



第七节 换热器

化工生产中所用的换热器很多，分类方法也不一，可按用途分，也可按热量传递方式分类。

按用途分，换热器可分为：加热器、冷却器、蒸发器、再沸器、冷凝器、分凝器等。

按冷热流体热量交换的原理和传热方式可分为：

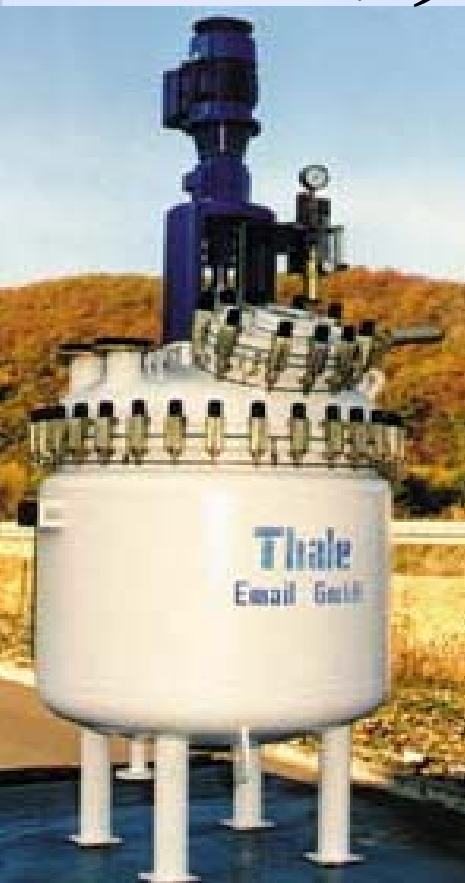
- 1、**间壁式换热器**；
- 2、直接接触式换热器；
- 3、蓄热式换热器。

在这三类换热器中，间壁式换热器应用最多，因为在大多数情况下，冷热两种流体在换热过程中不允许混和。以下我们只讨论这种间壁式换热器。



一、间壁式换热器的类型

1、夹套式换热器



动画演示

- (1) 优点：结构简单；
- (2) 用途：主要用于反应器的加热和冷却；
- (3) 缺点：加热面受到容器壁面的限制，所以传热系数不高；

(4) 改进设备的措施：当需要及时移走较大热量时，应在容器内部加蛇管（或列管）冷却器，管内通入冷却水，及时取走热量或在釜内安装搅拌器，使釜内液体受热均匀。

当夹套内通入的是冷却水或无相变的加热剂时，可在夹套内加设挡板，这样即可使冷却水流向一定，又可以提高流速，使 K 增加。



2、沉浸式蛇管换热器

蛇管结构如图6-45所示。



动画演示

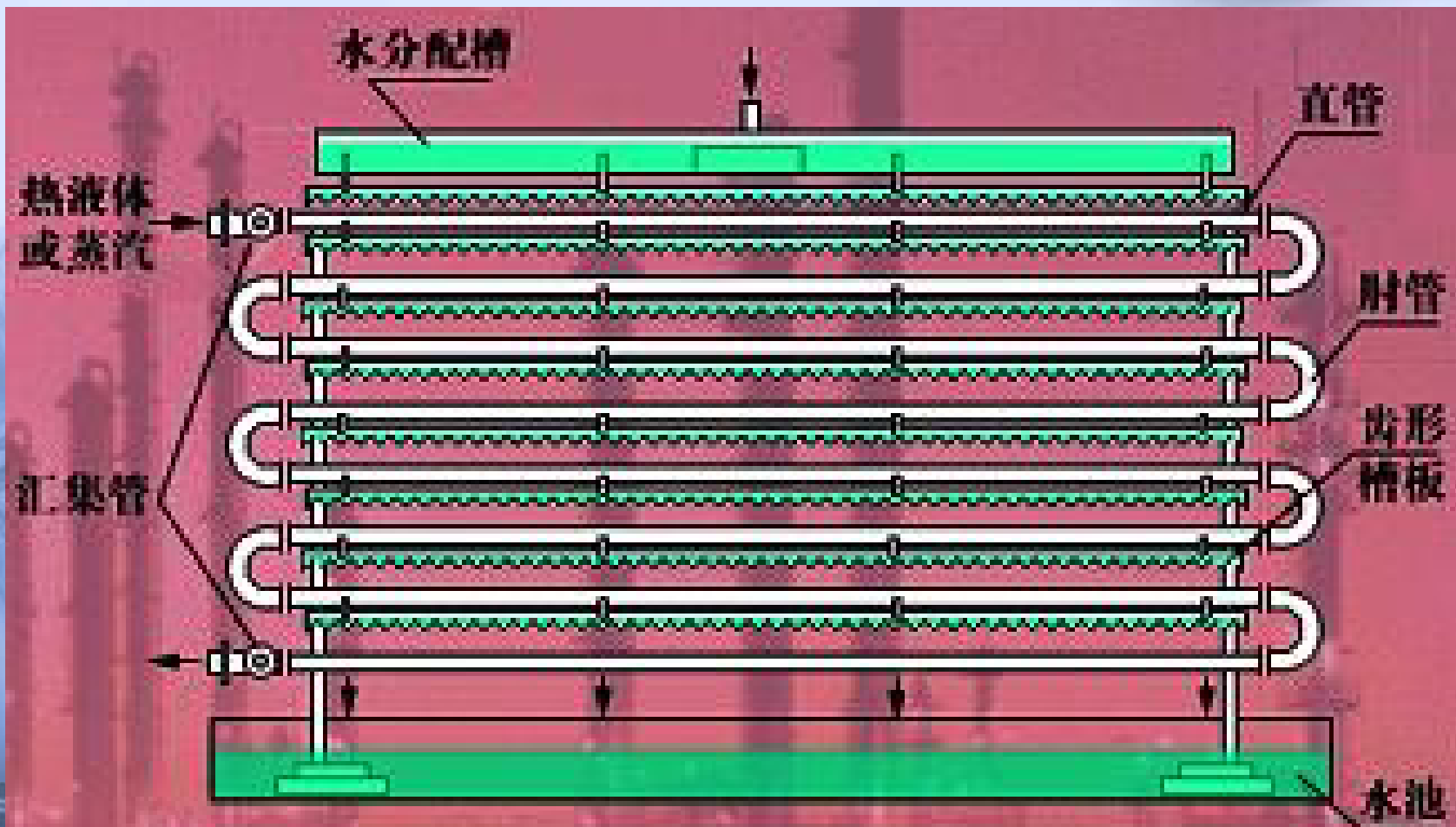
蛇管大多是用管子弯曲绕成的，或制成适应容器需要的形状，沉浸在容器中，两种流体分别在管内、外进行换热。

