

## 过程设备设计（下）



第五章 储存设备

第六章 换热设备

第七章 塔设备

第八章 反应设备

# 第七章 塔设备

第一节 概 述

第二节 填料塔

第三节 → 板式塔

第四节 塔设备的附件

第五节 塔的强度设计

第六节 塔设备的振动

### 7.3.1 板式塔的分类

### 7.3.2 板式塔的结构

### 7.3.3 板式塔塔盘的结构

## 7.3 板式塔

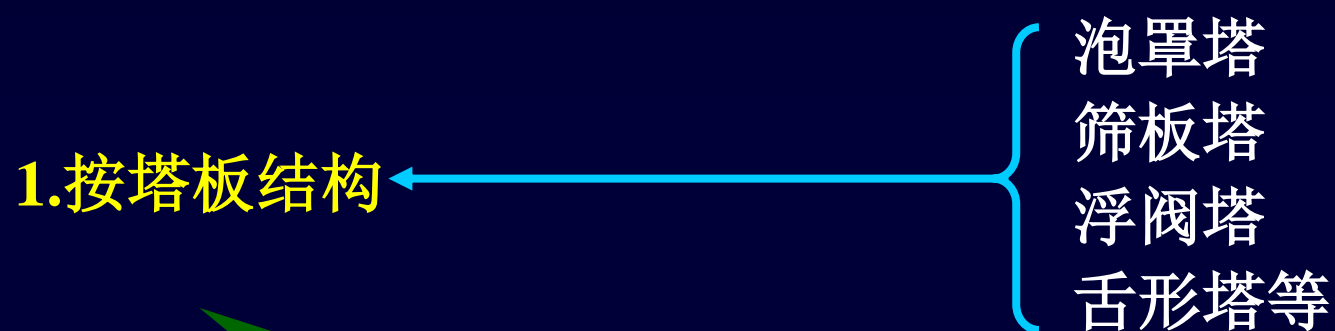
**教学重点：**

板式塔的结构设计。

**教学难点：**

板式塔的结构。

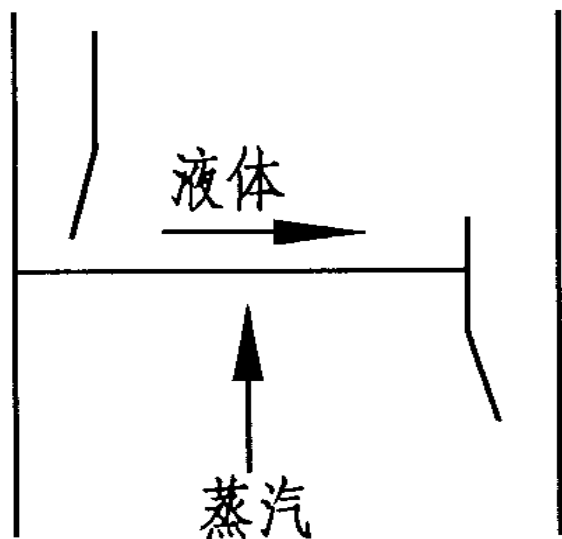
### 7.3.1 板式塔的分类



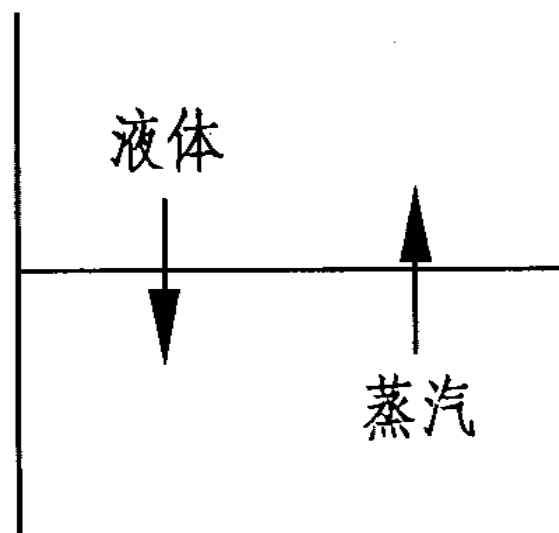
目前应用最广的是筛板塔及浮阀塔

## 2.按气液两相流动方式

分为**错流板式塔**和**逆流板式塔**，或称有降液管的塔板和无降液管的塔板。有降液管的塔板应用较广。



(a) 错流式



(b) 逆流式

### 3.按液体流动型式

- 单溢流型
- 双溢流型

#### 单溢流型塔板——

应用最为广泛，结构简单，液体行程长，有利于提高塔板效率；但当塔径或液量大时，塔板上液位梯度较大，导致气液分布不均或降液管过载。

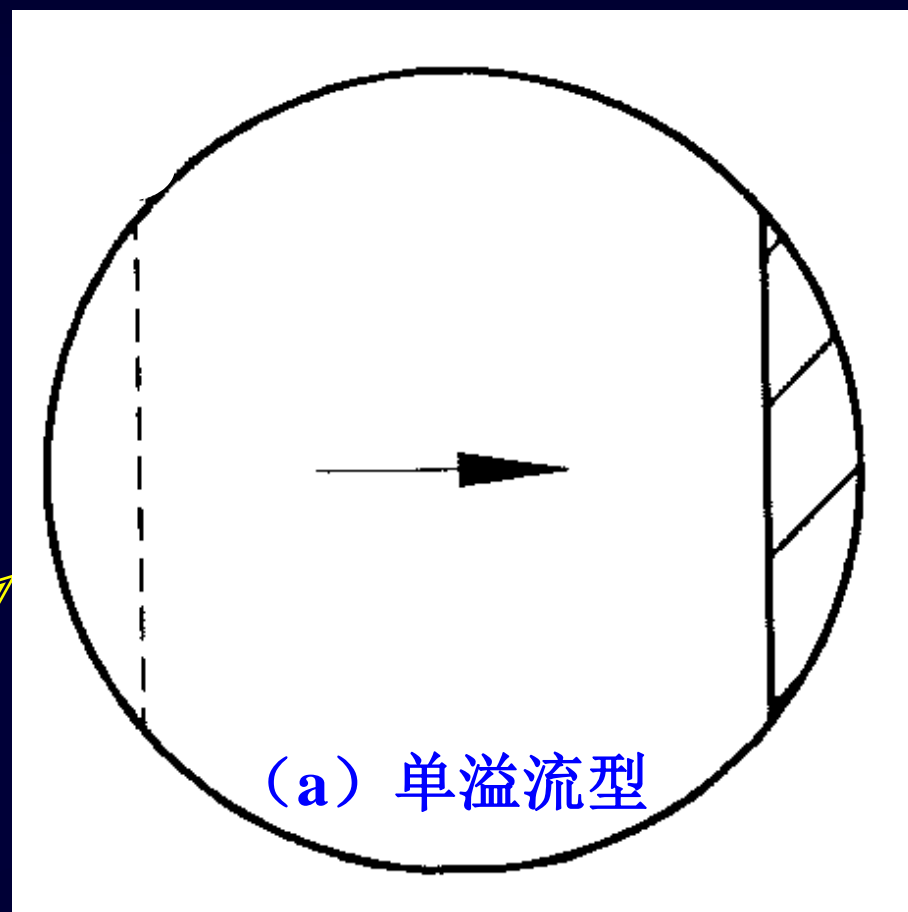


图7—34 液体的流型

## 双溢流塔板——

用于塔径及液量较大时，液体分流为两股，减小了塔板上的液位梯度，减少了降液管的负荷；

**缺点**是降液管要相间地置于塔板的中间或两边，多占了一部分塔板的传质面积。

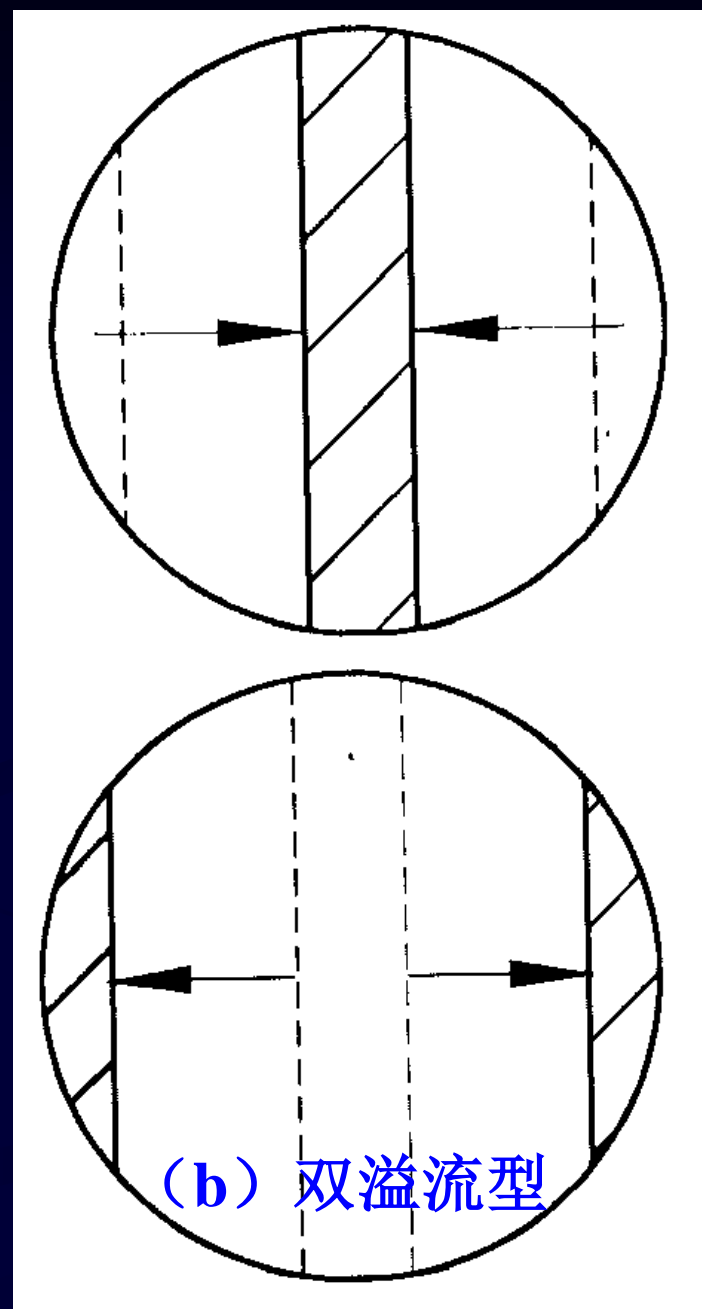
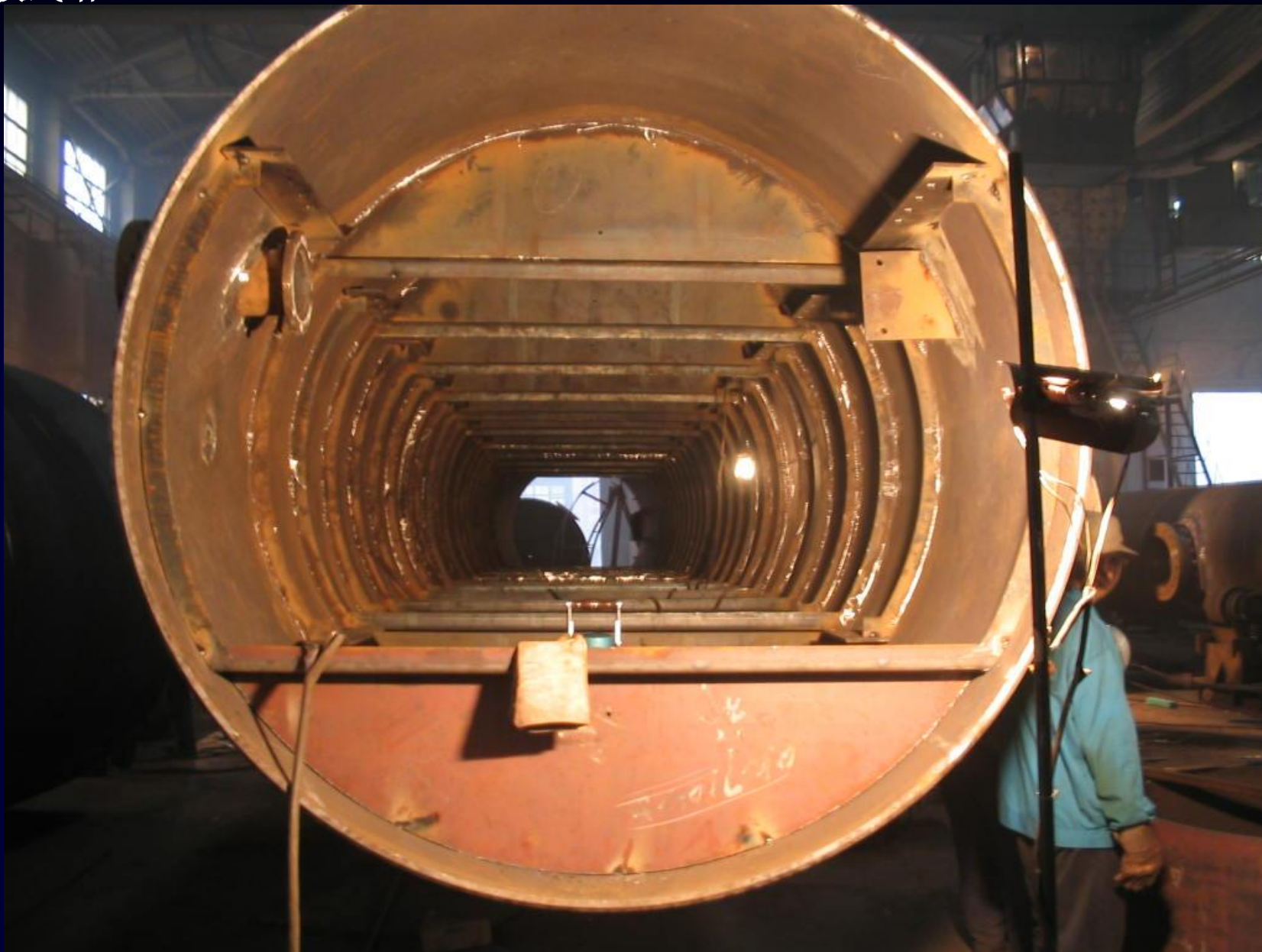


图7-34 液体的流型





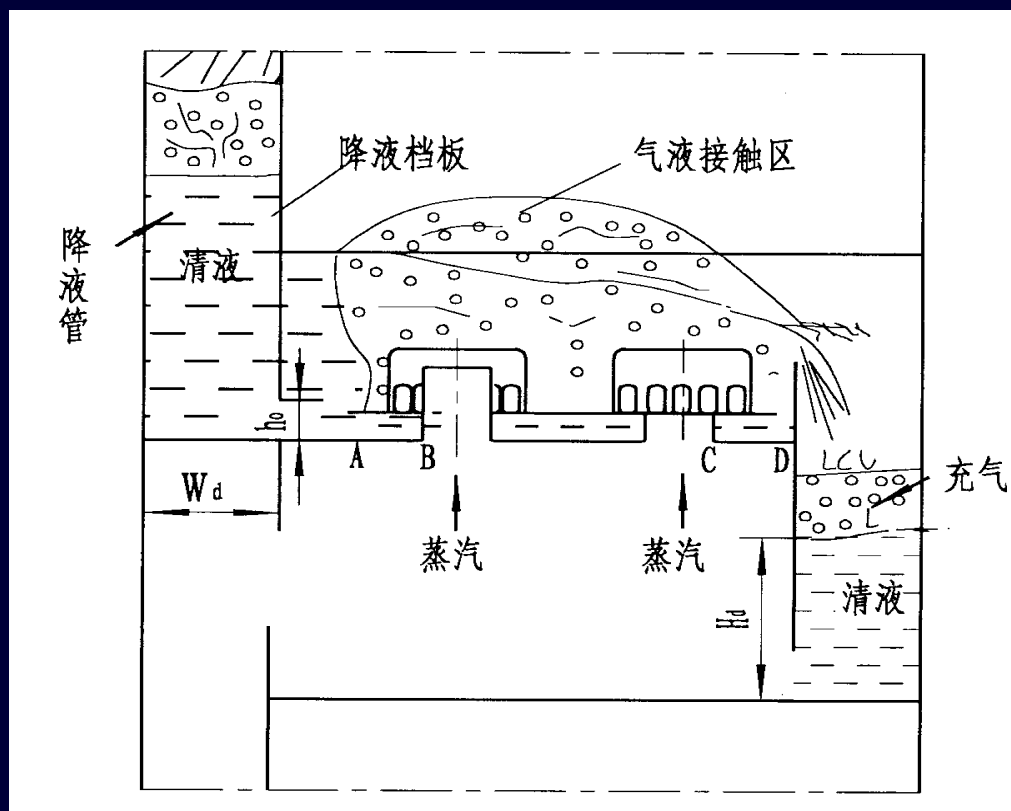
板式塔

## 7.3.2 板式塔的结构

### 7.3.2.1 板式塔的结构

#### 一、泡罩塔

结构——由泡罩、升气管、溢流堰、降液管及塔板等部分组成，见图7-35。



**泡罩——有圆形和条形两大类，应用最广泛的是圆形泡罩；**

**圆形泡罩的直径： $\phi 80$ 、 $\phi 100$ 、 $\phi 150\text{mm}$ 。其中前两种为矩形齿缝，并带有帽缘， $\phi 150\text{mm}$ 的圆形泡罩为敞开式齿缝。**



**有帽缘的  
圆形泡罩**

**优点**——应用最早的板式塔，但目前几乎被浮阀塔和筛板塔所代替。操作弹性大，气液比的范围大，不易堵塞等。

**缺点**——结构复杂、造价高、气相压降大、安装维修麻烦等。

**应用**——只在某些情况，如生产能力变化大，操作稳定性要求高，要求有相当稳定的分离能力时才用。

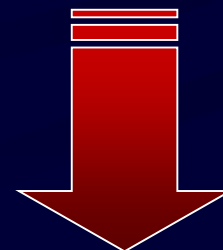
## 设计及操作时应避免的问题

### ■ 锥流——

出现液体流量很小或液封高度不够，蒸气从齿缝推开液体，掠过液面直接上升，使气液接触不良。

### ■ 脉冲鼓泡——

蒸汽量太小，气体不能以连续鼓泡的形式通过液层，下层塔盘逐渐积蓄蒸汽，使之压力升高，当升高到足够的数值后，气体才通过齿缝鼓泡溢出，但又造成气压下降，停止鼓泡，待气压再次升高到一定数值后，才能重新鼓泡通过齿缝。



## 设计及操作时应避免的问题(续)

### ■ 倾流——

液量过大，蒸气量过小，液体从泡罩的升气管流到下层塔板。塔板效率明显下降。

### ■ 雾沫夹带——

蒸气量过大，速度过高形成过量的液体被气体带到上层塔板。

### ■ 液泛——

气、液量均很大，降液管容积太小，部分液体不能通过降液管流下，而阻截在塔板上，使塔板上泡沫层高度超过塔板间距。

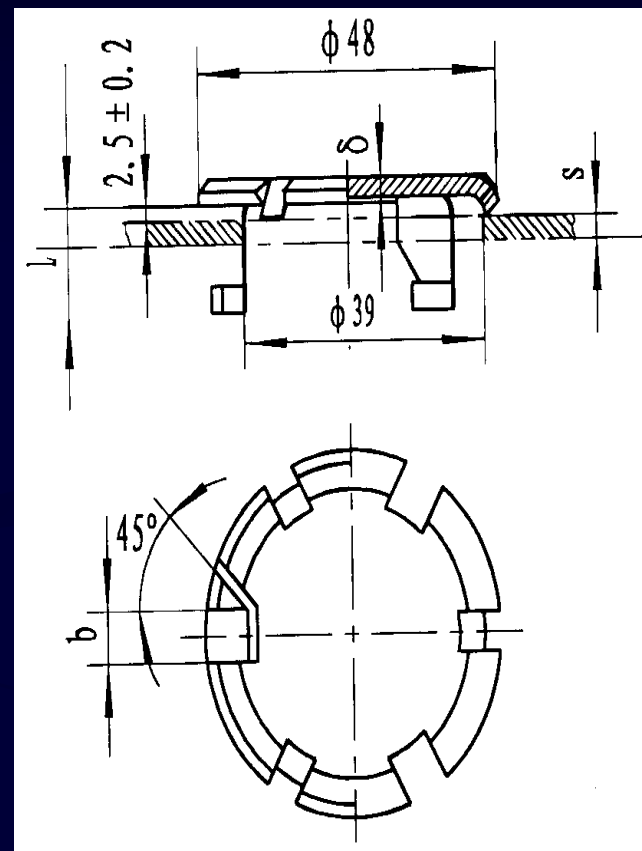


## 二、浮阀塔

是50年代前后开发和应用的，应用最广泛。

### 原理

- ◆ 气、液两相流程与泡罩塔相似。
- ◆ 塔盘上开有一定形状的阀孔，蒸气从阀孔上升，顶开阀片，穿过环形缝隙，以水平方向吹入液层，形成泡沫。
- ◆ 浮阀能随气速的增减在相当宽的气速范围内自由升降，保持稳定操作。阀片的形状有圆形、矩形等。



