

工艺与设备

新型导向筛板-浮片式浮阀复合塔板的研究

郭璐, 易争明*

(湘潭大学化工学院, 湖南湘潭 411105)

摘要:设计了一种新型导向筛板-浮片式浮阀复合塔板。在直径为 1.2 m 的圆形有机玻璃塔中进行冷模实验,测定了实验塔板在不同条件下的性能参数。实验表明,当液流强度一定、阀孔动能因子升高时,塔板压降、雾沫夹带量和传质效率增大,而漏液量会减小;当阀孔动能因子一定、液流强度升高时,塔板压降、雾沫夹带量和漏液量均会增大,但传质效率会减小。此外,对 F1 浮阀塔板和 ADV 浮阀塔板在相同实验条件下进行冷模实验,结果表明,新型导向筛板-浮片式浮阀复合塔板的流体力学性能更好。

关键词:新型浮片式浮阀;流体力学性能;传质性能;干板压降

中图分类号:TQ053.5

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2019)09-0168-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2019.09.035

Study on a new composite tray with guide sieve plate-floating valve

GUO Lu, Yi Zheng-ming*

(College of Chemical Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract:A new type of composite tray, which is composed of new floating valve and flow-guided sieve tray, is designed, and is evaluated by performing cold model experiments in a circular plexiglass tower with a diameter of 1.2 m. The parameters of the experimental tray under different conditions are measured. Experiments show that the pressure drop, entrainment rate and mass transfer efficiency of the tray increase, and the weeping rate decreases when the liquid flow intensity remains constant and the kinetic energy factor of the valve hole increases. When the kinetic energy factor of the valve hole keeps constant and the liquid flow intensity becomes larger, the pressure drop, entrainment rate and weeping rate of the tray increase, but the mass transfer efficiency decreases. In addition, cold mold experiments are also proceeded on F1 type valve tray and ADV type valve tray under the same experimental conditions. The results show that the hydrodynamic performance of the experimental tray is the best.

Key words:new floating valve; hydrodynamic property; mass transfer performance; dry plate drop pressure

分离过程是化工生产过程中必不可少的操作,直接决定了最终产品的质量和收率,而板式塔又是分离过程中的主要设备^[1-2]。在板式塔的研究中,浮阀塔板由于良好的操作弹性和稳定性,在生产中被广泛应用。传统浮阀塔板仍旧存在一些不足,如通量小、压降大等^[3-4]。近年来复合型塔板成为板式塔研究的重要方向,包括板填复合塔板^[2,5]、筛板-浮阀复合塔板^[6-7]为代表的复合塔板。本文中设计的新型导向筛板-浮片式浮阀复合塔板(简称 GS-FRV 型复合塔板)创新地采用了无阀腿的浮片浮阀(FRV)结构,在直径为 1.2 m 的圆形有机玻璃塔内进行冷模实验,并在相同条件下增加了 F1 浮阀塔板和 ADV 浮阀塔板的实验,对本文中设计的塔板进行较为完善的评估,为新型浮阀塔板的开发和应用提供了新的参考。

1 实验部分

1.1 操作条件

塔内共安置 4 块塔板:最上层塔板为液沫捕集板,用于收集上升气体中夹带的液体;中间两块是进行气液传质与分离的实验塔板;最下层是漏液收集板。塔板结构参数和操作条件如表 1 所示。

表 1 实验塔板结构和操作条件参数

项目	数值
开孔率/%	12
出口堰高/mm	50
气相负荷范围/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	0~5000
板间距/mm	450
堰长/mm	784
液相负荷范围/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	0~20

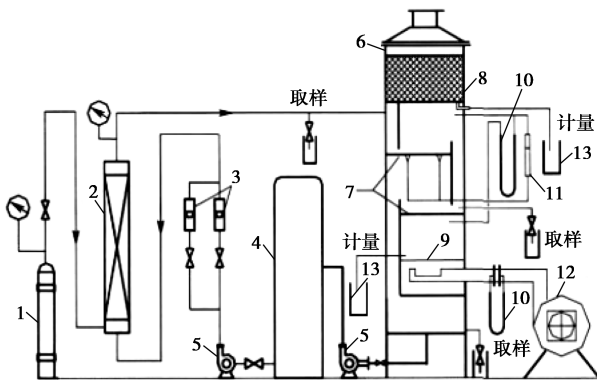
收稿日期:2018-11-16;修回日期:2019-07-07

基金项目:国家自然科学基金项目(21306158)

