

双曲型高效规整填料的流体力学和传质性能

李群生 杨 明 李伟锋 常秋连

(北京化工大学 化学工程学院, 北京 100029)

摘 要: 用两种双曲(SQ)型金属丝网波纹填料在内径为 500 mm, 填料高度为 1 m 的有机玻璃塔内进行冷膜实验。通过研究 SQ 型填料的流体力学和传质性能可知, 此填料特殊的弧形波纹结构改善了气液分布。实验结果显示 SQ 型填料的传质性能要优于传统填料 CY-700, 当 $L = 25.48 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, SQ-700 的 HETP 值比 CY-700 相对降低 44.5%。对于同种 SQ 型填料, 其压降、泛点和等板高度符合一般填料的变化规律, 而 SQ-800 的比表面积大于 SQ-700, 故而传质效率高, 能耗高, 可操作范围小。

关键词: 双曲型填料; 流体力学; 传质性能

中图分类号: TQ053.5

引 言

填料塔是一种重要的气液传质设备, 其中填料是填料塔的核心构件, 填料塔操作性能的好坏与所选用的填料有直接关系。随着填料塔在工业中的广泛应用, 开发简单、高效的填料成为塔器发展的一个方向^[1]。

填料分为规整填料和散堆填料两大类, 其中规整填料因其理论板数高、通量大、压降低等优点已在工业中得到了广泛应用。规整填料中丝网波纹填料的出现, 为难分离物系、热敏性物系及高纯度产品的精馏分离提供了有利的条件^[2]。Mellapak 填料是已在工业中成功应用的老式填料, 如今, Mellapak 的换代产品已经出现, 如国外的 Rombopak 填料, Raschig-Superpak 填料, 国内的 Zupak 填料, 无壁流规整填料, SM、SW、SC、SB 系列新型规整填料以及 LH 型规整填料等。

双曲(SQ)丝网波纹填料是一种新型规整填料, 它在传统填料波纹形状上做了改进, 以改善气液分布, 加强传质。本文主要研究了两种双曲(SQ)丝网波纹填料的流体力学性能和传质性能, 并与传统丝网波纹填料 CY-700 的传质性能进行了对比。

1 实验部分

1.1 SQ 型填料的几何特性

双曲丝网波纹填料不同于传统的 X 型或 Y 型填料的直线波纹形状, 其相邻两片填料呈反向弧形变化。这种特殊的波纹结构使液膜沿填料波纹面向下流动的过程中流向不断发生变化并不断更新, 促进了气液传质。本文涉及的金属丝网波纹填料有 SQ-700, SQ-800 和 CY-700, 其几何特性参数见表 1。

表 1 SQ 型填料的几何特性

Table 1 Geometric characteristics of SQ type packing

填料类型	比表面积/ $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$	公称直径/ mm	孔隙率/ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$
SQ-800	800	500	0.88
SQ-700	700	500	0.895
CY-700	700	500	0.85

1.2 实验装置

本实验是在常温常压下, 以空气和水为介质, 在 $\phi 500 \text{ mm}$, 填料高度为 1 m 的有机玻璃塔内进行的冷膜测试。其流程图参见文献[4], 主要装置包括冷膜填料塔, 氧气吸收设备和压降、传质性能测试设备。

1.3 实验方法

实验前先对填料塔进行 1 h 的预液泛, 使填料充分润湿, 以保证填料的传质性能稳定。

填料的流体力学性能用每 m 填料层压降和液泛气速来表征, 具体方法是固定液体喷淋量, 改变气

收稿日期: 2009-06-30

基金项目: 国家“863”计划(2006BAI09B07-01); 国家“973”计划(2007CB714304)

第一作者: 男, 1963 年生, 教授

E-mail: liqs@mail.buct.edu.cn

速,直至液泛。记录气速及相应的压降值。

本实验采用氧解吸法测定填料的传质性能。固定喷淋密度在不同的气速下测得塔顶和塔底的氧含量,进而通过计算^[5]得出填料层等板高度(HETP)的值。

2 结果与讨论

2.1 流体力学性能

2.1.1 干塔压降

对比两种填料的干塔压降,如图 1。从图 1 中可以看出,同种填料,气速增大压降也会随之增加。同一气速下,SQ-700 的压降值要低于 SQ-800,这是因为后者的比表面积大,填料片比较密集,气体沿填料层流动的阻力增大,因此压降较高。

