

新型高效丝网填料的性能研究

李 方 常秋连 李群生* 田原铭 刘旺国
(北京化工大学 化学工程学院, 北京 100029)

摘 要: 以空气-水为物系,在内径为 500mm 的有机玻璃塔内测定了不同喷淋密度下 BH800、BH1000 型金属丝网规整填料的流体力学及传质性能,比较了气相动能因子与单位填料层压降及传质系数的关系。结果表明:当液体流量增大时,填料层的压降增大,而单位填料层等板高度减小;在相同喷淋密度及动能因子下, BH1000 型的压降大于 BH800 型; BH800 型填料的操作弹性较优,但传质效率远远低于 BH1000 型;丝径变小可以提高传质性能且对工况操作弹性影响较小。

关键词: 规整填料; 金属丝网填料; 流体力学; 传质性能
中图分类号: TQ053.5

引 言

随着化学工业的发展,对产品的纯度要求也越来越高。精馏是化工分离的重要手段,同时也是一个高能耗过程,所以提高效率、降低能耗是精馏发展的方向之一。填料塔的分离效率较高、压降较低,发展前景非常广阔。通过改变填料的结构来提高分离效率的研究不断涌现^[1-5]。BH 型丝网波纹填料由本课题组自主研发,其特点是将传统填料的直线式波纹结构改为折线式波纹结构,这样在折角处可以增大气液湍动,促进液膜的表面更新,从而提高传质效率^[6-7]。本文在上述研究的基础上,通过改变丝网填料的丝径大小、比表面积展开了实验。将实验所得数据按对压降、传质效率的影响进行分类对比,在获得基础数据的同时,也为该填料的进一步优化提供了依据。

1 实验部分

1.1 填料的几何特性参数

实验采用 BH800、BH1000 丝网波纹填料,其具体参数如表 1 所示。

收稿日期: 2008-07-08

基金项目: 国家自然科学基金(20476005);中国石油化工股份有限公司资助项目(X504025)

第一作者: 女,1982 年生,硕士生

* 通讯联系人

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

表 1 测试填料的几何特性

Table 1 Geometrical features of the tested metal wire packings

填料类型	倾角/ (°)	公称直径/ mm	比表面积/ $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$	孔隙率/ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$
BH800(单层)	30~45	500	800	0.92
BH1000(单层)	30~45	500	1000	0.86

1.2 实验装置及方法

在常温、常压下,以空气-水为介质,在 $\text{O}500\text{mm}$ 的有机玻璃塔中进行实验。其流程图参见文献[8]。实验采用固定喷淋密度改变气速的方法。流体力学性质的相关数据由填料层的 U 型压差计获得,填料的传质性能数据由溶氧仪测得。

实验测定了 BH 型波纹填料的流体力学性能,并用氧解析法测定了其传质性能。实验空塔气速范围为 $0.6 \sim 2.74\text{ m/s}$,液体喷淋密度(L)的范围为 $10 \sim 30\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

1.3 数据处理方法

该实验为氧解析试验,属液膜控制过程。传质单元高度 H 简化式^[9]

$$H = \frac{z}{N} = \frac{z}{\ln \left[\frac{\rho_1 - \rho^*}{\rho_2 - \rho^*} \right]} \quad (1)$$

式中: z 为填料层高度, m ; N 为填料塔的理论板数; ρ_1, ρ_2, ρ^* 分别为塔顶进口水中氧的质量浓度,塔底出口水中氧的质量浓度及温度 T 下氧在水中达平衡时的质量浓度, mg/L 。

式(1)是在实验温度 T 下 H 的表达式,为得到

25℃ 条件下的 $H_{25^\circ\text{C}}$, 采用 Sherwood 提出的公式

$$H_{25^\circ\text{C}} = H \cdot \exp[0.023(T - 25)] \quad (2)$$

下文中所提及的填料层等板高度 (HETP) 即 $H_{25^\circ\text{C}}$ 的值。

2 结果与讨论

试验研究的是 BH800 与 BH1000(1)、BH1000(1) 与 BH1000(2) 两组填料在不同喷淋密度下, 气相动能因子 (F) 与单位填料层压降 ($\Delta p/z$) 及 HETP 间的关系。BH1000(2) 是在 BH1000(1) 原丝径增大 0.1 mm, 其他几何参数均保持不变的基础上制作而成。对实验结果进行处理, 得到该系列填料流体力学及传质性能曲线图趋势与普通规整填料性能曲线图一致^[10-11]。

