

新型导向复合塔板流体力学性能研究

李伟锋 李群生* 杨 明
(北京化工大学 化学工程学院, 北京 100029)

摘 要: 在内径 $\Phi 600$ 的有机玻璃塔内,以空气-水为物系,对开孔率为 26.3%、29.8%、31.6%,内置填料型号为 BH500、BH800、BH1500 的不同导向复合塔板进行了流体力学性能测试,并对其各项性能指标(压降、雾沫夹带、漏液等)进行了对比实验研究。研究了开孔率及不同填料型号对导向复合塔板性能的影响。结果表明:开孔率为 31.6%,内置填料为 BH1500 的导向复合塔板的压降低,漏液少,雾沫夹带少,综合性能最优。
关键词: 复合塔板; 开孔率; 填料; 流体力学
中图分类号: TQ053.5

引 言

复合塔板综合利用了塔板的结构简单、应用范围广及填料压降低、分离效率高的性能,成为目前综合性能最好的传质元件。目前报道的复合塔板有喷射式并流填料塔板^[1],立体连续传质复合塔板^[2],浙大复合塔板^[3]等等。

本课题组利用已有的高效导向筛板^[4]和高效 BH 填料^[5]技术,开发的新型导向复合塔板^[6]具有独特的结构及优点:(1)塔板上的导向孔,据有保证液流稳定向前流动的作用^[4];(2)升气筒有垂直塔板大通量的性能;(3)升气筒内上方安装的 BH 高效填料拥有更高的传质性能^[5]。为了进一步验证导向复合塔板的优良特性,以及得到最优化结构,最终实现大规模工业应用的目的,本文对不同开孔率和不同内置填料的导向复合塔板进行了大量流体力学的实验,并对实验数据进行了总结对比,得出了较为理想的塔板结构。

1 实验部分

1.1 实验装置及方法

导向复合塔板的性能测试实验是在常温常压下

采用空气-水系统在 $\Phi 600$ 的有机玻璃塔内进行的,实验装置及方法详见参考文献[7]。本实验的空塔动能因子范围为 $4.40 \sim 9.59 \text{ (m/s) (kg/m}^3)^{0.5}$,液流强度范围为 $2.703 \sim 18.919 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ 。本文实验中采用的导向复合塔板的结构参数列于表 1 和表 2。

表 1 5 组实验塔板对比参数
Table 1 Comparison of structural parameters contrast for the five trays

塔板 序号	升气筒 单元数	升气筒尺寸 长宽高/mm	升气筒 开孔率/ %	导向孔 开孔率/ %	波纹丝网 填料 型号 ^[5]
1#	10	178 × 39 × 124	26.3	1	BH800
2#	10	178 × 44 × 124	29.8	1	BH800
3#	12	178 × 39 × 124	31.6	1	BH800
4#	12	178 × 39 × 124	31.6	1	BH500
5#	12	178 × 39 × 124	31.6	1	BH1500

表 2 5 组实验塔板相同结构参数
Table 2 Structural parameters in common for the five trays

项目	参数
升气筒排列方式	矩形排列
升气筒侧面小孔直径/mm	$\phi 10$
升气筒侧面小孔个数	38
升气筒填料层高度/mm	43
导向孔开孔尺寸/mm	30 × 5
导向孔个数、排列	18 个,矩形排列
溢流堰高/mm	35

收稿日期: 2010-01-18
基金项目: 国家“863”计划(2006BAI09B07-01); 国家“973”计划(2007CB714304)
第一作者: 男,1984 年生,硕士生
* 通讯联系人
E-mail: liqs@mail.buct.edu.cn

2 结果与讨论

2.1 干板压降

干板压降是在塔板上无液体的情况下测得的板压降。由图 1,2 可以看出干板压降随着气速的增大而增大,相同的气速条件下,开孔率大的塔板干板压降相对较小,填料型号的不同对干板压降的影响不是很大。