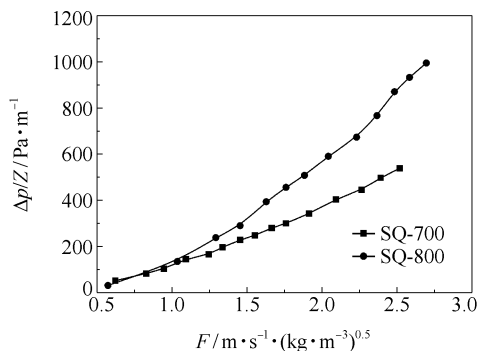


图 1 两种 SQ 型填料的干塔压降与 F 因子关联图

Fig. 1 The relationship between dry pressure drop and F -factor for two SQ type packings

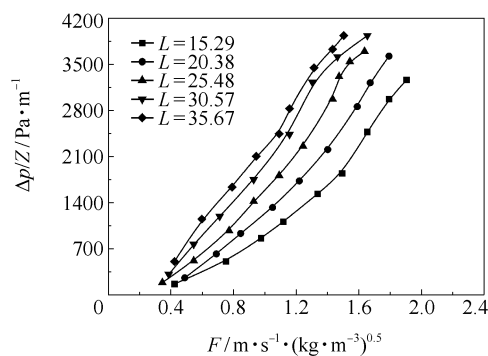
2.1.2 湿塔压降

不同喷淋密度下,SQ-700 和 SQ-800 湿塔压降与气体动能因子的关联见图 2。由图 2 中可以看出同种填料在同一喷淋密度下,每 m 填料层的压降随着气速的增大而增大,这是因为气液两相在填料层内进行逆流接触,填料表面由于液膜的存在使得气体通道变小,气速增加引起压降的增加。在相同气速下,压降也会随着喷淋密度的增大而增大,这是由于喷淋密度的增加,液膜会在填料层内加厚使气体上升的阻力增大,从而使得压降变大。

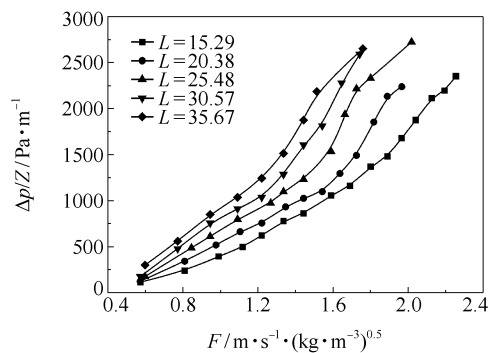
固定喷淋密度 $L = 15.29 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,对两种 SQ 型填料的压降进行对比,如图 3 所示。结果发现在相同的气速下, $\Delta p/Z_{\text{SQ-800}} > \Delta p/Z_{\text{SQ-700}}$,这也是 SQ-800 比表面积大的缘故。

2.1.3 液泛气速

液泛气速(u_f)是填料塔的极限操作条件,正确的判断泛点对填料塔的设计和操作有重要意义。由



(a) SQ-800



(b) SQ-700

图 2 两种 SQ 型填料的湿塔压降与 F 因子关联图

Fig. 2 The relationship between wet pressure drop and F -factor for two SQ type packings

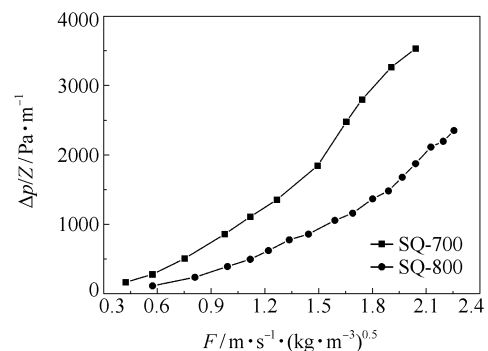


图 3 固定喷淋密度下两种 SQ 型填料的湿塔压降对比图

Fig. 3 Comparison of wet pressure drop for two SQ type packings with the same liquid load

