

# 《国家工业节能降碳技术应用指南与案例（2024年版）》之三：石化化工行业节能降碳技术

## （一）高效尿素合成工艺技术

### 1. 技术适用范围

适用于化工行业尿素合成工艺。

### 2. 技术原理及工艺

采用两段法尿素合成技术，将合成反应分成 2 个流程：第一步生成甲铵反应，采用低氨气/二氧化碳比和高水/二氧化碳比，提高甲铵冷凝温度，副产压力更高的低压蒸气；第二步生成尿素反应，采用高氨气/二氧化碳比和低水/二氧化碳比，获得更高合成转化率。未反应物料的分解回收部分后移至中压系统，尿素蒸气消耗低于 650kg/t。工艺流程如图 1 所示。

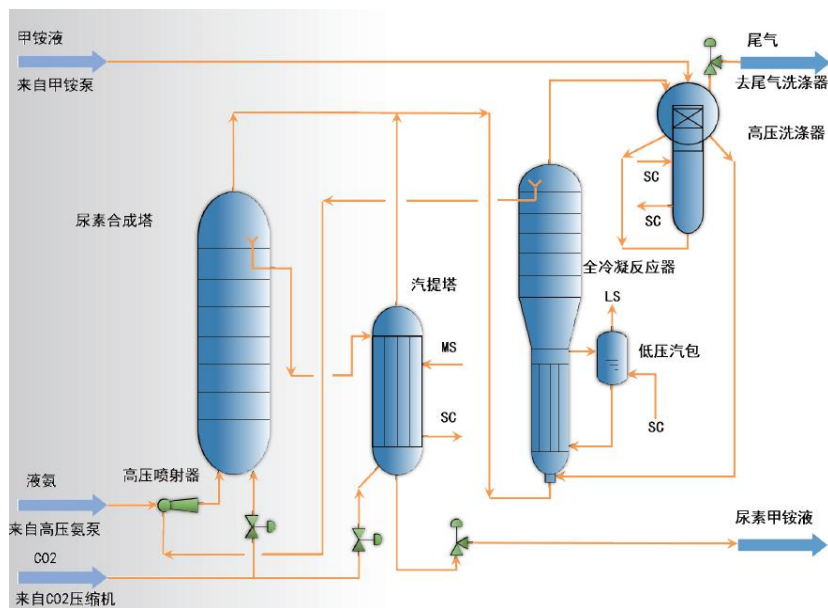


图1 工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 中压蒸汽消耗低，吨尿素产品的 2.3 兆帕饱和蒸汽消耗 650 千克以下（尿素主装置），比传统技术低 320 千克；

(2) 装置综合能耗低，比传统二氧化碳气提工艺低 22%。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中国五环工程有限公司，应用单位为安徽昊源化工集团有限公司。改造前主要耗能种类为蒸汽、电、循环水，年生产 40 万吨合成氨、70 万吨尿素原料，单位产品能耗为 161.1 千克标准煤/吨。

(2) 主要技术改造内容：

更换尿素合成及回收框架，新建二氧化碳压缩厂房、造粒塔和配套公用工程。2019 年 10 月实施节能改造，实施周期为 22 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单位产品能耗降低 34.62 千克标准煤/吨，实现节能量 24234 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 64462 吨/年。投资额为 6000 万元，投资回收期为 1.6 年。

