

附件

《国家工业节能技术应用指南与案例（2021）》之四 ——石化化工行业节能提效技术

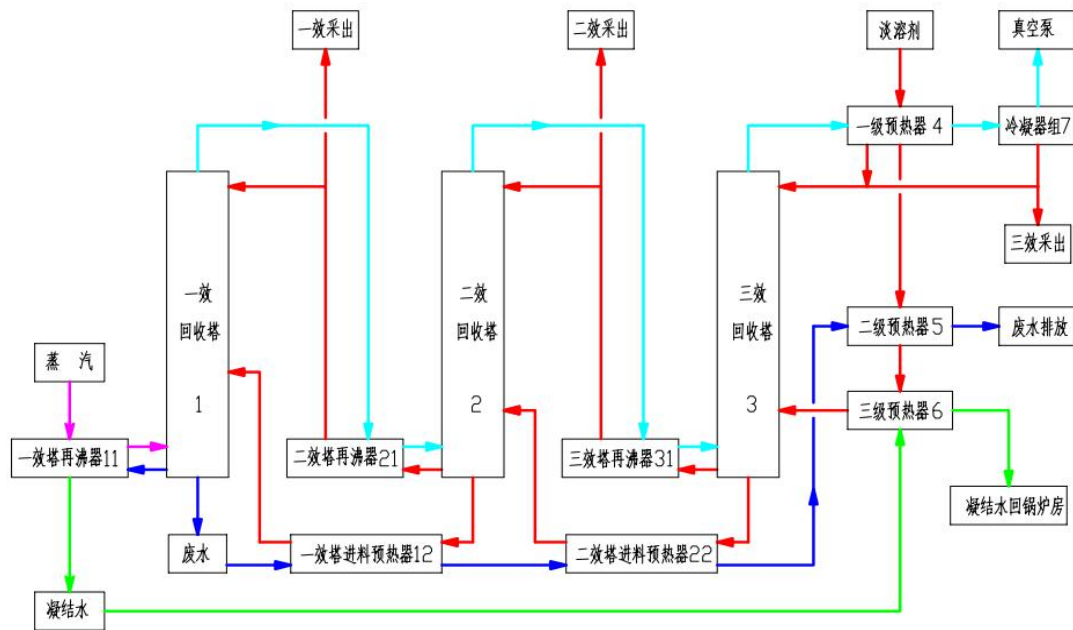
（一）三效溶剂回收节能蒸馏技术

1. 技术适用范围

适用于化工、生物、医药等领域乙醇、甲醇、丙酮等溶剂的回收再利用节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

研发了三塔三效精馏工艺，一塔供汽，三塔同时工作，可根据溶剂特性确定进料方式，解决溶剂回收过程中结焦、起沫等问题。回收塔采用高效新型塔盘，提高了设备的抗堵性能，后一效的再沸器作为前一效的冷凝器，热能多次利用，节约蒸汽消耗，降低循环水用量，吨产品综合节能 60% 以上。工艺流程图如下：



3.技术指标

- (1) 回收每吨溶剂消耗蒸汽 0.5 吨。
- (2) 回收每吨溶剂消耗循环水 35 吨。

4.技术功能特性

- (1) 一塔供汽，三塔同时工作，热能多次利用，节约蒸汽消耗。
- (2) 后一效的再沸器作为前一效的冷凝器，降低循环水用量。

5.应用案例

华熙生物科技(天津)有限公司三效酒精回收系统项目，技术提供单位为肥城金塔酒精化工设备有限公司。

- (1) 用户用能情况简单说明：该项目为新建项目。
- (2) 实施内容及周期：新建两套酒精回收装置，回收量为 300 吨/天、600 吨/天。实施周期 8 个月。
- (3) 节能减排效果及投资回收期：项目运行后，可回收

酒精 30 万吨/年，回收每吨酒精消耗蒸汽 0.5 吨，回收每吨酒精消耗循环水 35 吨，比单塔回收工艺综合节能 60%，年节约标准煤 2.18 万吨，年减排 CO₂ 6.04 万吨。投资回收期约 9 个月。

6.未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来 3 年，推广应用比例可达到 60%，可形成年节约标准煤 305 万吨，年减排 CO₂ 844.85 万吨。

