

化工工艺节能降耗技术措施

姜 磊 于军勇 王伟国

浙江华大树脂有限公司 浙江 丽水 323000

摘要：化工行业作为高能耗领域，节能降耗是实现低碳转型与可持续发展的核心路径。本文结合化工生产实操，先分析行业节能紧迫性及能耗构成、理论原理与核心原则，再聚焦工艺核心环节，阐述原料助剂优化、反应与分离工艺升级、传热传质改造及废弃物余热回收等节能技术。同时探讨自动化控制与智能技术在能耗监测、优化调控中的应用。研究表明，通过多环节技术协同与智能管控，可有效降低化工工艺能耗，兼顾经济性与环保性，为化工企业节能改造提供实操参考。

关键词：化工；核心工艺；节能降耗；技术措施

引言：随着全球“双碳”目标推进与国内能耗双控政策收紧，化工行业高能耗、高排放问题愈发突出，节能降耗成为企业生存发展的必由之路。化工生产中反应、分离等环节能耗占比极高，传统工艺存在能源转化不充分、设备滞后等问题，既增加成本又加剧环境压力。基于此，本文立足化工工艺实操场景，从理论基础入手，系统梳理核心环节节能技术与智能管控手段，旨在精准定位能耗痛点，提出可落地的技术措施，为化工企业降本增效、推动产业向低碳高端转型提供理论与实践支撑。

1 化工行业节能降耗的紧迫性

化工行业作为国民经济支柱产业，同时是高能耗、高排放重点领域，节能降耗已成为不可延缓的战略任务。从政策层面看，全球“双碳”目标推进与国内能耗双控政策收紧，明确划定化工行业能耗红线，倒逼企业淘汰高耗能产能，若不加快节能改造，将面临停产限产、市场准入受限等风险。从行业发展看，化工生产依赖化石能源，能源成本占总成本30%-50%，能源价格波动直接挤压利润空间，节能降耗成为降本增效、提升核心竞争力的关键路径。从生态环境看，化工行业碳排放、污染物排放占比高，传统工艺能耗浪费导致资源过度消耗与生态破坏，加剧环境压力，与绿色发展理念相悖。化工行业产能过剩与结构失衡问题突出，节能技术升级可推动产业向低碳化、高端化转型，实现可持续发展^[1]。

2 化工工艺节能降耗的理论基础与原则

2.1 化工工艺能耗核心构成与损耗机理

通讯作者：于军勇，1984年10月11日出生，2007年毕业于山东化工职业学院，现就职于浙江华大树脂有限公司。主要从事企业生产技术工作

化工工艺能耗核心由反应能耗、分离能耗、传热传质能耗及辅助系统能耗构成，其中反应与分离环节能耗占比超60%。能耗损耗机理主要包括三方面：一是能量转化不充分，如反应过程中热能向环境散失、机械能损耗与设备摩擦；二是工艺参数失衡，温度、压力偏离最优区间导致过度能耗；三是设备老化与工艺滞后，传统设备保温性差、传质效率低，造成能源浪费。原料性质不稳定、助剂适配性不足，也会间接增加能耗损耗，需从构成与机理层面精准定位节能关键点。

2.2 节能降耗的热力学与动力学原理

热力学原理是节能降耗的核心理论支撑，依据能量守恒定律，通过梯级利用实现能源高效转化，减少无效损耗；借助熵增原理优化工艺，降低不可逆过程的能耗损失。动力学原理则聚焦反应速率与能耗的协同，通过调控反应活化能，在提升反应效率的同时降低能量投入，如优化催化剂活性可加快反应进程，减少恒温恒压维持时间。

2.3 化工工艺节能降耗的原则与评价标准

节能降耗要遵循以下三大核心原则：（1）系统性原则，兼顾单个环节与全工艺流程节能，避免局部优化导致整体能耗上升；（2）经济性原则，确保节能改造投入低于能耗节约收益，兼顾短期成效与长期效益；（3）环保性原则，节能过程中严控污染物排放，契合绿色发展要求。评价标准主要包括定量与定性两类，定量指标有单位产品能耗、能源利用率、节能率等；定性指标涵盖工艺稳定性、设备适配性、环保合规性，通过双重指标体系全面评估节能效果，为技术优化提供依据^[2]。