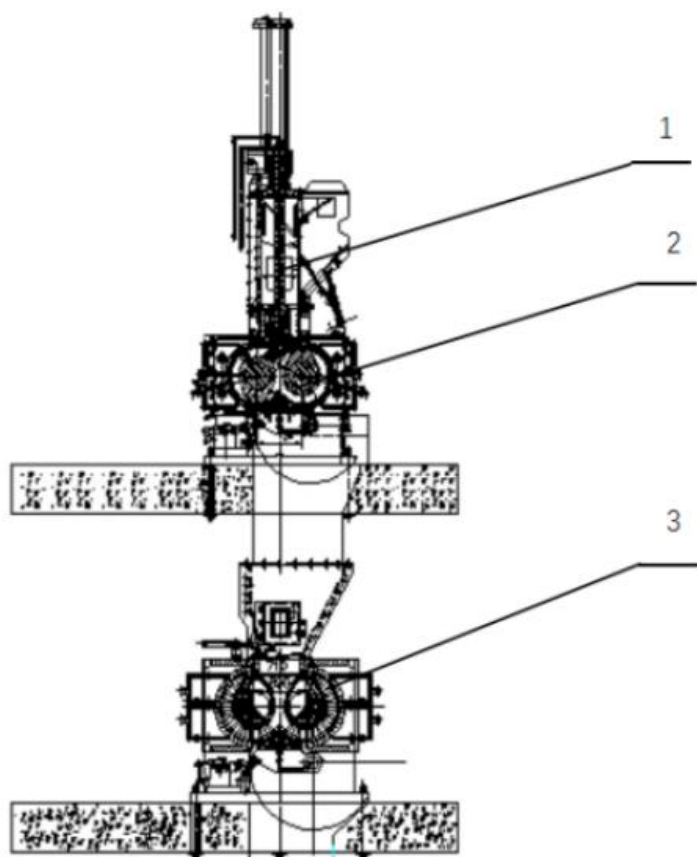
## (二) 橡胶串联密炼技术

### 1. 技术适用范围

适用于橡胶轮胎生产工艺。

### 2. 技术原理及工艺

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。工艺装备结构如图2所示。



1-上顶栓；2-上密炼机室；3-下密炼室

图2 工艺装备结构图

### **3.技术功能特性及指标**

(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.应用案例**

该技术为研发类技术，暂无应用案例。技术提供单位为大连橡胶塑料机械有限公司。

### (三) 全重力平衡油气水处理一体化技术

#### 1. 技术适用范围

适用于油气田油气水处理工艺。

#### 2. 技术原理及工艺

采用多腔室重力流体平衡系统装置，该装置集成全重力平衡油气水处理、加药、气浮、反冲洗设备。在全压力平衡条件下利用重力实现管道段塞流体稳定气液分离、定向加热、小腔室微电场电脱水、净水沉降、净油沉降、自气浮、自冲洗等功能，且全程密闭，无挥发性有机物排放，无固废、液废外排。工艺流程如图 3 所示。

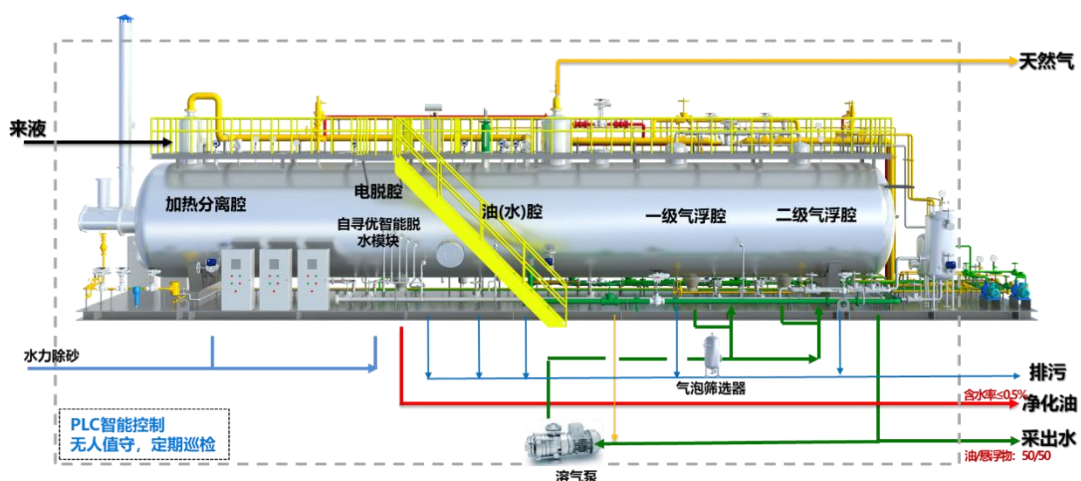


图3 工艺流程图

#### 3. 技术功能特性及指标

- (1) 能量利用充分，散热损失降低 80%以上；
- (2) 单位油气生产综合能耗较传统流程降低 60%以上。

#### 4. 应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为森诺技术有限公司，应用单位为中石油大庆油田采油九厂。改造前采用常规分段式二级热化学处理工艺，主要耗能种类为电力和天然气，年处理液量 32.28 万吨，吨液综合能耗 40.79 千克标准煤/吨。

(2) 主要技术改造内容:

新增一套油气水处理一体化装置，工艺设施占地约 360 平方米。2023 年 10 月实施节能改造，实施周期 10 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，吨液综合能耗 40.60 千克标准煤/吨，可实现节能量 59 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 156.94 吨/年。投资额为 956 万元，投资回收期为 4.8 年。