F1型浮阀

## 浮阀——气液传质元件



- 周边冲有三个下弯的小定距片。
- 在浮阀关闭阀孔时，它能使浮阀与塔板间保留一小的间隙，一般为2.5mm，同时，小定距片还能保证阀片停在塔板上与其他点接触，避免阀片粘在塔板上而无法上浮。
- 阀片四周向下倾斜，且有锐边，增加气体进入液层的湍动作用，有利于气液传质。
- 浮阀的最大开度由阀腿的高度决定，一般为12.5mm。



最普遍的是F1型浮阀，分轻阀和重阀两种

**轻阀**——1.5mm薄板冲压成型，质量约25g，轻阀漏液较大，仅用在真空操作；

**重阀**——2mm薄板冲压成型，质量约33g，应用广

### 优点

- 1.生产能力大，比泡罩塔提高20-40%；
- 2.操作弹性大；
- 3.塔板效率较高，气液接触状态较好，气体沿水平方向吹入液层，雾沫夹带较小；
- 4.结构及安装较简单，重量较轻，制造费用低，仅为泡罩塔的60~80%左右。

### 缺点

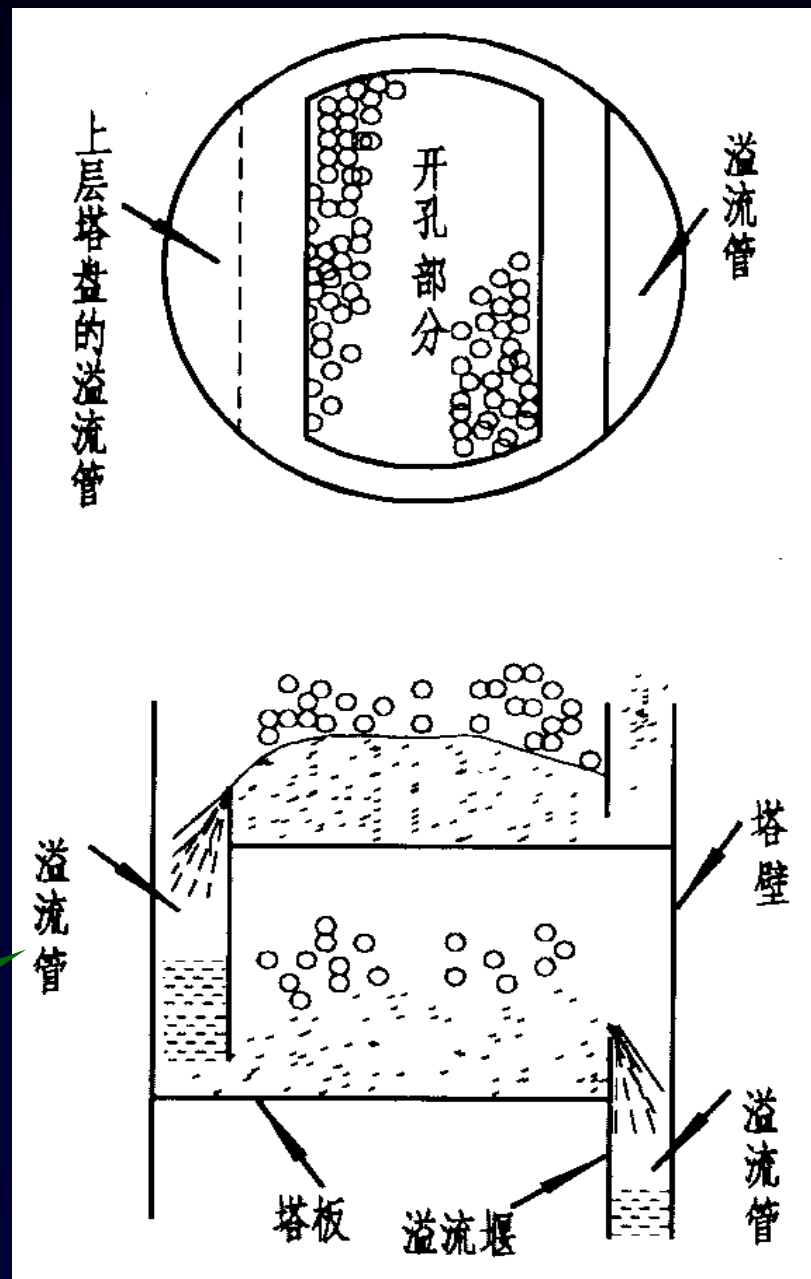
- 1.气速较低时，塔板有漏液，效率下降；
- 2.阀片有卡死和吹脱的可能，导致操作运转及检修的困难；
- 3.塔板压力降较大，妨碍了它在高气相负荷及真空塔中的应用。

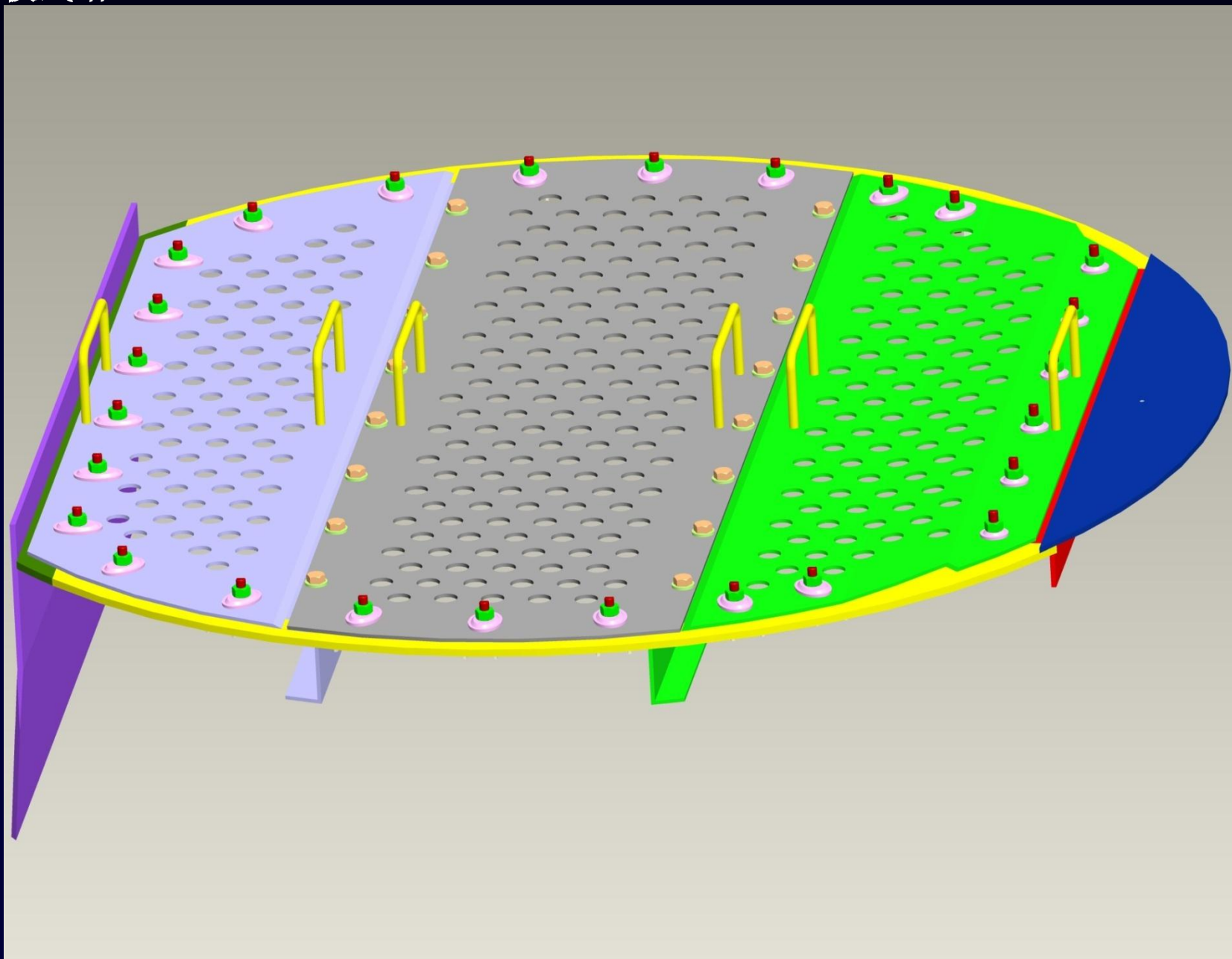
### 三、筛板塔

应用历史较久，与泡罩塔相比，结构简单，成本降低40%左右，板效率提高10~15%，安装维修方便。

经研究，现有大筛孔（孔径达20~25mm）、导向筛板等多种形式。

图7-38  
筛板塔结构及  
气液接触状况





筛板

## 筛板塔工作原理

---

- ❖ 塔盘分为筛孔区、无孔区、溢流堰及降液管等部分。
- ❖ 液体从上层塔盘的降液管流下，横向流过塔盘，越过溢流堰经溢流管流入下层塔盘，塔盘上依靠溢流堰的高度保持其液层高度。
- ❖ 蒸气自下而上穿过筛孔时，被分散成气泡，在穿越塔盘上液层时，进行气液两相间的传热与传质。

## 筛孔直径大小及间距:

液相负荷的塔板，孔径：4~6mm，按正三角形排列，孔间距 $t$ 与孔径 $d_0$ 的比值用2.5~5，最佳值为3~4。

## 溢流堰高度:

- ▶ 决定塔盘上液层深度，
- ▶ 溢流堰高，气液接触时间长，板效率高；液相负荷小时，也易保证气液接触均匀，对筛板安装水平度要求不高。
- ▶ 堰太高时，塔板压降增大；气量小时，容易漏液。
- ▶ 一般而言，常压操作时，溢流堰高度为25~50mm，减压蒸馏时，为10~15mm。

#### 四、无降液管塔（穿流式栅板塔结构）

气液通道为冲压而成的长条栅缝或圆形筛孔。栅板也可用扁钢条拼焊而成，栅缝宽度为4~6mm，长度为60~150mm，栅缝中心距为（1.5~3）倍栅缝宽度，筛孔直径通常采用5~8mm，塔板的开孔率为15~30%，塔盘间距可用300~600mm。-----见图7-39。

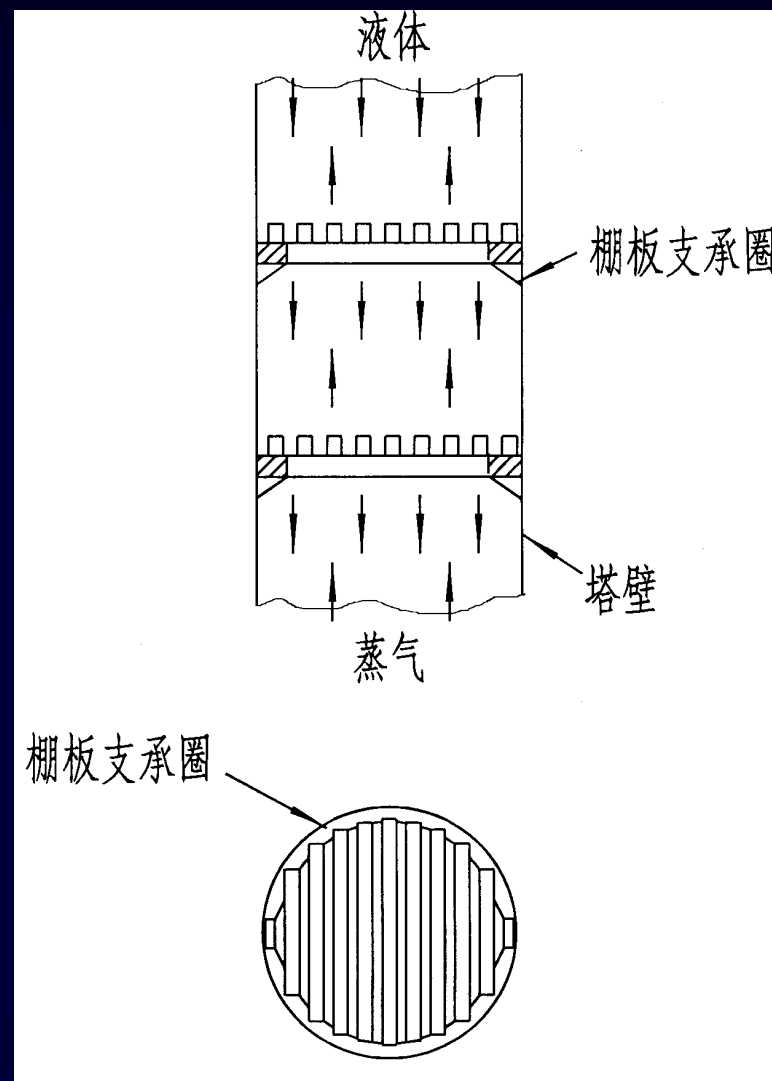


图7-39 穿流式栅板塔



## 工作原理

- 典型气液逆流式塔，塔盘上无降液管，开有栅缝或筛孔作为气相上升和液相下降的通道。
- 操作时，蒸气由栅缝或筛孔上升，液体在塔盘上被上升的气体阻扰，形成泡沫。
- 两相在泡沫中进行传热与传质。
- 与气相密切接触后的液体又不断从栅缝或筛孔流下，气液两相同时在栅缝或筛孔中形成上下穿流。



**优点:**

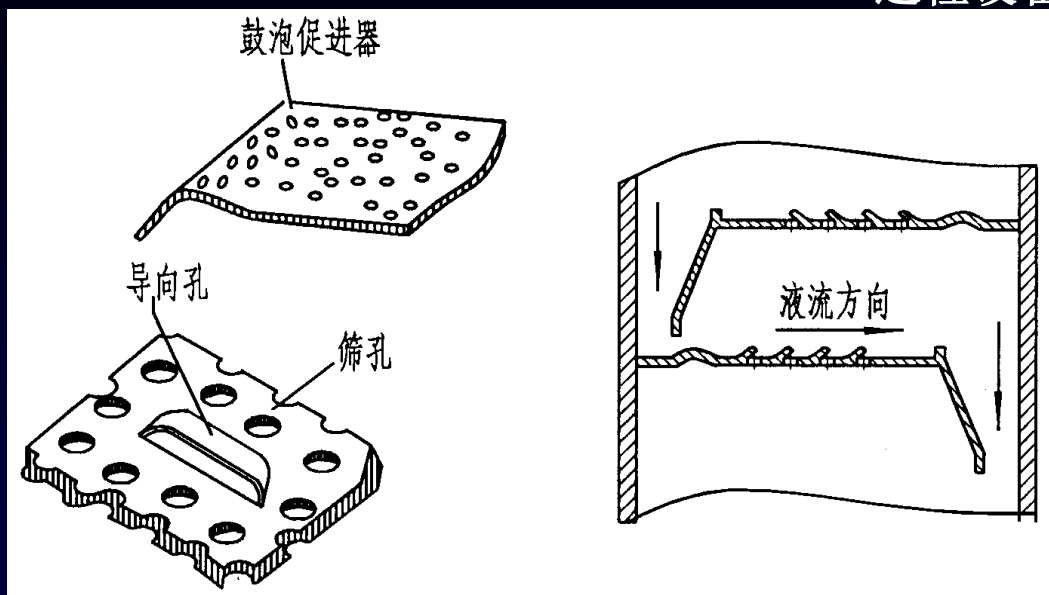
- (1) 结构简单, 加工容易、安装维修方便, 投资少;
- (2) 节省了降液管所占的塔截面, (约为15~30%), 生产能力比泡罩塔大20%~100%;
- (3) 开孔率大, 栅缝或筛孔处的气速比溢流式塔盘小, 压降小, 比泡罩塔低40~80%, 可用于真空蒸馏。

**缺点:**

- (1) 板效率较低, 比一般板式塔低30~60%, 但开孔率大, 气速低, 形成的泡沫层高度较低, 雾沫夹带小, 可以降低塔板的间距。在同样分离条件下, 塔总高与泡罩塔基本相同。
- (2) 操作弹性较小, 能保持较好的分离效率时, 塔板负荷的上下限之比约为2.5~3.0。

## 五、导向筛板塔

两项改进：



(1) 塔盘上开有一定数量的导向孔，气流经过导向孔对液流有一定推动作用，有利于推进液体并减小液面梯度；

(2) 塔板液体入口处增设鼓泡促进结构，也称鼓泡促进器，有利于液体一进入塔板就迅速鼓泡，达到良好的气液接触，提高塔板利用率，使液层减薄，压降减小。使用这种塔盘，压降可下降15%，板效率可提高13%左右，可用于减压蒸馏和大型分离装置。

