

过程设备设计（下）

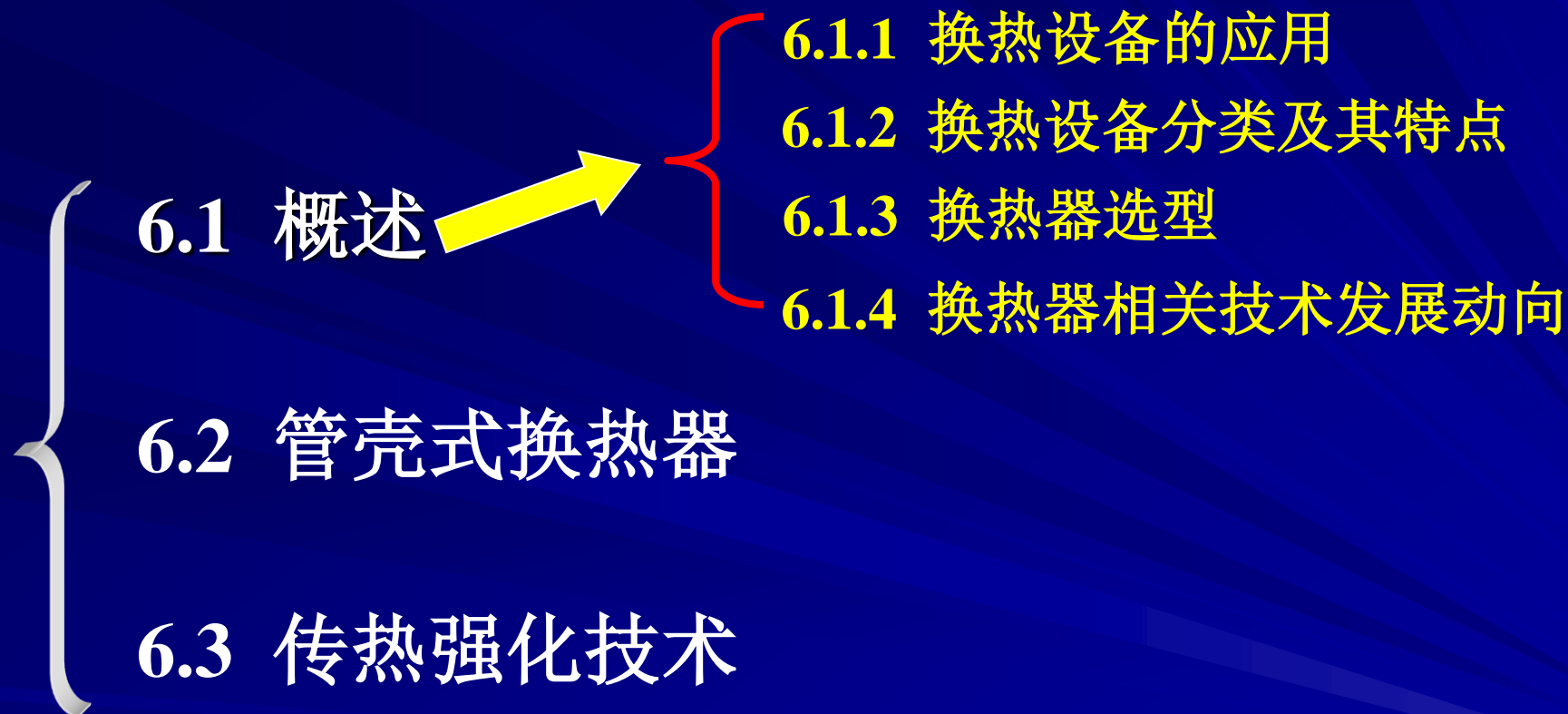
第五章 储存设备(6学时)

第六章 换热设备(9学时)

第七章 塔设备(9学时)

第八章 反应设备(6学时)

第六章 换热设备



6.1 概述

教学重点：

换热设备分类及其特点。

教学难点：

无。

6.1.1 换热设备的应用

定义

用于在两种或两种以上流体间、一种流体一种固体间、固体粒子间或者热接触且具有不同温度的同一种流体间的热量（或焓）传递的装置称为换热设备

应用

它是化工、炼油、动力、食品、轻工、原子能、制药、机械及其它许多工业部门广泛使用的一种通用设备

投资比重

化工厂中，约占总投资的10%~20%；在炼油厂中，约占总投资的35%~40%。近20年来，换热器在能量储存、转化、回收，以及新能源利用和污染治理中得到了广泛的应用。

工业使用

使流体温度达到工艺流程规定的指标，以满足工艺流程上的需要。
换热设备也是回收利用余热、废热特别是低位热能的有效装置。

烟道气（约 $200^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ）、高炉炉气（约 1500°C ）、需要冷却的化学反应工艺气($300^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$)等的余热


