

新型高效规整填料性能研究

李群生 田原铭 常秋连*

(北京化工大学化学工程学院, 北京 100029)

摘要: 在内径为 $\phi 500$ mm 的有机玻璃塔内, 以空气-水为物系, 对 BH-250、BH-1000、BH-1500、BH-2000 型波纹填料进行了流体力学及传质性能测试, 并对其各项性能指标(波纹倾角、丝网层数、比表面积)进行了对比试验研究。研究了填料的网纹沟型、表面处理技术等结构特性对填料性能的影响。结果表明 BH-1000 丝网波纹填料的上述综合性指标优于 BH 系列填料中的其他填料。

关键词: 规整填料; 几何构型; 流体力学; 传质性能

中图分类号: TQ053.5

引言

规整填料是一种在塔内按均匀几何图形排布、整齐堆砌的填料。它规定了气液流路, 改善了沟流和壁流现象, 压降小, 可以提供更多的比表面积, 在同等容积中可以达到更高的传质、传热效果^[1-2]。尤其是丝网波纹填料, 其独特的几何结构使之具有很高的比表面积, 由于丝网独具的毛细作用, 又使表面积有更为有效的润湿性能, 因此具有很高的分离效率。但是随着化工技术的发展, 企业需要大量的高纯度产品, 要求精馏设备具有高效分离能力。为满足此要求, 近年来有关规整填料结构改进的研究不断涌现^[3-5]。虽然有关研究已日趋成熟, 但现存的规整填料实验数据仍然难以为填料性能预测提供切实可行的数据模型。因此, 仍需要系统的实验研究来解释填料几何构型对填料性能的影响^[6]。本文研究了填料的流体力学及传质性能, 并对 BH 系列填料进行了对比实验研究。

1 实验部分

1.1 实验装置及方法

BH 型高效规整填料性能测试试验是在常温、常压下, 采用空气-水系统在 $\phi 500$ mm 的有机玻璃

塔中进行。实验装置主要包括填料塔、气液供给系统以及相应的温度、流量和压差等测量仪表。填料层高度为 1 m, 填料底部由填料支撑装置支撑。实验装置流程图见文献[2, 7]。流体力学性能由填料层的 U 型压差计测得。填料传质性能由溶氧仪测得^[7]。试验采用固定液体喷淋密度改变气速的方法进行。

试验测定了 BH 型波纹填料的流体力学性能, 并用氧解吸法测定了其传质性能。试验空塔气速范围为 $0.4 \sim 2.5$ m/s, 液相负荷范围为 $15 \sim 40$ m³/(m²·h)。

1.2 填料的几何特性参数

BH 系列规整填料的几何特性参数列于表 1。

表 1 规整填料的几何特性

Table 1 Geometrical features of the different BH packing materials

填料类型		比表面积/ m ² ·m ⁻³	倾角/ (°)	孔隙率/ m ³ ·m ⁻³	塔径/ mm
丝网波纹	BHS-Ⅲ(单层)	800	30~45	0.91	500
	BHS-Ⅳ(双层)	800	30~45	0.90	500
	BH1000(单层)	1000	30~45	0.85	500
	BH-1500(单层)	1500	30~45	0.81	500
	BH-2000(单层)	2000	30~45	0.79	500
板孔波纹	BH-250	250	30~45	0.97	500
	Melapac250X	250	30	0.97	160~1000
	Melapac250Y	250	45	0.97	160~1000

2 结果与讨论

2.1 BH 型高效填料特性

2.1.1 结构特性

填料性能主要取决于填料表面的润湿程度和气

收稿日期: 2007-05-09

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: 男, 1963 年生, 教授

* 通讯联系人

E-mail: cqlky2004@sina.com

液两相流体分布均匀程度。填料所提供的表面仅是几何表面,在气液传质过程中,用于进行气液传质的表面总比几何面积小,总有一部分填料表面积未被润湿,减少了气液有效接触的相界面,从而降低了传质效果。若想达到好的传质效果,必须使液体在整个填料表面充分润湿,形成均匀的液膜。