由于填料的型号对干板压降的影响不大,干板压降可采用导向筛板的公式模型,于是拟合得到导向复合塔板的干板压降 Δp_D 与板孔气速 u_0 公式,以 3#塔板为代表

$$\Delta p_D = 0.319u_0^2 - 6.176 \quad (1)$$

适用范围 u_0 为 11.64 ~ 25.36 m/s,拟合的精度系数 $R = 0.998$ 。

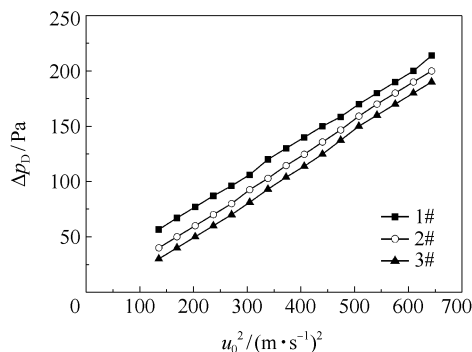


图 1 不同开孔率塔板干板压降的比较

Fig. 1 Comparison of dry pressure drops for trays with different hole areas

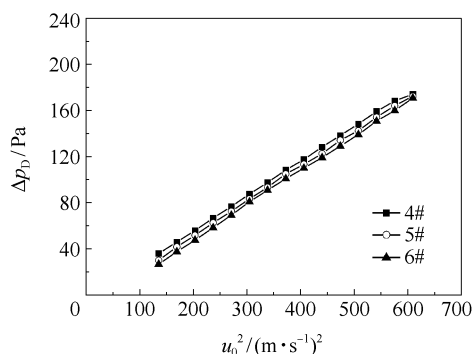


图 2 不同填料类型塔板干板压降的比较

Fig. 2 Comparison of dry pressure drops for trays with different packings

2.2 湿板压降

本文通过实验研究了筛孔气速 u_0 和液流强度 L_w 两个参数对湿板压降的影响,并拟合出了湿板压

降 Δp_T 的公式。由图 3 可见湿板压降随着气速的增加而增大,在 u_0 小于 17.48 m/s 时压降上升很快,在 u_0 大于 17.48 m/s,而小于 25.36 m/s 时压降增大缓慢,所以关于湿板压降 Δp_T 的函数是个分段函数。以 3#塔板为代表

$$\Delta p_T = 2.87u_0^2 + 23.99L_w - 341.83 \quad (2)$$

适用范围: u_0 为 11.64 ~ 17.48 m/s

$$\Delta p_T = 0.23u_0^2 + 18.62L_w + 511.58 \quad (3)$$

适用范围: u_0 为 18.40 ~ 25.36 m/s,拟合精度系数 $R = 0.995$ 。

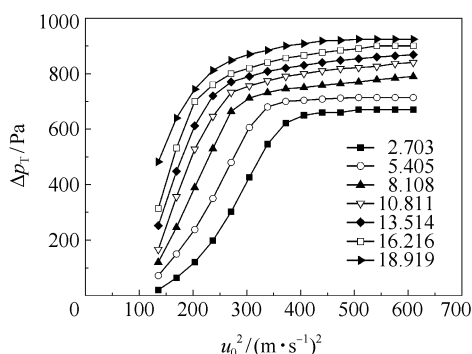


图 3 4#塔板湿板压降不同液流强度的比较

Fig. 3 Comparison of wet pressure drops for different flow intensities in the 4# tray

由图 3 可以看出导向复合塔板的湿板压降随着气速的增加趋于稳定不再上升,随着液流强度的增加而增加。这是由于新型的复合塔板开孔率比较大,加上导向孔的分流作用,减少孔间气体对冲,气相能耗低,并且由于规整填料有固定的流道,流体在各自的流道内流动,相互间影响小,使得压降低且趋于稳定。而液流强度的增加,增加了气体的提液量,能耗增大,所以压降会有所增加。

由图 4 可以看出同一液流强度下,填料型号的不同对复合塔板压降稍微有所影响,其中 BH500 的最低,BH1500 的最高,这是由于 BH500 的填料密度较小,空隙率大,BH1500 的填料密度大,空隙率小造成的。对比可知导向复合塔板湿板压降比导向固定阀塔板^[8]低 50%,可实现大通量、低能耗的目的。

2.3 雾沫夹带

雾沫夹带(e_v)是反映塔板气相负荷上限的重要参数之一。图 5 可以看出雾沫夹带(e_v)随着空塔动能因子 F_T 的增大而增加,随着液体流量的增加也增大。当 F_T 超过 $8.23 \text{ (m/s) (kg/m}^3)^{0.5}$ 以后, e_v 急速增加,以 1 kg 气体夹带 0.1 kg 的液体作为 e_v 的气相负荷上限,新型复合塔板的 F_T 操作上限可达到

