

化工原理多媒体教学

Unit Operation CAI

西北大学化工学院化工原理教学组



第十章 气液传质设备

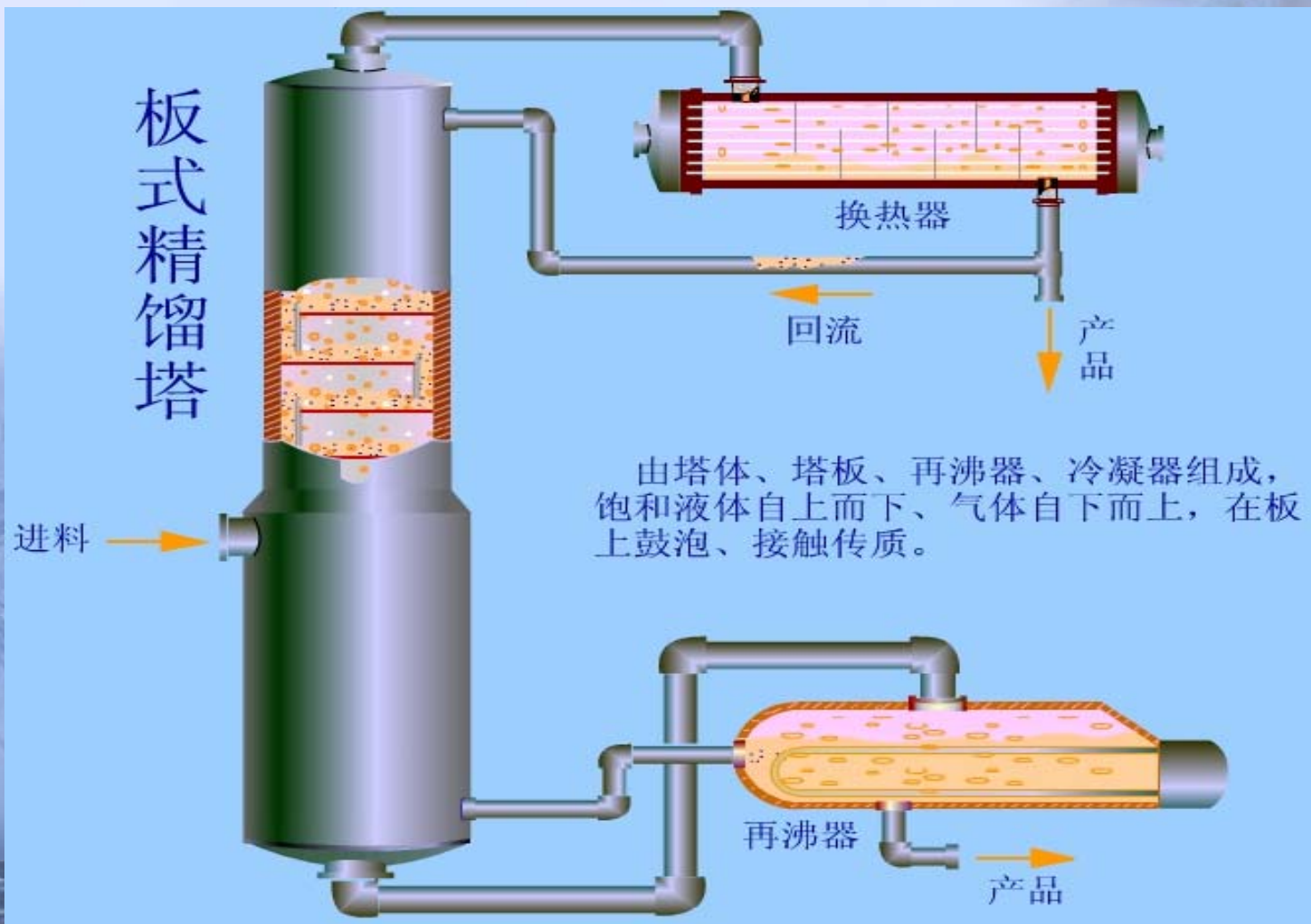
第一节 板式塔

第二节 填料塔

第十章 气液传质设备

第一节 板式塔

一、板式塔的设计意图



1. 板式塔的设计意图

为有效实现g-l传质，板式塔应具有以下功能：

① 接触状况

每块塔板上气液两相必须保持密切而充分的接触，为传质过程提供足够大而且不断更新的相际接触表面，以减小传质阻力。

② 流动状态

在塔内应尽量使气液两相呈逆流流动，以提供较大的气液相传质推动力。

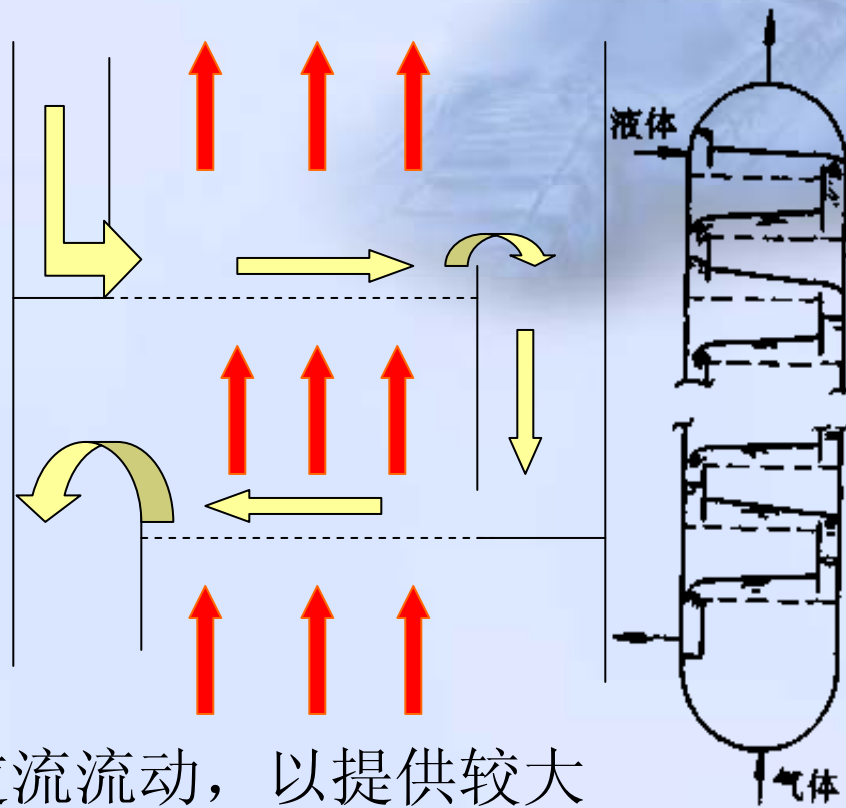


