

对二甲苯装置能耗分析与改造优化降本研究

张 豪 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578101)

摘 要: 本文介绍了某公司 1# 对二甲苯装置能耗情况, 讨论了不同装置负荷、不同燃料占比对能耗的影响, 并在原设计基础上采取了一系列优化改造措施和成本控制, 如: 异构化循环氢压缩机润滑油泵透平改电、二甲苯加热炉低氧燃烧的应用、邻二甲苯塔顶低温热高效回收等, 降低了装置能耗。此外, 还对今后 1# 对二甲苯装置的节能措施进行了探讨。

关键词: 二甲苯装置; 能耗; 改造优化; 降本研究

Abstract: This article introduces the energy consumption of a company's 1 # xylene unit, discusses the impact of different unit loads and fuel ratios on energy consumption, and adopts a series of optimization and cost control measures based on the original design, such as replacing the lubricating oil pump turbine of the isomerization cycle hydrogen compressor with electricity, applying low oxygen combustion in the xylene heating furnace, and efficiently recovering low-temperature heat at the top of the ortho xylene tower, which reduces the energy consumption of the unit. In addition, energy-saving measures for the future 1 # xylene plant were also discussed.

Keywords: xylene unit; Energy consumption; Transformation and optimization; Cost reduction research

0 引言

对二甲苯 (PX) 作为有机化工的基础原料, 主要用于生产精制对苯二甲酸 (PTA) 的装置。对苯二甲酸处理后可生成聚酯材料, 再经加工可制造长丝、短纤维、聚酯薄膜及聚酯漆, 广泛应用于轮胎、纺织、包装等行业。此外, PX 还可用于制造合成树脂、增塑剂、塑料合金, 止血剂等。某公司 60 万吨 / 年 PX 联合装置包含二甲苯精馏单元、异构化单元和吸附分离单元及配套公用工程系统, 以 C_6^+ 重整生成油、歧化甲苯塔底 C_8^+ 芳烃, 以及部分外购混合二甲苯补充为原料, 主要生产 PX 与邻二甲苯 (OX)。某公司 1# 对二甲苯装置自 2013 年 12 月 27 日开工投料成功以来, 其综合能耗均处于芳烃行业的领先地位。但近年来随着国内市场 PX 产能的不断扩大, 如中国石油广东石化大炼化项目新建 260 万吨 / 年, 中国海油惠州 150 万吨 / 年和宁波大榭分别新建 160 万吨 / 年, 其较大的生产规模与新技术、新设备的应用, 较低的装置能耗, 使其在 PX 行业竞争中更具优势。因此, 在竞争日益激烈的 PX 行业中不断挖掘装置潜能、降低生产成本, 提高装置的竞争力迫在眉睫。

1 装置流程简介

C_6^+ 重整生成油经重整油塔处理后, 重整油塔底分离的 C_8^+ 芳烃与歧化甲苯塔 C_8^+ 芳烃、脱庚烷塔底 C_8^+ 芳烃物料进入二甲苯塔精馏, 二甲苯塔顶分离出的 C_8A 进入吸附单元处理后生产出 PX, 二甲苯塔底

物料送至邻二甲苯塔, 邻二甲苯塔顶分离出合格的邻二甲苯产品, 邻二甲苯塔底物送至重芳烃塔处理。重芳烃塔的主要作用是分离出 C_9A 及一部分 $C_{10}A$ 为歧化装置提供原料。

2 能耗情况

某公司 1# 对二甲苯装置 2022 年、2023 年累积能耗分别为 242.45kg 标油 / tPX 和 241.21kg 标油 / tPX, 由具体能耗可知。

2023 年装置累积能耗较 2022 年下降 1.24kgoe/t · PX, 原因是 2022 装置大检修及加热炉停工检修, 装置开停工较为频繁, 开停工过程中公用工程耗量相对增加, 能耗较高。装置主要耗能介质是燃料气 (包含天然气、乐东天然气、液化气与干气)、电与 3.5MPa 蒸汽。2022 年装置平均负荷为 91.5%, 燃料气能耗占比为 81.59%, 电能耗占比为 18.14%, 3.5MPa 蒸汽占比为 13.55%; 2023 年装置平均负荷为 91.1%, 燃料气能耗占比为 87.58%, 电能耗占比为 17.07%, 3.5MPa 蒸汽占比为 12.38%。2023 年较 2022 年相比燃料气累积能耗占比增加, 是因为装置开工较为频繁燃料气用量增加; 电累积能耗占比下降, 是因为高温级 ORC 机组停机时间相对较长, 耗电量下降; 3.5MPa 蒸汽累积能耗占比下降, 是因为异构化循环氢压缩机润滑油泵透平改为电, 蒸汽用量减少。其中燃料气主要用于加热炉燃烧, 电能主要用于装置各机泵、风机、电机驱动, 3.5MPa 蒸汽用于异构化循环氢压缩机驱动、重