## 导向孔

形状类似百叶窗，冲压而凸起，开口为细长的矩形缝。缝长有12，24和36mm 三种。开孔率一般取10%~20%，可视物料性质而定。开缝高度，1~3mm。

## 鼓泡促进器

塔板入口处形成一凸起部分，高度3~5mm，斜面正切 $\tan\theta$ 在0.1~0.3，斜面上通常仅开有筛孔，不开导向孔。筛孔的中心线与斜面垂直。

## 六、斜喷型塔

### 前提

气流垂直向上喷射（如筛板塔），造成较大雾沫夹带。

若使气流在盘上沿水平方向或倾斜方向喷射，可减轻夹带，并调节倾斜角度还可改变液流方向，减小液面梯度和液体返混。

## (1) 舌塔形

是应用较早的一种斜喷型塔。

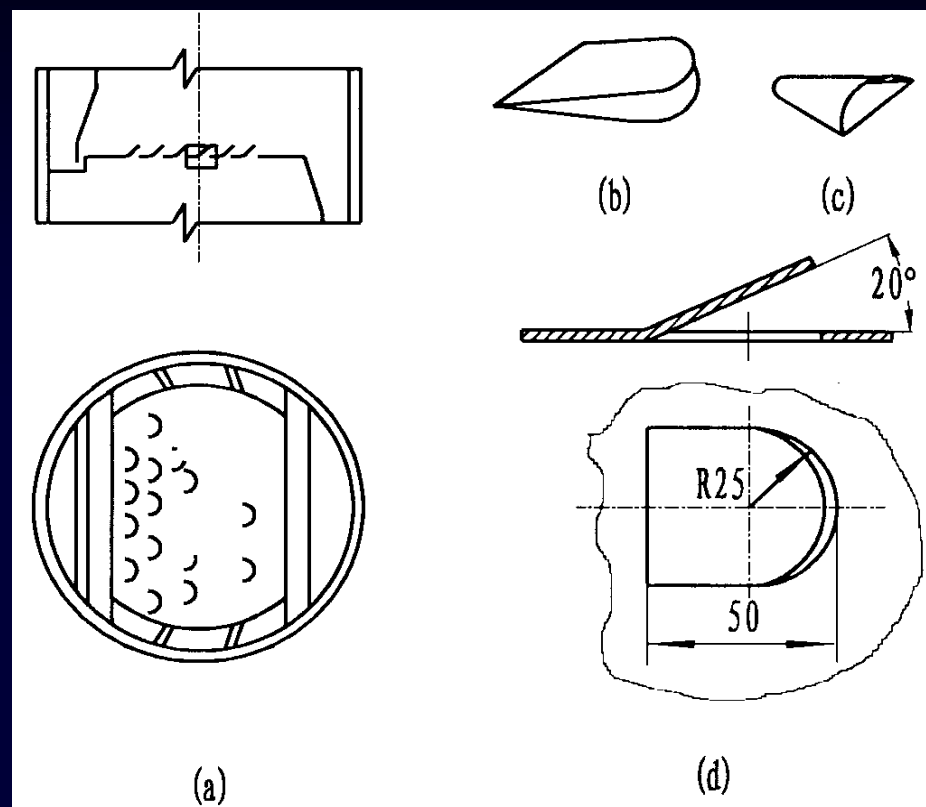
结构——在塔盘上冲出以一定方式排列的舌片。

工作原理——

舌片开启一定角度，舌孔方向与液流方向一致，气相喷出推动液体，液面梯度减小，液层减薄，处理能力增大，使压降减小。

优缺点——

结构简单，安装检修方便，但塔的负荷弹性较小，塔板效率较低，应用受到一定限制。



## (2) 浮动舌形塔

是20世纪60年代研制的一种定向喷射型塔板。

### 结构——

见图7-39，一端可以浮动，最大张角约 $20^\circ$ 。  
舌片厚度1.5mm，质量约20g。

### 优缺点——

处理能力大，压降小，舌片可以浮动。  
塔盘雾沫夹带及漏液较小，操作弹性显著增加。  
板效率较高，但其舌片容易损坏。

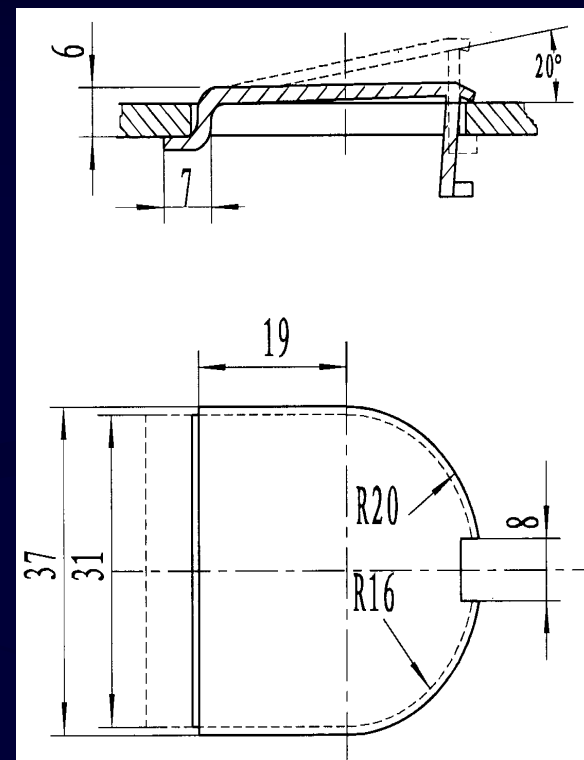


图7-42 浮动舌形塔的舌片

### 7.3.3.1 塔盘



### 7.3.2.2 板式塔的比较

---

塔盘结构要  
满足很多性能

- 流体力学状态及传质性能;
- 生产能力;
- 塔的效率;
- 操作弹性;
- 压降;
- 造价;
- 操作维护是否方便等。



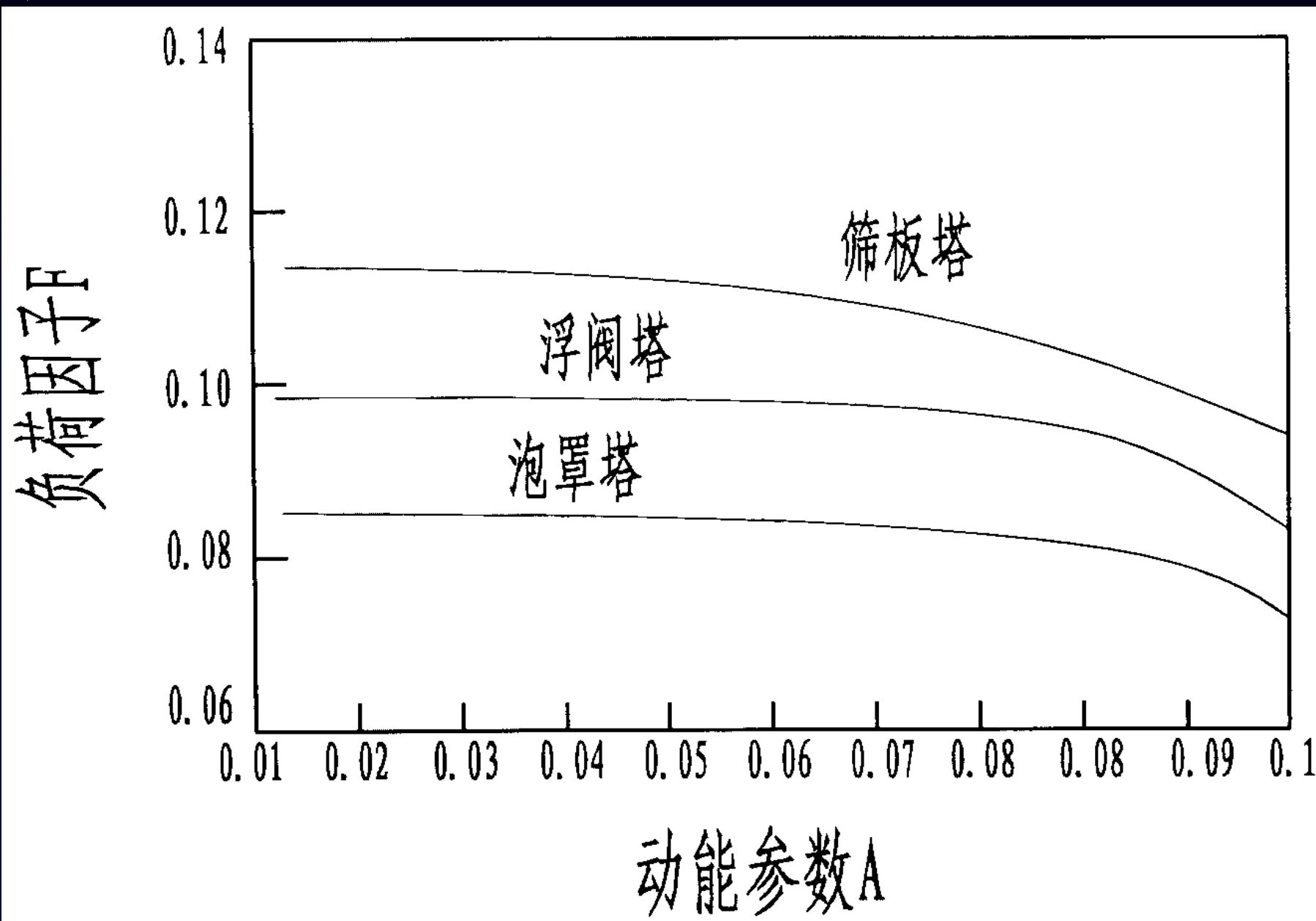


图7-43 板式塔生产能力的比较

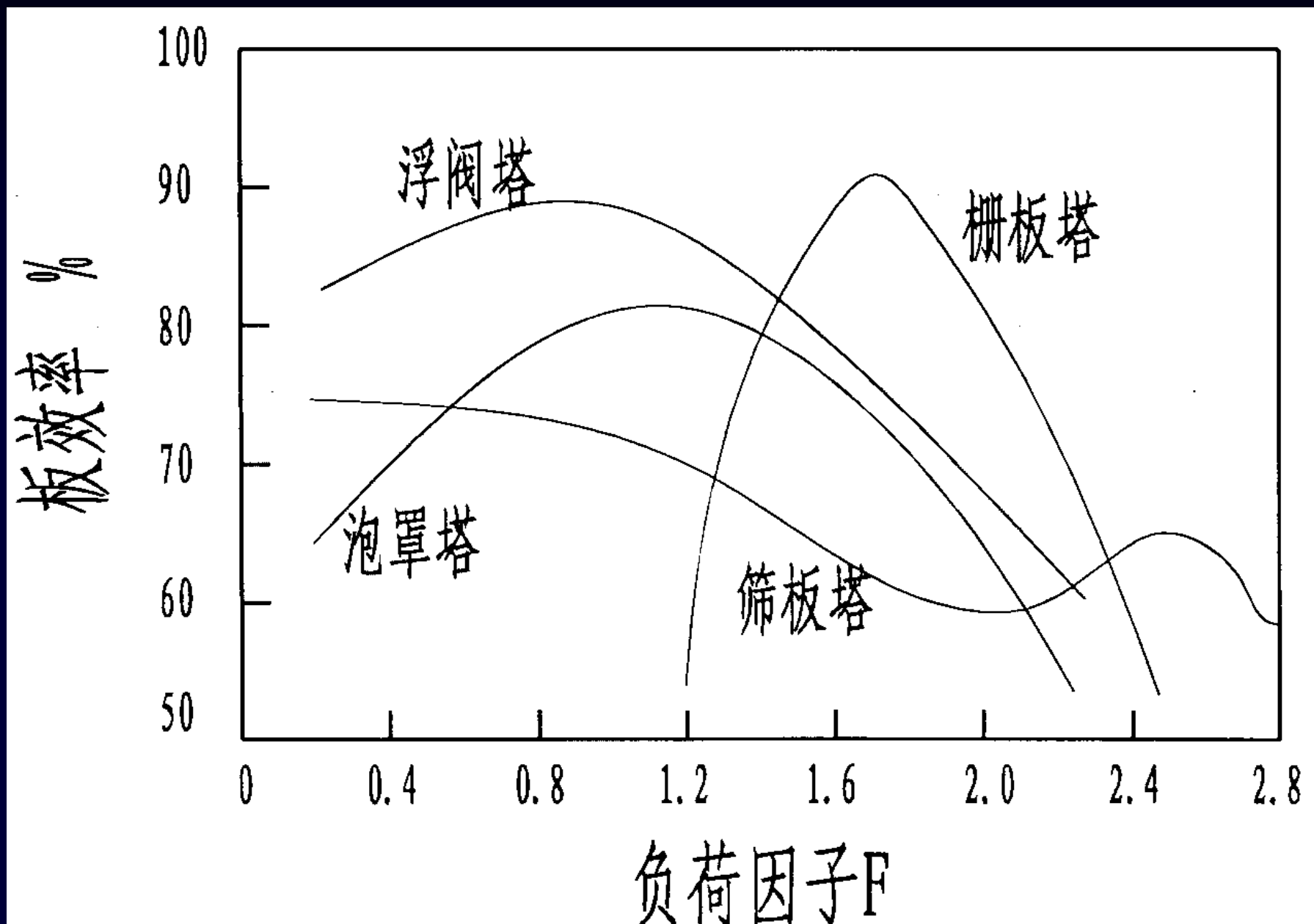


图7-44 板式塔板效率的比较

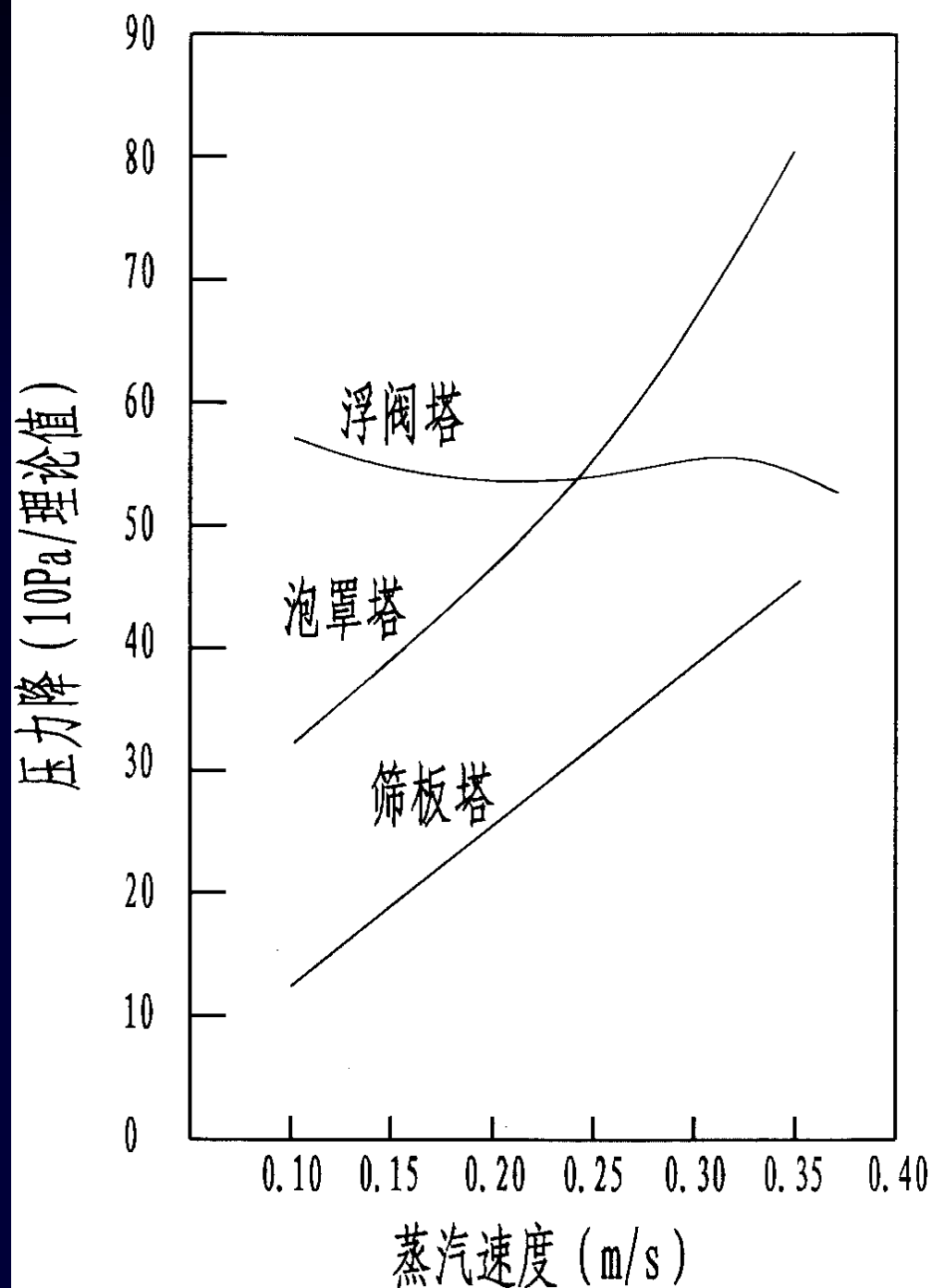


图7-45  
板式塔压力降的比较  
(纵坐标为  
10MPa/理论值)



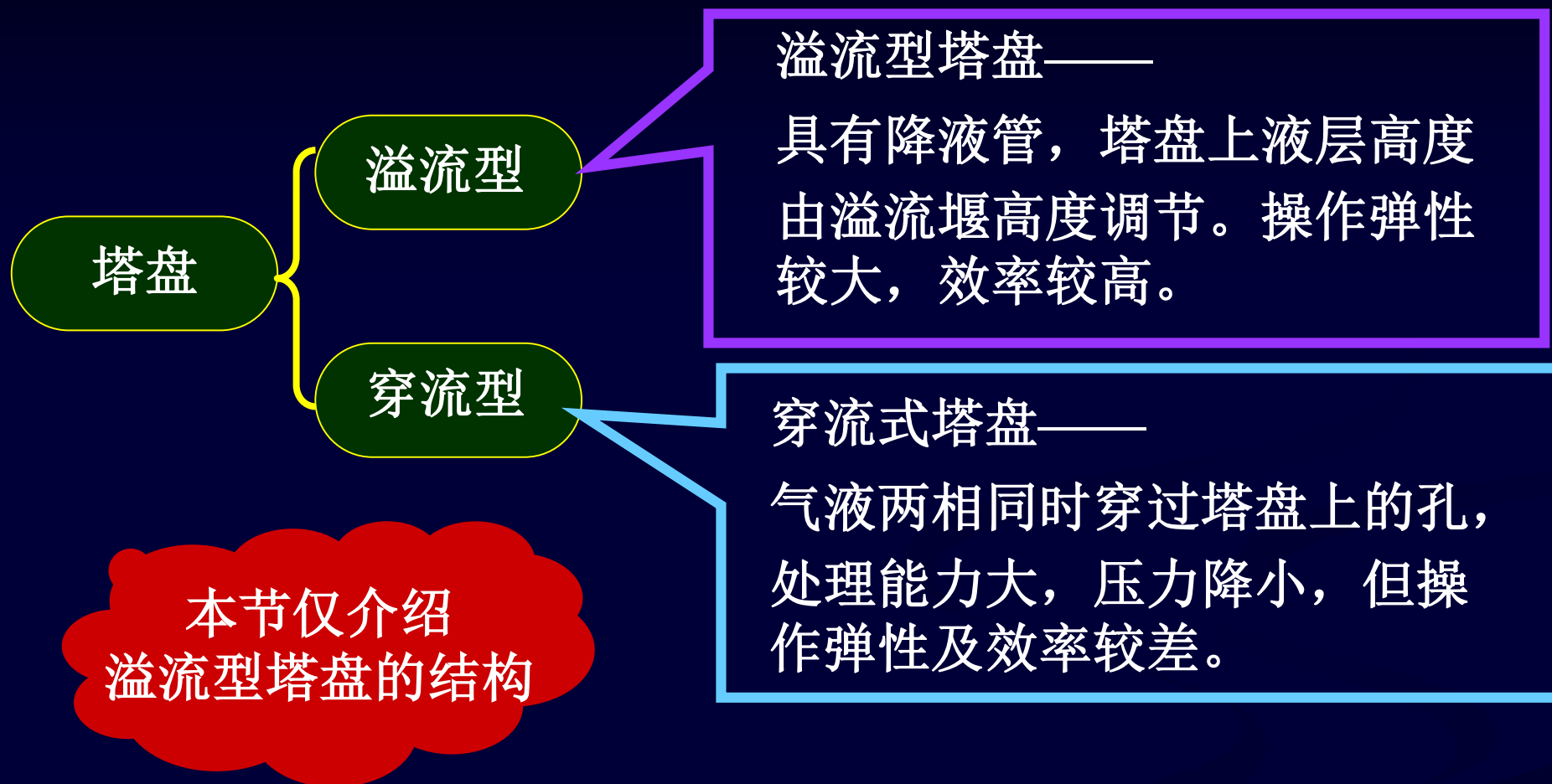
## 结论——

- 浮阀塔在蒸气负荷、操作弹性、效率方面比泡罩塔有明显优势。
- 筛板塔压降小、造价低、生产能力大，除操作弹性较小外，其余均接近于浮阀塔。
- 栅板塔操作范围比较窄，板效率随负荷的变化较大。

表7-4 板式塔性能的比较

塔型	与泡罩塔 相比的相 对气相负 荷	效率	操作 弹性	85%最大负 荷时的单板 压降 (mm水柱)	与泡罩 塔相比 的相对 价格	可靠 性
泡罩塔	1.0	良	超	45~80	1.0	优
浮阀塔	1.3	优	超	45~60	0.7	良
筛板塔	1.3	优	良	30~50	0.7	优
舌形塔	1.35	良	超	40~70	0.7	良
栅板塔	2.0	良	中	25~40	0.5	中

### 7.3.3. 板式塔塔盘的结构



溢流型塔盘组成——塔板、降液管、受液槽、溢流堰和气液接触元件等。

### 7.3.3.1 塔盘

#### 分类

按塔径及结构分为整块式塔盘及分块式塔盘。

整块式塔盘



$DN \leq 700\text{mm}$

分块式塔盘



$DN \geq 800\text{mm}$

## 一、整块式塔盘

---

组装方式 { 定距管式  
重叠式

结构——塔体由若干塔节组成，内装有一定数量的塔盘，塔节间用法兰连接。



## 1. 定距管式塔盘

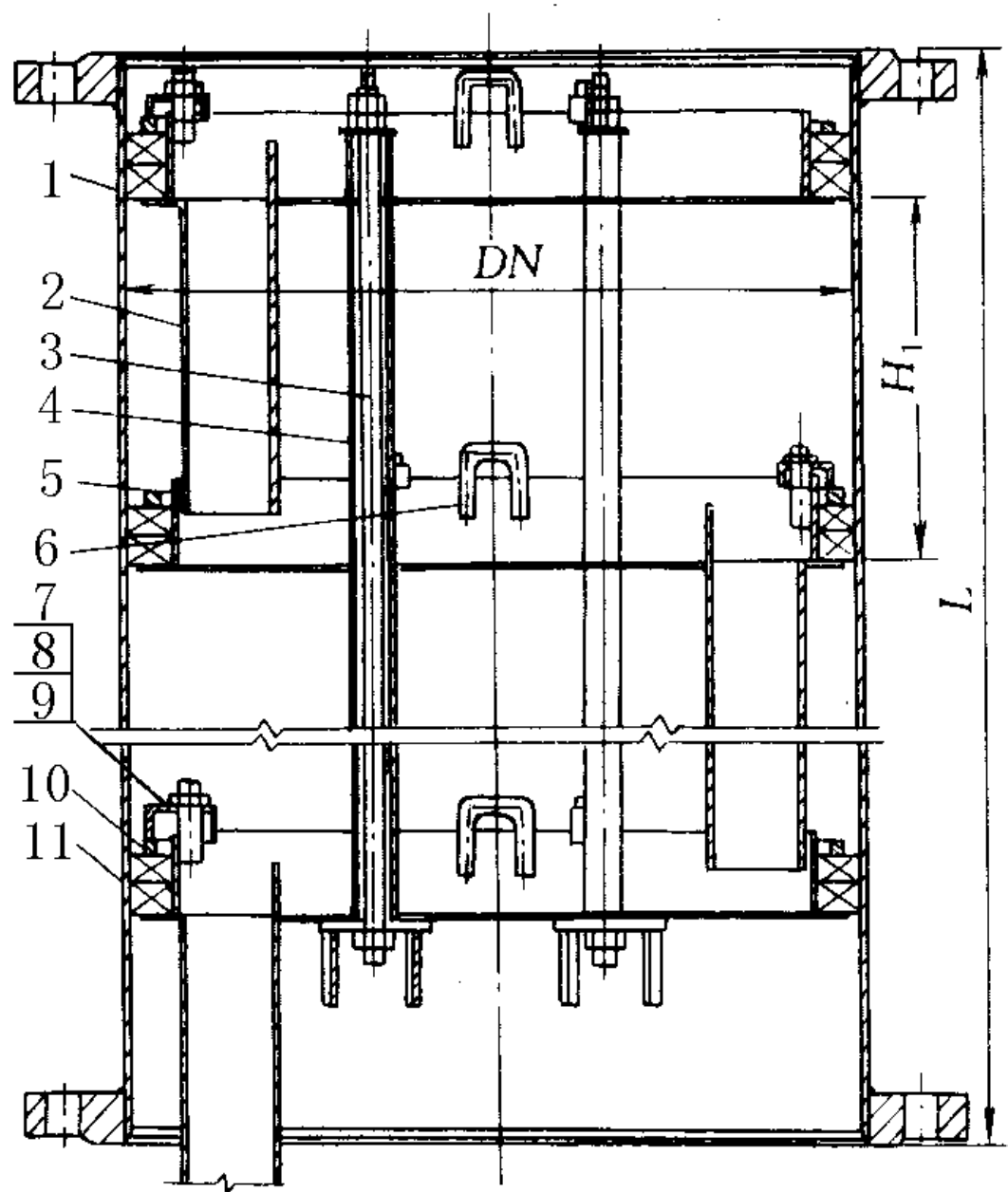
### 结构

用定距管和拉杆将同一塔节内的几块塔盘支承并固定在塔节内的支座上，定距管起支承塔盘和保持塔盘间距的作用

塔盘与塔体之间的间隙，以软填料密封并用压圈压紧，见图7-46。高度随塔径增加。

塔径 $DN=300\sim 500\text{mm}$ 时，塔节高度 $L=800\sim 1000\text{mm}$ ；塔径 $DN=600\sim 700\text{mm}$ 时，塔节高度 $L=1200\sim 1500\text{mm}$ 。