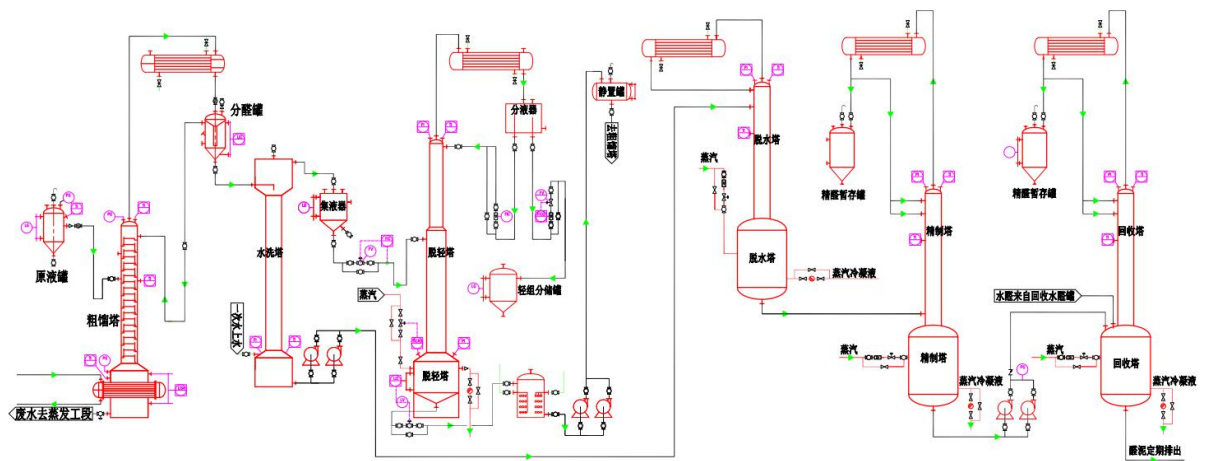
（二）用于制取优级糠醛的节能蒸馏技术

1.技术适用范围

适用于糠醛生产行业节能技术改造。

2.技术原理及工艺

采用六塔连续蒸馏工艺技术，利用水洗工艺代替加碱中和工艺，保证除杂效果的同时，取消了纯碱（或烧碱）的应用，有效去除了粗糠醛中的有机酸及低沸点杂质，提高了产品质量，降低了生产成本。研发的糠醛废水高效蒸发技术，对蒸馏废水采用全蒸发处理，产生的二次蒸汽作为水解热源，节省水解工段的一次蒸汽消耗，实现了蒸馏废水零排放。通过回收塔将醛泥及脱水塔脱出的稀醛液中的糠醛进行回收，杜绝残醛流失现象，提高了糠醛产量。工艺流程图如下：



3.技术指标

- (1) 吨糠醛蒸汽耗量降低 10%。
- (2) 一次水耗量降低 40%。

4.技术功能特性

(1) 蒸馏工段除回收塔外，全部采用水解汽加热，无须补充一次蒸汽，降低了一次蒸汽的消耗。

(2) 水解汽在加热糠醛蒸馏塔的同时，降低了自身温度，从而减少了循环水的用量。

(3) 采用糠醛废水高效蒸发技术将蒸馏废水全蒸发处理，产生的二次蒸汽作为水解工段的热源，不再使用一次蒸汽，减少了软化水的用量，实现了蒸馏废水零排放。

5.应用案例

内蒙古恒昌化工有限责任公司年产 10000 吨糠醛项目，技术提供单位为山东金塔机械集团有限公司。

(1) 用户用能情况简单说明：内蒙古恒昌化工有限责任公司生产 1 吨糠醛蒸汽耗量 25 吨，一次水耗量 40 吨；年产

普级糠醛 5000 吨，年蒸汽耗量 12.5 万吨，一次水耗量 20 万吨。

(2) 实施内容及周期：将原厂区年产 5000 吨普级糠醛生产设备改造成年产 10000 吨优级糠醛生产设备。实施周期 30 天。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造后吨产品节约蒸汽 2.6 吨，节约水 16 吨，年节约标准煤 0.24 万吨，年减排 CO₂ 0.67 万吨。投资回收期约 8 个月。

6. 未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来 3 年，推广应用比例可达到 37%，可形成年节约标准煤 10 万吨，年减排 CO₂ 27.7 万吨。

(三) 无水酒精回收塔节能装置的研发技术

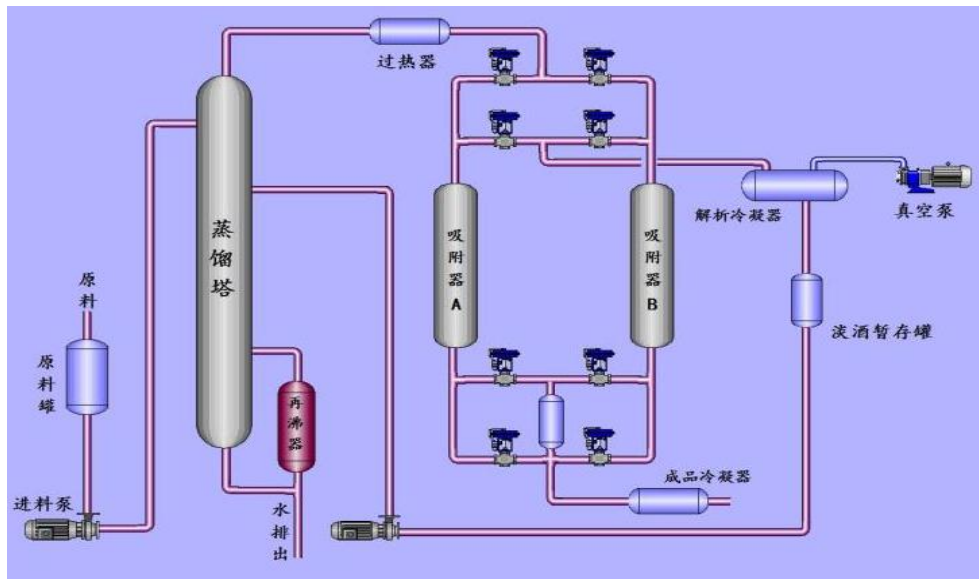
1. 技术适用范围

适用于无水酒精节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

酒精通过原料泵的输送，经过预热进入蒸馏塔顶部进行蒸发，进入过热器进行过热后进入分子筛装置进行脱水，脱水后的酒精蒸汽进入冷凝器冷凝后得到无水酒精。分子筛脱水后留下的水分和酒精，利用真空泵抽负压进行解析，解析得到的淡酒进入淡酒暂储罐，再通过淡酒泵输送入蒸馏塔进行精馏浓缩，蒸馏塔通过再沸器间接加热。在此工艺中，回收塔一塔两用，节省了蒸发器和回收塔冷凝器。工艺流程图