- (1) 优点：结构简单，便于制造，便于腐蚀，且能承受高压；
- (2) 缺点：容器内流体湍流程度低；
- (3) 改进措施：在容器内装搅拌器。 $\alpha_{外}$ 小、K也小。



3、喷淋式换热器

如下图，冷却水从上面管子的喷淋装置均匀淋下，沿管表面流下，而被冷却的流体自最下面的管子流入，由最上面管子流出，与外面的冷流体进行换热。所以，传热效果比沉浸式好。





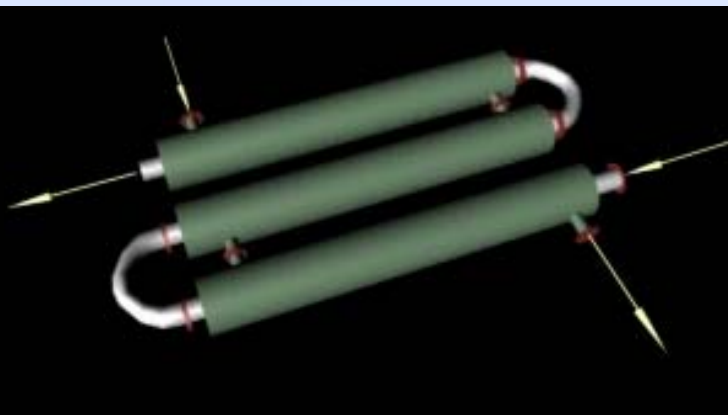
动画演示

- (1) 优点：便于检修和清洗；
- (2) 缺点：占地面积大，水滴溅洒到周围环境，且喷淋不宜均匀。



4、套管式换热器（P300 [图6-47](#)）

将两种直径大小的标准管装成同心套管，并由U型弯头连接而成。换热时一种流体在内管流动，另一种流体在套管的环隙中流动，两种流体可始终保持逆流流动，对数平均推动力较大，由于两管径都可以适当选择，使内管与环隙间的流动呈湍流状态，所以 K 较大，同时也可以减少垢层的形成。



[动画演示](#)