利用它来生产压力蒸汽

通过余热锅炉

作为供热、供汽、供电和动力的辅助能源，提高热能的总利用率，降低燃料消耗和电耗，提高工业生产经济效益。

6.1.2 换热设备分类及其特点

■ 6.1.2.1 按作用原理和传热方式分类

- 
- 一、直接接触式换热器
 - 二、蓄热式换热器
 - 三、间壁式换热器
 - 四、中间载热体式换热器

一、直接接触式换热器

——又称混合式换热器，见图6-1。

——利用冷、热流体直接接触，彼此混合进行换热。如冷却塔、冷却冷凝器等。

为增加两流体接触面积，充分换热，在设备中常放置**填料和栅板**，通常采用**塔状结构**。

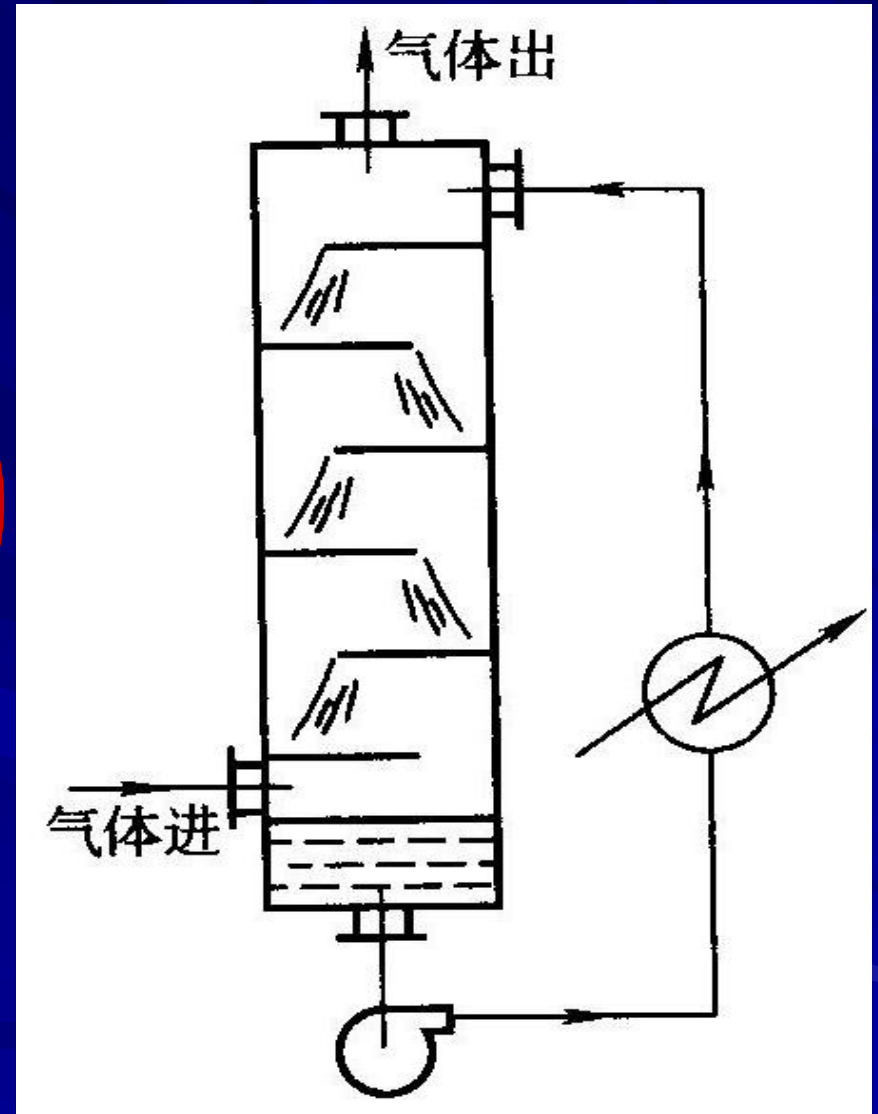


图6-1 直接接触式换热器

优点——

传热效率高、单位容积传热面积大、设备结构简单、价格便宜等。

缺点——

但仅适用于工艺上允许两种流体混合的场合。

二、蓄热式换热器

原理——又称回热式换热器

借助固体（如固体填料或多孔性格子砖等）构成的蓄热体，使热流体和冷流体交替接触，把热量从热流体传递给冷流体。

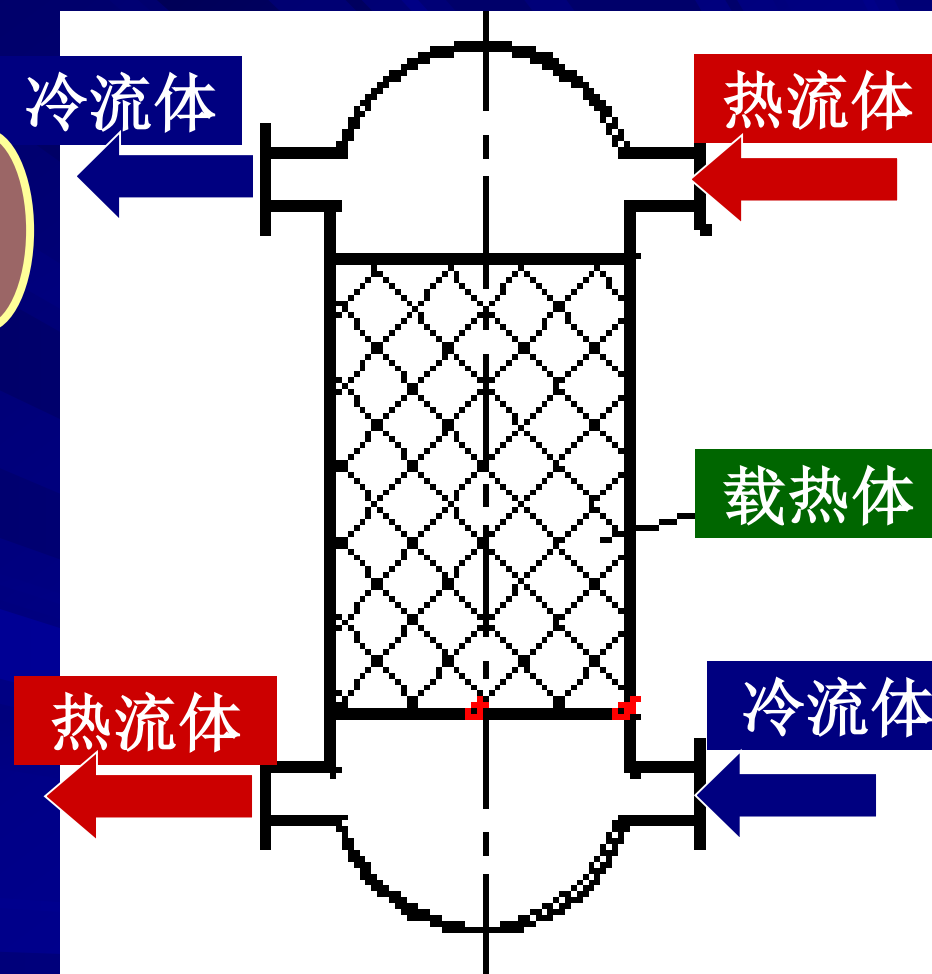


图6-2 蓄热式换热器

优点——

结构紧凑、价格便宜、单位体积传热面大，适用于气—气热交换。如回转式空气预热器。

局限——

若两种流体不允许混合，不能采用蓄热式换热器。

三、间壁式换热器

——又称表面式换热器

利用间壁（固体壁面）进行热交换。
冷热两种流体隔开，互不接触，热量
由热流体通过间壁传递给冷流体。

应用最为广泛，形式多种多样，
如管壳式换热器、板式换热器等。

四、中间载热体式换热器

- 将两个间壁式换热器由在其中循环的载热体连接。
- 载热体在高温流体换热器和低温流体换热器间循环，从高温流体换热器中吸收热量，在低温流体换热器中释放热量给低温流体，
- 如热管式换热器。

