

降本增效目标下制造业能源成本动态优化路径

罗 利

重庆科瑞制药（集团）有限公司，重庆 400060

摘 要：全球能源危机与环境问题加剧，制造业面临降本增效压力。通过分析其能源成本构成及影响因素，探讨技术进步与政策环境的作用机制，构建了制造业能源成本动态优化路径。该路径提出实施方案与评估反馈机制，强调数据收集、模型建立、方案实施及效果评估。旨在帮助企业有效控制能源成本，提升能源利用效率，实现降本增效与可持续发展。

关键词：制造业；能源成本；动态优化；降本增效；可持续发展

0 引言

作为国民经济的中流砥柱，制造业的蓬勃发展离不开能源的支撑，但其与生俱来的高能耗属性也使其能源成本居高不下，成为制约其竞争力提升的关键因素。当前，国际能源市场风云变幻，价格起伏不定，加之环保要求日趋严格，制造业在能源消耗上的压力与日俱增。如何在保障生产的同时，有效压降能源开支，提升单位产出效益，成为摆在众多制造企业面前的迫切课题，关乎其长远发展。因此，有必要深入剖析制造业能源成本的内在结构及其受多重因素影响的复杂机理，并着眼于降本增效的核心目标，探索一条能够动态适应环境变化的能源成本优化之路，为制造业的绿色、高效、可持续发展提供有价值的思路与借鉴。

1 制造业能源成本构成与影响因素分析

1.1 制造业能源成本的基本构成

制造业能源成本构成复杂，是降本增效分析的基础。其核心部分是能源消耗成本，涵盖了生产过程中直接使用的电力、燃料、蒸汽等。此外，能源转换成本也不容忽视，例如将电能转化为热能以满足工艺需求所产生的损耗与投入。同时，维持能源系统的硬件投入，包括设备的购置、日常维护及更新换代，构成了能源设备成本。企业为提升能效而进行的能源管理活动、节能技术改造等，形成了专门的能源管理成本。最后，还需考虑能源相关税费，如能源税、环保税等政策性成本。

1.2 能源价格波动对制造业的影响

能源价格的波动是影响制造业经营状况的关键外部因素，其直接冲击体现在生产成本与利润的变动上。当能源价格攀升时，无论是电

力、燃料还是其他能源形式，其直接消耗成本的增加都会迅速传导至产品总成本，压缩企业的利润空间。这种压力在成本敏感型行业中尤为显著，若成本上涨幅度过大，企业可能面临经营困难甚至倒闭的风险^[1]。相反，能源价格的回落则为制造业带来了降低生产成本、提升产品价格竞争力的良机。企业能够以更低的成本维持生产，从而在市场中获得更有利的地位，增强抵御其他风险的能力。因此，能源价格的起伏直接关联着制造业的盈利能力和市场表现，是企业必须高度关注并加以应对的重要变量。

1.3 技术进步对能源成本的作用

技术创新是制造业降低能源成本的关键驱动力。它并非单一举措，而是贯穿于生产全过程的系统性变革。通过引进先进的节能技术，例如高效电机、变频控制系统、余热回收装置等，可以直接减少能源在各个环节的损耗。同时，对生产工艺进行持续改进，优化生产流程，消除能源浪费的环节，也能显著提升能源利用效率。此外，对现有设备进行智能化、高效化配置与升级，或引入自动化、数字化管理系统，可以更精准地控制能源使用，避免不必要的消耗。

1.4 政策环境对能源成本的影响

国家能源政策与环保法规从供需两端和使用规范上影响制造业能源成本。在能源供给侧，政府对新能源产业的扶持政策（如补贴、税收优惠）加速可再生能源替代传统能源，推动能源供给结构优化，进而降低企业对高成本传统能源的依赖；而对高耗能能源的限制政策（如产能管控、价格调节）则可能推高相关能源的使用成本。环保法规层面，污染物排放标准的加严要求企业投入更多资金用于设备环保改造或清洁能源替代，直接增加能源使用的合规成

