

# 新型均流填料塔的传质性能研究

陆锡满<sup>1</sup>, 周三平<sup>1</sup>, 晏 莱<sup>2</sup>

(1. 西安石油大学, 陕西 西安 710065; 2. 中国海洋石油工程股份有限公司, 天津 300072)

**摘要:**提出了一种新型均流填料塔设备,在 $\Phi 600$  mm的圆形冷模实验塔中,以空气-水-CO<sub>2</sub>为工质进行了CO<sub>2</sub>解吸试验,利用滴定法测定了多种气液负荷下新型均流填料塔的传质性能,并在相同工况下与鲍尔环填料塔进行了对比研究。试验结果表明:在试验喷淋密度下,新型均流填料塔与鲍尔环填料塔相比,液相传质单元高度降低了19%以上;随着喷淋密度的降低,液相传质单元高度降低更加显著。在正常操作范围内,新型均流填料塔的传质效率远高于鲍尔环填料塔,是一种传质性能优良的新型填料塔设备。

**关键词:**填料塔;传质单元高度;解吸实验

中图分类号:TQ053.5

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2010)01-0085-03

## Study on mass transfer features of a new type symmetrical-flow packed tower

LU Xi-man<sup>1</sup>, ZHOU San-ping<sup>1</sup>, YAN Lai<sup>2</sup>

(1. Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China; 2. Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300072, China)

**Abstract:** In this paper, a new type symmetrical-flow packed tower equipment is presented, a desorption stripping experiment using air-water-CO<sub>2</sub> as working substances is conducted in a  $\Phi 600$  mm circular cold-model experimental tower, the mass transfer capability of the new type symmetrical-flow packed tower is determined under different gas-liquid loads by using titration analysis, and the contrast test is carried out simultaneously in Pall rings packed tower under the same working conditions. The experimental results show that, under the experimental conditions, the height of transfer unit of the new type symmetrical-flow packed tower is decreased approximately by more than 19% compared with that of the Pall rings packed tower, the spray density and the height of transfer unit are lower also. Under the normal operating range, the mass transfer efficiency of the new type symmetrical-flow packed tower is much higher than that of the Pall rings packed tower, and it is a new type packed tower equipment with good mass transfer capability.

**Key words:** packed tower; unit height of transfer; desorption test

填料塔由于其具有效率高、压降低、通量大等优点而得到广泛的应用<sup>[1-2]</sup>,然而填料塔存在着2个大的难题,一个是“壁流效应”;另一个是“流体整体不均匀分布”,这2个难题一直制约着填料塔向前发展。填料塔内流体的流动分布对气液两相的有效接触和传质效率影响很大,由于流体分布不均匀造成填料塔内局部区域的气液比与全塔宏观的气液比有显著差别,从而大大降低了塔的总传质效率。长期以来,国内外诸多学者针对这2个难题做了大量的研究,同时也取得了一定的效果。包括巴塞尔大学物理学研究所所长W.库恩20世纪50年代发明的重水分离塔<sup>[3]</sup>;国内某些生产厂商在填料塔塔壁增加导流挡板或壁流擦子以及“S”状板波纹填料技术等<sup>[4]</sup>。这些措施在一定程度上减弱了“壁流效应”,

因此填料塔仍有很大的发展潜力。

笔者提出一种新型均流填料塔,它是将工业大塔用隔板将塔分割成若干的填料单元小格,每1个填料单元小格即相当于1个“微型小塔”。单元格尺寸为120 mm正方形,每段单元格的高度为500 mm(当然,单元格的优化尺寸有待进一步优化确定),上一层的单元格隔板交叉点对应下一单元格的中心。单元格内可以根据需要填充普通的填料,在此选用 $\Phi 25$  mm $\times$ 25 mm鲍尔环填料填充在单元格中。这种结构有效地隔断了填料内流体的径向大范围流动,流体自上而下流动过程中又能够重新均匀分配,从而能有效地减少壁流量,消除“放大效应”。并且塔内填料无需分段,使塔内件结构更加紧凑,节约了塔体空间,更好地发挥了填料塔所特有的流体力学

收稿日期:2009-08-05

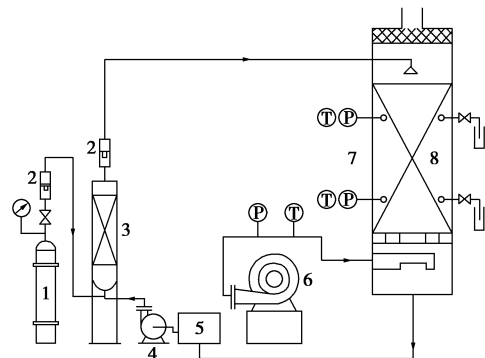
基金项目:陕西省教育厅资助项目(06JK203)

作者简介:陆锡满(1982-),男,硕士生, luximan@163.com;周三平(1966-),男,硕士,教授,主要从事化工机械与设备方面的研究,通讯联系人, 029-88382615, spzhou@xsyu.edu.cn。