作者简介:郭璐(1993-),女,硕士生;易争明(1981-),男,博士,教授,研究方向为传质与分离过程,通讯联系人,yizm@xtu.edu.cn。

1.2 实验装置与塔板结构

塔板冷模实验装置如图1所示。实验前,给水槽中加入足量水,以保证在最大液量时整套装置能够正常运作。然后检查各阀门开启情况,打开机箱总开关后进行实验。将循环水泵与氧气钢瓶同时开启,氧气与水在混合器里充分混合后打入塔内,与鼓风机鼓入的空气在板上气液接触,通过塔内件及取样点进行测定实验。



1—氧气钢瓶;2—混合器;3—转子流量计;4—水槽;5—离心泵;
6—板式塔;7—实验塔板;8—雾沫补集板;9—气体分布板;
10—U形压差计;11—清液层液位计;12—鼓风机;13—测量容器

图1 塔板冷模实验装置

实验用GS-FRV型复合塔板及FRV浮阀结构如图2所示。FRV浮阀元件由带有支撑杆的支架和圆形浮片组成,圆形浮片套在支撑杆上,并在圆形浮片上开有4个三角固阀。在塔板上还开有导向孔与筛孔,导向孔的开设可消除弓形区域的液体滞留,降低塔板上的液面梯度,并使液体分布接近理想的流动分布。

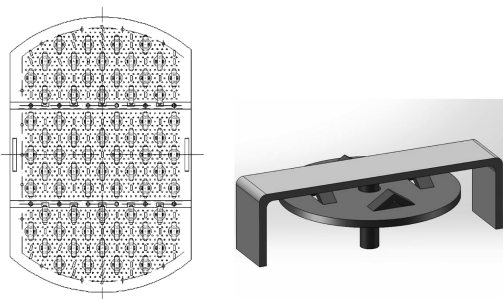


图2 实验复合塔板及浮阀元件结构示意图

2 结果分析

2.1 干板压降

干板压降指当塔板上无液体时,气流通过塔板产生的压降。常使用Stichlmair和Mwesmann关

联式^[8]:

$$\Delta P_d = \xi F_0^2 / 2 = \xi u_0^2 \rho_g / 2 \quad (1)$$

式中, ΔP_d 为干板压降,Pa; ξ 为阻力系数; u_0 为筛孔气速,m/s。

从图3可以看出,F1浮阀塔板的干板压降最高,GS-FRV塔板的干板压降上升幅度较小,说明该塔板操作更稳定。变化趋势分为3段。在 $0 \leq F_0 \leq 8.5$ 时,气体主要从筛孔、导向孔和固定阀通过,拟合结果为:

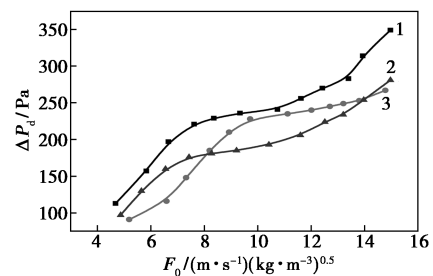
$$\Delta P_d = 3.912 F_0^{1.891}, R^2 = 0.97611 \quad (2)$$

