

# OXO 低板间距异构物塔扩能改造

侯鹏成<sup>1\*</sup>, 徐圣君<sup>1</sup>, 马青茂<sup>1</sup>, 张宝国<sup>2</sup>, 何银天<sup>2</sup>

(1. 上海苏尔寿工程机械制造有限公司, 上海 200120;  
2. 中国石化齐鲁分公司第二化肥厂, 山东 淄博 255400)

**摘要:**通过对齐鲁二化丁辛醇异构物塔的成功改造,着重介绍了低板间距的塔盘设计要点,同时也介绍了在壳体设备不动火的改造下该塔改造后的塔盘运行效果。

**关键词:**异构物塔;低板间距;高性能塔盘;扩能改造

中图分类号:TQ41

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2023)02-0223-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2023.02.042

## Retrofit of OXO isomer column with low tray spacing

HOU Peng-cheng<sup>1\*</sup>, XU Sheng-jun<sup>1</sup>, MA Qing-mao<sup>1</sup>, ZHANG Bao-guo<sup>2</sup>, HE Yin-tian<sup>2</sup>

(1. Sulzer Shanghai Engineering & Machinery Works Ltd., Shanghai 200120, China;  
2. No.2 Fertilizer Plant, Sinopec Qilu Petrochemical Company, Zibo 255400, China)

**Abstract:** Based on successfully revamping the OXO isomer column in Sinopec Qilu Petrochemical Company, key design principles for trays with low tray spacing are emphatically introduced. Meanwhile, the operational effect of the trays after the column has been revamped without any hot work to column shell.

**Key words:** isomer column; low tray spacing; high performance tray; capacity expansion revamp

中国石化齐鲁分公司第二化肥厂(以下简称齐鲁二化)丁辛醇装置,建于1980年3月,其中异构物塔1110用于将混合丁醛中的正丁醛和异丁醛进行分离,异丁醛产品从塔顶采出,正丁醛产品从塔底采出。提纯后的正丁醛通过缩合、加氢来生产辛醇产品。

异构物塔1110设计进料为14 t/h,塔顶产品设计杂质正丁醛质量分数<1%,塔釜产品设计杂质异丁醛质量分数<0.1%,设计进料中的正异比为10:1。目前,实际操作中该塔进料的正异比为12:1左右,进料量维持在14~15 t/h,塔顶控制正丁醛质量分数<1%,塔釜异丁醛质量分数<0.15%。但是当进料负荷超出15 t/h时,塔釜异丁醛质量分数超标(>0.15%),无法满足后续生产要求,现场试图通过调节回流比、采出量等方式降低塔釜产品中的异丁醛质量分数,但是效果并不明显,并且会导致该塔压降大幅增加。为了满足工厂上下游需求,齐鲁二化提出在更换再沸器和冷凝器的基础上,通过改造该塔内件,使该塔能够满足22 t/h的进料处理能力,同时要求进一步降低塔釜异丁醛质量分数<0.1%。

## 1 瓶颈分析

为了更好地了解目前该塔的运行状态和分析产品质量下降的原因,上海苏尔寿工程机械制造有限公司采集现场数据,并根据DDBST的实测数据对关键组分进行了热力学方法修正(见图1),利用Pro II

