

# 一种具有机械消泡功能的新型塔板

李育敏, 俞晓梅, 姚克俭

(浙江工业大学化学工程与材料学院, 浙江 杭州 310032)

**摘要:** 研究开发了一种具有机械消泡功能的新型塔板。该塔板是在普通塔板上放置一种特制的新型机械消泡构件。该构件由相互平行的波纹消泡板组成, 构件下半部分沉浸在塔板泡沫层中, 起削弱泡沫层波峰高度和降低泡沫层高度的作用, 上半部分处于泡沫层上部的气相空间, 起惯性除沫的作用。实验结果表明: 对于易起泡物系, 机械消泡构件能降低雾沫夹带量 61% ~ 76%, 并大幅削弱泡沫层表面过高的泡沫波峰; 对不易起泡物系, 机械消泡构件还能降低泡沫层高度 15.2% ~ 17.1%。因此, 该塔板可以起到延缓塔板泡沫层过高液泛和过量雾沫夹带液泛的作用, 具有良好的消泡效果。

**关键词:** 塔板; 机械消泡构件; 易起泡; 雾沫夹带

中图分类号: TQ051.81

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2005)10-0057-03

## A new type of tray for mechanical defoaming

LI Yu-min, YU Xiao-mei, YAO Ke-jian

(College of Chemical Engineering and Material Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

**Abstract:** A new type of tray for mechanical defoaming is developed, which has a new structural component for mechanical defoaming placed over it. That structural component is composed of corrugated sheets parallel each other. And the lower section of the component is immersed in the tray froth for reducing tray froth height and froth peak, with the higher section in the disengagement space above tray froth for diminishing entrainment. The experimental results indicated that the structural component was able to diminish entrainment by 61% ~ 76%, reducing steep froth peak on tray froth surface for the foaming system, and could additionally decrease the tray froth height by 15.2% ~ 17.1% for the nonfoaming system. Therefore, the new tray can defoam effectively, delaying flood of tray froth and of excessive entrainment.

**Key words:** tray; structural component for mechanical defoaming; foaming system; entrainment

在精馏、吸收过程中, 常遇到易起泡物系, 如胺吸收、乙二醇再生、脱甲烷、糠醛精馏、热钾碱脱碳等<sup>[1]</sup>。由于对起泡机理至今尚未完全认识清楚, 且易起泡物系会使塔板泡沫层过高, 雾沫夹带过大, 引发提前液泛。因此, 在设计中往往采用折扣系数<sup>[2]</sup>。

对于易起泡物系, 一般选用填料塔<sup>[3]</sup>。在填料塔中, 气相湍动, 液相为液膜, 液相受到的扰动小, 因而填料对泡沫有限制和破碎作用, 对处理易起泡物系有利。梯形立体传质塔板(CTST)<sup>[4]</sup>, 液体自喷射罩底部进入喷射罩内, 呈特殊的气液并流喷射型工况。塔板上液体为清液, 因此无发泡机制, 高速喷射的液滴又具有破沫作用, 所以能处理常规塔板难以处理的易起泡物系。

但对于高液气比操作的塔, 如脱甲烷塔、热钾碱脱碳塔等, 气液流动参数(FP)都超过 0.2, 即都处于乳化态工况, 采用填料塔或喷射型塔板也无法满足

要求, 一般只能采用添加消泡剂的方法进行消泡。周滢等<sup>[5]</sup>曾在普通筛板泡沫层顶部放置 250Y 规整板波纹填料, 达到了一定的机械消泡的效果, 但对板上的液流阻力和泡沫运动有一定的负面影响。笔者设计了一种具有机械消泡功能的新型塔板, 该塔板带特制的新型消泡构件, 这种构件既考虑到泡沫运动的特点, 有利于消泡; 又优化了板上气液的流动, 使其处于最佳的流体力学状态。