如下：



3.技术指标

- (1) 吨无水酒精蒸汽耗量 0.65 吨，节省蒸汽 48%。
- (2) 吨无水酒精一次水耗量 2 吨，节省一次水 33%。

4.技术功能特性

(1) 回流液在回收塔内部经过传热和传质，在顶部以酒精蒸汽的形式直接进入分子筛吸附器脱水，省去了液体酒精蒸发为气体的蒸发器。

(2) 用原料酒精做回流液体，回收塔不需要内部回流，省去了冷凝器等回流设备。

5.应用案例

苏州九九化工有限公司年产 10 万吨无水酒精回收节能装置改造项目，技术提供单位为肥城金塔机械科技有限公司。

(1) 用户用能情况简单说明：苏州九九化工有限公司原有 6 万吨、3 万吨两条无水酒精生产线，吨无水酒精蒸汽消

耗 1.25 吨。

(2) 实施内容及周期：在利用原有 6 万吨和 3 万吨两套吸附器的基础上，增加两台加压器，使蒸汽消耗降低。实施周期 6 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造完成后，吨无水酒精蒸汽耗量减少 0.6 吨，每千克 200°C 以下过热蒸汽的热焓按 650 千卡（1 卡=4.1868 焦）计算，1 千克标准煤的低位发热量为 29307 千焦，折合 7000 千卡，折标系数为 0.0929 吨标准煤/吨蒸汽，年节约标准煤 0.56 万吨，年减排 CO₂ 1.54 万吨。该项目综合年效益合计为 165 万元，总投入为 106.7 万元，投资回收期约 8 个月。

6. 未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来 3 年，推广应用比例可达到 40%，可形成年节约标准煤 11.8 万吨，年减排 CO₂ 32.69 万吨。

（四）硫酸铜三效混流真空蒸发技术

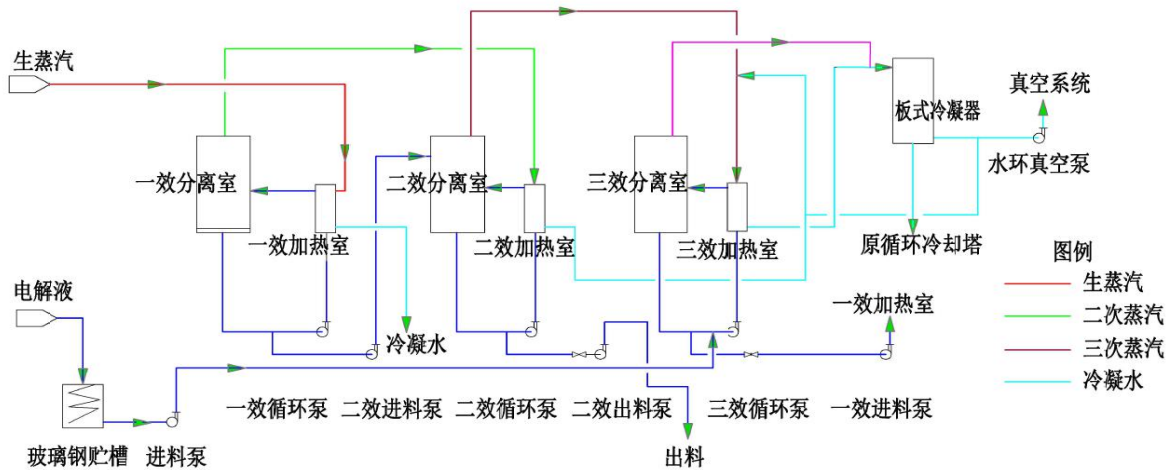
1. 技术适用范围

适用于化工领域多效真空蒸发节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

利用真空环境降低电解液的沸点原理，结合硫酸铜蒸发母液属性研究以及电解液沸点与真空度关系，自主开发了一套硫酸铜三效混流真空蒸发工艺流程。电解液依次经过三效、一效和二效分离室在不同温度和真空度下蒸发浓缩，只需一

效生蒸汽作为热源，一效、二效二次蒸汽分别作为二效、三效的加热介质，充分利用各效余热，大幅度提高了硫酸铜的蒸发效率。工艺流程图如下：



3.技术指标

电解硫酸铜蒸汽消耗下降 45%。

4.技术功能特性

采用自动控制、蒸汽—温度PID自动调节、真空自动控制、液位控制自动过料系统等技术实现了电解液从进液到出料的全自动控制 and 硫酸铜自动离心打包。

5.应用案例

西南铜业电解分厂硫酸铜生产项目，技术提供单位为云南铜业股份有限公司西南铜业分公司。

(1) 用户用能情况简单说明：该项目为新建项目。

(2) 实施内容及周期：开发一套硫酸铜多效真空蒸发系统，设计三效混流蒸发流程，同时结合三效混流真空蒸发工

艺流程的特性，自主开发PLC控制系统对流程工艺参数、仪控信号、设备运行状态信号、故障报警信号等在控制界面进行远程监控，实现全自动过料变频控制。实施周期3个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造后，系统运行稳定，产品质量良好，硫酸铜年产量10879.5吨，硫酸铜蒸汽单耗15.61吉焦/吨，下降了44.58%，年节约标准煤0.47万吨，年减排CO₂1.29万吨。该项目综合年效益合计为1240.39万元，总投入为378万元，投资回收期约4个月。