6.1.2.2 间壁式换热器分类

传热管的结构
形式不同

一、管式换热器

二、板面式换热器

三、其它型式换热器

一、管式换热器

优点： 结构坚固、可靠、适应性强、易于制造、能承受较高操作压力和温度。

在高温、高压和大型换热器中，管式换热器仍占绝对优势，是目前使用最广泛的一类换热器。

缺点： 换热效率、结构紧凑性、单位传热面积的金属消耗等方面不如其他新型换热器。

分类：

1. 蛇管式换热器
2. 套管式换热器
3. 管壳式换热器
4. 缠绕管式换热器

6.1 概述

1. 蛇管式换热器

a. 沉浸式蛇管

b. 喷淋式蛇管

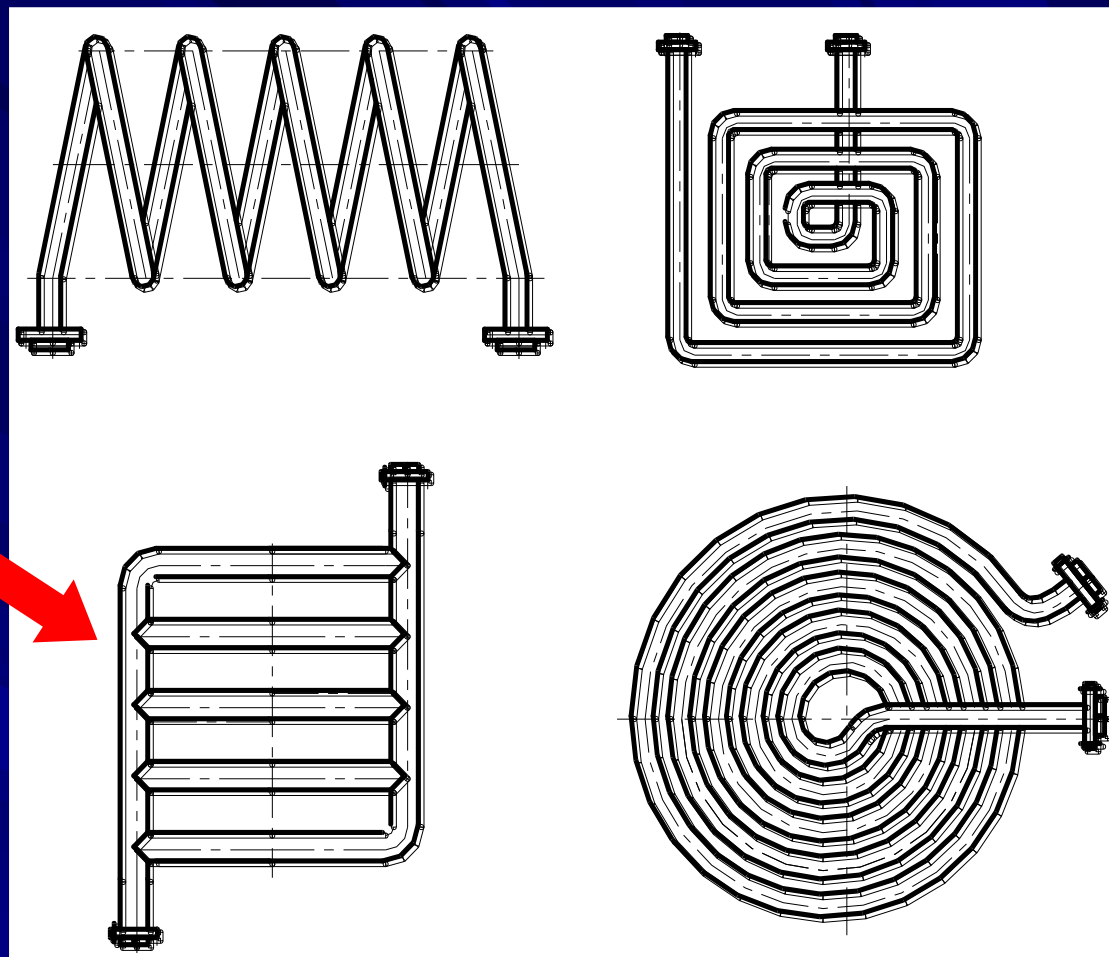
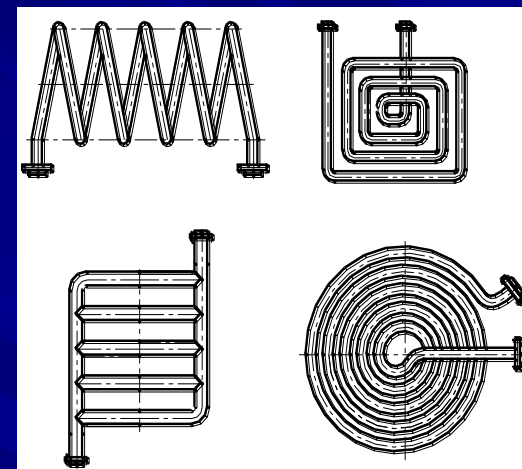


图6-3 沉浸式蛇管

最早出现的一种换热设备，具有结构简单和操作方便等优点

沉浸式蛇管特点

- ◆ 结构简单，造价低廉，操作敏感性较小，管子可承受较大流体介质压力。
- ◆ 但管外流体流速很小，因而传热系数小，传热效率低，需要的传热面积大，设备显得笨重。
- ◆ 常用于高压流体冷却、反应器的传热元件。



