

芳烃精制工艺模拟与控制

孙安琴,张旭斌,蔡旺锋*,王富民
(天津大学化工学院,天津 300072)

摘要:以某焦化厂的实际工艺为例,利用 Aspen Plus 软件,建立了以 NFM 为萃取剂的芳烃萃取精馏工艺流程模型,模拟结果与工业实际状况吻合。在此基础上,对现行工艺进行优化控制。利用 Aspen Dynamic 软件,分别对独立控制方案、关联控制方案进行流量和组分的扰动性能测试,分析出内在联系,并结合关联控制方案的优点,提出一种改进的控制方案。在改进的控制方案中,将各塔板温度控制器和塔底再沸器热负荷与进料的比值进行串级控制,加强了进料、塔板温度和塔底再沸器之间的联系。结果表明,改进的控制方案具有较好的控制效果。

关键词:芳烃;萃取精馏;独立控制;关联控制;串级控制

中图分类号:TQ523.6

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)12-0151-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2015.12.041

Simulation and optimization of extractive distillation for aromatic recovery

SUN An-qin, ZHANG Xu-bin, CAI Wang-feng*, WANG Fu-min

(School of Chemical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Taking the actual aromatic recovery process of a coking plant as example, an extractive distillation model for aromatic recovery is established by using *N*-formylmorpholine (NFM) as solvent. The simulated results obtained with Aspen Plus agree well with the site data from the plant. On this basis, the optimization of the existing recovery process is conducted. The flux and the disturbance performance of components for several alone and association control structures are evaluated by Aspen Dynamic software. Their inherent relationship is analyzed. An improved control system is proposed by combining the advantages of association control structure. In the improved control system, the cascade control is implemented among the temperature control for all plates in the column, heat duty of the re-boiler at the bottom of the column and feed ratios, strengthening the relationship of feeding, plate temperature and reboiler at the bottom of the column. The results exhibit that better control effect has already been achieved by using the improved control system.

Key words: aromatic recovery; extractive distillation; alone control; association control; cascade control

苯、甲苯芳烃是合成橡胶、树脂、纤维、染料、炸药和农药等的重要原料。随着石油化工以及纺织工业的持续发展,全球对芳烃的需求量不断增长^[1]。由于原料中芳烃和非芳烃之间沸点相近易形成共沸物,工业上一般采用芳烃萃取技术获得高纯度芳烃。萃取技术分为液液萃取和萃取精馏 2 大类。对于馏分较窄、芳烃含量较高的原料,萃取精馏工艺因流程简单、操作易行、设备投资和操作费用低等优点被广泛应用^[2]。

随着计算机的快速发展和日益普及,计算机对精馏过程的优化控制已成为一种趋势。国内外学者对精馏过程的控制方面做了大量的研究。Bouyahiaoui 等^[3]介绍了一种基于确定模糊控制参数的最优模糊控制法,通过对苯和甲苯精馏分离的控制,表明这种控制方法具有一定的应用前景。George 等^[4]提出了一种预测性控制算法,这种算法基于不同塔板的温度参数和塔板间的压差分布,结果表明,

该算法可对故障的诊断以及精馏过程的控制效果有所改善。更多的学者利用 Aspen Dynamic 动态模拟软件对精馏过程进行前馈补偿控制^[5]、双温差控制^[6]、定比值控制^[7]、温度控制^[8]、组分控制^[9]等研究,并取得了一定的成效。

但是化工流程一般十分庞大而复杂,却很少有关于操作单元之间控制的联系的研究。本文中基于寻求合理的全厂控制结构为目的,以某焦化厂的实际工艺为例,对该芳烃萃取精馏流程进行模拟、分析,并通过 Aspen Dynamic 软件测试了控制方案控制性能,找到各操作单元之间的联系,从而设计出适合的控制方案。

1 N-甲酰吗啉萃取精馏工艺概况

1.1 流程介绍

某焦化厂采用四塔工艺流程,如图 1 所示。首先原料粗苯加氢液进入预分离塔(T101)对 C₈ 以上

的重烃进行切除。预分离塔塔顶得到以苯和甲苯为主要成分以及部分轻质烃的混合物,进入萃取精馏塔(T201)进行分离。在萃取剂 NFM 作用下,萃取精馏塔塔顶馏出非芳烃,塔底得到含有芳烃的富溶剂进入溶剂回收塔(T301)。在减压条件下,溶剂回收塔的塔底馏出高温贫溶剂,经过换热并与补充溶剂一起返回到萃取精馏塔,塔顶得到苯和甲苯的混合液进入苯-甲苯塔(T401)。苯-甲苯塔塔顶和塔底分别得到高纯度的苯和甲苯产品。

