

# 广东省石油和化学工业协会

粤石化协〔2026〕16号

## 关于发布《广东省石化化工行业节能降碳 技术指南》的通知

各有关单位：

为贯彻落实国家和省关于“双碳”的战略部署，促进石化化工行业节能降碳，提升行业绿色生产水平，我会组织编制了《广东省石化化工行业节能降碳技术指南》，现予以发布，供有关单位参考使用。

附件：广东省石化化工行业节能降碳技术指南

（联系人：曾工，13642314412）



附件

# 广东省石化化工行业 节能降碳技术指南

广东省石油和化学工业协会

二〇二六年六月

# 前 言

石化和化工产业是国民经济重要的基础工业和支柱产业，其经济总量大、资金和技术密集、产业关联度高，对促进相关产业升级和拉动经济增长具有举足轻重的作用。

为贯彻落实国家和省关于“双碳”的战略部署，促进行业节能降碳，广东省石油和化学工业协会通过文献调研、企业征集、实地考察以及专家评估和筛选，从能效指标、降碳指标、设备能效指标等多维度对石化、化工行业工程项目提出了能效要求，收录了当前适合在炼油、乙烯及其他分行业推广的节能降碳技术 50 余项，编制形成《广东省石化化工行业节能降碳技术指南》。指南所收录节能降碳技术在国内已有应用案例，具有较强的可操作性和可复制性，可为石化、化工企业提供清晰的节能降碳路径指引。

该指南编制旨在为广东省石化、化工企业开展节能降碳工作提供系统性的指导和规范性的依据，引导企业明确节能降碳的目标方向、重点任务和实施路径。通过整合行业内先进的节能降碳技术和管理经验，帮助企业提升能源利用效率，优化能源消费结构，减少碳排放强度，从而推动广东省石化、化工行业向绿色低碳转型，助力实现国家“碳达峰、碳中和”战略目标，促进产业的可持续高质量发展。

# 目 录

<b>第一章 石化化工行业工程项目能效要求 .....</b>	<b>1</b>
1.1 能效标准约束 .....	1
1.2 能效标杆引领 .....	9
<b>第二章 石化化工行业重点节能降碳工程 .....</b>	<b>14</b>
2.1 严格石化化工产业政策要求 .....	14
2.2 加快用能系统和设备改造 .....	14
2.3 推进石化化工工艺流程再造 .....	14
2.4 提升电气化率及智能化水平 .....	15
2.5 实施二氧化碳捕集利用 .....	15
2.6 加快推进数字化赋能 .....	16
<b>第三章 石化化工行业节能降碳推荐技术 .....</b>	<b>17</b>
3.1 行业通用节能降碳推荐技术 .....	17
3.2 炼油行业节能降碳推荐技术 .....	25
3.3 乙烯行业节能降碳推荐技术 .....	33
3.4 其他化工行业节能降碳推荐技术 .....	36
<b>第四章 石化行业节能降碳典型案例 .....</b>	<b>38</b>
4.1 炼油加热炉 95+技术 .....	38
4.2 煤制氢装置气化黑水余热回收技术 .....	39
4.3 低温热联合利用 .....	40
4.4 电驱系统替代蒸汽透平驱动 .....	40
4.5 压缩机智能气量调节系统 .....	41
<b>附录：参考文献 .....</b>	<b>42</b>

# 第一章 石化化工行业工程项目能效要求

## 1.1 能效标准约束

### 1.1.1 能耗水平标准

#### (1) 总体要求

国家发展改革委等部门《关于发布〈工业重点领域能效标杆水平和基准水平(2023年版)〉的通知》(发改产业〔2023〕723号)指出,对拟建、在建项目,应对照能效标杆水平建设实施,推动能效水平应提尽提,力争全面达到标杆水平。对能效介于标杆水平和基准水平之间的存量项目,鼓励加强绿色低碳工艺技术装备应用,引导企业应改尽改、应提尽提,带动全行业加大节能降碳改造力度,提升整体能效水平。对能效低于基准水平的存量项目,各地要明确改造升级和淘汰时限,制定年度改造和淘汰计划,引导企业有序开展节能降碳技术改造或淘汰退出,在规定时限内将能效改造升级到基准水平以上,对于不能按期改造完毕的项目进行淘汰。

#### (2) 能耗水平标准要求

①对于原油加工企业,单位炼油能量因数能耗是评价炼油装置的重要指标。单位炼油能量因数能耗应达到《炼化行业单位产品能源消耗限额》(GB 30251—2024)2级能效和《工业重点领域能效标杆水平和基准水平(2023年版)》标杆值要求,并争取达到1级能效要求。单位炼油能量因数能耗能效等级见下表1-1。

表 1-1 单位炼油能量因数能耗能效等级

单位炼油能量因数能耗/kgoe/(t· 能量因数)		
1 级	2 级 (标杆值)	3 级 (基准值)
≤6.85	≤7.50	≤8.50

常减压装置、催化裂化（裂解）装置、加氢裂化装置、延迟焦化装置、重整装置等高耗能装置应满足《炼化行业单位产品能源消耗限额》（GB 30251—2024）的定额要求，并且通过参与国家、地方、行业协会等层级能效对标，力争装置能耗水平达到“能效领跑者”水平。

②乙烯生产装置单位产品能耗应达到《炼化行业单位产品能源消耗限额》（GB 30251—2024）2级能效和《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》标杆值要求，并争取达到1级能效要求。乙烯装置能效等级见下表 1-2。

表 1-2 乙烯装置能效等级（单位：kgoe/t）

1 级	2 级 (标杆水平)	3 级 (基准水平)
≤580	≤590	≤640

③对二甲苯（PX）装置单位产品能耗应达到《炼化行业单位产品能源消耗限额》（GB 30251—2024）2级能效和《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》标杆值要求，并争取达到1级能效要求。对二甲苯装置能效等级见下表 1-3。

表 1-3 对二甲苯装置能效等级（单位：kgoe/t）

1 级	2 级 (标杆水平)	3 级 (基准水平)
≤370	≤380	≤550

④精对苯二甲酸（PTA）装置单位产品能耗应达到《炼

化行业单位产品能源消耗限额》（GB 30251—2024）2级能效和《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》标杆值要求，并争取达到1级能效要求。对二甲苯装置能效等级见下表1-4。

表 1-4 PTA 装置能效等级（单位：kgce/t）

1 级	2 级（标杆水平）	3 级（基准水平）
≤70	≤80	≤180

⑤烧碱生产装置单位产品能耗应达到《烧碱、聚氯乙烯树脂和甲烷氯化物单位产品能源消耗限额》（GB 29436—2023）2级能效和《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》标杆值要求，并争取达到1级能效要求。烧碱装置能效等级见下表1-5。

表 1-5 烧碱装置能效等级（单位：kgce/t）

重点领域	1 级	2 级（标杆水平）	3 级（基准水平）
液碱 (质量分数)≥30%	≤308	≤315	≤350
液碱 (质量分数)≥45%	≤410	≤420	≤470
固碱 (质量分数)≥98%	≤600	≤620	≤685

⑥纯碱生产装置单位产品能耗应达到《纯碱单位产品能源消耗限额》（GB 29140—2024）2级能效和《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》标杆值要求，并争取达到1级要求。纯碱装置（氨碱法）能效等级见下表1-6。

表 1-6 纯碱装置（氨碱法）能效等级（单位：kgce/t）

产品	1 级	2 级（标杆水平）	3 级（基准水平）
轻质纯碱	≤310	≤320	≤370
重质纯碱	≤350	≤365	≤420

⑦以天然气制造合成氨项目的单位产品能耗应符合《化肥行业单位产品能源消耗限额》（GB 21344—2023）2级能效和《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》标杆值要求，并争取达到1级能效要求。以天然气为原料制造合成氨装置能效等级见下表1-7。

表 1-7 合成氨装置能效等级（单位：kgce/t）

原料类型	合成氨单位产品综合能耗		
	能耗限额等级		
	1级	2级（标杆水平）	3级（基准水平）
天然气	≤996	≤1000	≤1200

注：《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》未规定以褐煤为原料制备合成氨装置的能效标杆水平和基准水平。

⑧轮胎制造项目的单位产品能耗应符合《轮胎和炭黑单位产品能源消耗限额》（GB 29449—2024）2级能效和《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》标杆值要求，并争取达到1级能效要求。轮胎制造项目能效等级见下表1-8。

表 1-8 轮胎制造项目能效等级（单位：kgce/t）

指标	能耗限额等级		
	1级	2级（标杆水平）	3级（基准水平）
全钢子午线轮胎单位产品综合能耗	≤215	≤235	≤340
半钢子午线轮胎单位产品综合能耗	≤255	≤290	≤430
工程机械轮胎单位产品综合能耗	≤300	≤330	≤560
斜交轮胎单位产品综合能耗	—	—	≤515

注 1:全钢子午线轮胎为胎体帘布和带束层都为钢丝的子午线轮胎。  
注 2:半钢子午线轮胎为带束层为钢丝、胎体帘布为纤维材料的子午线轮胎。

注：《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》未规定工程机械轮胎、斜交轮胎制造的能效标杆水平和基准水平。

⑨对于其他石化化工项目，新建、改扩建的应符合相关

产品或装置能效等级要求，达到先进水平，已建项目应达到标准节能水平和能效标杆水平要求，并制定切实可行的节能降碳改造方案，逐步提升能效水平。

### 1.1.2 设备能效标准

#### (1) 总体要求

重点用能产品设备能效水平划分为先进水平、节能水平、准入水平三档。**准入水平**为相关产品设备进入市场的最低能效水平门槛，数值与现行强制性能效标准限定值一致。能效指标引用推荐性国家标准、团体标准的产品设备不设定能效准入水平。**节能水平**不低于现行能效 2 级，与能效准入水平相比，更符合节能减排降碳工作要求。**先进水平**不低于现行能效 1 级，是当前相关产品设备所能达到的先进能效水平。

企业新建、改扩建项目主要用能产品设备能效必须达到节能水平，优先使用能效达到先进水平的产品设备。对于获得中央预算内投资等财政资金支持的项目和产能已经饱和的行业，主要用能产品设备能效原则上应达到先进水平。企业应加强产品设备能效管理，依法依规淘汰老旧落后用能产品设备。重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平（工业设备）详见下表 1-9。

表 1-9 重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平

序号	产品类别	产品名称	能效指标	单位	分类	先进水平	节能水平	准入水平	参考标准
1	工业设备	三相异步电动机	效率	%	同能效标准分类	能效 1 级	能效 2 级	能效 3 级	电动机能效限定值及能效等级 (GB 18613-2020)
2		电力变压器	空载损耗、负载损耗	—	同能效标准分类	能效 1 级	能效 2 级	能效 3 级	电力变压器能效限定值及能效等级 (GB 20052-2024)
3		工业锅炉	热效率	%	同能效标准分类	能效 1 级	能效 2 级	能效 3 级	工业锅炉能效限定值及能效等级 (GB 24500-2020)、锅炉节能环保技术规程 (TSG 91-2021)
4		除尘器	比电耗	$10^{-3}\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$	同能效标准分类	能效 1 级	能效 2 级	能效 3 级	除尘器能效限定值及能效等级 (GB 37484-2019)
5		电焊机	效率	%	同能效标准分类	能效 1 级	能效 2 级	能效 3 级	电焊机能效限定值及能效等级 (GB 28736-2019)