为方便安装，每个塔节中的塔盘数为5-6块。



- 1—塔盘板 2—降液管
- 3—拉杆 4—定距管
- 5—塔盘圈 6—吊耳
- 7—螺栓 8—螺母
- 9—压板 10—压圈
- 11—石棉绳

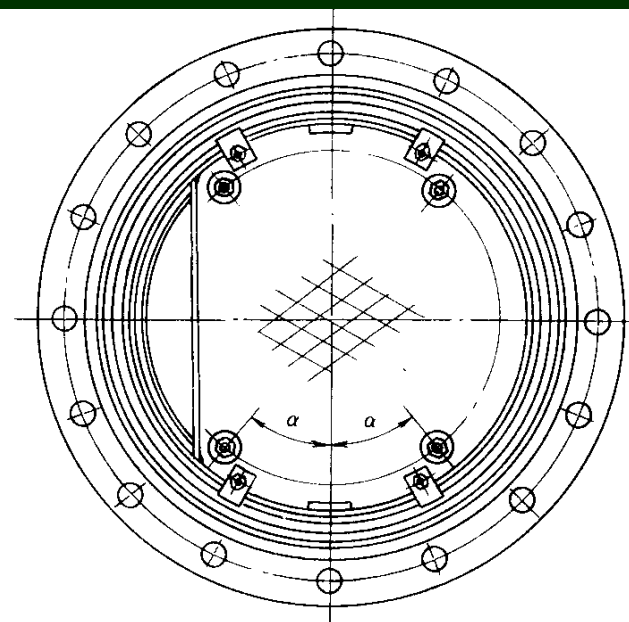


图7-46定距管式塔盘结构

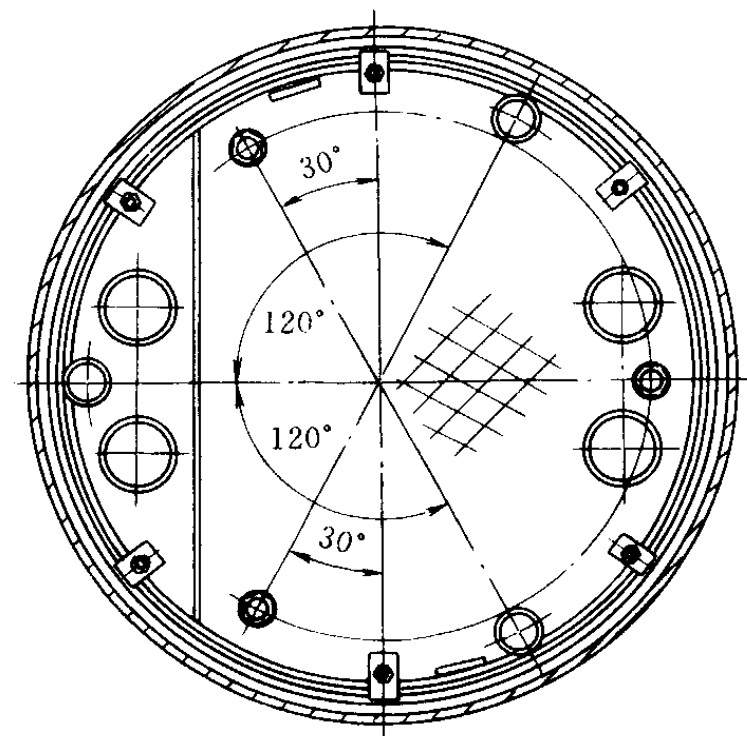
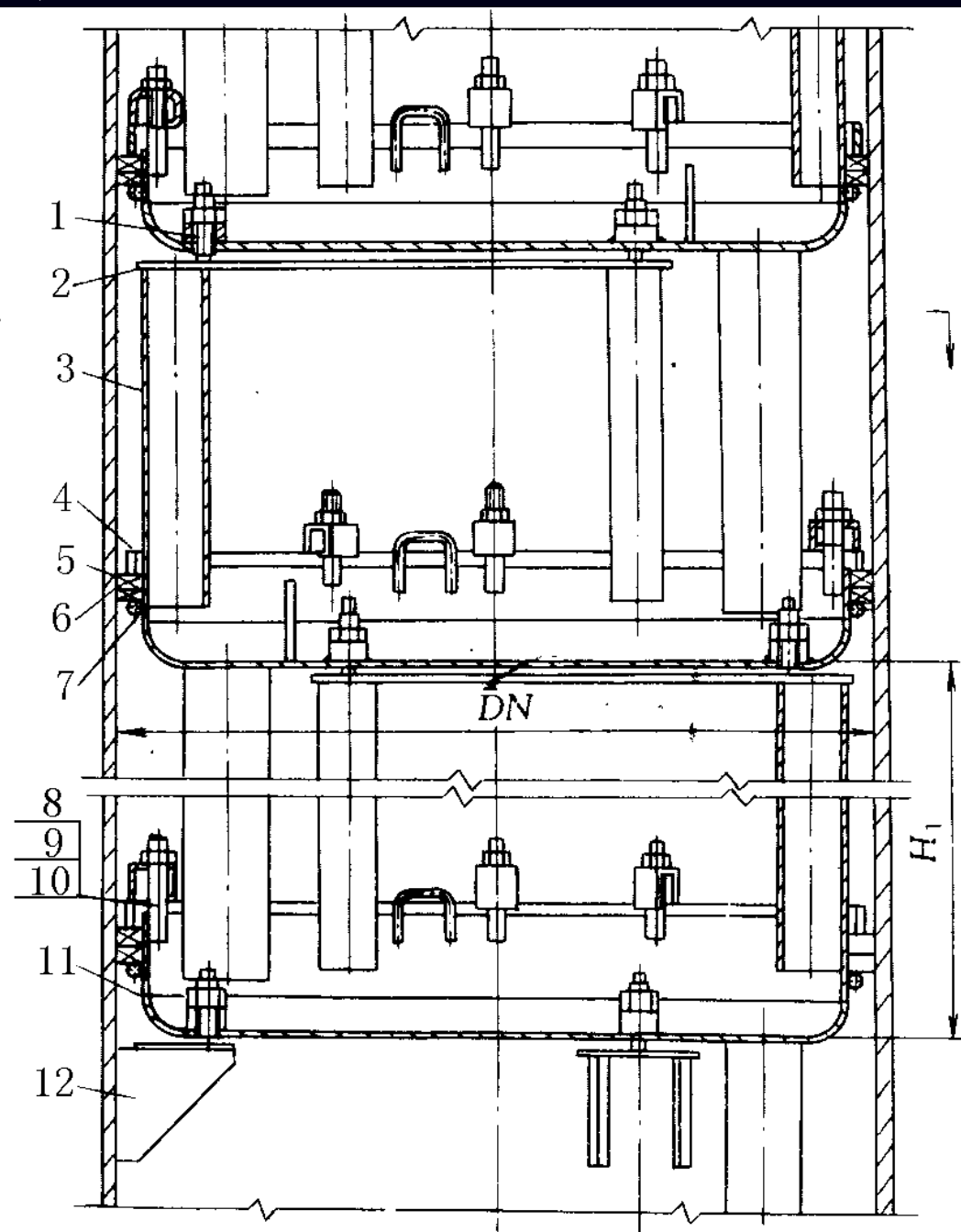
## 2. 重叠式塔盘

### 结构

塔节下部焊有一组支座，底层塔盘支承在支座上，依次装入上一层塔盘，塔盘间距由其下方的支柱保证，并可用三只调节螺钉调节塔盘的水平。

---

塔盘与塔壁之间的间隙，同样采用软填料密封，用压圈压紧，见图7-47。



- |        |       |
|--------|-------|
| 1—调节螺栓 | 2—支承板 |
| 3—支柱   | 4—压圈  |
| 5—塔盘圈  | 6—填料  |
| 7—支承圈  | 8—压板  |
| 9—螺母   | 10—螺柱 |
| 11—塔盘板 | 12—支座 |

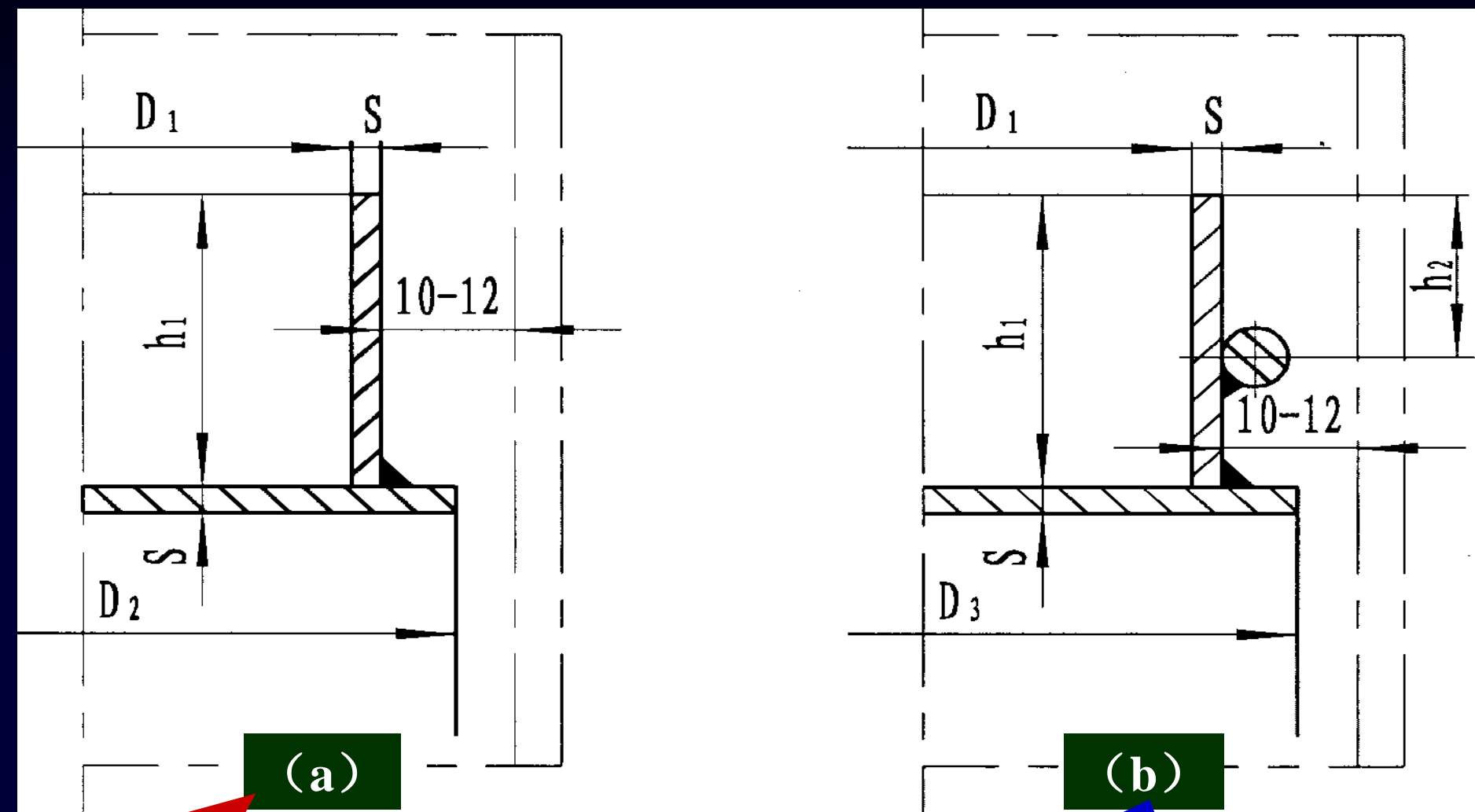
图7-47 重叠式塔盘结构

塔盘两种结构——**角焊结构**及翻边结构。

角焊结构——见图7-48。将塔盘圈角焊于塔盘板上。

角焊缝为单面焊，焊缝可在塔盘圈外侧或内侧。

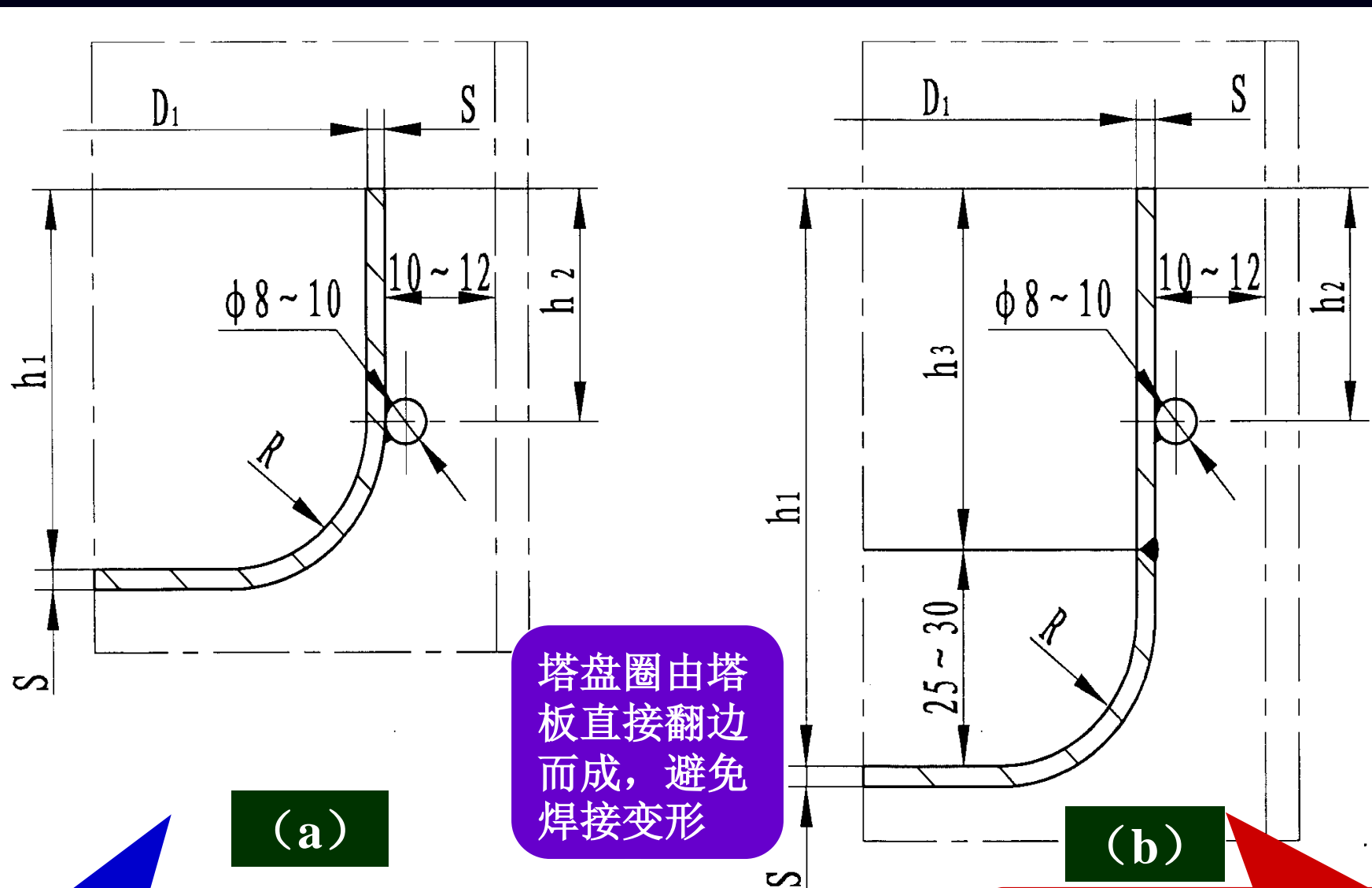
结构简单，制造方便，但应考虑减小焊接变形引起的塔板不平。



塔盘圈较低时用

塔盘圈较高时用

图7-48 角焊式整块塔盘



直边较短，  
整体冲压成型

图7-46 翻边式整块塔盘

塔盘圈与塔板  
对接焊而成

## 结构尺寸——

塔盘圈高度应不低于溢流堰高度，常取 $h_1=70\text{mm}$ 。

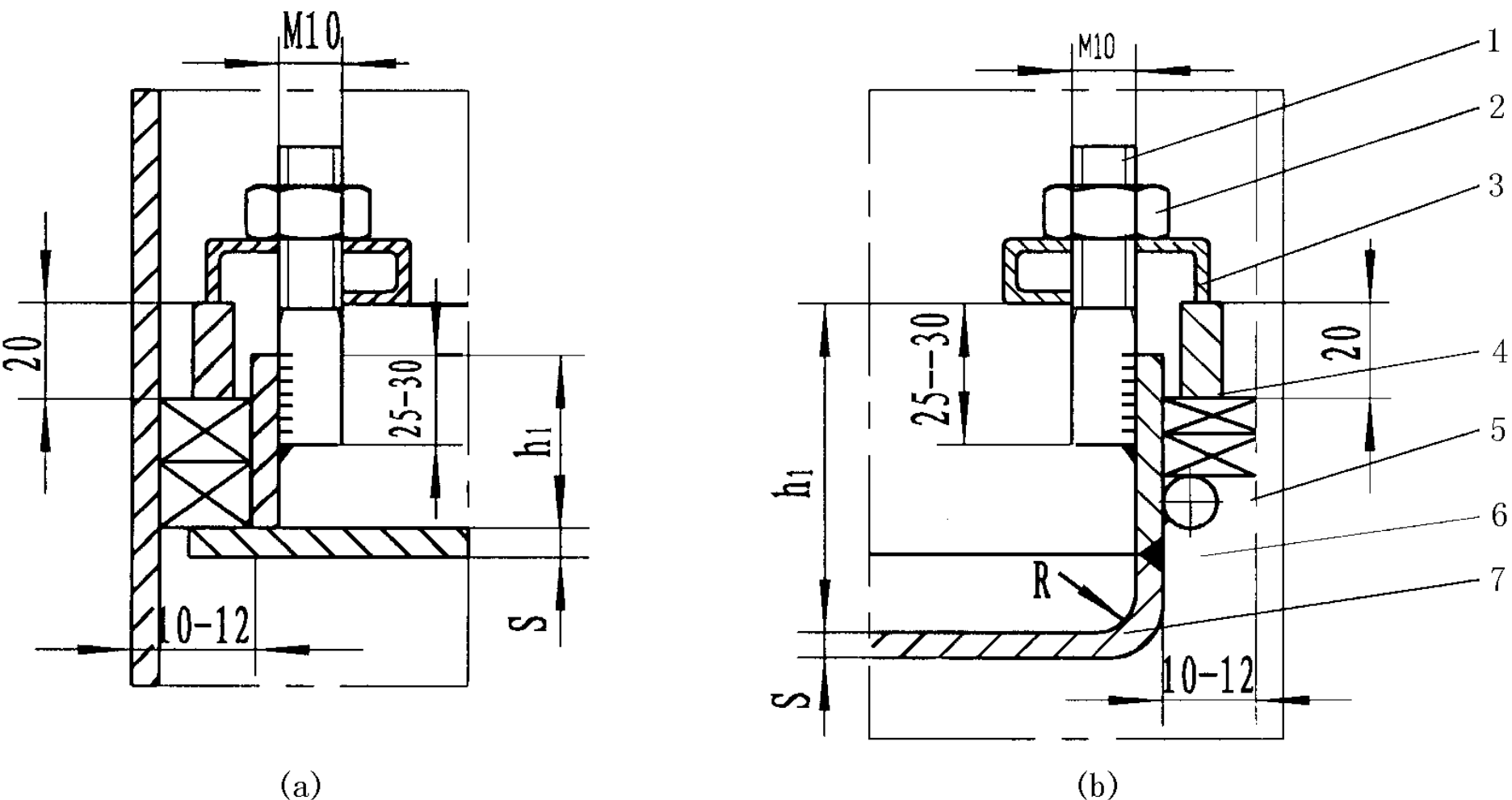
填料支承圈用 $\Phi 8\sim 10\text{mm}$ 的圆钢弯制并焊于塔盘圈上。