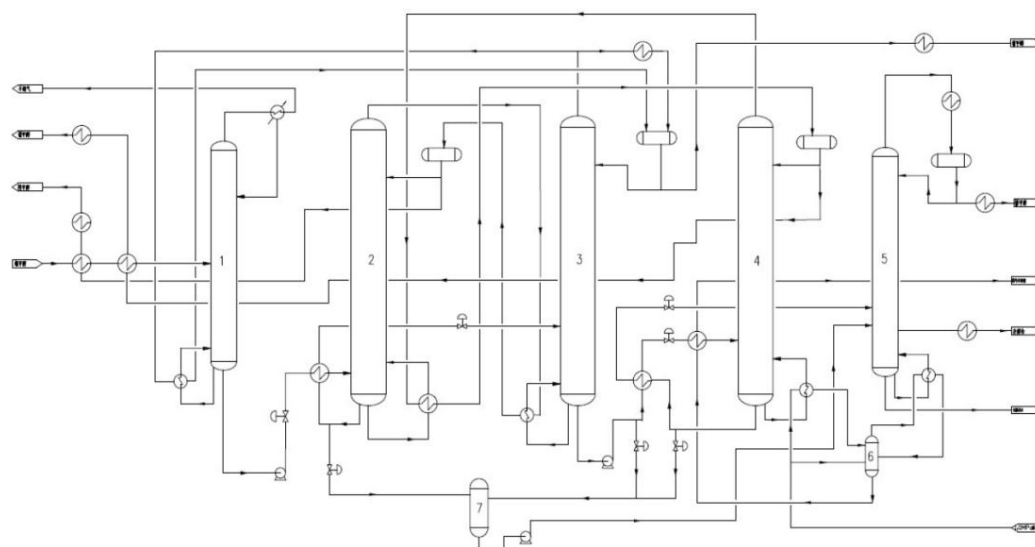
## (四) 五塔四效甲醇精馏技术

### 1. 技术适用范围

适用于甲醇精馏工艺。

### 2. 技术原理及工艺

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。工艺流程如图4所示。



1-预精馏塔；2-第一加压塔；3-第二加压塔；4-第三加压塔；5-回收塔；6-蒸汽减压闪蒸罐；7-釜液缓冲罐。

图4 工艺流程图

### 3. 技术功能特性及指标

- (1) 装置产能提升 30%以上，乙醇浓度  $\leq 50$  ppm (wt)；
- (2) 采用热耦合及热能再利用技术，吨精醇蒸汽消耗

降低至 0.7 吨。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为天津市创举科技股份有限公司，应用单位为新能能源有限公司。改造前采用“3+1”塔双效精馏工艺，主要耗能种类为蒸汽，年产能为 60 万吨，单位产品能耗 94.97 千克标准煤/吨。

##### (2) 主要技术改造内容:

增设一台高压塔，配套换热器及辅助设备，更换原加压塔再沸器、提馏段内件及原回收塔，进行 DCS 组态。2020 年 6 月实施节能改造，实施周期 10 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，单位产品能耗降低至 70.04 千克标准煤/吨，实现节能量 1.97 万吨标准煤/年，二氧化碳减排量 5.24 万吨/年。投资额为 3200 万元，投资回收期为 6 个月。



