

# 化工行业节能降耗技术浅析

靳双成

远景能源有限公司 上海 200050

**摘要:** 化工行业作为高耗能产业,节能降耗是提升竞争力与可持续发展的关键。当前,行业通过工艺优化、设备升级、余热回收及智能化管理四大核心技术实现突破:采用反应条件精准控制与耦合工艺设计降低能耗;推广高效换热器与变频驱动技术;实施低温余热发电与蒸汽梯级利用;构建能源管理系统实现实时监控与优化调度。政策引导与技术创新双轮驱动,推动行业向绿色低碳转型。

**关键词:** 化工行业;节能降耗技术;实施路径;保障措施

引言:化工行业作为国民经济支柱产业,其高能耗特性与碳排放问题日益凸显。在全球“双碳”目标背景下,节能降耗不仅是降低生产成本、提升企业竞争力的核心手段,更是实现行业绿色转型的必由之路。当前,化工生产面临设备老化、工艺粗放、能源利用率低等挑战,亟需通过技术创新与管理优化突破瓶颈。本文从工艺、设备、余热利用及智能化管理四方面展开分析,探讨节能降耗的有效路径,为行业可持续发展提供参考。

## 1 化工行业能耗现状与关键问题

### 1.1 行业能耗特征

(1) 化工生产核心环节对能量需求极具特殊性,反应过程普遍需在高温高压环境下进行,如合成氨反应需维持300-500℃高温与15-30MPa高压,此过程能量输入强度大;同时,分离工序为提纯产品,常采用蒸馏、萃取等工艺,这些工艺需持续消耗大量热能与电能,成为能耗密集型环节。(2) 公用工程作为化工生产的能源支撑,能耗占比显著偏高。其中,蒸汽用于满足反应加热、物料输送等需求,电力则为各类设备运转提供动力,二者消耗之和在行业总能耗中占比超60%,是能耗控制的重点领域。

### 1.2 主要能耗环节

(1) 反应系统中,催化剂性能直接影响能源利用效率。部分企业使用的催化剂活性低、选择性差,导致反应转化率不足,大量原料未充分反应,不仅造成资源浪费,还使反应过程中输入的热能无法有效转化为目标产物的化学能,形成热能浪费。(2) 分离系统的蒸馏塔运行参数不合理,回流比过大是主要问题。为保证产品纯度,部分蒸馏塔采用远超工艺需求的回流比,导致塔内蒸汽循环量增加,蒸汽消耗随之上升,显著提升了分离环节的能耗水平。(3) 公用工程的能源浪费问题突出。一方面,锅炉作为蒸汽供应设备,部分老旧锅炉热效率

不足80%,低于行业先进水平,燃料燃烧产生的热量未充分利用;另一方面,生产过程中产生的余热(如反应尾气、设备散热等)未建立有效的回收利用系统,大量余热直接排放,造成能源损失<sup>[1]</sup>。

### 1.3 现存问题

(1) 设备老化是导致能效衰减的重要因素。据行业数据统计,部分化工企业关键生产设备(如反应釜、换热器、锅炉等)平均使用年限超15年,设备老化导致密封性能下降、传热效率降低、动力消耗增加,使得设备单位产品能耗较新设备高出10%-20%,严重影响整体能效。(2) 能源管理模式粗放,缺乏精细化调控手段。多数企业仍依赖人工经验进行能源调度与设备操作,未建立覆盖生产全流程的能源监测系统,无法实时掌握各环节能耗变化情况;同时,缺乏基于数据分析的能耗优化方案,难以根据生产负荷、原料特性等动态调整能源供应,导致能源利用效率偏低。

## 2 化工行业节能降耗核心技术

### 2.1 工艺优化技术

(1) 反应条件精准控制是提升反应效率、降低能耗的关键手段。传统化工反应多依赖经验设定温度、压力与停留时间参数,易出现反应不充分或过度反应的问题,造成能源浪费。通过引入高精度传感器与自动控制系统,可实现对反应条件的实时监测与动态调整:例如在乙烯裂解反应中,将温度控制精度从 $\pm 5^\circ\text{C}$ 提升至 $\pm 1^\circ\text{C}$ ,压力波动控制在0.05MPa以内,同时根据原料组分变化优化停留时间(如从传统的30s精准调整为22-25s),能使反应转化率提升8%-12%,单位产品能耗降低15%以上。这种精准控制不仅减少了副反应发生,还降低了后续分离工序的负荷,进一步减少能源消耗<sup>[2]</sup>。(2) 耦合工艺设计通过打破传统工序界限,实现能量与物料的高效利用,反应-分离一体化是典型代表。传统工艺