b. 喷淋式蛇管

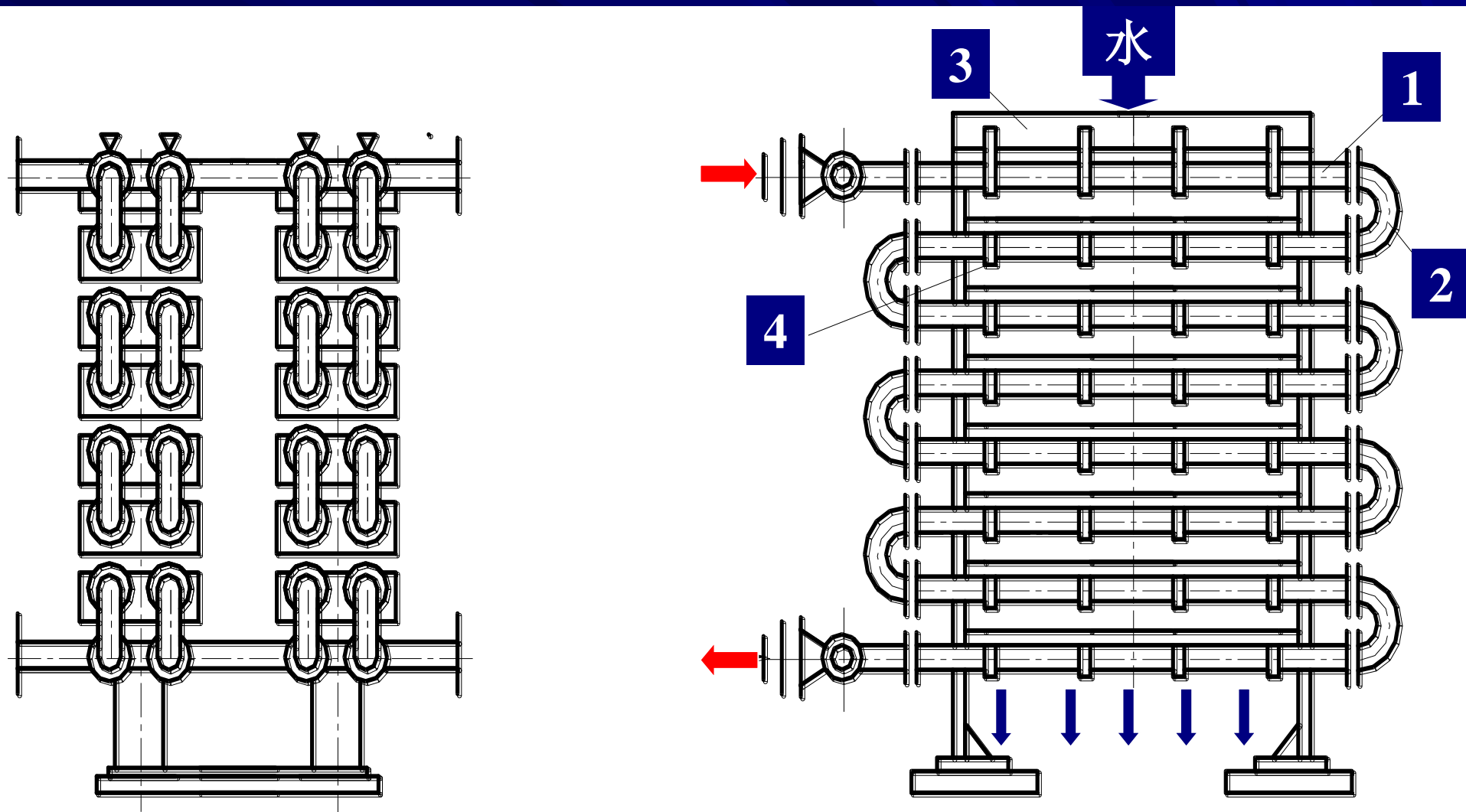


图6-4 喷淋式冷却器

1-直管；2-U形管；3-水槽；4-齿

喷淋式蛇管优点

管外流体传热系数大，便于检修和清洗。

喷淋式蛇管缺点

体积庞大，冷却水用量较大，有时喷淋效果不够理想。

6.1 概述

2.套管式换热器

两种管子组装成同心管，用U形弯管连接成排，根据实际需要，排列组合形成传热单元。

逆流传热

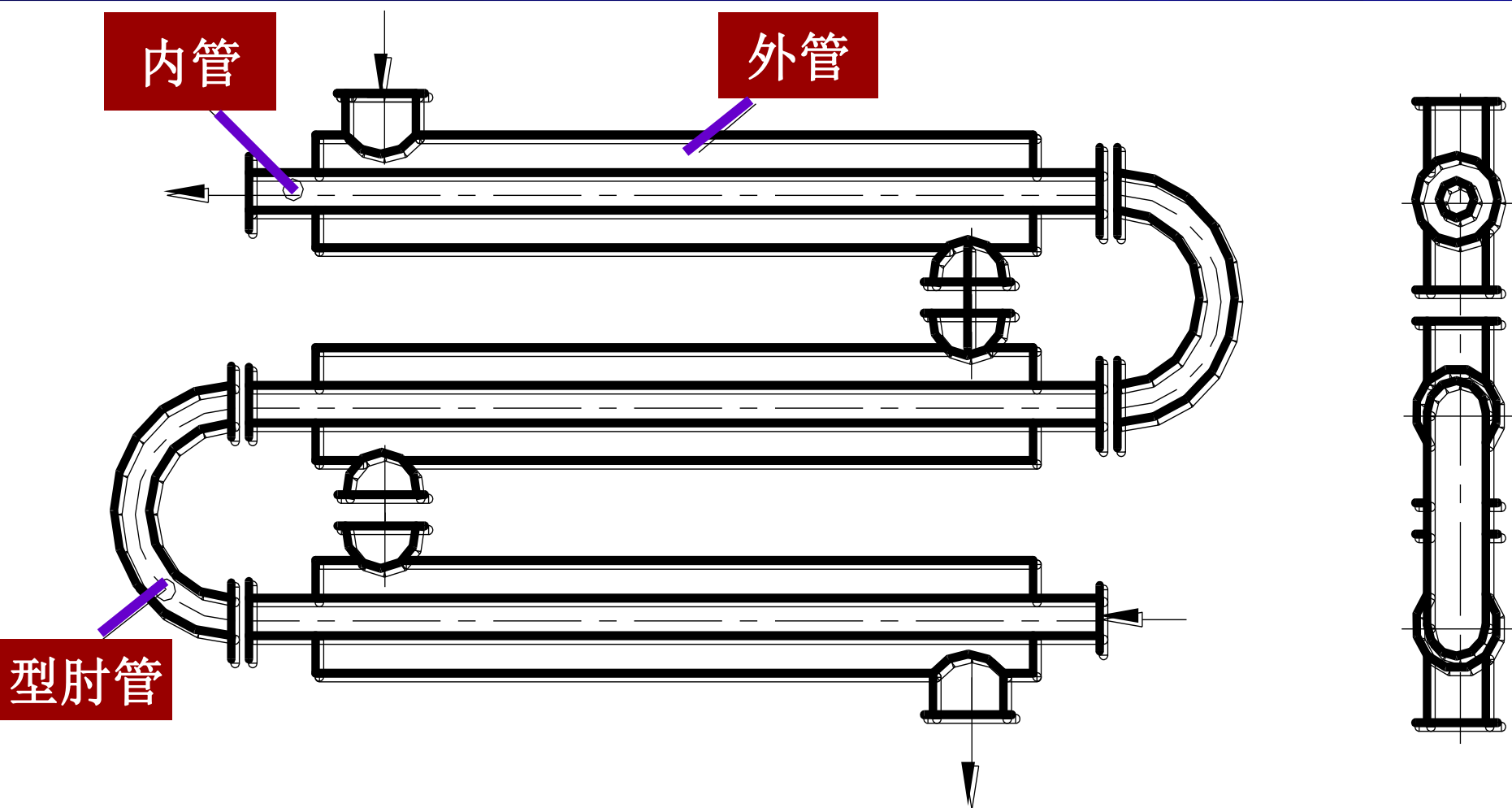


图6-5 套管式换热器

套管式换热器优点