2.1 流体力学性能比较

2.1.1 液体流量的影响

液体流量对 $\Delta p/z$ 的影响如图 1 所示。从图 1 可以看出, 对同种填料, $\Delta p/z$ 总是随液体喷淋密度的增大而增大。这是因为相同动能因子下, 随着液相流率的增大, 液膜随之加厚, 导致下降液体和上升气体的摩擦阻力增大, 从而造成压降增加。液泛点

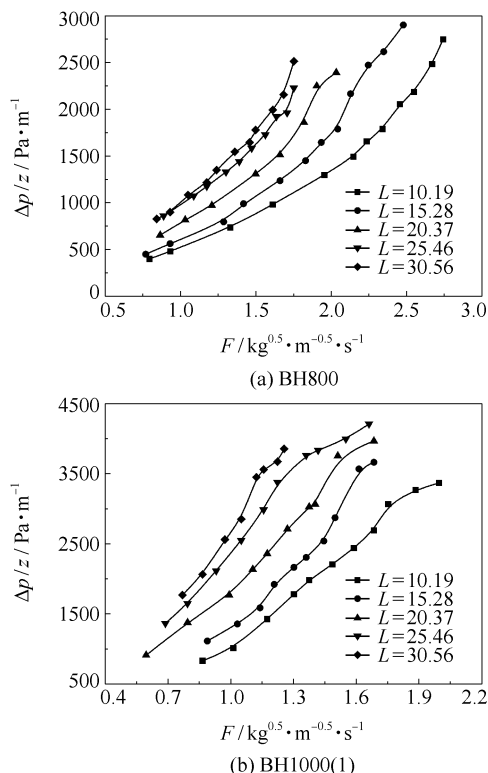


图 1 液体流量对填料性能的影响

Fig. 1 Effect of the liquid load on the performance of the structured packings

处, 气流速度略为增加, 填料层的压降迅速增大。图 1 中即可看出, 随着液体喷淋密度的增加, 液泛点随之减小, 即表示操作弹性变小。

2.1.2 比表面积的影响

比表面积对填料层的压降值的影响, 如图 2 所示 ($L = 15.28 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)。从图 2 可以看出, BH800 填料的单位填料层压降要低于 BH1000 填料的压降值, 这说明填料的比表面积越小其相应的气液传质的阻力越小, 工业应用时填料塔的能耗越低, 从而起到节能的作用。反之, 在填料结构相同的情况下, 增大填料的比表面积会使填料的操作压降增大, 增加能耗。

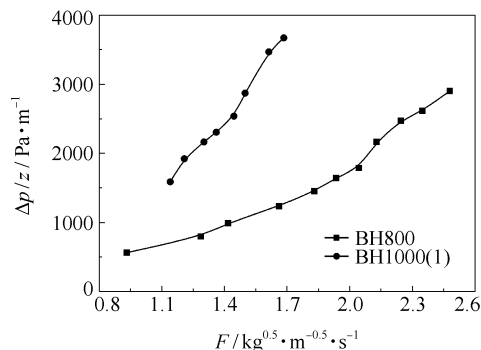


图 2 比表面积对填料性能的影响

Fig. 2 Effect of specific surface area on the performance of the structured packings

2.1.3 丝径大小的影响

图 3 比较了 BH1000(1)、BH1000(2) 流体力学性能的差异。图 3 表明丝径变小以后, 在相同 F 下, $\Delta p/z$ 变大, 但液泛点变化不大, 即操作弹性相近。

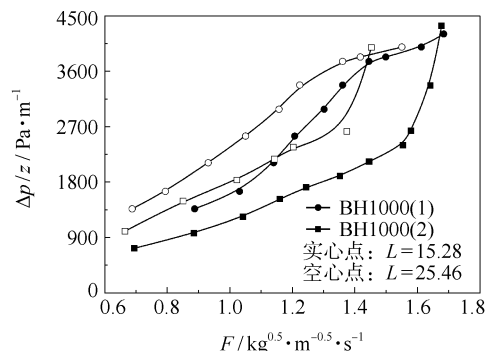


图 3 丝径大小对填料性能的影响

Fig. 3 Effect of the wire diameter on the performance of the structured packings

2.2 传质性能比较

2.2.1 气速的影响

气相动能因子对传质系数的影响如图 4 所示。

从图 4 可以看出,在一定负荷因子下,填料液相体积传质系数 K_{xa} 基本呈直线。在液泛点,填料 K_{xa} 突然增加,随后曲线趋于平缓。这是因为在液泛点处,气液湍动加剧,气液接触的有效面积增大,传质性能增大,流体力学性能提高,但随着填料层中滞料量急剧增加,液体流动的空间减小,填料层压降会急剧增大,使得 K_{xa} 降低。

