

# 一种耦合 CTST 的新型槽盘式液体分布器性能研究

李春利<sup>1,2\*</sup>, 闫磊<sup>1</sup>, 董立会<sup>1</sup>, 马帅明<sup>1</sup>, 姜挺<sup>1</sup>

(1.河北工业大学化工学院, 天津 300130;

2.河北工业大学化工节能过程集成与资源利用国家地方联合工程实验室, 天津 300130)

**摘要:**针对传统分布器普遍存在大量占用塔内有效体积、截面内液体浓度分布差异等问题,设计制造一种兼具传质功能的新槽盘式液体分布器。搭建了一套直径为 580 mm 有机玻璃塔测试系统,以空气-水系统对该分布器进行了分布性能测试。结果表明,气液两相在升气罩内充分接触,实现传质过程,有效利用塔内空间;板上收集的液体混合均匀,有效消除浓度差异问题;经过对性能测试结果评价,该新型槽盘式液体分布器分布性能为优,确保了液体均匀分布。

**关键词:**液体分布器;分布性能;传质;浓度差异;槽盘式

**中图分类号:**TQ028.13

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2017)07-0163-03

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.07.039

## Performance of a new groove-tray liquid distribution coupling CTST

LI Chun-li<sup>1,2\*</sup>, YAN Lei<sup>1</sup>, DONG Li-hui<sup>1</sup>, MA Shuai-ming<sup>1</sup>, JIANG Ting<sup>1</sup>

(1.School of Chemical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

2.National-Local Joint Engineering Laboratory for Energy Conservation of Chemical Process Integration and Resources Utilization, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

**Abstract:** A new type of groove-tray liquid distributor with mass transfer function is designed and manufactured in order to solve the problem that the traditional distributor occupies large effective volume in the column and causes inhomogeneous distribution of liquid concentration in the cross section. A 580 mm diameter organic glass column is manufactured to test the distribution performance of the new distributor by means of air-water mixture. The results show that the gas phase and the liquid phase contact sufficiently each other in the hood to realize the mass transfer process and make full use of space inside the column. The liquid collected on the plate is mixed evenly to eliminate the concentration difference available. The evaluating results of performance test prove the superiority of this new liquid distributor, which ensure uniform distribution of liquid.

**Key words:** liquid distributor; distribution performance; mass transfer; concentration difference; groove-tray distributor

作为化学工业传质、分离的重要基础设施,填料塔是以塔内的填料作为气液两相接触构件的传质设备。气液两相沿塔截面的均匀分布是高效传质,组分在有效程内得以分离的保证<sup>[1]</sup>。为避免液体的不良分布,保证分布均匀性,塔内需设置液体分布器和再分布器。分布质量的好坏显著影响着填料分离效率和塔的操作弹性。因此,液体分布器与再分布器是极为重要的填料塔内件<sup>[1-3]</sup>。

作为承接上下两段填料的液体再分布器,同时起到收集、再分布的作用,及时更正由于填料自身性能造成的壁流、偏流、沟流等引起的塔截面上的浓度差异<sup>[4]</sup>。

分布器型式众多,结构各异,因此优点不一而同。按推动力分为压力型和重力型;按流出方式分

为孔流、堰流、导管流和导液板上的薄膜流等;按结构形制分为管式、槽式、盘式。

盘式分布器应用广泛,布液盘上设有布液孔和升气管道,气体从升气管上升;同时液体经布液孔进行均布。根据升气管不同又分为孔盘式和槽盘式 2 种<sup>[1,5]</sup>。传统分布器在设计时气液分流,追求低压降。分布器普遍存在大量占用塔内有效体积、截面内液体流动不均匀引起的浓度分布差异、液面高度落差等问题<sup>[1,6]</sup>。

本文中结合河北工业大学开发的高效立体传质塔板(CTST)大流量、低压降、高效能的特点,设计了新型液体分布器。截面上以气液混合过程来消除液体浓度差异、液面高度落差的问题,同时传质过程有效利用了塔内体积<sup>[7-10]</sup>。