## (五) 乙烯裂解炉节能陶纤衬里材料

### 1. 技术适用范围

适用于化工行业大型炼化装置。

### 2. 技术原理及工艺

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。技术原理如图 5 所示。

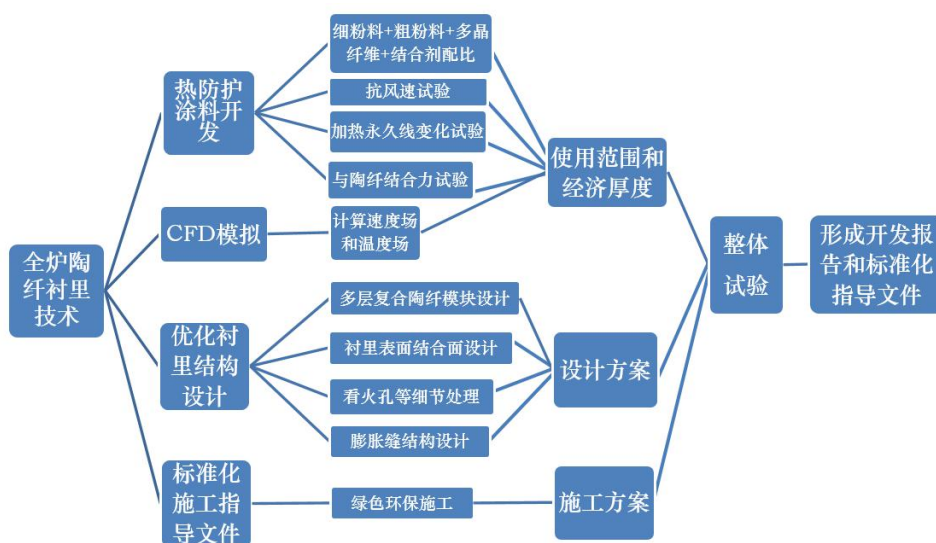


图5 技术原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(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 $\leq 0.18$  瓦/(米·开))。

## 4.应用案例

### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为中国石化工程建设有限公司，应用单位为中国石化上海石油化工股份有限公司。改造前主要通过燃烧甲烷、氢气对裂解反应进行供热，主要耗能种类为甲烷和氢气，辐射段外壁表面积共 519 平方米，炉外壁温度平均为 102 ℃，表面热流量为 454.7 千瓦。

### (2) 主要技术改造内容:

拆除炉内壁辐射段砖墙衬里及陶纤折叠块衬里，加装多晶纤维复合模块衬里涂敷高温热防护涂料，对侧壁烧嘴砖进行轻质化改造更换。2021 年 7 月实施节能改造，实施周期 1 个月。

### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，表面散热流量减少了 64.2%，实现节能量 384 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 1021 吨/年。投资额为 570 万元，投资回收期为 6.5 年。

## (六) 硫铁矿制酸系统协同利用有机废硫酸节能降碳技术

### 1. 技术适用范围

适用于硫铁矿制酸行业。

### 2. 技术原理及工艺

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。工艺流程如图 6 所示。

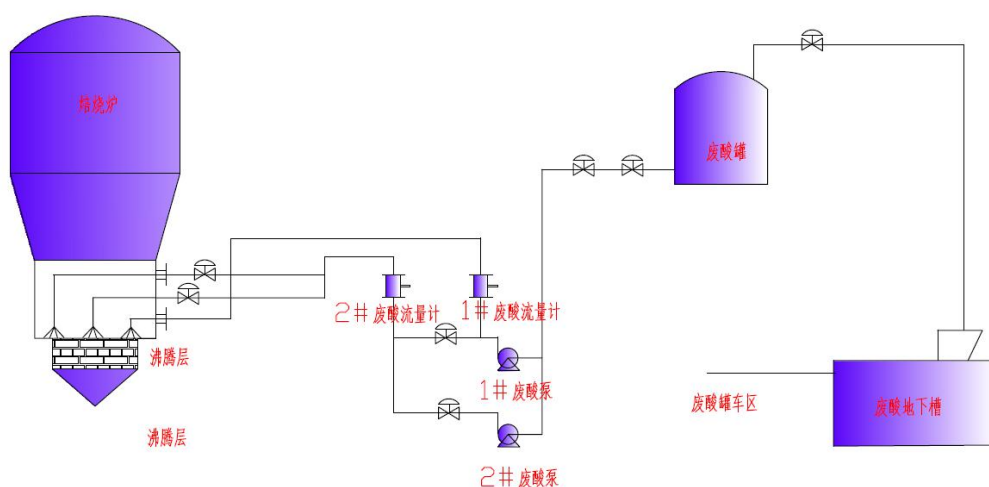


图6 工艺流程图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 废硫酸分解率  $\geq 98\%$ ，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  $\geq 98.5\%$ ，降低制酸系统硫铁矿原料

消耗 30%左右。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为宁夏瑞佳新科化工股份有限公司和平罗县凯迪化工有限公司，应用单位为宁夏瑞佳新科化工股份有限公司和平罗县凯迪化工有限公司。改造前采用硫铁矿制酸，主要耗能种类为电力，年产 24 万吨硫酸，单位产品电耗为 100 千瓦时/吨。

##### (2) 主要技术改造内容:

去掉原有多组水箱，改造沸腾炉内部结构，增加 3 组喷枪，喷入废硫酸代替水来调节焙烧炉炉温。2016 年 8 月实施节能改造，实施周期 2 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，单位产品电耗为 80 千瓦时/吨，节约硫铁矿 9 万吨/年，实现节能量 1.18 万吨标准煤/年，二氧化碳减排量 3.15 万吨/年。投资额为 1800 万元，投资回收期为 2 年。