塔盘圈外表面与塔内壁面之间的间隙 $=10\sim 12\text{mm}$ 。

圆钢填料支承圈距塔盘圈顶面距离 $h_2=30\sim 40\text{mm}$ 。



密封结构——软填料密封，石棉线、聚四氟乙烯纤维编织填料。



1.螺栓 2—螺母 3—压板 4—压圈 5—填料 6—圆钢圈 7—塔盘

图7-50 整块式塔盘的密封结构

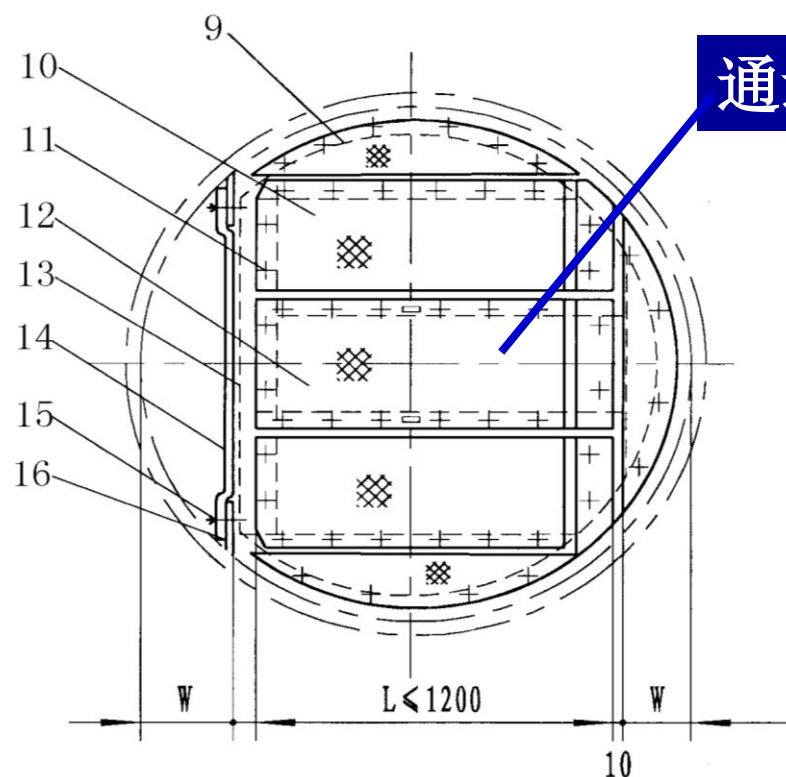
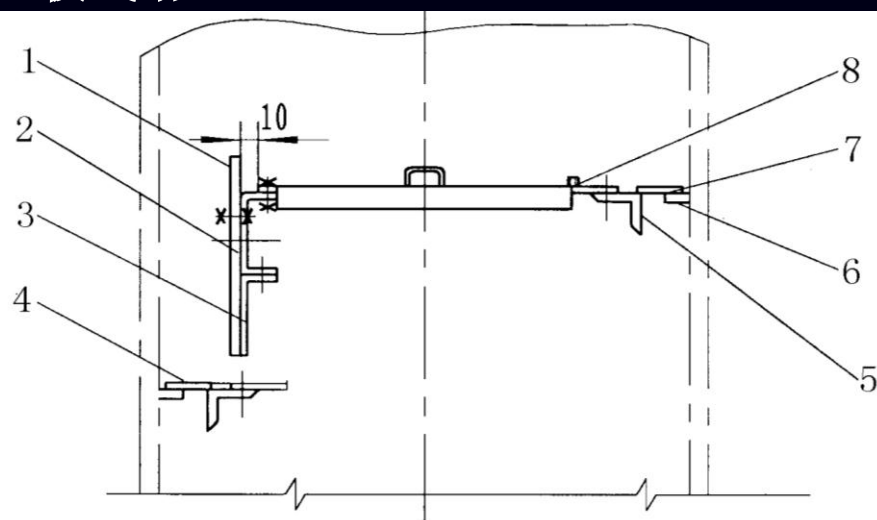
## 二、分块式塔盘

——直径较大，便于制造，安装、检修，通过人孔送入塔内，焊于塔体内壁塔盘支承件上。

焊制整体圆筒，不分塔节。见图7-51。

要求——结构简单，装拆方便，足够刚性，便于制造、安装和维修。

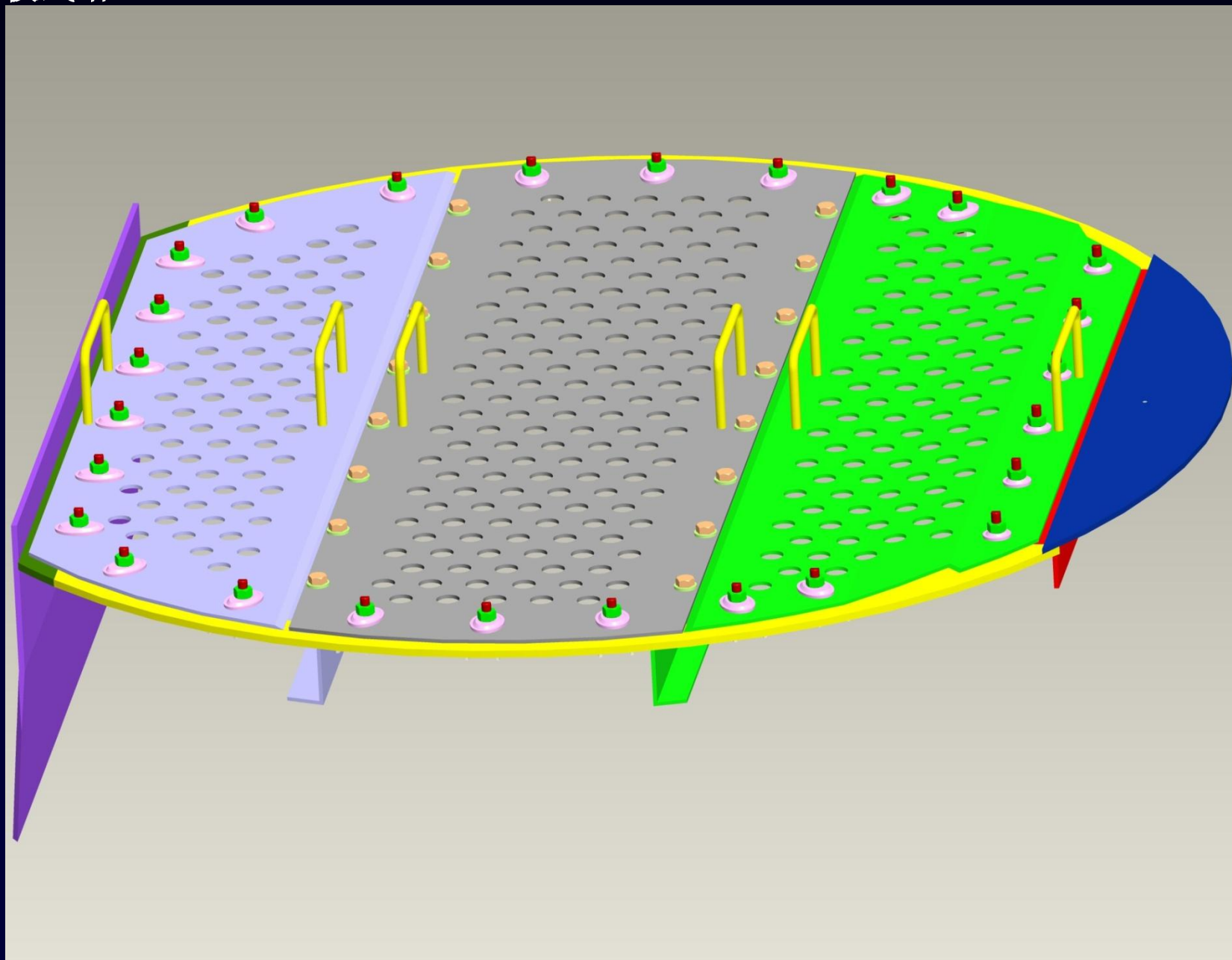
## 7.3 板式塔



通道板

图7-51 分块式塔盘的组装结构

- 1—出口堰
- 2—上段降液板
- 3—下段降液板
- 4—受液盘
- 5—支撑梁
- 6—支撑圈
- 7—受液盘
- 8—入口堰
- 9—塔盘边板
- 10—塔盘板
- 11—紧固件
- 12—通道板
- 13—降液板
- 14—出口堰
- 15—紧固件
- 16—连接板



塔盘结构

## 分类——自身梁式或槽式。

常用自身梁式（将塔盘板冲压出折边，足够刚性，结构简单，节省钢材），

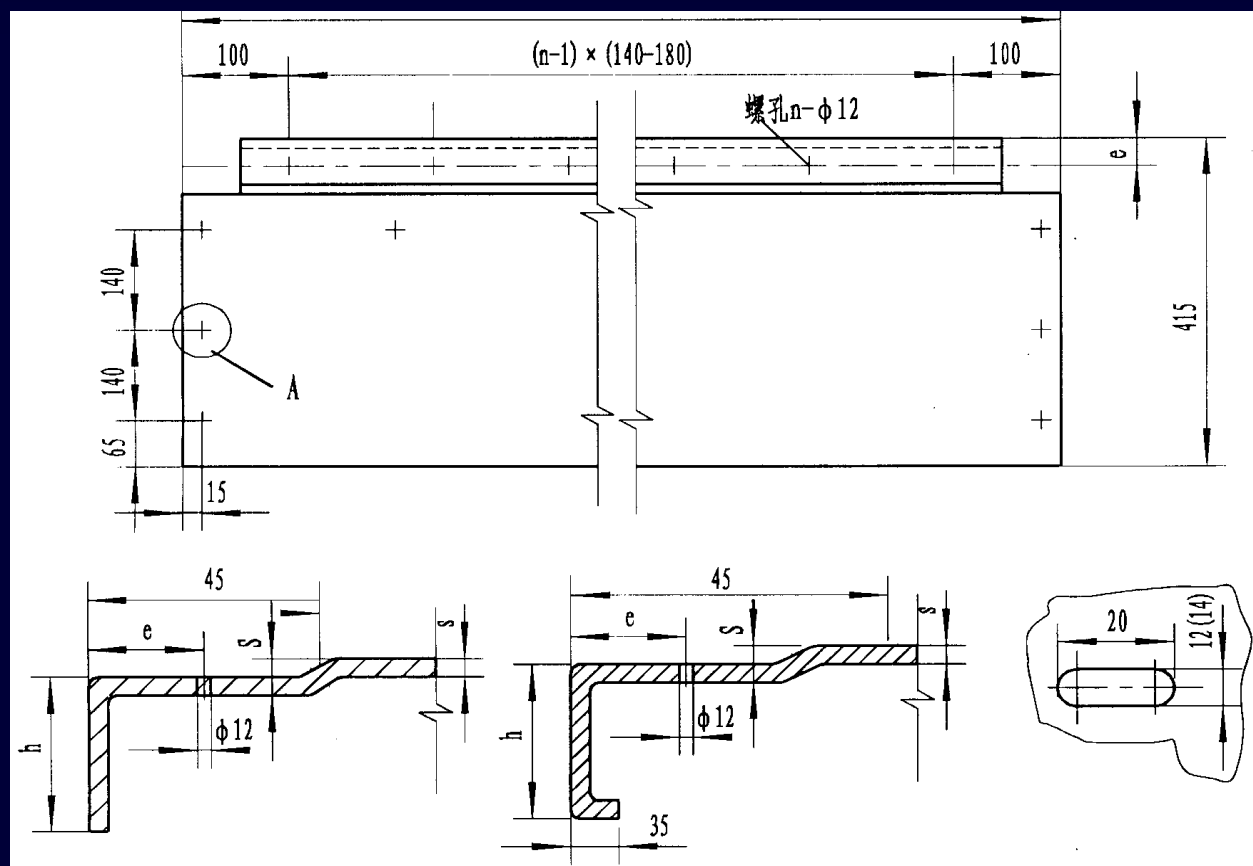
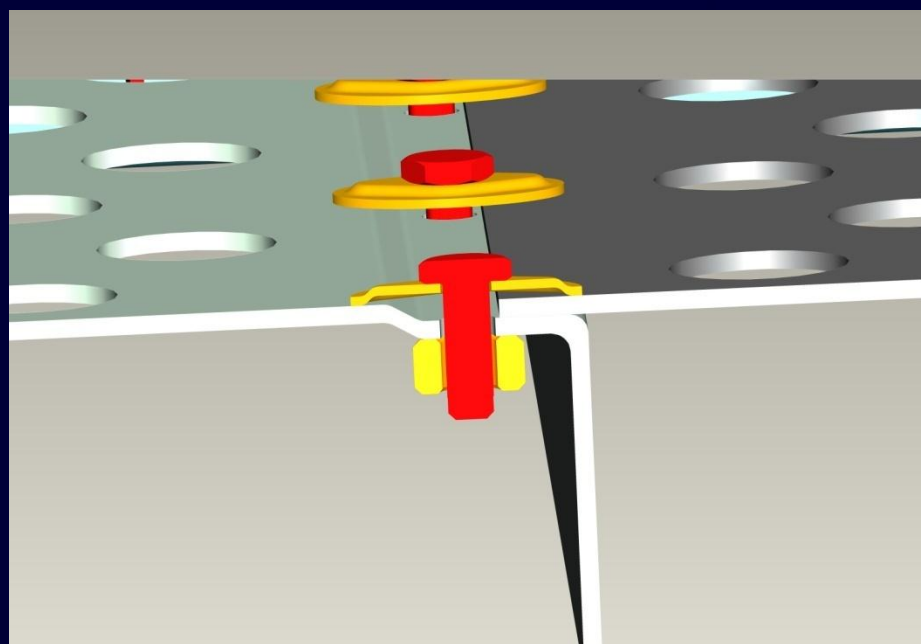
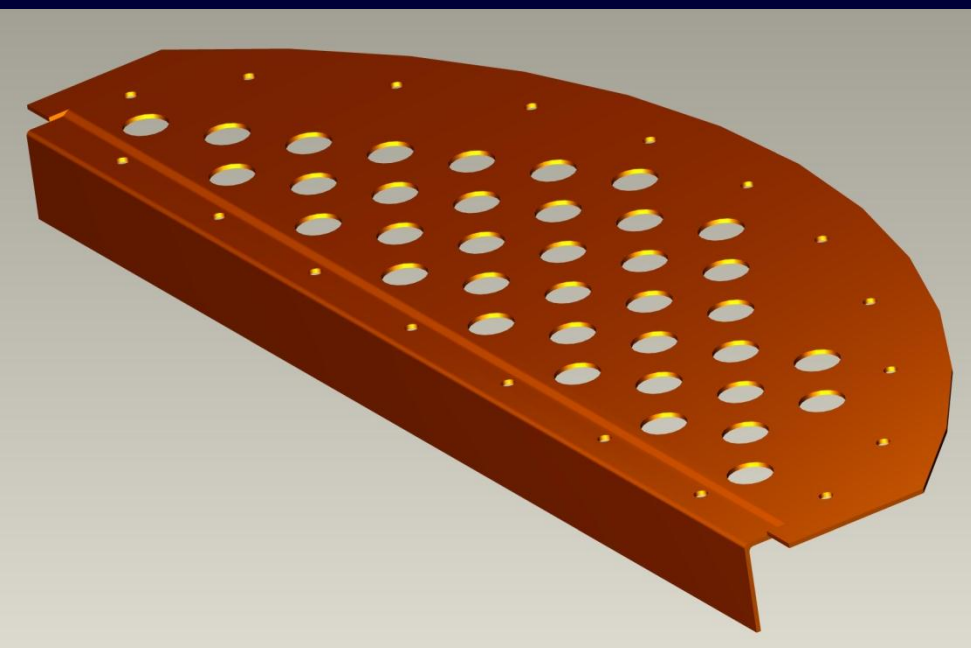
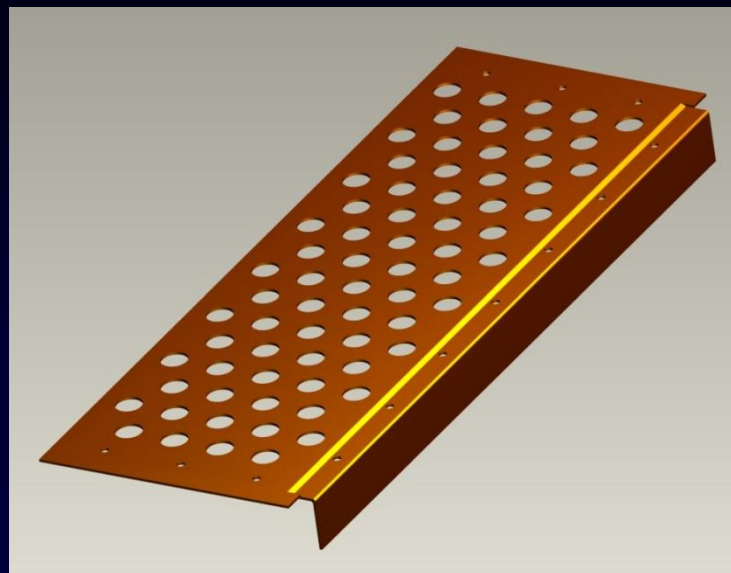
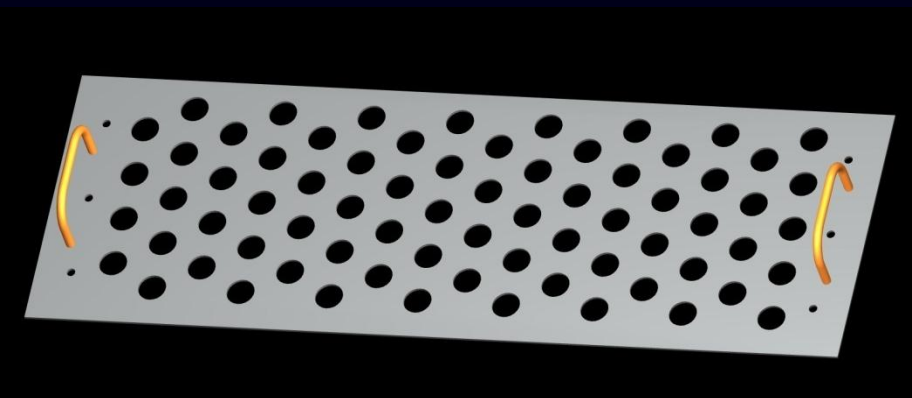