优点：结构简单、能耐高压、制造方便、传热面积易于增减。

缺点：单位面积的金属消耗量很大，占地面积较大。

用途：一般适用于流量不大，所需传热面也不大及高压的场合。



5、管壳式换热器（又称列管式换热器）

管壳式换热器在化工生产中被广泛使用，它的结构简单、坚固、制造容易，处理量大，适应性强，操作弹性较大，尤其在高压、高温和大型装置中适用更为普遍。

(1) 结构：壳体、管束、管板、封头等组成（[图6-48](#)）



动画演示



壳体、管板、管束、顶盖（封头）、挡板

{

 横向
 纵向

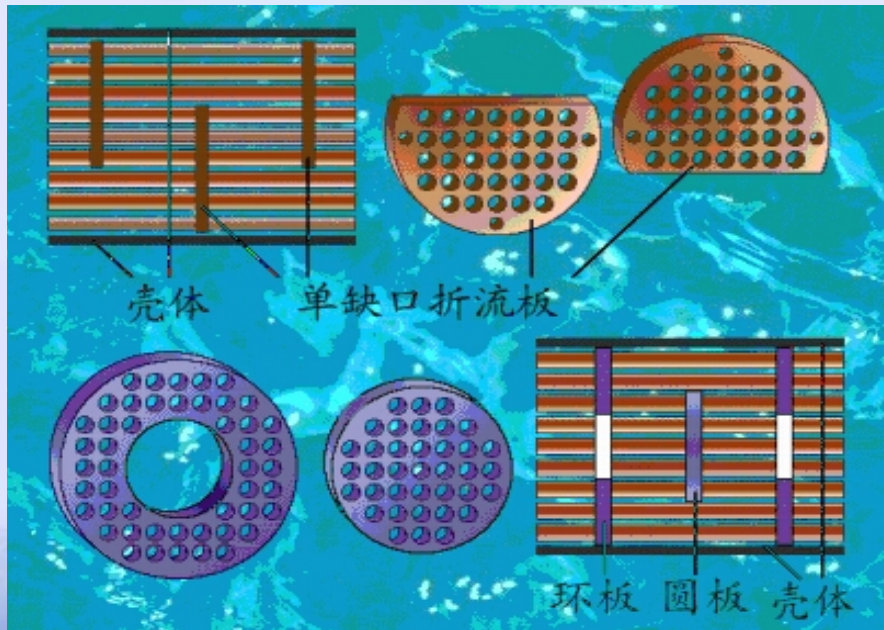


冷热流体在列管换热器中进行换热时，一种流体通过管内，它的行程称为管程，另一种流体在管外流动，它的行程称为壳程，管束的表面为传热面。

为提高 $\alpha_{外}$ ，在管内安装一定量的横向折流挡板。



挡板：圆缺形和圆盘形（图6-50）



圆缺形挡板动画

圆盘形挡板动画

换热器内通过管内的流体每通过一次管束称为一个管束。当换热器的传热面积较大时，就需要的管子数目较多，为了提高管程的流速，可在两端封头内设置适当隔板将管子分成若干组，使流体依次通过每组管子往返多次通过，称为多管程。

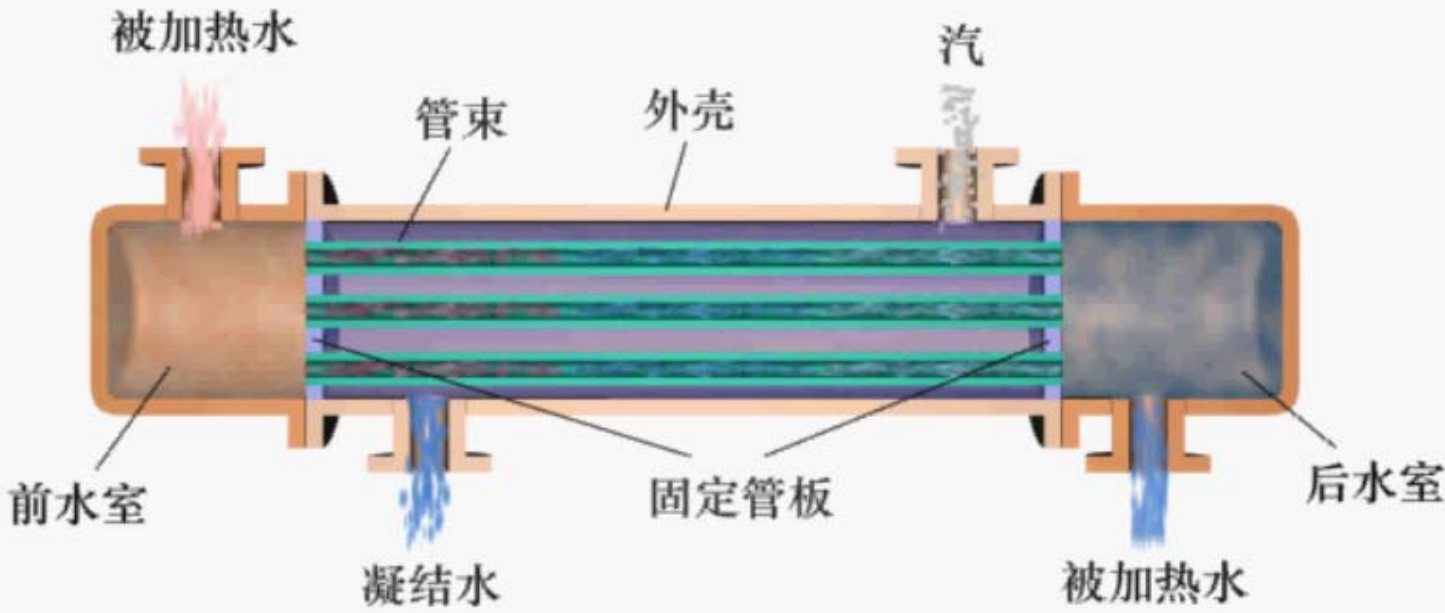
流体每通过一次壳体称为一个壳程。为提高壳程流体流速可在壳体内安装纵向挡板使流体多次通过壳体空间，称为多壳程。