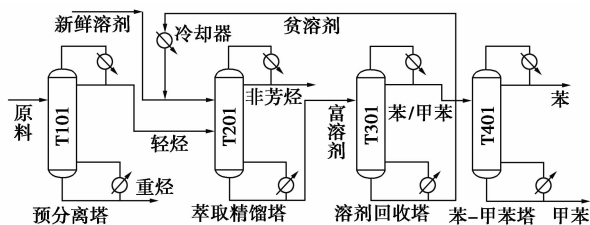


图 1 某焦化厂的芳烃精制工艺流程

1.2 模型的建立

以焦化粗苯加氢液为工艺流程中的原料,其质量流量为 6 945 kg/h,温度 45℃,压力 250 kPa。以 NFM 为溶剂,质量流量为 35 000 kg/h,温度 90℃,压力 300 kPa。预分离塔选用 NRTL-HOC 物性模型,其余 3 塔选用 UNIFAC 估算数据库。以实际工艺指标为标准,对该焦化厂的工艺流程进行模拟。

模拟结果与现场数据的对比结果见表 1 和表 2。结果表明,模拟值与现场数据吻合良好,苯和甲苯产品的质量分数均达到要求。

表 1 现场数据与模拟值的工艺参数对比

项目	预蒸馏塔		萃取精馏塔	
	现场数据	模拟值	现场数据	模拟值
塔顶温度/℃	99.6	94.56	85	81.95
塔釜温度/℃	164.8	167.46	155	159.74
塔顶压力/kPa	150	150	190	190
塔釜压力/kPa	162	162	213	213

项目	溶剂回收塔		苯甲苯塔	
	现场数据	模拟值	现场数据	模拟值
塔顶温度/℃	55.34	55.47	86	85.72
塔釜温度/℃	207	204.76	118	117.45
塔顶压力/kPa	40	40	120	120
塔釜压力/kPa	42	42	122.4	122.4

表 2 现场数据与模拟值的结果对比

	萃取精馏塔		苯甲苯塔	
	非芳烃中环己烷/ (kg·h ⁻¹)	非芳烃中 NFM 质量 分数/10 ⁻⁶	苯产品 质量分数	甲苯产品 质量分数
现场数据	32.93	≤3	≥0.9995	≥0.995
模拟值	32.92	≈0	0.99997	0.9989

2 控制方案

从工程的观点出发,模型在满足控制精度的前提下,应尽可能简化,便于在线实时控制的应用。因此,在将稳态流程导入 Aspen Dynamic 动态模拟软件之前需进行一些流程简化的工作。

计算发现,各工艺参数在现场数据附近小范围变化时,仍能满足苯产品的质量分数在 99.95% 以上。为了满足控制精度要求,需要对整个工艺流程进行优化设计,将苯的质量分数设计值定位在 99.95%,甲苯的质量分数设计值定为 99.5%。鉴于以实际工厂工艺为基础,产品的采出量、溶剂比以及操作压力等参数不做改变,只针对各个塔的理论板、进料位置和回流比进行分析。表 3 给出了优化后的参数结果。

表 3 优化后的工艺参数

	T101		T201	
	优化前	优化后	优化前	优化后
理论板	42	33	46	32
进料板	20	8	30(烃) 26(溶剂)	17(烃) 10(溶剂)
回流比	1.35	1.25	1.65	1.65

	T301		T401	
	优化前	优化后	优化前	优化后
理论板	23	23	46	30
进料板	19	6	22	18
回流比	1.2	0.6	1.6	1.1

2.1 控制结构 CS

本文中设计的控制结构如图 2 所示。在控制结构 CS 中,各塔均设有压力控制器、液位控制器、温度控制器,其温度灵敏板分别为第 9、17、6、23 块塔板。由于溶剂在流程中构成循环回路,因此对溶剂进行流量控制。根据精馏塔的自动控制调节理论,

设置 T101 的回流液与进料的 R/F 定比值控制; T201 有 2 处进料,因此设置回流液与塔顶采出量的 R/D 定值控制器;将 T201 的进料作为 T301 的 R/F 定比值控制器的前馈进料;T401 的 R/F 控制器选择初始进料。对各温度控制器和塔底再沸器热负荷与进料的比值进行串级控制,加强了进料、塔板温度和塔底再沸器之间的联系。通过运行一个中继-反馈测试来寻找最终的增益和频率,然后使用保守的 Tyreus-Luyben 设置来实现温度控制器的调谐。规定温度控制器的滞后时间(dead time)为 1 min。

