

# 立体连续传质塔板及其在精馏中的应用

杜佩衡<sup>1,2</sup>

(1. 河北工业大学, 天津 300384; 2. 天津衡创工大现代塔器技术有限公司, 天津 300384)

**摘要:** 在新型垂直筛板(New-VST)基础上进行帽罩结构的改进, 开发了一种新的喷射型立体连续传质塔板——梯矩形立体连续传质塔板(LLCT), 介绍了该塔板结构、操作工况、技术特性及其在聚氯乙烯、甲醇等行业精馏塔技术改造应用的实例。简要介绍了在梯矩形立体连续传质塔板基础上进一步发展起来的国家发明专利技术——超高通量、超高操作弹性的喷射型立体连续传质塔板。

**关键词:** 立体连续传质塔板; 喷射型; 梯矩形塔板; 精馏; 工业应用

**中图分类号:** TQ053.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2008)09-0077-05

## Characteristics of spraying tridimensional successive mass transferring-tray and its application in distillation technology

DU Pei-heng<sup>1,2</sup>

(1. Hebei University of Technology, Tianjin 300384, China;

2. Heng Chuang Gong Da Modern Tower Technology Co., Ltd., Tianjin 300384, China)

**Abstract:** Based on the new-vertical-sieve-tray, some reform on cap structure is made to develop a new spraying tridimensional successive mass transferring-tray(LLC-Tray). The structure, operating conditions and technical characteristics of LLC-Tray are introduced, and its application of LLC-Tray in the production of PVC, methanol industry and so on is also shown in this paper. The new type of spraying tridimensional successive mass transferring-tray which is developed based on LLC-Tray, which is a piece of national inventive patent, has the advantages of super high flux and operating flexibility.

**Key words:** tridimensional successive transferring-tray; sparying; LLC-Tray; distillation; industrial application

天津衡创工大现代塔器技术有限公司开发的喷射型立体连续传质塔板技术可分为 3 个发展阶段: 第一阶段, 新型垂直筛板(New-VST)技术; 第二阶段, 梯矩形立体连续传质塔板(LLCT)技术; 第三阶段, 国家发明专利技术。

鉴于第一阶段 New-VST 技术于近 20 年来已在化工、石油化工、制药化工、氯碱化工、煤化工等多个行业广泛采用, 其结构、操作原理与技术特性等已为大家所熟知, 因而笔者不予赘述。本文仅就第二、三阶段尤其是第二阶段的梯矩形立体连续传质塔板技术着重进行介绍。

### 1 梯矩形立体连续传质塔板技术

LLCT 技术是在近几年 New-VST 技术长期工业实践成果的基础上, 经过分析总结并做进一步深入研究开发出来的技术水平更高、效果更好的喷射型立体连续传质塔板, 与 New-VST 相比, 其具有更大的处理能力、更高的传质效率、更小的流动阻力及更优的操作弹性, 并且与 New-VST 一样, 具有独特的防有机物自聚堵塞的能力与防固体悬浮物堵塞的能

力, 并特别适用于脏黏物料与易发泡物系的操作。目前, LLCT 技术已在聚氯乙烯(PVC)、甲醇、氟化工、煤化工、精细化工等行业的多种精馏操作中成功应用。

#### 1.1 LLCT 的结构、操作工况与性能

##### 1.1.1 LLCT 的结构、操作工况

LLCT 系新型高效喷射型塔板, 塔板上采用矩形开孔, 矩形孔上方设置带有矩形窗与筛孔并置的梯矩形喷射罩体(见图 1)。操作时液体自罩底孔隙四周进入罩内, 气体自矩形板孔进入罩体中, 将液体通过托液拉膜, 破膜粉碎形成诸多细小液滴并分散在气体中, 此气液混合物上升至罩顶碰撞到顶盖板后将部分折返, 返回的气体及液滴与后续上升的气液激烈碰撞、混合; 气液混合物自罩体上部侧面的矩形窗与筛孔向两侧水平向下方向喷射而出, 喷出的气液混合物中的大液滴回落至液层中, 经帽罩底隙再被压入罩体进行循环, 而气液混合物(其中含有细小的液滴)则上升到罩体上方并上升至上一层塔板, 这样在一层一层塔板中循环达到传质、传热分离的目的(见图 2)。

