

倒锥形填料筐精馏塔板的性能研究

董群¹, 李春红¹, 吴比², 孙征¹, 梅春林¹

(1. 大庆石油学院化学化工学院, 黑龙江 大庆 163318;

2. 中国石油四川石化有限责任公司, 四川 成都 610036)

摘要:提出了一种新型高效塔板——倒锥形填料筐新型精馏塔板(RTPLT),在冷模塔内对该塔板的流体力学性能和塔内液体停留时间分布情况进行了研究。由实验数据关联得到了干板压降、湿板压降和漏液率的经验式。结果表明:RTPLT具有塔板压降低、雾沫夹带小、处理能力大等优点,其塔内液体停留时间分布的主要因素是液体流量。

关键词:倒锥形填料筐;精馏塔板;流体力学性能;液体停留时间分布

中图分类号:TQ028.31;TQ053.5

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2010)03-0077-04

A study on properties of reverse taper packing layer distillation tray

DONG Qun¹, LI Chun-hong¹, WU Bi², SUN Zheng¹, MEI Chun-lin¹

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China;

2. Sichuan Petrochemical Co., Ltd., PetroChina, Chengdu 610036, China)

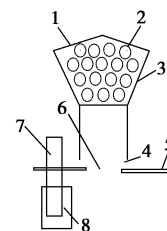
Abstract: The hydrodynamic performance and the liquid resident time distribution (RTD) of a new compound reverse taper packing layer distillation tray (RTPLT) is studied in a $\Phi 40$ mm column with air-water system. A correlation for dry plate pressure drop, wet plate pressure drop and leakage rate is obtained in a single cap of this distillation tray under various gas and liquid loads for industrial design. The experimental results show that RTPLT has good performance such as: lower plate pressure drop, lower entrainment and larger operating range. Liquid flow is the main influence factor on RTD of RTPLT.

Key words: reverse taper packing layer; distillation tray; hydrodynamic performance; liquid resident time distribution

泡罩板式塔的发展已经有很长的历史,其特点是液相连续、气相分散,气液接触传质区域集中在塔板上的泡沫层中。新型立体垂直筛板是由日本三井造船公司于1963—1968年开发的一种并流喷射塔板。由于其气相连续、液相分散,具有处理能力大、压降低等优点,很快被应用到化工生产领域中^[1]。国内多家机构对该塔板进行了研究,纷纷提出了改进型塔板,而且在工业应用方面也取得了显著成效^[2-4]。笔者在分析了现有文献及多年研究成果的基础上提出了一种新型喷射塔板——倒锥形填料筐精馏塔板,对其进行了系统的实验研究,并与新型垂直筛板塔进行了对比,以便为以后继续研究及工业放大应用提供参考。

1 塔板的结构及原理

笔者提出的新型塔板如图1所示,在塔板上开设圆形升气孔,并在升气孔上方安放帽罩,帽罩上半



1—顶盖;2—填料;3—填料筐;4—底隙;5—塔板;6—升气孔;
7—降液管;8—液封槽

图1 新型塔板结构图

部分的倒锥形框架内装有规整填料,填料筐的倒锥形设计可以减小气体通过填料层的速度,有利于气液进行充分接触,提高传质效率,并且减小了压降;填料筐上安装锥形顶盖,锥形顶盖对气液混合物有导向作用;帽罩下半部分为圆形升气筒,升气筒下部开有底隙,以便流体通过。正常操作时,板上液体在静压的作用下由底隙进入罩内,经下层塔板上升的由板孔缩流加速后的高速气体冲击,提拉成膜并被

收稿日期:2009-11-02;修回日期:2010-01-26

作者简介:董群(1953-),男,大学,教授,主要从事轻烃加工利用方向的研究工作,qundong@tom.com;李春红(1984-),女,硕士生,研究方向为石油与天然气加工,通讯联系人,0459-6504025,lichunhong6050311@126.com。

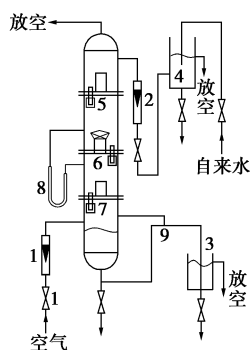
破碎成细小液滴,这些液滴分散悬浮在气流中,经过升气筒后沿截面积逐渐扩大的规整填料层内的通道并流向上,相间接触面积亦随之逐渐扩大并不断地更新,此时气液混合物速度有所下降,充分接触后,形成更为细小的液滴,部分经填料层后由向外倾斜的填料层筐壁喷出,大部分上升至锥形罩顶碰撞返回后经向外倾斜的填料筐壁以一定角度斜向下喷出,使大部分液体离开帽罩时就具有向下的初速度,这样液滴就很难被带到上层塔板,可大大减小雾沫夹带,气体上升至上层塔板,液滴回落到原塔板进入下一次循环。