在 $8.5 \leq F_0 \leq 13.5$ 时,塔板压降由气体通过筛孔、导向孔的阻力和克服升起浮阀重力组成。上下浮动的浮阀不断调节着压降的变化,所以浮片式导向浮阀塔板的压降有变化缓慢的一个阶段。拟合结果为:

$$\Delta P_d = 101.757 F_0^{0.346}, R^2 = 0.99154 \quad (3)$$

在 $F_0 \geq 13.5$ 时,塔板上浮阀完全开启,塔板压降主要是气体通过筛孔和阀孔的阻力。拟合结果为:

$$\Delta P_d = 30.402 F_0^{0.806}, R^2 = 0.99417 \quad (4)$$



1—F1浮阀塔板;2—ADV浮阀塔板;3—GS-FRV型复合塔板

图3 不同塔板的干板压降随 F_0 的变化关系

2.2 湿板压降

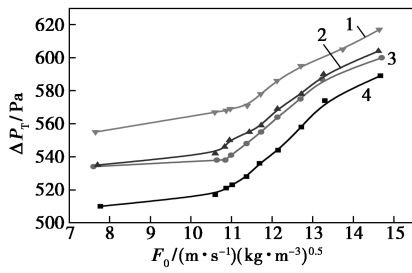
GS-FRV型复合塔板的湿板压降随 F_0 的变化如图4所示,在 L_w 或 F_0 一定时,湿板压降均增大。湿板压降的关联式主要有加和式、准数式和与气速相关联的关系式^[9],选择式(5)进行关联:

$$\Delta P_T = \xi F_0^n L_w^m \quad (5)$$

式中, ΔP_T 为湿板压降; ξ 、 m 、 n 为系数; L_w 为液流强度, $m^3/(m \cdot h)$ 。得到湿板压降的拟合结果为:

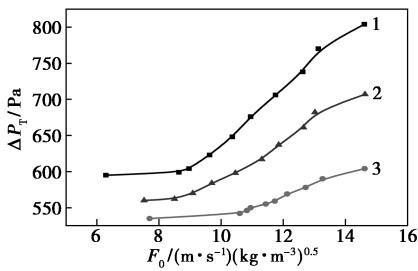
$$\Delta P_T = 36.708 F_0^{0.356} L_w^{0.648}, R^2 = 0.98469 \quad (6)$$

图5是在液流强度为 $19.13 m^3/(m \cdot h)$ 时,3种塔板的湿板压降随 F_0 的变化情况对比。由图可知,GS-FRV型复合塔板的湿板压降比F1浮阀塔板低25%~30%,比ADV浮阀塔板低15%~20%,体现了GS-FRV型复合塔板的优良结构。在实际操作中,浮片随着气速的增大逐渐向上升起,所以湿板压降



1—22.96; 2—19.13; 3—15.31; 4—11.45

图 4 GS-FRV 型复合塔板的湿板压降随 F_0 的变化关系



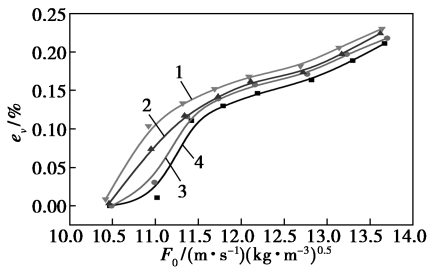
1—F1 浮阀塔板; 2—ADV 浮阀塔板; 3—GS-FRV 型复合塔板

图 5 不同塔板在 $L_w = 19.13 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$ 时的湿板压降随 F_0 的变化关系

的变化在整个过程中相对于传统浮阀较为平缓,从而塔板调节压降的性能更佳,操作也更稳定。

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^[10]。塔板的雾沫夹带随 F_0 的变化如图 6 所示,在 L_w 不变时, e_v 随着 F_0 的增大而增大,当 F_0 不变时, e_v 随着 L_w 的增大而增大。在 $10.5 \leq F_0 \leq 11.5$ 时,随着气速升高,塔板上液层鼓泡开始变得剧烈,少量液体被高速喷出的气体夹带到上层塔板。 $F_0 > 11.5$ 后, e_v 开始平稳,筛孔处的液沫极易被夹带至上层塔板,但从浮片吹出的气体能够降低垂直向上分速度。