本文结合 X 型和 Y 型填料的优点,研究开发的 BH 型高效填料有效地解决了这一问题。与传统直线式波纹填料结构不同,BH 型高效填料采用折线式波纹结构(其波纹构型如图 1 所示),波纹线折角以 $30^\circ \sim 45^\circ \sim 30^\circ$ 的折线变化,折线连接处以圆角圆滑过渡。当流体沿波纹线流动时,在直线变化角度时,液体和气体受到了扰动,加大了湍动力度,增加了湍流强度,进而促进了液膜表面更新的机会^[6-8]。

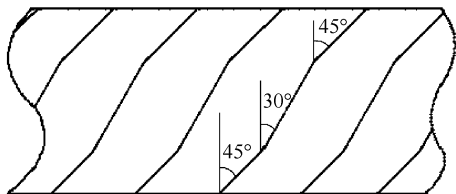


图 1 BH 高效填料网纹构型

Fig.1 Ripple structure of BH packing

2.1.2 表面处理特性

填料表面形成均匀的液膜是填料成为有效传递界面的首要条件。填料表面处理好坏对传质效率影响甚大^[8-9],而且对效率的影响是随负荷的降低而增大。对于像甘油、水等表面张力大的物系,液体往往以液珠形式存在,从填料表面迅速滚下,单靠丝网的毛细作用或填料表面的粗糙度就不能形成均匀良好的液膜,气液有效接触面积减小,传质效率降低。因此必须先了解物性与填料表面性质的关系,进而对填料进行表面处理。

本文采用特殊的物理的、化学的表面处理方法对填料表面进行了处理,使其对液体的亲和性大为增强,提高了液体在填料表面的成膜性能,增加了气、液接触面积,从而提高了填料的分离效率。

2.2 波纹填料性能对比

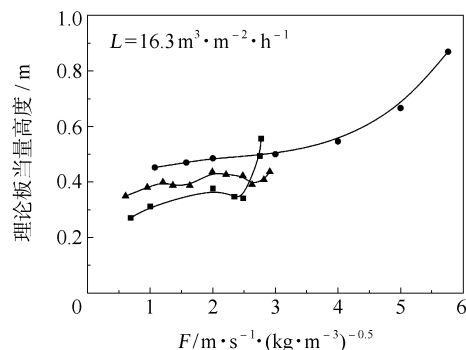
本文测定了 BH 系列填料在干塔及喷淋密度为 15, 20, 25, 30, 35, 35 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时的流体力学性能及传质性能,对实验结果进行处理后^[10-11],发现该系列填料流体力学及传质学性能曲线图趋势与普通规整填料性能曲线图一致^[6,12]。

文中对 BHS-III (单层)、BHS-IV (双层)、BH-

1000(单层)、BH-1500(单层)、BH-2000(单层)丝网波纹填料及 BH-250 板波纹填料进行了对比实验研究。

2.2.1 波纹倾角对填料性能的影响

为了研究填料波纹倾角对填料性能的影响,本文将 BH-250 型板波纹填料与苏尔寿 X-250 及 Y-250 型板波纹填料进行了对比(数据来自^[1])。结果见图 2 所示。为了便于比较,运用负荷因子与理论板当量高度(HETP)的关系来表示填料传质性能。



■ Mallapac250X; ● Mallapac250Y; ▲ BH250

图 2 波纹倾角对规整填料性能的影响

Fig.2 Effect of the corrugation angle on the mass transfer performance of the structured packings materials

从图 2 可以看出,具有折线式波纹结构的 BH 型填料的传质性能介于直线式波纹结构 30° 角与 45° 角填料之间。BH 填料在一定液相负荷范围内, F 因子对 HETP 影响不大,在泛点处传质效率突然增加,但是苏尔寿填料没有出现这一趋势,传质效率迅随 F 因子的增加迅速降低。

