

高效高速波型挡板塔盘在化工生产上应用^{*}

林新波 林恒之 林恒鏊

(华侨大学化工学院, 泉州 362011)

摘要 阐述波型挡板塔盘气液两相接触流动、传热、传质的机理分析。该塔盘用于分离甲醇-水物系的甲醇回收等, 已在全国8个化工厂推广应用了31套塔装置。实践表明其生产能力大、可提高30%~100%; 分离效果好, 塔顶、塔釜液的质量控制指标为0.1%或0.01%以下, 回流比可减少30%~50%; 弹性大, 压降小, 不易堵塔, 操作稳定易调节控制; 节能降耗, 经济效益显著。可在化工、石油化工等的精馏、吸收、洗涤除尘冷却等单元上推广应用。

关键词 挡板塔盘, 精馏, 甲醇回收

分类号 TQ 028.13

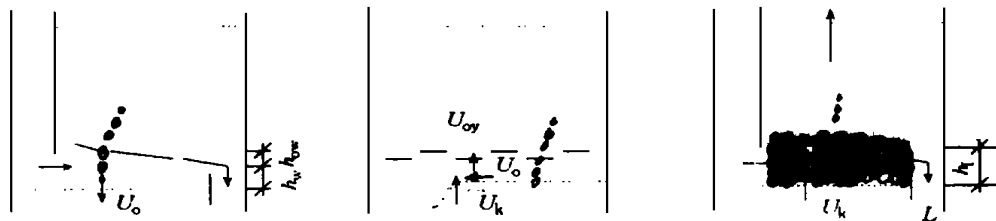
1983年开始提出研究的新挡板塔盘有: (1) 波型挡板(筛板)塔盘; (2) 波型挡板(角钢)塔盘; (3) 波型挡板(V型)塔盘。这些塔盘名为波型挡板塔盘, 1995年获得中国发明专利^[1]。

1 汽液两相接触流动传热传质的机理分析

波型挡板塔盘由基板和波型挡板组成复合塔盘, 波型挡板放在基板上某一高度 H 处。L波倾角 θ 不同的波型挡板, 根据用量多少可由单波或多波整片冲压加工而成。基板有筛板、角钢塔板、V型孔塔板等, 其开孔率可大至25%。

当基板开孔率相同, 某一液流强度 L 下, 气流通过基板的筛孔、角钢缝、V型孔缝时, 气速小时气流以鼓泡方式通过孔缝进入液层(图1); 气速增大时气泡增多; 气速再增加时气泡连成泡沫层。气速增大, 泡沫层高度增高, 液面波动使液滴从液面飞溅出, 故其上应有一分离空间以减少雾沫夹带, 如图2所示。如其孔缝气速为 U_0 时, V型孔缝的垂直分速度 U_{0y} 比垂直筛孔、角钢缝的 U_0 小, 其产生的雾沫夹带也少。

若在基板上某一高度 H 加一波型挡板, 且泡沫层靠挡板很近, 则飞溅的液滴被挡板捕集下来, 可减少雾沫夹带。如有效空塔气速 U_k 再增大, 泡沫层高度 h_f 达到挡板所放高度 H ($h_f > H$)时, 泡沫被上升气流 U_y 及斜向气流 U_θ 撕破碎裂, 并在挡板上激流雾化后产生许多细小雾滴。分析L波倾角 θ 不同时的抛射速度 U_{sp} 及抛射角 θ_{sp} , 如L波倾角 $\theta > \theta_c$, 其L波间的缝宽 $B_1 > B_2$, 如图3(a), (b)所示。它们分别以同一气体流量 V_s 通过波型挡板时, 其气流垂直上升速度 $U_{y1} > U_{y2}$, 气流斜吹速度 $U_{\theta1} > U_{\theta2}$, 它们合气速为抛射气速 U_{sp1} , U_{sp2} , 其对应抛射角 $\theta_{sp1} > \theta_{sp2}$ 、液滴的抛射高度 $H_{sp1} > H_{sp2}$ 。L波倾角 θ_c 未利用的三角空间(此处不形成雾沫区)比倾角 θ