## 1 塔板结构和工作原理

### 1.1 塔板结构

普通的塔板由塔板和降液管组成。液体从降液管流入塔板, 在塔板的鼓泡区, 气液两相充分接触, 发生传质传热, 同时在塔板上形成一定高度的泡沫层, 泡沫层表面发生大大小小的波动, 并产生雾沫夹带。笔者设计的新型塔板是在普通塔板上设置特

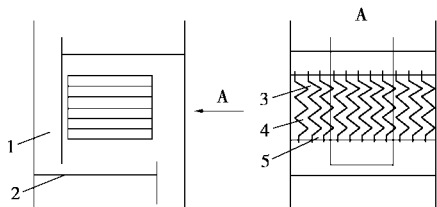
收稿日期: 2005-07-11

基金项目: 中国石化集团科技开发项目(301051)

作者简介: 李育敏(1973-), 男, 硕士, 讲师, 从事传质与分离和塔器设备的研究; 姚克俭(1959-), 男, 大学, 教授, 研究方向为传质与分离, 通讯

联系人, 0571-88320706, yaokj@zjut.edu.cn。

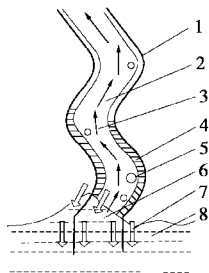
制的新型机械消泡构件,该构件半浸于塔板泡沫层中,用于塔板的机械消泡。构件由多片与塔板垂直的波纹消泡板相互平行摆放组成,相邻的波纹板之间构成气体通道,这些消泡板采用定距杆固定其间距,板结构如图 1 所示。波纹消泡板可以是锯齿型波纹消泡板,也可以是弧线型波纹消泡板。



1—降液管;2—塔板;3—机械消泡构件;4—波纹消泡板;  
5—定距杆

图 1 具有机械消泡功能的塔板示意图

### 1.2 工作原理



1—波纹消泡板壁;2—消泡板壁间的气体通道;3—气体;  
4—沿消泡板壁往下流的液膜;5—气体夹带的液滴;  
6—被消泡板壁削弱的波峰;7—消泡板壁对泡沫层产生  
向下的作用力;8—塔板上的泡沫层

图 2 机械消泡构件的消泡机理示意图

机械消泡构件下半部分沉浸在塔板泡沫层中,上半部分处于泡沫层上部的气相空间(如图 2 所示)。它对泡沫层和雾沫夹带有如下作用:

(1)减小泡沫层波峰高度。塔板泡沫层表面有波动,产生大大小小的波峰,过高的波峰是产生泡沫层过高液泛的主要原因。波峰与消泡构件的板壁发生摩擦,板壁对波峰产生向下的作用力,从而降低波峰的高度;同时泡沫层表面翻动产生大大小小的气泡,这些气泡与消泡构件下半部分碰撞,加速气泡破裂,释放出气体,从而降低泡沫层高度。

(2)泡沫层上方飞溅产生大大小小的液滴,消泡构件上半部分则起惯性除沫作用。被气体夹带的液滴随气体在消泡板壁间的弯曲通道中运动,大部分被板壁拦截下来,形成液膜流回到泡沫层。

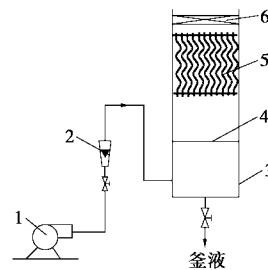
因此,该构件可以起到延缓塔板泡沫层过高液泛和延缓过量雾沫夹带液泛的作用。

## 2 试验方法和结果分析

### 2.1 试验方法

试验使用的波纹构件的消泡板厚 0.2 mm,采用不锈钢制成。波纹构件有 2 种形状:1# 消泡构件由 11 片锯齿型波纹消泡板组成,波纹顶角 90°,波纹片峰高 11 mm,消泡板间距为 12 mm,构件总高为 70 mm;2# 消泡构件由 11 片弧线型消泡板组成,波纹片峰高 6 mm,消泡板间距为 12 mm,构件总高为 100 mm。