3 化工工艺核心环节节能降耗技术

3.1 化工原料与助剂优化的节能降耗技术

从源头优化原料与助剂，可减少后续工艺能耗负

荷,核心实际技术如下:(1)高能耗原料替代。选用生物基乙醇、生物柴油等原料替代石油基原料,适配精细化工合成场景,减少预处理环节的脱杂、提纯能耗;对多组分混合原料采用气相色谱分析组分占比,精准配比优化,剔除无效惰性成分,避免冗余能耗。(2)高效助剂优化应用。选用高活性分子筛催化剂、长寿命抗中毒助剂,通过正交实验确定最佳用量,避免助剂过量引发副反应或用量不足导致反应滞后;采用催化剂与助催化剂复配技术,提升协同作用效果,减少单一助剂消耗,适配催化裂化、加氢反应等工艺。(3)原料预处理工艺升级。更换桨叶式高效干燥机、精密过滤净化设备,结合原料特性优化预处理温度、压力参数,避免过度干燥、反复净化造成的能源浪费;采用连续式预处理流程,替代间歇式操作,减少设备启停过程中的升温降温能耗,适配大规模化工生产流水线。

3.2 化工反应工艺优化的节能技术措施

反应工艺是能耗核心节点,通过参数调控、设备改良等实操技术优化,可实现精准节能,具体措施如下:

(1)反应参数精准调控。借助智能传感设备实时监测温度、压力、物料配比,将参数稳定在最优区间,如合成氨工艺将反应温度控制在450-500℃、压力15-20MPa,避免高温高压冗余能耗与低温低压导致的反应不完全问题;放热反应通过分段冷却控制速率以减少冷却负荷,吸热反应采用梯度升温模式,适配反应需求。(2)催化体系优化升级。改良催化剂活性组分与载体结构,如加氢反应催化剂采用钨碳负载型结构,降低反应活化能,实现低温低压反应;优化催化剂再生工艺,采用低温氮气吹扫再生技术,减少再生环节能耗,搭配在线失活预警系统,及时处理失活催化剂。(3)反应工艺类型改造。对间歇式反应装置进行连续化改造,增设物料缓存罐与自动进料系统,减少物料进出、温度升降的启停能耗;多步反应工艺优化顺序,如精细化工合成中先进行放热反应,再将余热用于后续吸热反应预热,替代外部热源。(4)反应设备节能改良。更换夹套式高效节能反应釜,加装高密度岩棉保温层减少热能散失;优化搅拌装置,采用变频搅拌桨,根据反应进度从低速搅拌调整至高速分散,降低电能消耗;反应釜夹套采用螺旋导流结构,提升冷热交换效率。(5)副反应抑制技术。通过精准控温、物料分级进料,抑制副反应发生,减少副产物分离处理的额外能耗;优化反应介质,选用惰性溶剂替代活性溶剂,提升主反应选择性,降低无效能耗损耗。

3.3 化工分离工艺节能降耗关键技术

分离工艺能耗占化工总能耗比重较高,依托工艺升级与设备改良的实操技术,可实现大幅节能,核心技术如下:(1)精馏工艺节能升级。推广闭式热泵精馏技术,回收塔顶冷凝器余热为塔底再沸器供能,替代传统蒸汽加热,适配甲醇、乙醇等溶剂分离场景;采用双效或三效精馏串联模式,前一塔塔顶低温蒸汽作为后一塔加热热源,实现热能梯级利用。(2)精馏操作与设备优化。在保证分离纯度的前提下,通过模拟计算下调最优回流比,如乙醇精馏将回流比从3.5降至2.8,减少回流泵电能消耗与再沸器热负荷;更换高效丝网填料与导向浮阀塔内件,提升传质效率,降低塔体阻力与能耗,适配大型精馏塔改造。(3)非精馏分离工艺替代。适宜体系采用液液萃取、变压吸附工艺替代精馏,如芳烃分离选用环丁砜作为萃取剂,减少分离步骤与能耗;优化萃取、吸收设备结构,采用逆流操作模式,提升分离效率,减少萃取剂循环用量。(4)膜分离技术实操应用。选用聚酰亚胺高通量分离膜,替代传统精馏工艺用于气体分离、溶剂回收,降低能耗40%以上;优化膜组件运行参数,控制进料流速与压力,定期进行化学清洗维护,延长膜使用寿命,减少膜更换频次与能耗。(5)分离系统集成优化。将多个分离单元耦合设计,实现能量与物料的协同利用;采用热集成技术,将分离过程余热用于原料预热,减少外部能源输入。例如某化工企业将传统甲醇精馏装置改造为热泵精馏,搭配高效丝网填料优化,回收塔顶余热为塔底供能,单套装置年节约蒸汽1.2万吨,折合标准煤1700余吨,改造后分离纯度稳定达标,无额外能耗增加^[1]。