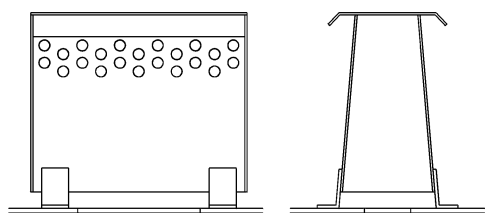


图 1 LLCT 帽罩结构简图

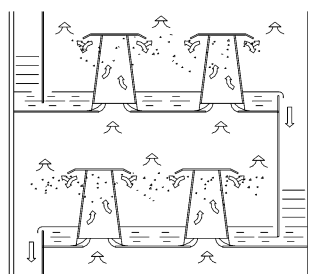


图 2 LLCT 结构和操作工况

该塔板打破了传统塔板(如泡罩、浮阀、筛板塔板等)平面的、阶梯式(间歇式)的传质区域的局限,使气液两相接触传质区域发展成为罩内、罩外、罩顶空间的范围,使板式塔板间的空间全用于传质,在全塔上下形成了立体连续全方位传质,因而具有很好的传热、传质作用。

### 1.1.2 LLCT 的技术性能

(1)传质效率高。LLCT 仍采用喷射型帽罩结

(上接第 76 页)

由图 3 可知,当反应进行到 100 h 左右时,催化剂活性逐渐降低, $H_2/CO$  体积比降到 1.2 左右,基本上不能满足制甲醇合成气的需要,此时,催化剂的床层温度  $T_1$ 、 $T_2$  降到活性温度以下。此时,采用增大汽/气比,增大循环气量的方式仍不能将床层中一段温度提高到活性温度范围内,因此,为继续实验,只能停炉重新升温。主要原因是:①黄磷尾气 CO 含量很高,传统催化剂不能适应高浓度 CO 变换产生的局部高热量,使催化剂失活;②相对于传统水气变换反应,黄磷尾气部分变换制甲醇合成气变换率较低,总体产生的反应热不能达到维持催化剂活性温度的要求。基于以上 2 种矛盾,选择高变或低变催化剂都难以满足黄磷尾气部分变换的要求。

## 3 结论

B116 型催化剂用于黄磷尾气部分变换制甲醇合成气短时间能满足制甲醇合成气的需要,但是为综合利用黄磷尾气实现工业化应用,必须开发出耐高浓度 CO、变换率稳定的新型催化剂。

构,由于操作中快速上升的气体(相)能将液体破碎成很细小的液滴(粒径 0.5 ~ 5.0 mm 的液滴约占 95%)分散在气相中且不断翻腾,确保了它具有很大的气液接触面积与颇大的传质系数,且由于气液混合物在板间空间停留时间(即气液接触传质时间)长,即大大提升了气液两相接触传质时间,从而大大提高了传质效率,与 New-VST 相比,传质效率可提高 5% ~ 10% 以上。

(2)处理能力大。由于采用梯矩形帽罩结构,即在塔板上采用矩形开孔,与 New-VST 圆形板开孔相比可以提高开孔率,以  $\Phi 1\ 500 \sim 3\ 000$  mm 的塔而言,一般可提高约 30% 的开孔率。加上其他一些结构因素(比如帽罩顶盖构造的改进),可以提高气流速度,从而使其生产处理能力与 New-VST 相比可提高 50% ~ 70%。

(3)气体流动阻力小。由于 LLCT 的帽罩在其上部开了天窗(New-VST 帽罩则没有天窗),加上塔板板孔口边缘进行圆弧形导角处理等结构的改变,使气体流动的阻力下降,与 New-VST 相比可以降低 20% ~ 40%。

(4)其他技术性能。LLCT 在生产中由于气液混合物具有很高的流动速度,故对气流通道具有很强的冲刷作用,即具有特别强的抗堵塞能力,因而很适用于处理含固体悬浮粒的物系与易产生自聚的物料。