(2) 列管式换热器的补偿装置

列管式换热器操作时，由于冷热流体温度不同，使壳体和管束受热不同，它们的热膨胀程度不同，当管束和壳体温度差大于 750°C 就可能引起设备变形或管子扭曲，从管板上松脱，甚至毁坏整个换热器。所以必须从结构上考虑消除或减少热膨胀的影响。根据所采取的温差补偿措施，换热器可分为以下几种型式：

a、固定管板式：结构简单，热补偿小，且检修和清洗困难。

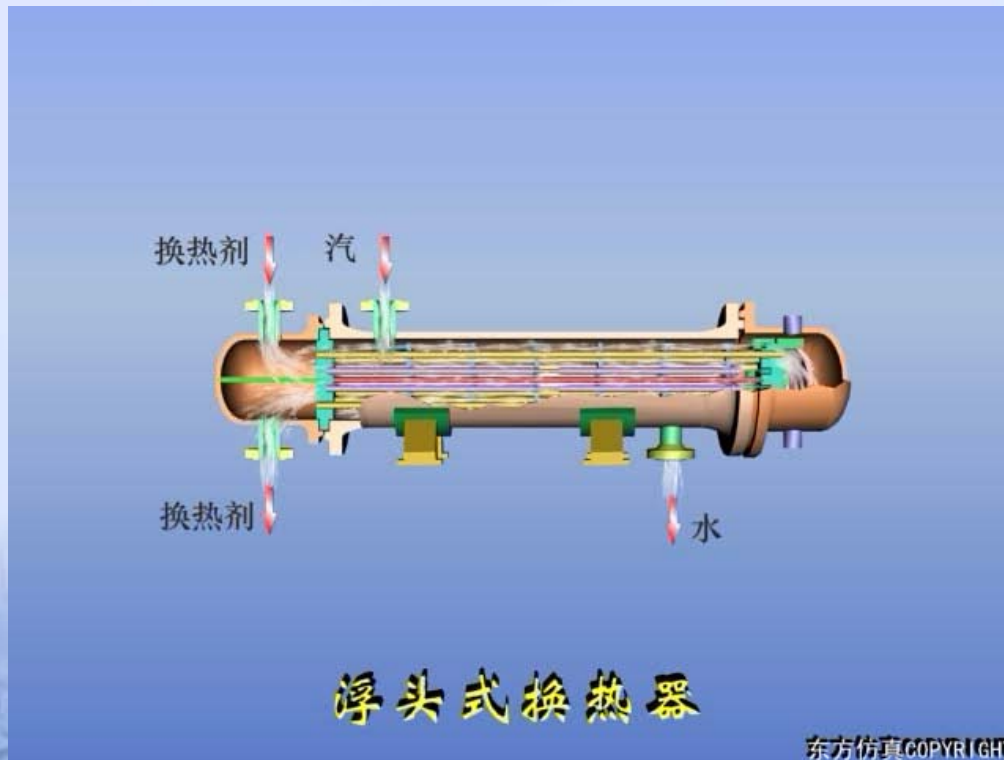


固定管板式管壳加热器

动画演示



b、浮头式换热器（见图6-51）



结构动画

工作动画

优点：可完全消除热应力，便于清洗和检修。

缺点：结构比较复杂，造价也高。

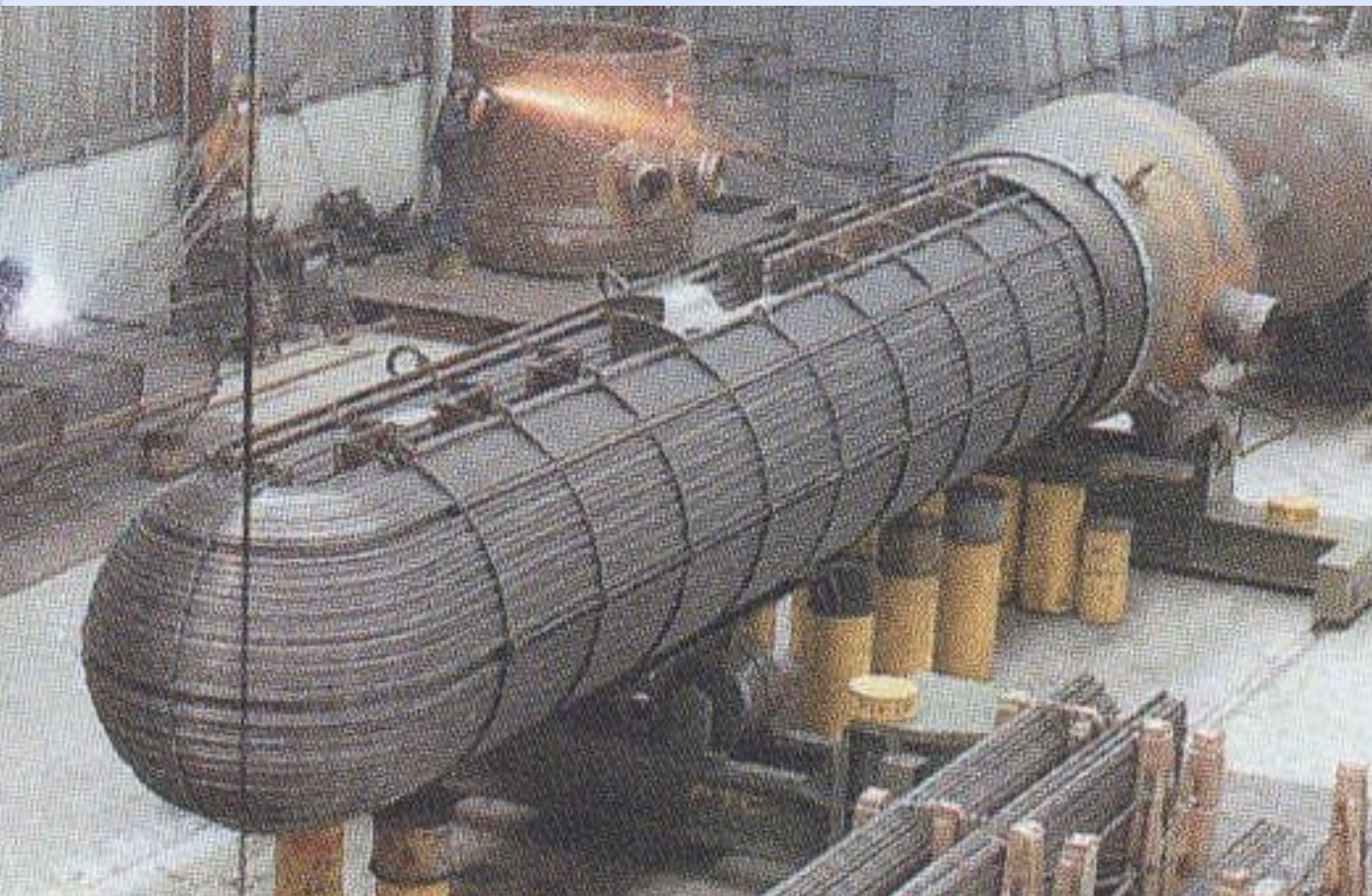
F_A $\phi 19 \times 2$ 正三角形排列，管中心距25 mm;

F_B $\phi 25 \times 2.5$ 正方形排列，管中心距32mm。

动画演示



c、U型管式换热器（见图6-52）



动画演示

把管子都弯成U形，两端固定在管板上，利用管子的伸缩来解决热补偿问题。结构较浮头简单；但管程不易清洗。





二、管壳式换热器的设计和应用

1、管壳式换热器设计和选用时应考虑的问题

- (1) 冷热流体流动通道的选择 (P302) ;
- (2) 流动方式的选择 (P303) ;
- (3) 换热管规格和管子的排列 (P303) ;
- (4) 折流挡板 (P304) 。

2、管壳式换热器的给热系数

(1) 管程给热系数 α_i

$$\text{当 } Re > 10000 \text{ 时} \quad \alpha_i = 0.023 \frac{\lambda}{d_i} \left(\frac{d_i u_i \rho}{\mu} \right)^{0.8} \left(\frac{C_p \mu}{\lambda} \right)^{0.3 \sim 0.4}$$

