

试论化工工艺中节能降耗技术应用与优化策略

赵贵峰

鄂尔多斯化学工业有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 016064

摘要：化工行业是国民经济支柱，但高能耗、高排放，其节能降耗水平关乎“双碳”目标与可持续发展。本文针对化工工艺能耗高、效率低等问题，分析能耗特点与来源，阐述节能紧迫性。梳理热能利用、流程优化等关键技术应用场景与成效，从全流程、政策市场、技术创新、管理机制四个维度提优化策略。探讨人工智能等技术在节能中的应用前景及绿色化工推广路径。研究表明，技术创新与系统优化协同可降能耗，推动行业转型，为其可持续发展提供支撑。

关键词：化工工艺；节能降耗；清洁生产；过程优化；可持续发展

引言：在全球积极践行“双碳”目标、大力推动可持续发展的时代背景下，化工行业作为国民经济的重要支柱，却面临着高能耗、高排放的严峻挑战，其节能降耗水平不仅关乎企业自身的生存与发展，更对国家整体节能减排目标的实现有着重大影响。在此形势下，深入探讨化工工艺中节能降耗技术的应用与优化策略，挖掘行业节能潜力，推动化工行业绿色转型，具有极为重要的现实意义。

1 化工工艺能耗现状与问题分析

1.1 化工行业能耗特点

化工行业具有能源密集型特征，其能耗占工业总能耗的20%以上，且呈现“两高一低”特点：高能源依赖度（生产过程需大量热能、电力及燃料）、高碳排放强度（单位产值碳排放量是制造业平均水平的2-3倍）、低能源利用效率（综合能效不足45%，远低于发达国家60%的水平）。典型化工产品如合成氨、乙烯、电石等，其能耗占生产成本的比例均超过50%，能源成本成为制约企业竞争力的核心因素。另外，化工工艺流程长、环节多，从原料预处理到产品分离纯化，各阶段均存在能源梯度利用不足的问题，导致大量余热、余压未被有效回收，进一步加剧了能源浪费。

1.2 主要能耗来源

化工工艺能耗主要集中于四大环节：反应过程（占40%-60%）、分离过程（占25%-35%）、加热与冷却（占15%-20%）及公用工程（占5%-10%）。反应过程中，催化剂活性不足、反应条件控制偏差导致转化率低下，需通过提高温度或压力补偿，直接增加能源消耗；分离过程中，传统蒸馏、结晶等单元操作能耗高，如精馏塔能耗占分离总能耗的70%以上；加热与冷却环节因换热网络设计不合理，存在“高温热源未充分利用、低温

热源直接排放”的典型问题；公用工程中，蒸汽锅炉效率低、电机系统空载运行等管理缺陷进一步推高能耗^[1]。

1.3 节能降耗的紧迫性

在全球“双碳”目标下，化工行业面临双重压力：一方面，国际碳关税、绿色贸易壁垒等政策倒逼企业降低碳排放；另一方面，国内能源价格波动、环保监管趋严，直接压缩企业利润空间。据统计，我国化工行业碳排放量占工业总排放量的18%，若未采取有效节能措施，2030年碳排放量将较2020年增长20%，与国家承诺的碳达峰目标严重冲突。因此，节能降耗不仅是降低生产成本、提升企业竞争力的内在需求，更是履行社会责任、实现行业可持续发展的必然选择。

2 化工工艺中节能降耗关键技术应用

2.1 热能综合利用技术

热能综合利用技术是化工工艺节能降耗的核心技术方向，通过对生产过程中余热、余压的回收与梯级利用，实现能源利用效率的提升。在余热利用方面，低温余热回收技术应用广泛，化工生产中产生的大量100-300℃低温余热，通过有机朗肯循环（ORC）技术转化为电能，或通过换热器预热原料、工艺水，减少新鲜蒸汽消耗。中高温余热则多用于热电联产系统，既满足生产用汽需求，又为企业提供电力，实现能源梯级利用。余压利用技术主要针对化工装置中的高压流体，通过压差发电设备将压力能转化为电能，如合成氨装置中高压氨分离器的余压可驱动涡轮发电机发电。此外，热管换热器、螺旋板换热器等高效传热设备的应用，有效降低了热能传递过程中的损失，使热能回收效率提升至80%以上，显著降低了工艺系统的整体能耗。