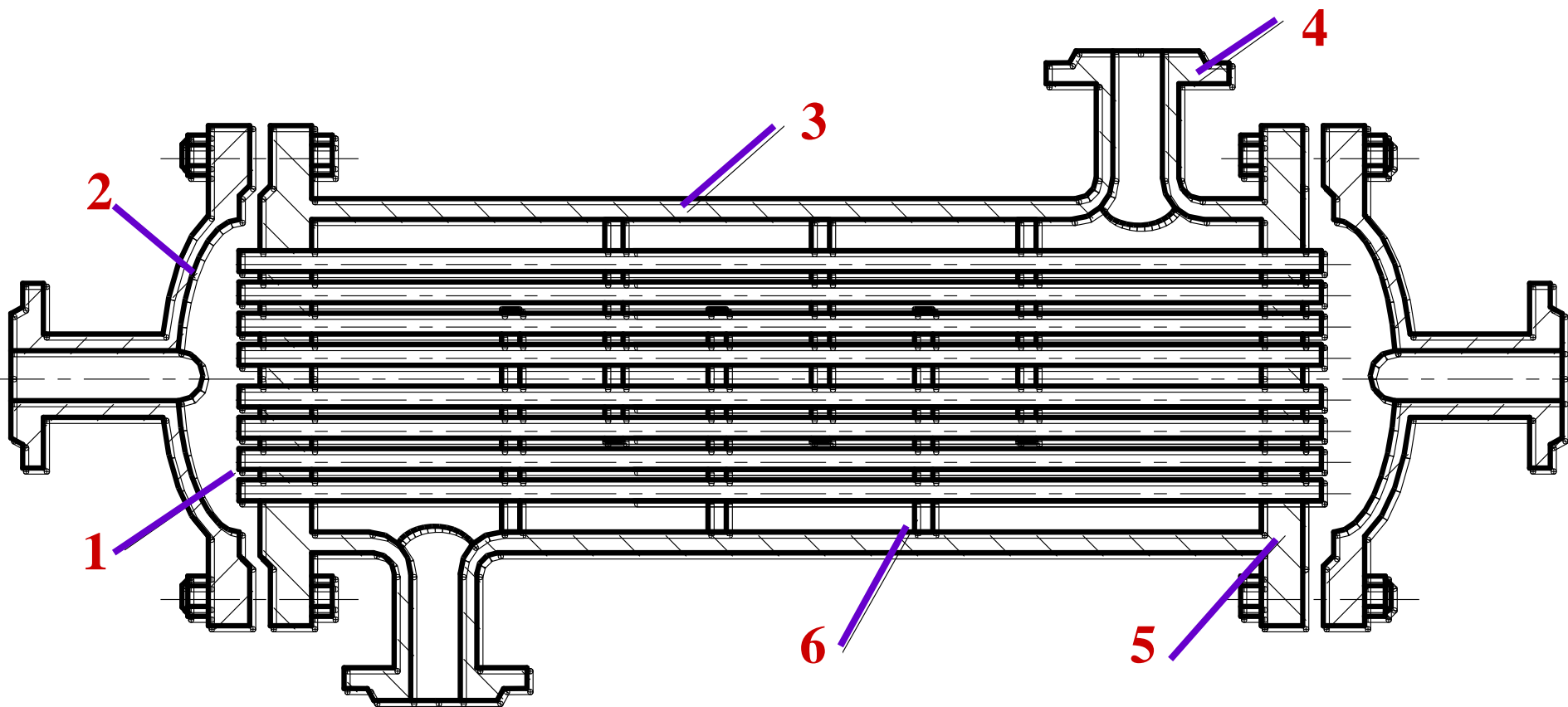
结构简单，适应广，传热面积弹性大，两侧流体均可提高流速，两侧传热系数高。

套管式换热器缺点

金属消耗大，检修、清洗和拆卸较麻烦，可拆连接处易泄漏。

一般用于高温、高压、小流量流体和所需传热面积不大的场合

3.管壳式换热器



1-管子； 2-封头； 3-壳体； 4-接管； 5-管板； 6-折流板

图6-6 管壳式换热器



特点

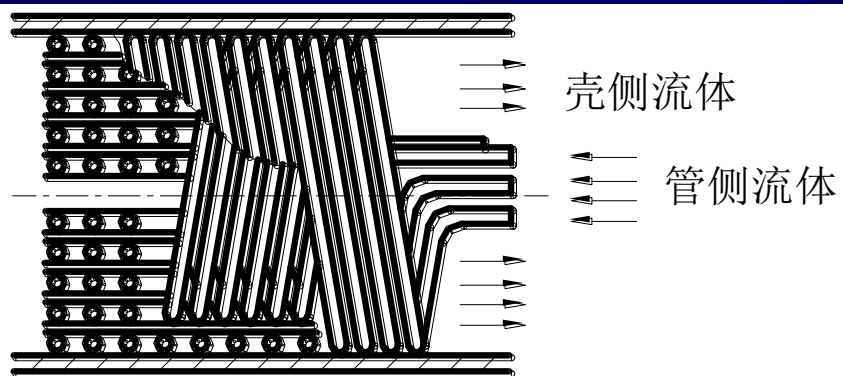
结构坚固、可靠性高、适应性广、易于制造、处理能力大、生产成本较低、选用材料范围广、换热表面清洗较方便、可用于高温和高压。