图 10-1 板式塔结构简图

板式塔：总体上气液呈逆流流动；
每块塔板上呈均匀错流。

动画演示
工作录像



2. 筛板塔的结构

常用筛板塔的主要部件有：

① 筛孔(气体通道)：

——提供气体上升的通道；

② 溢流堰

——维持塔板上一定高度的液层，以

保证塔板上气液两相有足够的接触面积。

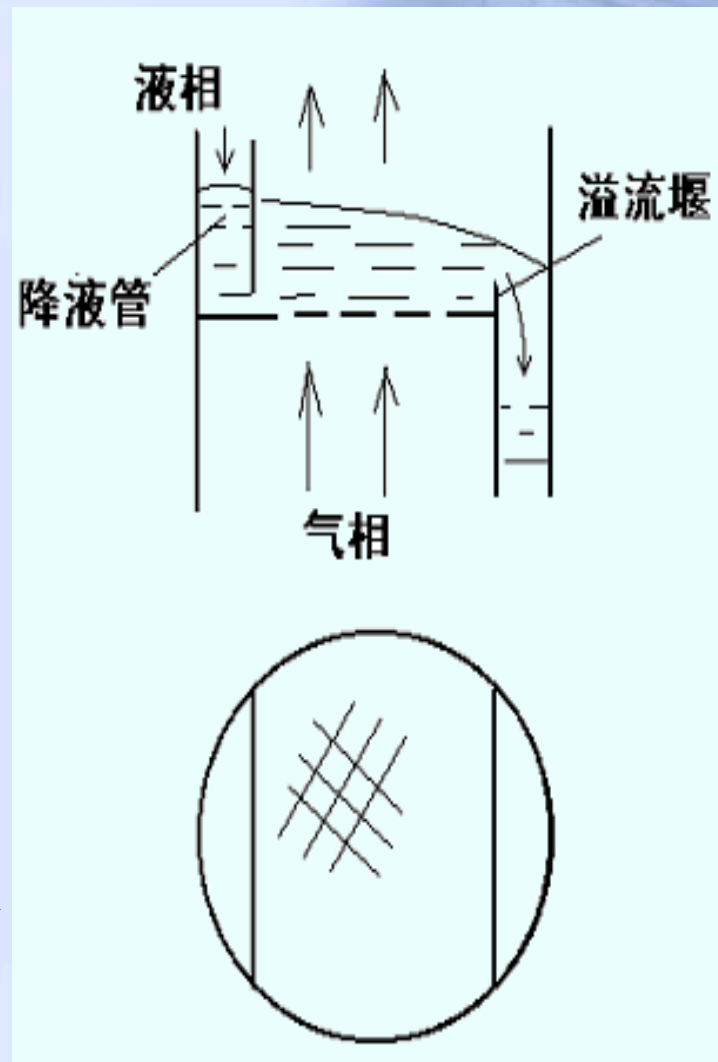
其堰高为 h_w ，堰长为 l_w ；

[动画演示](#)

③ 降液管

——液体从上层塔板流至下层塔板的

通道，一般为弓形。



二、气液两相接触状态

1. 鼓泡接触状态

液体——连续相 气体——分散相 [工作录像](#)

两相接触面积：气泡表面(工业不采用)

2. 泡沫接触状态

[工作录像](#)