6.未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来3年，推广应用比例可达到5%，可形成年节约标准煤1.3万吨，年减排CO₂3.6万吨。

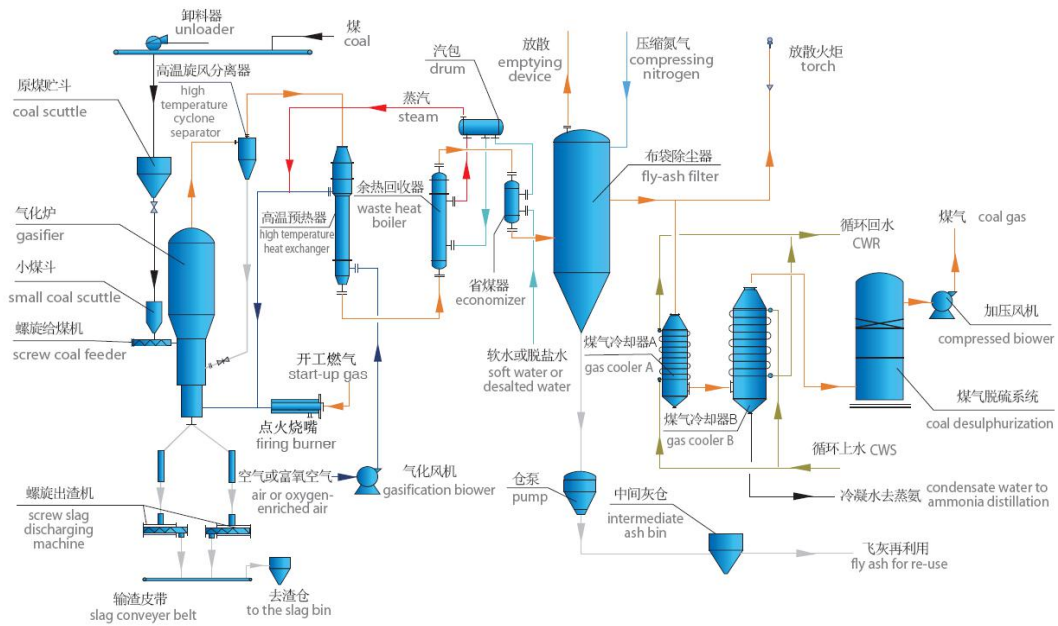
(五) 模块化梯级回热式清洁煤气化技术 (MCREG)

1.技术适用范围

适用于煤炭高效清洁利用节能技术改造。

2.技术原理及工艺

将粗煤气中的大量余热用于产生高温气化剂，使反应的不可逆损失降至最低，冷煤气效率得到极大提升，并从源头上杜绝了焦油的产生，同时，该技术还可以通过配置飞灰强制循环模块与耦合气化模块等方式，对未完全转化的残炭进行二次利用，实现超高碳转化率。工艺原理图如下：



3.技术指标

- (1) 一次碳转化率：85%~90%。
- (2) 一次冷煤气效率：70%~80%。
- (3) 综合碳转化率：95%~99%。
- (4) CaO 含量：91.31%。
- (5) 热效率：≥90%。
- (6) 节能效率：≥20%。

4.技术功能特性

(1) 采用干式除尘技术，除尘效率大于 99%，煤气含尘量可降至 10 毫克/立方米（标态）以下。

(2) 布袋收集的飞灰可二次利用，实现碳的完全转化，综合碳转化率达 99%。

(3) 采用湿法脱硫工艺，系统脱硫效率可达 95%以上，出口煤气 H₂S 含量小于 20 毫克/立方米（标态），可为高能耗企业提供清洁工业燃料。

5.应用案例

广西信发铝电有限公司清洁煤气化系统投建项目，技术提供单位为安徽科达洁能股份有限公司。

(1)用户用能情况简单说明：广西信发铝电有限公司主要使用一段式固定床煤气炉制备煤气，能耗高，排放量大。

(2)实施内容及周期：新建模块化梯级回热式清洁燃煤气化系统，一期4套10千标立方米/小时，二期8套20千标立方米/小时清洁燃煤气化系统，年产清洁煤气量可达16亿立方米（标态）。整套系统包括备煤系统、流化床气化系统、脱硫系统、水处理系统、气力输送系统、煤气加压系统、DCS控制系统等。实施周期6个月。

(3)节能减排效果及投资回收期：改造后，煤耗为改造前的81.92%，生产1吨氧化铝折合节约标准煤0.0327吨，按年产240万吨氧化铝计算，年节约标准煤7.85万吨，年减排CO₂21.74万吨。该项目综合年效益合计为24500万元，总投入为22600万元，投资回收期约11个月。

6.未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来3年，推广应用比例可达到30%，可形成年节约标准煤260万吨，年减排CO₂720.2万吨。

