环保要求动态平衡。而节能环保约束通过明确能耗限值、排放指标、回收要求，可减少因高能耗设计产生的电费、运维、报废处理等额外费用。二者有机融合，能够最大化提升能源与资源利用效率，减少无效投入，实现产品成本与环境成本的双重管控，为企业提升市场竞争力提供核心支撑，符合装备制造领域绿色增效的发展导向。

1.3 严格遵循环保标准，提升行业竞争能力

机械产品多面向工业生产、工程装备、交通运载等场景，使用过程中会受到能耗标准、排放法规、环

作者简介：韩玉岭（1999-），男，本科，工程师，研究方向：机械设计。

保认证、回收政策等外部约束[3]，复杂工况与多元标准大大增加了设计难度。设计优化的动态调整机制可以对各类环保新规做出快速响应，通过改进结构、更换材料、优化动力来降低环保合规风险；节能环保约束的刚性要求能够根据行业标准变化，及时升级设计指标，保证产品持续符合市场准入条件。同时，二者推进也能倒逼企业建立绿色设计、绿色制造、绿色回收的全链条管理机制，明晰各环节环保责任边界，提高设计与生产协同效率，不仅可以化解研发制造中的环保风险，而且能促使设计体系规范化升级，提高企业应对严格标准与国际竞争的能力[4]。

2 节能环保约束下机械产品设计优化现存困境分析

2.1 设计理念偏传统，绿色化融入不足

机械产品设计体系具有显著工程导向性，而当前部分企业设计仍以性能与成本为核心，未能充分融入节能环保理念。设计方案制定阶段对能耗、排放、回收、碳足迹等因素研判不够全面，导致传统结构与绿色需求存在偏差。同时，设计优化体系缺乏环保导向迭代机制，面对新环保标准、低碳技术、节能材料等情况时，无法及时升级结构与参数，进而引发产品能耗超标、环保不达标。此外，环保责任划分模糊，设计、工艺、制造环节存在权责脱节现象，导致节能环保要求难以有效落地，进一步加剧产品环保合规风险。

2.2 结构与能效匹配失衡，节能潜力未释放

结构设计与能效提升协同性不足是当前机械产品设计的突出问题。在结构设计方面，存在拓扑优化不足、冗余构件多、载荷匹配不合理等问题，既增加材料消耗与自重，又提升运行能耗。动力系统设计中，对电机、液压、传动等核心部件能耗特性预判不够精准，功率匹配与运行工况衔接不畅，易引发能效偏低、能耗浪费，影响产品节能水平。材料选用缺乏全生命周期考量，高强度、轻量化、可回收绿色材料应用不足，存在高耗材、难降解、高排放材料使用偏多情况，导致环保性能偏低，无法为节能目标提供有力支撑，同时增加产品全生命周期成本。

2.3 协同设计机制缺失，全流程管控薄弱

机械产品绿色设计涉及设计、工艺、制造、回收、运维等多方主体，需与环保标准、材料供应、检测认证密切协作，但当前缺乏完善的协同优化机制。与环保部门、认证机构的沟通对接存在滞后性，节能认证、环保检测、绿色标识等流程繁杂，延误产品上市周期。在多专业协同设计场景中，缺乏有效协调管理措施，结构、电控、工艺模块衔接不合理，易产生设计冲突，影响节能效果。同时，对全生命周期环保管控能力不足，面对材料升级、能耗新规、回收要求等变化时，未能制定完善优化方案，导致产品环保性能不足。此外，各环节信息传递不顺畅，缺乏高效数字化设计平台，使得设计优化与节能环保约束调整决策滞后，难以快速响应各类环保需求[5]。

3 节能环保约束下机械产品设计优化策略

3.1 绿色理念引领设计优化，低碳导向统筹结构与能效

在机械产品绿色转型、节能降碳的核心导向下，企业需以绿色设计为核心抓手，推动设计优化与节能环保约束从分散应对向协同联动转型。优化设计路径，应立足产品全生命周期，打破传统模式中性能设计与环保要求脱节的局限，构建结构优化与节能适配深度融合的设计体系，切实筑牢产品绿色化基础。

企业可搭建“结构轻量化—材料绿色化—能效高效化—管控数字化”四阶设计路径，以环保指标拆解为核心牵引，贯穿结构设计、材料选型、动力匹配、工艺优化等全环节，实现节能水平与产品性能同步提升。企业需建立设计参数与环保指标联动适配机制，将优化目标拆解为结构降重、节能降耗、绿色选材、低碳工艺等具体任务，由研发设计团队牵头推进核心举措落地。例如：在工程机械装备设计中，企业可组建专项设计小组，主导结构拓扑优化与轻量化设计，结合载荷条件与运行工况理顺受力布局。且企业可同步统筹材料、动力、电控等核心要素，兼顾节能目标与运行稳定性，避免出现结构冗余、能耗偏高问题，将设计责任细化到各专业模块与设计人员。

此外，企业需推动设计标准与节能环保体系深度融合，将绿色设计与优化流程纳入产品研发管理制度。在设计过程中，由技术专家组联合工艺制造人员梳理高能耗、高耗材、高排放等痛点，结合机械产品工况复杂、运行能耗大等特点，制定差异化优化方案，形成“方案设计—仿真优化—样机验证—迭代升级”闭环推进机制。为强化优化效能，企业可搭建数字化设计仿真平台，由技术骨干牵头整合结构优化、能效分析、环保评估等功能模块，实现设计参数与能耗指标实时联动，形成标准化设计规范，精准调整结构方案与节能配置，有效规避环保合规风险，全面提升机械产品设计绿色性与高效性。

