

# 全焊接板式换热器在芳烃装置塔顶气热回收中的应用

马静<sup>1</sup> 高嵩<sup>2</sup>

1. 马静 3709231983\*\*\*\*5289

2. 高嵩 1422331988\*\*\*\*0034

**摘要:** 芳烃装置中低温热源较多, 但大多没有进行有效回收, 提高装置的能效是国家能源安全战略的重要组成部分, 同时增强企业的竞争性。然而, 采用传统管壳式换热器改造的局限在于不仅空间受限, 热回收效率也极其低下。本文即以丁芳烃联合装置为例, 分析采用紧凑型全焊接板式换热器回收抽出液塔、邻二甲苯塔和重芳烃塔馏分热量的案例, 证明其投资回报期短, 效果实现预期, 有效解决现有芳烃装置改造难题, 对于类似工厂具有重要借鉴意义。

**关键词:** 全焊接板式换热器; 芳烃热回收; 投资回报

## 前言

“碳中和”是我国能源安全和经济转型的内在需求, 也是世界各国利益的对立和统一。中国为了实现 2060 年“碳中和”的目标, 以在复杂多变的国际环境中获得发展权和碳定价权, 需要在六大方面整体布局: 源头减量、能源替代、节能提效、回收利用、工艺改造和碳捕集。炼化企业是能源生产、消耗大户, 节能提效始终是其响应能源安全战略的重要方针。

对二甲苯(PX)是重要的芳烃产品之一, 下游产品以精对苯二甲酸(PTA)为主, 进而衔接聚酯生产, 在炼化一体化项目中起到承上启下的“桥梁”作用。芳烃的生产过程是伴随着 CO<sub>2</sub> 排放的能源密集型过程, 热集成度极高, 换热网络通常采用管壳式换热器设计计算。在工艺优化进行热回收的案例通常以管壳式换热器回收热能驱动发电为多, 然而很多现有装置由于空间、传热效率限制往往无法采用传统管壳式换热器, 因此迫切需求寻求高效换热技术来实现节能降耗的目标。

另外, 一方面国内芳烃技术的不断突破很大程度上缓解了 PX 的进口依赖, 另一方面新兴民营装置趋向产业链一体化、装置规模大型化, 进行了更加高效的热集成, 总设计能耗逐渐降低, 这种产业的整合将迫使一些效能低下、利润率低的装置慢慢淘汰, 市场竞争加剧。因此, 通过热量回收, 对于降低操作成本, 增强部分企业的竞争力至关重要。

本文即分析采用紧凑型全焊接板式换热器回收丁芳烃装置塔顶低温热量的案例, 设备的空间灵活性和换热的高效性解决其改造难题, 对其他类似装置具有借鉴意义。

## 1 芳烃节能位置分析和挑战

芳烃联合装置主要由石脑油加氢、连续重整、芳烃抽提、歧化及烷基转移、对二甲苯分离、C<sub>8</sub> 芳烃异构化、C<sub>8</sub> 芳烃分馏等单元组成。丁芳烃联合装置抽出液塔、邻二甲苯塔、重芳烃塔塔顶馏分均直接通过空冷冷却, 低温热未进行热回收而是直接排放到环境中, 且在夏季的几个月里, 空冷器由于没有足够的冷却能力, 会导致产品从汽包中流失, 急需利用停工检修机会进行改造, 但面临着较大的挑战:

1.1 精馏塔操作压力为微正压, 仅 0.2barG, 塔顶气冷凝器压降应尽可能小于 10kPa, 若压降太高, 可能影响整个系统的运行; 而低压降的要求若用管壳式计算, 需要的设备尺寸很大, 现场空间受限;

1.2 低热回收不宜对热集成的其他换热器产生过大影响;

1.3 原空冷的利旧方式, 若新增换热器与空冷串联使用, 无旁路设置, 一旦发生问题, 装置面临停车风险。

## 2 板式换热器特点

本次技改的目的是缩小冷热端温差, 提高热回收效率取热至热媒水。理论上通过更换更大的管壳式换热器或者增加管壳式换热器的台数也可以达到要求, 但工厂现场需保留空冷做为备用, 由于空间限制, 增加管壳式换热器的方案不可行, 所以需寻求在占地允许的情况下, 有更高传热系数的板式换热器方案。

板式换热器主要分为垫片式和全焊式两大类, 由于芳烃对垫片具有溶胀性, 全焊接板式换热器是技改的首选。根据工艺的要求, 阿法拉伐推荐在此位置上应用全焊式板式换热器 Compabloc。