本；碳排放交易机制的推行，更使企业能源消耗与碳成本挂钩，倒逼其优化能源消费结构。

2 制造业能源成本动态优化理论基础

2.1 能源成本优化的基本理论

能源成本优化以多维度理论体系为支撑，核心在于通过系统性分析与模型构建实现成本与效率的平衡。成本效益分析理论基于边际效用原理，通过量化能源投入与产出的经济关系，建立成本—收益评估框架，帮助企业在能源采购、技术改造等决策中，比较不同方案的投入成本与节能收益，从而确定最优能源消耗路径。资源分配理论则从系统优化视角出发，将能源视为有限资源，借助线性规划、动态规划等数学模型，在满足生产需求的约束条件下，优化不同能源品种（如电力、煤炭、天然气）的配比结构，以及在不同生产环节的资源分配比例，以实现单位能耗产出的最大化^[2]。此外，生命周期成本理论贯穿能源优化全过程，从能源获取、转换、使用到废弃处理的全周期视角，考量隐性成本与长期效益，引导企业选择全周期成本最低的能源方案。

2.2 动态优化的概念与方法

动态优化是基于时间维度的系统性调整机制，其核心在于通过建立环境变量与决策变量的动态响应关系，实现目标函数的最优化。在理论层面，该方法以控制理论和最优控制模型为基础，将能源成本管理视为随时间演化的动态系统，外部环境中的能源价格波动、技术迭代、政策调整等变量被纳入状态方程，通过构建目标函数（如成本最小化、效率最大化），形成可实时更新的优化策略。具体方法上，动态规划法通过将问题分解为多阶段决策过程，在每一时段根据当前状态（如能源库存、价格信号）计算最优决策；随机优化则引入概率模型处理价格波动等不确定性因素，通过构建情景集模拟不同环境下的成本变化路径；模型预测控制（MPC）则结合滚动优化思想，基于实时数据更新预测模型，不断修正下一阶段的能源采购、使用方案。

2.3 制造业能源管理的系统性思维

制造业能源管理的系统性思维，强调将能源使用视为由技术、设备、流程、管理等要素构成的有机整体，通过多维度协同实现成本控制与效率提升。从能源输入环节看，需统筹一次能源（如煤炭、天然气）与二次能源（如电力、蒸汽）的配比结构，结合企业生产特性构建多元化能源供给体系，避免单一能源价格波动带来的成本风险；在转换环节，注重设备系统的

协同优化，例如将工业余热回收系统与动力设备联动设计，减少能量损耗；使用环节则需建立全流程能耗监控体系，通过识别高耗能工序（如冶金行业的熔炼环节、化工行业的反应工段），从工艺改进与设备升级双维度实施节能改造^[3]。管理层面，系统性思维要求打破部门壁垒，将生产、设备、采购等部门纳入能源管理网络，形成从战略规划（如年度能源消耗预算）到执行落地（如班组能耗考核）的闭环管理体系。

2.4 相关模型与算法的应用

制造业能源成本动态优化依托多类数学模型与算法构建量化决策体系。线性规划模型通过建立能源消耗与成本的线性约束关系，在电力、天然气等能源配比优化中，以成本最小化为目标函数，结合生产负荷、设备能效等约束条件，求解最优能源采购与分配方案；非线性规划则适用于处理能源转换效率非线性特征（如热泵系统能耗曲线），通过迭代算法搜索复杂函数空间的全局最优解。动态规划将时间维度拆解为多阶段决策过程，基于各时段能源价格预期与设备状态，构建递推关系式以确定各阶段最优能源调度策略。随机优化算法引入概率分布描述能源价格波动等不确定性，通过蒙特卡洛模拟生成多情景优化方案；模型预测控制（MPC）则结合实时数据更新预测模型，以滚动优化方式不断修正未来时段的能源使用计划。

3 制造业能源成本动态优化路径设计与实现

3.1 优化路径的设计原则

优化路径设计需遵循四大核心原则，确保能源管理策略科学有效。目标导向原则要求以降低能源成本、提升利用效率为核心目标，通过量化指标（如单位产值能耗、成本降幅）为优化方案锚定方向，避免盲目投入。系统性原则强调打破部门与环节壁垒，将能源采购、转换、使用等环节纳入统一框架，综合考量设备匹配、工艺流程、管理机制等要素，实现全链条协同优化。动态性原则基于外部环境的不确定性，要求方案具备自适应能力，能够随能源价格波动、技术迭代、政策调整及时更新策略，维持优化方案的时效性^[4]。可行性原则聚焦企业实际资源与能力边界，在技术选型、资金投入、人员配置等方面确保方案可落地，避免因过度理想化导致执行失效，最终实现理论设计与实践操作的平衡。