性能和传质性能,为工业应用提供一个全新的传质模型。本文对新型均流填料塔的传质性能进行了系统的研究,并与未加单元格的鲍尔环填料塔进行对比研究。

## 1 试验装置及流程设计

新型均流填料塔的传质性能测试采用 CO<sub>2</sub> 解吸的方法,试验装置如图 1 所示。



1—CO<sub>2</sub> 钢瓶;2—转子流量计;3—吸收塔;4—水泵;  
5—水箱;6—风机;7—解吸塔;8—被测填料;

图 1 试验装置流程图

解吸塔为圆形有机玻璃塔,便于观察塔内气液流动和接触状况,塔径  $\Phi$  600 mm,填料层总高度 2 m,根据实验塔的大小,实验填料选用  $\Phi$  25 mm  $\times$  25 mm 的鲍尔环填料。

试验在填料塔冷模试验装置中进行,实验介质采用空气-水-CO<sub>2</sub> 系统。用水泵将水从水箱中抽出送到吸收塔底,与由 CO<sub>2</sub> 钢瓶来的 CO<sub>2</sub> 气体并流同时进入吸收塔中成为富含 CO<sub>2</sub> 水,经多孔液体分布器进入解吸塔,与由塔底来的空气进行传质,把水中的 CO<sub>2</sub> 解吸出来。

空气采用大功率的可调风机(风机转速可以由自动控制装置进行调节)输送,由管路先经过传感器测压及流量计测速后进入塔底,经气体分布器进入解吸塔。

## 2 测试方法及数据处理

目前测试填料塔传质性能的方法主要采用传质单元高度法和每米填料的理论级数。本实验是对 2 种填料塔传质性能的对比研究,采用传质单元高度法更为方便。液相传质单元高度  $H_{OL}$  是表征塔填料传质动力学的参数,传质单元高度越小,则填料的传质性能越好。

新型均流填料塔的传质性能测试采用固定喷淋

密度改变气速的方法进行,每个喷淋密度改变气速,测试被测填料传质单元高度在固定喷淋密度下随气速变化的关系。CO<sub>2</sub> 为难溶性气体,解吸操作属于物理过程,所以传质阻力集中于液相,传质速率可认为受液膜阻力控制。因此通过实验测出液体进出口的 CO<sub>2</sub> 浓度,即可计算出被测填料层高度所具有的传质单元数  $N_{OL}$  和传质单元高度  $H_{OL}$ 。

为了消除填料塔端效应,被测填料取样口距离上下端面各 500 mm,这样被测填料层有效高度  $Z = 1\ 000$  mm。为了使取样能够得到同一截面上的平均浓度,液体取样器设计成带有缺口的直管子,管子缺口长度为 500 mm,安装在实验塔中间部位。

由于被解吸的 CO<sub>2</sub> 水溶液浓度很低,属于稀溶液,气液平衡关系服从亨利定律  $Y^* = mX$ ,因此,可推导出液相传质单元数的计算式(1)<sup>[5]</sup>:

$$N_{OL} = \frac{x_2 - x_1}{[(x_2 - x_2^*) - (x_1 - x_1^*)] / \ln \frac{x_2 - x_2^*}{x_1 - x_1^*}} \quad (1)$$

式(1)中  $x_1^*$  为出口液相平衡 CO<sub>2</sub> 浓度(CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 摩尔分数); $x_2^*$  为进口液相平衡 CO<sub>2</sub> 浓度(CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 摩尔分数)。

由于水的进出口温度相差不大,空气中 CO<sub>2</sub> 含量很少且基本不变,所以进口液相平衡 CO<sub>2</sub> 浓度  $x_2^*$  和出口液相平衡 CO<sub>2</sub> 浓度  $x_1^*$  可认为是相等的。则式(1)可化成式(2):

$$N_{OL} = \ln \frac{x_2 - x^*}{x_1 - x^*} \quad (2)$$

由  $Z = H_{OL} N_{OL}$ (式中  $Z$  为填料高度, $H_{OL}$  为液相传质单元高度),在此被测填料高度  $Z = 1$  m,于是液相传质单元高度为:

$$H_{OL} = \frac{Z}{N_{OL}} = 1 / \ln \frac{x_2 - x^*}{x_1 - x^*} \quad (3)$$

式(3)中  $x^*$  可以通过查相关文献得到, $x_1, x_2$  通过酚酞指示剂滴定法测得。

为了消除试验过程中温度的影响以及便于 2 种填料塔的比较,将试验温度条件下的 ( $H_{OL}$ )<sub>*t*</sub> 值统一校正为 25℃ 条件下的  $H_{OL}$  值,根据文献[5]的校正公式如下:

$$H_{OL} = (H_{OL})_t \cdot e^{0.0234 \cdot (t-25)} \quad (4)$$

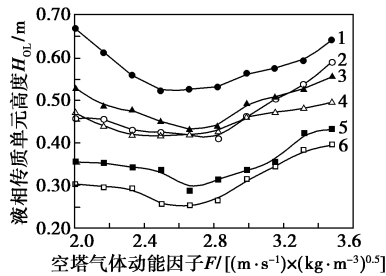
式(4)中  $t$  为试验条件下的液体温度(液体进出口平均温度,℃)。

$t_1, t_2$  通过温度传感器测量,填料塔的压降可以由压力传感器测量。测压和测温位置均与液体进出口取样位置在同一个横截面上。

### 3 试验结果及讨论

#### 3.1 液相传质单元高度

试验测得了喷淋密度  $L$  为  $23$ 、 $38$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  和  $54$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时新型均流填料塔和鲍尔环填料塔的液相传质单元高度  $H_{OL}$  (均校正为  $25^\circ\text{C}$  时的值)。然后将试验结果用 Origin 软件绘制了在不同喷淋密度下 2 种填料的液相传质单元高度  $H_{OL}$  与空塔气体动能因子  $F$  的关系曲线,如图 2 所示。



1—鲍尔环填料塔,  $L = 54$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ; 2—均流填料塔,  $L = 54$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ; 3—鲍尔环填料塔,  $L = 38$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ; 4—鲍尔环填料塔,  $L = 23$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ; 5—均流填料塔,  $L = 38$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ; 6—均流填料塔,  $L = 23$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

图 2 不同喷淋密度下液相传质单元高度  $H_{OL}$

从图 2 可以看出,在试验范围内,新型均流填料塔的传质单元高度为  $0.25 \sim 0.60$  m,鲍尔环填料塔的传质单元高度为  $0.42 \sim 0.70$  m,说明新型均流填料塔具有比鲍尔环填料塔更优良的传质性能。在低风速下两者的传质单元高度较高,原因是风速很小时,气液两相的有效接触面积也很小,传质效果较差;随着风速的逐渐增大,气液两相的有效传质接触面积也增大,传质单元高度明显降低,并达到 1 个最低点,即传质效率最高点;此时随着风速的不断增大,传质单元高度逐渐增大,即传质效率逐渐降低。这主要是因为风速的增大加剧了填料内气流的湍动,引起部分气流的短路,增大了流体间的摩擦阻力,影响了气液两相的正常传质接触。

相对于鲍尔环填料塔,低风速下新型均流填料塔的传质单元高度曲线相对较平缓,传质效率变化不大,原因是新型均流填料塔的填料隔板增加了流体的直流道,防止了流体径向的不规则流动,使流体分布更加均匀。

在正常的操作范围内,新型均流填料塔与鲍尔环填料塔的液相传质单元高度均随喷淋密度的增大而增加。显然,喷淋密度增大时,填料塔持液量增

加,填料的空隙中存在着大量的滞液,且液滴较大,阻碍了气液两相有效的传质接触面积,从而使得传质效率降低,传质单元高度增加。

#### 3.2 传质单元高度的对比研究

由图 2 中 3 种喷淋密度下的曲线可以看出,由于新型均流填料塔有效地隔断了填料内流体的径向流动,减少了壁流量,并且使流体在填料内分布更加均匀,增加了气液两相有效的传质接触面积,从而使传质效率在不同的喷淋密度下相比鲍尔环填料塔都有了很大的提高。在喷淋密度为  $23$ 、 $38$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  和  $54$   $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,新型均流填料塔的液相传质单元高度比鲍尔环填料塔分别降低了约 30%、22% 和 19%。可见,在试验喷淋密度范围内,新型均流填料塔的传质效率提高非常明显,且随着喷淋密度的降低,传质效率更高。

### 4 结语

采用  $\text{CO}_2$  解吸的方法对新型均流填料塔和鲍尔环填料塔的传质性能进行了测试,并计算出各自的液相传质单元高度  $H_{OL}$ ,通过对比研究,得出以下结论:①在低气体负荷与高气体负荷下,2 种填料塔的传质效率较低,而中间为 1 个高效区,存在传质效率最高点。②新型均流填料塔的液相传质单元高度比鲍尔环填料塔降低 19% 以上。③在正常的操作范围内,与鲍尔环填料塔相比,新型均流填料塔随着喷淋密度的降低,传质单元高度更低,即传质效率更高。

综上所述,新型均流填料塔的传质效率远高于鲍尔环填料塔,是一种传质性能优良的新型填料塔,可以为填料塔的放大和工业应用提供一个全新的传质模型。

(致谢:黄凯和高海浪参与了本次试验,在此对 2 位同学表示衷心的感谢。)

#### 参考文献

- [1] 袁孝竟,余国琮. 填料塔技术的现状与展望[J]. 化学工程, 1995, 23(3): 5-14.
- [2] Billet R. 填料塔[M]. 魏建华,译. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [3] Baertsch P, Kuhn W. Proceedings of the first International Conference on the Peaceful use of Atomic Energy[J]. Genevese, 1955, 8: 927.
- [4] 王树楹. 现代填料塔技术指南[M]. 北京: 中国石化出版社, 1998.
- [5] 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. ■