软件对该塔进行了模拟回归。

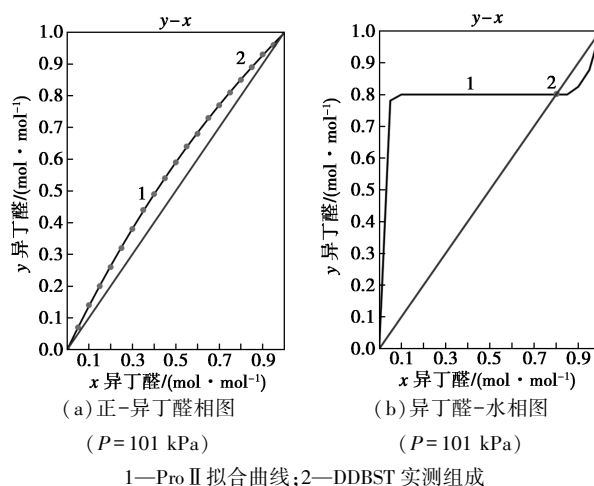


图1 关键组分热力学平衡相图

模拟结果和现场实际运行数据非常吻合,数据对比见表1。

表1 现场运行数据和模拟结果对比

工艺量	现场数据	模拟数据
进料量/(t·h <sup>-1</sup> )	15	15
进料正异比	12:1	12:1
塔顶压力/MPa	0.06	0.06
回流量/(t·h <sup>-1</sup> )	39	39
塔顶温度/℃	80	78.98
塔釜温度/℃	104	103.4
塔顶正丁醛质量分数/%	≤1	0.99
塔釜异丁醛质量分数/%	0.10~0.15	0.139

收稿日期:2022-10-19;修回日期:2022-12-05

作者简介:侯鹏成(1983-),男,学士,工程师,研究方向为化工分离工艺和设备的研发,通讯联系人,Peng-Cheng.Hou@sulzer.com。

根据模拟结果回归,发现原塔效率只有不到 50%,远低于苏尔寿在其他同类项目中的塔盘设计效率,因此苏尔寿结合该塔的机械结构,进一步对该塔进行了水力学分析,见表 2。

表 2 原塔机械结构及水力学核算结果

水力学分析项	塔盘数	
	1~45#	46~110#
原塔机械结构		
塔径/mm	2800	2800
溢流数	单溢流	单溢流
降液管宽度/mm	365	365
流程长度/mm	2070	2070
阀型	圆形浮阀	圆形浮阀
开孔率/%	13	13
水力学核算结果		
液泛值/%	71	72
溢流强度/( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	40.78	55.97
干板压降/mPa	507.64	492.06
单板压降/Pa	770	794
降液管泡沫层高度/%	68	79
底隙出口压头损失/Pa	199	400
降液管液泛率/%	41	40

通过对以上水力学计算结果进行分析,发现该塔在进料 15 t/h 情况下,存在如下水力学瓶颈<sup>[1-4]</sup>。

(1)单溢流设置,流程长度过长,流程长度/板间距的比值过大(5.67)。

(2)溢流强度为  $55.97 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ ,在 305 mm 板间距及过大的流程长度/板间距比值的情况下,容易出现气液相偏流(vapor cross-flow channeling, VCFC)。

(3)实际干板压降为 490 Pa 左右,在 305 mm 板间距情况下干板压降过高。

(4)底隙出口压头损失过高,底隙出口流速过大。

以上分析发现的水力学瓶颈容易造成下列情况。

(1)由于干板压降过高而引起的液相夹带。

(2)由于溢流强度过大、板间距过低、流程长度/板间距比值过大而造成的 VCFC 现象。

(3)由于底隙流速过大而造成的鼓泡区面积损失。

这些现象都容易导致塔盘效率的下降,从而在增加进料负荷及回流的情况下,造成了塔釜产品指标的下降。

## 2 改造方案

在分析清楚现有装置在增加负荷后导致塔釜产品质量下降的原因后,苏尔寿基于客户的改造要求,即在产品指标合格的情况下(塔顶正丁醛 < 1%,塔

釜异丁醛 < 0.1%),至少满足 19 t/h 的进料处理量,最好能达到 22 t/h 的进料处理能力,进行了工艺模拟、水力学核算和改造可行性等分析,从而确保达到以下改造目标和改造要求。

(1)满足 35%(19 t/h)~57%(22 t/h)的进料负荷提升。

(2)提升塔盘效率。

(3)壳体不允许动火并且要求改造周期小于 15 d(客户考虑到该壳体运行时间已超过 30 a,且为了保证改造的安全性)。

根据原有机械结构以及扩能后的设计负荷校核的水力学情况如表 3。

表 3 原塔结构及 22 t/h 进料水力学匹配情况

分析项	塔盘数	
	1~45#	46~110#
液泛值/%	93	95
溢流强度/( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	52.97	72.69
干板压降/Pa	856	830
单板压降/Pa	1112	1126
降液管泡沫层高度/%	93	108
底隙出口压头损失/Pa	336.24	662.68
降液管液泛率/%	53	52