SQ 型填料液泛气速随喷淋密度的变化关系图 4 可以看出同种填料的液泛气速随着喷淋密度的增大而减小,且两者之间大致呈线性关系。这是因为液体流量的增大使气液两相的曳力增大,使填料在低气速下就容易液泛。对比同一喷淋密度下两种填料的液泛气速可知, $u_f(\text{SQ-700}) > u_f(\text{SQ-800})$,说明 SQ-700 的可操作的范围高于 SQ-800 填料。

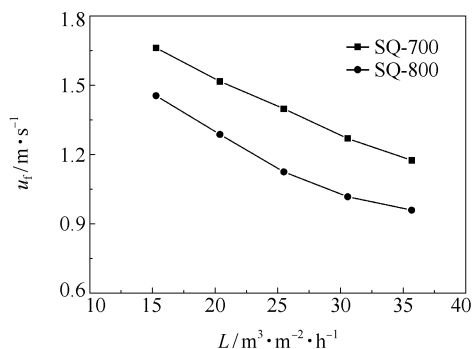
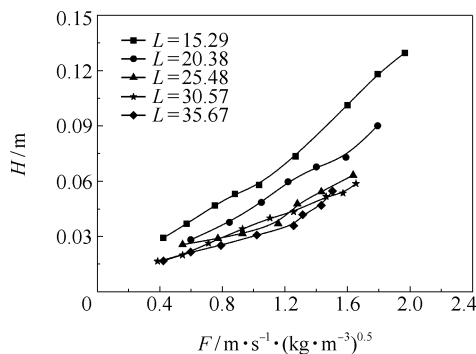


图4 两种SQ型填料液泛气速随喷淋密度变化关系图

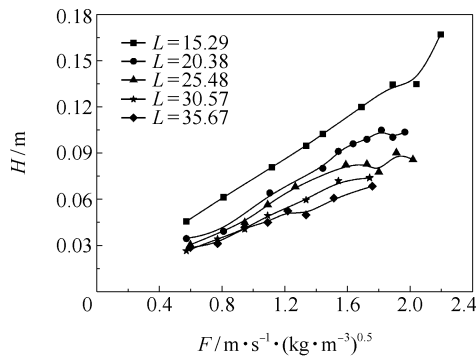
Fig. 4 The relationship between flooding gas velocity and liquid density for two SQ type packings

2.2 传质性能

两种填料的传质性能由 HETP(H) 和 F 因子的关系图 5 表出。



(a) SQ-800



(b) SQ-700

图5 两种SQ型填料的 HETP 和 F 的关系曲线图

Fig. 5 The relationship between HETP and F for two SQ type packings

由图 5 中可以看出, SQ 型填料的传质曲线符合大多数规整填料的变化规律^[6], 即同种填料在同一喷淋密度下 HETP 的值会随着气速的增大而增大, 但增幅不大。同一气速下, 随着喷淋密度的增大 HETP 的值会减小, 传质效率增大。这是因为固定

的液流量下, 气速的增大, 使得气液两相接触不充分, 故而 HETP 的值会升高, 而在相同的气速下, 液流量的增大使气液两相的接触面积增大, 因此传质更充分。由图 5 也可以看出此填料的等板高度较低, 一般在 0.2 m 以下, 即每 m 填料可达 5 个理论级, 分离效率高。

由图 5(a) 可以看出, 当 $L \geq 25.48 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, 液体流量对等板高度的影响变小, 而随着喷淋密度的增加, 填料层压降也会相应的增加, 增加能耗, 因此 SQ-800 填料比较适合在 $25.48 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) < L < 35.67 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的范围内进行操作。同理, 由图 5(b) 可以确定 SQ-700 填料合适的操作范围为 $20.38 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) < L < 35.67 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

固定喷淋密度 $L = 25.48 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 对比两种 SQ 型填料与传统填料 CY-700 传质性能, 见图 6。

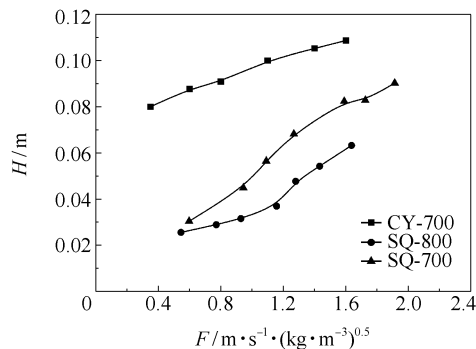


图6 固定喷淋密度下 SQ 和 CY 型填料的传质性能对比图

Fig. 6 Comparison of mass transfer performance for SQ and CY type packings with the same liquid load