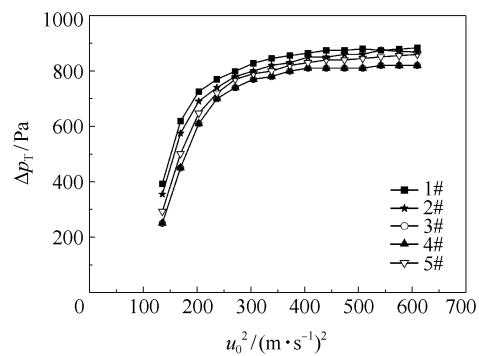


图 4 同一液流强度不同塔板湿板压降的比较

Fig.4 Comparison of wet pressure drop for different trays
 $9.59 \text{ (m/s)} (\text{kg/m}^3)^{0.5}$ 。这比导向固定阀塔板^[8]要高出 50%，主要是由于升气筒的阻挡以及规整填料改变液体流动方向,使向上的液体量大大减少。图 6 可以看出开孔率大的塔板夹带率相对较高,这是由于提升液体量增加的缘故,在相同开孔率条件下, BH500 填料的塔板夹带相对大一点,这主要是因为比表面积小的填料型号排列就稀疏,对液体向上的阻力相对较小。

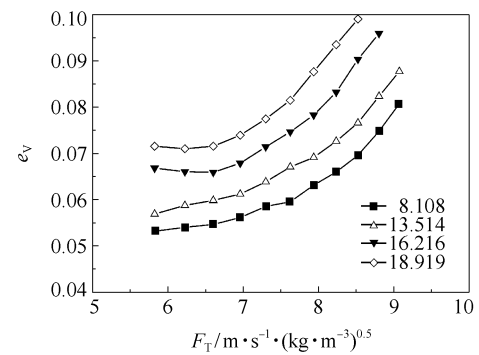


图 5 4#塔板雾沫夹带不同液流强度的比较

Fig.5 Comparison of entrainment for different flow intensitis in the 4# tray

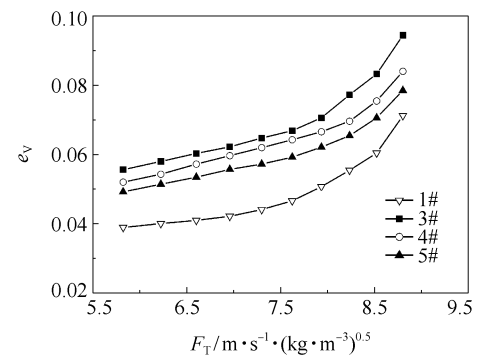


图 6 不同塔板型号雾沫夹带的比较

Fig.6 Comparison of entrainment for different trays

将实验数据关联得到 e_v 的经验式

$$e_v = 7.02 \times 10^{-3} F_T^{0.82} L_w^{0.33} \tag{4}$$

适用范围: F_T 为 $5.82 \sim 9.59 \text{ (m/s)} (\text{kg/m}^3)^{0.5}$, 拟合精度系数 $R=0.993$ 。

2.4 漏液

在一定溢流堰高的条件下,通过实验,测定了板孔气速、液流强度、不同填料类型对复合塔板漏液量的影响,实验结果表明,影响复合塔板漏液量的主要因素是气速,随着空塔动能因子的增大,即气速的增大,漏液逐渐减少,然后消失。同时开孔率和填料比表面积对漏液率也有一定的影响。由图 7 可以看出开孔率大的塔板(开孔率 31.6%)漏液相对较大,填料比表面积大的塔板(BH500)漏液也相对较大。以液相与气体的质量分数比值 ε 为 10% 时作为气相操作下限,新型复合塔板操作下限为 $5.3 \sim 6.3 \text{ (m/s)} (\text{kg/m}^3)^{0.5}$ 。

