

# 化工工程节能降耗工艺优化与经济效益评估

杨松 (滨化集团股份有限公司, 山东 滨州 256600)

李新晖 王彬 (山东滨化东瑞化工有限责任公司, 山东 滨州 256600)

**摘要:** 化工工程具有能源损耗高的特点, 对其工艺优化以节能降耗、提升经济效益是工程发展的核心方向。文章对化工工程节能降耗工艺进行介绍, 分析其在反应、分离、动力工程、设备自动化和资源回收等方面的优化, 建立多尺度的多维优化系统。通过热力调控、技术升级和系统协调等途径, 对能源消耗进行精确控制, 并构建综合直接和间接利益的评价体系, 以达到技术可行性和经济性的协调匹配的目标。研究结果将为化学工业突破能源瓶颈, 提升核心竞争力, 促进我国工业的绿色、低碳发展。

**关键词:** 化工工程; 节能降耗; 工艺优化; 经济效益

**中图分类号:** TQ021.8; F406.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5167 (2026) 004-0058-03

## Process Optimization and Economic Benefit Evaluation of Energy Saving and Consumption Reduction in Chemical Engineering

Yang Song (Binhua Group Co., Ltd., Binzhou Shandong 256600, China)

Li Xinhui, Wang Bin (Shandong Binhua Dongrui Chemical Co., Ltd., Binzhou Shandong 256600, China)

**Abstract:** Chemical engineering is characterized by high energy consumption, making process optimization for energy conservation and cost reduction a core focus for its development. This paper introduces energy-saving technologies in chemical engineering, analyzing optimizations in reaction processes, separation techniques, power systems, equipment automation, and resource recovery. A multi-scale, multidimensional optimization system is established to precisely control energy consumption through thermal regulation, technological upgrades, and system coordination. A comprehensive evaluation framework integrating direct and indirect benefits is developed to achieve a balance between technical feasibility and economic viability. The research findings will help the chemical industry overcome energy bottlenecks, enhance core competitiveness, and promote green, low-carbon industrial development in China.

**Keywords:** Chemical Engineering; Energy Conservation and Consumption Reduction; Process Optimization; Economic Benefits

在世界能源短缺和环境保护日益严格的背景下, 化工工程的高能耗高排放发展方式受到了极大的冲击, 实现低碳经济的绿色发展是产业转型的必由之路。化工过程的复杂性和整个链条上的能耗问题, 以及传统过程系统的结构弊端和能量效率的不足, 使得能耗和环保问题更加突出。过程优化是节能减排的核心途径, 对其进行经济评价是保证项目实施效果的重要支持。在这一背景下, 对化工工程节能降耗工艺进行优化和经济性评价, 能够促进工业的能源效率提升和高质量发展。

### 1 化工工程节能降耗工艺简介以及现存问题

#### 1.1 化工工程节能降耗工艺

化工工程节能降耗工艺以化工热力学、反应动力学等为主要研究内容, 以工艺参数调控、设备升级、系统匹配和资源回收等为手段, 构建完整的化工过程能耗减排、污染物减排和提高资源利用率的综合技术系统。涵盖反应—分离—动力—自动控制等核心内容, 以高效率的能源利用和资源循环再利用为核心目标, 实现能源梯级利用和资源循环再利用, 以提高我国化

学工业的核心竞争力。

#### 1.2 节能降耗工艺现存问题

当前阶段化工工程节能降耗工艺虽然发挥出一定的优势, 但在新技术以及新材料等不断发展的背景下, 已经逐渐暴露出许多问题。包括常规工艺落后, 一些设备的反应转化率低, 副产物含量高, 造成了大量的能耗和材料的浪费<sup>[1]</sup>。分离纯化过程中, 由于常规蒸馏塔回流比不合理和萃取剂的选择性较差, 导致能量利用率较低。各供水设施的配套程度不高, 存在着供热管网保温效果差和凝结水回收利用不够理想、电能效率不高、余热回收利用不够深入等问题。设备运行和自动化程度落后, 一些高耗能的装备因老化、破损、渗漏等造成能量损失; 自动控制系统准确性差, 很难对过程参数进行优化等。为进一步提升化工工程节能降耗工艺的作用, 就需要对其进行优化。

### 2 化工工程节能降耗工艺优化措施

#### 2.1 化工反应工艺优化

反应过程是化学过程中能量消费的关键步骤, 其

关键是通过热力和动力学的控制,达到提高反应速率和减少能量损失的目的。筛选出高活性、高选择性和高使用年限的催化剂,如采用沸石作为催化剂,可大幅降低能源消耗。在此基础上,完善催化材料的再生流程,通过对再生介质中氧气的浓度和温度的精确调控,能提升反应效率。采用正交实验法,研究温度、压力、空速、反应物比例等因素对反应过程的协同作用规律,获得在反应转化率、选择性和能耗之间取得平衡的最佳工艺组合。对反应器的结构进行改造,通过改造现有的高效反应器(例如固定床和流化床)来代替常规的反应器,改善内部部件的构造,增强传质和换热性能,提高反应的效率。通过串联反应和协同反应等手段,将多个反应流程有机地串联起来,达到反应热量的高效回收和副产品的就地定向转化,大幅减少了系统的总能量消耗。