整油分离塔底重沸器加热。

2.1 装置负荷对能耗的影响

本文统计了不同负荷下 1# 对二甲苯装置的综合能耗, 负荷越高, 能耗相对越低。因为对二甲苯装置能耗计算的基准是 PX 产量, 装置负荷越高, PX 产量越多, 受摊薄效应的影响能耗会有所降低。因此, 在保证装置平稳运行的基础上, 一定程度增加 PX 产量能降低装置综合能耗。

2.2 不同燃料占比对综合能耗的影响

二甲苯加热炉燃料气由液化气、天然气、外购天然气、干气组成, 由于各燃气的热值不同, 各燃料的占比变化会导致加热炉的耗能变化。在相同负荷下, 统计了不同燃气的占比及相关能耗数据, 并绘制了相关趋势图。由数据可以看出, 装置综合能耗与液化气占比趋势总体一致, 折标系数相对较高的液化气、天然气占比增加, 会导致装置综合能耗增加。因此, 在一定程度上减少液化气、天然气占比对装置能耗有利。

3 装置优化改造和降低成本

3.1 异构化循环氢压缩机润滑油泵透平改电及成本控制

异构化循环氢压缩机润滑油泵透平原设计由 3.5MPa 蒸汽驱动, 由于装置处于 3.5MPa 蒸汽管网末端, 再随着 2# 制苯装置开工后 3.5MPa 蒸汽用量增加, 蒸汽用量日益紧张。为了减轻 3.5MPa 蒸汽管网负担及降低装置能耗, 方便操作, 减少工艺系统与蒸汽系统的相互依赖和相互影响, 因此, 对异构化循环氢压缩机润滑油泵透平进行了改造, 见表 1。

表 1 异构化循环氢压缩机润滑油泵透平改电前后对比

名称	公用工程 增减数量	折标 系数	消费量 kgoe/h	单价	成本
				元 / (t/ kWh)	
3.5MPa 蒸汽, t/h	-2.5	88	-220	173.28	-346.56
电, kWh	55	0.23	12.65	0.59	25.96
合计			-207.35		-320.6

按设计 8000 小时 / 年、60 万吨 / 年 PX 计算, 异构化循环氢压缩机润滑油泵透平改电后装置能耗可降低 2.76kgoe/t PX, 每年可节约 320.6 万元驱动成本。

3.2 二甲苯加热炉低氧燃烧的应用及成本控制

二甲苯加热炉由茂名重力公司制造, 共有 60 个火嘴, 设计热负荷 166.791MW, 其燃料气用量较大, 是装置的主要耗能设备, 也是氮氧化物、二氧化碳及颗粒物等污染物的主要排放设备。二甲苯加热炉原设

计 10 个氧化锆在线分析仪用于监测加热炉辐射室出口氧含量, 可以通过手动调节鼓风机转速调整氧含量。但加热炉燃料气由干气、天然气、乐东天然气、液化气组成, 各燃料的用能占比发生变化, 燃料气的热值、加热炉氧含量需求也会随之改变, 使实际燃烧偏离理论配比燃烧状态, 不但会影响加热炉热的正常运行, 而且会导致其热效率下降, 增加装置能耗。公司为降低装置能耗、减少污染物排放, 同时响应国家“节能减排”的号召, 与北京泓泰天诚科技有限公司相关专家对二甲苯装置加加热炉的运行状态进行研究与探讨, 并将低氧燃烧控制系统应用于加热炉上。

在二甲苯加热炉烟道处新增两台具有高精度、高灵敏度、高稳定性的 CO 分析仪, 用于检测炉膛中的 CO 值, 并将两个 CO 检测数值经平均模块处理后引入新增的 DCS 控制回路 AIC1111 中。同时利用装置原有的 10 个氧化锆在线分析表的检测值, 经平均、低选模块处理后引入 PID 控制回路 AIC82411 与 AIC1111 的 MV 经过高选后超驰调整鼓风机负荷。在保证炉前风压与加热炉正常运行情况下, 通过不断优化降低进风控制点: CO 控制 AIC81210 和氧含量控制 AIC82411 的设定值, 调整鼓风机负荷, 使实际燃烧接近理论配比燃烧状态。由表 3 知二甲苯加热炉投用低氧燃烧系统后, 可以降低燃料气用量, 公用工程消费量下降 53.47kgoe/h, 按装置满负荷计算, 能耗降低约 0.71kgoe/t PX, 每年可节约 98.92 万元燃动成本。此外, 加热炉低氧燃烧投用后的排烟中的 NO_x 含量平均值由 39.1mg/m³ 降至 31mg/m³, 每小时排放量减少 20% 以上, 见表 2。

表 2 二甲苯加热炉低氧燃烧系统投用后对比

名称	公用工程 增减数量	折标 系数	消费量 kgoe/h	单价 元 / 吨	燃动成本 万元 / 年
天然气, t/h	-0.004	1298	-5.79	3524	-12.58
乐东天然气, t/h	-0.005	802	-3.94	2249	-8.84
液化气, t/h	-0.017	1200	-20.13	3360	-45.10
干气, t/h	-0.025	950	-23.60	1630	-32.40
合计			-53.47		-98.92