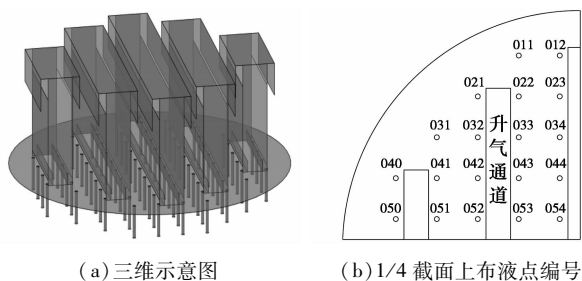
收稿日期:2016-12-24;修回日期:2017-05-08

基金项目:河北省重点研发计划项目(16964502D);河北省应用基础研究计划重点基础研究项目(16214505D)

作者简介:李春利(1963-),男,博士,教授,主要从事化工系统工程研究,通讯联系人,022-60204303,ctstlcl@163.com。

## 1 新型液体分布器

图 1 为新型液体分布器,高度 200 mm。气体穿过板上的矩形升气通道上升,高速通过的气体在帽罩内和液体接触;来自上层填料段的液体在板上富集,形成一定高度液层;通过预留底隙,液体被气体提升到帽罩空间,并进一步提升、拉膜、破碎,气液两相充分接触,强化了传质过程<sup>[10]</sup>;液体通过布液点匀布后由导液管进入下一填料段。该分布器通过在帽罩空间内气液混合的方式消除了截面上液体浓度差异、液面高度落差;兼具传质效果,实现塔内空间的最大化利用。本文中利用搭建的测试系统对该液体分布器的性能进行了测试。

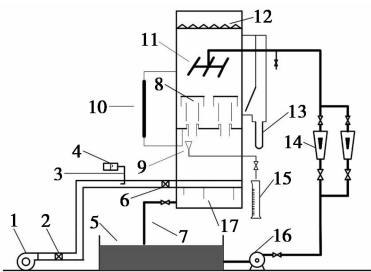


(a) 三维示意图 (b) 1/4 截面上布液点编号  
图 1 新型液体分布器

## 2 实验

### 2.1 实验系统

如图 2 所示,分布器性能测试系统主要包括供水系统、通风系统、计量部分、分布器等几部分。打开风机,调节蝶阀开度,观察连接皮托管的微压计示数到设定大小;稳定一段时间后开启离心泵,将循环水箱中的水提升至直径 580 mm 冷膜塔塔顶;先经排管分布器预分布;然后经分布器分散后,返回水箱;水量大小由阀门和流量计控制、显示;保证分布器安装的水平。



1—风机;2、6—蝶阀;3—皮托管;4—补偿式微压计;  
5—循环水箱;7—回水管;8—分布器;9—接液计量装置;  
10—液位计;11—排管分布器;12—除沫器;13—U 型压差计;  
14—大小量程流量计;15—量筒;16—离心泵;17—环形分布器

图 2 测试系统实验装置图

### 2.2 实验方法

实验安排空塔气速  $U$  分别为 1.0、1.2、1.5 m/s 3 个工况下的流体力学实验研究。实验开始前,先打开风机,调节蝶阀开度到所需气速;稳定一段时间后,打开循环水泵,调节阀门,从小到大依次观察各个液体流量下的板上液层高度、压降,待稳定后,计时接液计量,并记录上述各测量值。

### 2.3 数据处理

对于布液点数量少的分布器可以将每个布液点当作一个分布点,以此判断分布器性能的好坏<sup>[11]</sup>。本文中以每个布液点为一个分布点进行实验。

#### 2.3.1 分布点流率

实验中采取累积法,即在定量计量时间内接取经各分布点流出的液体并计算流率大小,则:

$$l_{ij} = w/t$$

式中,  $l_{ij}$  表示各分布点流率, kg/h;  $ij$  代表各分布点位置;  $w$  为计量时间内液体累计量, kg;  $t$  为计量时间, h。