## 2.2 分离工艺节能优化

分离过程的能量消耗约为30%—50%,其关键是通过技术改造降低能量损失。分离工艺包括蒸馏、萃取和吸收以及结晶反应。其中对于精馏过程的优化,主要包括:热泵精馏、多效精馏和邻塔等。热泵精馏是利用压缩机对顶部的低压蒸汽进行增压后,将其用作底部的再沸器,从而达到对顶部剩余热量的有效利用,特别适合于以醇-水精馏等为代表的低沸点精馏系统,可以节省60%—70%的能源消耗。多效精馏采用多级多塔串级传热方式,达到了水蒸汽的循环再利用;间壁式精馏工艺将多条原料分流过程集成在一起,降低了装置的用量和能源消耗。优化萃取与吸收工艺的关键在于优选出具有较好性能的材料,提高其对萃取的选择性,并对萃取温度、压力、萃取液的相态等进行优化,以减少萃取过程的能量消耗<sup>[2]</sup>。以其较小的能量消耗为特点,逐渐取代了常规能源密集型的分离过程,根据具体的物质系统,选用具有高通量和高选择性的分离膜,确定操作压力、温度等适用工况,以达到高效率、高效率的分离目的。结晶工艺优化通过调节冷却速度和搅拌强度等因素,实现对晶粒形态和粒径的调控,并选择高效的析晶装备,减少生产中的能源消耗和运行费用。

## 2.3 公用工程系统节能优化

电力系统是化工过程中能量传输和支持的重要组成部分,其优化需要关注能量传输损失和提高能量使用效率。从管网保温、凝结水回收和压力配合三个角度优化。利用有效隔热层改善了管网的隔热效果,降低了热量的散失。构建完备的凝结水回收体系,提高凝结水的回收率和循环利用效率,减少新用水量。对汽轮机进行了合理的分级,达到了蒸汽分级的目的<sup>[3]</sup>。

通过更换高效、节能的电动机,减少电动机的运转消耗,采用变频控制,可随负荷改变而调整马达速度,降低无效能量消耗;对电力系统进行了优化,提高了功率因数,减少了网损。对循环水进行优化,着重解决了循环水的质量问题,抑制了水的结垢和侵蚀,提高了传热效率。对冷却塔进行改造,并对其进行了优化,提高了制冷效果,适当调节冷却系统的进、出口温度差,减少了循环泵的能源消耗。此外,余压回收是对公共设施的一种有效辅助,本项目拟从换热器的结构设计和新工艺的运用两方面入手,实现能量的有效回收:将螺旋板换热器、板式换热器等高效传热装置取代常规的管壳式换热器,使废热资源利用率提高30%。

## 2.4 化工设备与自动控制工艺优化

设备是化工工程实现的载体,其能量利用率和工作稳定性对能源消耗有着重要的作用,因此,节能装备的升级需要将重点放在关键耗能装备上。对高耗能的设备进行更新,要选择高效的换热器、变频压缩机和节能器等高效节能的装备,以取代常规的低效能的装备,提高装置的能量利用率,比如以变频螺旋压缩机取代往复压缩机,使其工作能量消耗下降25%~30%,且具有较好的减振降噪效果<sup>[4]</sup>。设备运行维护方面,利用振动监测、油液分析等预测性维护技术,对设备进行运行和运行的优化,实现对设备密封泄漏和轴承磨损的实时监测,如:解决密封泄漏可以降低10%—15%的蒸汽损失。通过定期清焦和除垢,提高设备换热效果,防止设备性能下降引起的能源消耗增加。自动化工艺升级方面通过对DCS和PLC系统结构进行优化,提高了对信号的获取和处理的响应速率,达到了对过程参数进行实时闭环控制的目的。在此基础上,将实时生产数据、设备运行数据和能源数据进行融合,建立与实物体系1:1比例的虚拟模拟,进行过程参数的虚拟调试和优化。

## 2.5 资源循环利用工艺优化

通过建立物质-能量的闭环,降低资源的消费和能量损耗。在副产物组分解析基础上,进行有针对性的生产过程,以乙烯裂化副产碳五馏分为原料,采用精细蒸馏技术,将高附加值的异戊二烯、间戊二烯等高增值产物分离出来,达到降低能耗和提高经济效益的目的。针对该过程中产生的废弃催化剂,采用焙烧和浸出等方法进行贵金属的回收,达到既可再生资源,又可减少固体废物处置的能源消耗。通过建立“产水-深度净化-回用”的闭环体系,通过超滤+反渗透(UF-RO)的深度处理,使其出水质量满足工业用水的要求,回收率提高到80%,降低了新水的用量和污水的处理能耗。采用流程水闭环循环方式,将冷却废水、

