关于芳烃联合装置增产邻二甲苯方法的分析探讨

张　豪（中海油惠州石化有限公司，广东　惠州　516086）

摘　要：某东南地区芳烃联合装置的二甲苯塔 C403 以歧化反应产物中的 C_8^+ 芳烃和异构化反应生成的平衡混合二甲苯作为原料，塔顶分离出吸附分离原料的混合二甲苯，塔底物料送往邻二甲苯塔 C404 分离生产邻二甲苯产品。2020 年 6 月初，接指挥通知，将 Ox 产量由原先的约 9t/h 提到了 11t/h，随即班组进行了调整。调整后，Ox 产品产量基本稳定在了 11-12t/h。本文将对现装置内的 Ox 物料进行核算，并对增产 Ox 的手段进行分析、探讨。

关键词：Ox；精馏塔；ASPEN 流程模拟计算

1 装置 Ox 物料核算

现工况下，装置中的邻二甲苯主要来源于两个部分，分别为：① C401 进料中的 Ox（一期重整 + 二期重整 + 213-T-05）；②歧化反应生成的 Ox。

而装置内 Ox 的消耗主要有两个部分：①作为 Ox 产品出装置的部分；②异构化反应转化部分。

以下将对装置内的 Ox 物料进行核算：

1.1 Ox 来源部分物料核算

1.1.1 C401 进料中 Ox 核算

以近期相对稳态的装置各参数进行核算，C401 塔底采出流量约 120t/h，其中 Ox 含量约为 11.9%，即重整来料中 Ox 约为 14.28t/h，这部分 Ox 进入 C402 后，将全部随 C402 塔顶进入 600 单元。

1.1.2 歧化反应生成 Ox 核算

C502 至 C403 进料约为 122t/h，其中 Ox 含量约为 13.1%，即 C502 至 C403 进料中 Ox 约为 15.98t/h，此部分 Ox 将有一部分将由 C403 顶进入到 D601 作为 600 单元进料，另外一部分则作为 Ox 产品采出。

1.2 Ox 消耗部分物料核算

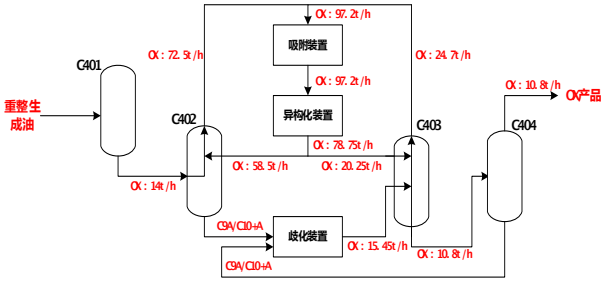

图 1　装置 Ox 物料平衡示意图

① Ox 产品物料核算：Ox 产品产量约为 10-12t/h；②经异构化反应转换的 Ox 核算：近期异构化反应负荷约为 365t/h，反应进料中 Ox 含量约为 27.1%，即异构化进料中的 Ox 约为 98.91t/h。而 C701 至 C402/C403 进料总和约为 259t/h+90t/h=349t/h，其中 Ox 含量约为 22.66%，即 C701 至 C402/C403 进料中的 Ox 约为 79.1t/h，由此可计算出有 97.2t/h-79.1t/h=18.1t/h 的 Ox 在异构化反应中被转化。经计算，进入装置的 Ox 总量为 14t/h（重整进料）+15.45t/h（歧化反应生成）=29.61t/h，装置消耗的 Ox 总量为 11t/h（Ox 产品）+18.1t/h（异构化反应消耗）=29.1t/h，进入装置的 Ox 与消耗的 Ox 基本能达到平衡。装置中的 Ox 物料平衡示意图见图 1。由图 1 可知，Ox 产品全部来源于 C502 底，C502 底至 C403 进料中 15.45t/h 的 Ox 中有 10.8t/h 作为产品出装置，还有 4.65t/h 作为吸附分离进料去到 D601。

2 增产 Ox 方法分析

通过对 Ox 的物料核算可知，Ox 产品全部来源于 C502 至 C403 的进料，而 C502 至 C403 进料中的 Ox 大部分随 C403 塔底去到了 C404，还有一小部分随 C403 塔顶去到了 D601。最大限度增产 PX 的关键点主要在于如何尽量将去 D601 的那部分 Ox 压到 C403 底。

对此，主要的调整方向即为增大 C403 回流比，降低 C403 温度，让 Ox 尽量多落入塔底，减少到 D601 的量，但同时也需要注意不能过度降低 C403 温度而导致其他 C_8A 组分落入塔底而造成 Ox 产品纯度不合格。以下将对这种增产 Ox 的方法进行分析。