## (七) 炼油加热炉节能降碳成套技术

### 1. 技术适用范围

适用于化工行业炼油加热炉。

### 2. 技术原理及工艺

开发新型炼油加热炉，集成炼油加热炉高效空气预热、高效燃烧、高效传热、新型档版、系统智能控制及烟气余热回收利用等技术。通过合理匹配炉型燃烧器和盘管构型、增加高效耐腐蚀换热设备和智能控制系统，实现加热炉炉膛氧含量的精准控制和高效燃烧、烟气余热循环利用，降低氮氧化物生成和排烟温度。控制系统具有自学习能力，可根据加热炉燃烧状况动态设置运行参数。典型回收系统换热流程如图7所示。

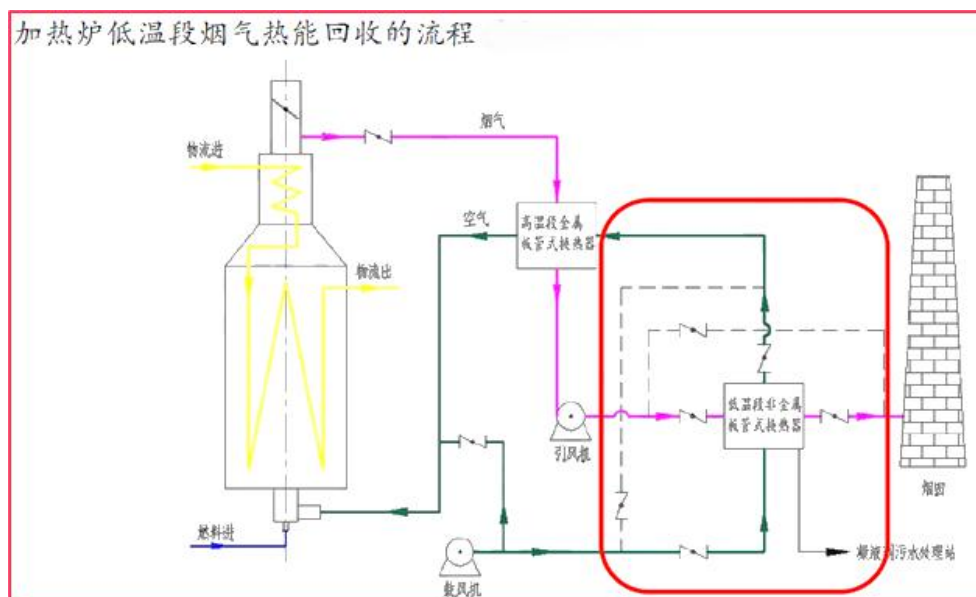


图7 典型回收系统换热流程图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 助燃风与烟气深度换热，加热炉热效率  $\geq 95\%$ ，排烟温度  $\leq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

(2) 涂敷复合结构的新型隔热耐火材料降低散热损失，加热炉外壁温度 $\leq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为中国石化工程建设有限公司，应用单位为中国石化海南炼油化工有限公司。改造前，2套反应加热炉为自然通风，未设置余热回收系统，主要耗能种类为天然气或炼厂气，加热炉热效率90%，排烟温度 $158\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，单位产品能耗为145千克标准煤/吨。

(2) 主要技术改造内容:

反应系统增设余热回收系统(含空气预热器)，加热炉自然通风改造为强制通风。2022年1月实施节能改造，实施周期5个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，单位产品能耗为137.5千克标准煤/吨，实现节能量3641.7吨标准煤/年，二氧化碳减排量9687吨/年。投资额为2900万元，投资回收期为2年。

## (八) 加压气相淬冷法制三聚氰胺大型化成套技术

### 1. 技术适用范围

适用于大型三聚氰胺制备工艺装置。

### 2. 技术原理及工艺

通过大直径高负荷流化床反应器，以尿素为原料，发生催化反应生成三聚氰胺、氨、二氧化碳气体。氨和二氧化碳混合气在整个系统中循环，其中低温混合气用于气态三聚氰胺淬冷凝华。在常规气相淬冷法基础上，增加系统操作压力，充分回收利用系统热量，克服气体泄漏、固体堵塞、设备放大效应等问题，提升反应器单位容积产能。工艺原理图如图8所示。