序号	产品类别	产品名称	能效指标	单位	分类	先进水平	节能水平	准入水平	参考标准
6	工业设备	容积式空气压缩机	机组比功率	kW/(m <sup>3</sup> /min)	同能效标准分类	能效1级	能效2级	能效3级	容积式空气压缩机能效限定值及能效等级 (GB 19153-2019)
7		通风机	效率	%	同能效标准分类	能效1级	能效2级	能效3级	通风机能效限定值及能效等级 (GB 19761-2020)
8		潜水电泵	能效值	%	同能效标准分类	能效1级	能效2级	能效3级	潜水电泵能效限定值及能效等级 (GB 32030-2022)
9		永磁同步电动机	效率	%	同能效标准分类	能效1级	能效2级	能效3级	永磁同步电动机能效限定值及能效等级 (GB 30253-2024)
10		高压三相笼型异步电动机	效率	%	同能效标准分类	能效1级	能效2级	能效3级	高压三相笼型异步电动机能效限定值及能效等级 (GB 30254-2024)
11		石油工业加热炉	加热炉效率	%	同能效标准分类	能效1级	能效2级	能效3级	石油工业用加热炉能效限定值及能效等级 (GB 24848-2010)

序号	产品类别	产品名称	能效指标	单位	分类	先进水平	节能水平	准入水平	参考标准
12		离心泵设备	效率	%	同能效标准分类	能效1级	能效2级	能效3级	离心泵能效限定值及能效等级（GB 19762-2025）

以上未列明的设备均应满足相应能效标准节能评价值（2级）及以上能效规定和《重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平（2024年版）》节能水平要求。

## 1.2 能效标杆引领

### 1.2.1 总体要求

能效标杆引领是通过树立标杆、政策激励、提高标准，形成推动终端用能产品、高耗能行业、公共机构能效水平不断提升的长效机制，促进节能减排。定期发布能源利用效率最高的终端用能产品目录，单位产品能耗最低的高耗能产品生产企业名单，能源利用效率最高的公共机构名单，以及能效指标，树立能效标杆。对能效领跑者给予政策扶持，引导企业追逐能效“领跑者”。适时将能效领跑者指标纳入强制性能效、能耗限额国家标准，完善标准动态更新机制，不断提高能效准入门槛。

### 1.2.2 全国能效标杆情况

#### (1) 原油加工

原油加工 2024 年度全国能效领跑者标杆企业名单见下表 1-10，其中我省中科（广东）炼化有限公司和中国石油化工股份有限公司广州分公司入选 2024 年度全国能效领跑者。

表 1-10 2024 年度全国能效领跑者标杆企业（原油加工）

序号	企业名称	单位能量因数能耗 (千克标油/吨·能量因数)
1	中国石化青岛炼化化工有限责任公司	6.41
2	中国石油化工股份有限公司广州分公司	6.65
3	中科（广东）炼化有限公司	6.98
4	中海油惠州石化有限公司	7.07
5	中石油云南石化有限公司	7.10

备注:摘自中国石油和化学工业联合会公布的《石油和化工行业重点产品 2024 年度能效领跑者标杆企业名单》。

## (2) 乙烯

乙烯行业 2024 年度全国能效领跑者标杆企业见下表 1-11, 其中我省有广东石化有限责任公司入选 2024 年度全国能效领跑者。

表 1-11 2024 年度全国能效领跑者标杆企业 (乙烯)

序号	企业名称	吨乙烯综合能耗 (千克标准油)
1	浙江石油化工有限公司(1#乙烯)	492.5
2	广东石化有限责任公司	500.8
3	中国石油化工股份有限公司茂名分公司(2#乙烯)	535.8
4	中石化宁波镇海炼化有限公司	553.2
5	中国石油天然气股份有限公司独山子石化分公司 (110万吨/年乙烯装置)	562.2

备注:摘自中国石油和化学工业联合会公布的《石油和化工行业重点产品 2024 年度能效领跑者标杆企业名单》。

## (3) 对二甲苯

对二甲苯行业 2024 年度全国能效领跑者标杆企业见下表 1-12, 其中我省有广东石化有限责任公司和中海油惠州石化有限公司入选 2024 年度全国能效领跑者。

表 1-12 2024 年度全国能效领跑者标杆企业 (对二甲苯)

序号	企业名称	吨对二甲苯 综合能耗 (千克标准油)	吨对二甲苯电耗 (千瓦时)
1	浙江石油化工有限公司(4#PX装置)	132.2	113.8
2	广东石化有限责任公司	145.5	118.2
3	恒力石化(大连)炼化有限公司(1#PX装置)	165.8	-86.3
4	中海油惠州石化有限公司	181.9	239.4
5	中国石油化工股份有限公司九江分公司	237.4	122.7

备注:摘自中国石油和化学工业联合会公布的《石油和化工行业重点产品 2024 年度能效领跑者标杆企业名单》。

#### (4) 精对苯二甲酸

精对二甲苯行业 2024 年度全国能效领跑者标杆企业见下表 1-13，其中我省恒力石化（惠州）有限公司、珠海英力士化工有限公司入选 2024 年度全国能效领跑者。

表 1-13 2024 年度全国能效领跑者标杆企业（精对二甲苯）

序号	企业名称	吨精对苯二甲酸综合能耗(千克标准煤)	吨精对苯二甲酸电耗(千瓦时)
1	恒力石化(惠州)有限公司	22.6	-48.2
2	福建百宏石化有限公司	24.7	-58.7
3	珠海英力士化工有限公司	32.4	-5.8

备注:摘自中国石油和化学工业联合会公布的《石油和化工行业重点产品 2024 年度能效领跑者标杆企业名单》。

#### (5) 烧碱

烧碱行业 2024 年度全国能效领跑者标杆企业见下表 1-14，我省未有企业入选。

表 1-14 2024 年度全国能效领跑者标杆企业（ $\geq 30.0\%$ 液碱）

序号	企业名称	吨烧碱( $\geq 30.0\%$ 液碱)综合能耗(千克标准煤)
1	青岛海湾化学股份有限公司	284.7
2	天津渤化化工发展有限公司	284.9
3	滨化集团股份有限公司	285.2

备注:摘自中国石油和化学工业联合会公布的《石油和化工行业重点产品 2024 年度能效领跑者标杆企业名单》。

#### (6) 钛白粉

钛白粉行业 2024 年度全国能效领跑者标杆企业见下表 1-15，我省未有企业入选。

表 1-15 2024 年度全国能效领跑者标杆企业（钛白粉）

序号	企业名称	吨钛白粉综合能耗(千克标准煤)
硫酸法		
1	山东东佳集团股份有限公司	705
2	潜江方圆钛白有限公司	710
3	山东金海钛业资源科技有限公司	719
4	攀枝花大互通钛业有限公司	719
5	山东道恩钛业股份有限公司	728
氯化法		
1	山东祥海钛资源科技有限公司	617
2	中信钛业股份有限公司	635
3	宜宾天原海丰和泰有限公司	637

备注:摘自中国石油和化学工业联合会公布的《石油和化工行业重点产品 2024 年度能效领跑者标杆企业名单》。

### 1.2.3 广东省炼化行业装置能效标杆情况

我省目前参与炼油和乙烯行业能效对标企业共 6 家，分别为中国石油化工股份有限公司广州分公司、中国石油化工股份有限公司茂名分公司、中科（广东）炼化有限公司、中海油惠州石化有限公司、中海壳牌石油化工有限公司以及广东石化有限责任公司，拥有原油加工能力 8775 万吨，乙烯生产能力 542 万吨，涵盖百余套炼化典型装置。2024 年度广东省炼化行业各装置能效标杆值见下表 1-17。

表 1-17 2024 年度广东省炼化行业装置能效标杆值

序号	能效领跑者	装置名称	单位	标杆值
1	中国石油化工股份有限公司广州分公司	全密度聚乙烯	千克标准油/吨	87.69
		延迟焦化2#	千克标准油/吨	17.89
		聚丙烯1#	千克标准油/吨	49.50
2	中国石油化工股份	柴油加氢3#	千克标准油/吨	3.88

序号	能效领跑者	装置名称	单位	标杆值
	有限公司茂名分公司	渣油加氢 (固定床)	千克标准油/吨	10.31
3	中海壳牌石油化工有限公司	高压聚乙烯 (一期)	千克标准油/吨	137.00
4	中科(广东)炼化有限公司 (东海厂区)	炼油	千克标准油/吨·因数	6.67
		常减压蒸馏	千克标准油/吨	5.67
		加氢裂化	千克标准油/吨	11.51
		连续重整	千克标准油/吨	41.83
	中科(广东)炼化有限公司 (东兴厂区)	催化裂化2#	千克标准油/吨	35.23
		干气制苯乙烯	千克标准油/吨	398.22
5	中海油惠州石化有限公司	MTBE (II)	千克标准油/吨	87.01
6	广东石化有限责任公司	乙烯裂解 (单位乙烯能耗)	千克标准油/吨	517.32
		乙烯裂解 (单位双烯能耗)	千克标准油/吨	370.02

备注：以上数据基于《炼油单位产品能源消耗限额》（GB 30251-2013）和《乙烯装置单位产品能源消耗限额》（GB 30250-2013）计算。

## 第二章 石化化工行业重点节能降碳工程

### 2.1 严格石化化工产业政策要求

一是按照国家政策要求，严格新上项目能效准入，落实建设项目环境影响评价制度，新建和改扩建炼油项目须达到能效标杆水平和环保绩效 A 级水平，主要用能设备须达到能效先进水平。二是重点支持石化企业老旧装置改造、新技术产业化示范以及现有炼化企业“减油增化”项目，加快能效基准水平以下炼油产能节能降碳改造。

### 2.2 加快用能系统和设备改造

实施能量系统优化，加强高压低压蒸汽、驰放气等回收利用，通过“换热器+热泵+蒸汽压缩”等低温热和高温热利用技术，回收装置余热和部分循环水废热，生产低压蒸汽和热水满足工艺用热需求，鼓励更新应用高效催化裂化烟气轮机、大型高效压缩机、先进气化炉、高效加热炉、高效换热器、高效精馏塔、高效反应釜、高效挤出机等节能生产设备。支持电机、水泵、风机、变压器等通用用能设备更新升级和变频改造。积极推动高效蒸汽系统、循环水系统、制冷制暖系统、空压系统、电机系统、输配电系统、火炬等公用工程系统能效提升改造。