通过模拟计算软件 ASPEN PLUS 11.1 建立 C403/C404 联产 Ox 模型，如图 2 所示，以装置现工况运行参数为基础，进行核算，以下简要概述核算过程。

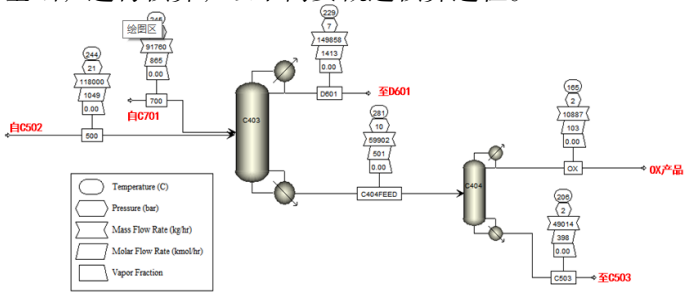

图 2　C403/C404 联产 Ox 流程模型

首先建立 Radfrac 精馏塔核算模块，画出 C403/C404 流程图，并定义模块名为 C403/C404，并定义每股物流名称；②选择添加 C701 和 C502 至 C403 进料中所包含的所有组分类型；③选择物性计算方程，本次核算选用的是适用于所有温度及压力下的非极性或极性较弱的混合物体系方程 --RK-SOAVE；④其中二元交互参数使用 ASPEN11.1 内置数据；⑤输入 C403 两股进料的参数，如表 1 所示（注：因 C502 至 C403 进料线热电偶损坏，无法读数，参考数据为上个运行周期该热电偶显示数据，C502 至 C403 进料线压力参考数据为 P506 出口现场压力表）；⑥输入 C403 两股进料中各组分的质量分率，如表 2 所示；⑦设置 C403、C403 的基本参数，如表 3 所

示（注：输入总塔板数，还需包括塔顶冷凝器与塔底再沸器，即总塔板数为精馏塔塔板数 +2。塔顶冷凝器作为第一块塔板，与装置现有流程图塔板序号相互颠倒，故输入进料塔板号为从塔顶冷凝器开始向下数的序号）；⑧基本参数设置完成，进行模拟计算，得出各物流的基本参数，如图 2 模拟流程图所示，并将模拟计算得出结果与装置实际参数进行核对，如表 4 所示；⑧基本参数设置完成，进行模拟计算，得出各物流的基本参数，如图 2 模拟流程图所示，并将模拟计算得出结果与装置实际参数进行核对，如表 4 所示，由表 4 可以看出，各物料的模拟计算结果与实际操作参数除温度外拟合度较高，以此模拟计算结果数据作为分析的参考。