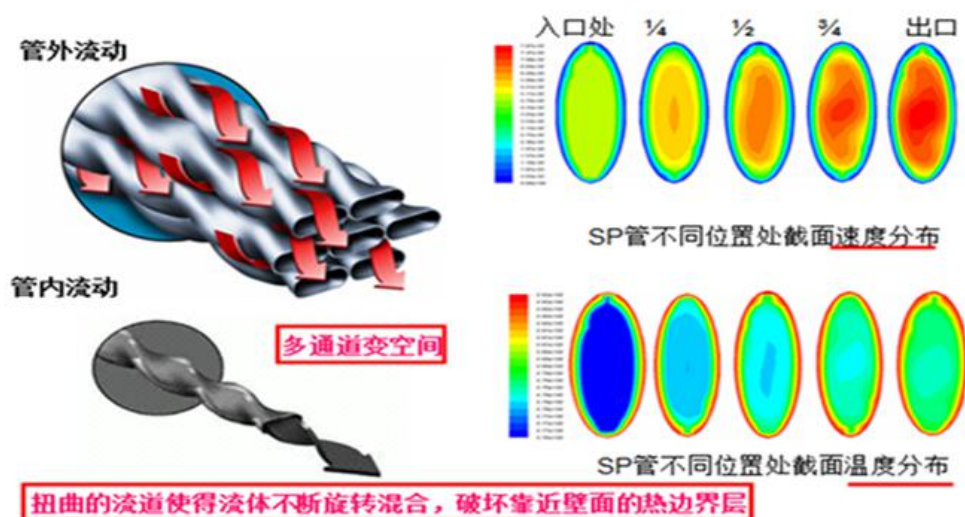
(六) 自支撑纵向流无折流板管壳式换热器

1.技术适用范围

适用于化工领域换热器节能技术改造。

2.技术原理及工艺

采用高效三维变形管作为换热元件，替换了传统换热器中的折流板，对管内外流体进行变空间变流场的特殊设计，使得管内外流体呈纵向螺旋流动，实现纯逆流换热，提高换热温差，破坏了近壁面的传热边界层，并且依据强化传热原理，使得冷热流体的温度场、速度场、压力场达到最佳匹配，从而实现高效换热和节能减排。技术原理图如下：



3.技术指标

- (1) 换热效率提高 20%~50%。
- (2) 换热管质量减少 20%~50%。
- (3) 换热器体积缩小 20%~60%。

4.技术功能特性

- (1) 网格状自粘接成一体的管束芯体。
- (2) 双侧强化换热。
- (3) 变空间紊流强化传热。
- (4) 振动小、不易结垢。

(5) 纯逆流设计, 缩小换热温差, 进一步节省换热面积, 降低材料消耗。

5.应用案例

广东中泽重工有限公司冷却器改造项目, 技术提供单位为中国科学院广州能源研究所。

(1) 用户用能情况简单说明: 广东中泽重工有限公司原来使用折流板管壳式换热器, 流动阻力大, 能耗高, 噪声大。

(2) 实施内容及周期: 采用新型三维变形管中冷器替换原光管折流板换热器。实施周期 1.5 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期: 改造后, 换热效率提高, 换热面积减少了 37.4%, 壳程气体压力降低了 36.9%, 年节约标准煤 0.022 万吨, 年减排 CO₂ 0.062 万吨。该项目综合年效益合计为 57.29 万元, 总投入为 126 万元, 投资回收期约 2.2 年。

6.未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来 3 年, 推广应用比例可达到 2%, 可形成年节约标准煤 0.62 万吨, 年减排 CO₂ 1.72 万吨。

(七) 新型三维整体隐形翅片管换热器

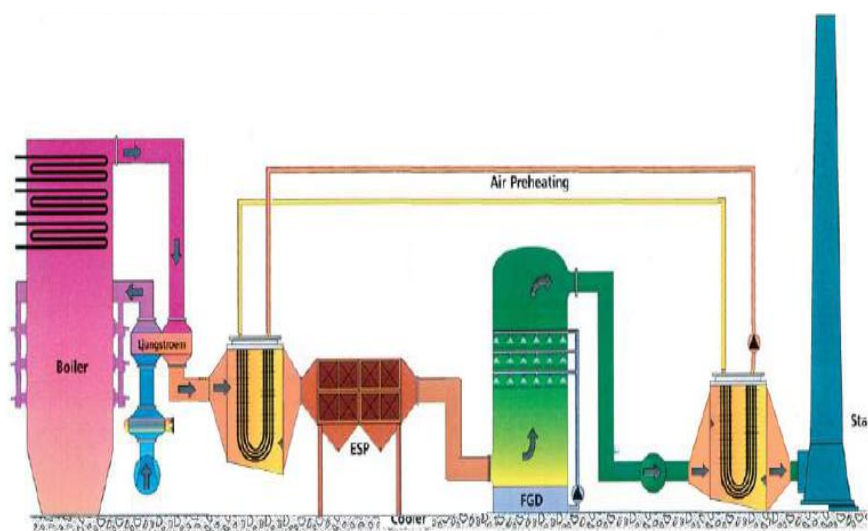
1.技术适用范围

适用于化工领域换热器节能技术改造。

2.技术原理及工艺

高效管内外螺旋曲面结构符合流体动力学规律, 把普通

换热元件所出现的碰撞流动能量损失降低为摩擦流动能量损失，因此其磨蚀量和阻力减少，使其使用寿命提高为普通换热元件的 1~2 倍，阻力为 1/3~1/2；介质在换热元件内外流动时，形成垂直于主流方向的二次流破坏了热边界层，使得热边界层变薄，强化了冷热流体的热量交换，其传热效率大幅度提高。技术原理图如下：



