

现有机械产品优化升级中性能提升与成本控制的平衡策略

彭书军 张 超

湖北天腾重型机械股份有限公司 湖北 荆门 448000

【摘 要】：针对机械产品迭代优化过程中性能提质与成本管控动态失衡、优化方式片面、产品性价比偏低的行业共性问题，本文以全生命周期成本理论与价值工程理论为支撑，系统剖析产品性能与经济投入的双向制衡机制，归纳单一维度优化、经验化非标优化模式的核心弊端。结合工程机械与通用装备实际工况，构建性能与成本协同平衡理论模型及量化评价体系，提出分级阈值管控、全流程成本治理、场景化动态权重适配的一体化优化策略，有效破解提质与降本相互制约的行业痛点。研究阐明了二者动态匹配规律，可为存量机械产品精细化迭代升级提供理论支撑与实操依据，助力制造企业实现提质、降本、增效的高质量发展目标。

【关键词】：机械产品；迭代优化；性能提质；成本管控；博弈平衡；全生命周期

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.055

引言

制造业正向精细化、集约化转型升级，相较于全新设备研发，存量机械产品迭代优化凭借周期短、风险低、改造成本可控的优势，成为企业装备升级与提质增效的核心手段。现代工业工况呈现高强度、复杂化、多元化特征，对机械设备的运行精度、结构可靠性与服役稳定性提出更高标准，推动行业开展适配性精细化迭代改良。目前国内机械产品优化体系仍存在明显短板，多数企业固化于单一优化思维，或片面追求性能极致、忽视投入经济性，或粗放压缩生产成本、降低设备品质底线。

同时优化设计多依赖工程经验，缺乏量化标准支撑，易引发性能冗余、资源浪费、设备运行稳定性不足等问题，制约产品综合性价比与产业化应用价值。现有研究多集中于单一性能强化或局部工序降本，较少基于全生命周期视角统筹性能提质与成本管控的协同关系，尚未形成体系化、可落地的平衡优化理论与方法，理论研究滞后于工程实操需求。基于此，本文结合实际工况系统剖析二者制衡机理，梳理现有优化缺陷，构建协同平衡模型与量化评价体系，提出适配产业场景的优化策略，为机械产品高质低成本迭代升级提供理论支撑与技术参考。

1 机械产品性能与全生命周期成本耦合博弈机理

1.1 核心性能与全生命周期成本内涵

存量机械产品优化属于低风险迭代改良技术，依托现有设备结构与成熟工艺完成精细化升级，无需颠覆性研发重构，可通过结构修整、参数微调、工艺迭

代等方式补齐服役短板，适配复杂工业工况并提升产品综合应用价值。设备核心服役性能包含结构、运行与可靠性能三类耦合维度，分别决定设备安全承载能力、生产作业精度与长期服役稳定性，是评判产品使用价值与运维经济性的核心依据。区别于传统仅核算出厂造价的评价方式，全生命周期成本覆盖产品研发、选材、加工、调试及运维全流程，各阶段成本相互关联，前期设计与技术选型直接决定设备后期损耗与运维成本，为性能与成本协同优化提供完整研判体系^[1]。

1.2 性能与成本的双向制衡关系

产品性能升级与经济投入具备双向制衡特征，贴合工况的精准改良可实现品质与效益协同提升。针对性结构补强、工艺优化与材料升级虽小幅增加前期生产成本，但能够精简结构冗余、降低运行能耗与磨损，减少设备故障隐患与后期运维、停机损耗，形成精准投入、长效减负的良好发展模式。若片面压缩前期优化投入，会导致设备品质迭代不足、留存结构缺陷，长期服役中易出现性能衰减、故障频发等问题，持续抬高全周期运维成本，大幅降低产品综合服役效益。

1.3 优化失衡特征与深层诱因

当前行业产品优化存在显著的系统性失衡问题，研发投入存在边际效益递减现象，成本增量难以匹配对等性能提升。企业普遍侧重管控生产显性成本、忽视长期运维隐性损耗，短期经营思维突出。同时行业缺乏标准化协同优化体系与量化评判机制，优化方案多依赖人员经验，缺乏数据支撑，致使性能提质与成本管控难以协同适配，各类片面优化问题难以根治。

作者简介：彭书军，男（1989.04.15），汉，湖北荆门，大专，机械设计研究开发，总工程师、具体工作：主导新项目新产品开发、现有产品优化升级迭代、新技术市场应用。

