

目录

第十一章 气液传质设备

第一节 板式塔

- 一、结构及特点
- 二、板式塔类型
- 三、气液两相在塔内的良好接触状态
- 四、塔板的流体力学性能
- 五、塔径和塔高的估算
- 六、塔板负荷性能图
- 七、塔板设计要点

目录

第二节 填料塔

- 一、填料塔结构及填料
- 二、填料塔的流体力学性能
- 三、填料塔的附属结构
- 四、高效规整填料塔与板式塔的比较

第十一章 小结

第十一章 气液传质设备



第十一章 气液传质设备



第十一章 气液传质设备

塔设备 { 板式塔
填料塔

第一节 板式塔

板式塔出现较早，迄今已有190余年的历史了，其间跨越了四个里程碑，即

- ❖ 食品和医药生产阶段
- ❖ 能源(炼油)生产阶段
- ❖ 石油化工生产阶段
- ❖ 节能要求阶段

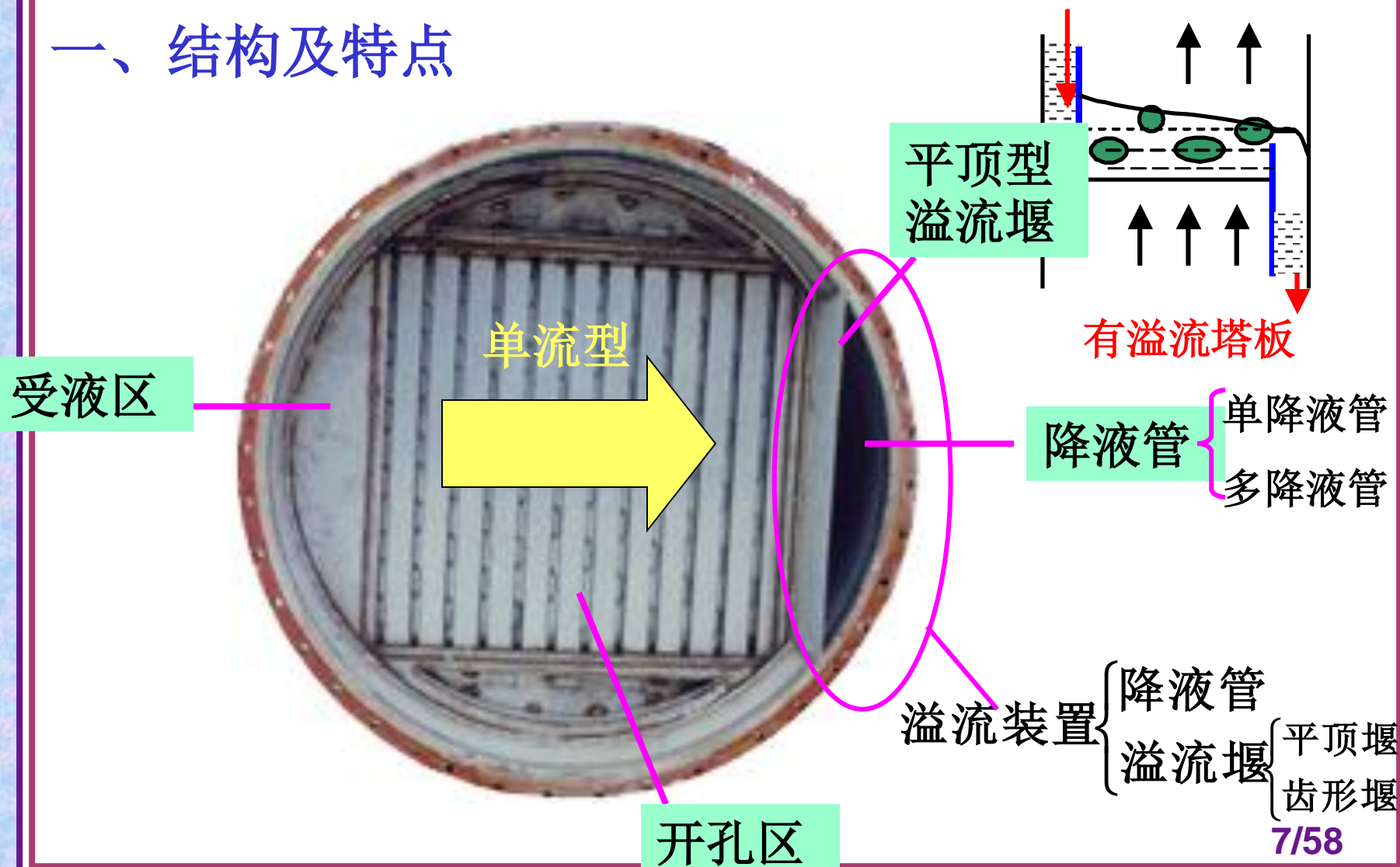
第一节 板式塔

思考题:

1. 气液两相在塔内的良好接触状态有哪两种？
2. 塔板结构包括哪些？
3. 塔内不利流动情况有哪些？
4. 塔内不良操作现象有哪些？
5. 塔板型式有几种？
6. 负荷性能图有几条线组成？什么用途？

