

浅析节能降耗技术在化工工艺中的应用

周良莲 朱浩 朱翼虹

嘉兴公信节能环保咨询有限公司, 浙江 嘉兴 314000

摘要: 化工行业作为高能耗产业, 节能降耗技术的应用对实现绿色可持续发展具有重要意义。本文系统分析了化工生产过程中能源损耗的主要环节, 探讨了包括催化反应优化、防沉积技术、酸性气体处理、物料循环利用以及动力系统节能等关键技术措施。通过某煤化工企业的实际案例, 验证了这些技术在提升能效、降低能耗方面的显著效果。研究表明, 科学应用节能降耗技术不仅能够提高能源利用效率, 还能减少环境污染, 实现经济效益与生态效益的双赢。

关键词: 节能降耗; 化工工艺; 能源消耗; 环境保护

DOI:10.63887/jeti.2025.1.4.22

随着全球能源危机加剧和环境保护要求日益严格, 化工行业面临着巨大的节能减排压力。作为国民经济的基础产业, 化工生产过程中的高能耗问题已成为制约行业可持续发展的瓶颈。据统计, 化工行业能源消耗占工业总能耗的 20% 以上, 能源利用效率普遍偏低。在此背景下, 开发和应用节能降耗技术成为化工企业实现绿色转型的必由之路。近年来, 虽然催化技术、余热回收、智能控制等节能措施已取得一定成效, 但在实际应用中仍存在技术瓶颈、设备老化、成本控制等多重挑战。因此, 深入研究化工生产过程中的节能降耗技术, 探索其优化路径, 对推动行业节能减排、实现“双碳”目标具有重要的现实意义。

1 节能降耗技术在化工生产中的实践意义

1.1 减少工艺环节的能源消耗

在化工制造活动中, 能量损耗主要产生于工艺环节中的无效能量支出, 过量的能源损耗不仅会削弱整体产出效能, 还可能对自然环境产生负面影响。能源的高投入与低效转化已成为制约化工行业绿色发展的主要瓶颈。因此, 改进生产工艺的能源转化效率, 并完善工艺流程设计, 以消除冗余的能量损耗, 是实现节能目标的重要举措。

1.2 增强能源的循环使用效能

在化工制造过程中, 科学构建能源梯级利用系统,

能够显著降低单产能耗, 从而优化能源的使用效益。通过革新生产工序, 使同等能源投入获得更大产出, 既有利于提升企业的综合生产效能, 也顺应了低碳技术的发展趋势。因此, 能源的再生与多级利用是提升能源转化效率的核心措施, 在节能技术实践中占据关键位置。

1.3 优化能量转换效能

节能技术的实施应聚焦于改善能源的转化效率, 保证能源的科学配置与充分转化, 以控制能源浪费并提升能量转换率。这既是当前节能技术探索的重点领域, 也是该技术在化工领域的重要实践价值。提升能量转换效率对于促进化学工业的生态化改造具有决定性作用, 是现阶段产业升级的关键技术要素。

2 化工生产过程中节能降耗技术的具体实施方法

2.1 催化反应技术

催化剂在化工反应中发挥着关键作用, 其科学选用和优化可显著提升反应速率和产物选择性, 实现节能降耗目标。传统化学反应常需高温高压条件, 能耗巨大。催化剂通过开辟新反应路径、降低活化能, 使反应在温和条件下高效进行, 既节约能源又减少苛刻条件对系统的损害。在选择性控制方面, 催化剂能精准调控反应路径, 抑制副反应^[1]。以石油催化裂解为例,

专用催化剂可选择性转化重质油为高价值轻质馏分，提高收率并优化产品分布。研究显示，银基催化剂用于乙烯氧化制环氧乙烷时，可降低 30% 能耗并减少 40% 二氧化碳排放，充分展现了催化技术在节能减排中的卓越性能。这些特性使催化技术成为化工行业实现绿色转型的核心手段。

2.2 防沉积技术

化工生产装置在运行过程中，沉积物的累积会对设备性能产生多方面负面影响：其一，沉积物会导致管道流通截面积减小，增大流体输送阻力，影响工艺稳定性；其二，沉积层会显著降低换热设备的传热系数，使热力系统的能耗大幅上升；其三，沉积物还可能加速设备腐蚀和磨损，缩短检修周期，增加运行成本^[2]。因此，科学应用防沉积技术对保障设备高效运行、延长服役寿命以及降低能耗具有重要意义。

防沉积技术主要包含三类措施：首先是预防性技术，即在生产过程中添加专用防沉积剂，通过调节流体化学性质、降低溶解物浓度、控制水质硬度等手段，从源头抑制沉积物形成。其次是清除技术，针对已形成的沉积物，采用酸性清洗剂、碱性清洗剂或生物酶制剂等专用药剂，破坏沉积物结构，便于清除。第三是监测技术，通过在线监测压力、温度、流量等关键参数，实时掌握沉积物形成动态，及时采取预防措施。需要特别注意的是，不同水质条件下防沉积剂的效果存在差异，因此需要根据实际工况选择最适合的技术方案。