Compabloc 在全球已经有 30,000 多台运行在严苛的工况下, 其传热板的焊接采用激光焊接的方式, 热输入量低, 焊接速度快, 提供可靠的焊接式结构, 专门处理腐蚀性或危险性介质和高温高压条件。传热板上的波纹可以提供更大程度的湍流(见图 1), 提高液膜传热系数和, 同时比较薄的板片厚度(0.8~1.2mm)也会增加板片传热性能, 根据传热系数 K 的计算公式(公式 1)可知, 这两个因素均可促进 K 值的提高, 与传统管壳式换热器相比, 可以达到其 3~5 倍的传热系数, 同时降低结垢速率。

(公式 1)

式中 K—传热系数, W/(m<sup>2</sup>·K)

— 热侧液膜传热系数, W/(m<sup>2</sup>·K)

— 冷侧液膜传热系数, W/(m<sup>2</sup>·K)

— 板片厚度, m

— 板片导热系数, W/(m·K)



图 1. 板式换热器湍流图示

另外板式换热器在其流动方向上更倾向于逆流形式，而逆流可以提供冷热流体间更小的温差，达到更大程度的热回收。所以，在大部分情况下，一台全焊式板式换热器可以替换多台管壳式换热设备，减少所需要的安装空间可达约 90%。

同时，Compabloc 板式换热器设计和型式非常灵活，由于其流程很短且可通过流程的设置兼顾低压降和高热回收率。

### 3 设计改造方案

基于以上挑战和全焊接板式换热器的优势，决定采

用取热至热媒水的工艺改造方案，板换与空冷并联，板换负担 80% 负荷，空冷负担约 20% 负荷，即使有一路发生了问题也无需停车，只需降低负荷运行，芳烃联合装置热媒水参数如表 1 所示。

表 1. 热媒水设计参数

名称	热水参数
进水温度 / °C	100
出水温度 / °C	135
压力 / MPa	0.15 (进) ~ 1.25 (出)
流量 / t/h	1360

装置新增界区来的热媒水分为两路并联：一路经过邻二甲苯塔顶气两路并联的换热器进行加热，换热器前设置流量控制阀以调节热媒水温度；另一路热媒水换热器先经过抽出液塔顶两台并联换热器加热后，再至重芳烃塔换热器进行加热，该路热媒水同样设置流量控制阀来调节热媒水温度；两路热媒水汇合后出装置，外围设置热媒水站、热媒水泵实现热媒水循环，满足其他用户的需求。

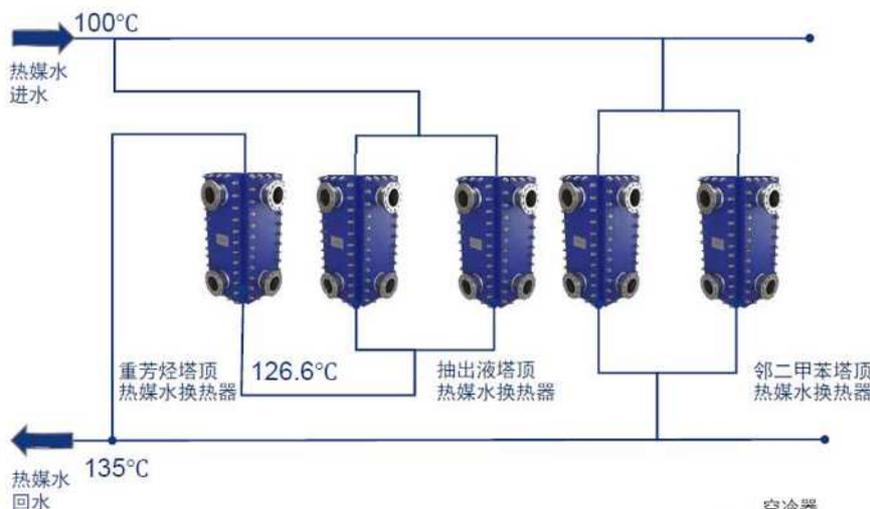


图 2. 芳烃联合装置热媒

以抽出液塔顶热媒水工艺为例，介绍塔顶热媒水取热工艺。抽出液塔顶工艺气分成两路进行冷却：一路塔顶气经过原空冷流程进行冷却，该路管线空冷入口新增控制阀调节空冷入口介质流量；另一路塔顶气至新增热媒水换热器进行冷却，进新增板换之前同样设置控制阀来调节流量。100°C 热媒水进装置后加热后达到约 127°C，再经由重芳烃塔顶气进一步加热到 135°C。