### 2.3 推进石化化工工艺流程再造

推动常减压、催化裂化、重整、焦化、制氢加氢等炼油核心工艺和芳烃、烯烃、乙二醇等装置节能降碳改造，推广

高效催化裂化烟气轮机、重劣质渣油低碳深加工等工艺技术，加快高效蒸汽、制冷制热、电机、空压、输配电等系统更新升级，协同优化换热网络、低品位热利用、蒸汽动力系统等，实施原料燃料绿色低碳替代和用能系统电气化改造。引导烯烃原料轻质化、提高碳五、碳八、碳九、碳十等副产品资源利用水平。大力推进可再生能源替代，鼓励可再生能源制氢技术研发应用，支持建设绿氢工程，逐步降低行业煤制氢用量。鼓励石化园区探索利用核能供汽供热，积极打造国家级、省级零碳园区。推动废塑料、废弃橡胶等废旧化工材料再生和循环利用。

## **2.4 提升电气化率及智能化水平**

稳步提升企业用能电气化水平，有序推动中石化茂名分公司、法液空、东华能源等企业电驱系统替代蒸汽透平驱动，鼓励开展加热设备和伴热设施等电气化更新，探索开展蒸汽驱动向电力驱动转变，支持企业供电系统适应性改造。一体推进数字化能源管理和碳排放管理，支持建立覆盖电力、蒸汽、氢气、燃料气、循环水等能源介质的管控平台，加快数字化、智能化工厂建设。

## **2.5 实施二氧化碳捕集利用**

实现高浓度二氧化碳回收利用，确保煤制氢、环氧乙烷/乙二醇等装置高浓度二氧化碳全部回收利用，基本实现煤（石油焦）制氢装置90%浓度二氧化碳的回收利用。研究采用低分压烟气二氧化碳捕集技术、催化热钾碱脱碳技术、二

氧化碳膜法分离工艺技术、离子液体法捕集烟气二氧化碳技术、氨基酸盐法捕集烟气二氧化碳技术等，对比开展二氧化碳捕集，努力降低捕集成本。探索建设二氧化碳化学链矿化技术装置、二氧化碳还原制化学品装置、二氧化碳基可降解塑料装置。

## **2.6 加快推进数字化赋能**

强化石化化工企业用能数据计量监测。鼓励规模以上石化化工企业建立数字化能源管理中心，应用数据加工、智能机控、数字孪生等专业技术，构建覆盖电力、蒸汽、氢气、燃料气、循环水的数字化能源资源管理平台。鼓励一体推进数字化能源管理和碳排放管理，协同推进用能数据与碳排放数据收集、分析和管理工作。加快数字化、智能化石化化工厂建设。

## 第三章 石化化工行业节能降碳推荐技术

### 3.1 行业通用节能降碳推荐技术

表 3-1 行业通用节能降碳推荐技术目录

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
1-1	中温热泵工业余热利用技术	适用于石化行业废热利用节能技术改造。	以第二类溴化锂吸收式热泵作为主要设备,采用中温热源驱动,热泵循环中蒸发压力和吸收压力高于发生压力和冷凝压力,借助其与低温热源的势差,可吸收低品位余热(热水、蒸汽或其他介质),将另外一部分中温热提升到较高的温度,生产高品位热蒸汽或热水,实现能源品位的提升。该类热泵以获取更高的输出温度为目的,由于其向环境或低温热源排放部分热量,其性能系数 COP 一般小于 1,在 0.3~0.5 之间,系统运行过程中仅消耗少量的电能,具有显著的节能效果。	(1)可回收利用 70℃ 以上的中温废热。 (2)单级升温可提供比废热源温度高 30~40℃,但不超过 150℃ 的热水或饱和蒸汽,能效 0.45~0.48。 (3)两级升温可提供比废热源温度高 40~60℃,但不超过 175℃ 的热水或饱和蒸汽,能效 0.3。
1-2	自回热蒸馏技术	适用于化工、石化、制药、精细化工等行业的精馏过程。	自回热精馏节能技术(SHRT),是将精馏系统塔顶的低温蒸汽通过压缩机压缩,提高其温度及压力后送往再沸器加热塔釜料液并放热冷凝,系统运行仅通过压缩机维持精馏过程的能量平衡,系统利用少量电能提高塔顶蒸汽的热品位,高效回收了塔顶蒸汽的汽化潜热,减少塔釜料液加热的外加能源需求,降低了塔顶冷却水耗量,实现精馏过程节能经济运行,能耗仅为传统精馏工艺的 60%~80%。	(1)蒸汽压缩机压缩每吨甲醇电耗:≤60 千瓦时,流量:120~7000 立方米/分钟,压比范围达 2~8。 (2)再沸器的传热系数(K 值)较传统再沸器(热虹吸式)提升 20%以上。
1-3	无刷双馈智能交流电机系统	适用于石化行业 6kV/10kV 高压大功率电机节能改造与新建项目。	(1)采用先进的定子绕组自循环蒸发冷却技术,有效解决大功率电机散热问题。将电机本体设计与变频器控制策略统一考虑设计,实现性能最优。 (2)谐波污染小。无刷双馈电动机控制系统自耗电相比全功率变频器少 80%,节能效果明显。 (3)低压控制高压。可用低压智能控制器调速高压电机,节约	(1)调速方式:低压变频矢量控制; (2)调速范围:0%~100%; (3)系统效率:88%~94%,较传统高压变频高 4~5 个百分点; (4)节电率:15%~60%。

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
			成本。 (4) 无电刷和滑环。与传统绕线式电机相比,增加了运行的可靠性,减少维护工作量和运行费用。 (5) 调速范围大。调速范围最大可达 0~100%,能满足不同工况运行要求。 (6) 兼有异步和同步电机优点。转速和功率因数可调,提高了控制系统的力能指标,运行范围内具有高功率因数,减少了用户无功补偿器投入。	
1-4	绿色高效三相异步电动机技术	适用于石化、化工行业电机设备能效提升。	采用不等匝绕组、定子大小槽技术,降低定子铜损耗;采用转子低压铸铝工艺技术,转子填充率达 95%,有效降低转子铜损耗;采用转子闭口槽等技术,降低电机杂散损耗。综合各项技术,在保证电机性能前提下,有效降低主要材料用量。	机座号 80~450,功率 0.75~1000kW; 额定电压 380V/660V;基准频率 50Hz。
1-5	高性能低压变频器	适用三相异步电动机控制系统节能技术改造	通过将工频电压转换为直流电压,然后将直流电压再转化为可变频率可变幅值的电压,从而改变电机输入电压,可在满足转速、力矩情况下匹配电机负载自适应调节,对运行功率、效率进行动态优化,实现对交流异步电机调速,有效降低电机系统能耗。	(1) 交流电机效率比直流电机高: 2%~3%; (2) 开环转矩精度: $\pm 2\%$ ; (3) 开环转矩脉动: $\pm 3\%$ ; 闭环转矩脉动: $\pm 2\%$ ; (4) 速度精度: $\pm 0.001\%$ 。
1-6	高效节能蒸发式凝汽技术	适用于石化、化工行业换热工段节能技术改造。	采用复合式多级冷凝技术,包括蒸汽初步预冷段和蒸发式凝汽段,采用多级换热,实现三种介质循环,可根据环境条件进行多模式运行,实现高效节电。	(1) 耗电比: 0.11~0.15; (2) 排热性能提高: 8%; (3) 漂水比: <2 毫克/秒; (4) 气密性提高: 25%。
1-7	蒸汽锅炉节能装置	适用于石化化工行业蒸汽锅炉节能技术改造。	采用串联多极式磁路对锅炉进水进行深度处理,处理过程可削弱水分子间作用力,降低表面张力,提高蒸发速率,减少水生成水蒸气时的综合能耗,提高锅炉蒸发速率和效率。	(1) 锅炉节能率: 0.5%~3.5%; (2) 发电煤耗降低: 1.6 克标准煤/千瓦时; (3) 水压阻力: <0.03 兆帕; (4) 使用寿命: >10 年。
1-8	涡节和丁胞换热设备技术	适用于化工行业列管式换热器。	通过在管壁增加螺旋排布涡坑结构,利用壁面涡旋的扰动,强化涡节和丁胞换热管的换热能力。结合流场模拟技术优化和稳定温度场,提升换热设备换热能力,同时辅以复合涂层技术强	(1) 换热系数高,余热回收能力比同面积光管换热器提升 30%; (2) 壳程阻力低,配套风机负荷较低,

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
			化防腐，确保设备抗低温腐蚀能力，降低排烟温度，提高换热温差，回收利用尾部烟气余热，缓解原换热设备灰堵结垢等问题。	风机耗电量降低5%。
1-9	烟气余热利用技术	适用于烟气余热回收利用领域。	该技术采用烟气冷凝条件下防腐、强化传热传质及流动减阻降噪技术，利用低温水吸收加热炉高温排烟余热，回收排烟显热和水蒸气凝结潜热，降低加热炉排烟温度和生产能耗，提高加热炉燃料利用效率10%，减少二氧化碳等污染物排放。	(1) 利用低温水吸收高温烟气余热，排烟温度降至40℃以下，单位容量锅炉每天回收烟气冷凝水1~1.7吨； (2) 加热炉效率可达到100%以上，燃料利用效率提高5%~16%。
1-10	机械组合抽真空技术	适用于石化行业需要抽真空工艺的场景。	<p>(1) 机械+蒸汽抽真空。机械抽真空系统所用设备为液环真空泵，当泵腔内所充介质为水时，则称为水环真空泵。真空泵由电动机驱动，具有运行安全、工作稳定、结构紧凑、节能效果显著的特点。此类泵体属于体积式泵，在不同压力下吸入的体积数基本一致，即在压力高时吸入的质量多，因此在低真空时效率较高。</p> <p>水环真空泵获得的真空度较低，一般单级水环泵极限压力的设计值通常在2~8kPa,不能满足常减压装置减压真空度的要求；单纯的蒸汽喷射真空泵通过多级串联能达到较高的真空度，但蒸汽耗量大。因此，采用蒸汽喷射泵+水环真空泵组合抽真空工艺技术，既可以获得所要求的真空度，又可以使蒸汽的消耗量大大减少，适用于现有装置的技术改造。目前，国内部分大型常减压装置的减压塔抽真空系统已改造为混合抽真空机组，即利用液环真空泵代替最后一级蒸汽喷射器，取得了明显的经济效益。</p> <p>(2) 全机械抽真空。全机械抽真空利用机械泵等设备将容器内的气体抽出，使容器内部形成真空，通常用于实现对系统内部的气体进行抽排，从而降低系统内的压力，创造真空环境。</p> <p>(3) 两点抽真空技术。两段减压流程中，近年来SEI设计的减压塔顶抽真空系统采用“2-1-1”形式，即减顶一级抽空系统设置两组并联，分别用于一段和二段减压塔塔顶气抽真空，两路塔顶气在经过一级抽空系统后混合，之后依次进入减顶二、三级</p>	采用组合抽真空系统比全部水蒸气抽真空系统节能，节能效果显著。液环真空泵系统投资建设费用360万元，按水蒸气单价160元/t,循环水0.3元/t,软化水8元/t,电0.587元/(kW·h)计，组合抽真空方案每年运行操作费用较全部水蒸气抽真空方案少691万元，投资费用回收期只需0.52年，其长周期运行的经济效益相当可观。