#### 2.3.2 相对偏差

采用统计学中偏差的概念,对各分布点流出均匀性进行评估,平均流率为:

$$l_a = \sum_{i=1}^n l_{ij}$$

式中,  $l_a$  表示平均流率, kg/h;  $l_{ij}$  表示各布液点流率, kg/h。

用相对偏差来表示各分布点流率与平均流率偏差量的相对大小,则:

$$\Delta l = (l_{ij} - l_a) / l_a$$

以相对偏差绝对值  $|\Delta l|$  作为各分布点流率均匀与否的判断标准,其中:  $|\Delta l| \leq 4\%$ , 分布均匀性性能优;  $4\% < |\Delta l| \leq 6\%$ , 分布均匀性性能良;  $6\% < |\Delta l| \leq 10\%$ , 分布均匀性性能中;  $|\Delta l| \geq 10\%$ , 分布均匀性性能差。

## 3 结果与讨论

### 3.1 分布点流率

图 3 为本文中设计的新型槽盘式分布器各分布点流率。在 3 种工况(空塔气速  $U$  分别为 1.0、1.2、1.5 m/s)下的各分布点流率如图 3 所示。除个别分布点流率因为测量手段偏差较大外,各喷淋密度下的各分布点流率较为均匀。

同一工况对比不同喷淋密度下各布液孔流率,可以发现,随着喷淋密度增大,各布液孔流率差值减小,分布趋于均匀。这是因为随着喷淋密度增大,液层高度升高,气液在帽罩空间内混合加剧,受下落液

滴冲击的影响逐渐变小,液层高度差异变小。

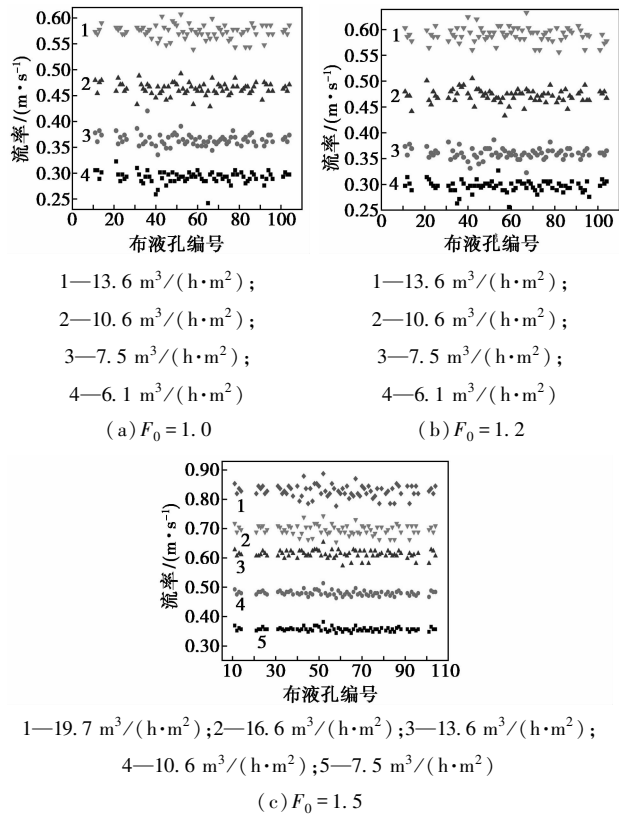


图3 各工况下布液孔流率

对比3种工况相同喷淋密度下的各分布点流率分布,可以发现,随着空塔气速的增大,各分布点流率趋于均匀;相同喷淋密度下液层高度随空塔气速增大而升高。这是因为随着空塔气速增大,分布器