## 参考文献

- [1] 严平. 从世界磷化工贸易来看国内黄磷行业面临的挑战[J]. 磷酸盐工业, 2005(4): 1-14.
- [2] 陈善继. 中国黄磷生产现状与可持续发展战略[J]. 无机盐工业, 2005, 37(11): 1-3.
- [3] 宁平, 任丙南. 黄磷尾气的综合利用及净化途径探讨[J]. 云南环境科学, 2003, 22(增刊): 149-151.
- [4] 陈善继. 中国黄磷生产现状与消费途径[J]. 化工进展, 2002, 21(10): 776-778.
- [5] 曾之平. 黄磷生产尾气净化现状与改进建议[J]. 无机盐工业, 1992(5): 28-31.
- [6] 陈中明, 武立新, 魏玺群, 等. 变温和变压吸附法从黄磷尾气净化回收一氧化碳[J]. 天然气化工, 2001, 26(4): 24-26.
- [7] Ning P, Wang X. Purifying yellow phosphorus tail gas by catalytic oxidation[M]. Kurashiki: Proceedings of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environmental, 2002.
- [8] 宁平, 王学谦, 吴满昌, 等. 黄磷尾气碱洗: 催化氧化净化[J]. 化学工程, 2004, 32(5): 61-65.
- [9] 昆明理工大学. 黄磷尾气催化氧化净化的方法: 中国, ZL02113667.X[P]. 2004-11-17.
- [10] 李琼玖, 申同贺, 孟仲林, 等. 中国发展煤炭清洁转化制甲醇是替代石油能源的最佳选择[J]. 中外能源, 2006, 11(4): 1-8. ■

另外,由于 LLCT 塔板在生产运行中板上的液体始终处于清液(而非泡沫液)状态,进入降液装置的液体乃是清液,故对易发泡物料具有独特的适应性。

## 1.2 LLCT 在化工生产精馏技术中的应用

### 1.2.1 聚氯乙烯(PVC)行业氯乙烯精馏塔

从 1988 年起,采用 New-VST 技术改造氯乙烯提纯用的低沸(物)精馏塔与高沸(物)精馏塔取得良

好的效果<sup>[1-3]</sup>。为了更进一步提高 PVC 行业的低、高沸精馏塔的技术水平,尤其在精馏分离效果相同的要求下再提高生产能力与节约能耗,近几年笔者已采用 LLCT 技术对 PVC 行业的低、高沸精馏塔进行技术改造,迄今已有近 20 余家企业采用了 LLCT 技术。表 1 列出了应用该技术部分生产厂家的情况。

表 1 采用 LLCT 技术改造氯乙烯精馏塔部分厂家

企业名称	生产能力/万 t·a <sup>-1</sup>	新设计或改造	低沸塔直径/mm	高沸塔直径/mm	日期
宝硕集团电化公司(保定)	4.0~5.0	改造	500	800	2003年1月
宝硕集团电化公司(保定)	8.0~10.0	新设计	700	900	2003年10月
杭州电化集团	4.5~5.0	改造	700	800	2003年4月
无锡电化集团	5.0~8.0	改造	700		2002年12月
张家口盛华化工公司	6.0	改造	500	700	2003年10月
南通江山农药化工有限公司	4.0~6.5	新设计	600	800	2003年11月
宜昌宜化集团	5.3	新设计	600	800	2004年2月
山东恒通(郯城)化工公司	5.0~10.0(12.0)	新设计	800	1100	2003年2月
山西榆社化工有限公司	6.0~10.0	新设计	700	900	2003年12月
新疆天业化工股份公司	5.0~10.0	新设计	700	900	2004年1月
唐山三友集团冀东化工厂	4.0~4.5	改造	600	600	2004年2月
江苏天成化工股份公司	5.0~6.0	新设计	600	700	2004年4月
唐山三友集团氯碱公司	6.0~12.0	新设计	700	900	2004年8月
宜昌山水投资公司	2.0	改造	500		2004年9月
浙江巨化电化厂	10.0(12.0)	新设计	700	900	2004年9月
武汉葛化集团	9.0	改造	800	1200	2005年3月
浙江巨化电化厂	10.0	改造	700	800	2005年5月
河北盛华化工有限公司	10.0~12.0	新设计	700		2006年10月

注:表中除武汉葛化集团生产能力是指氯乙烯(VCM)生产能力,其他数据指 PVC 的生产数据。

上述企业在采用 LLCT 技术改造氯乙烯低沸精馏塔与高沸精馏塔后使用的结果,与此前使用 New-VST 技术改造氯乙烯低沸精馏塔与高沸精馏塔使用结果相比各方面的性能确有了新的提高:

(1)处理能力更大。如表 1 中浙江巨化电化厂生产能力 10.0 万 t/a 的低沸精馏塔、高沸精馏塔采用 LLCT 技术,其 2 塔塔径分别为  $\Phi 700$  mm 与  $\Phi 900$  mm;而采用 New-VST 技术时,同样生产能力的低沸精馏塔、高沸精馏塔 2 塔塔径则分别为  $\Phi 900$  mm 与  $\Phi 1200$  mm。两者相比用 LLCT 技术比用 New-VST 技术生产能力可提高 50%~70% 以上。另外,早期用 New-VST 技术改造的低沸精馏塔,如天津大沽化工厂的  $\Phi 600$  mm 精馏塔生产处理能力为 4.5 万~5.0 万 t/a,而近年张家口盛华化工有限公司产能 6.0 万 t/a 的低沸精馏塔采用 LLCT 技术其塔径仅为

$\Phi 500$  mm,两者相比采用 LLCT 技术比采用 New-VST 技术可使处理能力提高 72%。

(2)传质效率更高。采用 New-VST 技术时,产品氯乙烯中杂质含量:低沸物( $C_2H_2$ )含量为  $(4\sim 5)\times 10^{-6}$ ;高沸物(二氯乙烷等)含量为  $(30\sim 40)\times 10^{-6}$ ,而采用 LLCT 技术后,产品氯乙烯中杂质含量可确保达到:低沸物含量为“0”(指仪表测不出来),高沸物含量为  $(0\sim 5)\times 10^{-6}$ 。

(3)阻力更小。一些相关企业提供的数据表明,使用 LLCT 技术塔内气相总阻力比用 New-VST 技术时可下降 35% 左右。

(4)操作弹性更好。一些企业提供的数据情况表明,采用 LLCT 技术后比采用 New-VST 技术时操作弹性提高大约 30%。

(5)能耗降低。采用 LLCT 技术的低、高沸精馏

塔的回流比  $R$  值与采用 New-VST 技术的低、高沸精馏塔回流比值相比一般可下降 50% ~ 70%。这使塔顶冷凝器冷却剂质量与塔釜加热介质量大为下降,从而节约了能耗。

另外,防止氯乙烯自聚而堵塞的能力方面,采用 LLCT 技术与采用 New-VST 技术时相同,即也具有独特的防有机物自聚堵塞的能力。

### 1.2.2 甲醇行业精馏塔

甲醇精馏分离提纯有两塔流程(由预塔与主塔构成)与三塔流程(由预塔、加压塔、常压塔构成),其各塔塔内件以前通常采用浮阀塔板、斜孔筛板、浮动舌形塔板等,但使用效果均不理想,这些年作者曾先后用 New-VST 与 LLCT 技术对甲醇精馏予以改造,下面分别加以介绍。

#### (1) 用 New-VST 技术改造甲醇精馏塔

某化肥厂主要生产碳酸氢铵并联合产甲醇,其甲醇生产能力为 1.2 万 t/a,于 2000 年用天津衡创工大现代塔器技术有限公司的 New-VST 技术改造原主精馏塔( $\Phi$  1 200 mm),希望仍用  $\Phi$  1 200 mm 的旧塔,通过改造使生产能力提升至 2.5 万 t/a。产能为 1.2 万 t/a 时采用 85 块浮阀塔板,改造后塔仅用 65 块 New-VST 塔板予以替代,但塔板间距、塔板支撑梁、降液管维持不变。经改造后效果如下:①生产能力增加,达到 2.56 万 t/a。②精馏分离效果提高。甲醇产品质量全为优级品(原来根本达不到),使每吨产品价格可提高 100 元以上(指当年),经济效益显著。③蒸汽消耗量降低。由改造前每生产 1 t 甲醇消耗蒸汽由原来 1.8 ~ 2.0 t 降低到 1.5 t,即每年可节约蒸汽 12 000 t 以上,大大降低了生产成本。

#### (2) 用 LLCT 技术改造甲醇精馏塔

以上情况表明使用 New-VST 技术比使用浮阀塔板技术优越。但近几年笔者改而采用 LLCT 技术对甲醇精馏塔(比如用于双塔流程的预塔与主塔)进行改造,体现出 LLCT 技术比 New-VST 技术具有更优良的性能。表 2 列出使用 LLCT 技术改造的部分企业的甲醇精馏塔的情况。