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
			抽空系统，与每个减压塔单独设立一组抽真空系统相比，简化了流程，减少了占地面积和投资。	
1-11	锅炉给水余热利用系统	适用于化工行业余热回收利用领域。	该技术集成除氧单元、余热利用单元和智慧热氧中心，采用常温除氧技术脱除锅炉给水中的溶解氧，换热机组利用工艺余热将除氧水加热到原热力除氧器出口温度并智能优化控制运行参数，取消蒸汽加热，无乏汽排放，减少能量损耗，余热利用效率高、系统运行稳定。	(1) 除氧单元采用常温除氧技术，溶解氧指标小于 3ug/L； (2) 回收利用工艺余热，保证出口温度大于原热力除氧器出口水温 104℃。
1-12	蒸汽压缩提级利用	适用于石化、化工行业低压蒸汽利用领域。	蒸汽提级利用技术，核心是通过机械压缩、热能再利用、梯级匹配，将低品位、低压、低温蒸汽（含废蒸汽、二次蒸汽）提升压力与温度，转化为可直接复用的高品位蒸汽。蒸汽压缩机为核心设备，主要作用是将低压蒸汽升至中压蒸汽，给装置中部分中压蒸汽再沸和抽提各再沸器提供热源。蒸汽提级利用技术相比传统低低压饱和蒸汽过热后外送管网或发电等利用方案，可以避免饱和蒸汽长距离输送损失大、二次加热耗能高、发电效率低的缺点。该技术有能量利用率高、损耗小、产汽应用范围广等特点。	回收放空乏汽或高温凝结水闪蒸汽，替代 0.3MPa 蒸汽或将某一压力等级蒸汽压力适当提高，减少高一等级蒸汽减温减压使用，节能的同时还能促进蒸汽系统优化。
1-13	余压利用技术	适用于石化行业存在高压流体的装置。	在石油加工流程（如高压加氢裂化、渣油加氢）中有大量高压流体通过减压阀或孔板进行减压而造成能量浪费。随着流体余压回收技术的发展，高压流体可以通过压力透平做功，将压力能转换为透平的机械能，以轴功率的形式输出达到回收能量的目的。	实现流体压力能回收，装置节省电耗可达 5%~50%。
1-14	永磁调速技术	适用于石化行业电机设备。	永磁调速技术是应用永磁材料产生的磁力作用，实现力或者力矩无接触传递的一种新技术，该技术装置包括永磁磁力耦合器和永磁调速传动装置等。由于电机启动时不需要克服负载惯性，大大减小了峰值电流，缩短浪涌持续时间，从而节约能源，大幅减少设备磨损，保证设备的可靠运转。	(1) 平滑无级调速，调速范围 0~98%，实现高效节能，节电率 10%~50%。 (2) 柔性启动，减少电机的冲击电流，延长设备使用寿命。 (3) 隔离振动，无机械连接，安装简便，容忍较大的对中误差。 (4) 能适应各种恶劣环境，包括电网电压波动大、谐波严重、易燃易爆、潮湿、粉尘等场所。

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
1-15	高通量换热器技术	适用于石化行业换热器设备。	表面多孔高通量管是一种高效强化传热元件，具有优异的沸腾换热性能，它采用粉末冶金方法在光管（沸腾侧）内表面或者外表面烧结一薄层多孔层，显著强化沸腾传热，对烷烃、烯烃、芳烃类、醇类、水、氟利昂、液氮等多种工质均适用。沸腾传热系数比光管提高一个数量级，可广泛应用于炼油、化工、石油化工、海水淡化、液化气和液化天然气、空分、制冷等行业的沸腾换热器、重（再）沸器、蒸发器、汽化器。	高通量管沸腾换热系数为光管的 5~15 倍，产品具有以下特点： （1）能在小温差下保持核状沸腾，可采用低品位加热介质，进行热联合。 （2）可大幅减少换热面积，或提高换热负荷。 （3）具有高的临界热流密度，推迟膜态沸腾发生，提高负荷和安全性能。 （4）有良好的反堵塞能力，防结垢能力强。
1-16	高效保温节能技术	适用于石化行业用热设备和管道保温	采用高标准的保温强化节能技术，通过开发新型保温材料和结构，大幅减少散热损失，并延长保温使用寿命。	（1）针对不同保温材料特性进行试验和技术经济优化，完成新版《石油化工蒸汽管道保温结构及其厚度选用技术指南》，与现行标准相比大幅减少了允许散热量，提高了保温标准。 （2）开发“复合保温”技术，可有效防止软质材料的下沉、硬质材料的“热通道”，在降低散热损失和造价的同时，延长保温使用寿命。 （3）开发气凝胶纳米绝热材料双层异材新型保温结构，实现节能效果和经济性的统一。
1-17	汽轮机提效一通过改造技术	适用于石化行业汽轮机设备。	汽轮机通流改造是指对汽轮机通流部分，包括转子主轴、喷嘴组、全部隔板、调节级和压力级全部叶片、全部套装叶轮、全部隔板套、前/后汽封等的技术改造，例如本体结构优化、进排汽优化、密封结构优化、中低负荷提效优化等，通过改造可以有效改善机组经济性和安全可靠性，提升运行效率，充分满足客户的个性化需求。	（1）汽轮机的通流部分技术改造采用成熟的、先进的技术进行改造，最大程度地提高效率、降低热耗，并延长机组寿命。 （2）改造后的机组适应变负荷和变工况运行，且具有较高的经济性。 （3）机组外形尺寸不变，旋转方向不变。

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
				<p>(4) 汽轮机机组与轴承箱、发电机、主油泵、盘车装置的接口不变。</p> <p>(5) 回热系统保持不变，各抽汽口抽汽参数保持基本不变。</p> <p>(6) 改造后基础负载基本不变，设备满足现场安装要求。</p>
1-18	锅炉电站模拟优化技术	适用于石化行业锅炉电站。	<p>电站热力系统高效运行对节能降耗、减少排放、确保运行指标有重要影响。除通过单体设备提高运行效率之外，从电厂系统节能理论出发，通过计算和建模分析，识别并判断是否存在性能下降或故障等情况，对各个部件特性进行分析诊断，进一步查找原因及制定调整策略，从而达到优化热电机组运行的目标。</p>	<p>在当前能源价格市场环境下，以系统的实际运行成本最小化作为目标，优化系统的能源结构配置，降低燃料成本；调整锅炉和汽机的操作状态，提高系统效率，降低设备能耗；核算系统各设备操作性能指标，从全系统的角度，计算蒸汽和电力的实际成本，寻找最优的能量流经系统方式；结合能源市场状况，考虑外购电力的经济性，提出合理的外购/供电优化操作方式；针对蒸汽动力系统配置不足，结合企业长远发展规划，指导节能改造，获得更好的节能效果。</p>
1-19	循环冷却水系统节能技术	适用于石油化工、电力、冶金等流程工业中采用循环冷却水系统的装置。	<p>循环冷却水系统节能技术以系统能效提升为目标，围绕“换热—输配—散热”全过程，构建多设备耦合的优化运行体系，实现冷却能力与工艺负荷的精准匹配。在工程实施中，重点包括以下几个方面：</p> <p>(1) 系统建模与能效诊断 基于循环水系统结构（冷却塔—水泵—管网—换热器），建立水量、水温与能耗之间的关联模型，识别“大流量低温差”“局部阻力过大”“冷却塔效率偏低”等典型低效问题。</p> <p>(2) 循环水量与温差优化 通过对关键换热设备（如空冷器、冷却器）的热负荷分析，优化循环水供水量，实现由“保守供水”向“按需供水”转变，提高温差利用效率，减少无效循环量。</p>	<p>(1) 循环水泵电耗降低 15%~35%；</p> <p>(2) 循环水系统送水温度波动幅度下降 30%以上；</p>

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
			<p>(3) 泵—塔协同变频控制 对循环水泵及冷却塔风机实施变频改造，结合出水温度、环境湿球温度及装置负荷变化，建立联动控制策略，实现“以温控水、以需调速”的动态调节机制。</p> <p>(4) 管网水力平衡优化 通过增设调节阀、优化管径配置或局部改造，消除系统中存在的水力失衡现象，避免部分支路流量过大或不足，降低系统总压降。</p> <p>(5) 智能监测与优化运行 部署在线监测系统，对流量、压力、温度及电耗等关键参数进行实时采集，结合优化算法（如模型预测控制、启发式优化等），实现系统运行工况的持续优化。 通过上述措施，使循环冷却水系统由经验运行向数据驱动、动态优化运行转变。</p>	
1-20	碳排放在线监测系统	适用于需要核算碳排放量的石油、化工企业。	碳排放在线监测系统可以准确收集各生产装置的排放数据，包括化石燃料燃烧排放、间接排放（电、蒸汽）、装置过程排放（如石油焦燃烧）等，同时对能源和二氧化碳数据进行监测，数据准确度大大提高。管理系统利用实时监测数据、微尺度空气质量模型、大数据分析等技术手段，建立基于监测数据的碳排放核算方法体系。	提升碳排放核算数据的准确性和实时性。
1-21	能源系统综合优化技术	适用于石油化工、煤化工、精细化工等流程工业企业的蒸汽、电力、燃料及冷热能源系统的整体优化设计、改造与运行优化。	能源系统优化技术以“单元—子系统—全局”逐级集成为主线，首先在单元层面，通过物料流程优化与反应、分离过程强化，提升分子/原子经济性，减少不必要的能量消耗与重复分离负荷，实现源头减量与效率提升。其次在子系统层面，围绕分馏与换热网络开展协同优化，通过热网络重构与强化传热，提高余热回收效率，实现能量在装置内部的高效循环利用。在此基础上，进一步推进余热回收的跨装置集成与梯级利用，实现低品位热能向高品位利用的升级转化。最后在全球层面，统筹蒸汽动力系统与循环水系统，通过一次能源优化、热电冷联供集成以及管网与关键设备优化改造，实现多能源系统的协同调度	<p>(1) 综合能耗降低：5%~15%；</p> <p>(2) 碳排放降低：5%~20%。</p>

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
			与动态优化。	
1-22	节电保护装置	适用于石油石化、电力、钢铁、造纸等高耗能的企业。	核心技术是一种带有铁芯和特殊多绕组接线方式的三相电磁平衡技术，其铁芯采用反“Z”型连接，通过三相绕组产生的磁场相互叠加来平衡三相电压电流，均衡三相电源，消除杂波干扰。特殊的多绕组接线方式，可以相互补偿铁芯入磁通量，最大限度地控制各相感应电动势的一致性，从而保持三相趋于平衡，降低零线电流等额外损耗，达到节电目的。	在不改变企业原有的生产结构、生产设备、生产技术的前提下，在变压器后端（即低压端）安装节电保护装置，运用纯物理的电磁交互作用方式，消除电源中的杂波、吸收谐波、提高功率因数，从而能使电磁交互平衡，减少磁矩失衡，提升电机的机械效率，改善电能质量。
1-23	化学水对新鲜水换热技术	适用于使用离子交换除盐处理工艺，且有回收凝液的脱盐车站。	增设板式换热器，利用新鲜水和回收凝液进行换热改造，提高离子交换运行效果和再生效果，提高外供二级脱盐水水温。	<p>(1) 实现冬季利用高温凝液将新鲜水温度提高至 20~25℃，夏季水温提高至 33-38℃；</p> <p>(2) 提高离子交换运行效果和再生效果；</p> <p>(3) 提高外供二级脱盐水水温：由于脱盐水水温升高，可以使锅炉除氧器减少低压蒸汽用量。</p>

