

# 波纹导向浮阀塔板的雾沫夹带研究

张秋香\*, 张婧, 赵培

(华东理工大学化工学院, 上海 200237)

**摘要:**在直径 1 000 mm、高 6 m 中试规模的不锈钢圆形塔内,采用空气-水物系进行冷模实验,对波纹导向浮阀塔板的雾沫夹带性能进行了研究,考察了液流强度、出口堰高等因素对其雾沫夹带的影响,并比较了带孔、不带孔波纹导向浮阀和 F1 型浮阀的雾沫夹带分率。结果表明,波纹导向浮阀塔板在不同的液流强度下都具备较好的操作弹性;带导向孔的波纹浮阀塔板的雾沫夹带率较无导向孔低,证明了浮阀上方开导向孔的优越性;在较大的空塔动能因子下,带导向孔波纹浮阀塔板的抗雾沫夹带性能明显优于 F1 型浮阀。

**关键词:**波纹导向浮阀;雾沫夹带;液流强度;出口堰高

**中图分类号:**TQ053.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2016)09-0146-04

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2016.09.035

## Entrainment of wave directed float valve tray

ZHANG Qiu-xiang\*, ZHANG Jing, ZHAO Pei

(College of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** Entrainment rate of wave directed float valve trays is studied by using air-water system in a column with a diameter of 1 000 mm and height of 6 m. The influence of the liquid weir load and outlet weir height on entrainment are studied. The comparison of the performance of F1 valve and wave float valve with or without directed holes is performed. The results show that wave directed float valve has a wide operation range. Wave float valves with directed holes present lower entrainment rate than those without directed holes under the same operating conditions, which proves the necessity of directed holes. At larger empty tower F factor, entrainment rate of wave directed float valve trays is 10% - 20% lower than F1 valve trays. Obviously, wave directed float valve has better anti-entrainment characteristics.

**Key words:** wave directed valve trays; entrainment; liquid weir load; outlet weir height

板式塔直到现在仍是化学工业的分离设备中广泛应用的一种。浮阀塔板自从 20 世纪中叶开发以来,以其能够自动调节气液流通面积、优秀的操作弹性、造价低、传质效率高等优点,得到了迅猛发展。其中,1953 年美国格利奇公司推出的 F1 型浮阀特别具有代表性,成为后续浮阀设计的蓝本。随着进一步开发,陆续出现了多种更高性能的新型浮阀塔板,弥补了既有浮阀塔板的不足,为提高分离效率、节约能耗做出了很大的贡献。

精馏操作时的返混,不仅会对塔板上传质推动力产生影响,从而影响分离效率,而且还关系到塔设备内的正常操作条件。雾沫夹带是液体雾滴与液体主流方向相反的一种返混,在自下往上的气体带动下,一部分液滴进入上层塔板,减少了高处塔板易挥发组分浓度梯度,使本应有的传质推动力减少;过量的雾沫夹带还会将重组分的杂质参杂到塔顶产品中去,影响其纯度<sup>[1]</sup>。一般认为,雾沫夹带量在阀孔临界气速之前很小,超过临界阀孔气速后,夹带量迅速增加。当夹带量超过 10% 后,雾沫夹带现象严

重,可能产生夹带液泛或者降液管液泛,破坏塔的正常操作。雾沫夹带率限定了气体负荷的上限,决定了实际操作中的处理通量,是直接决定塔操作上限的因素之一,具有很重要的工业意义。

## 1 波纹浮阀塔板的特点

华东理工大学开发的波纹导向浮阀塔板,板上波纹的“V”型结构夹角为 120°,设计思想是让气流顺着波纹的角度、沿塔板平面吹出,产生推动作用。此时对液体的作用力可分解为 2 个分力:一个分力平行于液体流向,有利于克服液体滞流返混,减小液面梯度,具有导向作用;另一个分力则垂直于液体流向,起到分散均布液体的作用<sup>[2]</sup>。详见图 1。

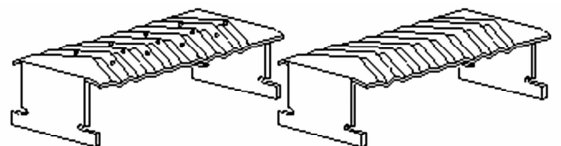


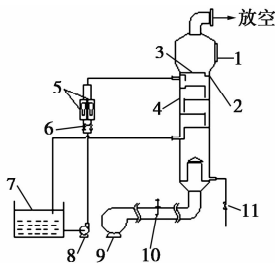
图 1 波纹导向浮阀

波纹导向浮阀有无孔、有空2种,区别是在波纹斜面上有无导向开孔,其他结构参数一致,用来验证导向孔的存在对雾沫夹带量的影响。

## 2 实验装置及方法

该波纹导向浮阀塔板的雾沫夹带等流体力学实验是在直径1 000 mm、高6 m的冷模实验塔上进行的,十分接近工业规模。该塔最上层作为雾沫捕集板,以下4层塔盘装有开孔率均为15.25%、待测的同种类型浮阀塔板,使塔内状态趋于稳定。本次实验的板间距均采用600 mm。