由图 6 可知, 两种新型填料的传质性能优于 CY-700 填料, 当 $F = 0.6 \text{ m/s} \cdot (\text{kg}/\text{m}^3)^{0.5}$ 时, SQ-700 的 HETP 值要比 CY-700 降低约 65%; 当 $F = 1.6 \text{ m/s} \cdot (\text{kg}/\text{m}^3)^{0.5}$ 时, SQ-700 的 HETP 值要比 CY-700 降低约 24%, 平均降低 44.5%。除此之外, SQ-800 填料比 SQ-700 的传质性能要好, 这是因为 SQ-800 填料的比表面积大, 气液接触面积增大, 所以传质更充分。

3 结论

(1) SQ 型填料的特殊弧形波纹结构改善了气液两相的分布, 可以提高传质效率。通过研究 SQ-700 和 SQ-800 两种填料的流体力学性能发现, 700 型填料的压降要低于 800 型, 而且 SQ-700 的液泛气速相对较低, 可操作范围较大。

(2) SQ 型填料的传质性能优于传统填料 (CY-

700), 当 $L = 25.48 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, SQ-700 的 HETP 值比 CY-700 相对降低 44.5%; 同种填料的传质效率随着比表面积的增加而增大。

参考文献:

- [1] 李群生, 马文涛, 张泽廷. 塔填料的研究现状及发展趋势[J]. 化工进展, 2005, 24(6): 619–624.
Li Q S, Ma W T, Zhang Z T. Research and development trend of column packing[J]. Chemical Industry and Engineering Process, 2005, 24(6): 619–624. (in Chinese)
- [2] 胡晖, 徐世民, 李鑫钢. 大型填料塔技术及其工业应用[J]. 现代化工, 2005, 25(7): 53–55.
Hu H, Xu S M, Li X G. Large-scale packed column technology and its industrial application [J]. Modern Chemical Industry, 2005, 25(7): 53–55. (in Chinese)
- [3] 李群生, 常秋连, 王宝华. 新型高效填料的研究及其在聚氯乙烯工业中的应用[J]. 化工进展, 2007, 26(增刊): 204–205.
- [4] Li Q S, Chang Q L, Tian Y M, et al. Cold model test and industrial applications of high geometrical area packings for separation intensification [J]. Chemical Engineering and Processing, 2008, 48(1): 389–395.
- [5] 龙湘犁, 叶永恒. 新型板网填料传质性能的研究[J]. 化学工业与工程, 1999, 16(5): 253–258.
Long X L, Ye Y H. A Study on the mass transfer characteristics of meshed sheet corrugated packings[J]. Chemical Industry and Engineering, 1999, 16(5): 253–258. (in Chinese)
- [6] 王树楹. 现代填料塔技术指南[M]. 北京: 中国石化出版社, 1998.
Wang S Y. Modern packed column technology enchiridion [M]. Beijing: China Sinopec Press, 1998. (in Chinese)

Hydrodynamic and mass transfer performance characteristics of SQ type high efficiency structured packing

LI QunSheng YANG Ming LI WeiFeng CHANG QiuLian

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

Abstract: A cold pilot model was constructed using a 0.5 m-diameter plexiglass column that was packed with a 1.0 m-height SQ type packing. The structure, hydrodynamics and mass transfer performance of the new packing were investigated, and the results showed that a special arc-shaped corrugation of SQ type packing afforded improved gas and liquid distribution. The expected efficiency advantage was demonstrated by comparison with the traditional packing CY-700; when $L = 25.48 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, the height equivalent to theoretical plate (HETP) of SQ-700 was 44.5% lower than that for CY-700. The pressure drop, flooding gas velocity and HETP values for the series of SQ type packings show the same trend as other structured packings. Although the efficiency of SQ-800—with a larger specific surface area than SQ-700—shows a significant increase compared with SQ-700, this occurs at the cost of high energy consumption and narrow operational range.

Key words: SQ type packing; hydrodynamic; mass transfer performance