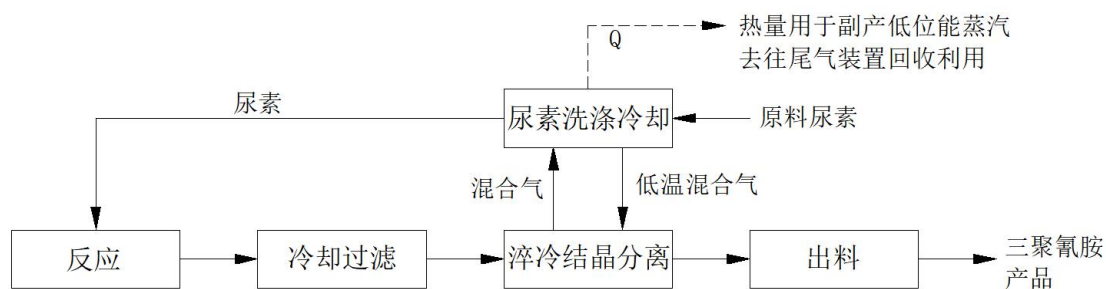


图8 工艺原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 有效利用低位能热量，每吨三聚氰胺产品可回收0.94吨低压蒸汽；

(2) 优化工艺参数，电耗降低至769千瓦时/吨，综合能耗降低至265千克标准煤/吨；

### 4. 应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为四川金象赛瑞化工股份有限公司，应用单位为四川晴胺材料科技有限公司。改造前单套产能为 5 万吨/年，主要耗能种类为天然气和电，综合能耗为 569 千克标准煤/吨。

### （2）主要技术改造内容：

不改变原设备种类数量，优化升级工艺参数和气体压缩设备内部结构，提高所有设备操作压力 0.2~0.5 兆帕，使设备单位容积生产能力增加，单套产能提高到 10 万吨/年。2022 年 10 月实施节能改造，实施周期 10 个月。

### （3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单位产品能耗降低至 265.11 千克标准煤/吨，实现节能量 3.4 万吨标准煤/年，二氧化碳减排量 9.1 万吨/年。投资额为 4.2 亿元，投资回收期为 2.5 年。



## （九）涡节和丁胞换热设备技术

### 1.技术适用范围

适用于化工行业列管式换热器。

### 2.技术原理及工艺

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。技术流程如图 9 所示。

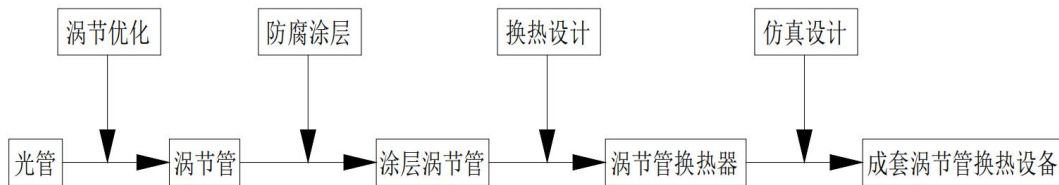


图9 技术流程图

### 3.技术功能特性及指标

（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，风机耗电量降低 5%。

### 4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为中化节能技术（北京）有限公司，应用单位为辽宁宝来新材料有限公司。改造前需加热废气进行脱硝反应，废气尾部余热未回收，主要耗能种类为天然气，废气处理量为 29.3 万立方米/小时，天然气耗为 3196 立方米/小时。

（2）主要技术改造内容：

在选择性催化还原脱硝装置后设置涡管气气换热器，用废气余热加热脱硝反应器前的废气。2021 年 8 月实施节能改造，实施周期 4 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，无需消耗天然气，实现节能量 3 万吨标准煤/年，二氧化碳减排量 8 万吨/年。投资额为 1300 万，投资回收期为 7 个月。

## (十) 基于溴化锂机组的工业余热回收技术

### 1. 技术适用范围

适用于煤化工行业余热回收利用。

### 2. 技术原理及工艺

采用大温差型溴化锂吸收式冷热水机组，回收 60 ~ 100 °C 工业低品位余热制取冷热水，实现低温余热夏季制冷，冬季供暖，余热利用温差达 40 °C。采用循环氨水为热源的制冷技术，解决溴化锂吸收式制冷机组的换热器腐蚀及换热器堵塞问题。回收热量是传统机组的 2 倍，可大幅降低运行及系统投资费用。系统原理如图 10 所示。