采用空气-水为物系测雾沫夹带率。如图2所示,鼓风机输送空气,转速可通过变频器控制,毕托管连接压差计、压差变送器,测点气速积分成平均值计算气量,变送器信号实时换算成空塔气速显示出来。水由离心泵输送,转子流量计测调水流量,塔内的水从下层塔板流出循环至水槽。液位变送器收集雾沫夹带桶的液位高度信息,传达给计算机处理数据,实时显示雾沫夹带分率。



1—人孔;2—雾沫夹带取样口;3—雾沫捕集板;4—塔体;  
5—转子流量计;6—节流阀;7—水箱;8—水泵;9—鼓风机;  
10—毕托管;11—排水阀

图2 实验装置图

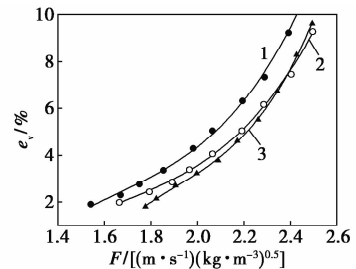
## 3 结果与讨论

被夹带到上一层塔板的液滴大致可概括为2种情况:①小液滴。当液滴的沉降速度小于液层上方空间的上升气速时,液滴一般较小,具有向上的绝对速度。②较大的液滴。尽管大液滴的沉降速度大于上升气速,但由于气流的冲击,它们可以获得一个上升的初速度而被弹溅到上层塔板,由此造成的夹带液量大大超过小液滴被气体向上裹挟的量,进而成为雾沫夹带的主要组成部分。综上,雾沫夹带有2种不同的机理,一是由于气流的裹挟作用,二是液滴形成时受到气泡给予动量的弹溅作用<sup>[3]</sup>。

### 3.1 液流强度对雾沫夹带的影响

图3~图5是带孔波纹浮阀塔板在不同堰高下,液流强度分别为10、25、40 m<sup>3</sup>/(m·h)时的雾沫夹带曲线。

首先,与常规情况相符,相同开孔率的该塔板,不论在何种堰高下,其雾沫夹带率随着气相负荷的增大而增大。



液流强度:1—10 m<sup>3</sup>/(m·h);2—25 m<sup>3</sup>/(m·h);3—40 m<sup>3</sup>/(m·h)

图3 堰高30 mm时不同液流强度下的雾沫夹带率

on the quantitative comparison of reactive distillation and conventional multi-unit systems[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2004, 43: 3151-3162.

- [2] Tung S T, Yu C C. Effects of relative volatility ranking to the design of reactive distillation [J]. AIChE Journal, 2007, 53 (5): 1278-1297.
- [3] Thotla S, Mahajani S. Reactive distillation with side draw [J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2009, 48: 927-937.
- [4] Chen H S, Huang K J, Zhang L, et al. Reactive distillation columns with a top-bottom external recycle [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2012, 51: 14473-14488.
- [5] Chen H S, Huang K J, Liu W, et al. Enhancing mass and energy integration by external recycles in reactive distillation columns [J]. AIChE Journal, 2013, 59 (6): 2015-2032.
- [6] Douglas J M. Conceptual design of chemical processes [M]. New York: McGraw-Hill Education, 1988: 185-198. ■

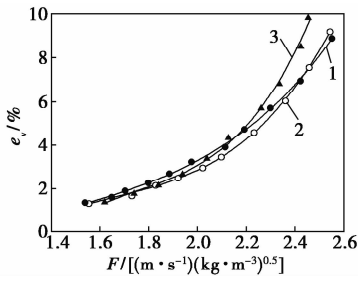
(上接第145页)

## 3 结语

针对具有最不利相对挥发度排序的反应体系,提出了一种外部环流反应隔离壁精馏塔(RDWC-TER),并给出了它的综合与设计方法。以乳酸和甲醇的酯化反应为例,对RDWC-TER的经济性能进行了评估。研究表明,RDWC-TER与RDC-TBER相比具有更低的TAC,因此,在分离具有最不利相对挥发度排序的反应体系时,应该着重考虑RDWC-TER结构。