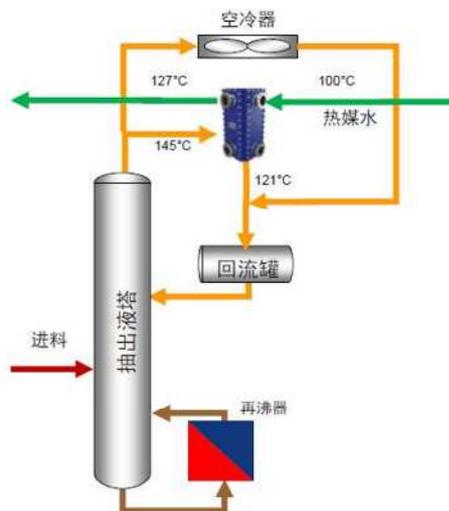


图 3. 抽出液塔改造后图示

### 4 技改后运行效果

装置开工后，抽出液塔、邻二甲苯塔及重芳烃塔顶产出热媒水供其他装置正常使用。根据现有热媒水管线流程及下游热媒水用户实际需求，芳烃联合装置供出

热媒水未达到设计最大流量。运行稳定后,热媒水系统设计高 3℃,出水温度 135℃与设计一致。热水产出可达 1 296 t/h,装置进热媒水温度 ~103℃较

表 2. 新增塔顶热回收换热器运行参数

位置	型号	台数	设计/操作	塔顶气流量 Kg/h	热侧进口温度 ℃	热侧出口温度 ℃	热媒水流量 Kg/h	冷侧进口温度 ℃	冷侧出口温度 ℃	热负荷 kW
抽出液塔顶热媒水换热器 (C8 馏分/水)	全焊接板换 CP	2	设计	271600	145	121	980000	100	126.6	30690
			操作	220000	142	114	640000	102.7	126	19578
邻二甲苯塔顶热媒水换热器 (OX/水)	全焊接板换 CP	2	设计	220800	158	131	637600	100	135	26288
			操作	176000	154.2	113	460000	102	136	20545
重芳烃塔顶热媒水换热器 (C9、C10 馏分/水)	全焊接板换 CP	2	设计	84480	180.4	133.5	980000	126.6	135	9720
			操作	90000	180.8	127.3	640000	126	135	10661

3 台塔精馏塔顶共计停运 35 kW 空冷风机 3 台,每小时可节约电力约 105 kW·h。按照当前操作热媒水供热量,从表 2 可以看出,技术改造之后,热媒水取热的热负荷约 (19578+20545+10661)=50784 kW。如果按照 2barg 蒸汽潜热 2200kJ/Kg,装置每年运行 7800h 计算节能量,每年节约蒸汽约为 648188t,按照蒸汽价格 130 元/吨计算,每年节约蒸汽费用约 8426 万元,见公式 2。

$$\Delta H_{\text{vap}} \text{Hy} * 3.6 / 10000$$

(公式 2)

式中:Q—热媒水取热热负荷, kW;

Y—每年节约蒸汽费用, 万元;

$\Delta H_{\text{vap}}$ —蒸汽潜热, kJ/kg;

H—装置每年运行时间, h;

y—蒸汽价格, 元/吨。

考虑设备和配管投资,投资回报期仅以月计。

## 5 结论

(1)板式换热器的板片波纹会产生最大程度的湍流,从而带来较高的换热系数。常规工况整体传热系数约是管壳式换热器的 3 到 5 倍。换而言之,板式换热器在相同工况下只需要管壳式换热器 20-30% 的换热器面积。尤其在热回收工况中,板式换热器可以带来更多的益处。

(2)在芳烃精馏塔低热回收位置,经实际运行证明,高效全焊式板式换热器技术可以替代空冷器完成热量回收,对提高芳烃装置的经济性、降低操作成本、增强企业竞争力具有重要意义,同时为国家的低碳减排贡献力量。

## 参考文献:

- [1] 王兆瑞,王强. 全焊接板式换热器在芳烃装置的应用 [J]. 聚酯工业, 2020, 33(4):56-57, 60. DOI:10.3969/j.issn.1008-8261.2020.04.016.
- [2] 李啸东. 双管板换热器在芳烃装置低温热回收中应用 [J]. 石油化工安全环保技术, 2019, 35(3):38-40. DOI:10.3969/j.issn.1673-8659.2019.03.011.
- [3] 刘振英,祁燕龙. 节能技术在新建芳烃联合装置中的应用 [J]. 中外能源, 2014, 19(10):94-97.
- [4] 孙晓娟,徐又春. 1.5Mt/a 超低压连续重整技术设计及工业应用 [J]. 炼油技术与工程, 2020, 50(3):36-41.
- [5] 张贤安,王健良,胡兴苗,等. 高参数多流态新型缠绕管式换热器成套技术研发和产业化应用 [Z]. 镇海石化建安工程有限公司. 2016.