3.技术指标

- (1) 换热系数为常规换热元件的 2~3 倍。
- (2) 清灰频率降低 90%。
- (3) 运行寿命提高 1~2 倍。
- (4) 体积减小 1/2~2/3。

4.技术功能特性

三维变空间换热管的截面是近椭圆形状，沿轴线方向呈螺旋状，组成管束形成四面八方的三维通道，烟气在管束间流动时没有死角，流程均匀，比普通圆管换热器抗积灰性能

更优异，其摩擦性接触较于圆管碰撞式更具有抗磨性，清洗周期和使用寿命大大延长。

5.应用案例

某炼钢厂换热器节能改造项目，技术提供单位为中国科学院广州能源研究所。

(1) 用户用能情况简单说明：电厂的锅炉燃料为高炉煤气、焦炉煤气，含硫量和含尘量比较高，使得锅炉系统的末端空气预热器腐蚀、积灰和磨损比较严重。

(2) 实施内容及周期：采用高效三维整体隐形翅片管空气预热器代替原有的空气预热器。实施周期 6 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造后，据测算引风机每年可以减少耗电量 575590 千瓦时，鼓风机每年可以减少耗电量 154400 千瓦时，年节约标准煤 0.023 万吨，年减排 CO₂ 0.063 万吨。投资回收期约 1.5 年。

6.未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来 3 年，推广应用比例可达到 5%，可形成年节约标准煤 20 万吨，年减排 CO₂ 55.4 万吨。

(八) 高效节能熔炼技术

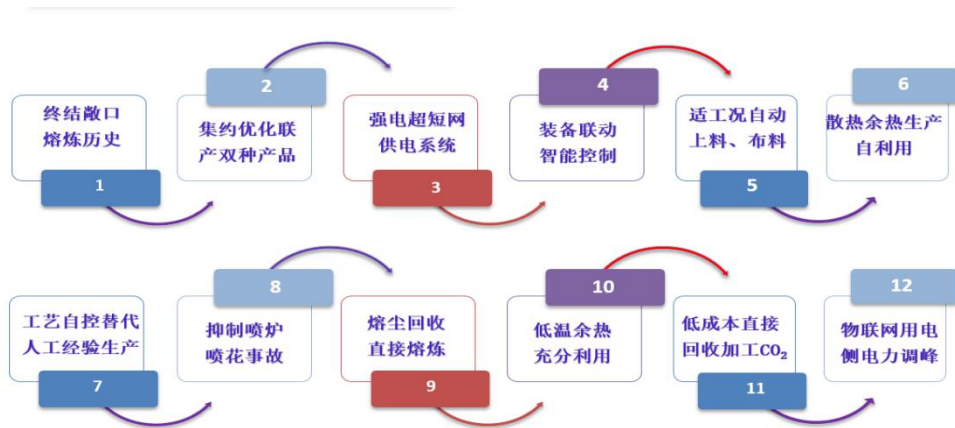
1.技术适用范围

适用于菱镁行业节能技术改造。

2.技术原理及工艺

利用余热快速蓄能直接生产氧化镁粉，通过气压平衡预

判自动控制技术、密闭三级熔尘碳气分离资源化利用技术，实现流程工业适工况智能控制，解决菱镁行业高耗能、高污染、高浪费、喷炉喷花等问题。工艺流程图如下：



3.技术指标

- (1) 优质品率提高 25%。
- (2) 节约矿产资源 20%。

4.技术功能特性

- (1) 实现熔炼及全过程密闭生产，替代敞口熔炼。
- (2) 实现生产过程散热和余热高效回收利用，用于发电、采暖等。
- (3) 智能化适工况上料、布料。

5.应用案例

海镁集团金地矿业公司大型全密闭高效氧化镁智能生产线项目，技术提供单位为海城现代菱镁产业科技工程有限公司。

- (1) 用户用能情况简单说明：该项目为新建项目。
- (2) 实施内容及周期：建成两条“大型全密闭高效节能

低碳环保双品氧化镁智能生产线”。实施周期 1 年。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造完成后，据统计每生产 1 吨电熔镁，比敞口熔炼工艺节约电量 1000 千瓦时，每台炉年产 5000 吨电熔镁，则每台炉每年节约电量 500 万千瓦时，年节约标准煤 0.31 万吨，年减排 CO₂ 0.86 万吨。投资回收期约 1.2 年。

6.未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来 3 年，推广应用比例可达到 10%，可形成年节约标准煤 15.33 万吨，年减排 CO₂ 42.46 万吨。

(九) 石墨烯机油添加剂

1.技术适用范围

适用于机油润滑油添加剂领域节能技术改造。

2.技术原理及工艺

利用石墨烯材料低摩擦系数的特点，对二维石墨烯材料微观结构进行控制，在润滑油中表现出超润滑性能；纳米级尺寸石墨烯会修补摩擦产生的划痕，提高密封性，使燃油充分燃烧；设计特殊结构的石墨烯分散剂，在润滑油中能够均匀分散石墨烯，提高稳定性。