2.3 酸性气体处理技术

化工生产过程中大量使用煤炭等化石燃料，不可避免地会产生含硫化合物等酸性气体，这些污染物不仅会破坏大气环境，还会腐蚀生产设备，影响装置运行可靠性。因此，开发高效的酸性气体处理工艺，优化生产流程，控制污染物排放，已成为化工行业实现清洁生产的关键环节。

酸性气体处理技术主要通过低温冷凝、吸附分离和化学反应等途径实现。典型工艺系统采用深度制冷技术，将尾气冷却至 -40°C 以下，使酸性组分被选择性吸附分离。以硫化氢处理为例，未经处理的含硫尾气

直接排放会造成严重环境污染，危害人体健康。现代处理工艺通常采用多级净化技术：先通过化学吸收法去除大部分酸性组分，再引入生物滤塔，利用特定微生物将残余硫化物转化为单质硫或硫酸盐，实现深度净化。

提升酸性气体处理效率需要从多个维度进行优化：包括工艺参数调控、吸收剂筛选与再生工艺改进、设备结构优化、吸收效率提升以及余热回收利用等。这些技术创新不仅能有效控制污染物排放，还能降低系统能耗。然而，此类技术在实际应用中仍面临投资成本高、运行维护复杂等挑战，需要根据具体项目的经济性和技术成熟度进行综合评估。

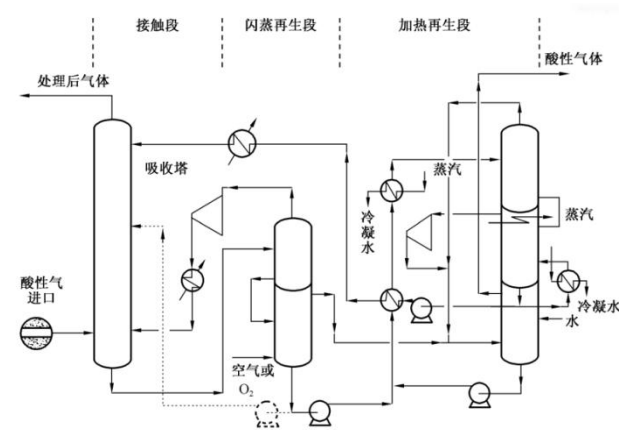


图 1 酸性气体脱除技术示意图

2.4 物料循环利用技术

节能降耗技术的本质在于实现资源的高效回用与循环再生，通过科学处理化工生产过程中产生的三废（废水、废气、废能），可显著减少原料浪费，从而降低综合生产成本^[3-4]。在化工生产体系中，废水的再生利用是重要环节，采用先进的污水处理工艺不仅能有效去除污染物，还能避免因处理不当引发的环境问题，实现资源的最大化利用。

2.4.1 初级水处理工艺

废水的一级处理主要采用物理分离手段，包括机械过滤技术以及过滤与沉淀联用工艺。具体而言，格栅过滤可有效截留水中的大颗粒悬浮物，沉淀池则利用重力沉降原理实现固液分离。此外，酸碱中和法、化学沉淀法及氧化还原法也是常用的预处理技术。中和法通过投加酸碱调节剂将废水 pH 值控制在适宜范

围；沉淀法借助絮凝剂使污染物形成沉淀物；氧化法则通过强氧化剂分解有机污染物，显著改善水质指标。

2.4.2 二级水处理工艺

在废水深度处理阶段，生物处理技术占据主导地位。包括活性污泥工艺、MBR 膜生物反应器、SBR 序批式反应器等在内的生物处理系统，利用微生物的新陈代谢作用降解有机污染物。同时，先进的膜分离技术如超滤膜、反渗透膜、纳滤膜等可高效截留溶解性物质和胶体颗粒，大幅提升水的回用率。

2.4.3 三级水处理工艺

经过前两级处理后，可采用离子交换等精处理技

术对废水进行深度净化，使其达到工艺用水标准，重新用于生产系统的冷却、洗涤等环节。这种闭环处理模式不仅提高了资源循环利用率，还显著减少了新鲜水的消耗量，实现了环境效益与经济效益的双赢。

表 1 对比数据显示，经过完整处理流程的再生水各项污染物指标均显著优于原水，完全满足化工生产的回用标准。需要指出的是，由于不同化工产品的生产工艺存在差异，部分特殊原料难以实现完全循环利用^[4]。因此，在实际应用中需要根据具体工艺特性和产品要求，选择最适宜的物料循环技术方案。

表 1 化工工艺废水回用的进出口水质情况

项目	pH 值	COD/ (mg/L)	CaCO ₃ / (mg/L)	SS/ (mg/L)	Mn ²⁺ / (mg/L)	Co ²⁺ / (mg/L)
进水水质	6.0~9.0	≤60	≤2000	≤80	≤5.0	≤3.0
出水水质	6.0~9.0	≤10	≤60	≤10	≤0.2	≤0.2