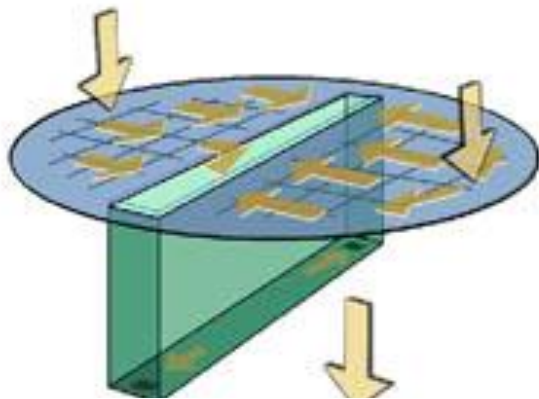
第一节 板式塔

一、结构及特点



第一节 板式塔

一、结构及特点



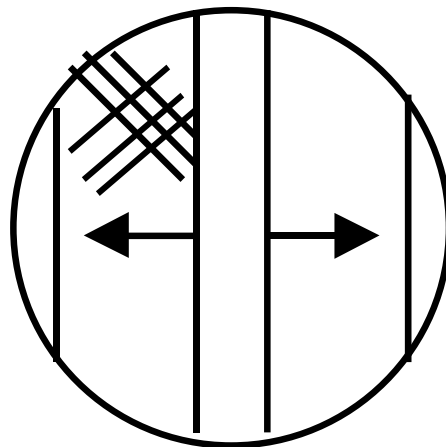
双流型塔板

受液区

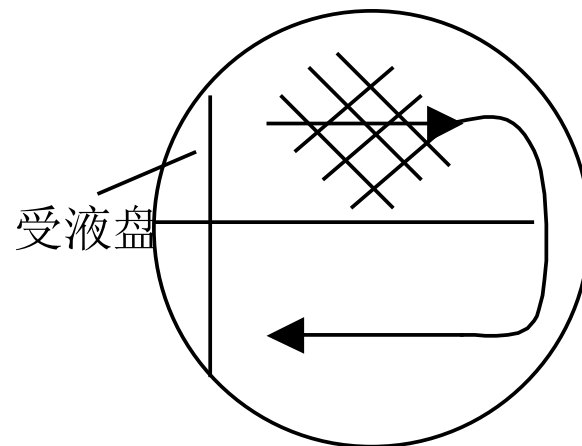
第一节 板式塔

液流形式

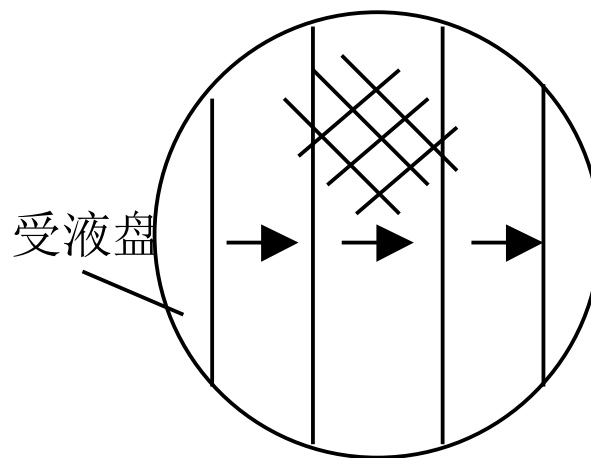
单流型
多流型
U型流
阶梯型流



双流型



U 流型



阶梯型流

二、板式塔类型

长期以来，人们围绕**高效率、大流量、宽弹性、低压降**的宗旨，开发了不少于80种的各种类型塔板。

有溢流塔板又分为：

泡罩型

1813年Cellier首次发明

优点：弹性大、操作稳定可靠。

缺点：结构复杂，制造成本高，压降大，液泛气速低，故生产能力较小。

筛孔型

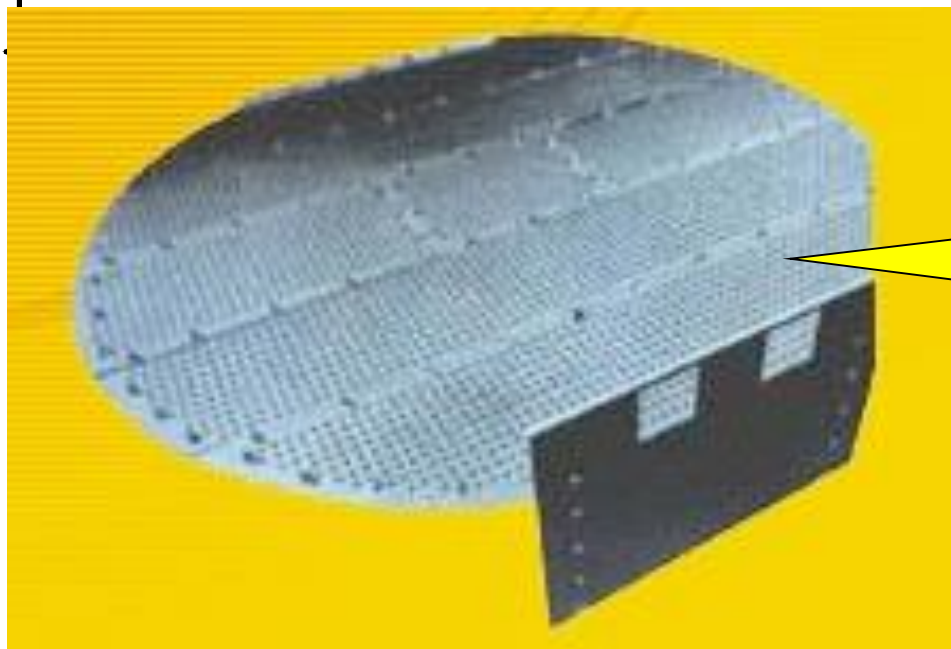


二、板式塔类型

泡罩型

筛孔型

特点：结构简单、造价低、压降小、生产能力大、操作弹性可达2~3。



一般工业中使用的筛板孔径是3-8mm，近年来采用大孔径($\phi 10-25\text{mm}$)的筛板。

二、板式塔类型

泡罩型

筛孔型

浮阀型

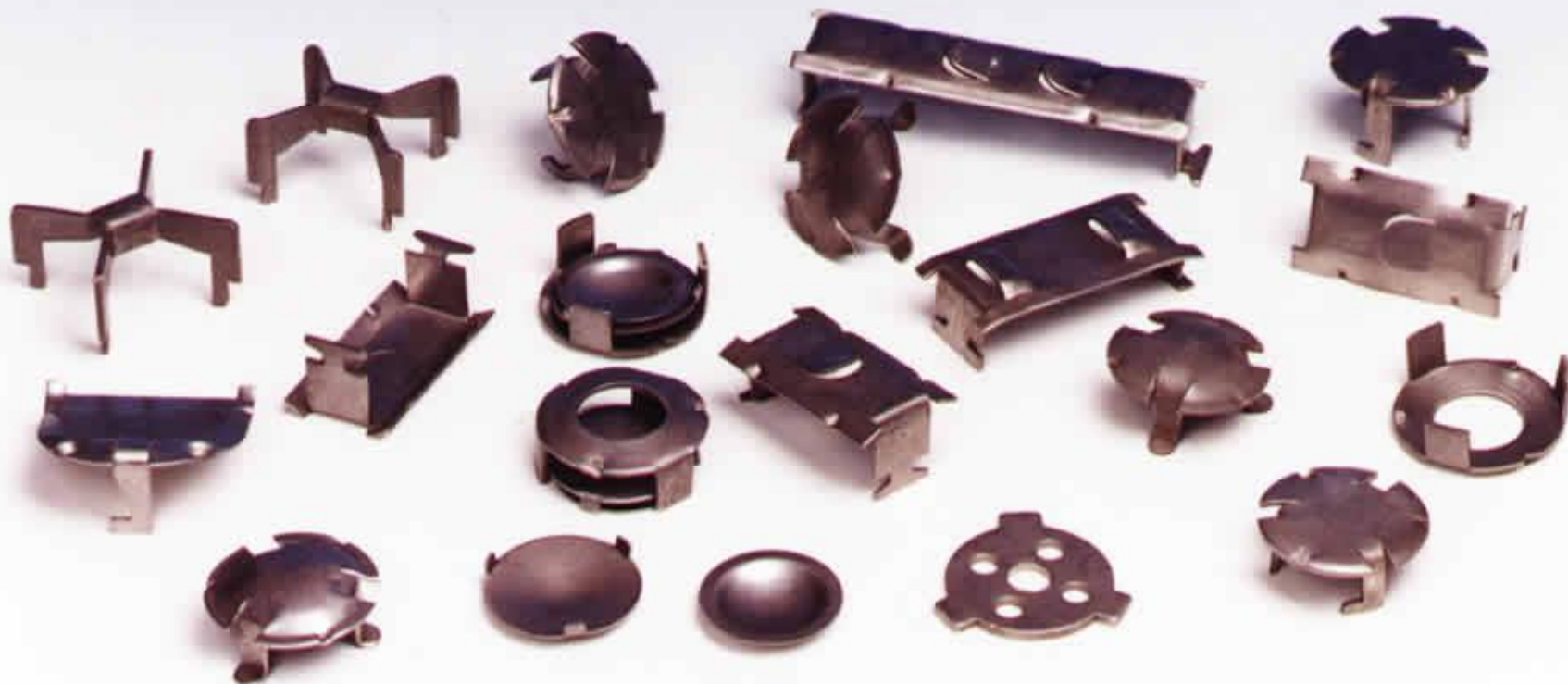
特点：结构上较泡罩简单，比筛板复杂，操作弹性大、生产能力大。

1953年开发出来，其中以美国Glitsch公司推出的F1型浮阀应用最为广泛



各种浮阀:

F1型、V型、T型、A型



二、板式塔类型

在近40年里，塔板是按泡罩、筛孔和浮阀这三种基本塔类而发展的，一些新开发的塔板，多数也是这三种塔板的改进型。

进入90年代以来，人们又开始寻求板式塔的新突破。欧美各国，尤其是美国的各大塔器生产商，研制、开发出大批新型塔板。这些新型塔板既克服了以前的一些缺点，同时又保留了以往普通塔板的优点，以更好适应现在对于大直径蒸馏设备大通量、高效率的要求。

二、板式塔类型



舌形塔板



斜孔塔板

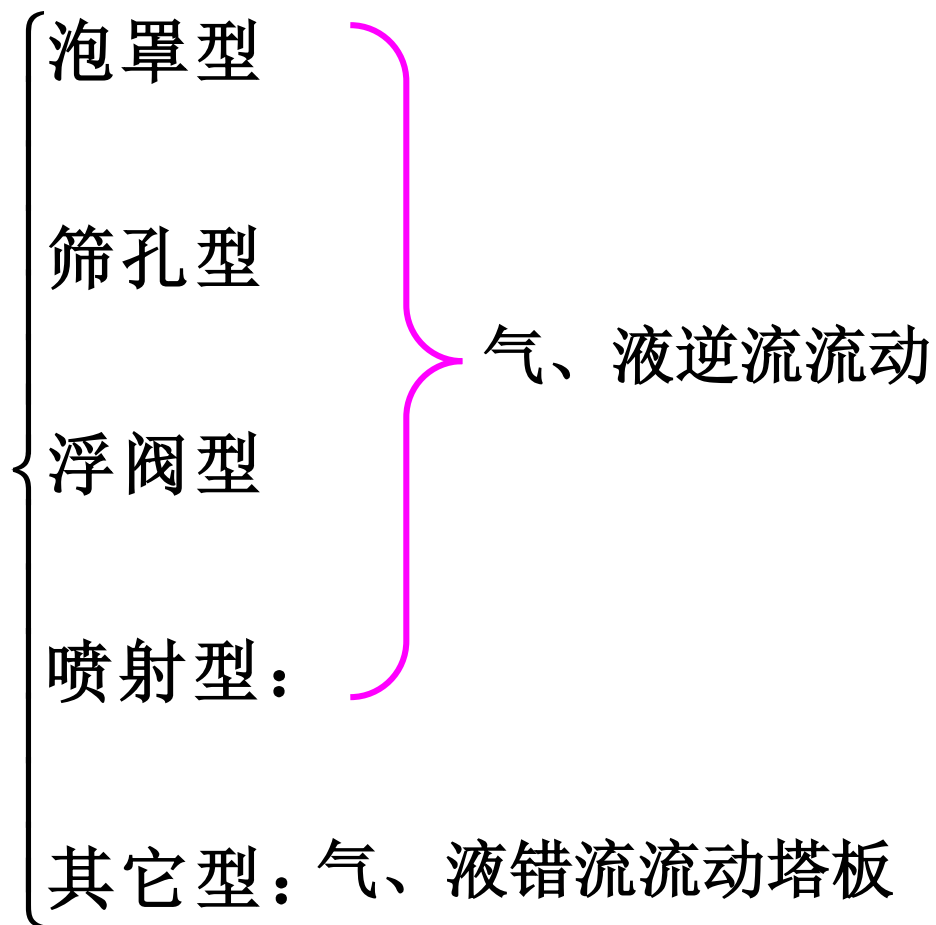
喷射型:

喷射型塔板有一个共同的特点是在喷射条件下，液体被气体撕裂，气体为连续相、液体为分散相。这种型式的塔板气相负荷高，塔板上液层薄而压降低。

其它型:

在生产上应用较为广泛的有舌形塔板、浮动舌形塔板、网孔塔板、斜孔塔板等。

二、板式塔类型



板式塔类型

在1992年国际精馏与吸收会议上，Bruyn等人介绍了他们研究的一种适用于高压、高通量的Nye塔板。

到1995年至少已有150座Nye塔板用于工业化。

特点：①将降液管的底部提高，在其下方也设置浮阀或筛孔；②在降液管底部的垂直面上，气体水平吹入液层，从降液管流出的清液很快“活化”为泡沫，有利于气液传质，同时也有利于减小塔板上的液面落差；③降液管出口面积小于进口面积，其优点是塔板上可以设置更多的浮阀或筛孔，降低了压降，提高了生产能力。

其它型：气、液错流流动塔板

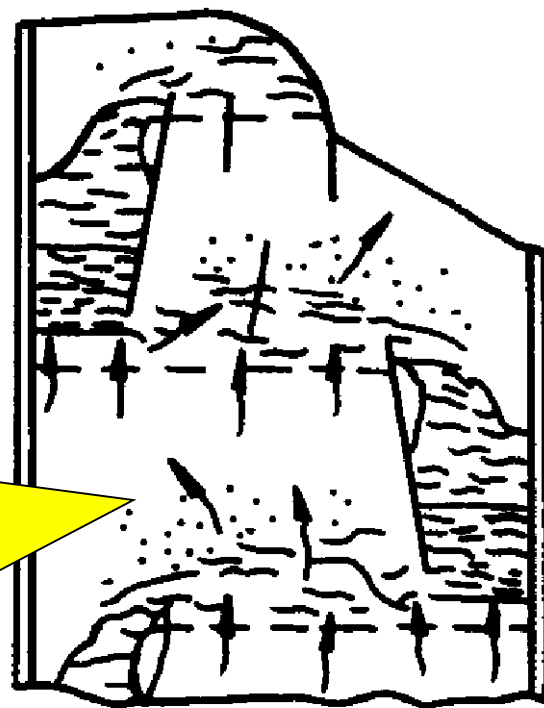


图 13 Nye 塔 板

Fig. 13 Nye tray

二、板式塔类型

MD塔板（Multi-Downcomer Sieve Trays）是美国Union Carbide公司研制的多降液管筛板塔。

它是采用多个悬挂式降液管，主要有以下优点：①由于降液管悬空，使得降液管下方也能设置筛孔或浮阀，提高了开孔率，同时也降低了压降；②液流流程短，不存在塔板上液层高度不均的问题，雾沫夹带大大减少；③出口堰总长远远大于一般塔板，可以允许很高的液流负荷。

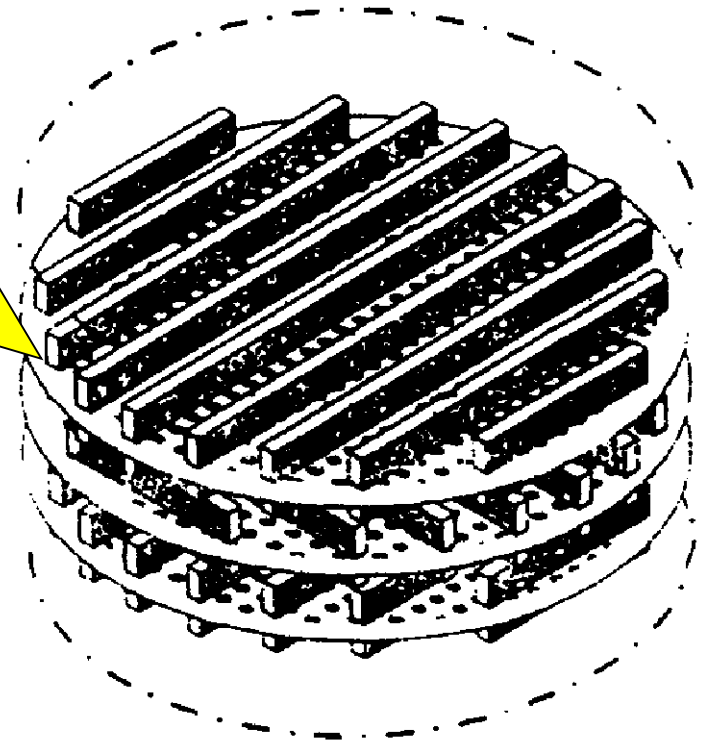


图14 MD塔板

Fig. 14 MD tray

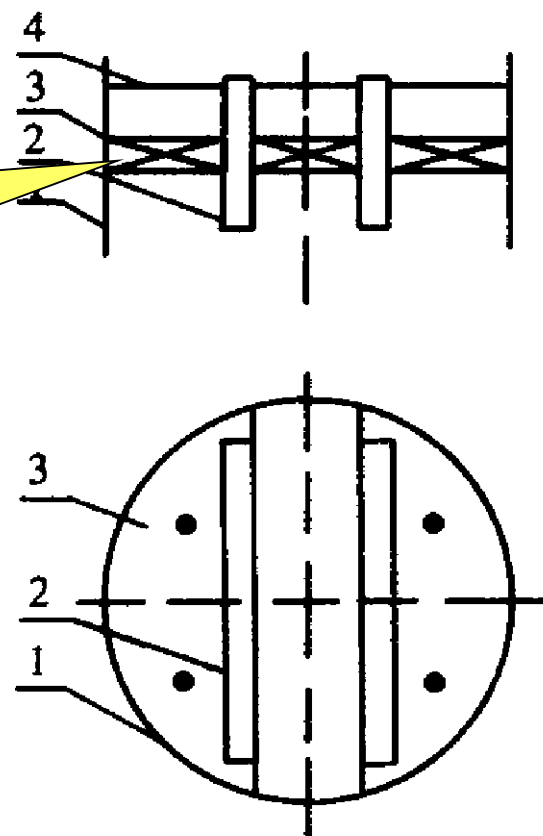
其它型：气、液错流流动塔板

二、板式塔类型

浙江工业大学在八十年代末开发。它属于MD塔板的改进型。它使在塔板下的降液管两侧覆合一薄层规整填料，减小塔板的雾沫夹带。

喷射型：

其它型：气、液错流流动塔板



1 - 塔体；2 - 降液管；3 - 填料；4 - 塔板

图 16 DJ-3 塔板

Fig. 16 DJ-3 tray

二、板式塔类型

泡罩型

筛孔型

浮阀型

喷射型：

其它型：

气、液错流流动塔板

气、液并流流动塔板

二、板式塔类型

研究表明，塔板的效率并不单纯取决于塔盘的结构，也与物系的性质如相对挥发度、黏度、混合物组分等的关系很大。因而，我们在选择塔板时，必须根据分离体系和物系的特点来选择合适的塔板。

根据以往的经验，对于要求液相流量非常大的分离体系可采用MD塔板；对于真空操作的可采用喷射型塔板，如斜孔塔板；对于高压、易发泡的可采用并流塔板，如JCPT；而对于弹性要求大的可采用浮阀塔板。

三、气液两相在塔内的良好接触状态

气液接触方式有三种：

- 鼓泡接触状态
- 泡沫接触状态
- 喷雾接触状态

这两种气液接触方式才能使气液两相在设备中要有良好的接触：

接触充分，接触面要大，相界面不断更新

四、塔板的流体力学性能

塔内只有具有良好的流体力学性能，才能实现高效传质。因此，有必要讨论一下塔内流体力学性能。

具体讨论以下几个方面（包括不良的流体力学状况）：

- 1、漏液
- 2、液沫夹带
- 3、液泛
- 4、气泡夹带
- 5、塔板上的液面落差
- 6、塔板上液体的返混
- 7、气体通过塔板的压降
- 8、液体停留时间