表 2 中的预塔只用 45 ~ 48 块 LLCT 塔板,主塔只用 60 块 LLCT 塔板,而传统的预塔与主塔分别用 60 ~ 65 块与 80 ~ 85 块浮阀塔板,因此新塔节约了设备投资,并且与用 New-VST 技术相比,用 LLCT 技术后有了更好的技术性能:①生产能力进一步增加,一般可提高 30% ~ 40% 以上。若保持同样的处理能力,则塔径可以更小。②精馏分离效率进一步提高。在甲醇产品确保全为优级品的前提下,蒸汽消耗量

表 2 使用 LLCT 改造的部分甲醇精馏塔的情况

	塔径/mm	生产能力/万 t·a <sup>-1</sup>		
		改造前	改造后	
河南孟津化肥厂	预塔 800	1.2	≥3.0	
	主塔 1200			
石家庄滹沱河化肥厂	预塔 800	1.2	3.0	
	主塔 1200			
山西丰喜肥业临漪分公司	预塔 1600	新项目	6.0	
	主塔 2000			
河南孟津化肥厂	预塔 1200	新项目	8.0	
	主塔 2000			
河南洛阳汝化化工公司	预塔 1200	1.2	3.5	
	主塔 1200			
	主塔 1000			
河北凯跃化工有限公司	预塔 800	2.0	2.5	
	主塔 1200			
江苏淮安华尔润化工有限公司	预塔 800	新项目	1.8	
	主塔 1100			
山东滨州天阳化工有限公司	预塔 1000	新项目	4.0 ~ 5.0	

可降低至 0.9 ~ 1.0 t/t 的水平,这是由于 LLCT 技术具有更高的传质效率,因而可以使操作回流比大为降低,遂使塔釜的蒸发量下降,即可以节省加热蒸汽量,同时塔顶冷却介质消耗量也可以降低,这样使能耗、物耗均可下降,生产成本自然也可以大大节省。

### 1.2.3 偏氯乙烯(Vdc)高沸精馏塔

浙江巨化电化厂原偏氯乙烯高沸精馏塔( $\Phi$  600 mm)为填料塔,因偏氯乙烯极易自聚而经常堵塞,经常需停车检修。2004 年 9 月,该企业 PVC 氯乙烯低沸精馏塔、高沸精馏塔采用 LLCT 技术取得十分好的效果。不仅产量提高、产品杂质大为降低,且防止了因聚氯乙烯自聚堵塞的严重问题,该厂在 2006 年用 LLCT 技术改造偏氯乙烯高沸精馏塔。据厂方反馈的使用效果:①首先,从投产迄今设备没有产生堵塞现象,完全避免了以往经常自聚堵塞而停车检修,实现了长期持续稳定生产;②提高了生产处理能力,从原来偏氯乙烯生产能力 0.8 万 t/a 提高至 1.2 万 t/a,并且认为还有扩产的潜力;③操作回流比  $R$  下降了 200%,因而大大节约了能耗,降低了成本;④Vdc 中高沸物含量也由改造前的  $3.5 \times 10^{-3}$  降为  $1.5 \times 10^{-3}$ ,而塔顶排放空气中有害气体成分由  $50 \times 10^{-6}$  下降为  $10 \times 10^{-6}$  以下。

### 1.2.4 氟化工行业 F22 精馏分离塔

浙江巨化巨圣氟化工有限公司于 2005 年在国

内首次采用 LLCT 技术对 F22A、B、C 3 座精馏塔进行扩产改造,将原来的泡罩塔板更换为 LLCT 塔板。改造前(采用泡罩塔板时)生产处理能力为 5 000 t/a,由于组分很容易自聚,生产常因自聚堵塞而需停产检修。但采用 LLCT 技术改造后,这一问题得到彻底解决。据厂方反馈回来的情况表明:

(1)生产能力从 5 000 t/a 提升至 1 万 t/a,即生产能力增加了 1 倍。根据该厂进一步的希望,仍用原精馏塔( $\Phi 600$  mm)将生产能力再提高至 1.5 万 t/a。

(2)产品中的杂质含量由改造前的  $1 \times 10^{-4}$  骤降至  $2 \times 10^{-6}$ 。

(3)操作回流比  $R$  由改造前的  $R = 6$  下降至  $R = 4$ ,与此相应的蒸汽消耗量由原来的 1 200 kg/t 下降至 800 kg/t。冷却水消耗量也由原来的 100 t 下降至 70 t。结果表明能耗大大节省,随之成本大大降低。