$$\alpha_i \propto N_p^{0.8} \quad (\text{管程数} \text{---} N_p)$$





(2) 壳程给热系数 α_0

当 $Re > 2000$ 时

$$Nu = 0.36 Re^{0.55} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$\text{或: } \alpha_0 = 0.36 \frac{\lambda}{d_0} \left(\frac{du\rho}{\mu} \right)^{0.55} \left(\frac{C_p\mu}{\lambda} \right)^{0.14}$$

$$t_{\text{定}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

μ_w 为壁温下的流体粘度；

d_e 视管子排列情况按式6-147、6-148计算。





3、流体通过换热器的阻力损失（压降）

- (1) 管程阻力（P305~306）；
- (2) 壳程阻力损失（P306~307）。

4、对数平均温差的修正（P307~309）

5、管壳式换热器选用和设计计算步骤

设计任务： W_1 、 T_1 、 T_2 ，选 t_1 、 t_2 ，

依据： $Q = KA\Delta t = KA\psi\Delta t_{m逆}$





(1) 初选换热器的尺寸

- a、流动方式，几管程，几壳程，求 ψ ， $\psi > 0.8$;
- b、初估 $K \Rightarrow A_{\text{估}}$;
- c、参照一系列标准选定换热管直径、长度及排列方式。

(2) 计算 $\Delta Q_{\text{管程}}$ 和 $\alpha_{\text{内}}$

- a、选 u (参见6-12、6-13) 确定管程数目;
- b、计算 $\alpha_{\text{内}}$ ，如 $\alpha_i < K_{\text{估}}$ ，应改变管程数重新计算。