图7-52 分块式塔盘板



通道板、自身梁式塔板及其连接

### 通道板——

接近中央处设置，塔内清洗和维修。

在同一垂直位置上，以利采光和拆卸。

也可用一块塔盘板代替，见图7-51。

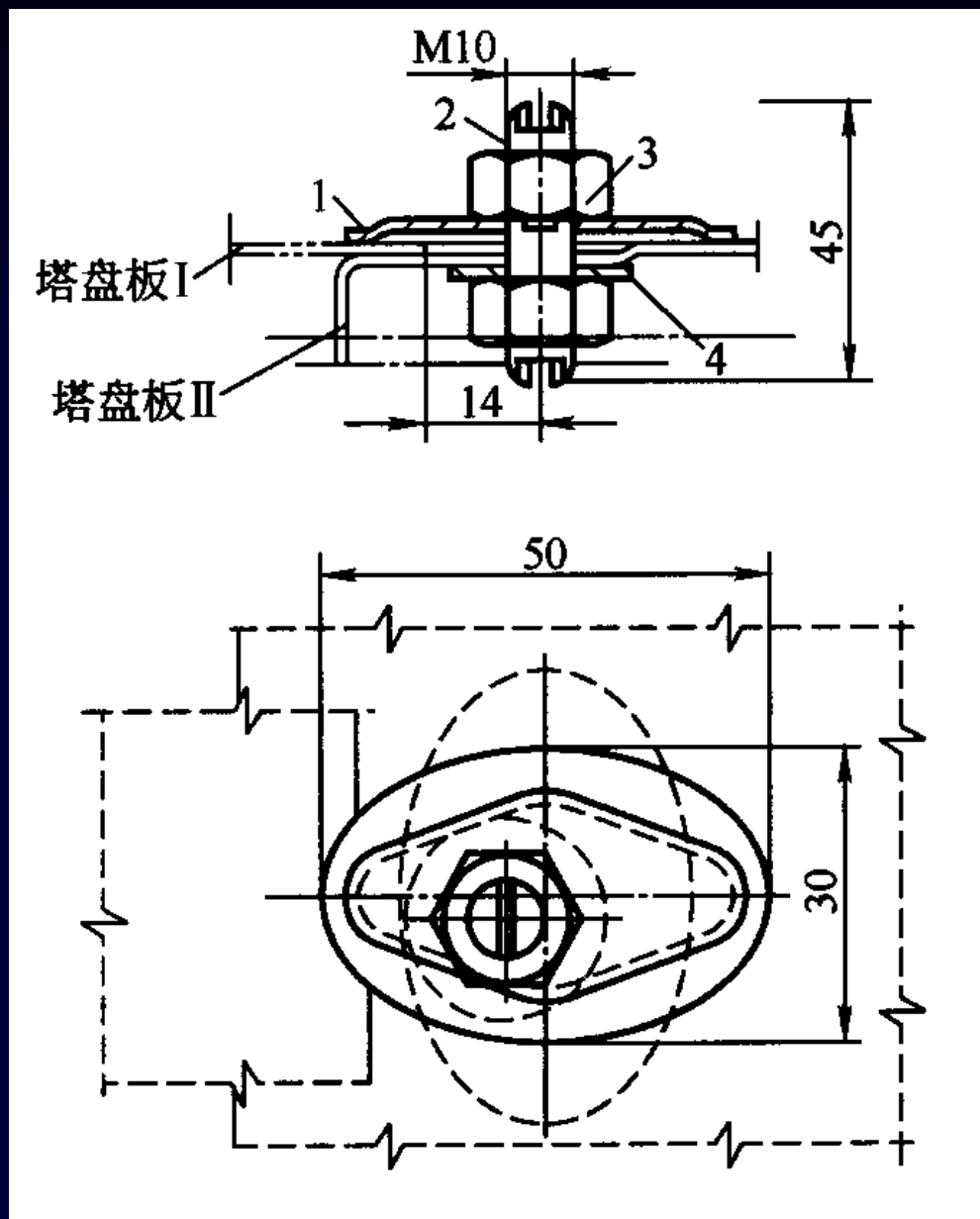


图7-53双面可拆结构



## 连接结构——

塔盘之间及通道板与塔盘板之间采用上、下均可拆连接结构，见图7-53所示。

### 紧固件——

椭圆垫板及螺柱，见图7-54。

材质常用不锈钢。塔盘板安放在焊接于塔壁的支承圈上。

### 卡子——

用于塔盘板与支承圈的连接，卡子由卡板，椭圆垫板，圆头螺钉及螺母等零件组成，见图7-55。卡子孔为长圆形。考虑到塔体椭圆度公差及塔盘板宽度尺寸公差等因素。

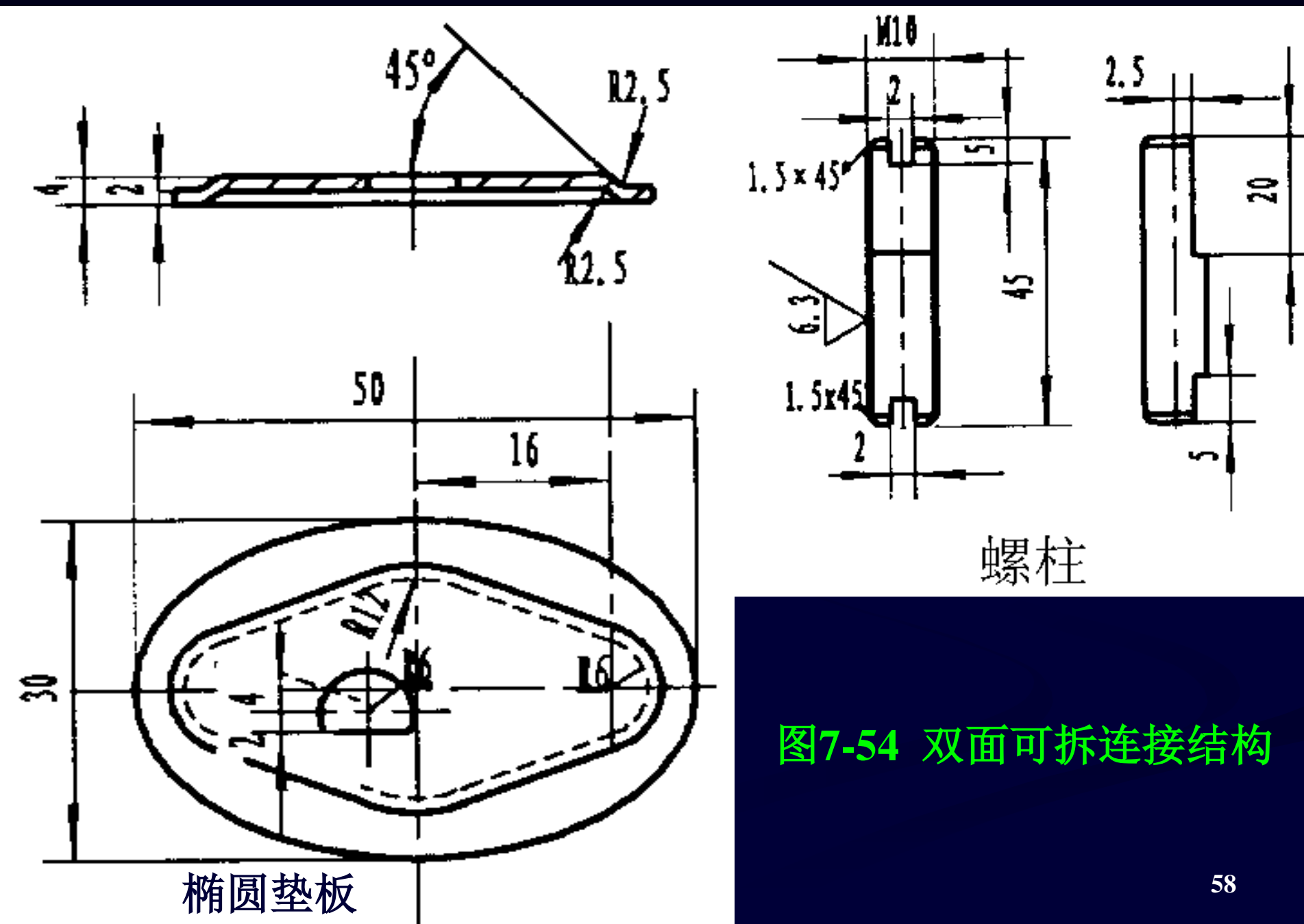
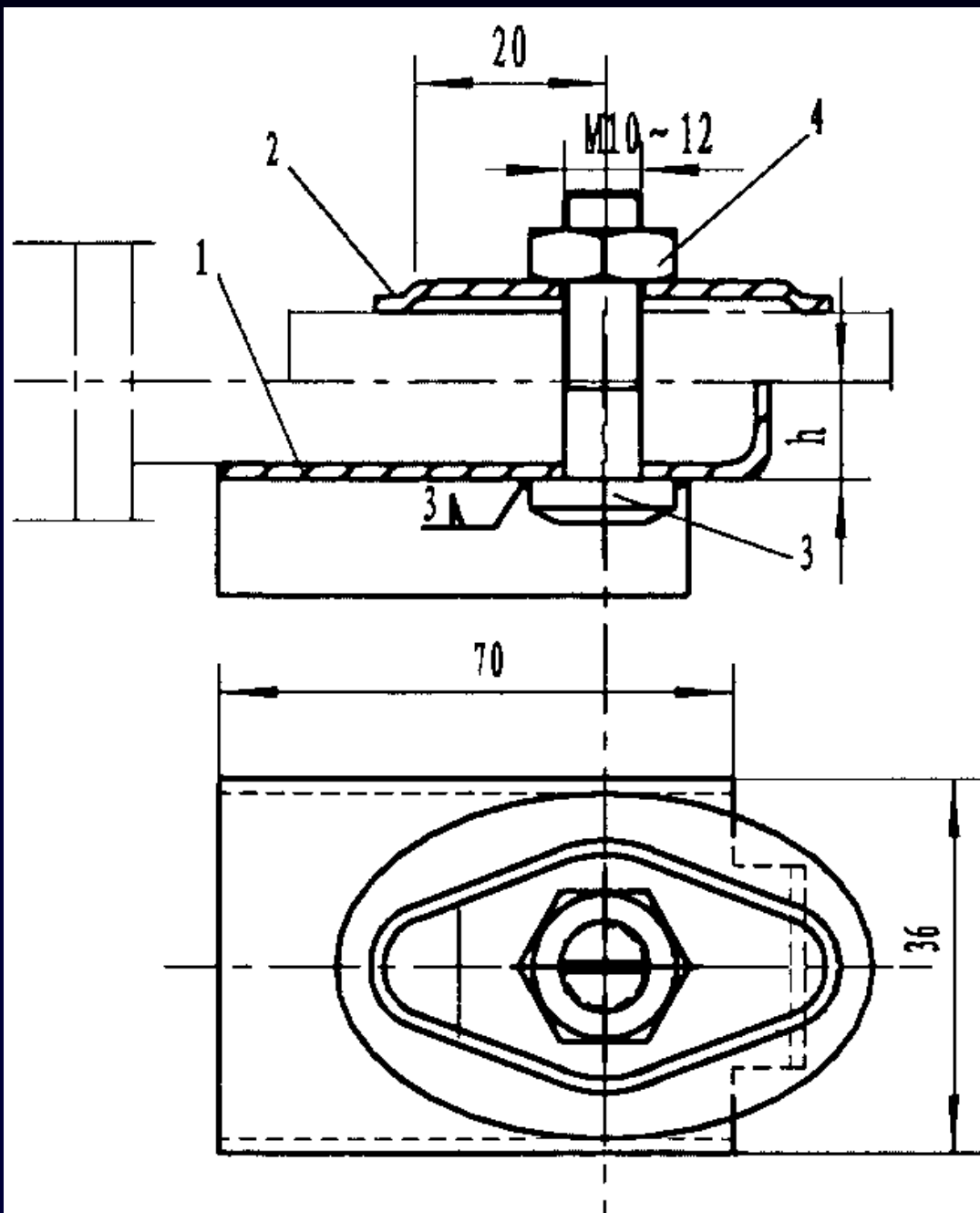


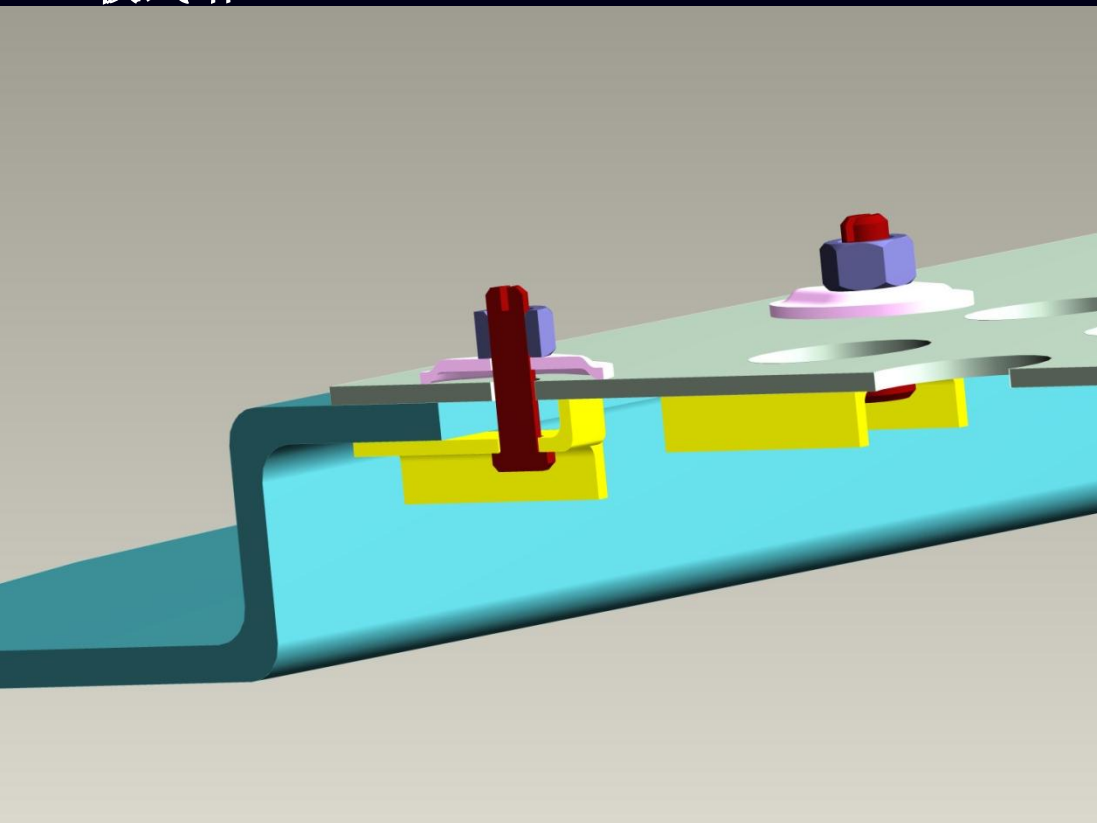
图7-54 双面可拆连接结构

## 7.3 板式塔

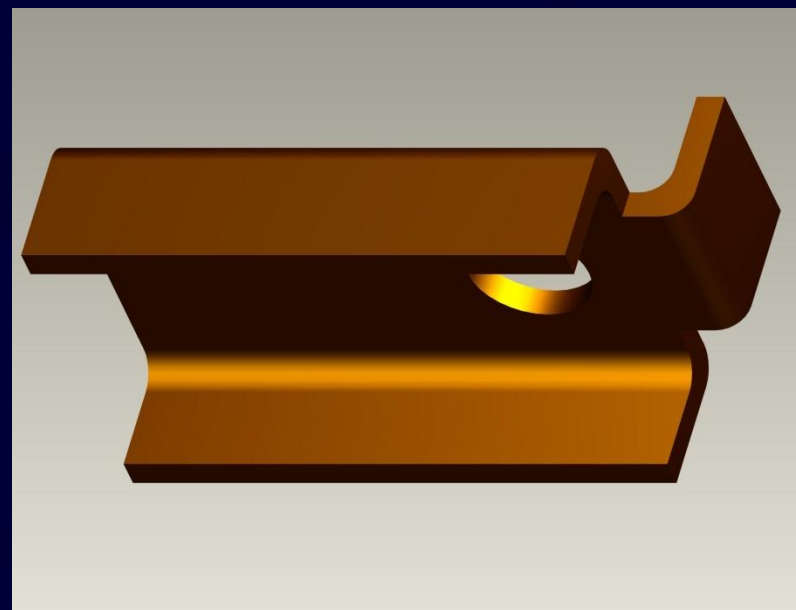
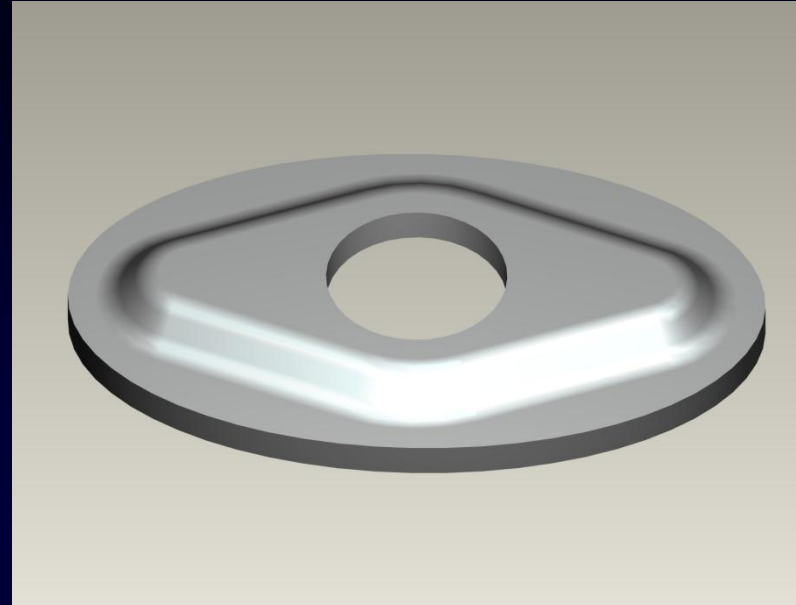