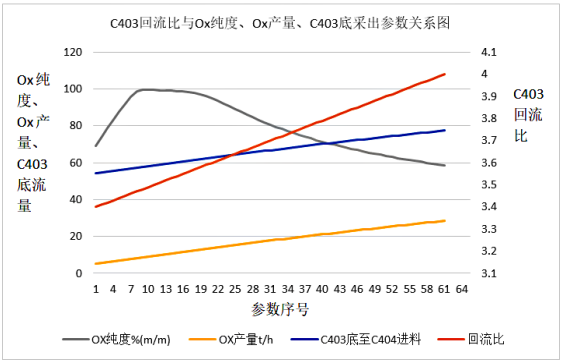

图 3　C403 回流比与 Ox 纯度、Ox 产量、C403 底采出参数关系图

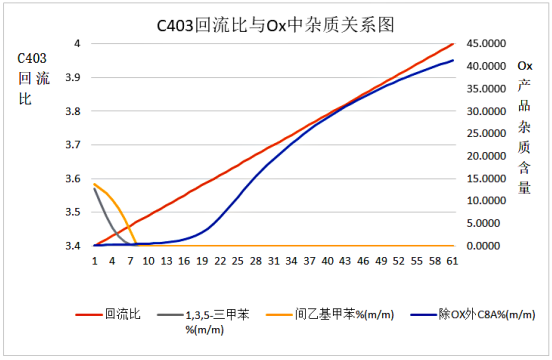

图 4　C403 回流比与 Ox 中杂质关系图（C_9^+A 组分选取含量较高的 1,3,5- 三甲苯和间乙基甲苯作为代表）

增大 C403 回流比，降低 C403 温度，将 C502 至 C403 进料中的 Ox 压到 C403 塔底，增产 Ox。此方案为装置总进料量稳定的情况下，日常生产中增产 Ox 的最常用方法，此方法增产 Ox，主要需要注意增大 C403 回流比过度会导致低沸点的 PX/MX/EB 也被压到塔底，造成 Ox 产品纯度下降。如何找到一个合适的 C403 回流比既能保证 Ox 产品纯度达标，又能最大限度增产 Ox。对此目标。对此建立 ASPEN 灵敏度分析模型 Model Analysis Tools——Sensitivity，试图寻找 Ox 产量、Ox 纯度、C403 底流量、C403 塔底温度、C403 回比这几者之间的关系。以下简述灵敏度分析步骤：①定义变量，分别为 Ox 产量、Ox 纯度、C403 底质量流量；②定义影响上述变量的另一变量 C403 回流比（回流流量与塔顶采出量比值），设置其上限为 4.0，下限为 3.4，分析步长设置为 0.01；③运行灵敏度分析模块，根据得出结果数据制成各参数关系图，如图 3、图 4 所示。

由图 3 可以看出随着 C403 回流比的增大，C403 塔底流量、Ox 产量也随之增大，而 Ox 纯度则是先增大，再下降原因主要是：当 C403 回流比过低时，C403 塔底温度升高，C404 进料温度升高，若不调整 C404 操作，会造成 C404 塔底重组分被蒸到塔顶造成 Ox 产品中 C_9A、C_{10}^+A 含量超标，对于此种情况，我们可以加大 C404 回流比，将重组分压到塔底，将 Ox 纯度调整合格。当 C403 回流比过大时，C403 顶的其他 C_8A 组分会被压到塔底，而 C404 无法分离 Ox 与其他 C_8A 组分，从而造成 Ox 纯度下降，如图 4 所示。根据所得数据，保持 C403 回流比在 3.54–3.56 之间，设置 C403 塔底流量在 60.3t/h–61.2t/h 之间，可以得到流量在 11.3t/h–12.1t/h 之间，纯度在 98.2%–98.2% 之间的 Ox 产品，为模拟计算结果中的最优选择，详见表 5（注：此表为部分截取）。

3　增产 Ox 的其他细节

日常生产中想要达到增产 Ox 的目的，除主要手段：优化 C403 的操作参数外，还有一些细节值得注意。其中包括注意 C404 的操作，避免 Ox 落入塔底损失，在允许的情况下，也可以通过增加二期重整热油进料量或增大 213–T–05 回炼量来增产 Ox，因二期重整热油中非芳含量较高，所以增大二期重整进料量时还需注意抽提单元的负荷瓶颈。而 213–T–05 内物料来源于 2137# 单元的 C_8A，其中 EB 含量较高，增大 213–T–05 回炼量时需注意吸附进料中 EB 含量的增长，需及时降低吸附塔 E/R，减少 EB 对 PX 产品造成的冲击。

4　结语

通过对装置内的 Ox 进行物料衡算，并通过 ASPEN 过程模拟软件对增产 Ox 的手段进行了分析，得出以下结论：① Ox 产品全部来源于 C502 底，而 C502 底的 Ox 来源于歧化反应对重整热油进料中 C_7A、C_9A、C_{10}^+A 的反应转化。当 C401 进料不变的情况下，通过增大 C403 回流比的方法来实现 Ox 产量增长的空间也比较有限，最终决定 Ox 产量的还是 Ox 产品的来源部分，即歧化反应的负荷以及转化率；② ASPEN 过程模拟软件的计算得出数据与实际生产数据拟合度较高，但也存在偏差。其中灵敏度分析模块可以模拟出各参数之间的变化关系，可以作为实际生产的指导方向，但调整的具体数值仍需与实际生产相结合，观察调整。

表 1　C403 进料参数表

物流描述	温度（℃）	压力（表压 Bar）	流量（t/h）
C502 至 C403	244	20	118
C701 至 C403	245	14.6	91.76

表 2　C403 进料组成表

物流描述	C502 至 C403（SN506）	C701 至 C403（SN708）

非芳烃 %（m/m）	＜ 0.01	1.93
苯 %（m/m）	＜ 0.01	＜ 0.01
甲苯 %（m/m）	0.01	0.2
乙基苯 %（m/m）	1.83	1.64
对二甲苯 %（m/m）	13.79	22.28
间二甲苯 %（m/m）	30.26	50.92
邻二甲苯 %（m/m）	13.01	22.49
异丙苯 %（m/m）	0.02	＜ 0.01
正丙苯 %（m/m）	0.03	＜ 0.01
对乙基甲苯 %（m/m）	1.16	＜ 0.01
间乙基甲苯 %（m/m）	2.64	0.02
1,3,5- 三甲苯 %（m/m）	7.34	＜ 0.01
邻乙基甲苯 %（m/m）	0.66	＜ 0.01
1,2,4- 三甲苯 %（m/m）	17.47	0.24
1,2,3- 三甲苯 %（m/m）	2.49	＜ 0.01
茚满 %（m/m）	0.09	＜ 0.01
对二乙基苯 %（m/m）	0.02	＜ 0.01
碳八加芳烃 %（m/m）合计	58.89	97.34
碳九加芳烃 %（m/m）合计	31.89	0.28
碳十加芳烃 %（m/m）合计	9.18	0.24