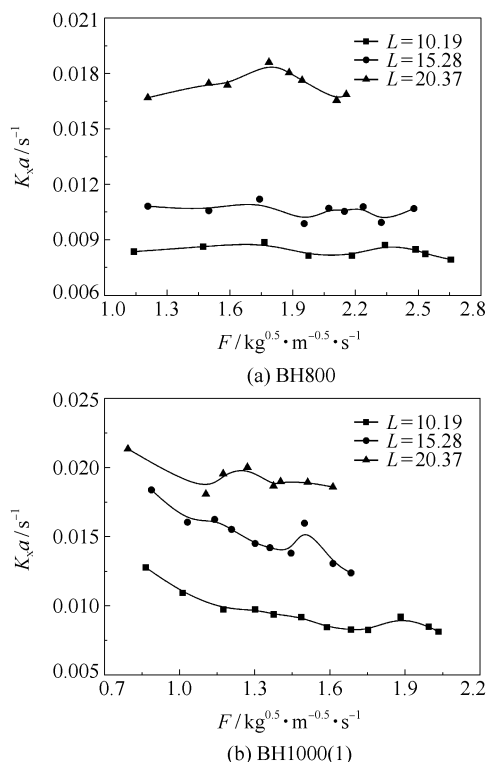


图 4 气相动能因子与传质系数的关系

Fig. 4 The relation between mass transfer coefficient and F

2.2.2 液体流量的影响

对比不同液体流量下的 HETP,如图 5 所示。在逆流操作的填料塔内,液体从塔顶喷淋至塔内,依靠重力在填料表面做膜状流动。液膜的厚度将直接影响气体通过填料层的压降、持液量和传质效率等。即随着下降液膜厚度的加厚,传质效率下降,当液膜厚度增加到一定程度时,液相浓度响应缓慢,导致传质效率急剧下降。BH800 在液泛点后,HETP 发生更加剧烈的变化的原因是填料的比表面积较小,因此在液泛点后,气液接触的面积较小,而且由于气速的不断增大,阻力变大,所以传质性能下降更快。

2.2.3 比表面积的影响

比表面积对传质性能的影响可从图 6 ($L = 10.19 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) 看出,填料 BH800 要比填料 BH1000 需要更多的理论板数,这说明对于结构相

同,不同比表面积的两中填料,比表面积大的 BH1000 填料具有更高的传质性能。

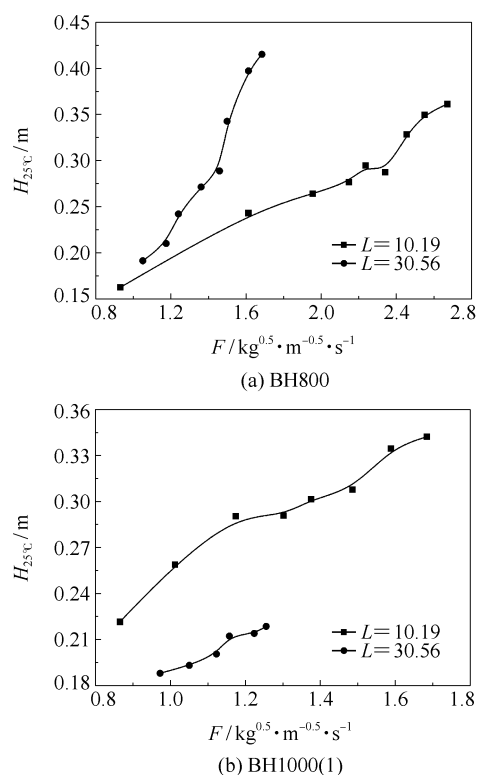


图 5 液体流量对填料传质性能的影响

Fig. 5 Effect of the liquid load on the mass transfer performance of the structured packings