(a) 筛孔、角钢缝

(b) V 型孔缝

图1 气体通过筛孔、角钢缝及 V 型孔缝的鼓泡情况

图2 汽液通过基板(无挡板时的)操作工况

未能利用的小, 所以板间距 H_t 和 L 波倾角 θ 要选择好。

基板是 V 型板, 气流从 V 型孔二侧缝横向吹出的气速为 U_0 。有一与液流同一方向的气流分速度 U_{ox} (图 4), 可促进液流向前流动, 使液流分布均匀, 提高传质效果。同时, 推动泡沫层向

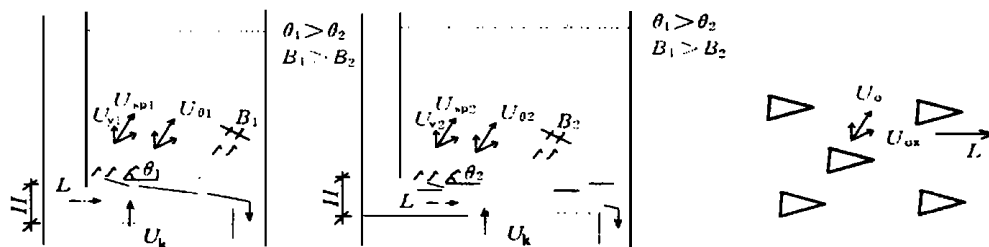
(a) θ_1 (b) θ_2 图3 气流通过不同 L 波倾角 θ_1, θ_2 挡板的速度分析

图4 气流通过 V 型板的速度分析

下一降液管方向移动。沿波型挡板的斜吹气流和垂直上升气流的合速度 U_{sp} 将液滴上抛, 产生一抛射高度 H_{sp} 的细小雾沫液滴密集区, 其液滴直径为 1 mm 左右且呈喷射工况。气液接触面大大增加, 湍流表面不断更新似液滴流化床 (图 5)。气速大, 气液间的传质传热系数大大增加, 其合速度的水平分速度推动雾沫向降液管方向移动。气液分开, 液滴落入降液管进入下一层塔板, 气流往上通过基板孔缝进入上一层塔板。当细小液滴的抛射高度 H_{sp} , 小于波型挡板上表面至上一块塔盘的间距 S_0 时, 产生的雾沫夹带量 e_v 应小于 0.1。

挡板与基板之间呈泡沫工况, 挡板上方呈喷射工况, 是波型挡板塔盘的两个主要传热传质作用区。后者的作用更为重要。

我们用各种尺寸的波型挡板塔盘在 600 mm × 300 mm 矩形塔实验装置, 进行大量空气-水物系流体力学实验的实验数据处理。试举一 V 型孔缝高 $B_0 = 11$ mm 的波型挡板 (V 型) 塔盘液流强度 $L = 40 \text{ m}^3 \cdot (\text{m} \cdot \text{h})^{-1}$ 时的部分数据, 如液滴在挡板上抛射高度 H_{sp} 和雾沫夹带量 e_v 与空塔气速 U_k 、板压降 h_p 和漏液量 q 与 V 型孔气速 U_0 的关系, 如图 6, 7 所示。

波型挡板 (筛板) 塔盘在塔径为 200 mm 板间距为 500 mm 的全回流时, 进行精馏实验的冒夫里板效率 E_{mv} , 如图 8 所示^[1]。这与美国精馏研究公司提供的实验物系为环己烷-正庚烷在 165 kPa 压力下, 用塔径为 1200 mm、板间距为 610 mm 的塔进行的泡罩、浮阀及筛板实验, 分