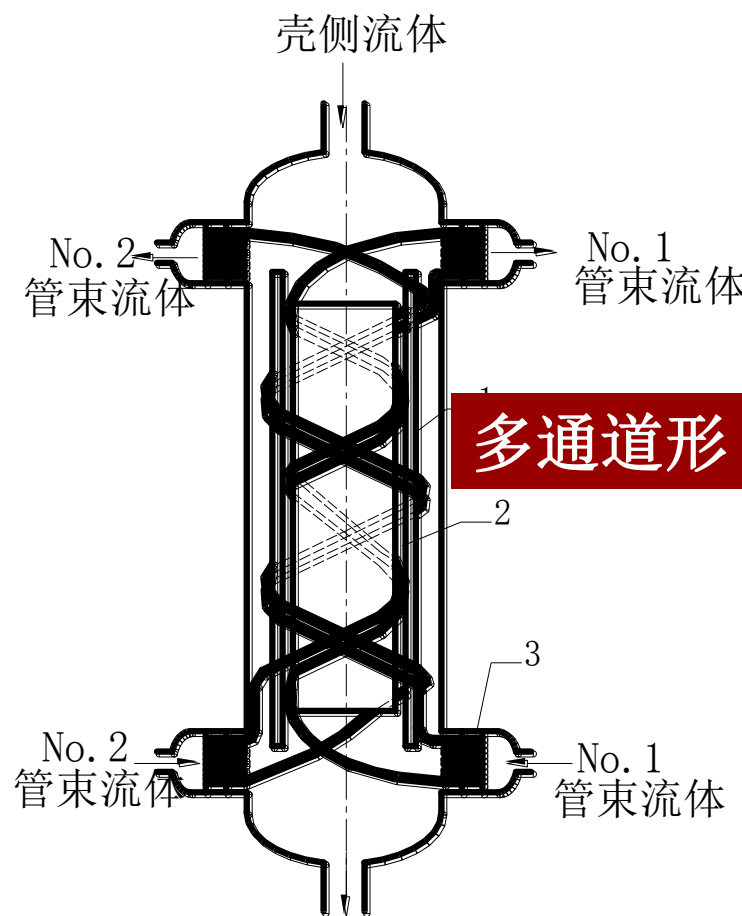
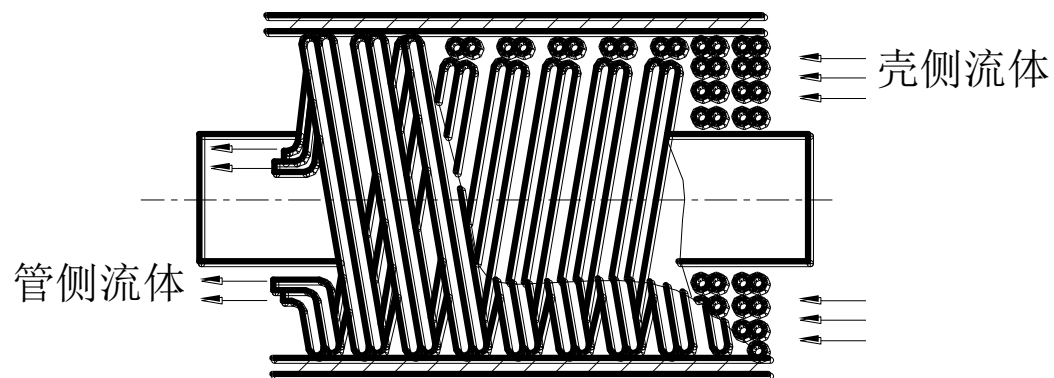
缺点

传热效率、结构紧凑性及单位换热面积所需金属消耗量等方面均不如一些新型高效紧凑式换热器。

4. 缠绕管式换热器



单通道形

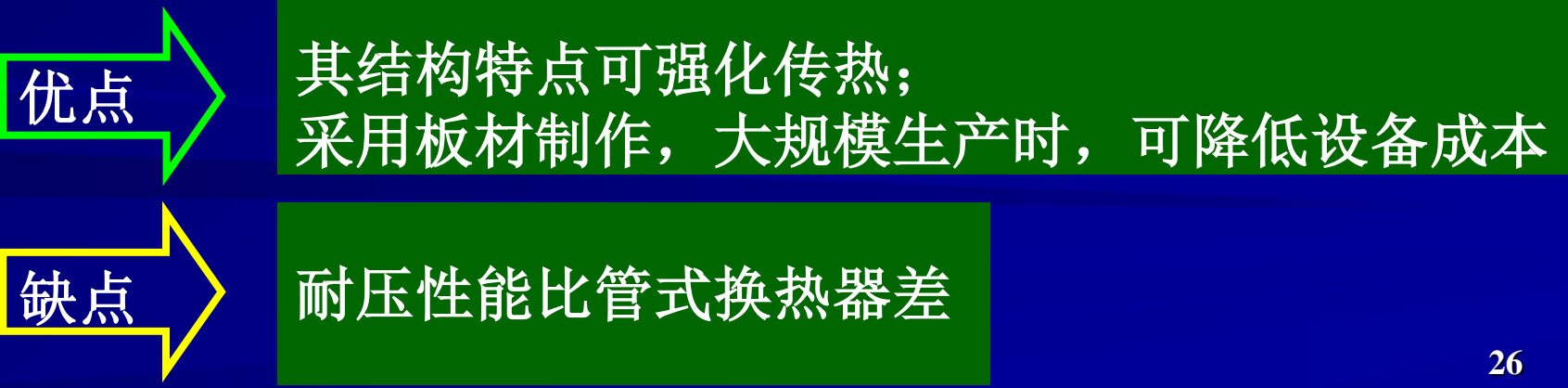
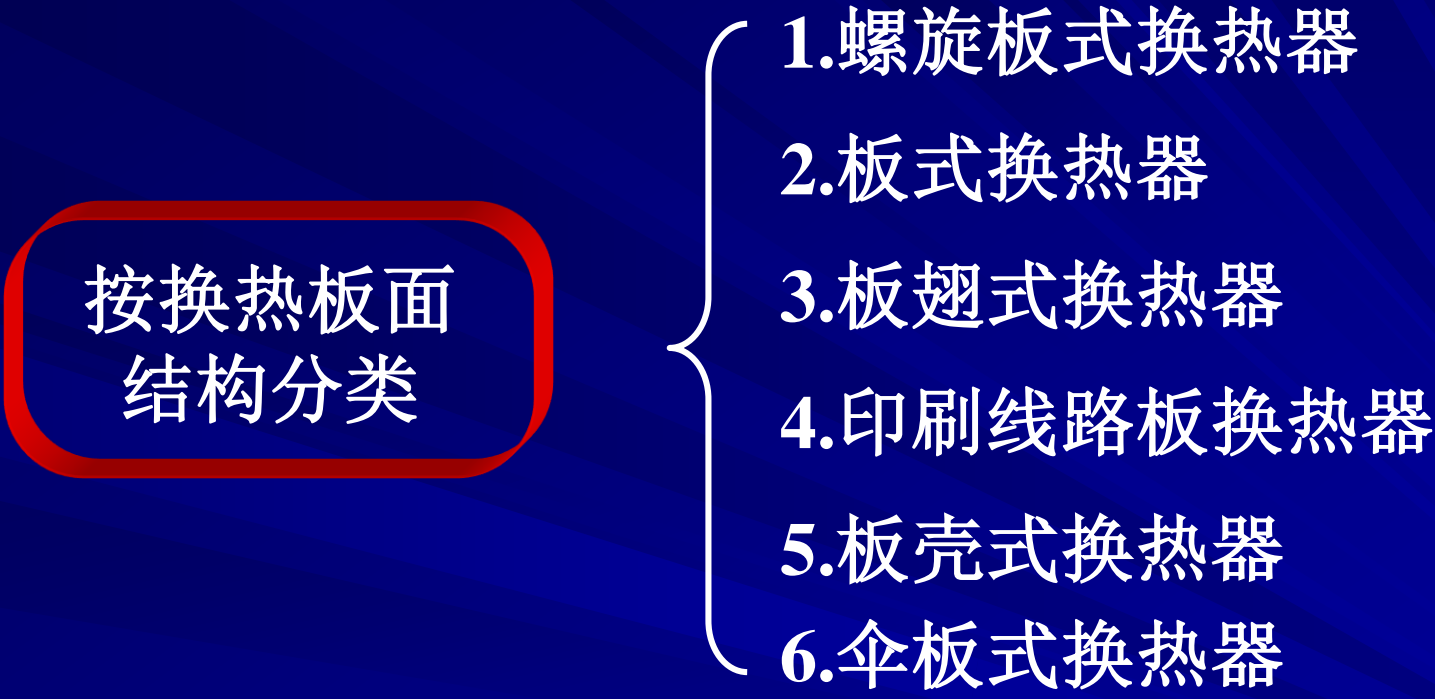