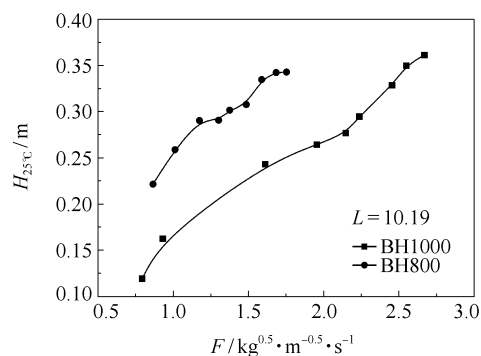


图 6 比表面积对填料传质性能的影响

Fig. 6 Effect of specific surface area on the mass transfer performance of the structured packings

2.2.4 丝径大小的影响

图 7 比较了丝径大小对 BH1000(1)、BH1000(2)传质性能的影响。从图 7 可以看出,丝径变小以后,填料的传质性能提高。原因是丝径变小,填料的孔隙率变大,单位面积上气液接触的通量变大,强化了气液传质,进而增强了填料的传质性能。

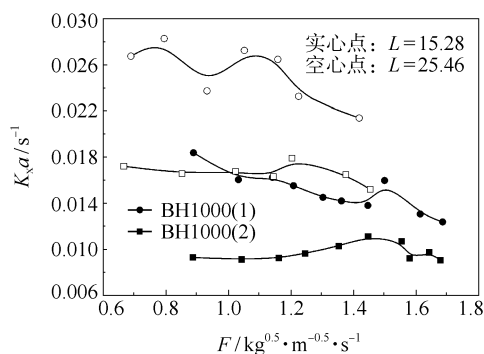


图 7 丝径大小对填料传质性能的影响

Fig. 7 Effect of the wire diameter on the mass transfer performance of the structured packings

3 结论

BH 系列新型高效填料独特的结构改进了气液分布性能,增大了填料的有效比表面积。通过改变其比表面积或丝径大小,可以降低填料层压降或提高传质效率,从而改变操作弹性。但是提高传质效率的同时,都会伴随着填料层压降的增大,即动力阻力的增大,这就说明了填料的传质性能总是与动力能耗呈相反的变化趋势。

参考文献:

- [1] Olujic Ž, Seibert A F, Fair J R. Influence of corrugation geometry on the performance of structured packings: An experimental study[J]. Chem Eng Process, 2000, 39

(4): 335 – 342.

- [2] Spiegel L, Meier W. Distillation columns with structured packings in the next decade[J]. Trans IChemE, 2003, 81(1):39 – 47.
- [3] 兰昭洪. 金属丝网波纹填料及其在化工生产中的应用[J]. 贵州化工, 2005, 30(1): 13 – 14.
- [4] 袁孝竞, 于爱华, 田桂林, 等. 规整填料塔在国内的应用[J]. 石油化工设计, 1996, 13(2): 54 – 61.
- [5] 宋新月, 郭庆丰, 费维扬. 高比表面积金属丝网波纹填料的实验研究[J]. 化学工程, 2006, 34(3): 1 – 3.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 周媛, 李群生, 张泽廷. 新型丝网波纹填料的流体力学特性研究[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2005, 32(3): 13 – 19.
- [9] 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.
- [10] Billet R. 填料塔[M]. 魏建华, 译. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [11] Hufton J R, Bravo J L, Fair J R. Scale-Up of Laboratory Data for Distillation Columns Containing Corrugated Metal-Type Structured Packing[J]. Ind Eng Chem Res, 1988, 27(11): 2096 – 2100.

Performance characteristics of new high efficiency wire structured packings

LI Fang CHANG QiuLian LI QunSheng TIAN YuanMing LIU WangGuo

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

Abstract: In order to optimize design considerations, the hydrodynamic and mass transfer performance of BH800 and BH1000 metal wire structured packings developed by our laboratory were studied. The pressure drop and mass transfer efficiency of the BH-series packings were investigated under conditions of different gas and liquid loads with an air-water system in an organic glass tower with a diameter of 500 mm. The results show that the pressure drop rises with increasing liquid flow rate and the value of the height equivalent theoretical plate is reduced. The pressure observed with BH1000 metal wire packing is higher than with BH800 metal wire packing under the same conditions. Although BH1000 shows higher mass transfer efficiency, BH800 gives much greater operating flexibility. In addition, the thinness of wire diameter does not change the operating flexibility, but can improve mass transfer performance.

Key words: structured packing; metal wire packing; hydrodynamics; mass transfer performance