中，反应与分离需单独进行，反应产物需输送至分离设备，过程中存在大量热能损耗与输送能耗。而反应-分离一体化工艺（如甲醇合成-精馏耦合系统）将反应装置与精馏塔直接连接，反应生成的粗甲醇可直接进入精馏环节，利用反应过程中释放的热能为精馏提供热源，无需额外消耗蒸汽加热。数据显示，该工艺可使甲醇生产的综合能耗降低20%-25%，同时减少设备占地面积30%，大幅提升能源与空间利用效率。

## 2.2 设备升级技术

(1) 高效换热器的应用是解决化工生产中传热效率低、能耗高问题的重要途径。传统管壳式换热器传热系数较低，且易结垢堵塞，需频繁清洗维护。螺旋板式换热器通过螺旋状流道设计，延长介质流动路径，增强湍流效果，传热系数较传统设备提升30%-50%，且抗结垢能力更强，适用于原油加热、废水处理等场景；微通道换热器则凭借微小流道（通道尺寸50-500 μm）增加传热面积，传热效率是传统设备的5-10倍，在精细化工、低温反应等领域应用广泛。某石化企业将常减压装置中的传统换热器替换为螺旋板式换热器后，每年可节约蒸汽消耗约8000吨，折合标准煤1140吨。(2) 变频驱动技术通过调节电机转速匹配负载需求，避免电机长期处于满负荷运行状态，有效降低电机能耗。在化工泵、风机等设备中，传统变频电机无论负载大小均以固定转速运转，存在大量“大马拉小车”现象，能耗浪费严重。采用变频驱动技术后，可根据生产负荷（如泵的流量需求、风机的风量需求）实时调整电机转速，例如当负载降至50%时，电机能耗可降低60%以上。某化肥企业对循环水泵采用变频改造后，单台设备年耗电量从12万度降至5万度，节能效果显著<sup>[3]</sup>。

## 2.3 余热回收技术

(1) 低温余热发电（ORC系统）为化工企业低温余热（温度60-200℃）的回收利用提供了有效方案。化工生产中产生的低温余热（如反应尾气、循环水余热等）因温度较低，传统回收方式难以利用，通常直接排放。ORC系统（有机朗肯循环）通过选用低沸点有机工质（如R245fa），利用低温余热加热工质使其汽化，推动涡轮机发电，发电后工质经冷凝回收循环使用。某化工园区利用各企业排放的低温余热建设ORC发电站，装机容量达5MW，年发电量约4000万度，可满足园区15%的用电需求，每年减少二氧化碳排放3.2万吨。(2) 蒸汽梯级利用与冷凝水回收通过优化蒸汽使用流程，实现能源的梯次利用与循环回收。传统工艺中，蒸汽多为一次性使用，且冷凝水直接排放，造成大量热能与水资源浪

费。蒸汽梯级利用遵循“高质高用、低质低用”原则：例如将高压蒸汽（10MPa、310℃）优先用于高温反应工序，使用后的中压蒸汽（4MPa、250℃）用于蒸馏塔加热，再将低压蒸汽（0.8MPa、170℃）用于物料预热，最后利用乏汽（0.1MPa、100℃）加热生活用水；同时，收集各环节产生的冷凝水（温度80-100℃），经除氧处理后送回锅炉重新生成蒸汽，实现水资源与热能的循环利用<sup>[3]</sup>。某炼油企业实施该技术后，蒸汽利用率提升25%，冷凝水回收率达90%，年节约软化水12万吨，减少燃料消耗800吨标准煤。

## 2.4 智能化管理技术

(1) 能源管理系统（EMS）通过实时监控、数据分析与优化调度，实现能源的精细化管理。EMS系统整合生产全流程的能源数据（如电力、蒸汽、天然气消耗量），通过传感器实时采集各环节能耗信息，上传至云端平台进行分析，生成能耗趋势图、设备能耗排名等可视化报表，帮助企业精准定位高能耗环节。例如某乙烯企业通过EMS系统发现裂解炉风机能耗异常偏高，经排查发现风机叶片磨损，及时维修后使风机能耗降低18%；同时，系统可根据生产计划动态调整能源供应，如在用电低谷期增加电力消耗较大的工序负荷，高峰期限电时优先保障关键设备运行，进一步优化能源配置，使企业综合能耗降低5%-8%。(2) AI预测性维护借助人工智能算法分析设备运行数据，提前预测设备故障，减少非计划停机带来的能源浪费与生产损失。传统设备维护多采用定期检修模式，易出现“过度维护”或“维护不足”问题，非计划停机不仅导致生产中断，还会造成设备启动时的额外能耗（如反应釜重新升温升压需消耗大量能源）。AI预测性维护通过采集设备振动、温度、电流等运行数据，利用机器学习算法建立故障预测模型，提前7-14天预测设备潜在故障（如轴承磨损、电机绝缘老化等），并给出维护建议。某化工企业对反应釜搅拌电机采用AI预测性维护后，非计划停机次数从每年12次降至3次，每次停机造成的能耗损失减少约5000度电，同时延长设备使用寿命3-5年。