2.2 工艺流程优化技术

工艺流程优化技术借助重构生产流程、调优操作参

数,从源头削减能源消耗,堪称化工工艺节能的关键举措。在流程集成优化领域,夹点技术成效斐然,通过剖析工艺系统的温焓图,明确冷热物流的最佳匹配关系,进而重构换热网络,降低冷热公用工程用量。有石化企业应用此技术后,换热网络能耗下降25%。反应路径优化通过挑选低能耗反应路线、研制高效催化剂,减少反应过程的能源需求,例如采用新型催化剂改进苯乙烯生产流程,让反应温度降低50℃,单位产品能耗降低18%。操作参数优化依靠流程模拟软件,对反应温度、压力、流量等参数开展多目标优化,探寻能耗最低、产率最高的最优操作点。在精细化工精馏工艺里,优化回流比与塔底温度,能使精馏工序能耗降低15%-20%,还能提升产品纯度。

2.3 设备与系统优化技术

设备与系统优化技术通过升级关键设备、优化系统运行模式,降低设备能耗与系统损耗。在设备升级方面,高效节能设备的推广应用成效显著,将传统离心泵替换为高效节能泵,效率可提升10%-15%;采用变频调速技术改造风机、压缩机等负载变动设备,根据生产负荷自动调节转速,避免“大马拉小车”现象,使设备运行能耗降低20%-30%。系统优化聚焦于公用工程系统的协同运行,通过构建集中式供水、供电、供热系统,实现能源的统一调度与优化分配,减少分散式系统的能源浪费^[2]。另外,设备密封技术的改进也有效降低了能源损耗,采用干气密封替代传统机械密封,减少泵、压缩机的介质泄漏与能源消耗,同时降低设备维护成本,延长设备使用寿命,实现设备运行的高效与稳定。

2.4 清洁能源替代技术

清洁能源替代技术通过用低碳、清洁的能源替代传统化石能源,在降低能耗的同时减少污染物排放,推动化工工艺绿色转型。在能源供应方面,光伏、风电等可再生能源的应用日益广泛,大型化工园区建设分布式光伏电站,为生产辅助系统提供电力,部分企业光伏供电占比已达总用电量的10%以上。天然气作为清洁高效的化石能源,在化工加热、燃烧等环节替代煤炭,可使燃烧效率提升20%以上,同时大幅降低二氧化硫、粉尘等污染物排放。氢能作为零碳能源,在化工领域的应用前景广阔,通过绿氢替代工业用氢,可实现化工生产的脱碳,目前已有企业在合成氨、甲醇生产中开展绿氢替代试点,取得良好的节能减碳效果。此外,生物质能源在化工辅助加热系统中的应用,也为清洁能源替代提供了新路径。

2.5 废弃物资源化技术

废弃物资源化技术将化工生产过程中产生的废渣、废液、废气转化为可用资源,实现“变废为宝”,间接降低工艺能耗。废气资源化方面,化工生产中产生的一氧化碳、氢气等可燃废气,通过收集、提纯后作为燃料或原料重新利用,如炼油企业的催化裂化干气经处理后用于制氢或发电,既减少废气排放,又节省能源消耗。废渣资源化则通过焚烧发电、建材加工等方式实现综合利用,化工废渣经焚烧处理后产生的热能用于发电,灰渣则用于生产水泥、建材等产品,形成资源循环利用链条。

3 化工工艺节能降耗优化策略

3.1 全流程系统优化策略

全流程系统优化打破单一环节局限,从原料到产品全链条优化能源与资源。流程设计时,采用“一体化”理念,整合关联工艺,实现物料与能量梯级利用,如炼化一体化项目,炼油副产品作化工原料,化工余热供炼油,整体能耗降超15%。运行阶段,构建能源管控平台,实时监测能耗数据,精准找出薄弱环节并制定优化方案。针对不同生产特点,连续生产注重稳定参数维持高效能耗,间歇生产优化调度减少设备启停与空转。建立物料循环系统,回收未反应原料和副产品,减少资源浪费,降低能源消耗,形成“原料-产品-废弃物-资源”循环体系。

3.2 政策与市场驱动策略

政策与市场驱动为化工节能降耗提供外部动力。政策上,能耗双控与环保标准形成约束,促使企业主动节能改造,政府出台补贴、税收减免等政策,降低企业节能成本,如对先进节能技术项目补贴投资总额10%-15%,对节能效益显著企业税收优惠。市场方面,碳交易市场使碳排放成显性成本,企业节能减碳可交易配额获利,形成良性循环。绿色金融产品推广提供资金支持,优先支持节能项目,且市场对绿色产品需求增长,推动企业节能升级,提升竞争力。

3.3 技术创新与产学研合作策略

技术创新与产学研合作策略是推动化工工艺节能降耗的核心动力,通过整合企业、高校、科研机构的资源,加速节能技术的研发与转化。企业作为技术创新的主体,加大节能技术研发投入,建立内部研发中心,聚焦生产中的能耗痛点开展专项研究,开发适配自身工艺的节能技术与设备。高校与科研机构发挥人才与技术优势,开展基础研究与前沿技术研发,如开发新型低能耗催化剂、高效传热材料等,为节能技术突破提供理论支撑。产学研合作通过共建研发平台、联合攻关等方式,实现技术资源共享与优势互补,加速实验室技术向工业