3.2 锚定节能指标优化结构，按需选材提升环保性能

精准的结构优化与科学的绿色选材，是企业破解机械产品高能耗、高排放、高耗材行业痛点的核心路

径。企业作为产品设计研发主体，需兼顾运行性能与节能环保，破解结构冗余、能效偏低、材料粗放难题，搭建“结构优化—节能驱动—绿色选材—低碳制造”一体化设计体系，筑牢机械产品绿色发展基础。

企业可结合机械产品运行工况，针对性规划结构方案与节能动力配置，整合轻量化材料、高效电控、低碳工艺等核心要素，搭配精细化设计管理模式，兼顾运行效率与环保规范。企业需采用分层设计思路，先完成产品全流程结构拆解，明确各部件受力标准与衔接要求，再结合运行工况与节能目标，统筹优化结构布局、动力选型及材料配置，避免结构冗余与能耗浪费，为节能环保目标提供支撑。

依托设计优化与节能环保协同机理，结合机械产品使用特点，企业可预设多组结构方案与材料组合，覆盖不同载荷强度、能耗水平及环保要求。企业可采用动态优化策略，综合考量运行性能、节能效率及环保安全要求，灵活调整结构参数与材料配比，同步优化设计流程，减少冗余能耗，提升产品整体绿色水平。

而对于重载、连续运行等复杂工况，企业需升级结构与节能设计方案，加强多专业模块协同设计管理，并合理布局动力与传动系统，减少能耗损耗。设计过程以节能达标、环保合规、性能可靠为根本，依靠加强仿真验证、优化衔接结构、动态调整设计方案。以规避高能耗、高排放、高耗材风险，保证设计优化与节能环保约束精准匹配。

3.3 全流程压实设计责任，全域整合绿色资源要素

企业推进机械产品研发设计时，设计优化刚性落地与节能环保精准适配，是保证产品合规入市、提高绿色性能与效益的重要支撑。机械产品受能耗标准、排放限值、环保认证、回收政策等因素影响，能耗超标、环保不合规风险较大，企业应从产品全生命周期出发，从多方面压实设计责任，并整合绿色资源实现精准投放，破解设计瓶颈，筑牢产品绿色推进基础。

企业需以责任分层管控为切入点，搭建全流程绿色设计体系，破解责任虚化、管控脱节难题。构建“项目总控—模块分管—设计执行”三级责任架构，明确各层级岗位职责与环保指标要求，将总环保目标拆解为部件节能、材料绿色、工艺低碳等具体指标，细化到每日设计任务，签订责任状压实到人。同时，建立动态优化机制，依托数字化设计平台实时跟踪仿真数据，对比环保指标排查优化短板，针对薄弱环节制定专项改进方案。例如：针对动力部件能耗偏高，及时优化电控策略、选用高效电机，避免单一模块缺陷影响整体环保性能。

绿色资源整合直接影响设计优化成效，企业需开展全域绿色资源梳理，实现供需精准匹配。在人力资源方面，结合设计需求，配备具备绿色设计、节能优化经验的研发团队，按专业模块划分设计小组，避免人力冗余或能力不足，同时建立绿色技术人才库，应对突发设计优化需求。在材料资源管理方面，提前摸排轻量化、可回收、低排放绿色材料性能与供应周期，结合设计进度制定分级选用与验证计划，如针对工程机械产品，优先选用高强钢、工程塑料、复合材料等轻量化材料，降低自重与能耗，同步搭建材料环保性能动态评估机制，规避高污染、难降解材料使用问题。

同时，企业需强化多维度协同，联动优化设计与环保策略。加强与环保、认证、检测等相关单位沟通对接，提前办理节能认证、环保检测、绿色标识等相关手续，优化设计验证与上市流程，减少外部因素对研发进度干扰。针对多专业协同设计环节，合理调配设计资源与仿真工具，如统筹安排结构优化、能效仿真、环保评估时序，避免设计冲突与资源浪费。

4 结束语

节能环保约束下机械产品设计优化是保障产品绿色性能、控制全生命周期成本、应对行业标准升级的核心环节。当前机械产品设计存在理念滞后、结构能效失衡、协同不足等问题，需通过绿色理念引领、结构轻量化优化、节能驱动、绿色选材及全流程协同等策略破解。构建设计优化与节能环保约束协同联动的一体化管理体系，可有效提升产品绿色性能与能源利用效率，为装备制造业低碳转型与高质量发展提供坚实的保障。

参考文献：

[1] 王蒙,高琦,朱春秋,等.价值驱动的机械产品设计过程建模与评估[J].机械设计与制造,2025(12):366-371.
[2] 王成龙.深度学习驱动的三维机械产品设计优化方法研究[J].中国机械,2026(03):34-37.
[3] 范建波,陈景铿,吴东梅,等.某空调产品机械强度设计及仿真分析[J].环境技术,2026,44(01):98-103.
[4] 吴剑增,朱江,张金亮,等.风电液压偏航制动相关标准和产品设计优化[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(04):114-116.
[5] 丁宏钰,胡晓龙,印四华,等.基于人形机器人产品的机械设计基础课程教学改革与探索[J].时代汽车,2025(23):50-53.