#### 1.2.5 其他行业

LLCT 技术在石油化工、煤化工、精细化工等行业也已获得了广泛的应用,并取得良好的使用效果,具体如下:①石油化工行业。常压塔、干气脱硫塔、污水脱硫塔、气分丙烯塔、气分丙烷塔、脱碳塔、PTA 醋酸脱水塔。②煤化工行业。脱苯塔、粗苯精制塔、蒸氨塔、甲醇塔。③其他行业。顺酐精制塔、碳酸二甲酯精馏塔、乙醛蒸馏塔、醋酸浓缩塔、三氯乙烯蒸馏塔。

## 2 国家发明专利技术

近年,笔者在 LLCT 技术的基础上又进一步开发了更加先进的技术,并申报了发明专利,于 2006 年底与 2007 年初先后获得 3 项国家发明专利技术,具体情况如下:①一种气液接触组合件及使用它的传质分离塔,专利号 ZL 200410093933.6;②气液接触组合元件设置方法及使用该方法的传质分离塔,专利号 ZL 200410093934.0;③一种气液接触组合件及使用它的传质分离塔,专利号 ZL 200410093935.5。这 3 项国家发明专利技术,是通过 LLCT 及 New-VST 的帽罩结构进行多处更好的改造,并且将帽罩在塔板上的排布加以改变;即采用不同尺寸(含一些结构参数)、不同高度的帽罩进行高、低错落的排布形成的,进行了这些塔盘结构上的调整与变化,使其性能得到进一步的提升。比如仅从不同尺寸与高度的帽罩进行错落排布的结果,使得相邻 2 个帽罩之

间的距离可以大大缩小,于是可以减少两相邻帽罩喷射出来的气相中液滴相互碰撞并凝聚的倾向,因此可以使气液两相接触保持良好的状态。又比如帽罩顶盖外沿设置有可以调节的导向装置,这可使气液混合物从帽罩天窗往外喷射时以预先设计的方位喷出,这样可以使气液混合物中大液滴迅速回落塔板液层中并再进入帽罩进行循环,同时可以减少气体雾沫夹带量。这样一些改进可使塔内气流速度大大增加,而雾沫夹带却可以大大降低,从而可以大大提高气体空塔动能因子  $F_T$  值并加大操作弹性。根据测定,其空塔动能因子  $F_T \geq 3.4$ ,操作弹性可达 5 ~ 6 以上。因此可以认定这些发明专利技术乃是一种超高速、超高通量、高操作弹性的喷射型立体连续塔板。

2007 年,笔者采用上述国家发明专利技术对山西某企业生产顺酐的精制塔与吸收塔进行新建设计,由于技术的先进性,使设备投资大为下降。原先设计需用 2 台塔径为  $\Phi 3 200$  mm 的精制塔与 1 台  $\Phi 3 600$  mm 的吸收塔,而笔者仅需用 1 台  $\Phi 3 200$  mm 的精制塔与 1 台  $\Phi 3 200$  mm 的吸收塔来完成 10 万 t/a 的生产任务。

## 3 结论

(1) LLCT 技术系在 New-VST 技术的基础上开发出来的技术更加先进高效的立体连续传质塔板。两者相比采用 LLCT 比 New-VST 生产能力可以提高 50% ~ 70%;传质效率可以增加 5% ~ 10%;气体阻力可以下降 35% 左右,操作弹性可以增加大约 30%,这在几个行业相关精馏塔实际应用中均得到证实。

(2) 3 项国家发明专利技术是在 New-VST 与 LLCT 技术基础上,从帽罩构造、尺寸参数及塔盘上帽罩排布上进行多方精巧的构思与严谨的设计后取得的技术成果,它体现出超高速、高通量 ( $F_T \geq 3.4$ )、高操作弹性(5 ~ 6 以上)。

### 参考文献

- [1] 杜佩衡. 新型垂直筛板塔在聚氯乙烯工业上的成功应用[J]. 聚氯乙烯, 1997(5): 19 - 23.
- [2] 杜佩衡. 新型垂直筛板塔在我国化工生产中的应用及其取得的进展[J]. 石油化工设备, 1993, 22(5): 8 - 12.
- [3] 杜剑婷, 杜佩衡. 我国垂直筛板塔流体力学与传质性能研究[J]. 石油化工设备, 2002, 31(5): 35 - 40. ■