2 流体力学性能试验

2.1 试验装置及流程

实验在 $\phi 40 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ 有机玻璃实验塔内进行,可以方便地观察塔板上的气液接触情况,此塔共设有3块塔板:气体分布板、实验板和液体分布板。实验装置流程如图2所示,采用空气—水作为测试物系。自来水首先经高位槽稳压,再由液体转子流量计计量后从塔顶注入,由于重力的作用,自上而下依次流过3块塔板,最后从塔底流入液封区。空气从压缩机出来经净化、稳压由气体转子流量计计量后进入塔底,在压强差的作用下不断上升,依次通过3块塔板,最终在塔顶放空。气液两相在各层塔板上充分接触、并流喷射、传质。其中,中间层塔构件是实验板,上、下两层分别是液体分布板和气体分布板。连通器是塔釜液位控制器,当塔釜液位高于连通器时,塔釜液体自动流入液封槽后排出。塔釜液位控制器可有效保证气体不从塔底排出,使塔底液面稳定。实验时塔板上的板上清液层高度与板上溢流管高度保持一致,板上清液层高度增加时,板上的液体将通过溢流管流入溢出液体收集器,直至板上清液层高度与溢流管的高度保持一致。塔板上喷出的液体通过管路流入喷出液体收集器。溢出液体收集器和喷出液体收集器的压力与塔

内的压力保持一致,具有压力平衡器的作用。



1,2—转子流量计;3—塔体溢出液体收集器;4—高位槽;
5—液体分布板;6—实验板;7—气体分布板;8—U管压差计;
9—连通器

图2 塔板流体力学性能测试实验装置
工艺流程图

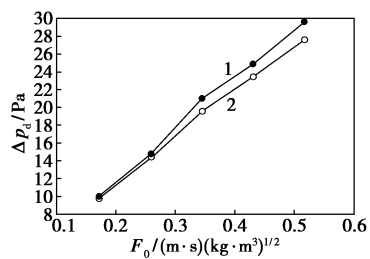
2.2 试验结果与讨论

2.2.1 干板压降

干板压降是由于气体通过板孔和帽罩时收缩、膨胀以及在帽罩内改变方向而引起能量损失。将实验所测得的数据(见图3)进行关联,结果见式(1):

$$\Delta p_d = 2.75 F_0^2 \quad (1)$$

式(1)中, Δp_d 为干板压降(Pa); F_0 为阀孔动能因子 [$(\text{m/s})(\text{kg/m}^3)^{1/2}$]。式(1)计算值与实验数据的相对误差为 $\pm 6\%$ 。



1—NVST;2—RTPLT

图3 RTPLT和NVST的干板压降

由图3还可看出RTPLT和NVST的干板压降相差不大,说明RTPLT的干板压降没有因填料层的

(上接第76页)

又会与氢气发生反应,造成氢产率下降;水碳摩尔比的增加有利于甲烷蒸汽转化、水重整及一氧化碳变换反应,但过高的水碳摩尔比会增加蒸汽的消耗,造成经济上的不合理。

(3)柴油热裂解生成甲烷可作为柴油重整制氢的预反应,该反应可在反应器外的预热过程中发生,并有助于柴油制氢过程。

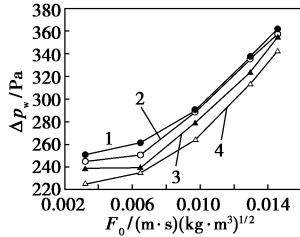
参考文献

- [1] Inyong Kang, Joongmyeon Bae. Autothermal reforming study of diesel for fuel cell application[J]. Journal of Power Sources, 2006, 159(2): 1283-1290.
- [2] Mundschau M V, Burk Christopher G. Diesel fuel reforming using catalytic membrane reactors[J]. Catalysis Today, 2008, 136(3/4): 190-205.
- [3] 陈五平. 无机化工工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1979. ■