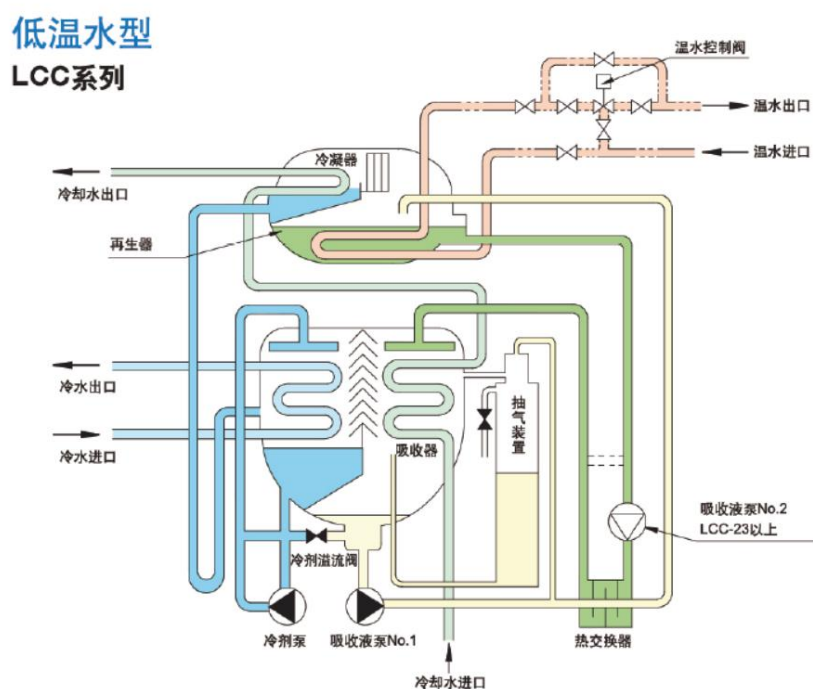


图10 系统原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 充分利用工业余废热资源驱动机组实现空调制冷、制热，电量仅为输出冷（热）量的 1%；

(2) 采用溴化锂吸收式技术实现冷剂水热传递，制冷时余热利用最低 50℃，制热时余热利用最低 20℃，制热效率>0.95。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为冰山松洋制冷（大连）有限公司，应用单位为恒力石化（大连）新材料科技有限公司。改造前采用电制冷空调，主要耗能种类为电力，年耗电量约 14800 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容:

安装 14 台热水型溴化锂机组及配套系统代替电制冷空调，制取 6℃/7℃ 的冷水。2022 年 6 月实施节能改造，实施周期 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，年耗电量 212 万千瓦时，实现节能量 5.9 万吨标准煤/年，二氧化碳减排量 15.7 万吨/年。投资额为 3900 万元，投资回收期为 2 年。

## （十一）径向透平有机朗肯循环发电机组

### 1.技术适用范围

适用于化工行业低品位余热回收。

### 2.技术原理及工艺

基于朗肯循环理论，超低品位蒸汽通过透平机内部的动、静叶栅降压膨胀并把动能转化为转子的机械能，进而带动电机旋转发电，实现超低品位能量回收利用。叶栅设计无调节级，针对饱和蒸汽机型，采用特殊的静叶承缸和级间疏水结构，消除凝结水对叶片的冲击。针对超低温低压的蒸汽利用，转子采用圆锥形设计以平衡轴向推力，转子轴端采用汽封加水封的形式以提高机组真空度。工艺流程如图 11 所示。

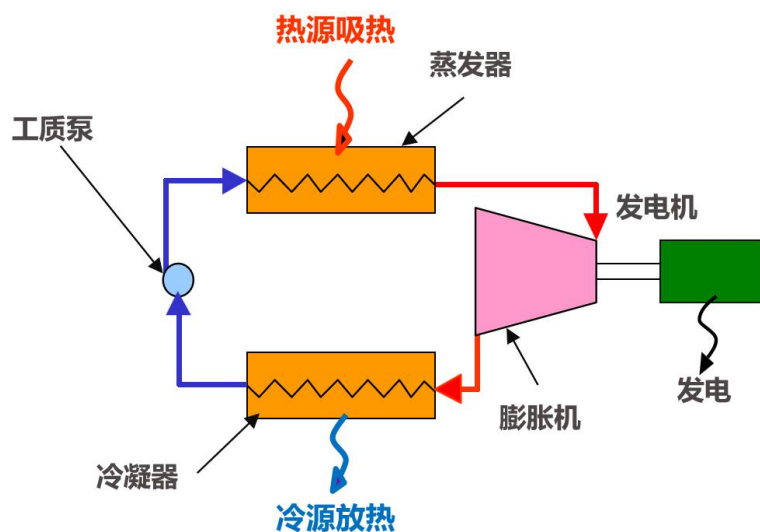


图11 工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

- （1）通过余热加热有机工质，等熵效率  $\geq 85\%$ ；
- （2）余热利用充分，在  $80\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下，系统热电转化效率  $8\%\sim 15\%$ 。