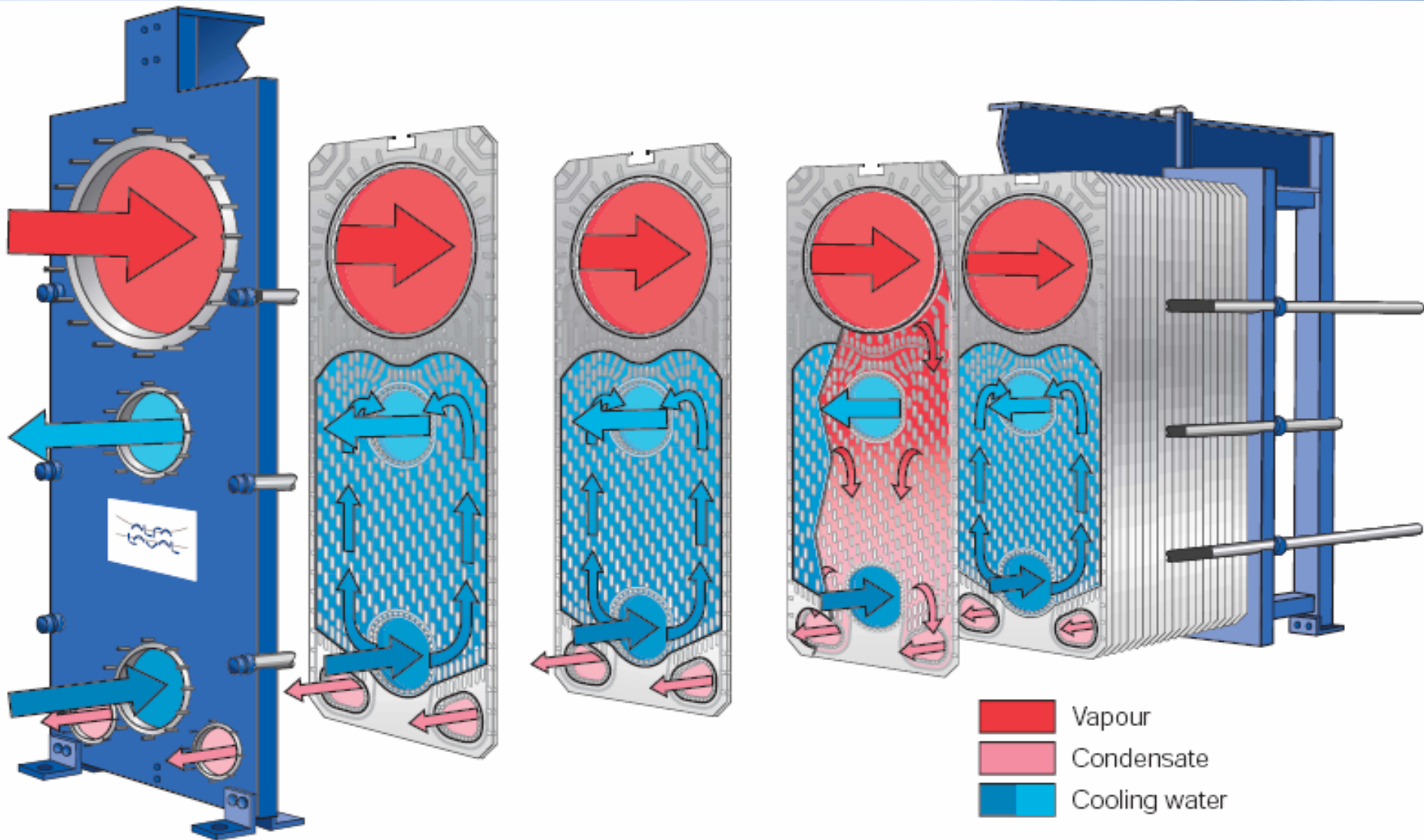
(3) 计算壳程 ΔQ 和 $\alpha_{\text{壳}}$

- a、选定挡板间距;
- b、计算 α_0 。



三、其它类型换热器

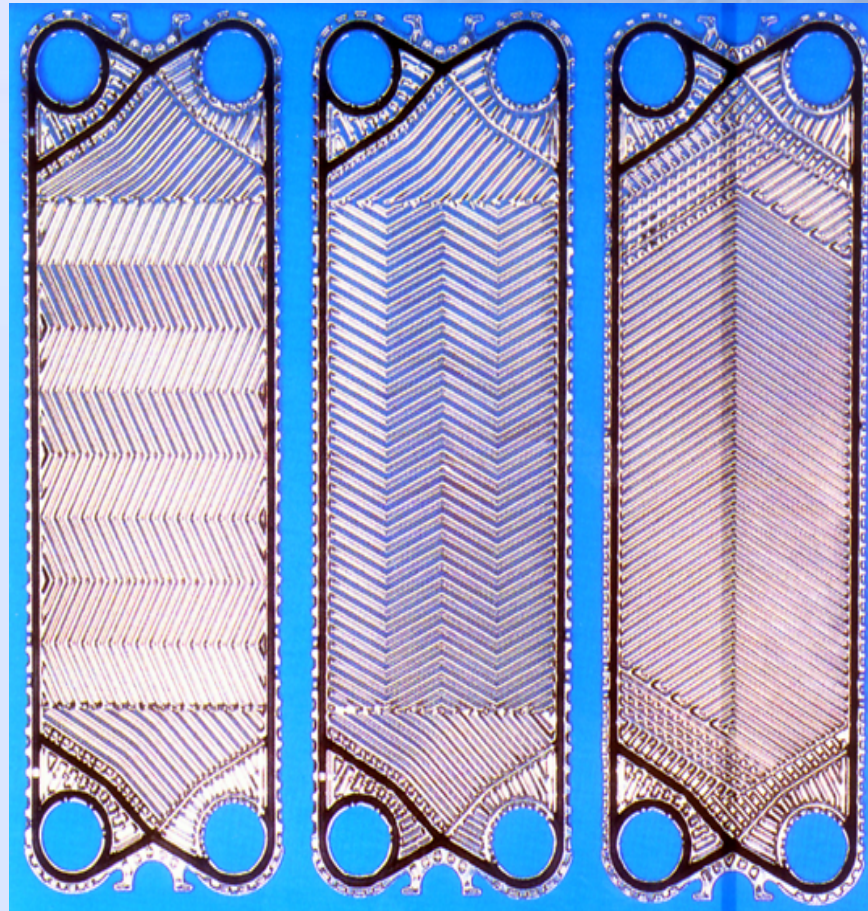
1、平板式换热器



(1) 结构:

主要由一组长方形的薄金属板平行排列构成，用框架夹紧组装在支架上。两相邻流体板的边缘用垫片压紧，起到密封的作用，四角有圆孔形成流体通道，冷、热流体在板片的两侧流过，通过板片换热。

板上可压成多种形状的波纹，可增加刚性并提高湍动程度；增加传热面积；易于液体均匀分布。