装入而增加很多。

2.2.2 湿板压降

固定几何尺寸及催化剂形式,影响湿板压降的主要因素为气体的流量、板上清液层高度。实验分别对它们的影响进行了研究,实验结果标绘于图4。



1—NVST, $H_c = 32$ mm; 2—RTPLT, $H_c = 32$ mm;
3—RTPLT, $H_c = 28$ mm; 4—RTPLT, $H_c = 24$ mm

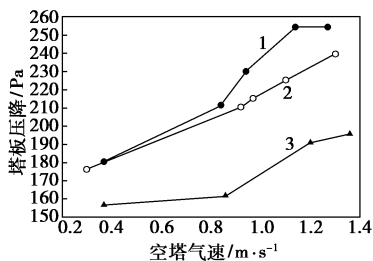
图4 RTPLT 和 NVST 的湿板压降

从图4可以看出,随着清液层高度的增加,RT-PLT 的湿板压降也随之增加;在板上清液层高度相同时,RTPLT 和 NVST 的压降差别并不明显。对实验数据进行回归得:

$$\Delta p_w = 2.85 F_0^{0.87} \times H_c^{0.5} \quad (2)$$

式(2)中, Δp_w 为湿板压降(Pa); H_c 为板上清液层高度(mm)。

实验还测得了塔构件湿板压降与不同形状催化剂的变化曲线,如图5所示。由图5可以看出,采用空心条状催化剂时的塔板压降最低。这是由于此种催化剂的孔隙率大,气体通过催化剂床层的阻力相对较小,损失的能量小。由于球形催化剂和实心条状催化剂的床层空隙较小,气体通过床层的阻力变大,塔板压降大。



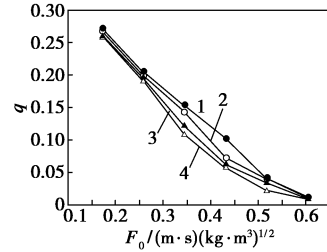
1—条状实心催化剂;2—球形催化剂;3—拉西环

图5 催化剂形状对 RTPLT 湿板压降的影响

2.2.3 漏液

在正常操作工况下,塔板上的液体通过降液管逐板流动,只有少量的液体可能在低气速时从塔板的升气孔中漏下,显然漏下的这部分液体将造成液相的轴向返混,导致塔板效率降低。塔板漏液与气液相负荷及堰高等因素有关,不同液流强度下新型

塔板的漏液率见图6。



液体流量/ $m^3 \cdot h^{-1}$: 1—0.00648; 2—0.00971;
3—0.01295; 4—0.01619

图6 RTPLT 的漏液率

对实验所得到的数据进行回归,可以得到以下公式:

$$q = 4.1 \times 10^2 F_0^{-3.2} L^{0.22} \quad (3)$$

式(3)中 q 为漏液率; L 为液体流量(m^3/h)。由式(3)所得的计算值与实验值的相对误差在 $\pm 10\%$ 以内。

2.2.4 雾沫夹带

雾沫夹带是决定塔板操作上限的重要性能指标,新型倒锥形填料筐精馏塔板的雾沫夹带率实验结果见表1。

表1 气速与雾沫夹带的关系

气体流量/ $m^3 \cdot h^{-1}$	1.00	1.07	1.08	1.10	1.14
雾沫夹带量/ $g \cdot s^{-1}$	0.002	0.003	0.004	0.004	0.007

由表1可知,与其他带降液管的板式塔一样,雾沫夹带随着气速的增大而增加,但雾沫夹带量比一般板式塔小,试验中始终未发现明显的雾沫夹带,因此气速上限不是受雾沫夹带控制,而是由气体从帽体底隙吹出,致使液体不能进入罩体,气液传质恶化这一条件控制。

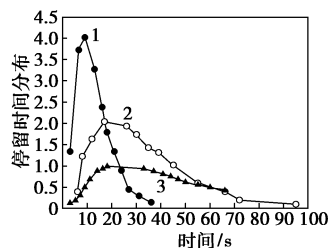
此外,随着液流强度的增加,雾沫夹带量增加,但这种变化不是很明显,尤其在低气速时液流强度几乎不对雾沫夹带产生影响,这主要是由于液流强度的增加对于板上清液层高度的影响不是十分明显的缘故。

3 液体停留时间分布的研究

液体停留时间分布对于建立反应器流动模型具有重要意义。通过液体停留时间分布的考察可以分析其工况,提供改进操作性能的有用信息。例如可通过停留时间分布的测定来检查反应器是否存在死区或短路现象。在反应器的设计中,可以通过冷模试验测定不同型式反应器在不同工况下的停留时间分布,为反应器的操作条件的优化提供依据^[5-6]。