表 3 C403、C404 基本参数表

塔位号	C403	C404
总塔板数	171	100
进料位置 1	19（C701 底进料）	51（C403 底进料）
进料位置 2	45（C502 底进料）	无
塔顶冷凝器压力（表压 Bar）	6.1（回流罐压力）	0.7
塔顶冷凝器压差（Bar）	0.2	0.2
整塔压差（Bar）	1	0.4

表 4 各物流参数模拟计算结果与实际生产参数对照表

物流描述	C403 顶至 D601		C403 底至 C404		C404 顶		C404 底至 C503	
数据来源	模拟计算结果	实际生产参数	模拟计算结果	实际生产参数	模拟计算结果	实际生产参数	模拟计算结果	实际生产参数
温度℃	228.9	223	281.3	286	165.3	161	205.8	214
表压 Bar	6.1	6.1	9.1	9.1	0.7	0.7	1.3	1.3
质量流率 t/h	149.858	149	59.901	59	10.887	11	49.014	49.63
非芳烃 %（m/m）	1.2	1.06	0	0.02	0	0.12	0	＜ 0.01
苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	0	＜ 0.01	0	＜ 0.01	0	＜ 0.01
甲苯 %（m/m）≤ 0.5	0.1	0.11	0	＜ 0.01	0	＜ 0.01	0	＜ 0.01
乙基苯 %（m/m）	2.4	2.37	0	＜ 0.01	0	＜ 0.01	0	＜ 0.01
邻二甲苯 %（m/m）	16.8	16.69	18.1	18.05	99.1	99.08	0.1	＜ 0.01
间二甲苯 %（m/m）	55	55.43	0.1	0.08	0.7	0.49	0	＜ 0.01
对二甲苯 %（m/m）	24.5	24.34	0	0.03	0.2	0.17	0	＜ 0.01
正丙苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	0.1	0.06	0	＜ 0.01	0.1	0.07
异丙苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	0	＜ 0.01	0	0.13	0	＜ 0.01
对乙基甲苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	2.3	2.33	0	＜ 0.01	2.8	2.56
间乙基甲苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	5.2	5.54	0	0.01	6.4	7.36
邻乙基甲苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	1.3	1.39	0	＜ 0.01	1.6	1.71
1,2,3- 三甲苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	4.9	4.93	0	＜ 0.01	6	5.92
1,2,4- 三甲苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	34.8	35.24	0	＜ 0.01	42.5	42.58
1,3,5- 三甲苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	14.5	14.65	0	＜ 0.01	17.7	17.72
茚满 %（m/m）	0	＜ 0.01	0.2	0.18	0	＜ 0.01	0.2	0.21
对二乙基苯 %（m/m）	0	＜ 0.01	0	0.05	0	＜ 0.01	0	0.07
碳八加芳烃 %（m/m）	98.7	98.83	18.2	18.16	100	99.74	0.1	＜ 0.01
碳九加芳烃 %（m/m）	0	＜ 0.01	63.3	64.36	0	0.14	77.3	78.12
碳十加芳烃 %（m/m）	0	＜ 0.01	18.5	17.41	0	＜ 0.01	22.5	21.79

表 5 C403 回流比与 C403 塔底采出、Ox 产量、Ox 纯度灵敏度分析结果数据表

回流比	C403 塔底采出（t/h）	Ox 产量（t/h）	Ox 纯度 %（m/m）
3.6	62.82	13.80	94.97
3.59	62.41	13.39	96.14
3.58	61.99	12.98	97.05
3.57	61.58	12.57	97.73
3.56	61.16	12.15	98.24
3.55	60.75	11.73	98.60
3.54	60.32	11.31	98.87
3.53	59.90	10.89	99.07
3.52	59.48	10.46	99.24
3.51	59.05	10.03	99.35
3.5	58.62	9.60	99.44
3.49	58.18	9.17	99.51
3.48	57.75	8.73	99.56
3.47	57.31	8.30	98.65
3.46	56.87	7.86	95.73