多通道形

图6-7 缠绕管式换热器

适用于同时处理多种介质、在小温差下需要传递较大热量且管内介质操作压力较高的场合，
如制氧等低温过程中使用的换热设备等。

二、板面式换热器



1.螺旋板式换热器

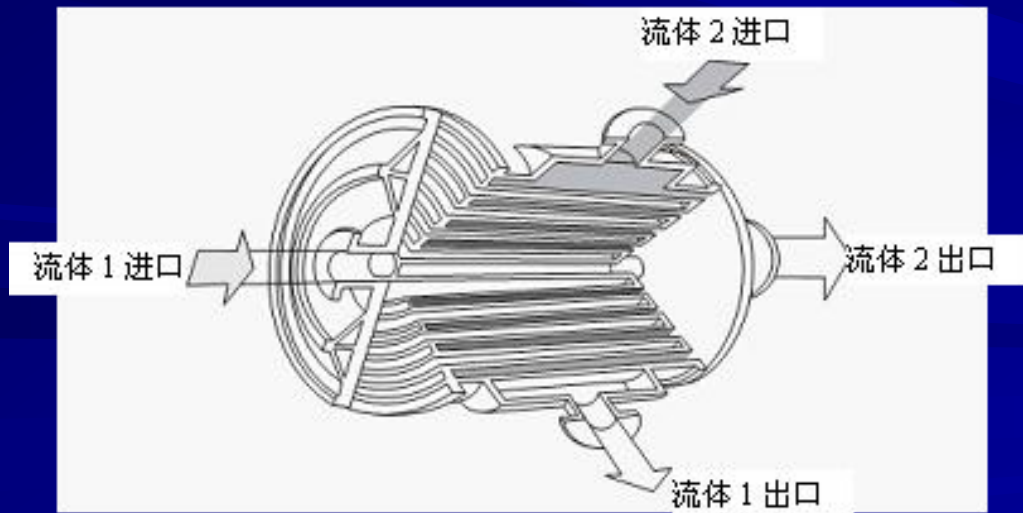
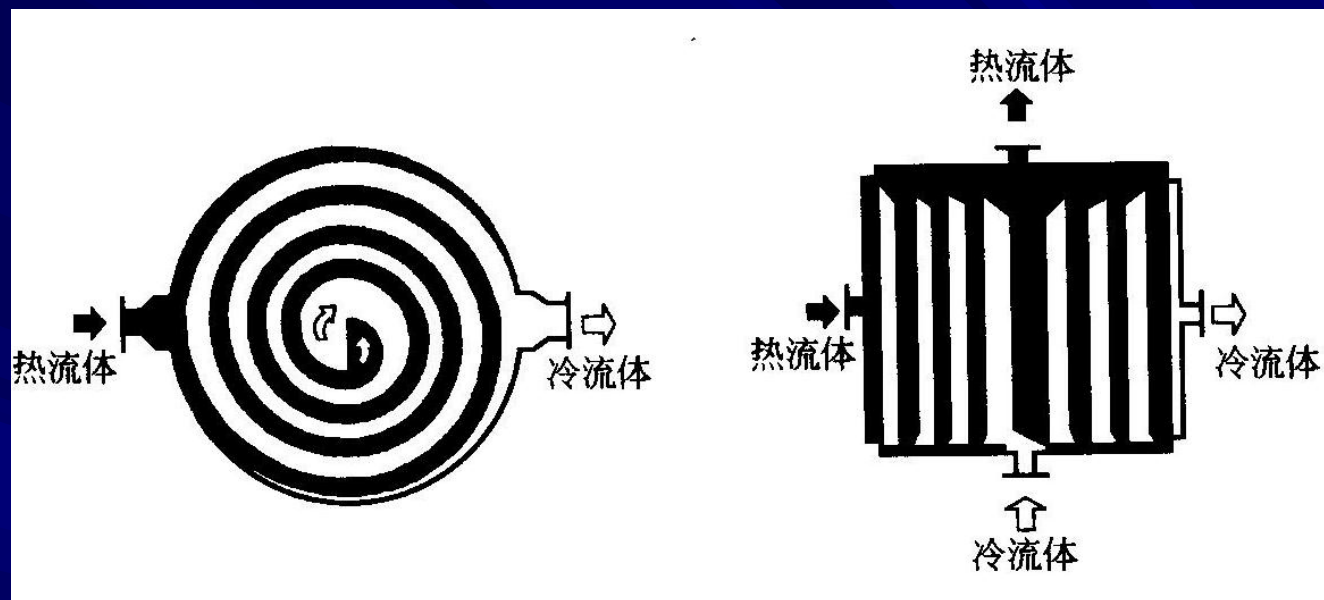