试验在 140 mm × 70 mm 的矩形有机玻璃塔中进行,装置如图 3 所示。



1—风机;2—转子流量计;3—塔体;4—筛板;  
5—机械消泡构件;6—除沫网

图 3 消泡构件试验装置图

本试验采用 37% (质量分数) 甘油水溶液,再加入 0.0674 g/L 月桂基硫酸钠作为易起泡物系。空气-水作为不易起泡物系。塔内放置一块无降液管的筛板,孔径为 6 mm,孔间距为 18 mm,开孔率为 6.9%。空气经转子流量计从塔底进入,空塔动能因子为  $0.779 \sim 1.091 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})^{1/2}$ 。液体从塔顶注入,静止清液层高度为 50 mm 和 80 mm。泡沫层高度采用目测。试验采用除沫网收集雾沫夹带,用称重法测定收集的液体质量,除沫网与筛板的间距为 400 mm。试验测量了机械消泡构件在不同高度时的雾沫夹带量和塔板泡沫层高度。

### 2.2 结果分析

#### 2.2.1 消泡构件对易起泡物系的消泡作用

易起泡物系在相同的工况下,其泡沫层高度是不易起泡物系(水)的 2 倍左右,而且它波动剧烈,波峰最高可达到 350 ~ 380 mm。

对于空气-易起泡物系,静止清液层高度保持在 50 mm,当空塔动能因子为  $0.779 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})^{1/2}$  时,泡沫层高度为 200 mm,因此在距筛板 200 mm 和 160 mm 高度处放置 1# 和 2# 消泡构件。消泡构件对塔板泡沫层和雾沫夹带的影响,如表 1 和图 4 所示。添加消泡构件后,塔板泡沫层高

度没有下降,这是由于所选用的易起泡物系含有表面活性剂,液体的表面张力非常小,故在塔板泡沫层中形成直径很小但非常稳定、不易破裂的气泡群,消泡构件对这些气泡破除作用不大,因此泡沫层高度没有降低。但是,通过目测,发现泡沫层的波动变得非常平缓,波峰高度从最高的 350 ~ 380 mm 变成 40 ~ 50 mm。

表 1 静止清液层高度 50 mm 时空气-易起泡物系的泡沫层高度

空塔动能因子/ $m \cdot s^{-1} \cdot (kg \cdot m^{-3})^{1/2}$	消泡构件放置高度 为 200 mm		消泡构件放置高度 为 160 mm	
	泡沫层高度/ mm		泡沫层高度/ mm	
	1# 消泡构件 件泡沫层 高度/mm	2# 消泡构件 件泡沫层 高度/mm	1# 消泡构件 件泡沫层 高度/mm	2# 消泡构件 件泡沫层 高度/mm
0.779	200	200	200	202
0.857	205	205	205	207
0.935	210	210	210	212
1.013	215	215	215	217
1.091	220	220	220	222

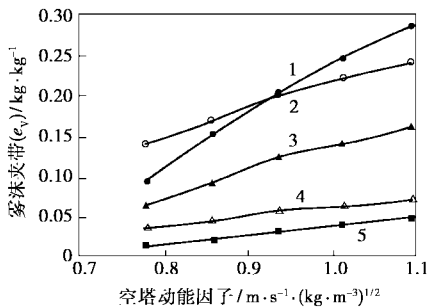


图 4 消泡构件对空气-易起泡物系的消泡作用(静止清液层高度 50 mm)

添加消泡构件后,雾沫夹带量大幅度下降。尤其 2# 消泡板,雾沫夹带量下降了 61% ~ 76%。另外,消泡构件位置对雾沫夹带量也有影响。消泡构件位置越高,处于泡沫层表面上部的构件空间越大,即构件起惯性除沫作用的空间越大,雾沫夹带量下降越多。