3.技术指标

(1) 石墨烯片层厚度：0.5~1.5 纳米，片径：0.5~1 微米。

(2) 石墨烯换相处理的水分含量：<0.03%。

(3) 石墨烯在润滑油中的比例：0.01%~5%。

4.技术功能特性

(1) 利用石墨烯的低摩擦性能，提高润滑油的润滑性，降低摩擦损耗。

(2) 石墨烯作为纳米材料，可填补划痕，增强气密封性，使燃油充分燃烧。

5.应用案例

南京家升基础工程有限公司工程车辆石墨烯机油添加剂项目，技术提供单位为常州碳孚新材料技术有限公司。

(1) 用户用能情况简单说明：南京家升基础工程有限公司有 10 台挖掘机和 200 台渣土车，每台挖掘机每年消耗 10.5 万升柴油，每台渣土车每年消耗 5 万升柴油。

(2) 实施内容及周期：在 10 台挖掘机和 200 台渣土车上应用石墨烯机油添加剂。实施周期 1 年。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造后，据测试挖掘机省油率为 10.84%，渣土车省油率为 5.6%，综合年节约柴油 67.382 万升，柴油密度为 0.84 千克/升，折标系数为 1.4571 千克标准煤/千克，年节约标准煤 0.082 万吨，年减排 CO₂ 0.23 万吨。投资回收期约 2 年。

6.未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来 3 年，推广应用比例可达到 5%，可形成年节约标准煤 5 万吨，年减排 CO₂ 13.85 万吨。

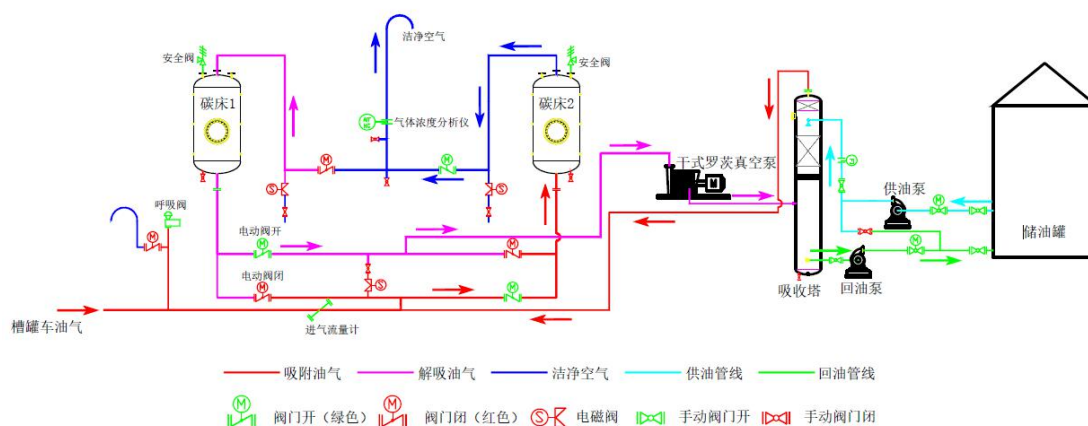
(十) 改性活性炭吸附、贫油吸收组合油气回收工艺技术

1.技术适用范围

适用于储油库、化工厂、炼化工厂等的油气回收领域节能技术改造。

2.技术原理及工艺

油气经过回收管道进入回收装置，随后流入碳床，碳氢化合物被活性炭吸附，当碳床中的活性炭吸附达到饱和状态后停止进气，通过真空泵所产生的低真空度，把碳床的饱和油气从活性炭中解附出来，并推送到吸收塔，同时活性炭恢复到原来的吸附能力。装置内有两个碳床，分别交替工作和进行吸附—解附—再生流程，从而形成持续的油气回收能力。工艺流程图如下：



3.技术指标

- (1) 油气排放浓度： ≤ 10 克/立方米。
- (2) 油气回收处理效率： $\geq 99\%$ 。
- (3) 处理能力：100~2500 立方米/小时。
- (4) 使用寿命： ≥ 10 年。

4.技术功能特性

(1) 系统一键式启停，并可通过气体浓度传感器进行控制。

(2) 油气回收装置上安装了先进的在线监测和控制系统，对装置运行数据及排放气体浓度进行实时监测。

5.应用案例

深圳美视油库油气回收改造项目，技术提供单位为广州世品环保科技股份有限公司。

(1) 用户用能情况简单说明：采用旧式的油气回收装置，日均能耗高达 2500 千瓦时，且故障率高。

(2) 实施内容及周期：建设全新的油气回收装置，处理能力 500 立方米/小时。实施周期 8 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造后，处理 500 立方米的油气由原来耗电 2500 千瓦时下降到 700 千瓦时，且一年可回收油品 400 吨。按照一年 360 天计算，电力折标系数取 310 克标准煤/千瓦时，汽油折标系数取 1.4714 吨标准煤/吨，年节约标准煤 0.079 万吨，年减排 CO₂ 0.22 万吨。该项目综合年效益合计为 216 万元，总投入为 600 万元，投资回收期为 2.78 年。

6.未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来 3 年，推广应用比例可达到 15%，可形成年节约标准煤 98 万吨，年减排 CO₂ 271.46 万吨。