3.3 邻二甲苯塔低温热高效回收改造及成本控制

由于原设计中的卡琳娜热水发电机组存在重大安全隐患、发电效率低, 且长期闲置导致邻二甲苯塔的低温余热未得到有效利用。经设计院研究设计, 邻二甲苯塔通过提高操作压力和塔顶温度后, 能产生

0.45MPa 低压饱和蒸汽, 经二甲苯加热炉对流段过热后, 部分用于蒸汽发电机组发电, 部分蒸汽外送。本次改造拆除了邻二甲苯塔塔顶 6 个空冷器, 增设 2 个高通量管蒸汽发生器及配套设施, 新增塔底邻二甲苯产品后冷器。

表 3 为邻二甲苯塔改造后公用工程消耗相关数据对比, 改造后装置能量消耗量约减少 1614.85kgoe/h, 按装置设计负荷与运行时间计算, 综合能耗下降了 21.53kg 标油/t PX。装置发电量较改造前相比略有下降, 是因为装置负荷相对较低, 蒸汽发电机组主汽门开度下降, 发电量降低。装置耗电量有所下降是因为邻二甲苯塔顶空冷拆除, 耗电量降低。天然气、乐东天然气与改造前相比用量增多, 是因为液化气价格上涨, 降低液化气用量, 因此, 天然气、乐东天然气用量增加。自产干气用量较改造前下降, 是因为异构化反应负荷降低, 反应产物中的干气产量下降。0.45MPa 蒸汽产量较改造前变化较大, 是因为改造后邻二甲苯塔顶产生了 0.45MPa 蒸汽, 蒸汽产量增大。除氧水用量较改造前用量增大, 是因为装置改造新增的两个汽包需补充除氧水, 除氧水用量增大。此外, 通过表 4 可以看出经过改造后燃动成本每年可节约 4828.87 万元。

4 下一步优化方向

由于加热炉余热回收系统的换热器运行时间较长, 目前压降较大, 受炉膛负压影响, 加热炉烟道旁路开度较大, 热量损失较为严重。因此, 对预热回收换热器进行清洗或更换, 不但有利于加热炉安全、平稳运行, 而且能提高加热炉热效率、降低装置能耗。

5 结语

对二甲苯装置管线长、流程复杂、设备较多, 综

合能耗较大。根据能耗组成分析可知燃料气、电能、3.5MPa 蒸汽在能耗组成中占比较大, 折标系数较高的液化气、天然气占比增大会增加装置能耗, 而提高 PX 产量对能耗有利。针对装置能耗情况采取了一系列优化改造措施, 如下:

①异构化循环氢压缩机润滑油泵透平改电后装置能耗可降低 2.76kgoe/t PX, 每年可节约 320.6 万元驱动成本。

②二甲苯加热炉低氧燃烧的应用, 能耗降低约 0.71kgoe/t PX, 每年可节约 98.92 万元燃动成本。加热炉排烟中的 NO_x 每小时排放量减少 20% 以上。

③邻二甲苯塔低温热高效回收改造后, 装置能耗下降了 21.53kg 标油/t PX, 每年可产生 4828.87 万元效益。

通过优化改造 1# 对二甲苯装置有效的降低了能耗, 提高了行业的竞争力。

参考文献:

- [1] 胡珺, 厉勇, 陈建兵, 等. 二甲苯装置能效提升优化措施及效果 [J]. 石油炼制与化工, 2022, 53(2): 23-29.
- [2] 中国石化经济技术研究院市场营销所. 我国芳烃产业将进入平稳增长期 [N]. 中国石化报, 2024-03-20(005).
- [3] 王金龙. 理论配比燃烧控制方案在 PX 装置加热炉上的应用 [J]. 炼油技术与工程, 2015(10): 5.
- [4] 孙晓娟. 两种对二甲苯装置新技术能耗分析 [J]. 炼油技术与工程, 2020, 50(10): 3.
- [5] 韩隆. 对二甲苯装置技术改造实现节能优化创效 [J]. 化工管理, 2019(1): 1.

表 3 邻二甲苯塔低温热高效回收改造前后公用工程对比

名称	公用工程增减数量	折标系数	消费量 kgoe/h	单价	成本
				元 / (t/kWh)	万元 / 年
电 (自产), kWh	-363.28	-0.23	83.55	-0.59	171.47
电 (消耗), kWh	-1279.42	0.23	-294.27	0.59	-603.89
天然气, t/h	0.26	1298	342.53	3524	743.96
乐东天然气, t/h	5.77	802	4625.11	2249	10375.94
液化气, t/h	-4.50	1200	-5398.33	3360	-12092.27
干气, t/h	-1.75	950	-1660.74	1630.00	-2279.59
产: 0.45MPa 蒸汽, t/h	10.53	66	694.76	-133	-1120.04
耗: 0.45MPa 蒸汽, t/h	-1.39	66	-91.74	133	-147.89
除氧水, t/h	12.97	6.5	84.28	11.9	123.44
合计			-1614.85		-4828.87