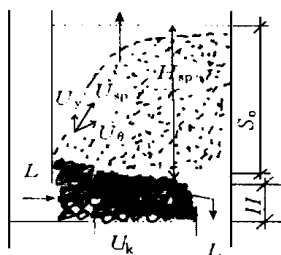


图5 气液通过波型挡板塔盘的操作工况

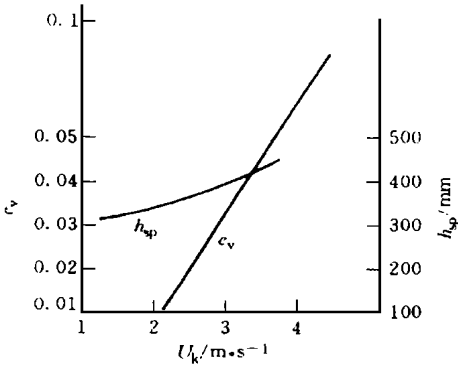


图 6 c_v, H_{sp} 与 U_k 的关系

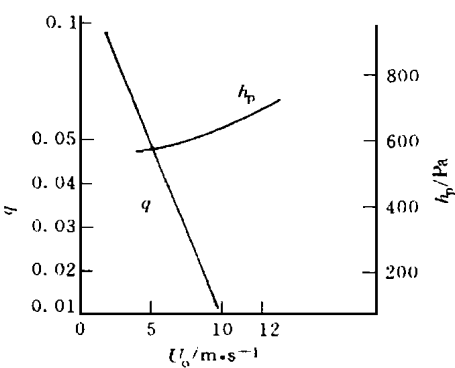


图 7 q, h_p 与 U_o 的关系

别得出 3 种板的 E_{mv} , 如图 9 所示. 经比较可见, 对环己烷-正庚烷物系在气相动能因子 $F_s = 1.5 \sim 4$ 时, 波型挡板(筛板)塔盘的 $E_{mv} = 0.7 \sim 0.9$; 在 $F_s = 0.5 \sim 2$ 时, 大开孔率筛板的 $E_{mv} = 0.65 \sim 0.9$; 在 F_s 大时, 波型挡板塔盘的 E_{mv} 也大.

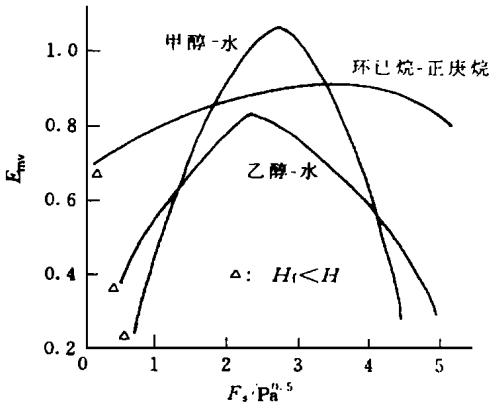


图 8 波型挡板(筛板)塔盘 $E_{mv}-F_s$ 的关系

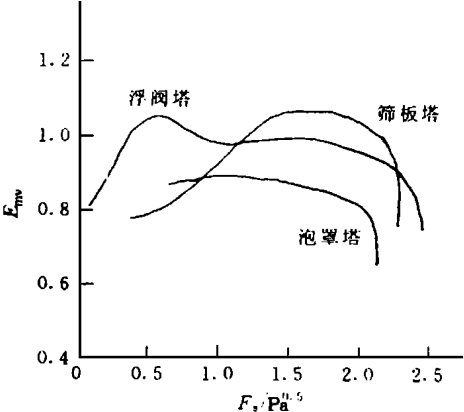


图 9 三种塔板的 $E_{mv}-F_s$ 的关系

从上述实验研究及机理分析表明, 波型挡板塔盘充分利用塔板空间, 具有优良的流体力学性能, 其传热传质分离效果好, 生产能力大.