四、塔板的流体力学性能

1、漏液 ----- 一定存在，不可避免。

严重漏液-----不允许，是塔的不良操作现象之一。

不良后果：降低板效，严重时使板上不能积液。

产生的原因：气速过小，或液体分布严重不均。

2、液沫夹带----- 一定存在，不可避免。

过量液沫夹带-----不允许，是塔的不良操作现象之一。

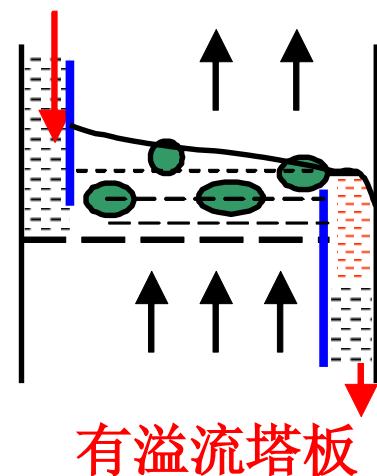
不良后果：（1）降低板效；

（2）将不挥发性物质逐板送至塔顶造成产品污染；

（3）严重时造成液泛。

产生的原因： 气体输送夹带、飞溅夹带

要求夹带量 $e_G < 0.1 \text{kg液体/kg干气体}$



四、塔板的流体力学性能

3. 液泛（淹塔）——不允许，是塔的不良操作现象之一。

不良后果：塔压力降急剧增大、板效急剧减小

产生的原因：降液管被液体充满

(1) 气体流量过大，产生了过量的液沫夹带

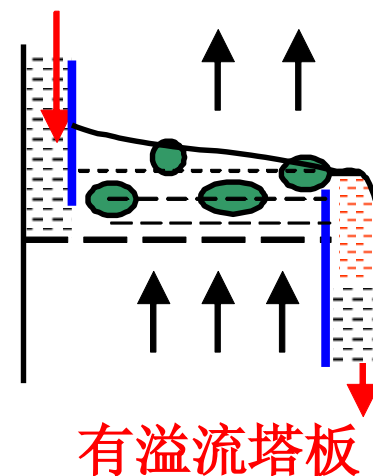
；

(2) 液体负荷过大，降液管的截面积不够。

4. 气泡夹带 -----越小越好

不良后果：降低板效

产生的原因：降液管中液体停留时间过短



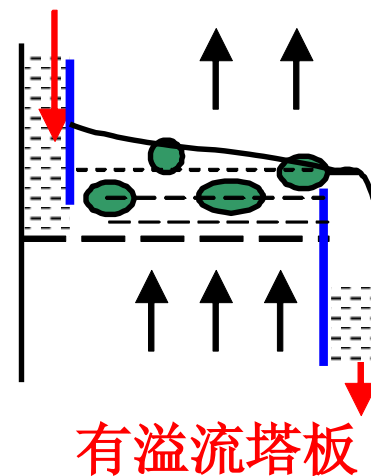
四、塔板的流体力学性能

5、塔板上的液面落差 -----液面落差越小越好

不良后果： 液面落差会导致气流分布不均

产生的原因： 液体在塔板上横向流动时要克服流动阻力（摩擦阻力、形体阻力）。

6、板上液体的返混 ----减少返混对传质是有利的



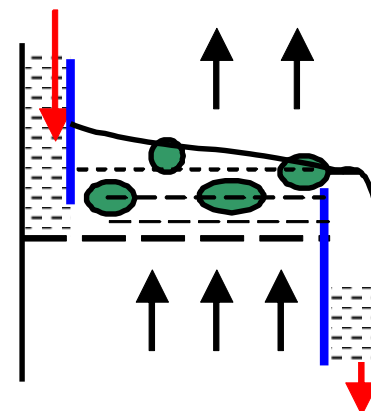
四、塔板的流体力学性能

6、气体通过塔板的压降 -----单板压降

单板压降不要过大或过小。

一般，常压塔：单板压降40~65mmH₂O

减压塔：单板压降10~35mmH₂O



产生的原因：

$$h_p = \text{干板压降} + \text{液层压降} = h_c + h_l \quad (\text{加和模型}) \quad \text{有溢流塔板}$$

不良后果：

- (1) 单板压降大，气体流动阻力大，对输送要求较高。
- (2) 过高的单板压降会使塔顶与塔底的压差较大，从而影响体系的相平衡关系以及气液流动情况，这对真空操作尤为重要。

7. 液体在降液管内的停留时间

——停留时间不要太短，否则会导致气泡夹带。 $\geq 3 \sim 5s$

五、塔径和塔高的估算

$$D = \sqrt{\frac{4V_G}{\pi u}}$$

$u = (0.6 \sim 0.8)u_F$

$$\text{塔高 } Z = N_e \cdot H_T$$

——板间距，
根据经验取值

----泛点气速，
由经验式计算
或图11-8查取。

板间距 H_T 与塔径 D 之间的关系如表 1 所示：

表 1 板间距 H_T 的参考数值

塔径 $D(\text{m})$	0.3~0.6	0.6~1.0	1.0~2.0	2.0~4.0	4.0~6.0
板间距 $H_T(\text{mm})$	200~350	250~400	250~600	300~600	400~800

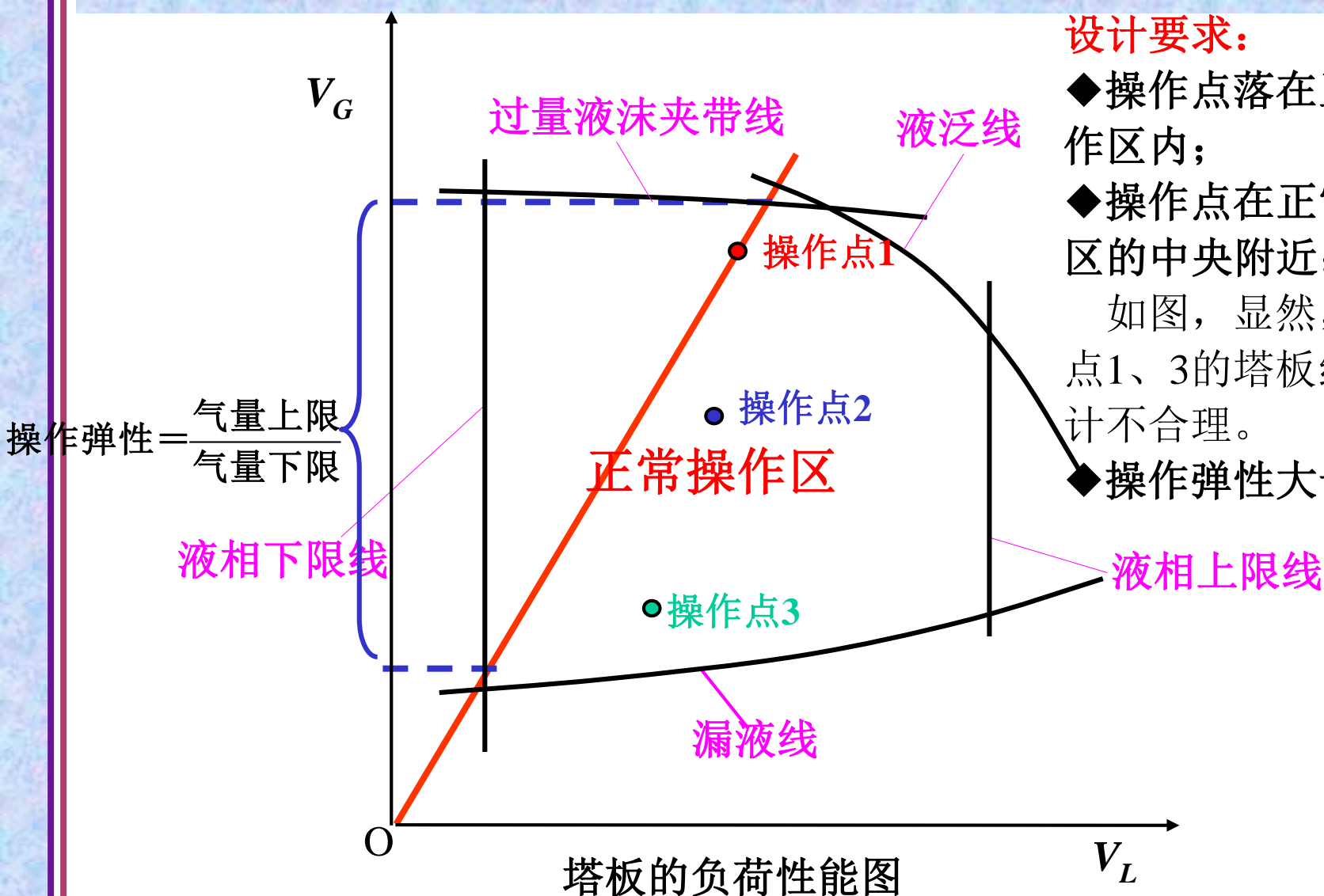
六、塔板负荷性能图

设计出的塔板结构是否合理，是否能满足上述各项流体力学性能良好的要求，需要检验。

检验的方法就是绘制塔板负荷性能图（理论上，每块塔板都有一个负荷图）。



六、塔板负荷性能图



设计要求:

◆操作点落在正常操作区内;

◆操作点在正常操作区的中央附近;