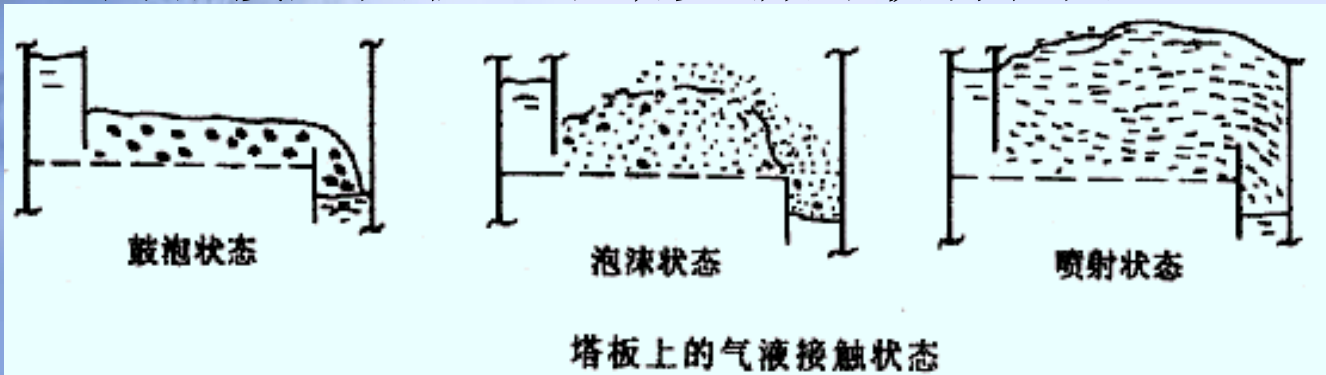
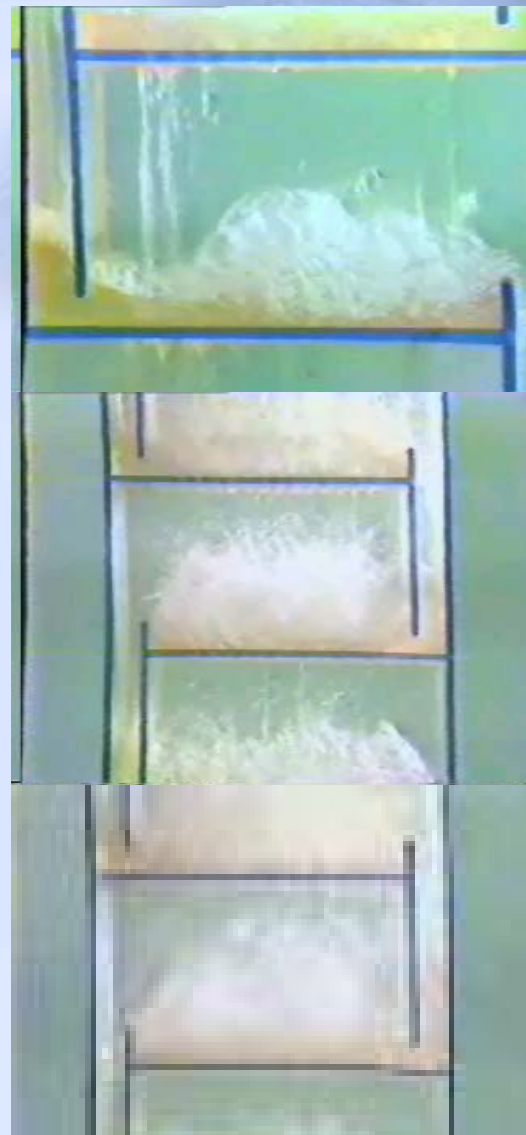
液体——连续相 气体——分散相

两相接触面积：不断更新的液膜表面

3. 喷射接触状态

气体——连续相 液体——分散相 [工作录像](#)

两相接触面积：不断更新的液滴表面





三、气体通过筛板的阻力损失

1. 板压降

压降由两部分构成 $\left\{ \begin{array}{l} \text{干板压降 } h_d \\ \text{液层阻力 } h_l \end{array} \right.$ 总板压降: $h_f = h_d + h_l$

一般将g-l流动的压降(阻力损失)用塔内液柱高度表示:

$$\Delta p = \rho_L g h_f$$

2. 干板压降

对于筛板塔, 其干板压降 h_d 是因通过筛孔气相的突然缩小与突然扩大引起的, 故有:

$$h_d = \zeta \cdot \frac{u_0^2}{2g} \cdot \frac{\rho_G}{\rho_L} \quad u_0 \text{——气体在筛孔处的气速, m/s}$$

3. 液层阻力——主要由三个原因产生:

- ① 克服板上泡沫层的静压 (占主要部分);
- ② 形成g-l界面的能耗;
- ③ 通过液层的摩擦阻力损失。





三、筛板塔内气液两相的非理想流动

1. 反向流动

反向流动 { 液沫夹带
 { 气泡夹带

① 液沫夹带

也称雾沫夹带，指气体穿过板上液层时，部分液滴会被气流夹带到上层塔板的现象。 [动画演示](#) [工作录像](#)

主要影响因素 { 气量 \uparrow \rightarrow 夹带量 \uparrow
 { 板间距 $H_T \downarrow$ \rightarrow 夹带量 \uparrow