通过以上分析发现,除了前面提及的水力学瓶颈以外,该塔处理 22 t/h 进料负荷时,还存在液泛值过高,可能发生夹带的问题。

针对以上的问题,苏尔寿提出的解决方案如下。

(1)使用苏尔寿高性能塔盘 VGPlus™ 技术增加塔盘的处理能力,提升塔盘效率。

(2)单溢流改为双溢流,增加塔盘的入口堰长度,减少塔盘的流程长度,从而减少溢流强度,避免 VCFC 现象的发生,从而提高塔盘效率。

(3)调整合适的开孔率和底隙出口流速,避免降液管内液体高度过高。

## 3 改造设计难点与分析

针对该塔中存在的问题以及设计难点,苏尔寿在改造过程中的设计考量分析如下。

### 3.1 避免 VCFC (Vapor Cross-Flow Channeling) 现象的发生

当以下现象同时发生时,容易发生 VCFC<sup>[1-3]</sup> 现象,引起气相和液相偏流。

(1)溢流强度超过  $50 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ 。

(2)开孔率过大,超过 12%(基于鼓泡区面积)。

(3)流程长度/板间距比值大于 2。

如果塔盘在运行过程中发生 VCFC 现象,通过塔盘的气相和塔盘板上的液相容易出现偏流(图 2),从而导致塔盘效率下降<sup>[5-6]</sup>。

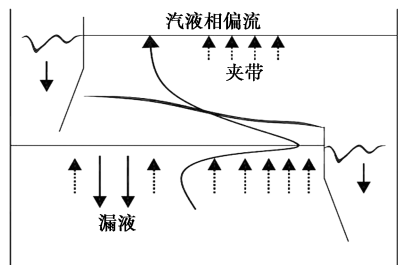


图 2 VCFC 现象

为了能够避免 VCFC 现象的发生,设计上做了以下考量。

(1) 单溢流增加为双溢流,增加堰长,减少溢流强度,减少溢流长度/板间距的比值。

(2) 使用苏尔寿高性能塔盘,减少液面梯度<sup>[3-4]</sup>,减少液体滞留区域。

### 3.2 如何降低降液管内液体的高度,避免因为降液管内液体过高而造成塔盘液泛

降液管内液体的高度关联于塔盘压降,降液管底隙压头损失和塔盘板上液位高度,如图 3<sup>[7-9]</sup>所示。

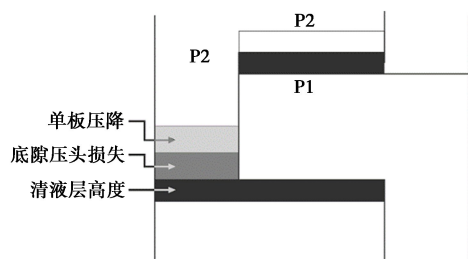


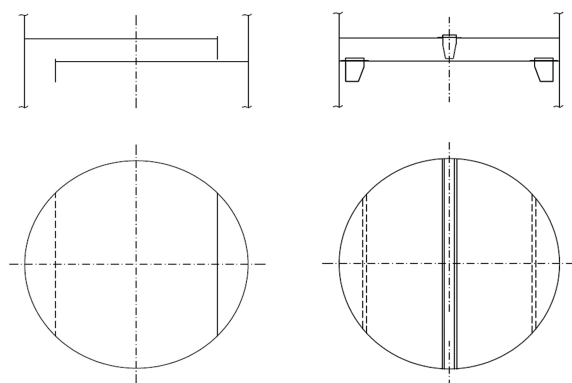
图 3 降液管内液体高度

低板间距的塔设计情况下,由于降液管高度比较低,降液管内液体/降液管高度比值比较大,很容易造成降液管内液体返至塔盘板上,从而造成液泛。

为了有效地降低降液管内液体的高度<sup>[10-13]</sup>,调整如下:①设计合适的开孔率;②减少底隙出口速度;③减少塔盘上清液层高度。

### 3.3 如何在壳体不动火的前提下,实现单溢流改为双溢流

正常情况从单溢流(如图 4)改为双溢流需要在壳体上动火,用于焊接降液板连接板,连接新的双溢流塔盘的降液板。为了避免在壳体上焊接新的降液板连接板,此次改造设计为苏尔寿封套式降液管,可以利用 360°支撑圈进行支撑(如图 4),从而避免直接在壳体动火的要求,并且可以大幅降低安装时间。