- 1—卡板
- 2—椭圆垫板
- 3—圆头螺钉
- 4—螺母

图7-55卡子的组装结构



卡子连接



### 7.3.3.2 降液管

#### 一、降液管的型式

结构型式——圆形和弓形两类。

圆形降液管——

用于液体负荷低，塔径较小，  
不容易引起泡沫的场合

（图7-56（a），（b），（c））

弓型区截面中仅有一小部分用于  
有效的降液截面。

结构型式——圆形和弓形两类。

弓型降液管——

将堰板与塔体壁面间所组成的弓形区全部截面用作降液面积，见图 7-56（d）。

对于整块式塔盘的小直径塔，为了尽量增大降液截面积，采用固定在塔盘上的弓型降液管，见图7-56（e）。

弓型降液管适用于大液量及大直径的塔，塔盘面积的利用率高，降液能力大，气—液分离效果好。

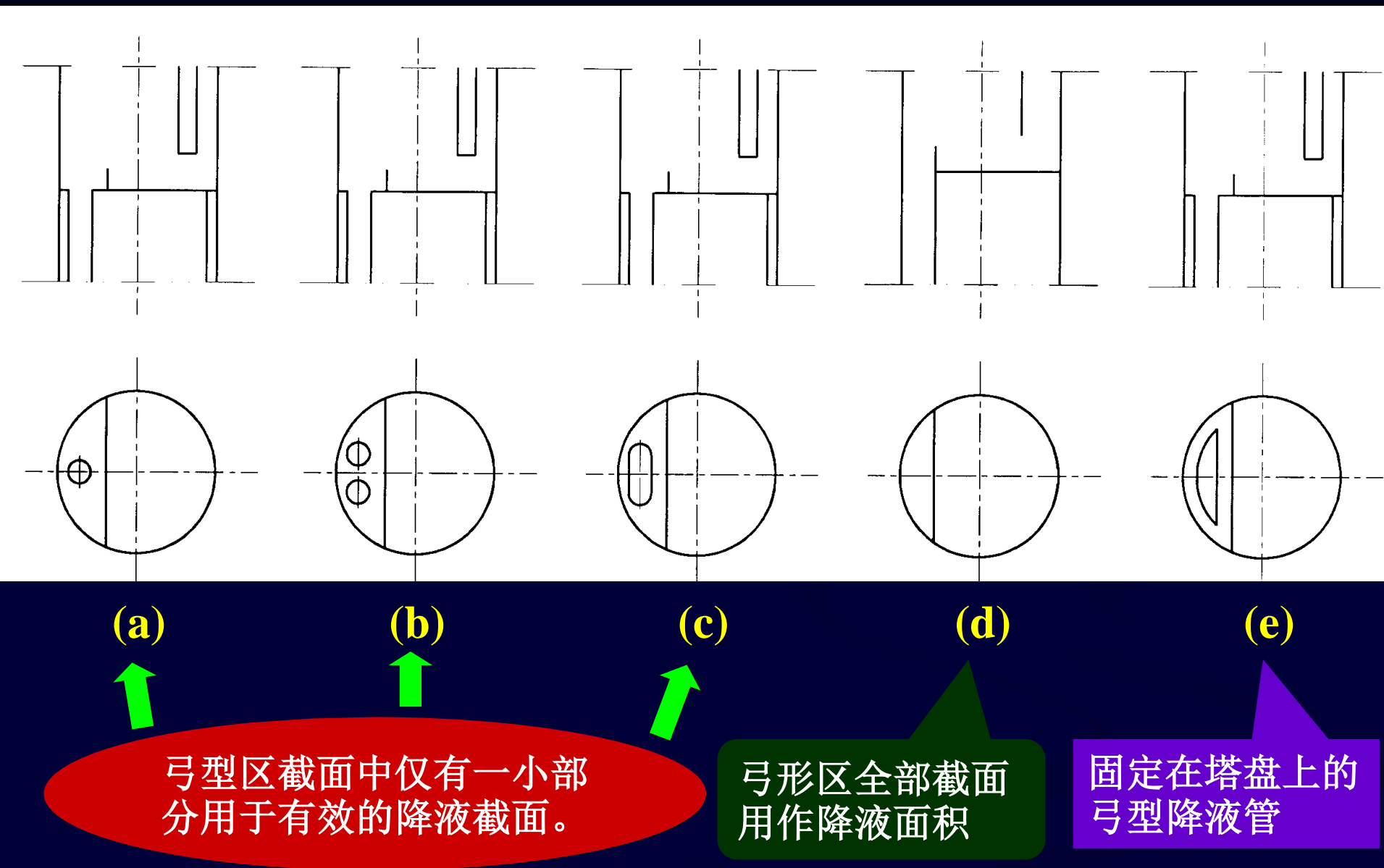


图7-56 降液管的型式

## 二、降液管的尺寸

### 设计——

使夹带气泡的液流进入降液管后具有足够的分离空间，将气泡分离，仅有清液流往下层塔盘。

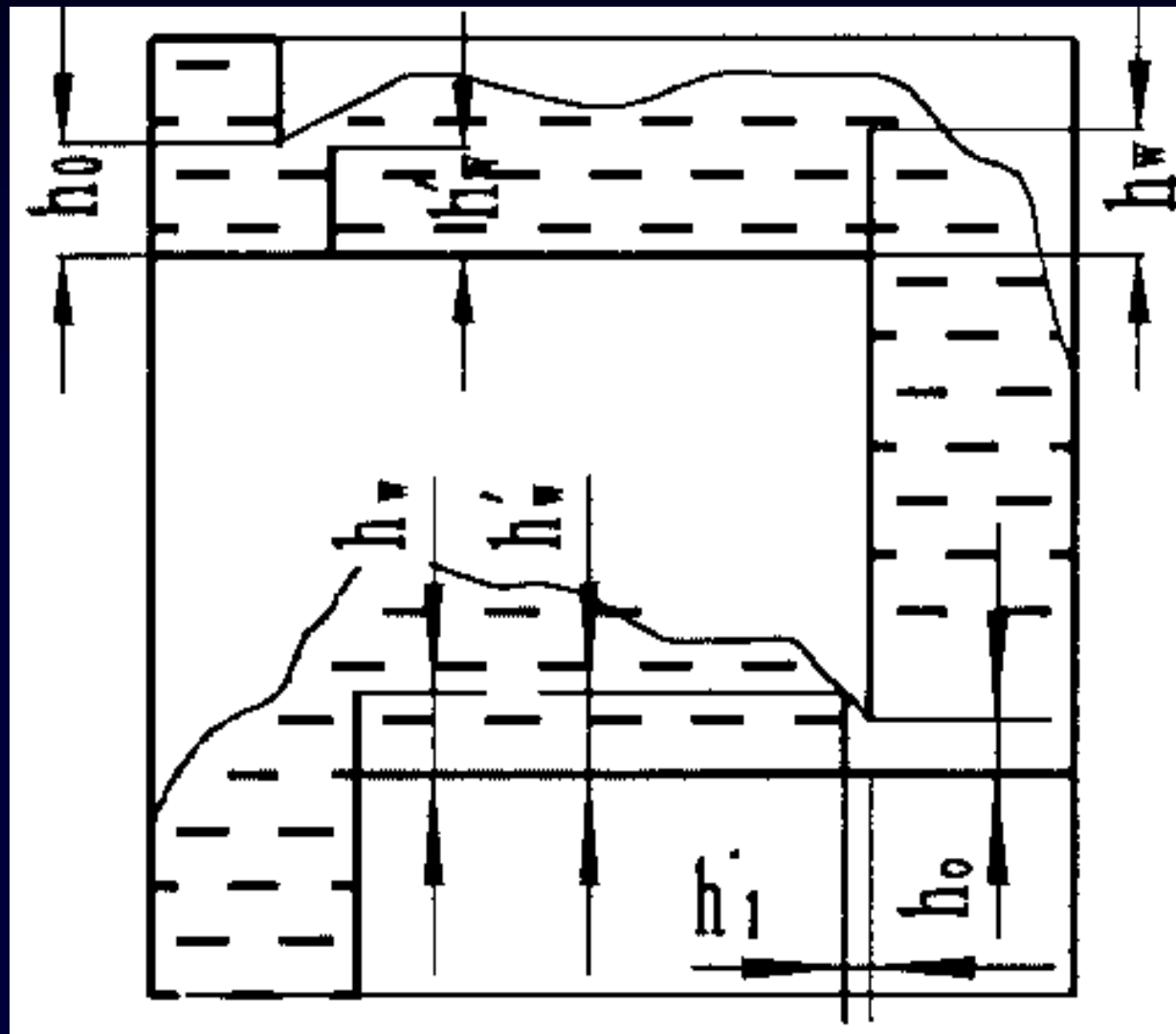


图7-57 降液管的液封结构



- a. 液体在降液管内的流速为 $0.03 \sim 0.12 \text{ m/s}$ ;
- b. 液流通过降液管的最大压降为 $250 \text{ Pa}$ ;
- c. 液体在降液管内的停留时间为 $3 \sim 5 \text{ s}$ , 通常 $< 4 \text{ s}$ ;
- d. 降液管内清液层的最大高度不超过塔板间距的一半;
- e. 越过溢流堰降落时抛出的液体, 不应射及塔壁, 降液管的截面积占塔盘总面积的比例, 通常为 $5 \sim 25\%$ 之间。

液封高度 $h_w$ ——防止气体从降液管底部窜入, 见图7-57。

间距 $h_o$ ——降液管底端到下层塔盘受液盘面的距离。

$(h_w - h_o) = 6 \sim 12 \text{ mm}$ 。大型塔不小于 $38 \text{ mm}$ 。

### 三、降液管的结构

整块式塔盘的降液管，一般直接焊接于塔盘板上。

(a) 用于碳钢塔盘，或塔盘板较厚

(b) 用于不锈钢塔盘或塔盘板较薄时

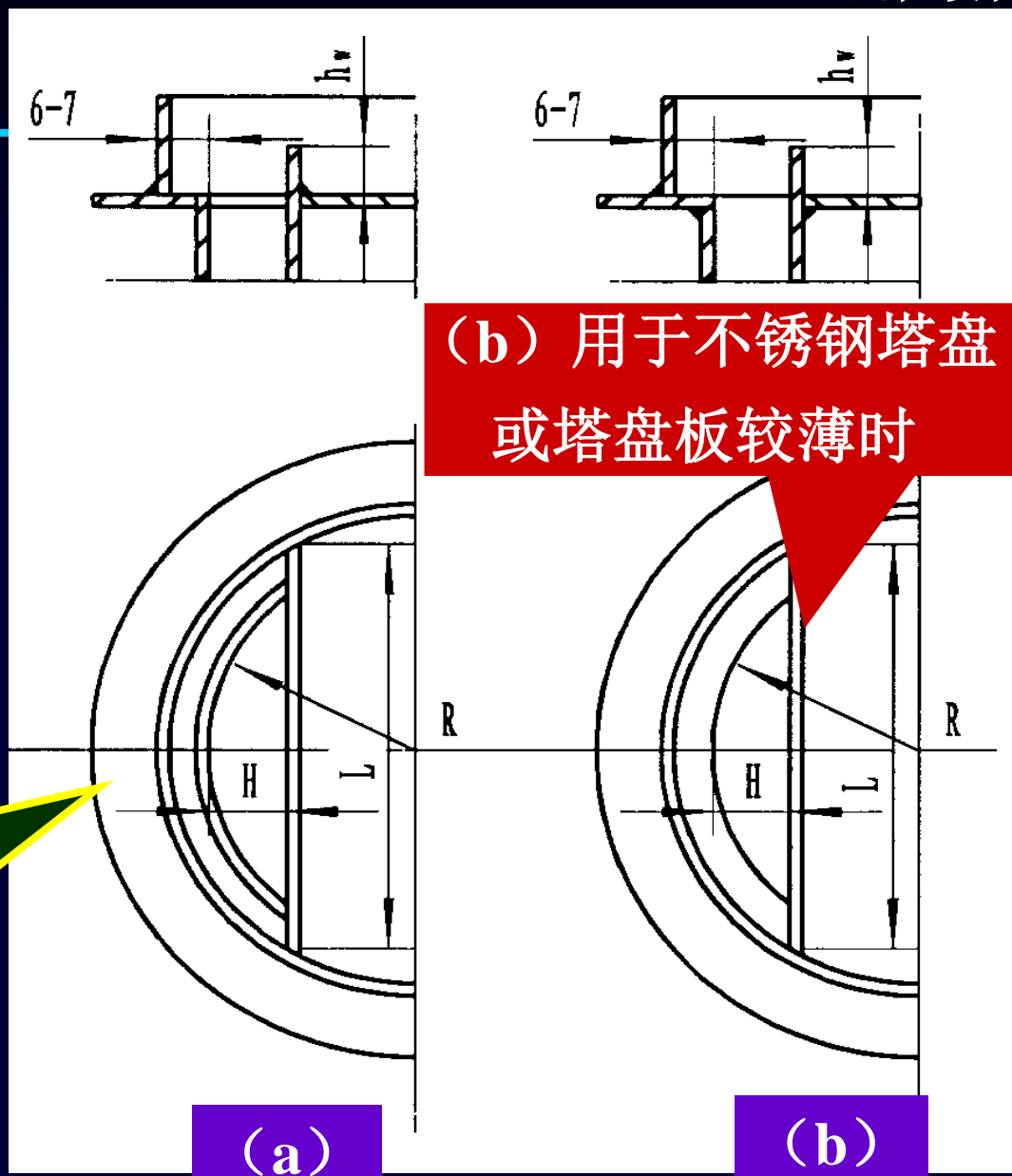
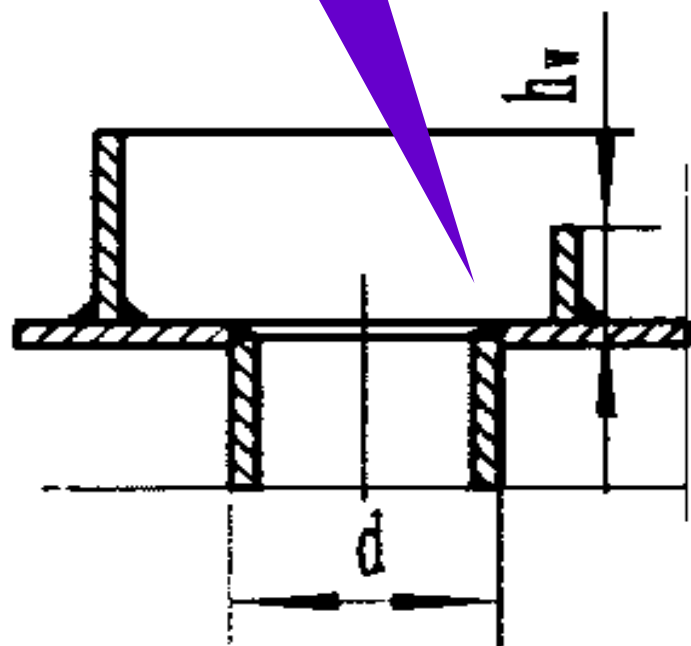


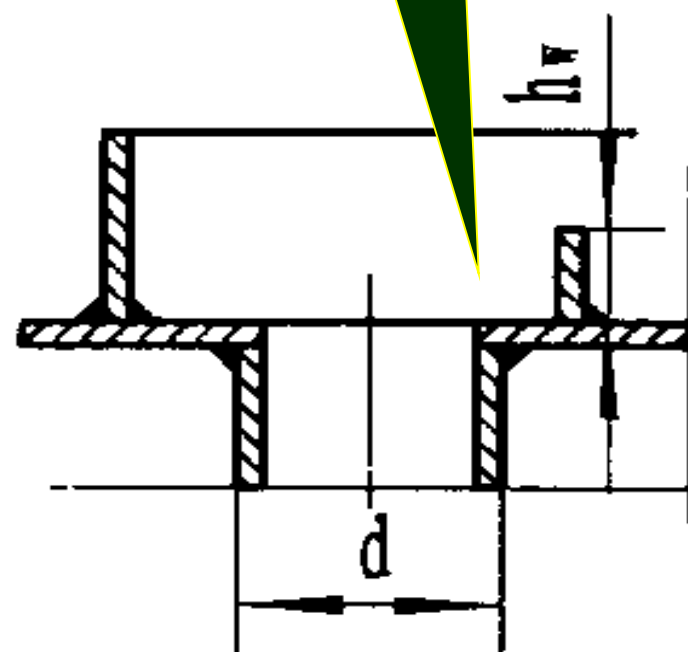
图7-58 整块式塔盘的弓型降液管结构

用于  
碳钢塔盘



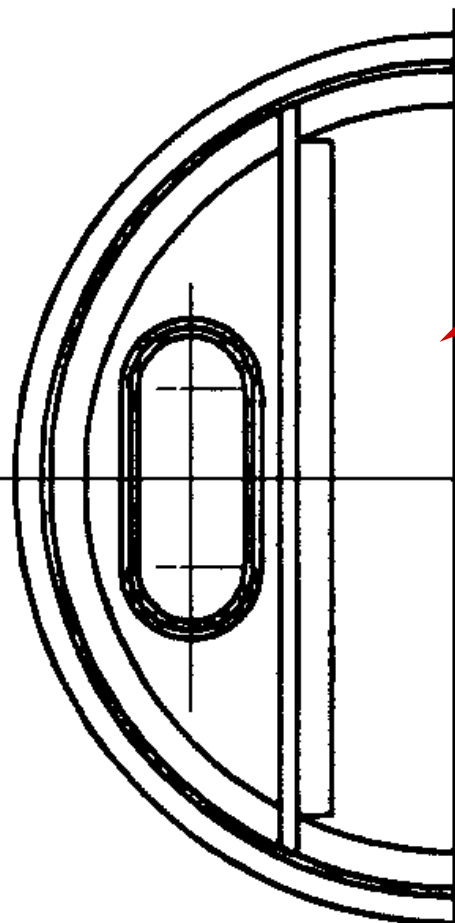
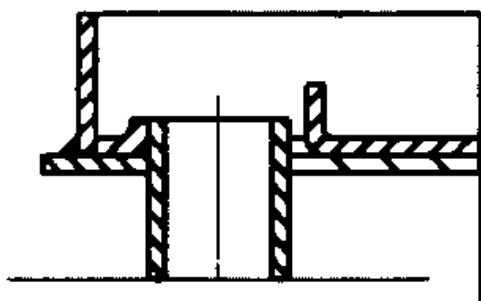
(a) 碳素钢