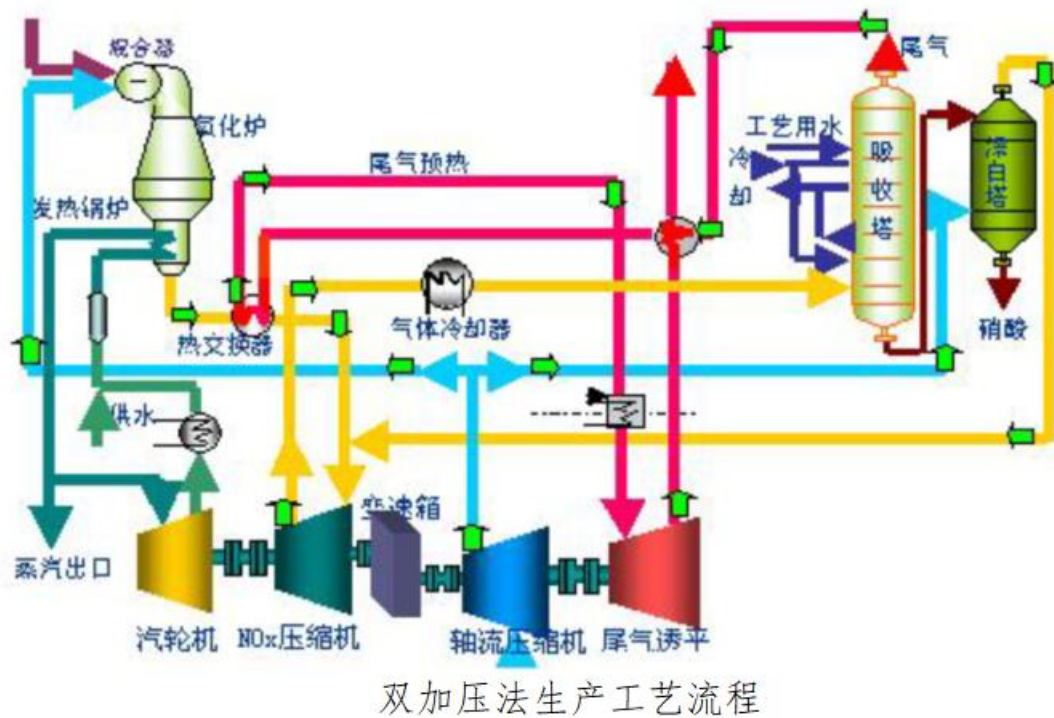
(十一) 36 万吨/年高效宽工况硝酸四合一机组技术

1.技术适用范围

适用于化工行业硝酸生产领域节能技术改造。

2.技术原理及工艺

该机组关联硝酸生产工艺前后过程，向系统提供能量，并从系统回收能量，使硝酸生产的主要能量消耗完全实现系统自给，在保证工艺系统运行的同时，将富裕的高品质自产蒸汽输送到蒸汽管网，使能量得到综合利用。工艺流程图如下：



3.技术指标

(1) AV63 型空压机在进气温度 29℃、进气压力 0.098 兆帕条件下，进气流量达到 208151 立方米/小时（标态），排气压力压缩至 0.51 兆帕。

(2) E71-4 氧化氮压缩机在进气温度 55°C、进气压力 0.458 兆帕条件下,进气流量达到立方米/小时(标态),排气压力压缩至 1.25 兆帕。

(3) WP56 型尾气透平膨胀机在进气温度 420°C,进气压力 1.092 兆帕条件下,进气流量达到 167492 立方米/小时(标态),回收功率达到 17400 千瓦。

(4) 汽轮机在设计工况下,输出功率 8046 千瓦,正常汽耗为 31.7 吨/小时。

(5) 机组轴振动、轴位移均能稳定在正常范围,各轴系设备轴承温度均在工艺允许范围内,力学性能平稳。

4.技术功能特性

(1) 空气压缩机将空气压缩至 0.51 兆帕,满组工艺下游氨的氧化反应,氨的氧化率高达 96.3%,生产 100% HNO₃ 铂耗低至 120 毫克/吨。

(2) 氧化氮压缩机将工艺上游来的 NO_x 加压至 1.25 兆帕,送入吸收塔用于 NO₂ 的吸收反应,使得硝酸质量分数可达 68%,二氧化氮吸收率高达 99.8%。

(3) 采用中温(420°C)回收尾气能量,使压缩机组的蒸汽透平和尾气膨胀透平之间达到经济匹配,与高温回收相比不必采用耐高温的尾气透平和尾气加热器,操作稳定可靠,回收能量可占机组总消耗的 60%以上,节能效果显著。

5.应用案例

万华化学集团股份有限公司 36 万吨硝酸四合一机组项目,技术提供单位为西安陕鼓动力股份有限公司。

(1) 用户用能情况简单说明：该项目为新建项目。

(2) 实施内容及周期：新建苯胺/甲醛一体化项目硝苯装置工程配套的 1200 吨/天双加压法硝酸装置。实施周期 18 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造后，每吨硝酸多外送中压蒸汽 0.217 吨，年多产蒸汽约 85932 吨；每吨硝酸少用低压蒸汽 0.131 吨，年节约低压蒸汽 51876 吨，综合年节约蒸汽 137808 吨，年节约标准煤 1.28 万吨，年减排 CO₂ 3.55 万吨。该项目综合年效益合计为 1807 万元，总投入为 5500 万元，投资回收期约 3 年。

6.未来三年推广前景及节能减排潜力

预计未来 3 年，推广应用比例可达到 80%，可形成年节约标准煤 31.3 万吨，年减排 CO₂ 86.7 万吨。