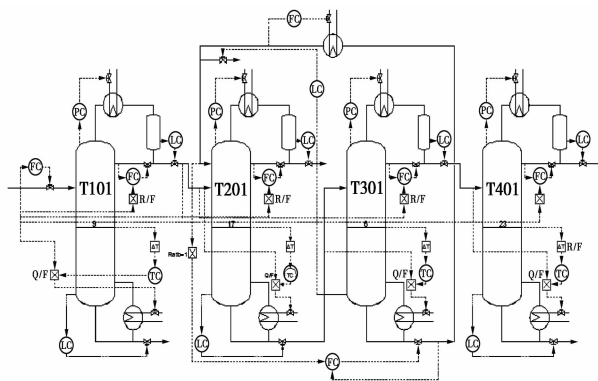
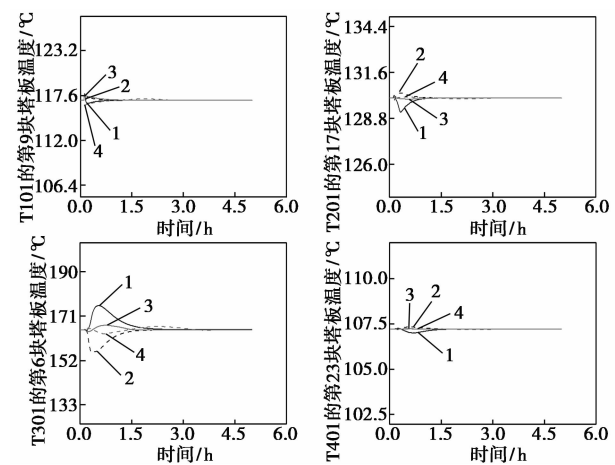
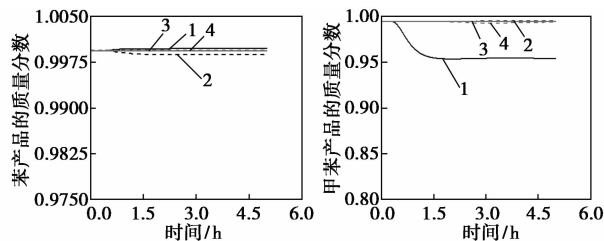


图2 控制结构 CS



(a) 进料扰动对各个塔温度的影响



(b) 进料扰动对产品质量分数的影响

1—进料流量 -20%;2—进料流量 +20%;
3—进料苯 -5%;4—进料苯 +5%

图3 控制结构 CS 的控制特性

CS 的控制结构的动态特性如图 3 所示。从图 3 (a)可以看出,在进料流量变化 20% 以及进料中苯组分变化 5% 时,各塔灵敏板的温度在 2 h 内可以恢复稳定;除 T301 以外,其余 3 塔温度波动范围在 4°C 左右。从图 3(b)可知,在发生进料扰动时,苯产品质量分数几乎维持不变。当进料流量减少 20% 时,甲苯质量分数略有下降,但能维持在 95% 以上;进行其他干扰时,甲苯质量分数维持不变。

3 结论

对某焦化厂的现有工艺进行研究,采用 Aspen Plus 建立了计算机模拟模型,模型计算结果与工厂现场数据吻合良好。

通过对控制方案的分析,可以得知:①加强各操作单元之间的控制是较为有效的控制方案;②控制结构中的前馈补偿信息需要根据实际进行合理选用;③温度控制器同塔底再沸器热负荷与进料的比值(Q_R/F)进行串级控制的控制效果较好。

参考文献

- [1] 霍月洋. 环丁酮芳烃抽提的计算机模拟[D]. 北京:北京化工大学,2012.
- [2] 孔德金,杨为民. 芳烃生产技术进展[J]. 化工进展,2011,30(1):16-25.
- [3] Bouyahiaoui C, Grigoriev L I, Laaouad F, et al. Optimal fuzzy control to reduce energy consumption in distillation columns[J]. Automation and Remote Control, 2005, 6(2): 200-208.
- [4] George C E, Cornell D. A predictive control algorithm for continuous distillation columns[C]. Oxford, UK, 1992. Oxford, UK: Pergamon, 1992. 581-586.
- [5] Batista F R M, Meirelles A J A. Computer simulation applied to studying continuous spirit distillation and product quality control[J]. Food Control, 2011, 22(10): 1592-1603.
- [6] 吴宁. 隔离壁精馏塔的双温差控制[D]. 北京:北京化工大学,2013.
- [7] Luyben W L. Method for evaluating single-end control of distillation columns[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2009, 48(23): 10594-10603.
- [8] Ling H, Luyben W L. Temperature control of the BTX divided-wall column[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2010, 49(1): 189-203.
- [9] Prasertsit K, Tongurai C, Mueanmas C. Comparing usage of temperature control and composition control for reactive distillation column in methyl ester production[Z]. USA:2011. ■