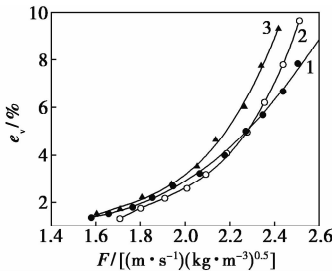
## 参考文献

- [1] Kaymak D B, Luyben W L, Smith O J I V. Effect of reactive volatility



液流强度:1—10 m³/(m·h);2—25 m³/(m·h);3—40 m³/(m·h)

图 4 堰高 50 mm 时不同液流强度下的雾沫夹带率



液流强度:1—10 m³/(m·h);2—25 m³/(m·h);3—40 m³/(m·h)

图 5 堰高 70 mm 时不同液流强度下的雾沫夹带率

其次,观察同种堰高下液流强度的影响。液流强度对雾沫夹带的作用主要表现在直接决定塔板上清液层的高度,而清液层高增大则会造成到板上空间的减小和清液层阻力增大,这 2 方面因素相互制约,共同影响雾沫夹带。

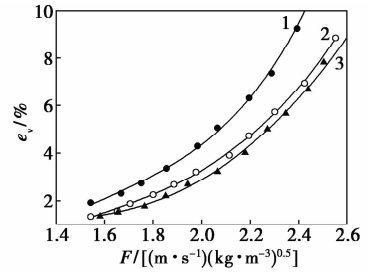
从图 3 中可见,在堰高为 30 mm 时,清液层厚度比较小,液相和气相以及浮阀的撞击并不激烈,清液层阻力对雾沫夹带的抑制作用占据主导地位,所以雾沫夹带随着液流强度的增大也就是清液层厚度增大而减小。在图 5 堰高为 70 mm 时,随着液流强度的增加,清液层高度变厚,相对上层塔板的间距越小,这时板上空间成为了占主导地位的影响因素。狭小的间距使得飞溅的水滴更容易碰壁折返,所以雾沫夹带也就变大。而图 4 堰高 50 mm 时处于上述 2 种状态的过渡<sup>[4]</sup>。

把 3 张图联系起来,可以看作一种渐变的过程。在这个过程中,清液层高度的增加导致清液层阻力增加、板上空间的减小,前者抑制雾沫夹带,后者促进雾沫夹带。而随着堰高的增加,板上空间的变化所造成的雾沫夹带的增加愈发明显。

### 3.2 出口堰高对雾沫夹带的影响

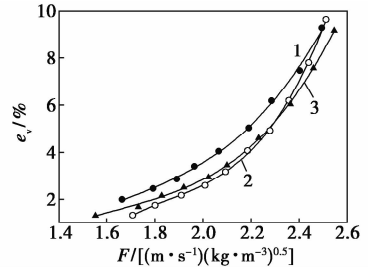
图 6 ~ 图 8 是带孔波纹导向浮阀塔板在不同液流强度下,堰高分别为 30、50、70 mm 时的雾沫

夹带。



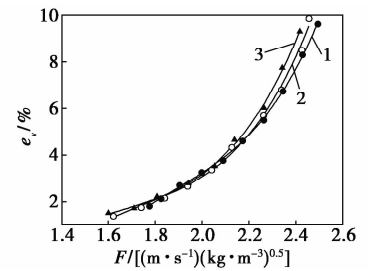
堰高:1—30 mm;2—50 mm;3—70 mm

图 6 液流 10 m³/(m·h) 时不同堰高下的雾沫夹带率



堰高:1—30 mm;2—50 mm;3—70 mm

图 7 液流 25 m³/(m·h) 时不同堰高下的雾沫夹带率



堰高:1—30 mm;2—50 mm;3—70 mm

图 8 液流 40 m³/(m·h) 时不同堰高下的雾沫夹带率

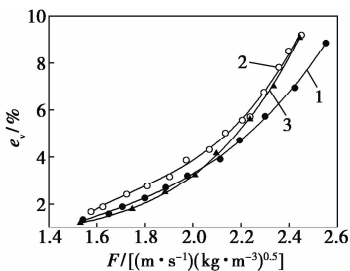
液流强度为 10 m³/(m·h) 时,雾沫夹带均依次随堰高的增加明显下降,几乎没有交错。这是因为增厚的清液层加大了气相穿透的阻力,抑制了飞溅颗粒的产生。而此时液流强度较小,清液层增厚所引起的板上空间减少程度、夹带液滴增加程度还非常有限。

液流强度达到 25 m³/(m·h) 时,随着液流强度的增加,清液层的增厚带来了越来越多的液滴,同时也造成了相邻塔板间空间的减小,堰高对雾沫夹带影响的显著程度开始降低。图 7 显示,不同堰高下的雾沫夹带曲线开始靠近,在较大气速时,堰高 70 mm 的夹带量甚至超过了堰高 50 mm。