1—22.96; 2—19.13; 3—15.31; 4—11.45

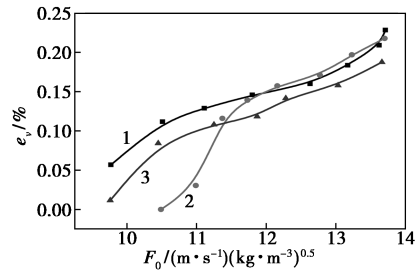
图 6 GS-FRV 型复合塔板的雾沫夹带随 F_0 的变化关系

在理论上, $e_v = f(H_T, \sigma, F_0, L_w)$ ^[11], 本实验主要

研究了不同 F_0 和 L_w 下雾沫夹带的变化,拟合得到:

$$e_v = (6.611 \times 10^{-8}) F_0^{3.137} L_w^{2.349}, R^2 = 0.97603 \quad (7)$$

图 7 给出了 3 种塔板在 L_w 相同时雾沫夹带随 F_0 的变化对比,在 $F_0 < 12$ 时, F1 浮阀塔板的雾沫夹带最大, GS-FRV 型复合塔板最小。当 $12 \leq F_0 \leq 14$ 时, GS-FRV 型复合塔板的雾沫夹带较高,主要是由于塔板上开有导向孔与筛孔,导致此时塔板的平均孔气速还无法使浮片全部浮起,降低传质效率。 $F_0 > 13.7$ 后,浮片基本全开,雾沫夹带低于 F1 浮阀塔板,板上气体和液层鼓泡分布均匀。

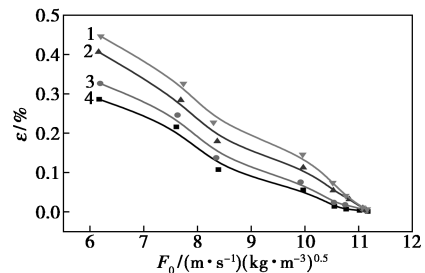


1—F1 浮阀塔板; 2—GS-FRV 型复合塔板; 3—ADV 浮阀塔板

图 7 不同塔板在 $L_w = 15.31 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$ 时的雾沫夹带随 F_0 的变化关系

2.4 漏液

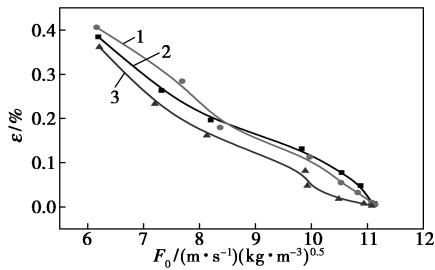
在堰高一定时,将 F_0 和 L_w 的变化对漏液率(ϵ)的影响汇总于图 8。从图中可得,在 L_w 不变时, ϵ 随着 F_0 的增大而减小,并在 $F_0 > 10$ 后,迅速减小直至消失;当 F_0 不变时, ϵ 随着 L_w 的增大而增大。



1—22.96; 2—19.13; 3—15.31; 4—11.45

图 8 GS-FRV 型复合塔板的漏液率随 F_0 的变化关系

图 9 为 3 种塔板在相同 L_w 下漏液率随 F_0 的变化。当 $F_0 < 8.5$ 时, GS-FRV 型复合塔板的漏液率比 F1 浮阀塔板要大,因为在气速较小时,液体直接从筛孔和导向孔流到下层塔板,增大了漏液量;当 $F_0 > 8.5$ 后,浮阀大部分开启,漏液主要是浮阀漏下的液体。而在相同开孔面积下, F1 浮阀塔板上的阀孔要更多,因此 GS-FRV 型复合塔板的漏液率较小。ADV 浮阀塔板因其特殊结构,漏液量相对较少。

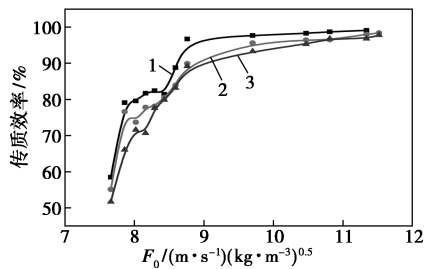


1—GS-FRV 型复合塔板;2—F1 浮阀塔板;3—ADV 浮阀塔板

图9 不同塔板在 $L_w = 19.13 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$ 时的漏液率随 F_0 的变化关系