### 2.2.2 消泡构件对不易起泡物系的消泡作用

对于空气-水物系,静止清液层高度保持在 80 mm,当空塔动能因子为  $0.779 m \cdot s^{-1} \cdot (kg \cdot m^{-3})^{1/2}$ ,泡沫层高度为 165 mm,因此在距筛板 160 mm 和 120 mm 高度处放置 1# 和 2# 消泡构件。试验结果见表 2 和图 5,添加消泡构件后,塔板泡沫层高度下降。使

用 2# 消泡板时,泡沫层高度下降了 15.2% ~ 17.1%,消泡构件对气泡起了破除作用,而且泡沫层的波动变得更平缓,波峰高度从最高的 30 mm 变成 10 mm 左右;同时,由于消泡构件上半部分惯性除沫,雾沫夹带量减少。

表 2 静止清液层高度 80 mm 时空气-水物系的泡沫层高度

空塔动能因子/ $m \cdot s^{-1} \cdot (kg \cdot m^{-3})^{1/2}$	泡沫层 高度/ mm	消泡构件放置高度 为 200 mm		消泡构件放置高度 为 160 mm	
		泡沫层 高度/mm		泡沫层 高度/mm	
		1# 消泡构件 件泡沫层 高度/mm	2# 消泡构件 件泡沫层 高度/mm	1# 消泡构件 件泡沫层 高度/mm	2# 消泡构件 件泡沫层 高度/mm
0.779	165	158	155	145	140
0.857	175	165	162	152	147
0.935	185	173	170	160	155
1.013	195	180	178	167	162
1.091	205	188	185	175	170

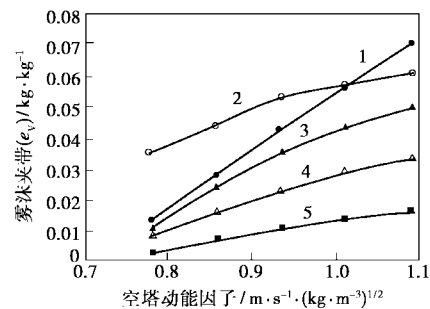


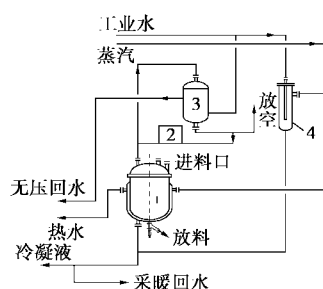
图 5 消泡构件对空气-水物系的消泡作用(静止清液层高度 80 mm)

比较 1# 和 2# 消泡构件,发现 2# 消泡构件的消泡效果明显优于 1# 构件。这是由于 2# 消泡构件采用光滑的弧线形弯曲,被消泡构件拦截下来的液体更容易流下来;并且它的高度(100 mm)比 1# 构件的高度(70 mm)大,因而当构件在相同的位置高度时,2# 消泡构件比 1# 构件有更大的惯性除沫空间。

### 3 结语

用于塔板机械消泡的新型塔板是在普通塔板上设置特制的新型构件。该消泡构件由相互平行的波纹板组成,构件下半部分沉浸在塔板泡沫层中,起降低泡沫层波峰高度和泡沫层高度的作用,上半部分处于泡沫层上部的气相空间,起惯性除沫作用,从

(下转第 61 页)