2 在化工生产上应用

我们设计的 31 个塔盘装置, 已在 8 个化工厂(用于乙醛(Ald)、醋酸乙烯(VAc)、醋酸(HAc)、丁烯醛(Cr-Ald)、醋酸甲酯(MeOAc)、甲醇(MeOH)、水(H₂O)等的多组分精馏; 触媒配制干燥尾气的洗涤冷却和氧化氮尾气吸收)推广应用, 如精馏回收. 在福建厂, 利用原塔体, 于 1993 年改建成精馏九塔、聚合三塔、回收一塔; 1994 年改建成聚合三塔和回收三、四塔, 都一次试成投产且运行正常. 1994 ~ 1996 年逐年产聚乙烯醇(PVA) 综合产量为 1.87, 1.907, 1.9 万 t, 达到并超过工厂提出年产 PVA 1.8 万 t 的设计要求. PVA 年增产 5 000 t, 创经济效益 5 000 万元以上. 例如, 聚合三塔(MeOH-H₂O 物系) 馏出液 MeOH 达 99.1% ~ 99.8% (指标 99%), 釜液 MeOH 为 0.01% (指标 0.05%) 等; 1994 年甲醇回收系统减少甲醇损失 100

万元;精馏九塔(Ald-VAc-H₂O 物系)馏出液中 Ald 达 98.1%~98.63%(指标 98%),九塔中采 Ald<1.22%~4.86%(指标 5%)。1993 年回收 Ald 1 200 m³,多回收氧化醋酸 100 t 多(45 多万元)。

在广西厂,原设计为年产 PVA 1 万 t,1994 年产 PVA 1.58 万 t。利用原塔体于 1995 年改造精馏一、二、五塔(及五塔中采分离器)及回收一、三、四、五塔,1996 年改造精馏三塔,都一次试成投产。各塔馏出液、釜液、中采的质量指标达到要求。(1) 回收三塔(MeOAc-MeOH-H₂O 物系)馏出液中 MeOH 达 99.2%~99.8%[指标(98±1)%],MeOAc 达 0.05%~0.21%(指标<0.3%),比活性 Δt 达 10 1~12 30(指标<12 30),釜液中 MeOH 达 0.01%~0.03%(指标<0.05%),且减少废水中 MeOH 排放有利于环保。馏出量可达 5 000 L·h⁻¹以上,回流比 $R=1.2$,而同规模的筛板塔 $R=2$ 、低负荷时为 3。(2) 精馏二塔(VAc-HAc 物系)馏出液醋酸乙烯产量可达 9 000~10 000 L·h⁻¹(相当于年产 VAc 达 6 万 t 以上),HAc<0.01%~0.001%(指标 0.02%),活性度 t 值可达 12 30(指标的精 VAc 优质品 $t=11\ 30$,合格品 $t=12\ 30$),基本上不切粗 VAc 而作精 VAc 用,多达优等品,釜液中 VAc<0.01%(色谱分析)(指标 0.3%),回流比 $R=0.9\sim1.4$,而同规模的筛板塔 $R=1.2\sim1.5$ 。(3) 精馏一塔(Ald-VAc-HAc 物系)馏出液中 HAc 0.001%,釜液中总醛 0.4%,其中 Ald<0.1%。过去因一塔加料反应液中有活性碳粉末,系统中 VAc 会自聚而易堵塔,每隔 3~4 个月需煮塔清洗一次,每年大修时需拆塔板清洗。经改造后,因塔内气速大不易堵塔,延长了塔的正常运转生产时间。(4) 精馏五塔(H₂O-Cr-Ald-HAc 物系)中采精 HAc,其纯度为 98.01%~99.09%(指标 98%),Cr-Ald 0.3%。(5) 回收一塔(MeOAc-MeOH-H₂O-NaOAc(醋酸钠)物系)釜液中 MeOAc 为 0.03%~0.08%(指标<0.28%),馏出液中 MeOAc 可达 77.2%[指标为(77±1)%]。(6) 回收四塔(MeOAc-MeOH-H₂O-NaOAc 物系)馏出液中 MeOH 为 98.5%~99.8%[指标为(98±1)%],MeOAc 为 0.04%~0.16%(指标<0.3%),釜液中 MeOH 达 0.1%~0.2%(指标<0.2%)。(7) 回收五塔(MeOAc-MeOH-HAc-H₂O 物系)馏出液中 HAc 为 0.001%(指标 0),釜液中 MeOH 为 0.01%~0.05%(指标<0.05%)。(8) 精馏三塔(VAc-MeOAc 物系)及其中采分离器(内装波型挡板角钢塔盘),中采 VAc 中 HAc 0.01%(指标<0.02%),活性度 t 为 9 30~12 30,精 VAc 多达优等品。上述 8 个精馏塔改造,比同规模原用塔型节约钢材 385 万元。平均减小回流比 0.5,利用二釜液预热精馏一塔加料年节能 196 万元,降耗增收 343 万元。1995~1997 逐年产 PVA(t)为 1 607,20 415 和 22 105。1998 年 1 月产 PVA 2 465 t、外售 VAc 94 t,生产能力可达产 PVA 2.7 万 t,即增产 1.1 万 t。达到并超过厂方提出年产 VAc 为 4.5 万 t,PVA 为 2 万 t 的设计要求。