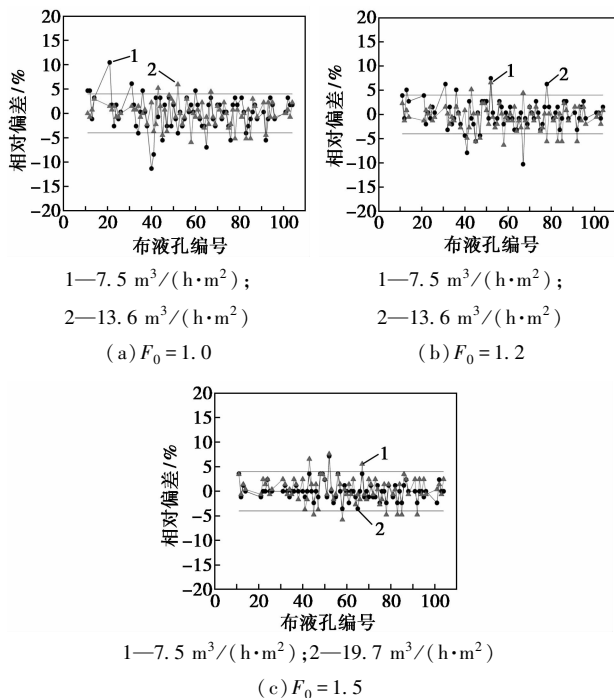


图4 不同喷淋密度下布液孔流率偏差对比

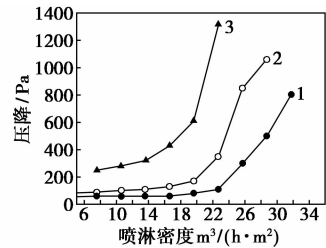
压降增大,液层高度升高,截面上液体湍动增大,液体经过各布液孔时能量损失增大,液层高度升高,各分布点流率趋于一致。

### 3.2 相对偏差

图4为对比3种不同工况(空塔气速  $U$  分别为 1.0、1.2、1.5 m/s)时2种喷淋密度下的各分布点流率相对偏差。各分布点流率的相对偏差超过6%的很少,绝大部分都在4%以内,说明分布器性能优异。

### 3.3 操作压降

图5为3种不同工况(空塔气速  $U$  分别为 1.0、1.2、1.5 m/s)时随喷淋密度增大分布器压降的变化情况。压降产生的主要原因是对部分液体的提升作用。通过底隙,液体被气体提升到帽罩空间内混合、破碎,气液两相充分接触,实现在立体空间内的传质过程,这是CTST塔板的主要特点。



1— $F_0 = 1.0$ ; 2— $F_0 = 1.2$ ; 3— $F_0 = 1.5$

图5 喷淋密度对分布器压降的影响

因为考虑到传质过程中的气液接触,则需按板式塔设计过程对分布器进行水力学校核。故而升气孔开孔率在15%左右,远小于设计要求,从而造成压降相较于传统分布器较高。但是这种新型分布器起到气液收集、分布的同时兼具传质效果,综合利用了塔内的有效空间。在常压精馏或者加压精馏等对压降不敏感的组分分离过程中,能实现塔内空间的最大化利用。

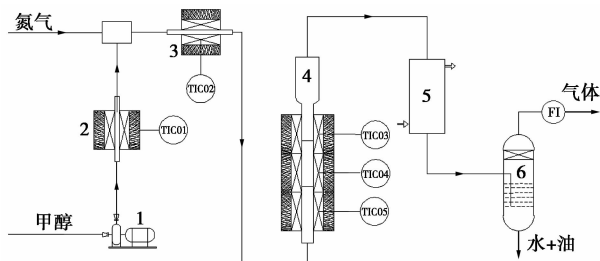
## 4 结论

(1)针对传统分布器普遍存在大量占用塔内有效体积、截面内液体浓度分布差异、液面高度落差等问题,设计出兼具传质能力的新型液体分布器。该分布器通过在升气罩内气液混合方式消除上述传统分布器所存在的问题;该分布器在起到气液收集、分布的同时兼具传质效果,综合利用了塔内的有效空间。

(2)搭建了一套直径为580 mm有机玻璃塔测

(下转第167页)

工艺流程如图1所示。甲醇经高压恒流泵连续进料,进入气化器内预热并气化成为甲醇蒸气,再经过热器过热后,通过气体分布器进入流化床反应器内,在催化剂作用下发生反应。反应后的产物经冷凝器冷却后分为气相和液相。气相产物经计量后收集检测分析组成;液相油水混合物收集,待静置经分液漏斗分离后分别称重计量。甲醇预热、气化和过热及反应器的控温分别由自控电加热器独立完成。