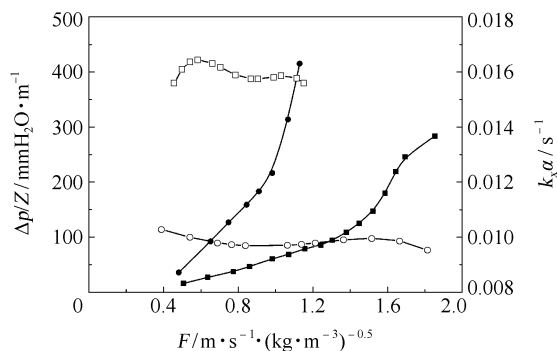
2.2.2 丝网层数对填料性能的影响

对 BHSIII 型单层丝网波纹填料及 BHSIV 型双层丝网波纹填料的性能进行了对比试验,试验结果见图 3 所示(液体喷淋密度 $L = 21.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)。图 3 中运用负荷因子与液相体积传质系数($k_x \alpha$)的关系来表示填料传质性能。由 3 图可以看出,双层丝网波纹填料传质性能明显优于单层丝网波纹填料,而传质性能的提高是以流体力学性能的降低为代价的。这主要是因为单位空间内双层填料密度大于单层填料,气液接触有效面积增大,因此传质能力增大。但塔内空间被双层丝网占据,流体通道减小,流体在塔内滞留,因此极易发生液泛。

2.2.3 比表面积对填料性能的影响

对 BH-1000、BH-1500 与 BH-2000 型不同比表面积丝网波纹填料的性能进行了测试。实验结果见

图 4 所示。由图可看出,随比表面积的增大填料传质性能增大,但是传质性能的增大以流体力学性能的降低为代价。

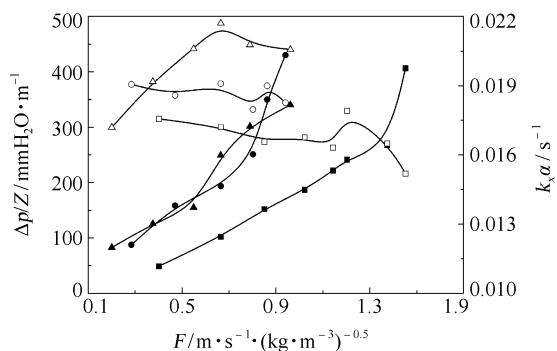


■ $\Delta p/Z$, 双层; ● $\Delta p/Z$, 单层; ○ $k_x \alpha$, 双层; □ $k_x \alpha$, 单层

图 3 丝网层数对填料性能的影响

Fig. 3 Effect of the metal mesh layer on the mass transfer performance of the structured packing materials

在一定负荷因子范围内,填料液相体积传质系数 $k_x \alpha$ 基本呈直线,到达液泛点处后,填料 $k_x \alpha$ 突然降低,填料层压降突然增大,传质性能增大,流体力学性能降低。这是因为在液泛点处,气液湍动加剧,汽液接触有效面积增大,传质性能增大。但填料层中滞料量急剧增加,液体流动空间减小,填料层压降急剧增大,此后曲线趋于平缓。



■ $\Delta p/Z$, BH-1000; ● $\Delta p/Z$, BH-1500; ▲ $\Delta p/Z$, BH-2000; □ $k_x \alpha$, BH-1000; ○ $k_x \alpha$, BH-1500; △ $k_x \alpha$, BH-2000

图 4 比表面对填料性能的影响

Fig. 4 Effect of specific surface area on the mass transfer performance of the structured packing materials

2.2.4 BH 系列填料综合性能比较

对 BH 系列填料综合性能进行了对比试验,试验结果见图 5、6。在图 5 中首先比较 BHS-Ⅲ、BH-1000、BH-1500、BH-2000 四种单层丝网波纹填料。在 $L = 25.73 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时,随着比表面积的增大,它们的分离效率逐渐增大;在 $L = 35.92 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$

时, BH-2000 的分离能力小于 BH-1500,说明 BH-2000 型填料不适合在大液量下操作。而 BHS-Ⅳ型填料与 BH-250 型填料比较适合在小液体流量下操作。综合来讲, BH-1500 丝网波纹填料的分离性能最优, BH-1000 丝网波纹填料的分离性能次之。

从图 6 可以看出: BH-1500、BH-2000 两种填料每块理论板压降相差不大,其压降值都比较大。BH-250 型金属板波纹填料的压降最低,结合分离能力综合分析,得到 BH-1000 丝网波纹填料性能最优。