## 3 化工行业节能降耗实施路径与保障措施

### 3.1 技术改造路径

(1) 短期以低成本、易落地的设备节能改造为主，快速降低基础能耗。例如将生产车间、办公楼宇的传统白炽灯、荧光灯替换为LED照明，节能率可达50%以上，且使用寿命延长5-8倍；对反应釜、管道等设备的保温层进行升级，采用新型复合保温材料（如硅酸铝纤维毯），减少热量散失，使设备表面温度降低10-15℃，每月可节约蒸汽

消耗约5%。此类改造无需停产,投资回收期短(通常6-12个月),能快速实现节能效益<sup>[4]</sup>。(2)中期聚焦工艺系统优化,从生产流程层面提升能源利用效率。重点推广热泵精馏技术,利用热泵将精馏塔塔顶的低温蒸汽热量转移至塔底,为塔底再沸器提供热源,替代传统蒸汽加热方式。数据显示,采用热泵精馏技术可使精馏工序能耗降低30%-40%,某苯乙烯生产企业应用该技术后,年节约标准煤8000吨,投资回收期约3年。(3)长期推进新能源替代,构建绿色能源供应体系。逐步用绿氢替代传统化石燃料制氢,通过光伏、风电等可再生能源电解水制绿氢,应用于合成氨、甲醇等生产环节,减少碳排放;同时,利用企业厂区闲置土地建设生物质能发电站,将农业废弃物、化工废渣等转化为电能和热能,补充企业能源供应。某化工园区规划2030年前实现20%的能源来自绿氢和生物质能,推动行业低碳转型。

### 3.2 管理优化措施

(1)建立能源绩效基准,通过单位产品能耗对标明确节能目标。以行业先进企业为标杆,结合自身生产实际,制定各产品(如乙烯、PX、合成氨)的单位能耗基准值(如乙烯单位能耗基准设定为600千克标准煤/吨),定期(每月/每季度)统计实际能耗数据,与基准值对比分析,识别能耗差距,制定针对性改进方案。(2)推行全员节能考核机制,将节能责任落实到各部门及个人。将单位产品能耗下降率、余热回收率等指标纳入部门绩效考核,与奖金挂钩;对一线操作人员开展节能培训,制定岗位节能操作规程,鼓励员工提出节能合理化建议(如优化设备操作参数),对采纳的建议给予奖励,激发全员节能积极性。

### 3.3 政策支持建议

(1)积极争取节能技术改造补贴与税收减免,降低

改造成本。关注国家及地方政府出台的节能扶持政策,如申报“工业节能诊断服务”“绿色制造系统集成项目”等,获取资金补贴(通常补贴比例为项目总投资的10%-20%);同时,利用国家对节能设备的税收优惠政策,如购置高效换热器、变频电机等设备可享受固定资产加速折旧、增值税即征即退等优惠,减轻企业资金压力。(2)参与碳交易市场获取经济回报,提升节能积极性。企业通过节能改造减少碳排放,将富余的碳排放配额在碳交易市场出售,获得经济收益。例如某炼油企业通过节能改造每年减少碳排放5万吨,按碳价60元/吨计算,年可获得碳交易收入300万元,形成“节能-降碳-收益”的良性循环。

### 结束语

化工行业节能降耗是破解能源瓶颈、践行低碳发展的关键路径。通过工艺精准调控、设备效能提升、余热循环利用及智能管理系统构建,行业已形成多维度降耗技术体系。未来,需加速绿色工艺创新与新能源耦合应用,强化政策激励与碳市场机制引导。企业应立足实际推进分阶段技术改造,同时培育全员节能意识,实现技术升级与管理优化协同发力,推动化工产业向高效、清洁、可持续方向加速转型。

### 参考文献

- [1]李良.节能降耗技术在化工工艺中的应用研究[J].当代化工研究,2024,(17):161-163.
- [2]祖燕霞.节能降耗技术在化工工艺中的应用分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,(15):172-174.
- [3]惠银选,杨志波.化工工艺中节能降耗技术应用探析[J].中国科技纵横,2024,(03):34-36.
- [4]周恒,童凯,李玉军,肖祥.化工工艺中节能降耗技术应用与优化策略[J].清洗世界,2024,(11):114-116.