## 3.2 炼油行业节能降碳推荐技术

表 3-2 炼油行业节能降碳推荐技术目录

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
2-1	全厂能量系统优化技术	适用于石化行业全厂技术优化。	<p>过程能量系统包括多种生产设备和多个环节，系统能量集成优化技术通常从单设备、单装置入手，综合运用夹点分析、反应动力学模型、工艺流程模拟与多目标超结构数学算法相结合的技术，考虑全厂总加工方案下的各装置和装置间能量优化节能配置以及配套公用工程体系如何更好地适应装置操作，实现设备操作节能、装置用能优化及加工总流程优化，从而达到全厂系统能量优化利用，降低能源消耗的目标。主要优化方向如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 总流程优化。</li> <li>(2) 工艺过程改进。</li> <li>(3) 单元设备及操作优化。</li> <li>(4) 热联合及低温热回收利用。</li> <li>(5) 工业水系统优化。</li> <li>(6) 蒸汽动力系统优化。</li> <li>(7) 氢气-瓦斯系统优化。</li> <li>(8) 过程能量系统集成优化。</li> </ol>	应用能量系统优化技术，可以降低全厂综合能耗 1kgoe/t 以上。
2-2	炼油加热炉 95+ 技术	适用于石化行业加热炉节能技术改造。	<p>炼油加热炉 95+ 技术是一种集成了强化传热、余热回收、防腐蚀、防沾污结焦的先进技术，通过在装置受热面应用具有抗沾污结焦、抗高低温腐蚀、高黑度、耐磨损等功能的复合结晶膜，提升受热面的吸热效率和耐腐性能，可有效降低装置的排烟温度。这项技术能够显著提高加热炉的热效率，根据实际应用案例，加热炉热效率可提高 3% 以上，辐射换热面黑度达到 0.9 以上，装置整体节能量可达 5% 至 8%，排烟温度控制在 80℃ 以下。此外，该技术还有助于降低 CO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的排放量，改造效果的质保期可达到 5 至 8 年，在质保期内加热炉能够实现长周期的</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 加热炉热效率提高：≥3%。</li> <li>(2) 辐射换热面黑度：≥0.9。</li> <li>(3) 装置整体节能量：5%~8%。</li> <li>(4) 加热炉排烟温度：≤80℃。</li> </ol>

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
			高效运行。通过这些技术升级，企业能够实现显著的节能降耗效果，提升经济效益，同时减少环境污染，推动绿色可持续发展。	
2-3	煤制氢装置气化黑水余热回收技术	适用于石化化工行业水煤浆气化工艺黑水余热回收利用节能技术改造。	气化黑水余热回收技术是一种针对煤化工行业水煤浆气化工艺中“粗合成气湿法洗涤除尘”单元产生的气化黑水低温余热资源浪费问题而开发的节能技术。这项技术通过采用无过滤、全通量黑水直接取热的方法，将大约 130℃的气化黑水冷却至 60℃以下，回收的热量可以用于供暖或其他热能需求，从而替代了现有工艺系统中的真空闪蒸及闪蒸黑水冷却单元。这种技术不仅能够有效地回收原本被浪费的低温余热资源，而且具有高效率（余热回收效率≥90%）、易于与现有系统切换、运行期间维护成本低等特点。通过这种方式，企业可以显著减少能源消耗，提高能源利用效率，同时减少温室气体排放，对推动工业节能和绿色发展具有重要意义。	(1) 余热回收效率：≥90%； (2) 气化黑水冷却温度：≤60℃； (3) 采暖水供水温度：≥70℃。
2-4	低温热联合利用	适用于低温余热有较大潜力的石化企业。	装置低温热的利用即是装置中不能利用的低温热集中起来统一使用。回收的热量大多是空气冷却和水冷却的高温位部分，许多又是冷凝相变的部分，这就要求在装置回收低温热时，充分考虑系统的安全性和操作的可靠性。通常有如下做法：一是为解决各装置开停工不同步的问题，可保留已经存在的冷却系统，一旦上游装置发生故障时，能及时切换过去，以保证正常操作。二是采用可靠的换热设备，防止工艺物流泄漏，如采用 U 型管换热器等。为保证进装置热水温度恒定，在热水站应设冷却和加热系统。 将低温热集中后，可利用方案主要分为纯供热型、供热-制冷联合型和供热-制冷-发电型三种，其中纯供热型为通过热泵技术提高物流的温度，使物流再用于生产过程；供热-制冷联合型为通过低温热制冷，如氨吸收制冷、低温热溴化锂吸收制冷；低温热还可用于发电，但单纯采用低温热发电方案，投资大，发电效率低、投资回收期长，因此与生产供热、供冷结合起来，根据温位不同等安排不同用途，形成整体优化方案。	根据温位不同等安排不同用途，视企业余热利用情况而定。

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
2-5	电驱系统替代蒸汽透平驱动	适用于采用燃煤或燃气锅炉产蒸汽驱动的透平设备的炼油企业。	<p>蒸汽透平是一种将蒸汽的热能直接转换成转动的机械能的原动机，其工作原理包括冲动式和反动式两种。在冲动式透平中，蒸汽的热能转变成动能的过程仅在喷嘴中进行，而工作叶片只是把蒸汽的动能转换成机械能。在反动式透平中，蒸汽在静叶片和动叶片中均膨胀，压力温度均下降，流速增大，从而将蒸汽的热能转变成动能，再转换成机械能。</p> <p>相比之下，电驱系统通过电能直接驱动设备，避免了蒸汽透平在能量转换过程中的能量损失。电能作为一种清洁能源，其转换效率相对较高，且易于控制和调节，能够根据需求精确调整输出功率，避免能源的浪费。电驱系统具有高效率和精准控制能力，尤其是集成了电机、电控和减速器的三合一电驱动系统，因其结构紧凑、体积小、重量轻且高效率。</p> <p>此外，电驱系统能够实现更精确的速度控制和扭矩输出，从而在不同工况下保持最佳运行状态，进一步提高能效。电驱系统可以方便地接入可再生能源，如风能和太阳能，这有助于减少对化石燃料的依赖，并降低温室气体排放。</p>	电驱系统总效率可达 85%~95%。
2-6	压缩机智能气量调节系统	适用于石化行业炼油、煤化工等领域大型工艺往复压缩机。	<p>智能气量调节系统是一种先进的控制系统，旨在精确调节和优化压缩机、风机或其他气体处理设备的气量输出，以满足不同工况下的需求。这类系统通常具备以下特点：</p> <p>(1) 智能化控制：采用先进的算法和传感器技术，实时监测设备运行状态和气体流量，根据预设或动态调整的控制策略，自动调节气量输出，以达到最优的能效比和运行稳定性。</p> <p>(2) 精准调节：通过高精度的控制单元和执行机构，实现对气量输出的精细调节，满足不同工况下的精确需求，减少能源浪费和排放。</p> <p>(3) 远程监控与诊断：支持远程数据传输和监控，用户可以通过网络随时查看设备运行状态和性能参数，实现远程故障诊断和维护，提高运维效率。</p> <p>(4) 节能环保：通过优化气量调节和降低设备运行能耗，实现节能减排的目标，符合当前绿色发展的主流趋势。</p>	智能气量调节系统可以通过优化气量调节和降低设备运行能耗。

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
2-7	加氢处理装置取消分馏系统节能技术	适用于石化行业的蜡油加氢、渣油加氢处理装置。	<p>蜡油加氢、渣油加氢处理装置是炼油企业重要的二次加工装置，为下游催化裂化装置提供优质原料。基于加氢处理装置副产石脑油、柴油量较少以及柴油回炼等原因，反应产物无预先分离的必要性，为降低装置能耗，提出蜡油加氢、渣油加氢取消分馏系统节能技术。</p> <p>(1) 蜡油加氢、渣油加氢取消分馏系统节能技术。对蜡油加氢、渣油加氢处理装置实行分馏系统深度优化运行，原料油经加氢处理后，反应生成油脱硫化氢后直接进入催化装置作为进料，并实现装置间的深度热联合，催化裂化回炼油不直接回炼，先进行加氢处理后再循环至催化裂化装置继续裂化。本技术典型特点是蜡油加氢、渣油加氢装置取消分馏系统。</p> <p>(2) 蜡油加氢、渣油加氢取消分馏炉节能技术。由于原料切割较清晰，分馏塔除蜡油外的其他产品较少，通过对装置分馏系统进行优化调整，降低分馏系统操作温度，停运分馏系统加热炉，装置不分馏出柴油，与蜡油组分一起进入催化裂化装置加工，降低蒸汽发生器产汽量，停运分馏系统部分机泵和空冷器。</p>	采用取消分馏系统或分馏炉节能技术，加氢处理装置能耗可以降低1~4kgoc/t。
2-8	高效抗堵塞塔盘技术 (SDMP)	适用于石化行业酸性水汽提装置。	<p>炼化企业炼油污水中存在大量的焦粉、催化剂粉末、油泥等杂质，其长期积累会造成汽提塔塔盘堵塞，导致塔盘压降增大、装置蒸汽消耗量增加、装置运行周期难以与上游炼油生产装置的运行周期相匹配等问题，严重影响污水汽提装置的正常运行。污水汽提装置易发生塔盘堵塞问题，一方面由于含硫污水水质较差，另一方面是由传统浮阀塔盘的结构缺陷造成的。该技术开发了一种高效抗堵塞塔内件，能够大幅提高塔盘容垢能力，从而延长汽提塔的运行周期，其传质过程如下：气体由塔板板孔缩流加速进入喷射孔内，液体从塔板上帽罩底隙进入罩内，并且在塔板上保持一定的液层厚度，气体携带着液体向罩顶撞击的同时完成气液传质。撞击后气液折返从帽罩侧孔水平喷射，液滴落回塔盘，气体上升进入上一塔板。通过改变帽罩及喷射孔的结构尺寸和位置来提高塔盘的容垢能力，从而延长汽提塔运行周期，保障装置长周期安全运行。</p>	<p>(1) 处理能力比浮阀塔盘提高20%。</p> <p>(2) 压降比浮阀塔盘降低10%以上。</p> <p>(3) 操作弹性上限大，可达5.0以上。</p> <p>(4) 运行周期比浮阀塔盘提高4倍以上，可满足酸性水汽提装置4年长周期稳定运行。</p>