化应用转化,缩短技术研发周期^[3]。例如有些化工企业与高校联合研发的新型余热回收技术,从实验室研发到工业化应用仅用2年时间,投用后使企业年节能效益超千万元,这种合作模式有效提升了节能技术的转化效率与应用效果。

3.4 管理优化策略

管理优化策略通过完善管理制度、强化人员管理,为节能降耗技术应用与措施落地提供保障。在制度建设方面,建立健全能源管理制度,制定明确的能耗考核指标,将节能目标分解到各车间、各岗位,纳入绩效考核体系,对节能成效显著的团队与个人给予奖励,对未达标的进行问责,激发员工节能积极性。建立能源消耗统计与分析制度,定期对能耗数据进行汇总分析,识别能耗异常波动,及时排查问题。在人员管理方面,加强节能知识与操作技能培训,提高员工节能意识与操作水平,确保节能设备与技术得到规范操作,充分发挥节能效果。推行节能责任制,明确各岗位在节能工作中的职责,形成“人人参与节能、人人负责节能”的管理氛围。此外,通过引入数字化管理工具,实现能源管理的精细化与智能化,提升管理效率与决策科学性。

4 未来发展方向

4.1 人工智能与大数据在节能降耗中的深度应用

人工智能与大数据技术将为化工工艺节能降耗提供全新支撑,实现从“经验优化”向“智能优化”的转变。大数据技术通过收集化工生产全流程的能耗数据、工艺参数、设备运行状态等海量信息,构建全面的能源数据库,通过数据挖掘与分析,精准识别能耗规律与优化潜力点,为节能决策提供数据支撑。人工智能技术的应用则体现在智能预测、智能控制与智能调度等方面,基于机器学习算法构建能耗预测模型,提前预判能耗变化趋势,为生产调度提供参考;开发AI自适应控制系统,实时调整工艺参数,使生产过程始终处于最优能耗状态,相比传统控制方式,可使能耗再降低5%-10%;通过智能调度系统优化设备运行与能源分配,实现多设备、多工序的协同节能。数字孪生技术的应用将进一步提升节能效果,构建与物理生产系统完全匹配的数字模型,模拟不同工况下的能耗情况,提前优化生产方案,

减少实际生产中的能耗试错成本^[4]。

4.2 绿色化工与零碳工厂的规模化推广

绿色化工与零碳工厂将成为化工行业未来发展的主流方向,推动节能降耗向深度减碳升级。绿色化工以“原子经济性”为核心,通过开发绿色合成路线、采用无毒无害原料,从源头减少能源消耗与污染物产生,如生物化工技术的发展,利用微生物发酵生产化工产品,相比传统化工工艺能耗降低30%以上,且产品更具环境友好性。零碳工厂通过整合节能降耗技术、可再生能源利用、碳捕集与封存(CCUS)等技术,实现生产过程碳排放的中和,其建设将采用全流程低碳设计,优先选用低碳能源与节能设备,构建能源自给自足的循环系统,多余能源通过储能设备储存或并入电网。目前,国内外已有多家化工企业启动零碳工厂试点,随着技术成熟与成本下降,零碳工厂将逐步实现规模化推广,推动化工行业从高碳发展向零碳发展转型,为全球碳减排目标的实现提供重要支撑。

结束语

化工工艺节能降耗,既是缓解能源压力、降成本的现实所需,也是行业绿色转型、可持续发展的必由之路。当下,化工行业在热能利用等多领域积累了技术经验,经全流程优化、政策市场驱动等协同推进,成效显著。然而,面对严格环保要求和“双碳”目标,节能降耗工作仍要深化。未来,随着人工智能等技术的深度应用,绿色化工、零碳工厂规模化发展,化工工艺将更高效节能减碳。企业应主动变革,强化创新,完善管理,推动行业低碳清洁发展,助力经济社会绿色可持续。

参考文献

- [1]张雷.化工工艺中节能降耗技术的实践研究[J].石化技术,2022,29(9):123-124.
- [2]赵隆颖.化工工艺中节能降耗技术应用与优化策略研究[J].化工设计通讯,2022,48(8):70-72.
- [3]阮金俊.化工工艺中节能降耗技术应用与优化策略[J].石化技术,2023,30(03):231-233.
- [4]莫贤才.化工工艺中节能降耗技术应用与优化策略[J].化工设计通讯,2023,49(03):72-74.