\therefore 要求液沫夹带量 $e_G < 0.1 \text{kg液沫/kg干气}$

② 气泡夹带

液体在降液管中停留时间过短，气泡来不及解脱而被液体卷入下层塔板，这一现象称为气泡夹带。 [工作录像](#)



2. 不均匀流动

① 气体沿塔板的不均匀流动

因液面有落差 Δ 以及液层波动，将会引起气体沿塔板分布的不均匀流动。

液体的流量越大，行程越长，液面落差 Δ 越大，气体流动不均匀性越强。

② 液体沿塔板的不均匀流动

塔界面一般为圆形，液体流动受塔壁的影响，有多种途径。在塔壁边缘部分，行程长而弯曲，阻力大流速小；而在塔中央，行程短阻力小，故流速较大。因此，液体沿塔板的速度分布是相当不均匀的，在一些塔板上会产生停留时间分布曲线。

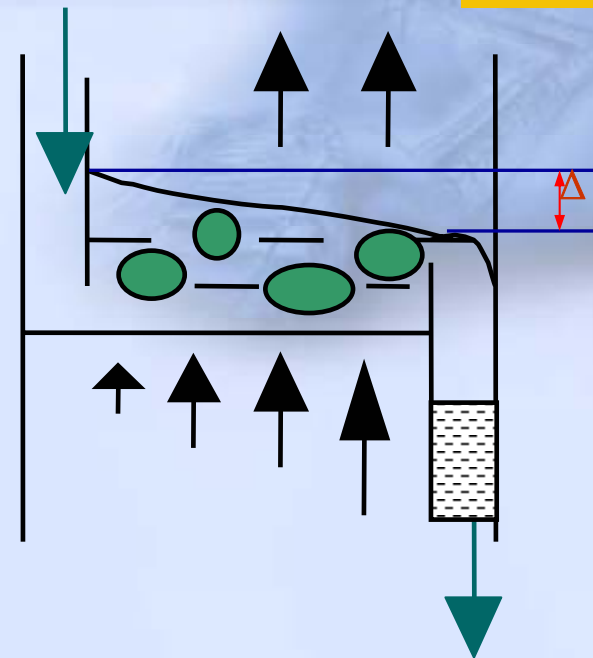


图10-5 气体沿塔板的分布

工作录像





五、板式塔的不正常操作现象

1. 夹带液泛

液沫夹带使塔板上液层厚度增加，相当于板间距的减小，因此夹带量将进一步增加，这样可能会产生恶性循环破坏塔的正常操作。

夹带液泛经常因**气速过高引起**，塔板上开始出现恶性循环的气速成为液泛气速。

工作录像

2. 溢流液泛

因降液管通过液体能力限制而引起的液泛称为溢流液泛。通常是由于**液量过大引起**。

工作录像

3. 漏液

当气体孔速 u_0 过小或气体分布不均匀时，使一些筛孔无气体通过，从而造成液体短路，大量液体由筛孔漏下的操作现象。

工作录像





六、板效率的表示与应用

1. 点效率

$$E_{OG} = \frac{y - y_{n+1}}{y^* - y_{n+1}}$$

$$E_{OL} = \frac{x_{n-1} - x}{x_{n-1} - x^*}$$

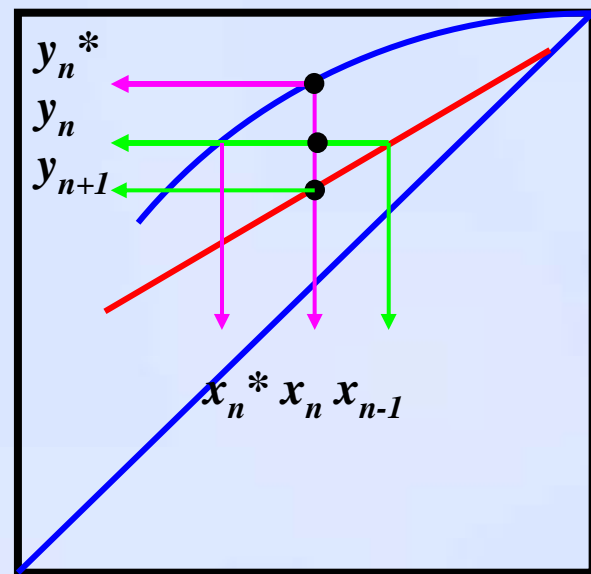
反映气相或液相经塔板某点的实际提浓程度与经该点的最大提浓程度之间的比值，包括气、液相的点效率 E_{OG} 与 E_{OL} 。

2. 单板效率

$$E_{MV} = \frac{\bar{y}_n - \bar{y}_{n+1}}{y_n^* - \bar{y}_{n+1}} = \frac{\text{实际板的气相增浓值}}{\text{理论板的气相增浓值}}$$

$$E_{ML} = \frac{\bar{x}_{n-1} - \bar{x}_n}{\bar{x}_{n-1} - x_n^*} = \frac{\text{实际板的液相浓度降低值}}{\text{理论板的液相浓度降低值}}$$