1—反应釜;2—汽-水混合物器;3—冷凝器;4—混合器

图2 聚环氧琥珀酸的中试生产装置

### 1.3 中试生产过程

称取一定量马来酸酐至图2所示的反应釜中,加水、搅拌使其完全溶解。向反应釜中分两批加入质量分数为50%的NaOH溶液。此时反应强烈放热,温度上升较快,控制NaOH溶液的加入速度,保证溶液温度不超过55℃,20~30 min内滴加完NaOH溶液。然后,控制加热器保持溶液温度在55℃,调节pH值在5~6,向反应釜中加入适量的复合催化剂(质量比 $\text{Na}_2\text{WO}_4$ :Cat A:Cat B=3:1:1);同时,向反应釜溶液中缓慢滴加 $\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液,注意控制滴加速度,防止溶液沸腾;在滴加 $\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液的同时,滴加NaOH溶液,调节pH值维持在7左右。加热溶液升温至70℃,在此温度下恒速搅拌1.5~2.0 h。再升温至100℃,分批加入固体 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,反应一定时间,直至溶液黏度变大,颜色变为淡黄色为止。停止反应,得淡黄色聚环氧琥珀酸液体。

## 2 产品结构表征及其质量指标

合成产物中经提纯、真空干燥后采用KBr压片法进行红外光谱分析。红外光谱图证明实验室内合成的环氧琥珀酸单体(ESA)中有三元环的 $3\ 235\ \text{cm}^{-1}$  C—H键伸缩振动峰和C—O—C(闭环)振动的特征峰 $1\ 271\ \text{cm}^{-1}$ ,而合成产物的红外光谱图 $1\ 214\ \text{cm}^{-1}$ 出现开环后醚键的C—O—C特征吸收峰,由此判断产物为聚环氧琥珀酸。

(上接第59页)

而达到机械消泡的效果。

由于2#消泡构件采用光滑的弧线形弯曲,并且它的高度(100 mm)比1#消泡构件的高度(70 mm)高,因而2#消泡构件的消泡效果明显优于1#消泡构件。

特制的新型机械消泡构件适应性强,能用于普通常规塔板,并达到很好的消泡效果。

选其3次中试生产的产品测定其质量指标,具体数据见表1。

表1 产品的质量指标

颜色	聚合物溶液 pH值	固含量/%	产品的相对 分子质量	相对密度
淡黄	6.5	25.1	521	1.28
淡黄	6.6	23.5	450	1.28
淡黄	6.1	20.0	460	1.28

## 3 经济效益分析

### 3.1 产率

采用氯化氢加成法测定游离环氧琥珀酸的含量,测得聚环氧琥珀酸3次中试生产的平均收率为95%、聚环氧琥珀酸质量分数为30%。

### 3.2 经济效益分析

表2列出了聚环氧琥珀酸的中试生产的原料成本和生产成本(不包括水电费)。

表2 中试生产的原料成本和生产成本

项目名称	单价/元·kg <sup>-1</sup>	吨产品耗量/kg	单耗成本/元·t <sup>-1</sup>
工业马来酸酐	13.7	147	2013.9
氢氧化钠	2.3	240	552
30%双氧水	1.3	198	257.4
氢氧化钙	1.2	11	13.2
钨酸钠	120	3.1	372
Cat A	280	1.0	280
Cat B	100	1.0	100
合计			3588.5

表2所列原料及其吨产品耗量是指生产1 t成品所需的原料及其用量,其中助剂Cat A、Cat B是本课题组复配的催化剂。从表2可以看出采用本研究的工艺条件生产1 t聚环氧琥珀酸的原辅料成本价大约为3 588.5元(不包括水、电费等),而目前,市场上出售的一般复配型缓蚀阻垢水处理剂的价格约为9 000~18 000元/t,其营利空间可观。(下转第63页)

## 参考文献

- [1] Resetarits M R, Navarre J L, Monkelbaan D R. [J]. Hydrocarbon Processing, 1992, 53(3): 61-64.
- [2] 吴俊生, 邵惠鹤. 精馏设计、操作和控制[M]. 北京: 中国石化出版社, 1997. 120-121.
- [3] 兰州石油机械研究所. 现代塔器技术[M]. 北京: 烃加工出版社, 1990. 12-13.
- [4] 张剑波. [J]. 现代化工, 1998, 18(4): 18-20.
- [5] 周焱, 朱菊香, 俞晓梅. [J]. 化肥工业, 2002, 29(2): 18-21. ■