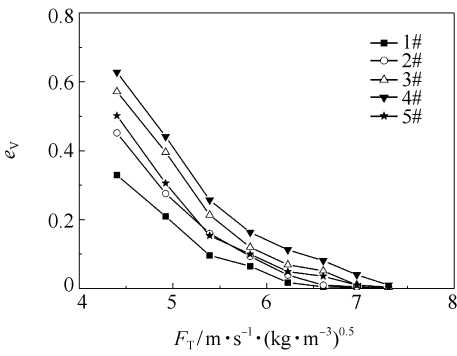


图 7 不同塔板型号漏液情况的比较
Fig.7 Comparison of weeping rate for different trays

3 结论

开孔率为 31.6%, 内置 BH1500 填料的导向复合塔板性能为所有研究塔板中最好的,其压降最低,比导向浮阀塔板低 50%,操作上限高达 $9.59 \text{ (m/s)} (\text{kg/m}^3)^{0.5}$,比导向浮阀塔板高 50%,下限低至 $5.3 \sim 6.3 \text{ (m/s)} (\text{kg/m}^3)^{0.5}$ 。

参考文献:

[1] 王金荣,尚振华,兰仁水,等. 喷射式并流填料塔板流体力学和传质性能[J]. 化学工程, 1999, 27(1): 15-18,36.
Wang J R, Shang Z H, Lan R S, et al. Study of hydrodynamics & mass transfer performance of jet co-flow packing tray[J]. Chemical Engineering, 1999, 27(1): 15-18,36. (in Chinese)

- [2] 杜佩衡, 董艳河, 杜剑婷, 等. 立体连续传质复合塔板流体力学特性[J]. 化工学报, 2006, 57(6): 1314 - 1318.
- Du P H, Dong Y H, Du J T, et al. Hydrodynamic characteristics of continuously tridimensional mass-transfer compound tray[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2006, 57(6): 1314 - 1318. (in Chinese)
- [3] 于凤文, 姚克俭, 计建炳, 等. 复合塔板传质性能研究[J]. 化学工程, 2000, 28(2): 6 - 10.
- Yu F W, Yao K J, Ji J B, et al. Study on mass transfer performance of compound tray[J]. Chemical Engineering, 2000, 28(2): 6 - 10. (in Chinese)
- [4] 李群生, 杨金苗. 高效导向筛板原理及其在炼油化工中的应用[J]. 炼油与化工, 2005, 16(3): 4 - 7.
- Li Q S, Yang J M. The theory and application of high efficient flow-guided sieve trays in petroleum refining and petrochemical industry [J]. Refining and Chemical Industry, 2005, 16(3): 4 - 7. (in Chinese)
- [5] 李群生, 田原铭, 常秋莲. 新型高效填料性能研究[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(1): 1 - 4.
- Li Q S, Tian Y M, Chang Q L. Performance characteristics of a new high efficiency structured packing material [J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology: Natural Science, 2008, 35(1): 1 - 4. (in Chinese)
- [6] 李群生, 刘旺国, 李钊, 等. 新型导向复合塔板的性能研究[J]. 石油化工, 2009, 38(8): 870 - 874.
- Li Q S, Liu W G, Li Z, et al. Performance of new flow-guided compound tray [J]. Petrochemical Technology, 2009, 38(8): 870 - 874. (in Chinese)
- [7] 毛明华, 李群生, 王爱军. 高效导向筛板流体力学研究[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2003, 31(3): 27 - 30.
- Mao M H, Li Q S, Wang A J. Hydrodynamic characteristics of high efficient flow-guided sieve tray[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology: Natural Science, 2003, 31(3): 27 - 30. (in Chinese)
- [8] 皮耀, 李群生, 田云苗. 导向固定阀型塔板上气液流体力学性能的研究[J]. 化工进展, 2005, 24(增刊): 111 - 114.
- Pi Y, Li Q S, Tian Y M. Hydrodynamic performance of flow-guided fixed valve tray [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2005, 24(Suppl): 111 - 114. (in Chinese)

Hydromechanical properties of flow-guided compound trays

LI WeiFeng LI QunSheng YANG Ming

(College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The hydromechanical properties of flow-guided compound trays with different hole area (26.3%, 29.8%, 31.6%) and packing (BH500, BH800, BH1500) developed in our laboratory have been studied. The pressure drop and entrainment for the different trays were measured for various gas and liquid loads with an air-water system in an organic glass tower with a diameter of 600 mm. The effects of varying hole area and packing were studied. The results showed that the combination properties of the compound tray with hole area of 31.6% and BH1500 packing were best in all trays, which had lowest pressure and least weeping and entrainment.

Key words: compound tray; hole area; packing; hydromechanics