(a) 单溢流设计

(b) 双溢流设计

图 4 塔盘设计

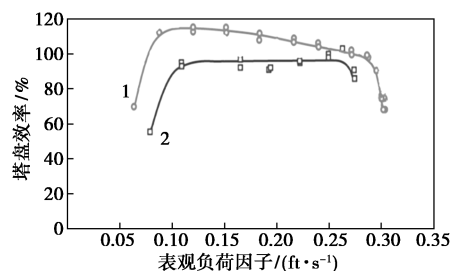
该项目单溢流改至双溢流的好处:①增加堰长,减少溢流强度;②增加降液管入口面积,增加底隙出口面积,减少液相进/出降液管速度;③设计合理的流程长度,保证合理的流程长度/板间距比值。

### 3.4 提高塔盘处理能力以及塔盘效率

为了能够更好地增加塔盘的处理能力,进一步降低出口堰的溢流强度,减少液相流动死区和液面流动梯度,提高塔盘的处理能力和综合效率,决定采用苏尔寿高性能塔盘 VGPLUS™(如图 5)。



(a) 苏尔寿高性能塔盘



1—VGPLUS™塔盘;2—其他高性能塔盘

(b) 苏尔寿高性能塔盘性能曲线

图 5 苏尔寿高性能塔盘技术

苏尔寿 VGPLUS™高性能塔盘技术是增强型塔盘板与高性能降液管设计的有机结合,具有以下优点<sup>[11-14]</sup>(如图 5):①增加约 30%的处理能力;②降低约 20%的操作压降;③传质分离效率等同或更高;④液面梯度更低<sup>[15-17]</sup>;⑤液相和气相分布更均匀<sup>[18-19]</sup>。

通过对以上设计难点的分析、解决,在 22 t/h 进料工况下,该塔改造后的水力学结果设计如表 4

所示。

表 4 22 t/h 进料情况下,改造后的水力学结果

分析项	塔盘数	
	1~45 <sup>#</sup>	46~110 <sup>#</sup>
液泛值/%	76	77
溢流强度/	27.25	37.6
干板压降/Pa	235.89	229.32
单板压降/Pa	402	422
降液管泡沫层高度/%	50	56
底隙出口压头损失/Pa	88.00	164.74
降液管液泛率/%	36	45
流程长度/mm	958	958

#### 4 现场安装

得益于苏尔寿封套式降液管的设计应用,避免了现场改造过程中对壳体进行动火,并且大大减少了塔内的切割焊接工作量。在现场业主系统性的组织管理下,该塔(内径 2 800 mm, 110 层塔盘)的改造工作,包括原塔盘的拆除和新塔盘的安装,仅花费 12 d,大大缩短了客户的停车检修时间,为客户尽早开车创造了有利条件。

#### 5 改造后的运行情况

2021 年,该塔改造完成开车后,业主对该装置进行了标定,主要工艺参数对比(改造前后)见表 5。该异构物塔在采用了苏尔寿高性能塔盘进行改造后,不仅成功消除了原有产能上的瓶颈,而且塔盘效率相对改造前得到了明显的提升,从而达到了该塔的分选指标并优化了该塔的蒸汽能耗,成功达到了客户提出的扩产增效的改造目标,很好地完成了此次改造任务。但由于该塔再沸器的负荷限制,目前该塔进料维持在 19 t/h,无法进一步提高产能,但从实际运行的数据来看,该塔的各项运行指标与设计均吻合,塔盘的设计完全能满足 22 t/h 的进料处理能力。