洗涤废水等进行分级回收,再回用相应的生产过程,达到了用水的分级综合利用。在能源梯级利用方面,根据不同的能量等级,以高阶能量为核心,以中低阶余热为热源,以辅助供热、保温等辅助功能为目标,建立能量分级综合开发体系,实现能量的高效利用。

### 3 化工工程节能降耗工艺经济效益评估

#### 3.1 评估指标体系设计

##### 3.1.1 直接效益指标

能耗节省是指对各种能耗如电力、蒸汽、燃油等进行优化后的减排限额,体现出了节能所带来的直接能量利益。原料节省额计算相应于最优原料消耗减少的经济值,反映出提高材料使用效率的经济效益。通过比较设备维修等费用在优化前后的变化情况,评价设备的运行费用对运行费用的影响。投资回收期分为静态和动态两种,前者求出初期投入占年度净利润之比,后者将资本的时间价值纳入其中,从而能更准确地反映出项目的回收周期。用年净收入与原始投入之比来评价能源节约型工程的投资回报率<sup>[5]</sup>。

##### 3.1.2 间接效益指标

环境保护节省额计算优化后的排污费和废弃物处理费等环境保护有关的支出限额,反映了环境保护的经济效益转换。因生产能力提高而产生的附加利润,可根据生产过程的改进,生产效率提高而增加的销售量。通过市场认同和顾客满意度等间接的方法,对企业的品牌价值和市场竞争力进行了全面的评价。政策补助和税收优惠收入是指企业在执行节能减排工程中所得到的各种政府补助和税费减免限额。

#### 3.2 经济效益评估方法的筛选与模型构建

静态评估法是一种适合于短期、简易工程评价的评价方法,其计算简便直观,但由于没有计入资本的时间价值,其准确性受到限制。动态评估中引用资本的时间价值,即用净现值来衡量项目在整个生命周期中的收入和支出之间的差异,如果净现值NPV小于0,则说明该项目是有可行性的。内部收益率是指将项目的净现值为0的折现率,通过与投资标的报酬率进行比较来判定其盈利能力<sup>[6]</sup>。该方法能够更精确地反映出工程的回收时间,提高评价的精度。项目全生命周期费用(LCC)评价方法涵盖了项目投资、运营、维护和报废等各个阶段的费用和利益,对项目生命周期内的经济利益进行综合评价,为项目的长远发展提供支持。

#### 3.3 经济效益评估案例与启示

本次案例选取某大型石油化工企业的乙烯裂解工艺装置作为研究对象,此次经济效益评估选择了节能、原材料消耗节约、投资回收期、投资回报率等直接经济效益指标。保护成本节省、政策补贴收益等间接经

济效益指标和单位产品碳减排率等与环境效益相关的经济指标。数据资料来自设备改造前和改造后的能耗监测资料,财务成本核算资料,生产过程参数记录,以及有关国家政策文档。经静态评价,得出最优方案的两年净利润分别为2000万、4年和25%的投资回报率。在对其进行动态评价时,以10%的基准回报率作为基础,得出了该工程的净现值、内部收益率(IRR)和4.5年的静态投资回收期,证明了该工程具有很好的盈利能力和可行性。在其直接效益上,每年节省1500万元的能耗和300万元的原料费用;在间接经济上,每年节省了150万元的环境保护费用和50万元的国家能源补助。

这一实例启发是:第一,要将化学项目的能源消耗集中在能源密集型的关键部分,有目的地制订出最优的方案,提高了最优的效果;二是将催化剂优化、过程参数调控、设备升级和自动调控相结合,以提高整个过程的能源效率。三是要进行综合评价,既要进行动、静的综合评价,又要将各种不确定的影响纳入其中,才能为工程建设的顺利进行提供科学的参考。

### 4 结束语

化工工程以节能降耗工艺以多个节点的协调和优化为基础,构建低能耗、高效益的多个生产系统,将环保和经济效益相结合,是推动化工产业向绿色方向发展的重要途径。可解决传统化工能源消耗大的难题,建立科学的经济评价方法,为节能降耗工艺精确优化奠定基础。今后,需要深入开展智能制造和过程优化的结合和运用,促进整个工业系统的能量分级开发,不断提高化学工业的能效,促进整个工业的绿色、低碳、高质量发展。

#### 参考文献:

- [1] 杨雷. 石油化工工程运维阶段的节能降耗技术管理优化[J]. 聚酯工业, 2025, 38(05): 235-237.
- [2] 牟红海. 化工工程中的节能降耗工艺技术研究[J]. 化工管理, 2025(23): 56-58.
- [3] 张维强. 化工工艺中常见节能降耗技术探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(05): 190-192.
- [4] 魏琴. 智能化技术在化工节能减排工艺中的应用[J]. 化学工程与装备, 2024(11): 166-168.
- [5] 曹玉兰. 石油化工节能的关键技术[J]. 化学工程与装备, 2023(04): 179-180.
- [6] 王玉燕. 石油化工生产中的节能降耗策略分析[J]. 清洗世界, 2022, 38(06): 97-99.

#### 作者简介:

杨松(1989-)男,汉族,山东章丘人,本科,中级工程师,研究方向:化工。