2.5 传质效率

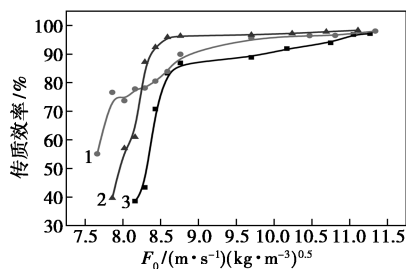
本文中通过氧解吸实验来探究传质效率。从图10中发现, F_0 增加, 会加剧液层鼓泡, 传质效率升高; 当 L_w 增加, 板上液层厚度和气体上升阻力增加, 传质效率下降。从图中还发现所有曲线都有一个下降的点, 在实验中发现该点时浮阀恰好开始浮动, 但随着浮阀不断的开启, 传质效率开始上升并趋于100%。



1—15.31;2—19.13;3—22.96

图10 GS-FRV 型复合塔板的传质效率随 F_0 的变化关系

在实验中, 气量太低, 板上漏液严重, 降液管内几乎没有积存的液层, 无法取出传质后的液体; 气量太高时, 传质效率初始值已经达到 80%~90%, 无法进行对比。在经过反复实验尝试后选取了合适的阀



1—GS-FRV 型复合塔板;2—ADV 浮阀塔板;3—F1 浮阀塔板

图11 不同塔板在 $L_w = 19.13 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$ 时的传质效率随 F_0 的变化关系

孔动能因子, 得到了3种塔板传质效率较好的趋势对比, 如图11所示。GS-FRV型复合塔板的传质效率明显高于F1浮阀塔板。当 $F_0 < 8$ 时, GS-FRV型复合塔板的传质效率比ADV型浮阀塔板也要高出20%~30%, 但ADV浮阀塔板的传质效率随着 F_0 的增加快速增长, 到 $F_0 = 9$ 左右时, 传质效率已经接近98%。

3 结论

(1) 新型导向筛板-浮片式浮阀复合塔板具有低压降、大通量、高效以及浮阀不易磨损脱落等优点。

(2) 通过实验得到塔板的干板压降、湿板压降和雾沫夹带的关联式, 对后续塔板优化改进提供参考。

(3) 当 L_w 一定, F_0 升高时, 塔板压降、雾沫夹带量和传质效率增大, 而漏液量会减小; 当 F_0 一定, L_w 升高时, 塔板压降、雾沫夹带量和漏液量均会增大, 但传质效率会减小。

参考文献

- [1] Olujić Z, Jödecke M, Shilkin A, et al. Equipment improvement trends in distillation [J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2009, 48(6): 1089-1104.
- [2] 王树楹, 高长宝, 兰仁水. 板式塔研究进展 [J]. 化学工程, 2003, 31(3): 20-26.
- [3] Wang L H, Cui J J, Yao K J. Numerical simulation and analysis of gas flow field in serrated valve column [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2008, 16(4): 541-546.
- [4] 潘忠滨, 姚克俭, 李育敏, 等. 新型浮阀塔板研究进展 [J]. 化工进展, 2005, 24(9): 956-963.
- [5] 李伟锋, 李群生, 杨明. 新型导向复合塔板流体力学性能研究 [J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2010, 37(3): 31-34.
- [6] 李群生, 张满霞, 汤效飞, 等. 导向筛板-导向浮阀塔板流体力学及传质性能 [J]. 现代化工, 2013, 33(3): 84-87.
- [7] 王劲寒. 浮阀筛孔复合塔板设计计算方法探讨 (1) [J]. 炼油设计, 1997, 27(4): 20-24.
- [8] Stichlmair J, Mersmann A. Dimensioning plate columns for absorption and rectification [J]. International Chemical Engineering, 1978, 18(2): 223-236.
- [9] 李群生, 田原铭, 常秋连. 新型高效规整填料性能研究 [J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(1): 1-4.
- [10] 陈敏恒, 丛德滋, 方图南, 等. 化工原理 (下册) [M]. 3版. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [11] 兰州石油机械研究所. 现代塔器技术 [M]. 2版. 北京: 中国石化出版社, 2005. ■