3.2 优化路径的具体实施方案

能源成本优化路径以数据驱动为基础，构建闭环管理体系。通过智能电表、传感器等设

备对企业全流程能源消耗数据进行实时采集,系统梳理电力、燃气等能源的成本构成,深度剖析设备能效、生产负荷等影响因素,形成结构化数据资产;运用时间序列分析、机器学习算法,结合企业生产计划、市场环境变化,对未来能源需求进行动态预测,为资源配置提供前瞻性依据;根据企业实际需求选择线性规划、动态规划等数学模型,将能耗约束、成本目标、设备参数等变量纳入模型框架,构建适配的能源成本优化模型;基于模型运算结果制定具体方案,涵盖能源采购策略调整、设备改造升级、生产流程优化等内容,并建立跨部门协同机制推动实施;建立量化评估体系,定期监测能耗强度、成本降幅等核心指标,依据评估结果反馈优化模型参数与实施方案,形成持续改进的动态循环。

3.3 实施过程中的关键问题与应对策略

在能源成本优化实施中,需针对性解决三类核心问题。数据收集层面,面对工业现场设备协议不统一、数据采集断点等问题,可构建标准化的数据采集架构,通过部署边缘计算网关实现不同协议设备的数据融合,同时建立数据清洗与校验机制,通过异常值检测算法提升数据质量,为后续分析奠定基础。模型应用方面,针对动态优化模型复杂度高的挑战,可采用分层建模策略:底层用简化物理模型描述设备能耗特性,顶层通过机器学习算法处理不确定性因素,或引入模型降阶技术,在保证精度的前提下降低计算复杂度,确保模型在工业场景中的实时性要求^[5]。方案落地阶段,为破解部门协同壁垒与员工认知偏差,需构建多层次沟通机制:管理层通过战略研讨会明确优化目标与资源支持,执行层开展节能技术培训与案例分享会,操作层建立能耗考核与激励制度,将节能目标纳入员工KPI体系,同时借助数字化看板实时展示能耗数据与优化成效,增强全员参与感,形成从认知到行动的转化链条。

3.4 优化效果的评估与反馈机制

能源成本动态优化效果评估需构建科学、全面的体系,以量化指标为核心,结合动态反馈机制实现方案迭代升级。评估体系中,选取单位产值能耗、能源成本占比、能效提升率等核心指标,从经济与效率双维度衡量优化成效;同时纳入设备运行稳定性、碳排放强度等辅助指标,确保评估的系统性。评估周期依据企业

特性设定,短期以月度、季度为单位监测能耗与成本波动,长期以年度为周期评估战略目标达成度。反馈调整环节,通过对比实际数据与优化目标,分析偏差产生的技术、管理或外部环境因素,若因模型参数设置不合理导致预测偏差,则优化算法与参数;若因执行层面问题,则强化流程管控与人员培训。将评估结果反向输入能源管理系统,持续优化能源采购策略、设备运行参数及生产调度方案,形成“评估—分析—改进—再评估”的闭环管理机制,保障能源成本优化方案始终适配企业运营与环境变化需求。

4 结语

制造业能源成本动态优化是融合理论创新与实践探索的复杂系统工程,需企业突破单一环节优化思维,以系统性视角统筹能源全链条管理。从动态规划、成本效益分析等理论模型的应用,到数据驱动的预测与决策机制构建,需将多维度方法贯穿于能源采购、使用、管理的全过程。同时,企业应建立动态响应机制,灵活应对能源价格波动与政策变化。通过持续优化能源结构、提升利用效率,制造业不仅能有效降低运营成本、增强市场竞争力,更能推动产业向绿色低碳转型,实现经济效益与环境效益的协同发展,为可持续发展目标奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 杜庆军. 探析数字化转型下能源制造业的成本控制管理优化策略[J]. 中国经贸, 2024, (33): 43-45.
- [2] 张芸. 新能源制造业物流体系建设最佳路径探讨[J]. 物流技术与应用, 2023, 28(07): 88-90.
- [3] 张文会, 韩建飞, 张凯. 要素成本持续上涨趋势下保持我国制造业竞争优势的建议[J]. 中国国情国力, 2022, (06): 66-68.
- [4] 梁韬. 试析制造业企业的成本核算与管控[J]. 纳税, 2019, 13(18): 240-241.
- [5] 韩建飞, 张淑翠, 张厚明. 我国与世界主要国家制造业成本比较及对策研究[J]. 发展研究, 2019, (02): 38-40.

作者简介: 罗利(1986.01—), 女, 汉族, 重庆綦江, 重庆科瑞制药(集团)有限公司, 本科学历, 中级经济师, 研究方向: 降本增效。