表 5 改造前后工艺指标对比

	改造前	改造后
进料量/(kg·h <sup>-1</sup> )	14000~15000	~19000
蒸汽能耗/(kg·kg <sup>-1</sup> )	0.71	0.60
塔顶正丁醛质量分数/%	≤1	0.14~0.72
塔釜异丁醛质量分数/%	0.1~0.15	0.03~0.08

系统扩能后,每年增产正丁醛产品 32 000 t(以 8 000 h/a 计),每吨正丁醛价格以 6 500 元计算,每

年增加产值约 2.08 亿元。

#### 6 结语

丁辛醇应用中的异构物塔一般设计采用低板间距的塔盘塔设计。在设计过程中,需要特别注意低板间距塔盘设计过程中的设计难点,比如降液管内液相高度的控制、VCFC 现象、塔盘支撑梁的设计、溢流数的选择、出口堰和底隙的设计等,来保证该异构物塔能够保持良好的处理能力和塔盘效率,从而达到设计要求的处理能力和产品指标。

#### 参考文献

- [1] Yang Q, Christian B, Hou P C, et al. Troubleshooting liquid side draw-off trays[C]. The 12th international conference Distillation & Absorption, 2022.
- [2] 塔器设计手册[M]. 中国石化集团公司 F.R.I. 精馏协作组, 译. 北京: 中国石化出版社, 2005: 123-160.
- [3] Summers D R. Push valve experience on distillation trays [C]. AIChE Spring Meeting, 2005.
- [4] Ang C P. High-capacity valves for distillation towers [J]. Petroleum Technology Quarterly, 2021, 26(5): 25-27.
- [5] Kister H Z, Summers D R. Troubleshooting and rectification of a giant C3 splitter tower problem [C]. Distillation Topical Conference, AIChE Spring Meeting, 2014.
- [6] 姚克俭. 大通量高效 DJ 系列塔盘的开发及其工业应用 [C]. 全国精馏技术交流与展示大会, 2008.
- [7] Kister H Z. Distillation Operation [M]. McGraw-Hill, 1990.
- [8] Kister H Z, Larson K F, Madsen P E. Vapor cross flow channeling on sieve trays fact or myth? [J]. Chemical Engineering Progress, 1992, 88(11): 86-93.
- [9] Kister H Z, Dionne R W, Stupin W J, et al. Preventing maldistribution in four-pass trays [J]. Chemical Engineering Progress, 2010, 104(4): 32-41.
- [10] Kister H Z. Distillation troubleshooting [M]. John Wiley & Sons, 2006.
- [11] Summers D R. Harmonic vibrations cause tray damage [C]. AIChE Annual Meeting, 2003.
- [12] Ang C P, Lee S H. Advanced column internals for fouling towers [J]. Hydrocarbon Engineering, 2021, 26(7): 29-32.
- [13] Pilling M. Dealing with column fouling [J]. Petroleum Technology Quarterly, 2016, 21(1): 85-87.
- [14] Lieberman N, Lieberman E. Working guide to process equipment [M]. McGraw-Hill Education, 2014: 182-195.
- [15] Hills P D. Designing piping for gravity flow [J]. Chemical Engineering, 1983, 90(18): 111-114.
- [16] Summers D R. A novel approach to quick sizing trayed towers [C]. AIChE Spring Topical Conference, 2011.
- [17] Lockett M J. Distillation tray fundamentals [M]. Cambridge University Press, 1986.
- [18] Harrison M E. Gamma scan evaluation for distillation column debottlenecking [J]. Chemical Engineering Progress, 1990, 86(3): 37-44.
- [19] Kister H Z. Use quantitative gamma scan to troubleshoot maldistribution on trays [J]. Chemical Engineering Progress, 2013, 109(2): 33-42. ■