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
2-9	换热流程夹点分析优化技术	适用于石化行业全厂用能优化。	基于“夹点技术”原理，根据各种约束条件，选择合适的目标函数，如最小投资费用（即换热器费用）和最小运行费用（即公用工程用量），对换热网络进行调优，使每一股物流都达到目标温度，获得最优或接近最优的换热网络，实现冷、热物流的合理匹配，最大化回收能量，提高能量的利用效率。	应用换热流程夹点分析优化技术，炼油单装置能耗降低效果明显。
2-10	胺液脱硫系统节能技术	适用于石化行业胺液脱硫系统。	<p>胺液脱硫系统是炼化企业仅次于原油和循环水系统的第三大物流系统，能耗约占全厂能耗 8%~10%，各企业普遍存在胺液循环量大、蒸汽耗量高、胺液品质下降、冲塔等问题。</p> <p>针对胺液脱硫系统存在的问题，研究单位从工艺、设备溶剂等方面入手，形成胺液脱硫系统节能与长周期运行成套技术，具体技术包括：</p> <p>(1) 胺液系统全局优化：建立全流程模拟模型，开展能耗和效益评价，提出完善的优化方案，实现节能、增效。</p> <p>(2) 高硫容新型脱硫溶剂的开发：通过开发新型溶剂，有效降低胺液循环量，从根本上降低装置能耗。</p> <p>(3) 脱硫工艺升级：从上游分离、脱硫工艺及发泡处理等方面对现有工艺进行升级，增加脱硫过程的稳定性，降低发泡后的影响，保证脱硫效果，减少胺液损耗。</p> <p>(4) 智能化在线监测：依托智能化在线监测平台，实现系统整体工艺流程可视化，运行参数透明化，提高系统运行效率。</p> <p>(5) 高效脱硫抑泡抗堵内件：通过结构创新，提高塔盘液相分散程度和传质效率，阻力降低、抗堵性好、抑泡性强，可延长装置运行周期；高效脱硫内件有效提高 H<sub>2</sub>S 脱除率及胺液需求量。</p> <p>(6) 胺液高效净化：基于无机膜及异质纤维组合的高效过滤技术，有效去除颗粒物和油类的污染，提高胺液品质。</p> <p>(7) 高效高选择性脱硫促进剂：具有 H<sub>2</sub>S 脱除率高、CO<sub>2</sub> 共吸率低、稳定性好、再生能耗低的特点，可与 MDEA 以任意比例复配使。</p>	采用胺液脱硫系统成套技术可提高胺液使用浓度及胺液品质，降低胺液循环量及脱硫剂损耗，减少蒸汽能耗及检维修费用等，实现胺液循环系统节能、长周期、稳定运行，经济效益显著。
2-11	氢气系统优化技	适用于石化行业加氢装置。	氢气作为加氢装置必需的原料，是炼油行业生产过程中不可或	(1) 氢气利用率可提高 5~15 个百分

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
	术		<p>缺的资源。随着加氢装置加工能力的持续上升，加氢处理深度的不断增加，炼厂对氢气资源的需求逐年增长，氢气费用在原料成本中所占比例也越来越高。从全厂氢气/燃料气系统现状出发，开展氢气/燃料气系统集成优化研究，对降低企业用氢成本、提升行业竞争力具有重要意义。</p> <p>(1) 利用氢资源优化软件，建立全厂氢气系统的流程模型(包括产氢单元、用氢单元、氢气提纯、氢气分配系统、燃料气系统等)。</p> <p>(2) 对各加氢装置用氢条件进行详细分析，优化装置用氢。</p> <p>(3) 采用氢夹点分析技术对氢气网络进行问题诊断，并通过数学规划算法对现有网络进行统筹优化。</p> <p>(4) 氢气网络优化与加氢装置用氢优化相结合，在改善加氢装置操作条件的基础上开展氢气全系统优化。</p> <p>(5) 氢气资源优化与全厂总流程优化相结合，在优化炼厂总流程的基础上进行供用氢平衡计算，制定合理的用氢优化方案。</p>	<p>点；</p> <p>(2) 降低全厂炼油综合能耗 0.05~0.5kgoc/t；</p> <p>(3) 降低公用工程供氢 5%~16%；</p> <p>减少制氢装置 CO<sub>2</sub>排放量 10%~30%。</p>
2-12	液相循环加氢技术	适用于石化行业柴油加氢装置。	<p>液相循环加氢技术反应部分不设置氢气循环系统，依靠液相产品大量循环时携带进反应系统的溶解氢来提供反应所需氢气，反应器采用与滴流床反应器相近的结构。液相循环加氢技术的优点是消除了催化剂的润湿因子影响，由于循环油的比热容大，从而大大降低反应器的温升，提高催化剂的利用效率，并降低裂化等副反应。装置高压设备少，热量损失小，投资费用和操作费用低，液相循环加氢技术是低成本实现油品质量升级的优选技术。</p>	<p>与常规柴油加氢技术相比，采用液相循环加氢技术，装置操作能耗可以降低 4.15kgoc/t，装置总能耗为现阶段柴油加氢装置操作能耗的 40%左右。</p>
2-13	ORC 有机朗肯循环余热发电技术	石油化工厂热水站、煤制乙二醇、汽油加氢装置、柴油加氢装置、MTO 装置(煤化工)、聚碳酸酯工艺包、气化炉、制氢装置等。	<p>该技术循环与火力发电的热力循环原理类似，只是做功物质从水变成了低沸点有机工质，选用常压下 15℃ 沸腾的有机工质 R245fa，通过与低温余热换热后加热为工质蒸汽，工质蒸汽驱动专门设计的向心涡轮做功，并通过发电机向外输出高品质电能，变废为宝。该技术可回收 80-400℃ 中低品位余能。</p>	<p>(1) 凝结水、冷凝液：≧95℃；</p> <p>(2) 低压饱和蒸汽：≦0.5Mpa；</p> <p>(3) 饱和蒸汽：≧0.5Mpa，数量较小，不易平衡、利用的蒸汽；</p> <p>(4) 工艺物料：柴油、汽油、变换气、酯化蒸汽；</p> <p>(5) 烟气：≧250℃。</p>

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
2-14	炼化加热炉复合结晶膜技术	适用于石油化工行业炼化加热炉、锅炉及换热系统。	该技术采用复合结晶膜涂敷于炼化加热炉炉管表面。根据炼化炉受热面及运行工况，选择复合结晶膜材料配方，对炉管受热面进行复合结晶膜改造，提高炉管表面黑度，提升炉管吸热/换热能力和抗焦阻垢等性能，降低燃料消耗 3%~10%。	(1) 应用复合结晶膜后受热面在高温工况下黑度大于 0.93，提高受热面吸热能力，降低燃料消耗 3%~10%； (2) 应用复合结晶膜后受热面具有抗氧化、耐高温腐蚀等特点，延长受热面寿命 1~2 倍。
2-15	高通量换热技术	适用于石油化工行业换热系统。	该技术在换热元件光滑表面覆盖多孔层涂层作为气泡发生单元。涂层内部布满金属颗粒构成的凹穴和隧道，隧道随机将凹穴连接起来，增加换热接触面积，加速气泡生成和热传递，可提高沸腾设备总传热系数 2 倍以上，与光管换热器相比节能 25%~60%。	(1) 采用多孔表面换热管技术，强化沸腾传热，减少所需换热面积 30% 以上； (2) 多孔表面使沸腾换热系数提高到光滑管表面的 2~10 倍，提高沸腾设备的总传热系数 2 倍以上。
2-16	常减压蒸馏装置换热网络流程优化	适用于石化行业常减压装置。	常减压蒸馏装置换热网络流程优化，是以热力学第一、第二定律为基础，通过夹点分析识别能量瓶颈，遵循温位匹配、梯级利用、系统集成原理，最大限度回收侧线及塔底热油余热，提高原油换热终温，降低加热炉负荷与冷却负荷，实现装置用最合理、能耗最低的过程。	换热网络优化可实现石化行业常减压装置节能 5%~15%，直接降低加工成本、提升装置经济性。
2-17	重整四合一炉空气预热技术	适用于石化行业重整装置	重整四合一炉存在产汽量大、排烟温度高的现象，导致炉子热效率低，能耗偏高，降低了装置运行经济性。因此，进一步回收重整加热炉烟气热量、提高热效率具有重要意义。 (1) 重整加热炉空气预热技术。新增空气余热回收系统，将排烟温度由 160°C 以上降至 100°C 左右，空气温度由 20°C 升高至 150°C 以上，提高空气进炉温度。 (2) 外部热源预热空气技术。利用低压放空蒸汽、低压凝结水等外部热源预热空气，充分利用装置余热，提高入炉空气温度，节省加热炉燃料消耗量。 (3) 减少余热锅炉产汽技术。适当减少余热锅炉对流段及省煤器面积，降低锅炉产汽量，提高烟气进空气预热器温度，提高热风温度，降低燃料消耗，减少燃料气产汽量。	重整加热炉采用以上技术后，加热炉燃料消耗可节省 1%~10%。
2-18	配套于大型催化	适用于炼油、石化行业催化	应用了 FCC 催化剂再生烟气内嵌式 SCR 脱硝工艺，解决了受	(1) 锅炉容量：20~300 吨/小时。

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
	裂化装置补燃式 余热锅炉	裂解装置节能技术改造。	热面及管道露点腐蚀、高温腐蚀和积灰问题，延长了烟道长度，提高了热回收效率；采用独特的旁通烟道结构，第四烟道内的高温烟气温度恒定，避免温度过高造成催化剂烧结失活及烟气温度过低生成铵盐，有效延长了催化剂的使用寿命，降低了脱硝反应器的运行维护费用，提高了脱硝效率。	<p>(2) 烟气流量：5~35 万立方米/小时（标态）。</p> <p>(3) 系统出口烟气温度：<math>\leq 180^{\circ}\text{C}</math>。</p> <p>(4) 高压过热蒸汽压力及温度：9.5~12 兆帕、480~580<math>^{\circ}\text{C}</math>。</p> <p>(5) 锅炉系统效率：76%~86%。</p> <p>(6) 创新烟道排布结构，尽可能降低锅炉高度的前提下延长烟道长度，提高了锅炉的热回收效率，可达 85%以上。</p> <p>(7) 采用独特的换热器及脱硝装置排布结构，将整个锅炉设备的高度从 70 米降低至 50 米，方便了锅炉设备的安装、维护、检修，提高了稳定性。</p> <p>(8) 创新设计了脱硝烟气温度调节机构，确保进入第四烟道内的高温烟气的温度始终保持在 350~400<math>^{\circ}\text{C}</math>。</p>
2-19	智慧热岛—余热 利用技术	适用于工艺流程复杂、有大量余热未利用的企业，如炼油、化工、煤化工等。	智慧热岛技术以水为媒介，通过泵送至各个热量富余的生产装置或系统，已换热的方式收集里面的余热（取热岛），然后输送给需要热量的装置或系统中（用热岛），替代用热岛中现有的蒸汽加热方式，达到节省蒸汽的目的。	<p>(1) 热量利用效率提升 20%以上。</p> <p>(2) 加权总传热系数提升 20%。</p> <p>(3) 总换热面积下降 5%~10%。</p>