2 现有机械产品优化模式的突出问题与短板

2.1 单一维度优化模式的固有弊端

当前机械产品迭代优化普遍存在维度单一、目标失衡的问题，难以适配存量装备高质量升级需求。部分技术方案秉持性能至上思路，片面追求设备极限结构强度、运行精度与服役寿命，依托高端材料、复杂工艺及多轮仿真试验堆砌性能参数，忽视全生命周期投入产出效益与市场性价比，小幅性能提升伴随大幅成本上涨，造成研发与生产资源浪费，弱化产品产业化竞争力。多数中小制造企业存在短期经营倾向，以压缩出厂成本为核心，通过简化结构设计、替换低规格原材料、删减精度检测工序压降前期投入，粗放式降本易引发设备精度不足、结构稳定性差、故障概率偏高等质量缺陷，缩短设备服役周期，后期运维、配件更换及停机损失远高于前期节约成本，整体经济效益与市场口碑较差。

2.2 经验化优化体系的行业短板

除优化维度失衡问题外，经验化、非量化、无标准化约束的优化体系是行业共性短板。国内多数中小制造企业尚未建立规范化迭代优化机制，方案设计、工艺选型与参数调试多依赖技术人员主观经验，缺乏标准化流程与数据支撑，无法精准区分刚需性能与冗余性能，难以科学匹配成本投入与性能增益关系^[2]。同时企业缺少动态适配调控机制，不能结合设备工况特征、市场定位与预算条件灵活调整优化尺度，工程实操中易出现资源浪费、性能不达标、优化方向偏移等问题，整体优化工作的科学性与规范性有待提升。

3 性能与成本协同平衡的优化原则与理论模型

3.1 协同平衡优化核心原则

针对机械产品优化过程中性能与成本相互制约的工程痛点，结合存量装备迭代升级的实际特征，依托全生命周期成本与价值工程理论，可建立适配工业实操的协同优化准则，为方案设计与落地提供理论支撑^[3]。优化工作需紧扣现场工况刚需，以设备结构强度、运行精度与服役稳定性为硬性指标，聚焦生产实际需求开展精准改良，删减无工程意义的冗余结构与参数升级，从源头遏制无效资源消耗。

同时突破传统仅关注制造阶段成本的局限，统筹设计、加工、运维及报废全周期投入，协调前期改造成本与后期运维损耗的联动关系，平衡短期生产效益与长期服役价值。在此基础上，方案选型需结合设备负荷特征、应用场景与市场定位匹配材料及工艺，避免高端技术与材料的盲目错配滥用，并根据企业预算

动态调整优化优先级，适配差异化的产品升级需求。

3.2 协同平衡模型与量化评价体系

价值工程理论可有效解决机械产品单一维度优化的片面性缺陷，通过关联产品服役使用价值与全周期经济投入，为二者协同平衡优化提供核心分析框架。结合前文梳理的性能层级与成本构成体系，本文构建存量机械产品协同平衡优化模型，将产品性能细化为核心性能、辅助性能与冗余性能三类量化维度，同时把全生命周期成本划分为刚性基础成本与弹性可变优化成本^[4]。其中，基础成本为产品改造必备固定投入，可调空间极小；可变成本伴随性能升级、工艺迭代产生，具备精细化调控空间。模型通过量化比对不同优化方案的性能增益幅度与成本增幅，筛选投入产出比最优的升级路径，实现性能提质与成本投入的动态适配，从理论上规避性能过剩、过度降本等片面优化问题。

为弱化传统经验化设计的主观偏差，依托该模型搭建配套量化评价体系，设置性能达标率、有效性能提升幅度、单位性能投入成本、全生命周期成本节约率、综合价值系数五项核心指标，明确各指标测算逻辑与行业适配阈值，可精准识别性能过剩、成本冗余、性能不足等失衡问题，有效区分有效优化与无效优化。该量化体系可为方案设计、校验筛选提供客观数据支撑，摆脱人工主观评判的局限，显著提升产品迭代优化的科学性与规范性。

4 机械产品优化升级的动态平衡实施策略

4.1 分级性能阈值管控体系

依托前文构建的协同优化准则与量化评价体系，企业可建立标准化分级性能阈值管控模式，以精细化分层管理规范产品迭代优化流程，从根源杜绝无效冗余升级行为，实现设备性能提质与生产成本管控的精准动态平衡。结合工业实际工况载荷、设备服役场景与性能应用价值，可将机械产品服役性能系统划分为刚性核心性能、柔性优化性能及冗余无效性能三个层级，针对不同性能类别匹配差异化改造标准与资源投入规范^[5]。

其中，刚性核心性能直接决定设备运行安全性与工况适配能力，是保障工业生产连续稳定开展的核心前提，企业需明确该类性能的最低达标阈值，通过结构优化迭代、加工工艺升级、精准化选材匹配等落地技术手段夯实设备基础服役能力，在完全满足工况刚需的前提下杜绝多余结构叠加与高端配置滥用，有效规避源头性无效成本消耗。柔性优化性能无需片面追求极致参数指标，可结合企业研发生产预算、产品市