如图, 显然, 操作点1、3的塔板结构设计不合理。

◆操作弹性大于2~3

七、塔板设计要点

设计内容：

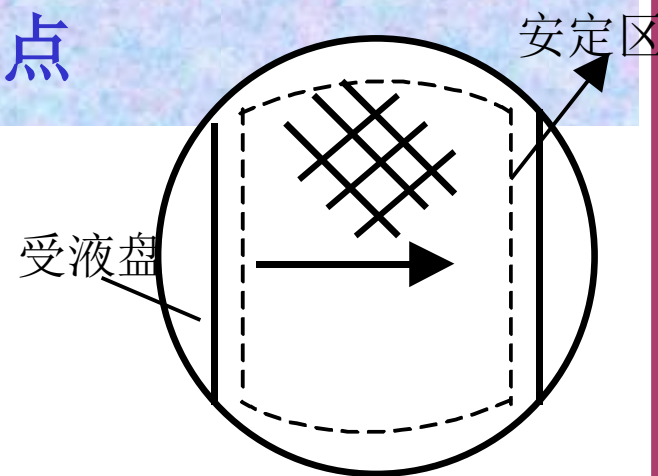
板型：筛板、浮阀等

板上液流型式：单流、双流等

板间距 H_T

塔径 D

板上结构：开孔区、受液区、安定区、溢流装置结构设计



设计方法：

根据经验选定一些结构参数 → 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

七、塔板设计要点

思考：如图

1、对操作点1的情况，应如何调节塔板结构设计参数使之处于正常操作区中央附近？

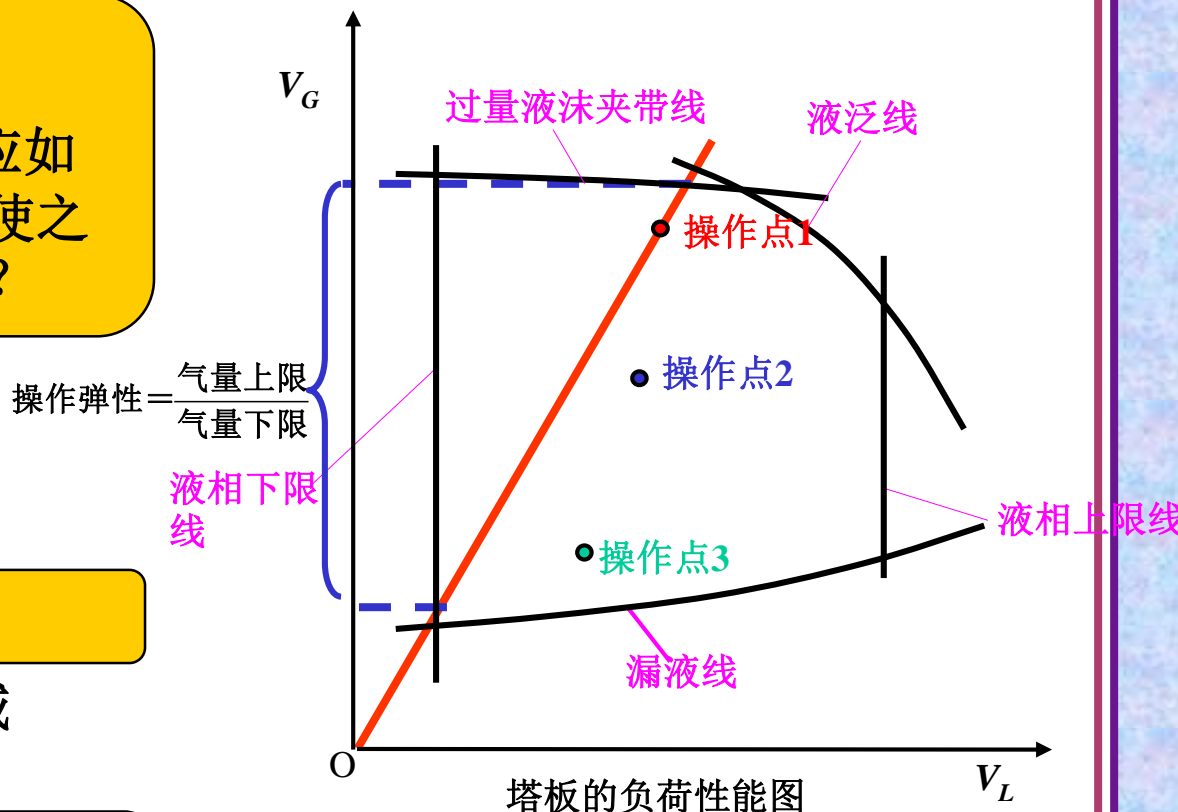
增大板间距；增大塔径；增大开孔率----提高过量液沫夹带线。

2、对操作点2的情况呢？

增大塔径；增大堰长，减小堰高----降低漏液线。

3、若操作弹性偏小，应如何调节塔板结构设计参数呢？

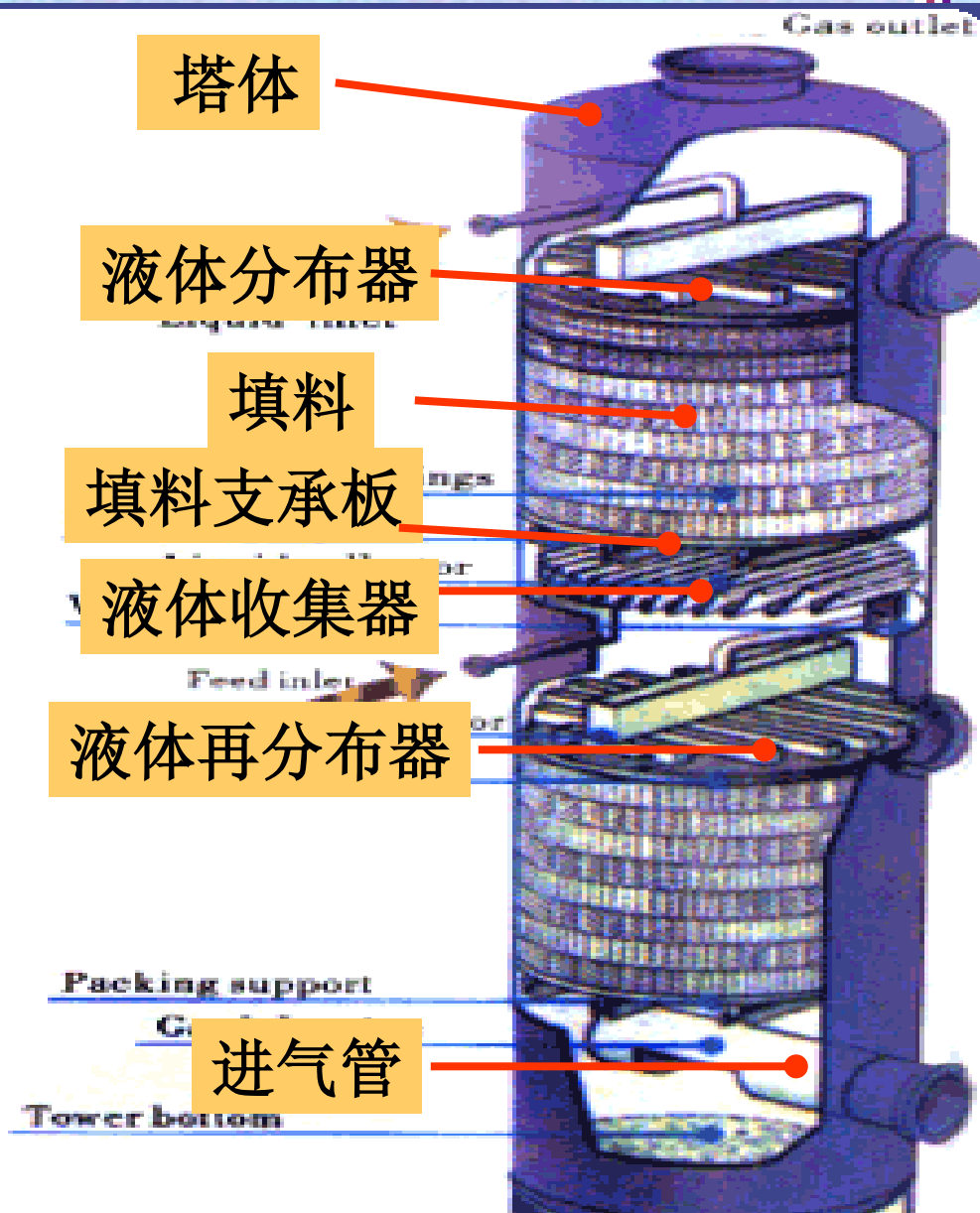
增大板间距；增大开孔率；减小堰长----提高过量液沫夹带线，左移液相下限线。



第二节 填料塔

一、填料塔结构及填料

1. 填料塔结构



一、填料塔结构及填料

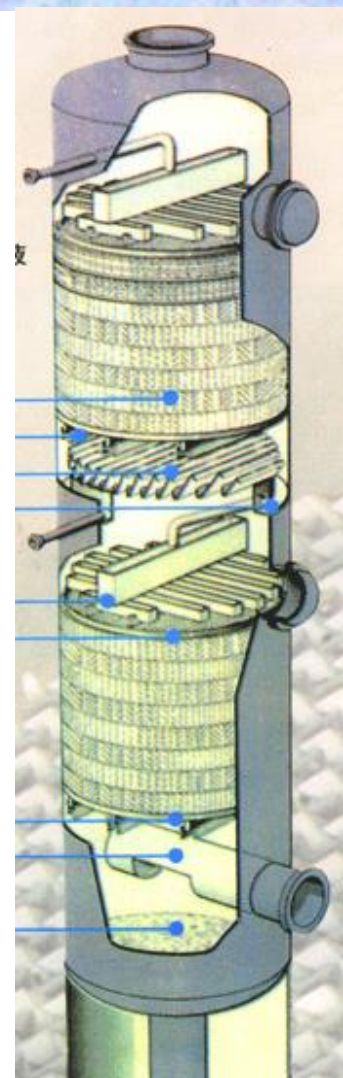
2、填料

填料特性 { 比表面积
空隙率
填料因子

类型： 个体填料
规整填料

在选择填料时，一般要求：

比表面积及空隙率要大，
填料的润湿性要好，
气体通过能力大，阻力小，
液体滞留量小，
单位体积填料的重量轻，
造价低，并有足够的机械强度。



2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料： 环形

工业上常用的散装填料的名义直径有16、25、38、50、76mm 5种。

散装填料塔径与填料直径比不应小于10。



拉西环
Rasching ring

1914年拉西环诞生 现已淘汰！

高度和外径相等；
可用陶瓷和金属制造，
存在严重的壁偏流和沟流现象，
液体滞留量大，
传质效率不高，
气体通过能力低，
阻力大。

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料： 环形



内十字环

Cross-partition ring



现已淘汰！



内螺旋环

Spiral ring

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料： 环形

1948年西德BASF公司发明



鲍尔环
Pall ring



改型鲍尔环

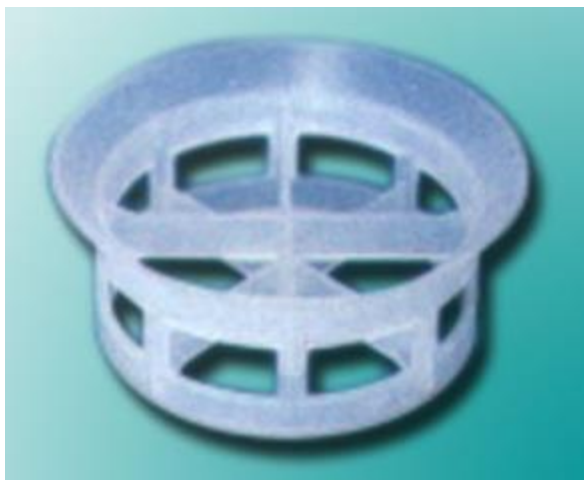
其构造大大提高了环内空间与环内表面的利用率，而且使气液流通顺畅，有利于气液进入环内。