### 3.3 乙烯行业节能降碳推荐技术

表 3-3 乙烯行业节能降碳推荐技术目录

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
3-1	裂解炉原料适应性升级改造	适用于乙烯行业裂解炉节能改造。	裂解炉原料适应性升级改造是以强化原料气化、降低烃分压、缩短停留时间、强化传热、均匀流量分配为核心原理，通过对流段、辐射段、稀释蒸汽系统、燃烧系统及控制方案的协同优化，使裂解炉在轻、重及混合原料下均能实现完全气化、均匀裂解、高效传热、低结焦运行，最终达到拓宽原料范围、稳定烯烃收率、延长运行周期、提升装置经济性的目的。	裂解炉烟气氧含量平均 1.4917%，CO 含量小于 0.01%，裂解炉热效率为 94%。
3-2	裂解气压缩机与丙烯汽轮机节能改造	适用于乙烯行业裂解气压缩机与丙烯汽轮机。	使用高科技隔板、高效叶片以及刷式密封，对裂解装置的裂解气压缩机及丙烯的汽轮机进行了流道部件的改造，目的是降低透平消耗蒸汽量。 利用新研发的喷管流道，包括隔板和喷嘴环具有高稳定性及高效率，可大幅提升压缩机效率。 利用刷式迷宫密封，可进一步提高轴封的效率和机组性能。刷式密封可安装在轴头和内部各级隔板上，其优点为降低各级的泄漏量。泄漏量的降低可使进汽量一定的情况下输出功率更多，或在所需功率一定的情况下减少进汽量。	改造后机组功率比改造前增加了 5%，但透平进气流量减少 4.8 吨/小时，抽气量减少 2.8 吨/小时，凝气量减少 2 吨/小时，凝液占进汽量由原来的 31% 下降到 30%，节约了蒸汽用量。
3-3	乙烯裂解炉节能陶纤衬里材料	适用于乙烯行业裂解炉设备改造。	开发适用于乙烯裂解炉轻质化、低导热系数的陶纤表面热防护涂料。通过在乙烯裂解炉内层涂装热防护涂层及复合陶纤模块，结合卯榫连接及液体锚固技术，使陶瓷纤维衬里具有抗高温、抗高流速烟气冲刷的特点。替代耐火砖应用于乙烯裂解炉下部炉墙，无需烘炉操作，提高生产效益。	(1) 热防护涂层和陶瓷纤维模块有效结合，衬里烟气冲刷极限值可达 90 米/秒； (2) 衬里结构设计合理，有效降低了导热系数(1000℃下≤0.18 瓦/(米·开))。
3-4	裂解炉烟气余热回收	适用于乙烯行业裂解炉设备余热利用。	裂解炉出口烟气温度通常在 150~200℃甚至更高，含有大量可回收余热。裂解炉烟气余热回收技术，是通过对流段强化换热、省煤器、余热锅炉、空气预热器及低温热集成等方式，将烟气中的余热回收，用于原料预热、蒸汽发生、空气预热及全厂低	(1) 裂解炉热效率可提升 2%~5% (2) 排烟温度可降低 30~80℃

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
			温热利用，从而降低燃料消耗、提高裂解炉热效率、实现装置节能降耗。	
3-5	裂解炉结焦抑制剂技术	适用于采用重质原料的高温蒸汽裂解炉。	<p>烃类在裂解过程中发生聚合和缩合等二次反应，在裂解炉辐射段炉管内壁结焦，焦垢使炉管热传导率减小，壁温升高，装置能耗增大，同时焦垢的沉积又使炉管内径变小，压降增大，炉管寿命缩短，造成装置运行成本增加。通常工况下，采用乙烷、丙烷等气体原料，催化结焦约占 80%，热裂解结焦约占 20%。乙烯裂解炉的结焦问题严重降低了收率，缩短了装置的运行周期。因此，开发结焦抑制技术具有重要意义。</p> <p>结焦抑制技术主要有：炉管表面处理、炉管涂层、采用新型炉管材料、添加结焦抑制剂等。其中在裂解炉原料中添加结焦抑制剂是抑制结焦的常用方法。它具有不需要改变生产流程，不需要更换炉管，容易实施等优点。</p>	停炉烧焦次数减少至 2~3 次/年。
3-6	饱和轻烃综合回收技术	适用于石化行业存在轻烃回收需求的装置。	<p>炼厂 C4 及以下的饱和轻烃（包括各类干气、液化气等）经脱硫后统一送至饱和轻烃综合回收装置处理，分离出富乙烷气（乙烯裂解原料）、混合碳四（乙烯裂解原料或进一步综合利用）及甲烷氢干气（PSA 原料），实现轻烃资源综合回收利用。</p> <p>（1）将 C2、C3、C4 回收统筹纳入轻烃一体化回收流程中，不单独设置吸收稳定系统，流程大幅缩短，降低整体投资及能耗。</p> <p>（2）C2/C3/C4 模糊分离，制冷温位需求温和，可通过溴化锂制冷实现，能够充分利用炼厂低温热，进而使节能效果显著。</p> <p>（3）富乙烷气中甲烷含量稳定可控，不增加乙烯装置分离能耗，经济性好。</p> <p>（4）最大化分离回收 C2、C3、C4 等各类化工原料，实现多种轻烃资源的综合回收利用。</p>	<p>（1）一体化轻烃回收装置能耗值比现有技术降低 10%~15%（以全流程为基准）；</p> <p>（2）投资降低 10%。</p>
3-7	乙二醇装置脱碳系统低温热利用	适用于石化行业 CO <sub>2</sub> 解吸塔塔顶气余热未充分利用的企业。	石化企业的乙二醇装置 CO <sub>2</sub> 解吸塔的塔顶气经解吸塔顶水冷却器冷却至 46℃后自流至下一装置，有较多的冷却负荷，约 100℃塔顶气直接水冷造成热量损失。采用热泵原理，换热介质选用水-水蒸气，饱和水通过横管降膜再沸器（塔顶），从塔顶吸热汽化为 96℃饱和蒸汽，再经罗茨压缩机压缩升温升压至 115℃、	<p>（1）节约原塔釜加热用低压蒸汽用量，同时减少解吸塔顶水冷却器冷却水负荷。</p> <p>（2）投资较大，投资回收期相对较长，需要结合节能、降碳权衡效益。</p>

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
			170kPa 饱和蒸汽，饱和水蒸汽通过横管降膜再沸器（塔釜）对塔釜液加热，以节约原塔釜加热用低压蒸汽用量，放热后的热流再经再冷器 2 全冷凝为饱和水后送至横管降膜再沸器（塔顶），以此循环；塔顶气经饱和水在横管降膜再沸器（塔顶）冷却后，经过再冷器 1 冷却至 46℃后外送；由于传统的热虹吸式再沸器需要较大的传热温差，故选用具有传热系数大，所需传热温差小的横管降膜式再沸器（塔顶、塔釜共两个），该换热器需分别配套使用循环泵。	
3-8	裂解气压缩机与乙烯精馏塔系统改造	适合于推广至裂解气压缩机出口压力偏高、乙烯精馏塔压力偏高，成为装置瓶颈的裂解装置。	压缩机改造：更换压缩机三缸的转子、壳体、隔板、轴承、干气密封部件及联轴器等附件。更换汽轮机转子等通流部件，进汽阀座局部改造。 乙烯塔改造：更换乙烯精馏塔塔顶 4 台冷凝器 EB-443A/B/C/D，增加冷剂分液罐 VB-469N，采用高效、高通量塔板更换乙烯精馏塔的塔板，调整相关配管、结构等。乙烯塔塔顶冷凝器内部设置注液封条便于更好进行气液冷剂均配，乙烯塔塔板更换为波纹导向浮阀。	(1) 节能降耗：通过优化压缩机组和精馏系统运行效率实现能耗降低。 (2) 收率提升：乙烯累计收率提高至 33.21%，双烯累计收率提高至 49.21%，较改造前分别提升 1.13 和 1.94 个百分点。
3-9	炼化企业公用工程系统智能优化技术	适用于石化行业炼化企业、石化基地、化工园区公用工程资源的集成管理与优化。	本技术包括氢气系统智能优化技术和蒸汽动力系统智能优化技术。氢气系统分为供需子系统和回收子系统，通过分步建模及协同优化，建立氢气全系统优化模型，解决模型求解难的问题，形成了集成反应动力学供需子系统建模技术、氢气-轻烃-瓦斯三元协同优化技术等，并在此基础上结合数据采集处理技术和管网模拟优化技术开发了氢气系统智能优化平台，实现氢气资源的梯级利用，提高系统氢气利用效率，减少供氢，节省燃料消耗及电耗，减少 CO <sub>2</sub> 排放；蒸汽动力系统智能优化技术是开发动力站锅炉、汽轮机、辅机等主要装置模型，通过联立方程法对系统进行计算求解，实现动力站系统的模拟。同时，采用联立方程法对动力站与蒸汽管网进行系统集成，实现蒸汽产-输-用集成建模与优化。	(1) 实现动力站-管网-装置整体建模与集成优化； (2) 区别于其他建模软件虚拟流股，创新性地采用管网的概念，更加贴合现场实际情况； (3) 实现系统的实时模拟与诊断，对企业优化操作、精益化管理提供支持。

### 3.4 其他化工行业节能降碳推荐技术

表 3-4 其他化工节能降碳推荐技术目录

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
4-1	硫铁矿制酸系统协同利用有机废硫酸节能降碳技术	适用于硫铁矿制酸行业。	优化沸腾炉内部结构，以废硫酸为原料替代原料硫铁矿，集成硫铁矿制酸与有机废硫酸分解系统，回收余热高温裂解废硫酸。通过废硫酸的掺烧代替水来调节沸腾炉温度，使炉温保持在950~1050℃，实现沸腾温度的精确调控和热量循环利用。利用废硫酸裂解产生的二氧化硫来调节硫铁矿制酸的二氧化硫气体浓度，不使用天然气。	(1) 废硫酸分解率≥98%，掺烧废硫酸余热利用充分，炉内沸腾层温度达950~1050℃； (2) 硫铁矿脱硫率≥98.5%，降低制酸系统硫铁矿原料消耗30%左右。
4-2	橡胶串联密炼技术	适用于橡胶轮胎生产工艺。	采用全封闭式上下工位密炼机，上密炼室容量小填充系数大，下密炼室容量大填充系数小。通过提高散热性降低生热速度，保证下工位的恒温反应，满足对温度敏感新型胶料的密炼要求，可实现胶料低温炼胶。混炼工艺合为一段，胶料混炼时间缩短，热量损失小，无需经过挤出压片和置于空气中冷却，无污染废气排出。	(1) 多段混炼变为一段混炼，胶料混炼时间缩短，热量损失小，单位产量节约电能20%~30%； (2) 胶料在上下位密炼室内部全封闭式低温炼胶，无需挤出压片和空气中冷却，无污染废气。
4-3	高纯度熔融结晶技术	适用于精细化工领域。	该技术采用旋流布膜技术使物料在结晶管壁上形成均匀降膜液层。基于不同物质熔点差异精确调控温度参数，分阶段控制“结晶→发汗→熔融”过程，通过固液两相平衡实现主物质与杂质分离，分离过程中不加入溶剂，分离周期短，相比传统精馏工艺减少蒸汽消耗，能耗降低70%~85%。	(1) 采用非稳态流体动力学设计，成膜厚度≤2毫米，传质效率提升40%； (2) 采用多级温控系统，实现±0.5℃精准控温，适用于热敏性物质分离，提高整体收率。
4-4	电解槽极网改造技术	适用于烧碱或氯碱生产领域。	传统的电解槽在能耗、效率和环保方面存在一定的局限性，因此，对其进行改造升级势在必行。采用新型电解槽改造旨在提高电解效率，降低能耗，减少环境污染，从而推动工业领域的绿色可持续发展。 优化电解槽结构：通过改进电解槽的流道设计、电极布局和隔离膜性能，提高电解液的流动性和电解效率。这有助于减少能耗和提高产品质量。 选用高效材料：采用具有高导电性、高耐腐蚀性的新型材料，	槽电压降低：150~350mV(零极距+涂层升级)。 单位电耗下降：3%~8%(氯碱烧碱/制氢)。 电流效率提升：1%~3%。 极网寿命延长：3~5年(再生)。 离子膜寿命延长：1~2年(膜极距+均匀电流)。