用于  
不锈钢塔盘



(b) 不锈钢

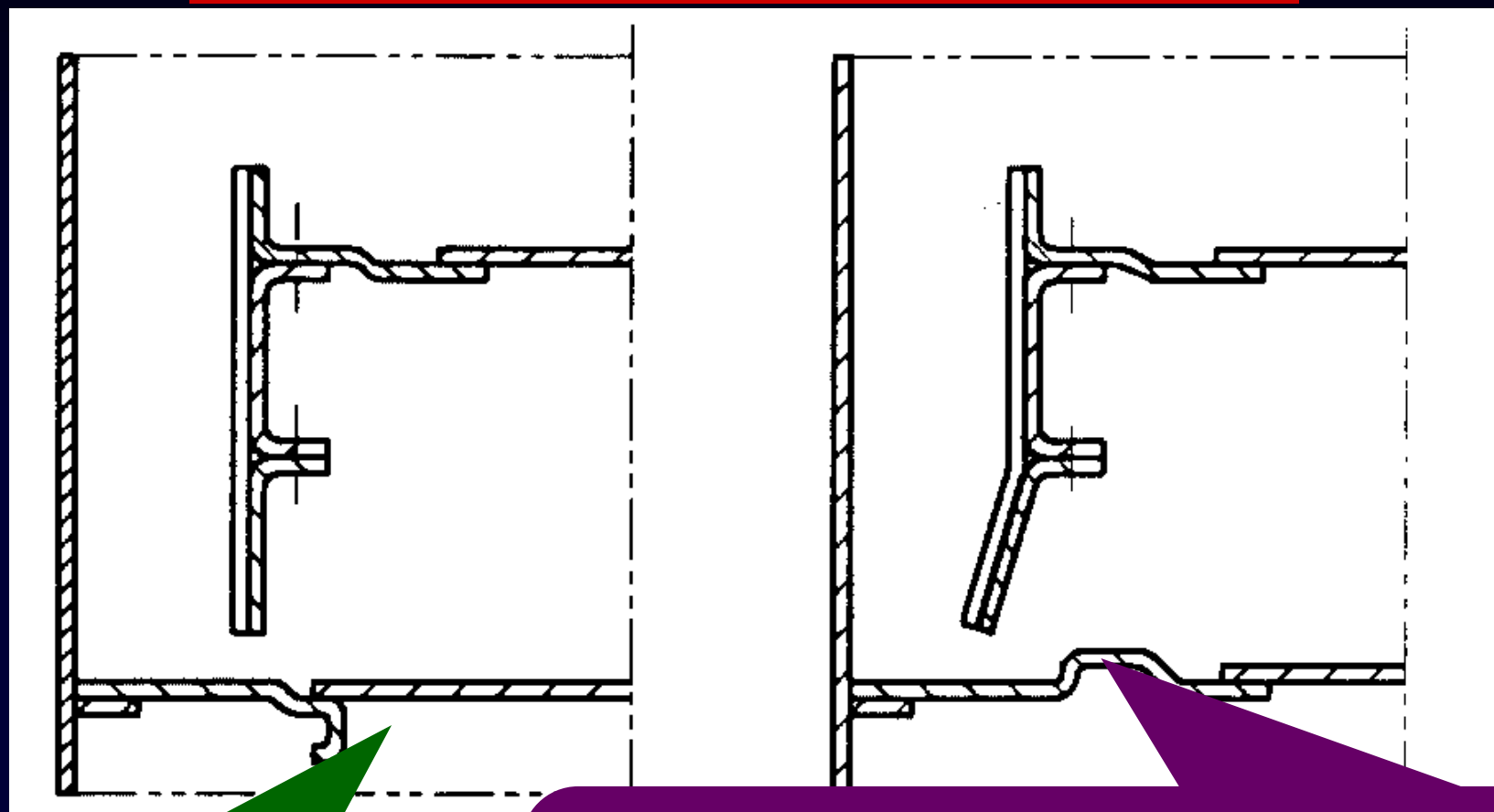
图7-59 整块式塔盘的圆形降液管结构



具有溢流堰的长圆形  
降液管结构，不锈钢  
塔盘的塔盘板应翻边  
后再与降液管焊接，  
以保证焊接质量。

**图7-60**  
整块式塔盘的长圆形降液管结构

## 分块式塔盘的降液管，有垂直式和倾斜式



垂直式降液管——小直径或负荷小的塔，结构比较简单

倾斜式降液管——用于降液面积占塔盘总面积12%以上时，取倾角为 $10^\circ$ 左右，使降液管下部的截面积为上部截面积的55~60%，增加塔盘的有效面积。

图7-61 降液管的形式

## 降液管与塔体的连接——可折式及焊接固定式

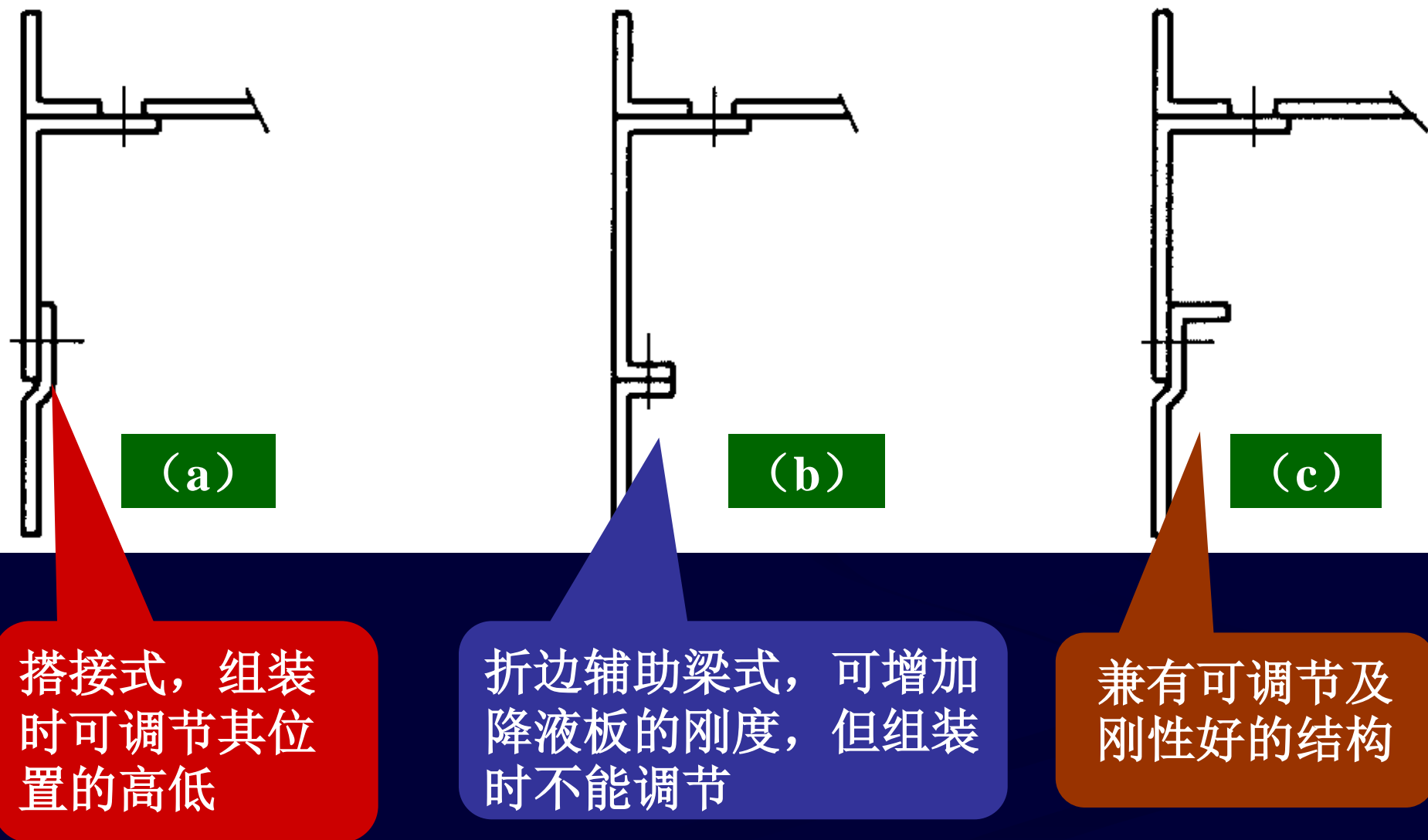


图7-62 可折式降液管的组装结构

焊接固定式降液管——

支承圈和支承板连接并焊于塔体上形成一塔盘固定件。

优点

结构简单，制造方便。

缺点

不能对降液板进行校正调节，也不便于检修。

应用

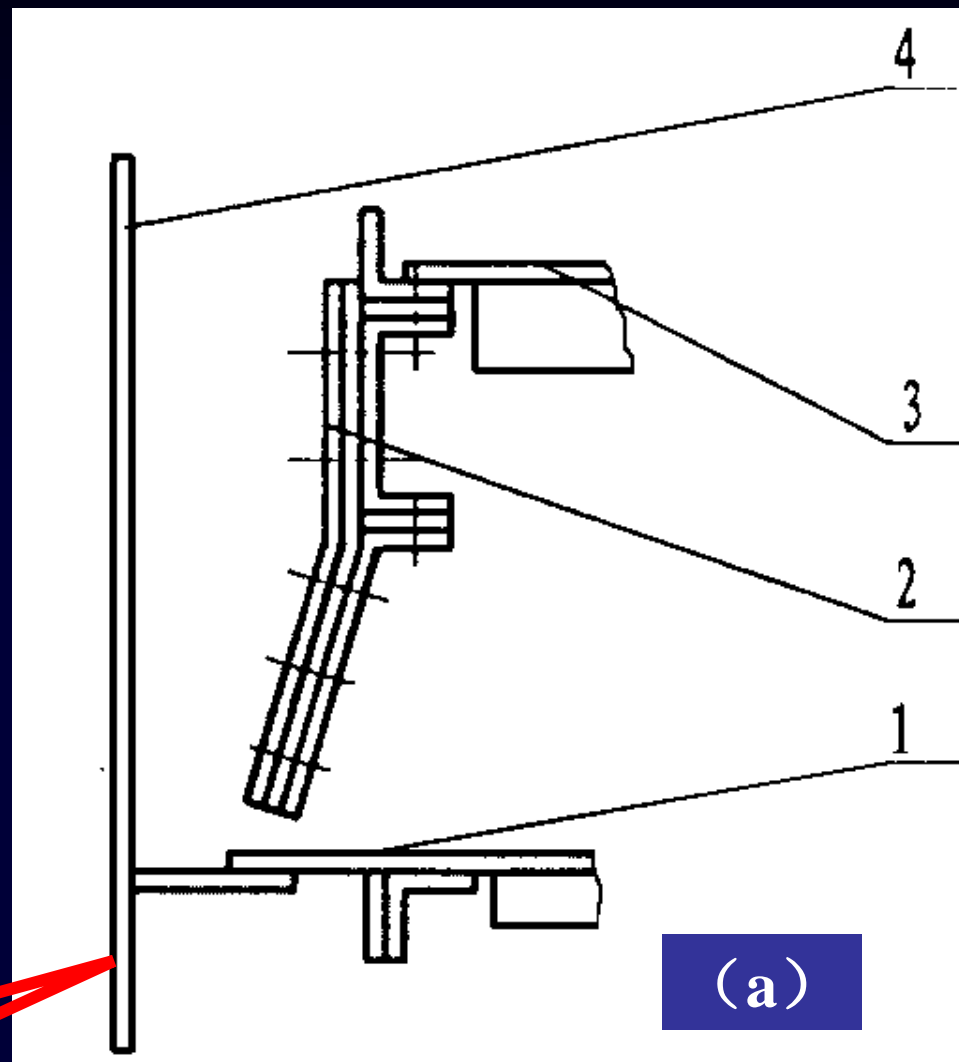
适合于介质比较干净，不易聚合，且直径较小的塔设备。

### 7.3.3.3 受液盘

目的——

保证降液管出口处的液封，设在塔盘上。有平型和凹型两种。

平型受液盘——用于物料容易聚合的场合。可以避免在塔盘上形成死角。图7—63（a）为一种可拆式平型受液盘。



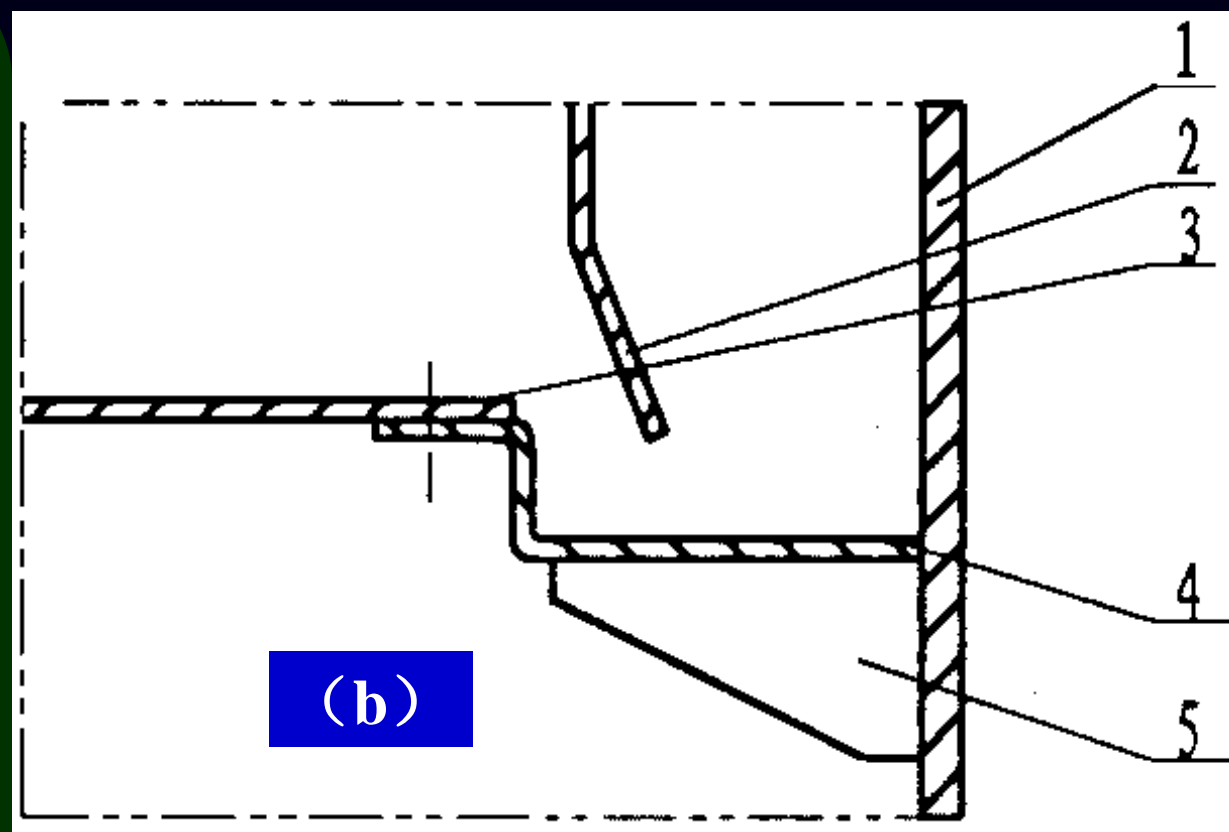
1—受液盘 2—降液盘  
3—塔盘板 4—塔壁

图7-63 受液盘结构



凹型受液盘对液体流动有缓冲，当液体通过降液管与受液盘的压力降大于25mm水柱，或使用倾斜式降液管时使用。

可降低塔盘入口处的液封高度，使液流平稳，有利于塔盘入口区更好地鼓泡。凹型受液盘的深度一般大于50mm，但不超过塔板间距的三分之一，否则应加大塔板间距。



1—塔壁 2—降液板 3—塔盘板  
4—受液盘 5—筋板

图7-63 受液盘结构



## 液封盘

——为保证降液管出口处的液封，设置在塔或塔段的最底层塔盘降液管处。



## 泪孔

——供停工时排液用。

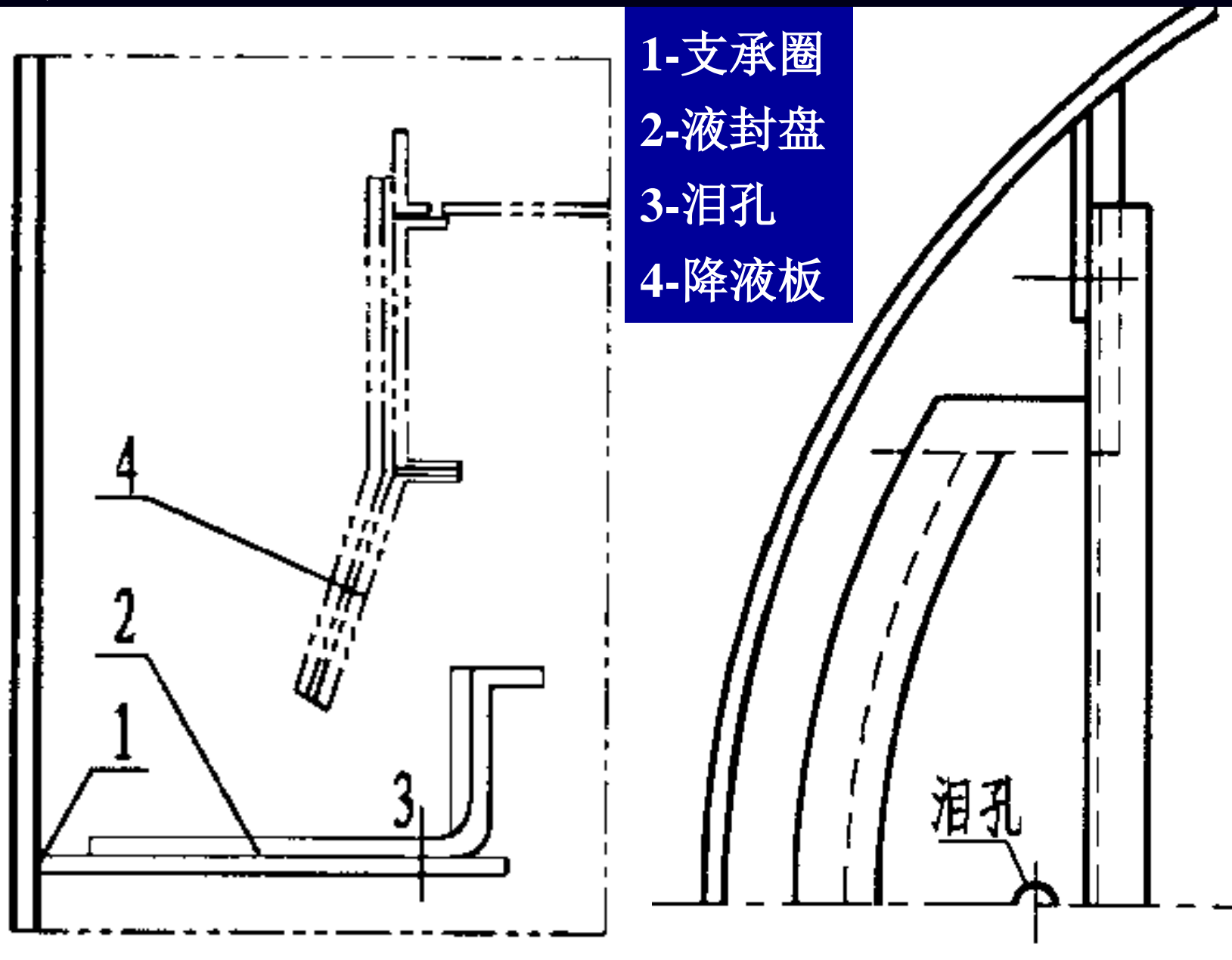
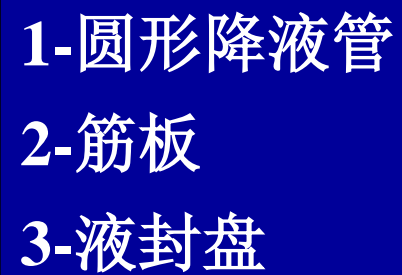


图7-64 弓形降液管液封盘结构



**图7-65**  
**圆形降液管**  
**液封盘结构**

### 7.3.3.4. 溢流堰

根据位置分为进口堰及出口堰

---

进口堰——

平型受液盘，保证降液管的液封，使液体均匀流入下层塔盘，并减少液流在水平方向的冲击，设在液流进入端。

## 根据位置分为进口堰及出口堰

出口堰——保持塔盘上液层的高度，并使流体均匀分布。

出口堰上最大溢流强度 $<100\sim130\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ 。决定出口堰长度。

单流型塔盘——出口堰长度  $L_w = (0.6\sim0.8)D_i$   
(其中 $D_i$ 为塔的内径);

双流型塔盘——出口堰长度  $L_w = (0.5\sim0.7) D_i$ 。

出口堰高度  $h_w$ ——由物料性能，塔型，液体流量及塔板压力降等因素确定。

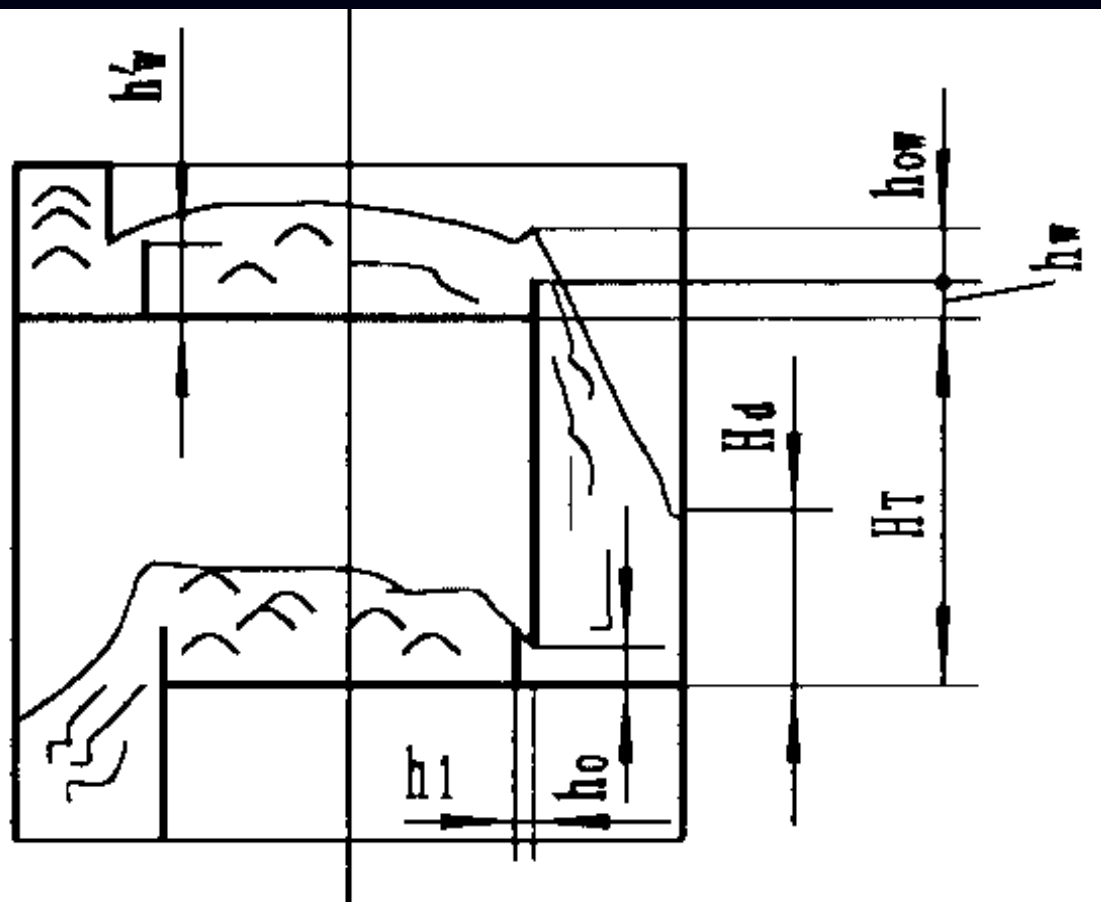
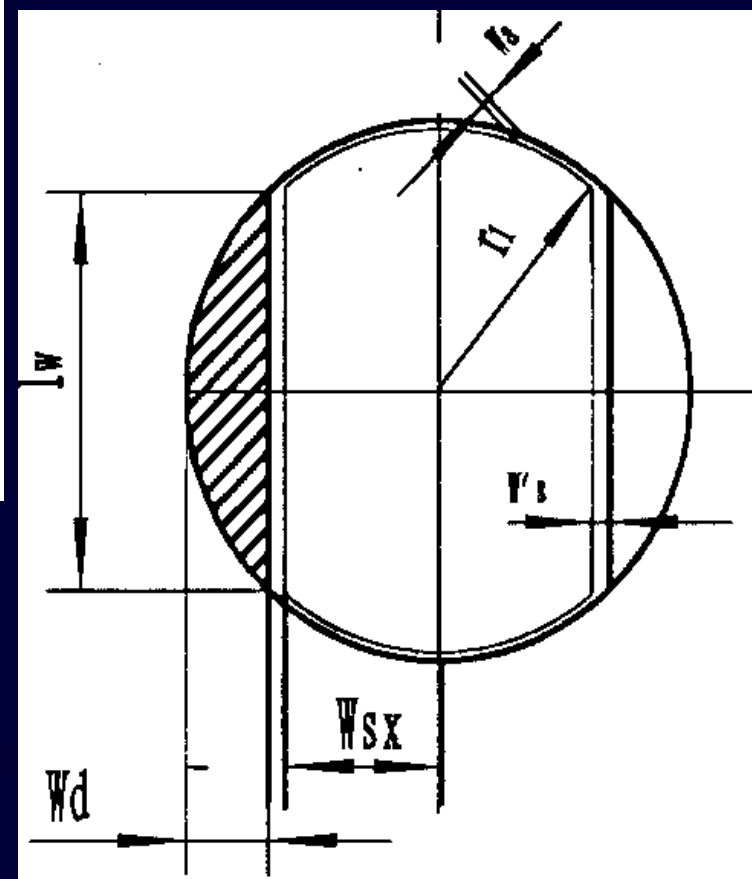


图7-66 溢流堰的结构尺寸



进口堰高度  $h'_w$  ——按以下两种情况确定：

当出口堰高度  $h_w$

大于降液管底边至受液盘板面间距  $h_0$  时，  
可取  $6 \sim 8\text{mm}$ ，或与  $h_0$  相等；

当  $h_w < h_0$  时， $h'_w$  应大于  $h_0$  以保证液封。

进口堰与降液管的水平距离  $h_1$  应大于  $h_0$  值，见图7-66。