3.4 化工传热与传质过程节能技术改造

传热与传质效率直接关联能耗,通过设备与工艺改造提升效率,核心实操技术如下:(1)高效传热设备更换。采用板式、螺旋板式换热器替代传统管壳式换热器,传热系数提升30%以上,减少换热面积与能耗,适配低温换热场景;高温工况选用镍基合金材质传热设备,避免设备损耗导致的效率下降。(2)传热介质与过程优化。选用导热油、熔盐等高导热系数介质,替代传统水介质,适配高温传热需求;优化介质流量与温度,采用变频输送泵,根据传热负荷动态调节流量,避免介质过量输送造成的动力能耗。(3)传质过程强化改造。加装孔板波纹填料、推进式搅拌桨等内件,提升物料接触面积与均匀度,适配反应釜、吸收塔等设备;优化传质参数,调整物料流速与接触时间,避免传质不完全导致的二次处理能耗。(4)设备保温与密封升级。采用聚氨酯硬泡保温材料对设备、管路进行整体包裹,外层加设防

潮层,减少热量散失;更换聚四氟乙烯密封件,杜绝物料与热量泄漏,避免工艺波动引发的能耗增加,适配高温高压设备。

3.5 化工废弃物与余热余压回收利用技术

回收利用生产过程中的余热、余压及废弃物能源,实现变废为能,核心技术如下:(1)余热梯级回收。高温余热通过水管式余热锅炉产生高压蒸汽,用于发电或工艺加热;中低温余热通过板式换热器回收,用于原料预热、循环水加热,替代外部蒸汽热源,避免直接排放浪费,适配锅炉排烟、反应釜余热回收场景。(2)余压资源化利用。高压流体采用背压式汽轮机余压发电装置转化为电能,供给生产设备使用;将化工装置排出的高压尾气余压用于物料输送、搅拌等环节,替代电动泵、搅拌电机,降低电能消耗。(3)废弃物能源化处理。化工废水经生化处理、超滤反渗透工艺处理后,循环用于工艺用水、冷却用水,减少新鲜水补给与处理能耗;化工废渣经破碎筛选,回收其中的有效成分复用,无法回收的废渣作为锅炉燃料回收热量,实现固废减量化与能源化。(4)回收系统集成。将回收系统与主工艺联动设计,通过DCS系统优化操作参数,降低回收系统自身能耗;加强设备日常运维,定期清理余热回收设备积灰、检修余压发电装置,确保回收装置稳定运行,保障节能效果持续发挥^[4]。

4 化工工艺自动化控制与智能节能技术

4.1 智能控制系统在能耗实时监测中的应用

依托分布式控制系统(DCS)与可编程逻辑控制器(PLC)搭建能耗监测核心框架,实现化工全流程能耗参数的实时采集与动态追踪。整合智能传感设备,对反应温度、压力、介质流量、电力消耗、蒸汽损耗等关键能耗指标进行精准捕捉,消除人工监测的滞后性与误差。通过集中控制平台对多环节能耗数据进行统一整合、可视化呈现,划分能耗监测单元,明确各工艺环节能耗占比,精准定位能耗异常波动节点,为后续节能调控提供数据支撑。

4.2 基于大数据的化工工艺能耗优化调控模型

构建化工工艺能耗大数据处理体系,整合历史能耗数据、工艺操作参数、原料特性等多维度数据,通过数据清洗、降噪与归一化处理,剔除无效数据干扰。采用机器学习算法搭建能耗优化调控模型,挖掘工艺参数与能耗之间的内在关联,精准计算各环节最优能耗运行区间。模型具备动态迭代能力,可根据工艺工况变化、原料组分差异自动调整调控参数,实现能耗与工艺效率的协同优化。

4.3 自动化运维与能耗动态优化管理技术

推行化工设备自动化运维模式,通过在线监测模块实时掌握设备运行状态,对泵体、换热器、反应釜等关键设备的能耗异常、故障隐患进行提前预警,减少非计划停机与能耗损耗。采用变频控制、自动调节阀门等设备,实现工艺负荷变化时的能耗动态适配,根据生产需求自动调整设备运行功率与介质输送量。搭建能耗动态管理平台,制定分级能耗管控标准,实现能耗数据的全生命周期管理,结合工艺优化需求动态调整管理策略,强化各环节能耗管控的针对性与有效性。

结束语:化工工艺节能降耗是一项系统性工程,要兼顾技术实操、经济收益与环保要求。本文从理论到实践,构建了多环节协同的节能技术体系,涵盖核心工艺优化、智能管控等关键路径。这些技术措施可有效提升能源利用率,降低生产能耗与排放。未来,化工行业需进一步推动技术创新与集成应用,强化智能技术与工艺的深度融合,突破设备与技术瓶颈。

参考文献

- [1]石艳洁.化工工艺中节能降耗技术的运用分析[J].清洗世界,2025,41(2):88-90.
- [2]张宏,孟伟,俞天一.试论化工工艺中节能降耗技术应用与优化策略[J].石化技术,2025,32(10):163-165.
- [3]赵朋,祝青龙.化工工艺中节能降耗技术及应用[J].读报参考,2025(16):33-34.
- [4]岳黎芬.化工工艺中常见节能降耗技术的应用策略[J].化纤与纺织技术,2025,54(10):36-38.