1—泵;2—预热器;3—过热器;4—反应器;5—冷凝器;6—分离器

图1 MTG流化床小试装置

## 1.2 检测方法

液体产物主要是水和油,生成量均用称重法。用安捷伦 GC-7820 气相色谱仪[FID检测器和 HP-PONA(50 m×0.25 mm×0.5 μm)毛细管柱]分析汽油组成及含量,用上海天美 GC-7900 气相色谱仪[TCD检测器和 GDX-104(Φ3×2 m)填充色谱柱]进行水浓度及水中甲醇含量分析。

气相产物生成量用煤气表计量,其成分用上海天美 GC-7900 气相色谱仪[FID检测器和 KB-

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(50 m×0.53 mm×15.0 μm)毛细管柱]进行测定。

## 2 结果与讨论

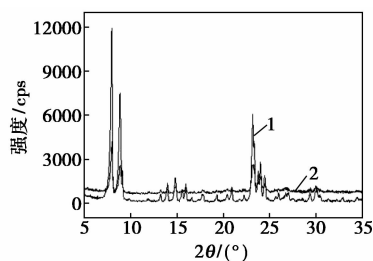
### 2.1 催化剂的表征

#### 2.1.1 粒径分布测试结果

流化床反应器所用催化剂要求粒径分布窄,大小适宜。本实验用标准筛对催化剂进行粒径分布测试,测试结果为催化剂 a 100~200 目占 72.9%,催化剂 b 100~200 目占 84.71%,选 100~200 目催化剂用于实验。

#### 2.1.2 X射线衍射仪分析结果

用 X 射线衍射仪(日本 Rigaku D/max-2004 型)对催化剂进行结构分析,如图 2 所示,在 2θ=7°~25°之间都出现了 ZSM-5 分子筛的特征五指峰,表明 2 种催化剂都保持典型的 MFI 型拓扑结构<sup>[14]</sup>。催化剂 a 表现出较强的衍射峰,相对结晶度较高,活性高。



1—催化剂 a;2—催化剂 b

图2 HZSM-5 催化剂的 XRD 谱图

(上接第 165 页)

试系统,以空气-水系统对该分布器进行了分布性能测试。评价结果表明,除个别分布点流率偏差较大之外,大部分分布点流率相对偏差在 4% 以内,分布器性能为优。

(3)在常压精馏或者加压精馏等对压降不敏感组分分离过程中,该新型液体分布器因特有的传质功能,能实现塔内空间的最大化利用。

## 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.  
[2] 刘乃鸿.工业塔新型规整填料应用手册[M].天津:天津大学出版社,1993.  
[3] Yin F, Wang Z, Afacan A, et al. Experimental studies of liquid flow maldistribution in a random packed column [J]. The Canadian

Journal of Chemical Engineering, 2000, 78(3): 449-457.

[4] 安海静.大型填料塔槽式液体分布器的实验研究与流体力学模拟计算[D].天津:天津大学,2003.  
[5] 包春风,许保云,艾波,等.结构型槽盘式液体分布器性能研究[J].化学工程,2016,44(4):54-58.  
[6] 于洪峰,李鑫钢,李洪.孔盘式液体分布器内液体流动对布液孔出流均匀性的影响[J].化工进展,2013,32(2):276-282.  
[7] 李春利,马晓冬.大通量高效传质技术——立体传质塔板 CTST 的研究进展[J].河北工业大学学报,2013,42(1):19-28.  
[8] 李春利,孙玉春,王志英,等.新型立体传质塔板 CTST 的研究与开发进展[J].河北工业大学学报,2004,33(2):155-162.  
[9] 郭艾慷.CTST-MD 复合型塔板的数值模拟与实验研究[D].天津:河北工业大学,2014.  
[10] 刘长江.板上充气状态下立体传质塔板 CTST 的液体提升量研究[D].天津:河北工业大学,2007.  
[11] 林秀峰,陈桂珍.液体分布器分布质量评价体系综述[J].化学工程,2008,36(12):74-78. ■