液流强度进一步增加到  $40 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$ , 清液层厚度继续增加, 板上空间进一步减小, 其对雾沫夹带的提升作用进一步增强, 已经能基本抵消清液层阻力增加而对雾沫夹带的抑制, 图 8 中的 3 条雾沫夹带曲线已经非常接近, 近似重合。而高流速下, 雾沫夹带与出口堰的高度呈正比, 与图 6 的情况正相反, 表明这时板上空间狭窄带来的液滴增量已经成为雾沫夹带的主要组成部分。

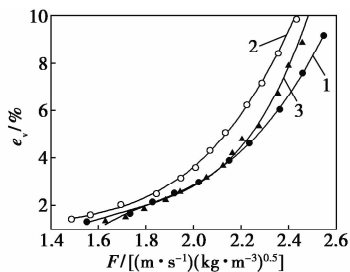
### 3.3 不同种类塔板雾沫夹带的比较

用开孔率均为 15.25% 的无孔波纹浮阀塔板、带孔波纹导向浮阀塔板与 F1 塔板比较。从图 9 ~ 图 11 中均可以看出, 无孔波纹浮阀塔板的雾沫夹带最大。在空塔动能因子较小范围, 带孔波纹导向浮阀和 F1 型浮阀的雾沫夹带率只是略有差异, 并且随着液流强度的增加, 带孔波纹导向浮阀塔板在低流速的区域雾沫夹带率曲线下移, 表现逐渐优于 F1 浮阀塔板。而在空塔动能因子较大的条件下, 无论在何种液流强度下, 带孔波纹浮阀的雾沫夹带性能表现出的优势尤为明显, 比 F1 塔板小 10% ~ 20%。这与其  $120^\circ$  夹角推动力平行于塔板平面、消除垂直向上的气流动量的设计理念是符合的, 可以有效减小雾沫夹带<sup>[5]</sup>。



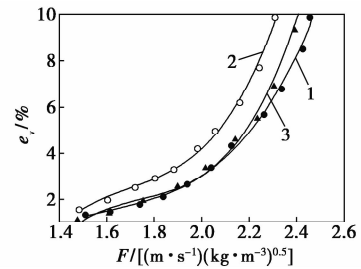
1—带孔波纹浮阀; 2—无孔波纹浮阀; 3—F1 型浮阀

图 9 液流  $10 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$  时不同种类浮阀的雾沫夹带



1—带孔波纹浮阀; 2—无孔波纹浮阀; 3—F1 型浮阀

图 10 液流  $25 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$  时不同种类浮阀的雾沫夹带



1—带孔波纹浮阀; 2—无孔波纹浮阀; 3—F1 型浮阀

图 11 液流  $40 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$  时不同种类浮阀的雾沫夹带

从实验结果来看, 虽然带孔波纹浮阀塔板雾沫夹带性能优秀, 但是无孔波纹浮阀的雾沫夹带率较大, 高出 F1 型浮阀, 在小流速、大液流强度条件下尤为明显。分析原因可能是浮阀表面没有导向开孔, 气流完全从浮阀的四面吹出, 造成相同流速下板面上的导向气流速度过大, 加剧了“对冲”现象, 反而增大了雾沫夹带。

## 4 结论

根据从视镜对塔操作状态的观察和数据结果可以看出, 波纹导向浮阀塔板两相分散细密均匀, 泡沫层高度稳定, 气液接触充分, 在不同流速、不同液流强度下都具有较高的操作弹性。对带孔波纹导向浮阀塔板、无孔波纹导向浮阀塔板、F1 型浮阀塔板的雾沫夹带性能进行对比, 结果表明, 波纹结构的确有利于减小雾沫夹带, 但是完全不开导向孔反而会增大雾沫夹带。带孔波纹导向塔板在不同气液负荷下都有很好的操作弹性, 在不同的液流强度下抗雾沫夹带性能均表现优异, 相比无孔波纹塔板和 F1 型浮阀塔板有显著优势, 具有进一步研究和工业推广的价值。

## 参考文献

- [1] Jaćimović B M. Entrainment effect on tray efficiency [J]. Chemical Engineering Science, 2000, 55 (18): 3941 - 3949.
- [2] 华东理工大学. 波纹导向浮阀塔板: CN, CN2796792 [P]. 2006 - 07 - 19.
- [3] 陈敏恒, 丛德滋, 方图南, 等. 化工原理(下) [M]. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2002, : 108 - 109.
- [4] 崔长春, 张杰旭, 赵培. 新型导向桥阀塔板的雾沫夹带和塔板压降 [J]. 化工进展, 2007, 26 (9): 1288 - 1293.
- [5] 刘丽娜, 熊丹柳, 赵培. 波纹导向浮阀塔板和其他浮阀塔板雾沫夹带的比较 [C]. 上海市化学化工学会 2008 年度学术年会论文集, 2008. ■