### 4.应用案例

### （1）项目基本情况：

技术提供单位为南京天加能源科技有限公司，应用单位为桐昆集团浙江恒超化纤有限公司。改造前工艺塔顶产生 102 °C 的微正压饱和蒸汽，主要耗能种类为电及饱和蒸汽，蒸汽消耗量为 22 吨/小时，空冷器风机电耗为 60 千瓦时/小时。

### （2）主要技术改造内容：

安装蒸发器、冷凝器、工质泵、径向透平、发电机等设备和附件，改造去掉空冷器，回收蒸汽热能发电。2020 年 4 月实施节能改造，实施周期 6 个月。

### （3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，发电量为 1344 万千瓦时/年，实现节能量 4166 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 11083 吨/年。投资额为 2000 万元，投资回收期为 2.3 年。

## (十二) 超低温超低压饱和蒸汽高速透平发电技术

### 1. 技术适用范围

适用于化工行业超低品位蒸汽、热水和烟气回收利用。

### 2. 技术原理及工艺

基于朗肯循环理论，超低品位蒸汽通过透平机内部的动、静叶栅降压膨胀并把动能转化为转子的机械能，进而带动电机旋转发电，实现超低品位能量回收利用。叶栅设计无调节，针对饱和蒸汽机型，采用特殊的静叶承缸和级间疏水结构，消除凝结水对叶片的冲击。针对超低温低压的蒸汽利用，转子采用圆锥形设计以平衡轴向推力，转子轴端采用汽封加水封的形式以提高机组真空度。蒸汽透平系统流程如图 12 所示。

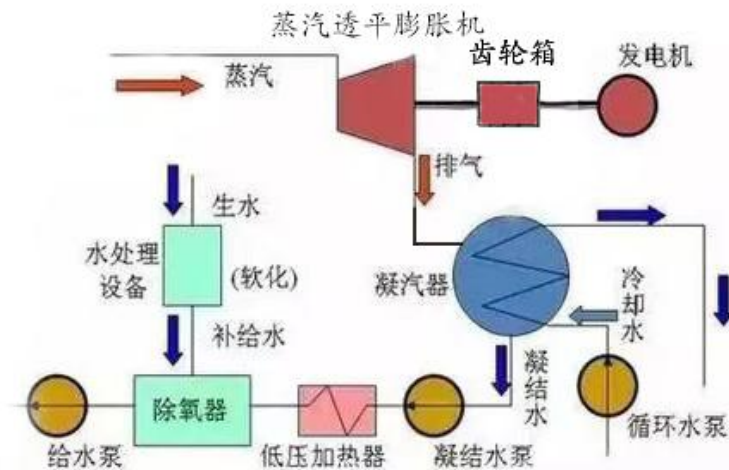


图12 蒸汽透平系统流程图

### 3. 技术功能特性及指标

- (1) 采用级间疏水结构，饱和蒸汽中水分消除率  $\geq 95\%$ ;
- (2) 热量转化效率高，等熵膨胀效率可达 87%。

### 4. 应用案例

### （1）项目基本情况：

技术提供单位为北京清云能源集团有限公司，应用单位为湖北三宁化工股份有限公司石宝山新材料分公司。改造前原系统装备 2 台螺杆膨胀发电机组回收利用副产蒸汽进行发电，发电效率低，主要耗能种类为副产蒸汽，全年发电量 579.2 万千瓦时。

### （2）主要技术改造内容：

安装 2 台装机 1500 千瓦的超低温超低压饱和蒸汽高速透平机，替代原螺杆膨胀机，增设 2 台减速齿轮箱、2 台发电机、润滑油站和水泵等辅机设备。2023 年 2 月实施节能改造，实施周期 7 个月。

### （3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，全年新增发电量 1100.8 万千瓦时，实现节能量 3412.48 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 9077.2 吨/年。投资额为 2500 万元，投资回收期为 4 年。