因此，鲍尔环比拉西环传质效率高、气体通过能力大。

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料： 环形

英国皇家传质公司于1972年开发



阶梯环
Cascade ring

高度仅为直径的一半；

环的一端制成喇叭口，这种喇叭结构，使填料个体之间多呈点接触；与鲍尔环相比，其气体通量高，阻力小，传质效率大。

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料： 环形



DC环
DC ring

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料： 环形



OX环



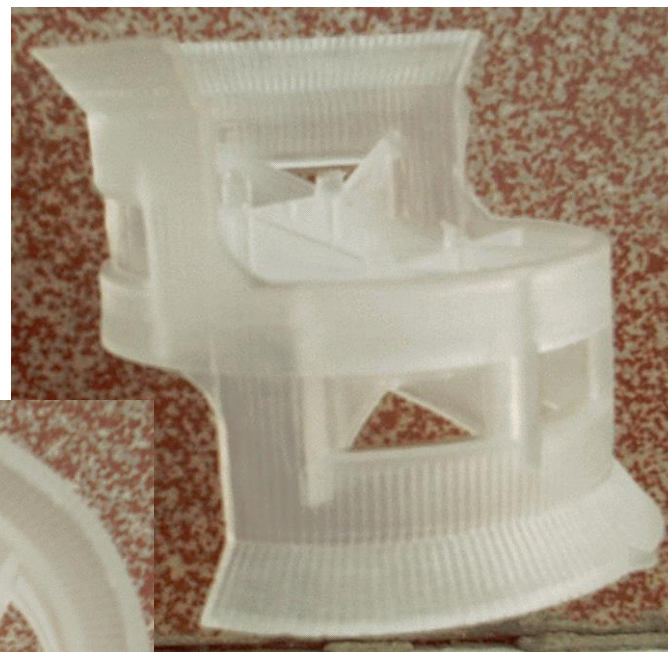
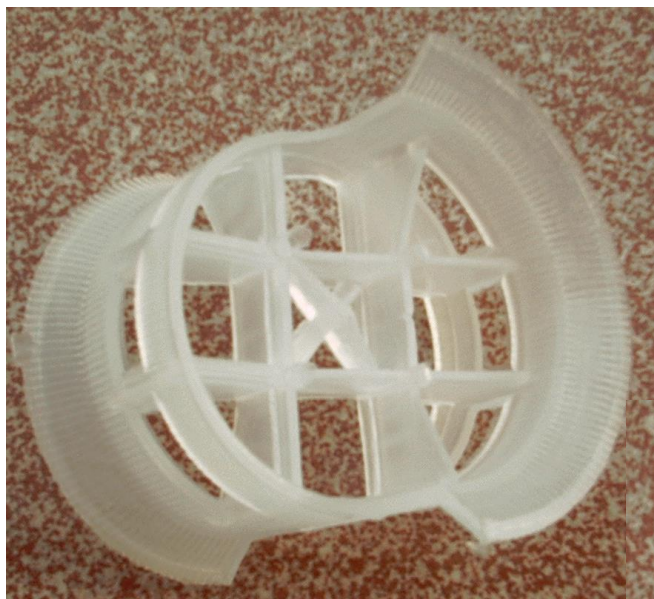
扁环