在山西厂利用原塔体于 1995、1996 年改造精馏二塔、三塔及其中采、回收五塔、残渣蒸发 ZF207,ZF208 直接进入精馏五塔及其中采系统装置,都一次试成投产,满足年产 VAc 6 万 t,PVA 3 万 t 的需要。ZF208 排残渣量减少,其 HAc 含量从原来的 25%~30%降至 8%~15%,ZF207 蒸出 HAc 直接进五塔底部节省大量能耗、减少醋酸损失、效益显著。而且 ZF207 和 ZF208 壁上残渣结垢易于清除,不象改造前 ZF207 的列管结垢需要用电钻清除。

在江西厂利用原塔体于 1996 年,改建成精馏一、二塔和回收一、四、五塔,都一次试成投产,其分离效果好等等,此不赘述。

3 结束语

综上所述,经过多年来的大面积工业应用,生产正常运行,产、质量都达到并超过工厂提出的设计要求.这表明,波型挡板塔盘结构简单新颖,冲压加工安装方便,技术先进、成熟、可靠.该塔盘有多种塔盘结构形式和尺寸,可满足各种不同物系、不同气液负荷生产的需要.采用该塔盘,利用原塔体进行扩产改造是老厂扩建改造的最佳方案;可利用旧塔体且不必另搞一套自控仪表泵.若为新建塔,由于该塔盘生产能力大,其塔径可减小 20% ~ 50%,节约基本建设投资.同时,单板压降小,传质传热效率高,分离效果好,馏出液、釜液质量控制指标可达 0.1% 或 0.01% 以下,回流比可减少 50% ~ 30%;弹性大,操作稳定易调节控制,不易堵塔.它具有投资少、周期短、上马快,可增产节能降耗、降低生产成本.通过改造可使厂产量增加 30% ~ 100%,经济效益显著等特点.可在石油化工、化工、环保工程等生产中其他物系的精馏、脱吸、吸收、洗涤除尘、冷却等方面推广应用.

参 考 文 献

- 1 林新波.波型挡板塔盘 ZL91104827.8.中国发明专利公报.1993-02-03
- 2 林新波.新挡板塔盘在醋酸乙烯生产上应用.华侨大学学报(自然科学报),1993,14(2):236~240
- 3 马廷贵.聚乙烯醇生产技术.北京:纺织工业出版社,1986.240~241

A Wave-shaped Baffle Trays of High Efficiency and High Capacity and Its Application to the Production in Chemical Industry

Lin Xinbo Lin Hengzhi Lin Hengliu

(College of Chem. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract An analysis is made on the vapor-liquid flow and the heat-mass transfer of the wave-shaped baffle trays, with emphasis on the mechanism. Thirty one sets of this baffle trays have been applied in eight chemical plants all over the country for separating methanol-water mixture which leads to recovering of methanol. The practice shows its high efficiency and high capacity. It has led to 30%~100% increase of productivity; it shows a good separation, a quality control index of liquid at tower top and tower bottom approaching 0.1% or below 0.01%, and a reflux rate of 30%~50% decrease; it shows a high elasticity and a small pressure drop, it will not lead to tower stoppage, it is stable in operation, and it is easy of adjustment and control; it saves energy and raw materials and it has a significant economic benefit. It can be popularized and applied to such units as distillation, absorption, washing, dusting and colling in chemical and petrochemical engineering.

Keywords baffle trays, distillation, methanol recovery