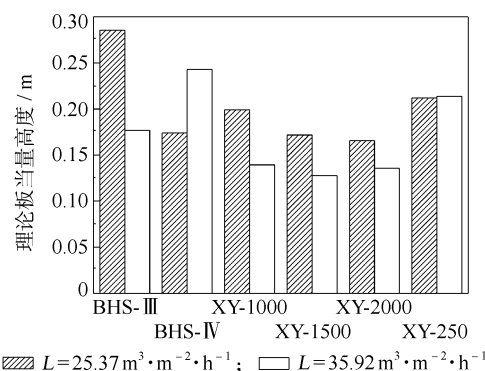


图 5 不同填料的液相体积传质系数 $k_x \alpha$ 的比较

Fig. 5 Comparison of mass transfer coefficient for different packing materials

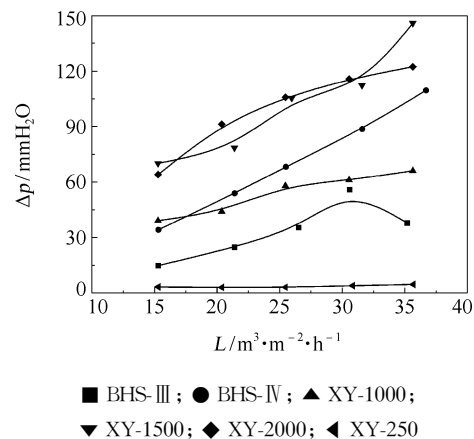


图 6 几种填料每块理论板压降的比较

($F = 0.8 \text{ m/s} (\text{kg/m}^3)^{0.5}$)

Fig. 6 Comparison of theoretical plate pressure drop for different packing materials ($F = 0.8 \text{ m/s} (\text{kg/m}^3)^{0.5}$)

3 结束语

BH 型新型高效填料独特的结构改进了汽液分布性能,增大了填料有效比表面积。折线式的丝网波纹构型使液体沿波纹线流动时容易形成流向变化,减薄边界层和形成表面更新,提高传质和分离效

率;特殊的表面处理方法改善了液体在填料表面的成膜性能。丝网表面经过特殊的表面粗糙化处理后,利于液体在填料表面成膜,提高了气液传质面积,从而提高了分离效率。

对 BH 系列填料的流体力学及传质学研究表明:通过对填料结构进行改进可以有效的提高填料的传质效率。然而传质效率的提高是以流体力学性能的恶化为代价的,因此还需要大量的实验研究来改进填料的结构,从而使填料的流体力学及传质学性能达到最优化。

参考文献:

- [1] 王树楹. 现代填料塔技术指南[M]. 北京: 中国石化出版社, 1998: 84.
- [2] 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): 619-650.
- [3] Billet R. Packed towers-in process and environmental technology[M]. New York: Weinheim, 1995.
- [4] Olujic' Z, Seibert A F, Kaibel B, et al. Performance characteristics of a new high capacity structured packing [J]. Chemical Engineering and Processing, 2003, 42: 55-60.
- [5] Fitz C W, Kunes J G, Shariat A. Performance of structured packing in a commercial scale column at pressures of 0.02 to 27.6 bar[J]. Ind Eng Chem Res, 1999, 38: 512-518.
- [6] 刘乃鸿. 工业新型规整填料应用手册[M]. 天津: 天津大学出版社, 1993.
- [7] 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.
- [8] 张泽廷, 王树楹, 余国琮. 填料塔传质模型的研究——二维混合池随机模型[J]. 化工学报, 1989, 40(1): 53-59.
- [9] Olujic Z, Jansen H, Kaibel B, et al. Stretching the capacity of structured packings[J]. Ind Eng Chem Res, 2001, 40: 6172-6180.
- [10] Sherwood T K. Absorption and Extraction[M]. New York: McGraw Hill, 1952: 289.
- [11] 王倩, 徐翠莲, 王双成, 等. 规整填料层压降的新关联[J]. 河南科学, 2006, 24(6): 877-880.
- [12] 吴西瑞, 唐忠利, 王广全, 等. 高压下高比表面积丝网规整填料传质性能的测试[J]. 化工学报, 2006, 57(11): 2582-2585.

Performance characteristics of a new high efficiency structured packing material

LI QunSheng TIAN YuanMing CHANG QiuLian

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

Abstract: The hydrodynamic and mass transfer performance of a series of novel corrugated web packing materials developed in our laboratory has been studied. The pressure drop and mass transfer efficiency for the different packing materials at various gas and liquid loads were measured with an air-water system in an organic glass tower with a diameter of 500mm. The influence of net structure, specific surface area, mesh layer and surface treatment technology on the packing performance was studied, in order to obtain data which will be useful in the design of future packing materials.

Key words: structured packing; geometric configurations; hydrodynamics; mass transfer performance