2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料： 环形

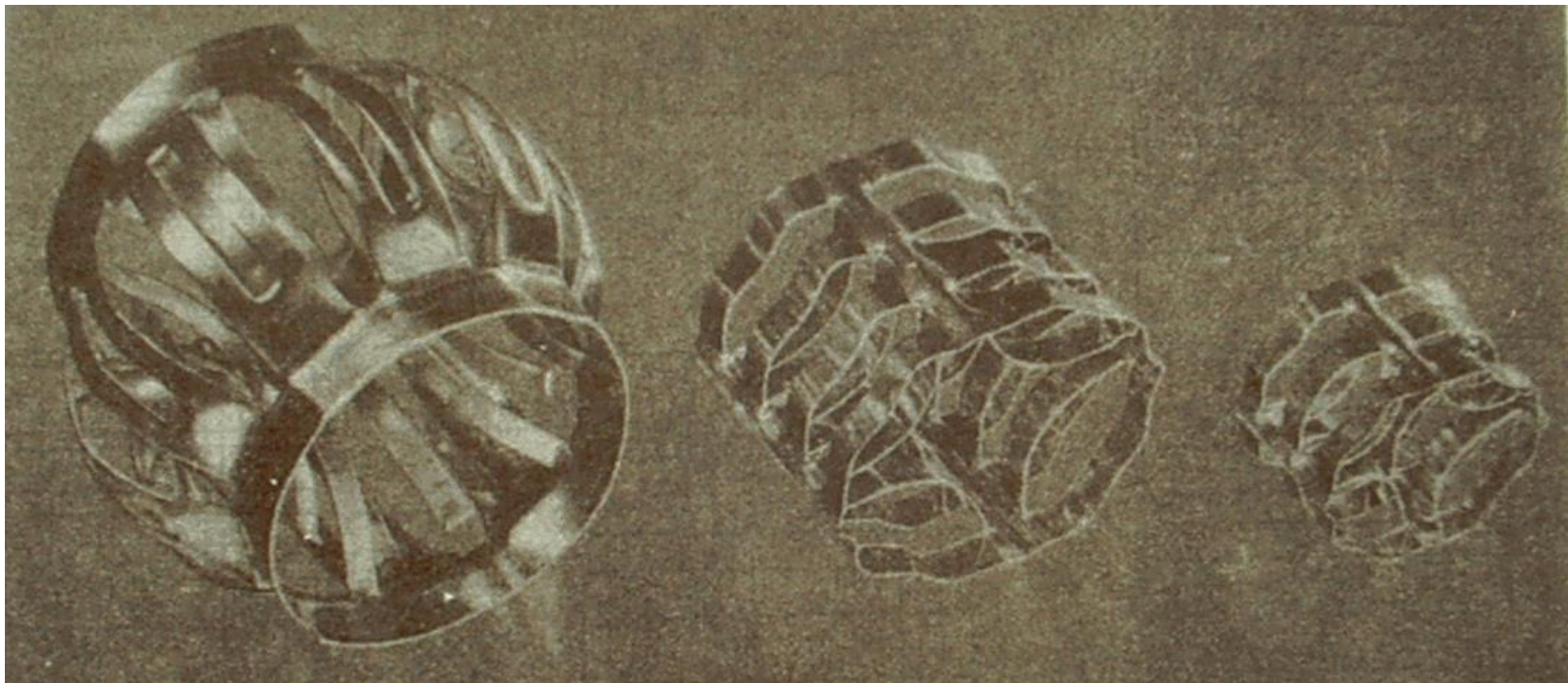
华南理工大学化学工程研究所开发



共轭环

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料： 环形



麦勒环
Mellaring

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料：鞍形

1931年弧鞍填料出现



陶瓷弧鞍
Berl saddle

属敞开型填料，敞开型填料的特点是：

表面全部敞开，不分内外，因而表面利用率高，不易积液，气体流动阻力小，制造也方便。

弧鞍形填料是两面对称结构，在塔内堆积时容易造成填料相互重叠，从而产生沟流，目前已较少使用。

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料：鞍形

1950年出现

属敞开型填料。

矩鞍形填料结构不对称，堆积时不会重叠，填料均匀性大为提高。

矩鞍形填料传质性能比拉西环好，但比鲍尔环差，但在制造上比鲍尔环方便。

矩鞍形填料的缺点是，因开放式结构使其强度差，特别是瓷质填料，易破碎。



矩鞍

Intalox saddle ring

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料：鞍形



金属鞍环填料综合了环形填料通量大及鞍形填料的液体再分布性能好的优点，其性能优于环形填料和鞍形填料。

金属鞍环
Intalox saddle ring

2、填料 { 个体填料 规整填料

(1) 个体填料： 球形



塑料花环
rostte ring



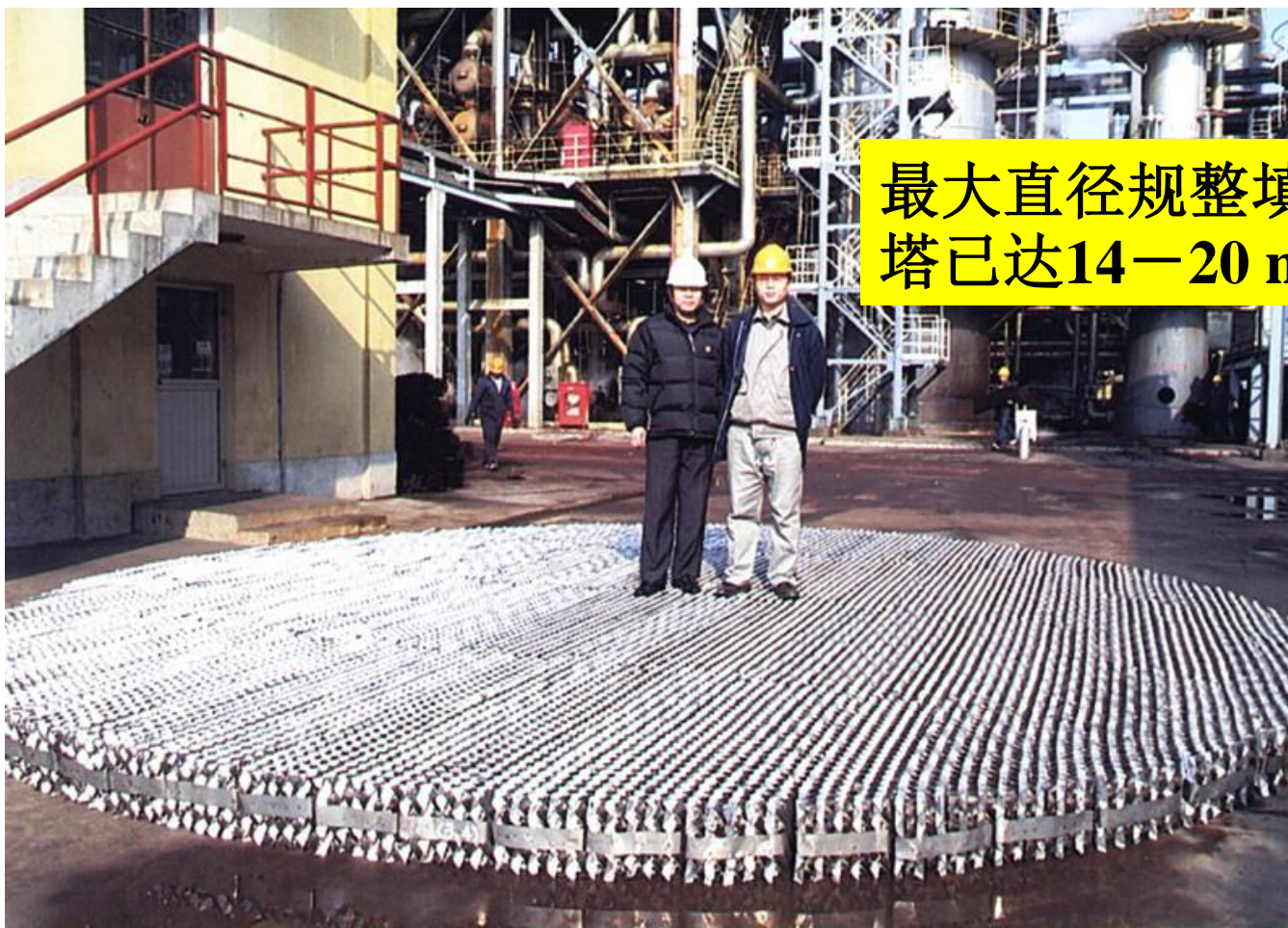
多面空心球
Ball Packing



海尔环
Hillis ring

2、填料 { 个体填料 规整填料

(2) 规整填料 -----以整砌的方式装填在塔内
70年代以来，规整填料的发展非常迅速



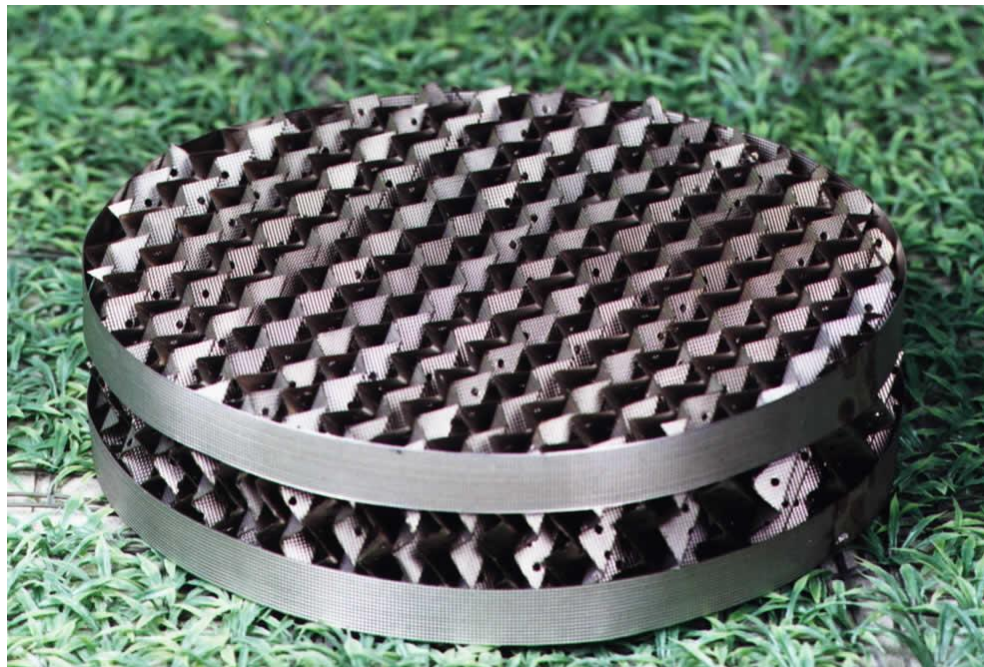
最大直径规整填料
塔已达14—20 m

2、填料 { 个体填料 规整填料

(2) 规整填料

规整填料的比表面积大致有125、250、350、450、500、700m² / m³ 6种。

比表面积大，则压升高、效率也高。选择时通过技术经济指标加以权衡。

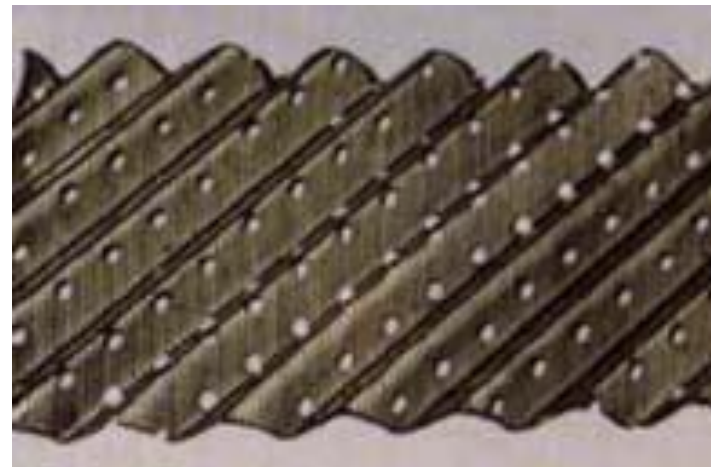


2、填料 { 个体填料 规整填料

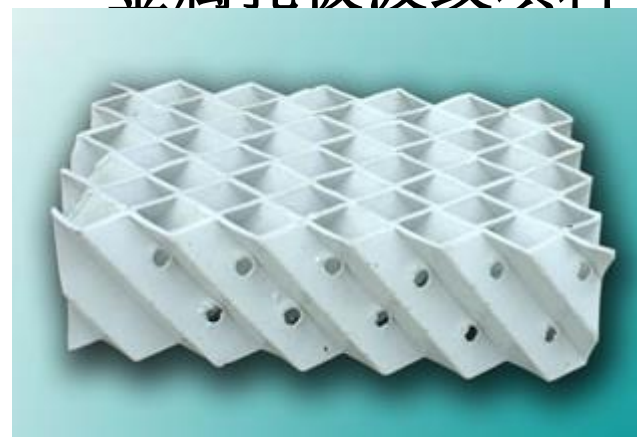
(2) 规整填料 { 波纹填料 (金属、陶瓷) 格栅填料



金属孔板波纹填料



金属孔板波纹填料



陶瓷孔板波纹填料

2、填料 { 个体填料 规整填料

(2) 规整填料 { 波纹填料（金属、陶瓷） 格栅填料



格栅填料（格利希填料）

Glitsch Grid Packing

美国**Glitsch**公司开发的

2、填料 { 个体填料 规整填料

(2) 规整填料

与散装填料相比，规整填料具有以下优点：

传质效率高

压降低

处理量大

持液量小

放大效应不明显

操作弹性大

同时使大塔径的填料塔工业化成为可能。

2、填料

填料的发展，大致可划分为四个阶段：

◆**初始阶段**——以焦炭、卵石、瓦砾、铁屑等作为填料；

◆1914年**拉西环**诞生和随后1931年**弧鞍填料**出现，标志着对填料的研究进入了科学轨道。这个时期在塔填料的理论研究方面有了许多进展，使其应用有了一定的科学依据。