指气相或液相经过某板前后的实际组成变化与经该板的理论组成变化之间的比值，包括气、液相的莫弗里板效率 E_{mv} 与 E_{mL} 。





3. 全塔效率 E_T

也称总板效率，指为完成某一分离任务理论板数与实际板数的比值。其定义式为：

$$E_T = \frac{N_T}{N_p} = \frac{\text{理论板数}}{\text{实际板数}}$$

N_T ——为完成某分离任务所需的理论板数，不包括塔釜。

E_T 可利用O'Connell关联图10-20或下面的公式得出：

$$E_T = 0.49(\alpha\mu_L)^{-0.245}$$

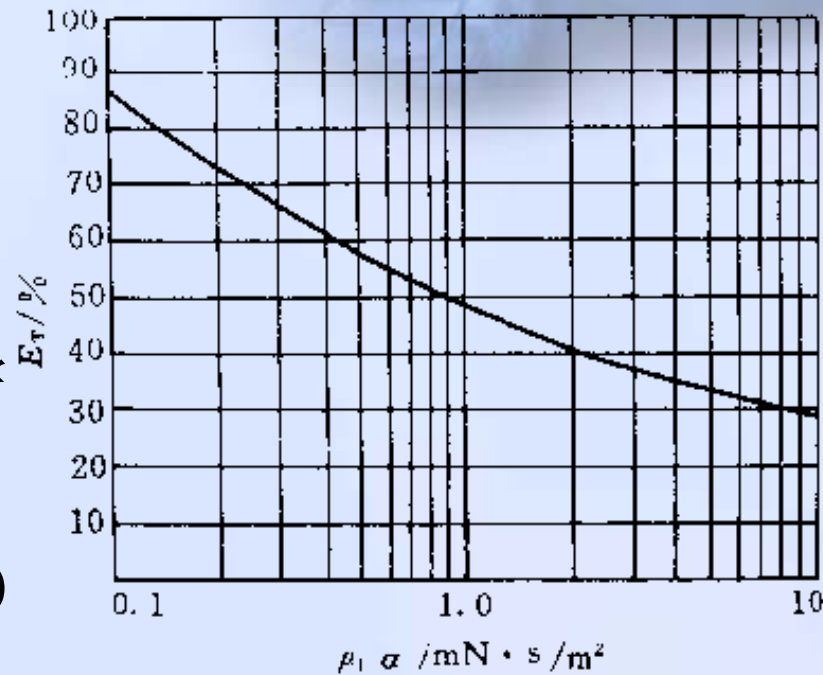


图10-20 精馏塔全塔效率关联图





七、提高塔板效率的措施

1. 结构参数设置

① 开孔率和孔径

合理选择塔板开孔率和孔径，造成适应于物系性质的气液接触状态——轻组分表面张力较大的物系宜采用喷射接触状态，重组分表面张力较大组分易采用泡沫接触状态。

② 进气装置

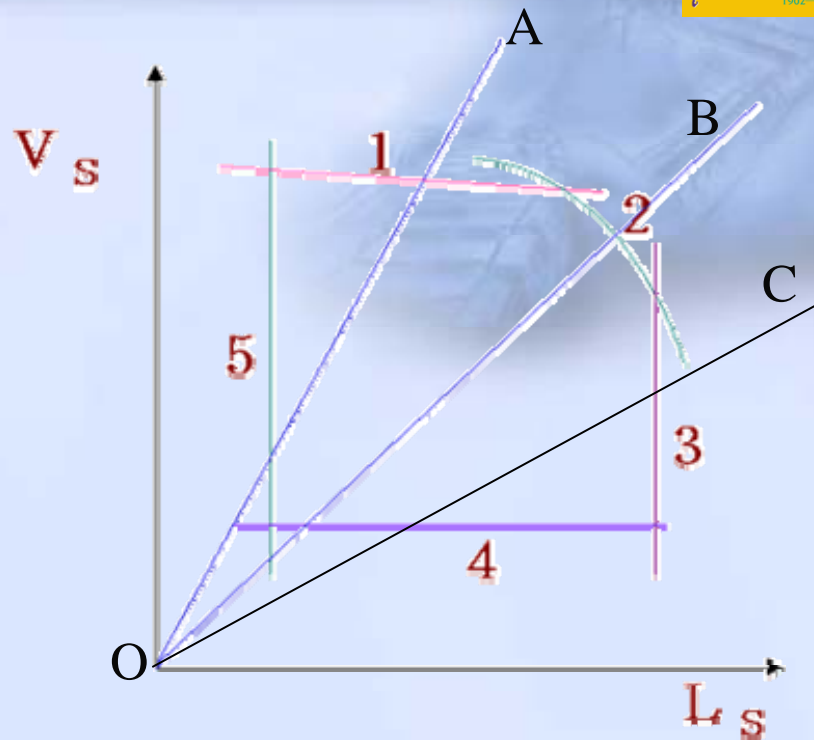
设置倾斜的进气装置，使全部或部分气体沿倾斜于液体流动的方向进入液层。



2. 塔板负荷性能图

由五条线组成，分别为：

- 1 —— 过量液沫夹带线
- 2 —— (溢流)液泛线
- 3 —— 液相上限线
- 4 —— 漏液线
- 5 —— 液相下限线



操作液气比下两相流量的关系

塔板负荷性能图

- ① OA线(低 L/V): 塔的生产能力由1线控制;
- ② OB线(中 L/V): 塔的生产能力由2线控制;
- ③ OC线(高 L/V): 塔的生产能力由3线控制;