动画演示



(2) 特点:

优点:

- 传热效率高, K 大;
- 结构紧凑, 操作灵活, 安装检修方便。

缺点:

- 操作温度、压力低;
- 易渗漏, 处理量小



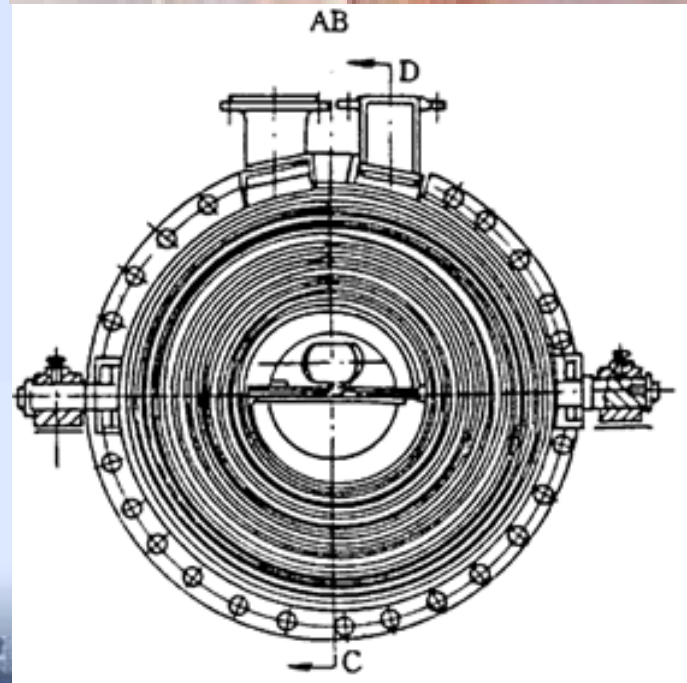


2、螺旋板式换热器

(1) 结构:

由两张平行的薄钢板卷制而成，构成了一对互相隔开的螺旋形流道。换热器中心设有中心隔板，使两个螺旋通道隔开。

动画演示



(2) 特点:

优点:

- 传热效率高;
- 不易堵塞;
- 结构紧凑, 成本较低。

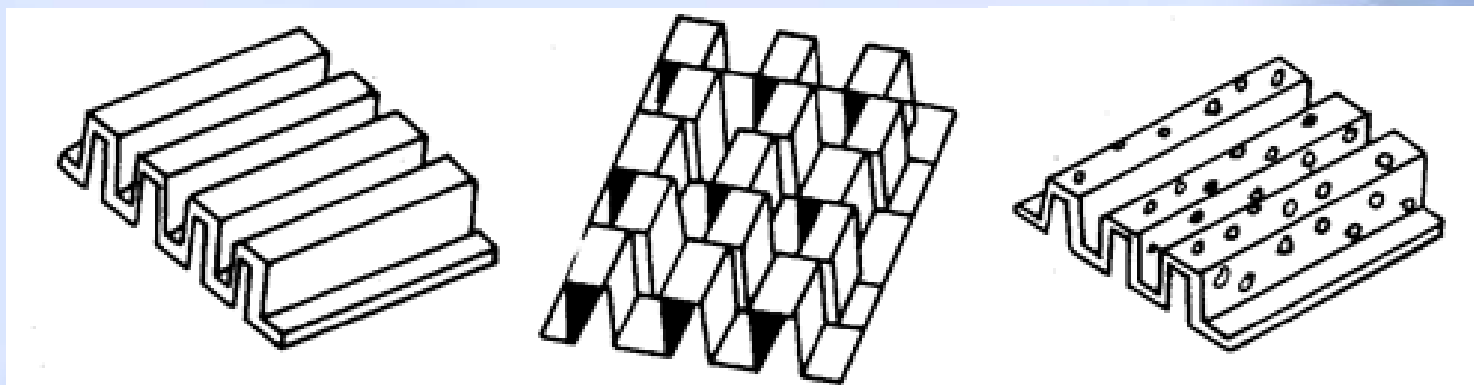
缺点:

- 压力、温度不能太高;
- 维修、清洗困难。



3、板翅管换热器

如图所示为几种强化传热管和板翅式换热器的翅片。



(a)光直翅片

(b)锯齿翅片

(c)多孔翅片

动画演示

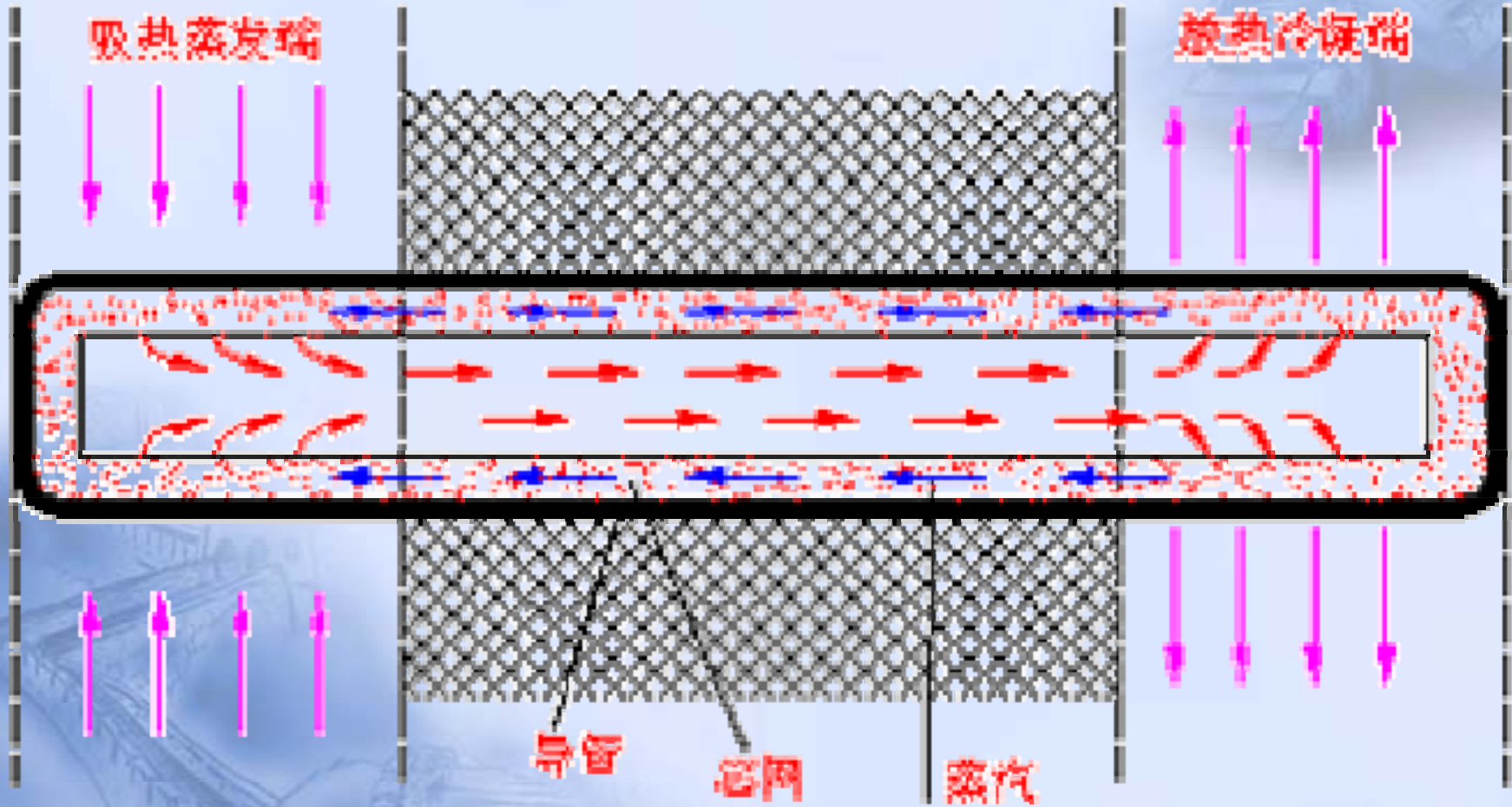
特点：增加A，增强管外流体的湍流来提高 α ；

重要的应用场合：**空气冷却器**

管外加翅片，大大改善了空气侧的传热效果。



4、热管



本节完





本章结束

BACK