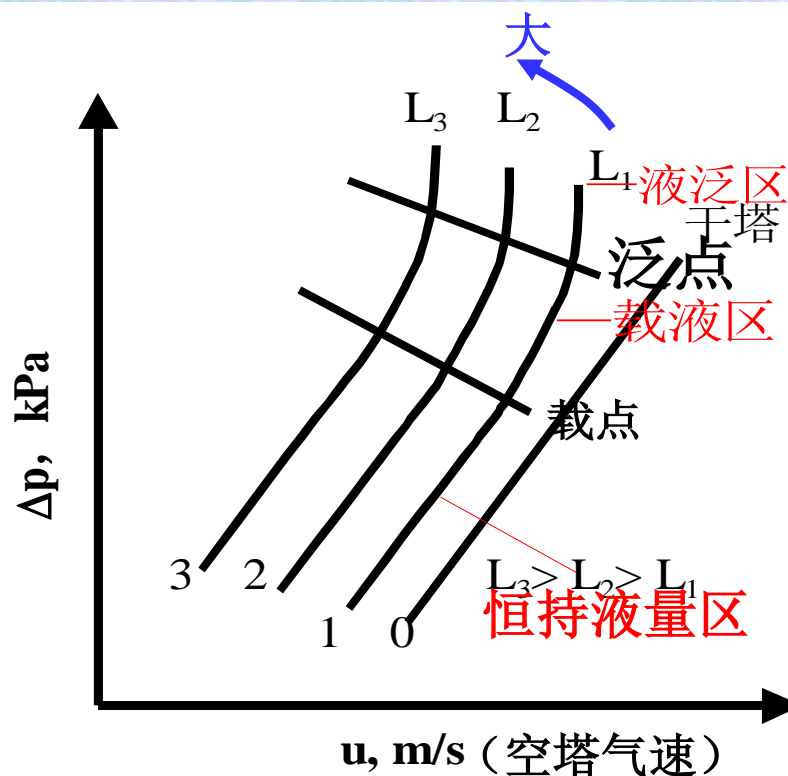
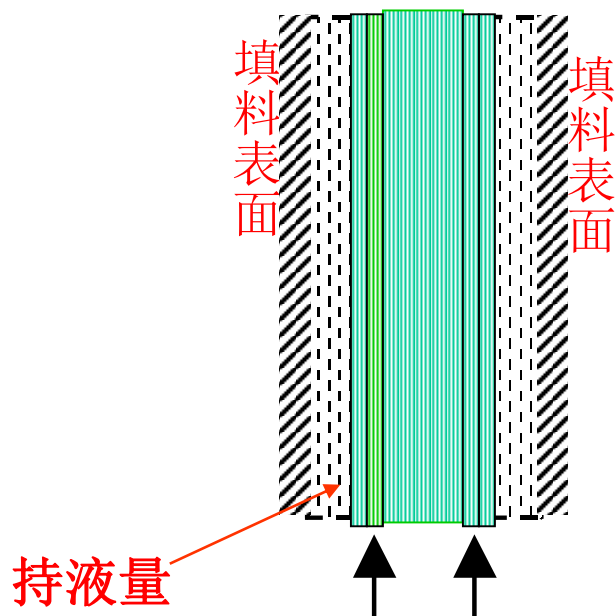
◆1948年**鲍尔环**的问世，可以作为第三阶段的起点。至今，几乎所有的散装填料都是从拉西环和弧鞍这两个雏形中演变而来。

◆70年代开始，各种高效**规整**和散装填料的开发和应用，特别是板波纹填料的开发和应用，填料塔的大型化，填料塔进入一个鼎盛时代。

近20年来，世界各国填料无重大突破，主要是在气液分布器方面有所进展。

二、填料塔的流体力学性能

1、气体通过填料层的压力降



适宜操作应在载点气速和泛点气速之间

$$u = (0.6 \sim 0.8)u_F$$

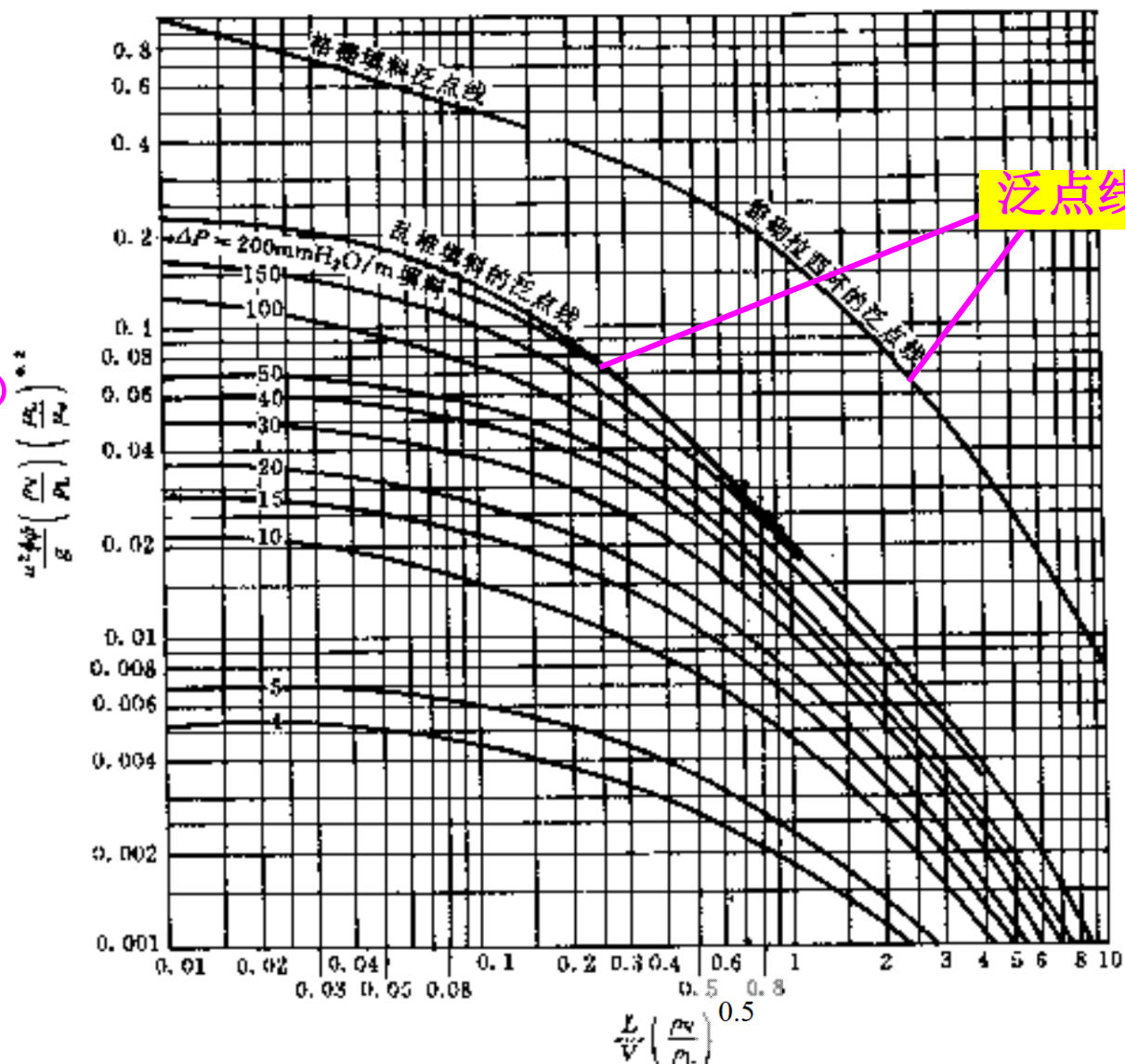
填料层的 $\Delta p \sim u$ 关系
(双对数坐标系)

L ---喷淋量

二、填料塔的流体力学性能

2、液泛

埃克特
(Eckert)
通用关联图



三、填料塔的附属结构

填料支承板

液体分布器

液体再分布器

对传质性能影响也很大

四、高效规整填料塔与板式塔的比较

高效规整填料塔具有：

(1) 塔压降小

目前常用的板式塔，其单板压降常在**0.3-0.5 kPa**之间，如果一个具有**50块板**的板式塔在真空操作下，全塔的压降有**17-27kPa**，

同样一个相当于**50块板**的填料塔，它在正常操作下，其全塔压降只有**3-13kPa**。

两者竞争能力各有强弱。

统计表明，与填料塔相比，石油化工企业塔设备中板式塔约占90%以上。易于放大而且在设计与操作方面已具备了比较成熟的经验。

四、高效规整填料塔与板式塔的比较

高效规整填料塔具有：

(2) 结构简单

无论选用环形填料（乱堆）还是选用高效的规则型填料，其塔结构都比一般的板式塔简单得多。其主体构件即塔体和填料两部分。但值得一提的是，需解决填料塔的工程放大问题。研究表明，液体分布器通常能决定塔操作的好坏，填料塔未能达到预计要求，往往都是液体分布器的设计、制造与安装有问题，特别是液体初始分布对填料效率影响最大。

(3) 通量大

一般板式塔的开孔率均在40%-60%之间，而填料塔的空隙率可在70%-97%之间。

第十一章 小结

板式塔：塔板结构、类型、流体力学性能

填料塔：结构、填料类型、流体力学性能