场定位及客户需求适度开展迭代升级,精准把控额外资源投入尺度。针对无实际工况支撑、不影响设备基础服役稳定性的冗余性能,可直接删减对应优化工序、精简设备冗余结构,在稳固产品核心服役品质的基础上实现成本压降。该分级管控体系精准聚焦产品刚需优化内容,可有效破解行业普遍存在的过度优化与资源浪费难题,稳步提升机械产品迭代优化的性价比与市场核心竞争力。

4.2 全生命周期精细化成本治理

全生命周期精细化成本治理是兼顾产品提质增效与经济管控的长效核心路径,该体系摒弃了传统单一生产环节强制压降成本的粗放管控模式,通过覆盖产品全流程的损耗排查与工艺优化,实现提质不降质、降本不减效的优化目标。在产品设计与原材料选配阶段,依托仿真模拟技术替代传统实体样机试错模式,提前预判设备结构缺陷与性能短板,大幅降低样机试制产生的材料损耗与人工工时消耗,有效缩短产品迭代优化周期。

同时严格遵循工况适配基本原则匹配对应规格原材料,规避高端材料盲目滥用、低端材料错配适配等不合理现象,兼顾材料使用的工况适配性与经济合理性。在加工装配与后期服役运维阶段,系统梳理生产全流程工序,精简重复加工、无效校验、多余精加工等冗余环节,优化核心加工工艺参数,有效降低原材料损耗与产品返工概率,提升零部件一次成型合格率与整体装配精度。依托前期精细化性能优化成果提升设备运行稳定性与服役周期,从源头减少设备故障维修、配件更换及生产停机造成的隐性经济损耗。整套精细化成本治理体系依托企业内部流程优化即可落地实施,无需依托外部资源加持,可全方位规避产品全生命周期无效消耗,高度适配中小制造企业的实际生产运营场景。

4.3 场景化动态权重适配机制

不同品类机械产品的服役工况、载荷强度、应用

场景及市场定位存在显著差异化特征,固定统一的优化标准无法适配多元化产品的迭代升级需求,据此需构建场景化动态权重适配机制,依据产品属性差异化调整性能提质与成本管控的优化权重优先级。面向高精度、高负荷、连续性作业的工业核心场景,高端精密装备与专用工况设备的运行精度、结构稳定性及服役可靠性直接决定生产成品品质与生产效率,市场竞争核心聚焦于产品综合性能,对此类装备可适度抬高性能优化权重,合理放宽成本浮动区间,优先保障设备工况适配能力与服役品质,依托性能升级提升产品市场溢价空间。

针对常规工况使用的通用民用装备,行业市场竞争以性价比为核心导向,产品只需满足基础服役标准即可适配日常生产需求,优化工作需以性能达标为刚性底线,侧重抬高成本管控权重,严格管控高端工艺、高端材料的无效投入,杜绝无实际价值的参数冗余升级。该动态权重适配模式能够精准匹配不同品类机械产品的市场定位与工况需求,最大化挖掘产品综合服役价值,适配现阶段装备制造行业差异化、市场化的发展格局。

5 结论

本文聚焦存量机械产品迭代优化中的性能与成本失衡核心问题,基于全生命周期成本与价值工程理论,系统阐释了产品性能与经济成本的双向博弈制衡机理,总结了行业单一维度优化、经验化非量化优化的突出短板。通过搭建性能-成本协同平衡理论模型及配套量化评价体系,针对性构建分级性能阈值管控、全流程精细化成本治理、场景化动态权重适配的系统化优化方案,有效破解了提质与降本相互制约的行业难题。整套研究成果理论逻辑严谨、实操性较强,能够为机械产品精细化迭代升级提供科学指导,助力制造企业平衡产品品质与经济效益。后续可结合具体设备型号开展仿真验证与工程试验,进一步优化评价指标权重与适配参数,提升优化策略的工程普适性与落地精度。

参考文献:

- [1] 原思聪,江祥奎,段志善,等.基于灰色系统理论的机械产品设计综合评价[J].计算机工程与应用,2008,(27):85-86+94.
- [2] 张泽琳,魏庆魁,王蕾,等.考虑可再制造性的机械产品设计方案优化方法[J].现代制造工程,2023,(12):121-131.
- [3] 张大维.数字孪生技术在装备全寿命费用管理领域的应用[J].指挥控制与仿真,2022,44(3):122-127.
- [4] 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.
- [5] 孙洪龙.机械设备生命周期管理的优化研究[N].安徽科技报,2025-01-22(015).