八、塔板类型

评价塔设备性能的指标

① 生产能力大

即：单位塔截面能处理的气液负荷高；

② 塔板效率高

③ 板压降低，两相流动阻力小

④ 操作弹性大

即：上、下操作极限通过的气量之比大；

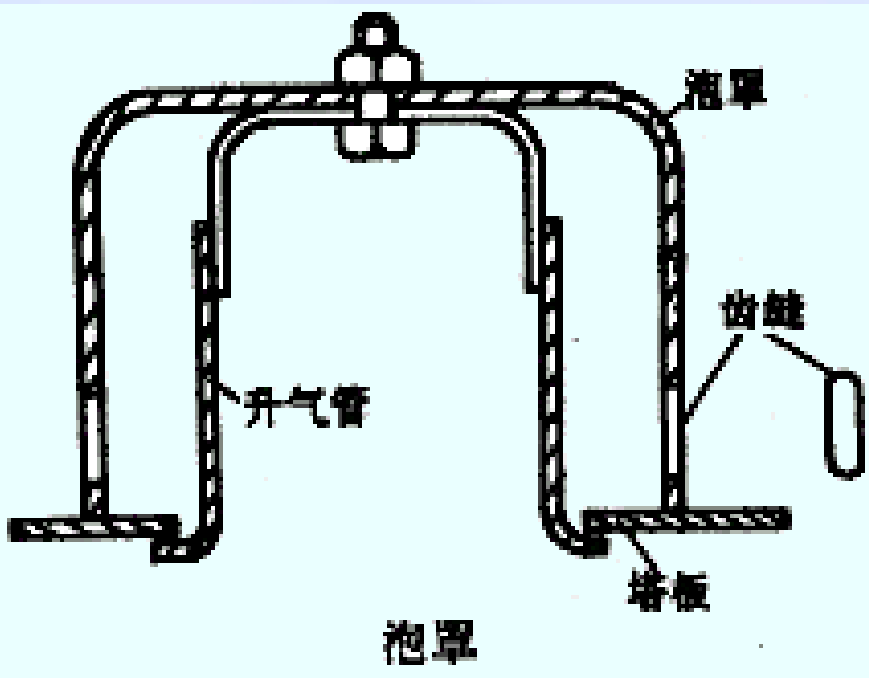
⑤ 满足工业对生产设备的一般要求

结构简单、造价低、安装维修方便等。



1. 泡罩塔板

① 结构:



[动画演示](#)

[工作录像1](#) [工作录像2](#)

② 特点与应用:

弹性大、操作稳定可靠；但结构复杂，成本高，压降大。

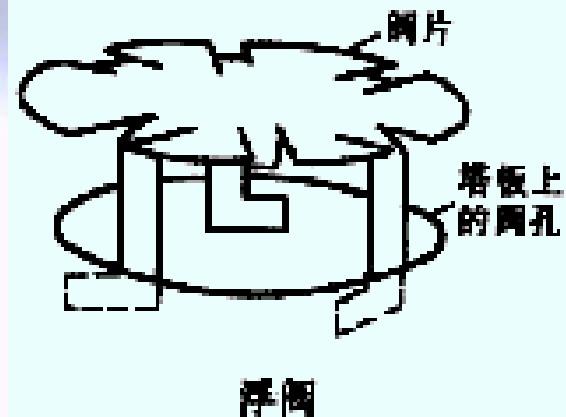


2. 浮阀塔

① 结构:

动画演示

工作录像



② 特点与应用:

结构上较泡罩简单，操作弹性大，可有效防止漏液，生产能力大。

动画演示



3. 筛板塔

① 结构:

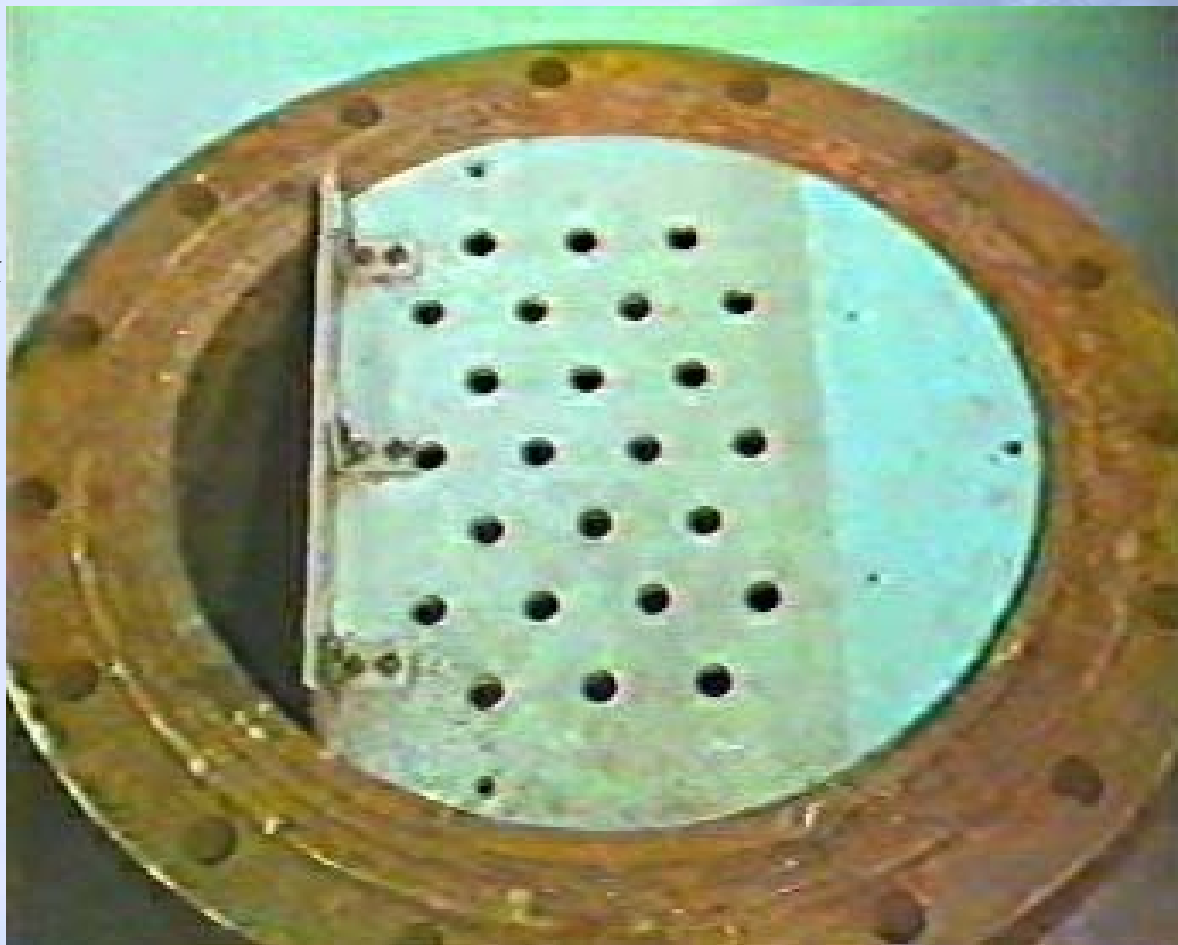
由筛孔、溢流堰和降液管等主要部分组成。

动画演示

② 特点与应用:

结构简单、造价低、
压降小、生产能力大。

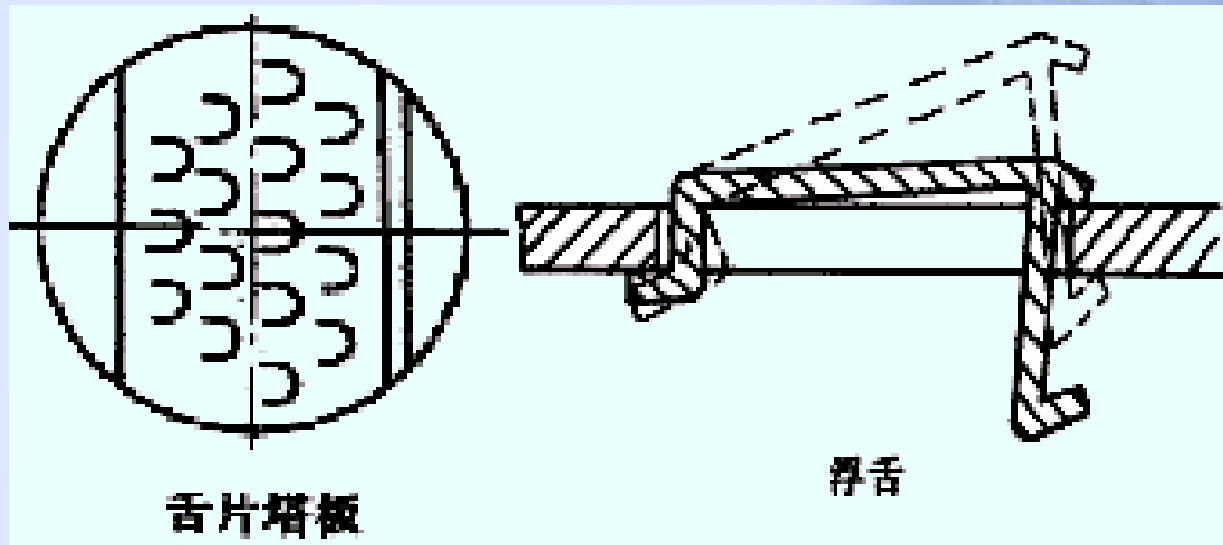
动画演示



4. 舌形塔板

① 结构:

工作录像



舌片塔板

浮舌

② 特点与应用:

结构较简单、造价较低、压降较小、液沫夹带少、在低液气比条件下生产能力较高。但气速较高时，塔板上液层较薄，塔效率较低。



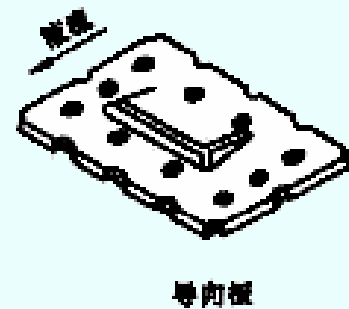
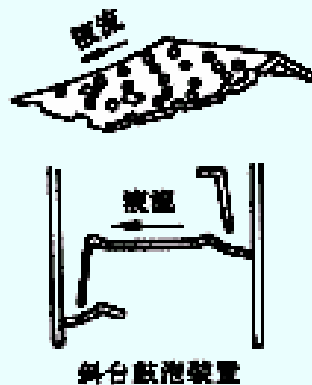
5. 导向筛板(Linde sieve tray)

① 结构:

筛板上布置一定数量的导向斜孔，塔板入口处设置鼓泡促进装置。

② 特点与应用:

压降较小、生产能力大、塔板效率高，操作弹性也有所增加。



导向板

林德筛板



九、筛板塔的设计

1. 筛板的开孔

为了使筛板的利用率高，筛孔多取三角形排列(见图10-21)。当孔间距和孔径确定后，开孔面积与塔板开孔区面积之比(α)，由下式计算：

$$\alpha = \frac{A_0}{A_a} = 0.907 \left(\frac{d_0}{t} \right)^2$$

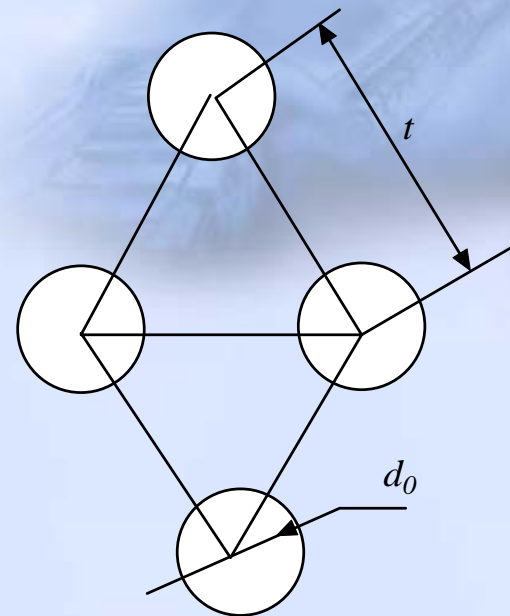
开孔区面积对于单溢流塔板可用下式计算：

$$A_a = 2 \left[x \sqrt{r^2 - x^2} + r^2 \sin^{-1} \frac{x}{r} \right]$$

对于双溢流塔板

$$A_a = 2 \left[x \sqrt{r^2 - x^2} + r^2 \sin^{-1} \frac{x}{r} \right] - 2 \left[x_1 \sqrt{r^2 - x_1^2} + r^2 \sin^{-1} \frac{x_1}{r} \right]$$

塔板上的筛孔总数 n 可用下式计算： $n = \frac{1185 \times 10^5}{t^2} A_a = n' A_a$



筛孔排列示意图





2. 溢流堰

筛板塔的溢流堰高可按以下要求设计：

对一般的塔，应使塔上清液层高度（堰高+堰上液流高度）在50~100mm之间，即：

$$0.100 - h_{ow} \geq h_w \geq 0.050 - h_{ow}$$

对于真空度较高或要求压强很小的情况，可使 $h_L < 25\text{mm}$ ，此时 $h_{ow} = 6 \sim 15\text{mm}$ 。当液流量很大时，可以不设堰。

3. 其他结构

降液管、内堰、受液盘及安定区、边缘区等要求按10.1.9中方法设计。





4. 塔板压降

塔板压降由如下三部分组成：

① 干板压降：

$$\Delta p_{\text{干}} = 0.051 \frac{F_0^2}{C_0^2} \cdot \frac{(1-\alpha^2)}{\rho L}$$

② 通过液层的压降：

通过液层得压降按有效液层阻力 h_e 计算

③ 由表面张力引起的压降：

由表面张力引起的压降值一般可忽略，故主要由前两项组成，即：

$$\Delta p = \Delta p_{\text{干}} + \Delta p_{\text{液}}$$





5. 筛板的几个操作极限

① 漏液点: $F_{0漏} = -4.51 = 0.00848(d_0 + 1.27)(h_L + 27.9)$

② 雾沫夹带: $e_v = 0.22\left(\frac{73}{\sigma}\right)\left[\frac{u_G}{12(H_T - h_f)}\right]^{3.2} = \frac{0.0057}{\sigma}\left[\frac{u_G}{H_T - h_f}\right]^{3.2}$

③ 液泛:

板式塔的设计中要求降液管中的液柱高 H_d 不超过板间距 H_T 的0.5~0.6倍, 即: $H_d \leq (0.5 \sim 0.6)H_T$

④ 负荷性能图校验

设计方法:

按经验选定结构参数 → 设计其他参数 → 校核各项流体力学性能 → 画负荷性能图

若流体力学性能不好, 则调整相应结构参数



本节完