序号	技术名称	适用范围	核心技术及工艺	参考技术指标
			<p>如钛合金、高性能塑料等，以替代传统的材料。这些新材料能够显著提高电解槽的耐用性和效率。</p> <p>引入智能控制系统：通过引入先进的智能控制系统，实时监控电解槽的运行状态，并根据实际情况调整电解参数。这有助于确保电解槽在最佳状态下运行，进一步提高电解效率。</p>	
4-5	低品位热驱动多元复合工质制冷技术及装备	适用于石化化工行业乙二醇、联碱、合成氨生产工艺低温余热节能技术改造。	利用 100~140°C 低温热源驱动制取最低 -47°C 的冷能，将现有热驱动制冷技术的制冷深度从 7°C 降低至零度以下，可替代压缩式制冷机组，将可压缩气体提压过程转换为不可压缩液体提压过程。	<p>(1) 能效比 (COP) : 0.4~0.7;</p> <p>(2) 制冷温度: -47°C;</p> <p>(3) 热源温度: 100~140°C。</p>
4-6	五塔四效甲醇精馏技术	适用于甲醇精馏工艺。	通过优化甲醇精馏工艺装备系统设计，在“3+1”塔的四塔双效基础上，增加 1 台加压塔，3 台加压塔之间相互热耦合，可为预精馏塔提供足够热量，实现能量梯级利用。同时增加蒸气减压闪蒸罐，实现蒸气和蒸气凝液合理利用，塔釜增加釜液缓冲罐，提高系统稳定性。采用 DCS 智能化管控系统控制精馏系统，灵敏度高，响应快、操作方便。	<p>(1) 装置产能提升 30% 以上，乙醇浓度 ≤ 50ppm (wt) ;</p> <p>(2) 采用热耦合及热能再利用技术，吨精醇蒸气消耗降低至 0.7 吨。</p>
4-7	等温变换技术	适用于石化化工行业氮肥、甲醇生产工艺节能技术改造。	采用双管板结构、双套管与全径向、径向分布器等技术，设计独特换热元件结构置于等温变换反应器内部，利用沸腾水相变吸热，及时高效移出反应热，实现等温、低温、恒温反应，催化剂使用周期长，一炉一段深度变换，反应效率高，反应器阻力低，易大型化，副产中压蒸汽，热回收效率高，系统流程短，阻力低。	<p>(1) 等温变换反应器阻力: ≤ 0.03 兆帕;</p> <p>(2) 系统阻力: ≤ 0.3 兆帕;</p> <p>(3) 反应器床层温差: ≤ 30°C。</p>

## 第四章 石化行业节能降碳典型案例

### 4.1 炼油加热炉 95+技术

**适用范围：**适用于石化化工行业炼油加热炉节能技术改造。

**节能技术原理：**炼油加热炉 95+技术是一种集成了强化传热、余热回收、防腐蚀、防沾污结焦的先进技术，通过在装置受热面应用具有抗沾污结焦、抗高低温腐蚀、高黑度、耐磨损等功能的复合结晶膜，提升了受热面的吸热效率和耐腐蚀性能，有效降低了装置的排烟温度。这项技术能够显著提高加热炉的热效率，根据实际应用案例，加热炉热效率可提高 3% 以上，辐射换热面黑度达到 0.9 以上，装置整体节能量可达 5% 至 8%，排烟温度控制在 80°C 以下。此外，该技术还有助于降低 CO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的排放量，改造效果的质保期可达到 5 至 8 年，在质保期内加热炉能够实现长周期的高效运行。通过这些技术升级，企业能够实现显著的节能降耗效果，提升经济效益，同时减少环境污染，推动绿色可持续发展。

**应用案例：**广东省某石化公司 A 于 2023 年对二甲苯再蒸馏塔重沸炉实施 95+ 高效超净加热炉节能技术改造，在原余热回收系统空气预热器位置新建一台组合式空气预热器，增设必要的燃料气加热设施以及精制系统，使改造后空气预热器出口排烟温度降低至约 80°C，重沸炉平均热效率超过 95%，年节能约 2447 吨标煤。广东省某石化有限公司 B 实施加热炉烟气余热回收节能改造，对厂区部分焦化装置加热

炉实施烟气余热回收系统改造，通过更换空气预热器，降低排烟温度，降低氧含量的方式提高热效率，排烟温度降至80℃，氧含量由6.67%降到2.73%，散热损失维持不变。通过改造后热效率可提高至94%，节省燃料折合燃料油388吨，年节能5543吨标煤，后续将根据炼油加热炉95+技术，研究适合现有装置的节能改造方案，将热效率提高到95%以上。

## 4.2 煤制氢装置气化黑水余热回收技术

**适用范围：**适用于石化化工行业水煤浆气化工工艺黑水余热回收利用节能技术改造。

**节能技术原理：**气化黑水余热回收技术是一种针对煤化工行业水煤浆气化工工艺中“粗合成气湿法洗涤除尘”单元产生的气化黑水低温余热资源浪费问题而开发的节能技术。这项技术通过采用无过滤、全通量黑水直接取热的方法，将大约130℃的气化黑水冷却至60℃以下，回收的热量可以用于供暖或其他热能需求，从而替代了现有工艺系统中的真空闪蒸及闪蒸黑水冷却单元。这种技术不仅能够有效地回收原本被浪费的低温余热资源，而且具有高效率（余热回收效率≥90%）、易于与现有系统切换、运行期间维护成本低等特点。通过这种方式，企业可以显著减少能源消耗，提高能源利用效率，同时减少温室气体排放，对推动工业节能和绿色发展具有重要意义。

**应用案例：**广东省某石化公司C已采纳并实施该项节能技术，该企业煤制氢装置高闪罐顶气经与高压灰水换热后，仍有174℃，存在大量的潜热，用循环水冷却，单系列用水

量达到 700 吨/小时，造成热量的浪费。企业通过建设一套热媒水系统回收高闪汽余热，并建设 2 套 800kW 低温热 ORC 发电装置，将高闪蒸汽送到变换单元代替汽提塔蒸汽，多余热量回收低温热，采用 ORC 低温热发电技术，可实现节能。预计节约用电约 5824 万 kWh/年。

### 4.3 低温热联合利用

广东省某石化公司 D 一方面主要通过回收芳烃联合装置甲苯塔顶的低温热，通过增压技术提高蒸汽品质供芳烃装置自身使用或外送，实现节能降碳改造；另一方面，通过利用全厂蒸汽凝结水余热+补充利用部分工艺余热生产的热水，在动力部集中建设全厂制冷站，生产 6℃ 冷水，主要供燃机进气冷却，增加燃机发电量；用于工艺系统和空调系统制冷，降低电耗。项目实施后，预期可实现节能量 2 万吨标准煤。

### 4.4 电驱系统替代蒸汽透平驱动

**适用范围：**适用于采用燃煤或燃气锅炉产蒸汽驱动的透平设备的炼油企业

**节能技术原理：**蒸汽透平是一种将蒸汽的热能直接转换成转动的机械能的原动机，其工作原理包括冲动式和反动式两种。在冲动式透平中，蒸汽的热能转变成动能的过程仅在喷嘴中进行，而工作叶片只是把蒸汽的动能转换成机械能。在反动式透平中，蒸汽在静叶片和动叶片中均膨胀，压力温度均下降，流速增大，从而将蒸汽的热能转变成动能，再转换成机械能。

相比之下，电驱系统通过电能直接驱动设备，避免了蒸汽透平在能量转换过程中的能量损失。电能转换效率相对较高，且易于控制和调节，能够根据需求精确调整输出功率，避免能源的浪费。电驱系统具有高效率 and 精准控制能力，尤其是集成了电机、电控和减速器的三合一电驱动系统，因其结构紧凑、体积小、重量轻，以及高效率的特点。

**应用案例：**广东省某石化公司 E 在 2021-2023 年期间，逐步对其汽油加氢、焦化、加氢裂化、柴油加氢、渣油加氢、柴油加氢等装置的蒸汽小透平进行电气化改造，合计总节能量达 12923 吨标煤。广东省某石化公司 F 于 2023 年对裂解装置的急冷油泵透平机改为电机驱动，节约 3.5MPa 蒸汽消耗约 2t/h，节能量约 1908 吨标煤。

#### 4.5 压缩机智能气量调节系统

**适用范围：**适用于石化行业炼油、煤化工等领域大型工艺往复压缩机。

**节能技术原理：**智能气量调节系统是一种先进的控制系统，旨在精确调节和优化压缩机、风机或其他气体处理设备的气量输出，以满足不同工况下的需求。

**应用案例：**广东省某石化公司 G 在原有的循环氢压缩机和反吹氢+补充氢联合机组增上一套 Dicom 智能气量调节系统，实现压缩机根据实际需求气量进行压缩，减少压缩机所做的无用功，达到节能目的。年节能量约为 217 吨标准煤。广东省某石化公司 H 于 2022 年对炼油分部 5 台往复式氢气压缩机增设无级气量调节系统，预计年节能约 1779 吨标煤。

## 附录：参考文献

- (1) 《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》
- (2) 《重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平（2024年版）》
- (3) 《国家工业和信息化领域节能降碳技术应用指南与案例（2025年版）》
- (4) 《国家工业节能降碳技术应用指南与案例（2024年版）》
- (5) 《绿色技术推广目录（2024年版）》
- (6) 《国家工业节能技术应用指南与案例（2021）》
- (7) 《石化行业节能减排先进适用技术指南（第一批）》
- (8) 《炼油节能降碳技术实例汇编》
- (9) 《炼油行业节能降碳典型案例汇编》
- (10) 其他相关标准和节能技术资料