2.5 化工生产动力系统节能措施

2.5.1 变频控制技术的实施

变频调速装置在节能领域展现出突出优势，可显著降低电机驱动系统的能耗水平。以传统恒速电机为例，通过改造为变频电机并配置智能控制系统，能够根据实际工况自动调节转速，有效避免频繁启停造成的能量损失。在流体输送系统中，变频技术能够实时匹配流量需求调整泵机或风机的转速，消除定速运行导致的能源浪费现象。该技术同样适用于化工废气治理和污水处理系统，通过动态调节处理设备的运行参数，实现处理效率与能耗的最佳平衡。

2.5.2 电力系统与驱动设备的能效提升

在供电网络与电动机运行管理方面，科学的功率调控可显著提升能源使用效率。电网结构的优化是降低输电损耗的关键措施，具体包括：缩短供电距离、采用低损耗电缆材料等措施，这些都能有效减少线路损耗，提升供电质量。电动机的选型应当与生产负荷精确匹配，功率配置过大将造成能源浪费，功率不足则会影响生产稳定性^[5]。建立完善的设备维护制度，定期检测电机运行状态，确保设备处于最佳工况，是降低无效能耗的有效途径。

2.5.3 热力系统的节能改造

化工热力系统的优化升级可大幅提升能源利用效

率。构建完善的热能回收网络，将工艺过程中产生的高温废气、废渣等余热资源用于原料预热、工艺加热等环节，能够显著降低外部能源消耗。采用高效换热设备替代传统换热器，可以显著提升传热效率，降低系统整体能耗。研究表明，即便是性能最优的燃气轮机或蒸汽轮机，其能量转换效率也难以突破 55% 的瓶颈。在此背景下，采用燃气-蒸汽联合循环供热系统，不仅能够提升能源利用效率，还能减少污染物排放，为化工生产提供更环保的能源解决方案。但需要注意的是，此类技术改造涉及较高的设备投资和工艺调整成本，需要从技术经济性角度进行充分论证，确保改造方案的可行性。

3 典型应用案例分析

3.1 项目基本情况

某大型煤化工企业专注于煤基甲醇及其下游产品的规模化生产，具备年产 66 万吨煤制甲醇、50 万吨醋酸以及 30 万吨醋酸乙酯的生产能力。该企业在能效提升与节能减排方面实施了一系列创新举措，荣获 2023 年度煤制甲醇行业能效“领跑者”称号。

3.2 关键技术实施方案

3.2.1 低压甲醇净化系统升级

通过对低压甲醇净化系统实施技术改造，实现了

显著的节能效果，年均可节约标准煤 1500 吨，有效提升了生产环节的能源利用效率。

3.2.2 低压闪蒸余热综合利用

创新性地开发了低压闪蒸蒸汽余热回收系统，年节约标准煤 2322 吨。在此基础上，进一步将低压闪蒸气与反应余热用于发电，年发电量达到 575 万千瓦时，大幅提高了能源梯级利用水平。

3.2.3 智能化控制系统建设

在现有 DCS 系统基础上，新增气化炉和锅炉的先进过程控制系统（APC），通过优化设备运行参数，显著提升了装置运行的稳定性和能效水平。系统投运后，年节约标准煤达 6000 吨。

3.3 实施成效评估

3.3.1 能效指标提升

经过技术改造，企业单位产品综合能耗降至 1318kgce/t，较行业基准值提升 5.86 个百分点，能效水平显著提高。

3.3.2 综合效益分析

节能技术的应用不仅降低了生产成本，增强了市场竞争力，同时推动了企业的绿色可持续发展。通过减少污染物排放、提高资源利用率，实现了经济效益与环境效益的双赢。

4 结语

综上所述，节能降耗技术在化工生产中的应用成效显著，不仅能有效提升能源利用效率，还能促进企业的绿色可持续发展。通过技术创新和系统优化，化工企业可以实现能耗的大幅降低和排放的有效控制。然而，要实现行业的全面绿色转型，仍需突破技术瓶颈、优化管理体系、加大创新投入。未来，随着智能化、数字化技术的深入应用，化工节能降耗技术将迎来更广阔的发展空间。建议行业加强技术研发、完善标准体系、推动协同创新，共同构建绿色低碳的化工生产新模式，为实现“双碳”目标作出积极贡献。

参考文献

- [1] 樊龙龙, 刘艳, 董养林. 化工工艺中节能降耗技术应用与优化研究[J]. 产业创新研究, 2024, (24): 78-80.
- [2] 黄昊. 节能降耗技术在化工工艺中的应用研究[J]. 化纤与纺织技术, 2024, 53(08): 67-69.
- [3] 韩云飞, 牛颖颖. 化工工艺中节能降耗技术应用与优化研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(04): 183-185.
- [4] 马进进. 石油化工炼油过程中的节能降耗技术研究[J]. 石化技术, 2025, 32(01): 19-21.
- [5] 龚明. 陶瓷溶胶喷涂液搅拌系统在化工生产中的节能降耗策略[J]. 当代化工研究, 2024, (23): 64-66.

作者简介：周良莲（1975—），女，汉族，四川省广安市人，研究方向为化工节能。