3.1 液体流量对停留时间的影响

液体流量对停留时间的影响见图7。



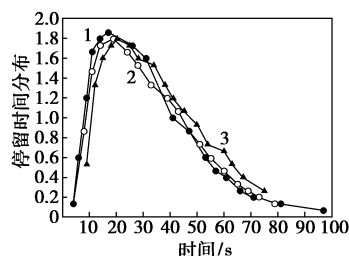
液体流量/ $L \cdot h^{-1}$: 1—0.38; 2—0.26; 3—0.16

图7 液体流量对平均停留时间的影响

从图7可以看出,当液体流量较小时停留时间曲线分布较宽、峰高较矮;随着液体流量的增大,出峰时间略有提前,且峰宽变窄,峰高变高。

3.2 气体流量对停留时间的影响

不同气体流量对液体停留时间的影响见图8。



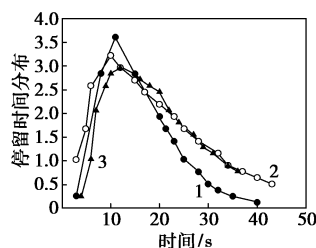
气体流量/ $L \cdot h^{-1}$: 1—1.03; 2—0.60; 3—0.34

图8 气体流量对液体停留时间的影响

从图8可以看出,增大气体流量使得液体停留时间出峰有所提前,但影响不是很大,说明继续加大气体流量对液体停留时间影响甚微。

3.3 不同形状催化剂对液体停留时间的影响

不同形状催化剂对液体平均停留时间的影响如图9所示。



1—空心条状催化剂; 2—球形催化剂; 3—实心条状催化剂

图9 催化剂形状对液体停留时间分布的影响

由图9中可以明显看出:拉西环作催化剂时,反应器内液体停留时间最长,其次是球形和实心条状催化剂。反应器内反应物料停留时间的长短与化学反应进行的完全程度密切相关,时间越长,反应进行的越完全。可见,研究不同形状催化剂对液体平均停留时间的影响对选择催化精馏反应器内的催化剂有重要意义。

4 结语

(1)倒锥形填料筐精馏塔板成功地将传统塔板与填料结合在一起,使得塔板上空间得到有效利用,通过填料筐的倒锥形特有设计,使得气液在填料塔内传质更为充分,压降更低。所以该塔板不仅具有原有一般塔板的效率高、通量大等优点,还具有压降低,雾沫夹带很小等突出优点。

(2)对倒锥形填料筐精馏塔板进行了流体力学性能的实验,由实验数据关联得出了该塔板的干板压降、湿板压降、漏液和雾沫夹带在正常操作范围内的经验式。

(3)倒锥形填料筐精馏塔板具有结构灵活的特点,可根据工况和物系的要求选择不同型号和材质的填料。

(4)液体停留时间分布受气速影响较小,液体流量是影响液体停留时间的主导因素。对于不同形状的催化剂,空心条状催化剂的停留时间最短。

参考文献

- [1] Lan Renshui, Gao Changbao, Wang Shuying. Study on jet coflow packing tray[J]. Chinese J Chem Eng, 2002, 10(5): 535-538.
- [2] 刘继东, 吕建华, 张竞平, 等. 新型立体传质塔板及其流体力学性能[J]. 化工学报, 2005, 56(6): 1144-1149.
- [3] 孙兰义, 李军. 半椭圆固定阀塔板性能研究[J]. 化工进展, 2007, 26(6): 878-881.
- [4] 孙兰义, 唐正强, 李军. EJT喷射塔板实验研究[J]. 石油化工设备, 2008, 37(3): 5-9.
- [5] Choi Byung S, Wan Bin, Philyaw Susan, et al. Residence time distributions in a stirred tank: Comparison of CFD predictions with experiment[J]. Ind Eng Chem Res, 2004, 43: 6548-6556.
- [6] Sun Qin, Yang A-san, Cheng Rong, et al. Experimental study of the liquid residence time distributions in gas-liquid impinging stream process[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2005, 33(2): 158-162. ■

您想了解粉体加工技术及相关行业信息吗?

请浏览 中国粉体工业信息网 www.chinapowder.cn

粉碎 分级 纳米颗粒制备 混合 分散 改性 造粒 干燥 烧结 散料输送 储存 粉体检测 粉尘爆炸控制等

010-62772725 62772135(Fax)

清华大学材料系逸夫技术科学楼 2713 室