图6-8 螺旋板式换热器

优点

- 传热面积大（2~3 倍）
- 传热效率高（50~100%）
- 易制造
- 材料利用率高
- 自身冲刷不易结垢
- 可全逆流流动
- 传热温差小

适用

液-液、气-液流体换热，特别
适合高粘度流体的加热或冷却、
含有固体颗粒的悬浮液的换热。

2.板式换热器



2.板式换热器

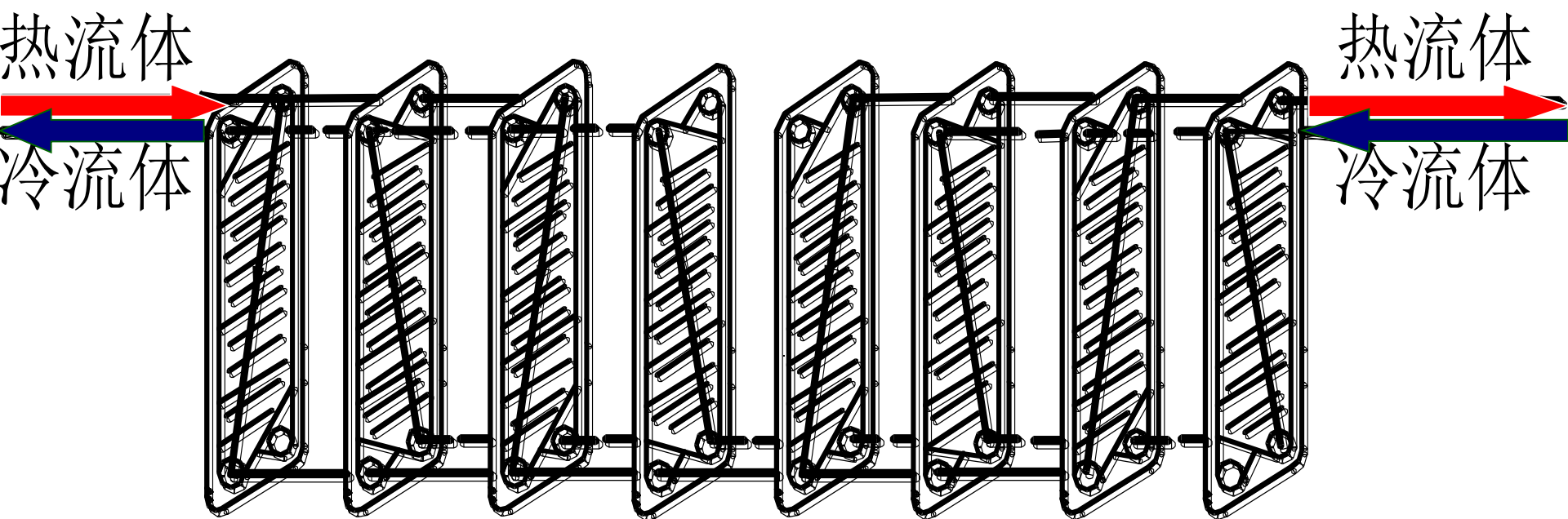
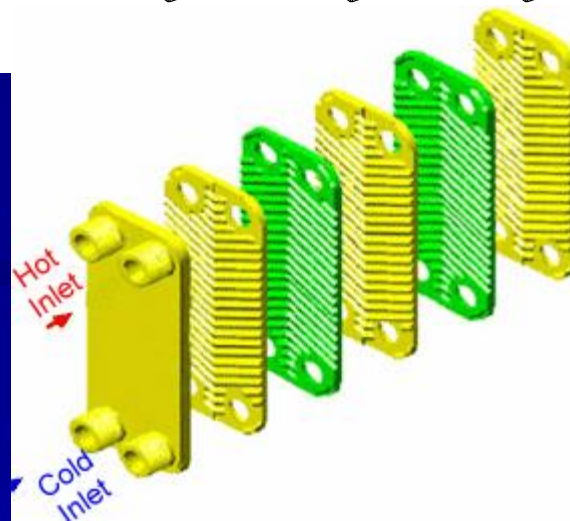


图6-9 板式换热器流动示意图





板式换热器

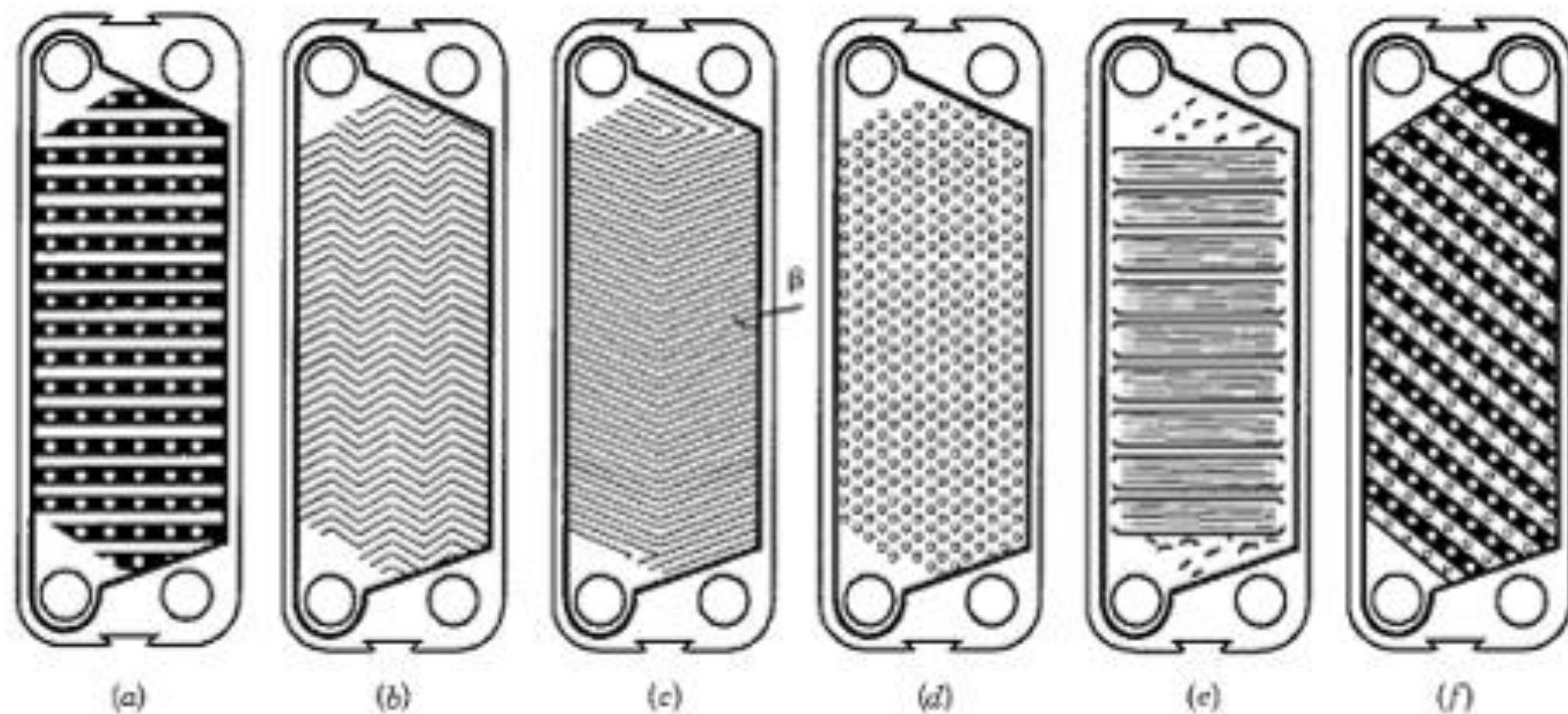


图6-10 常见的板片表面形式

优点

较低流速下即可达到湍流，具有：
较高的传热效率；
结构紧凑；
使用灵活；
清洗和维修方便；
能精确控制换热温度等。

缺点

密封周边太长，不易密封，渗漏可能性大；
承压能力低；
使用温度受密封垫片材料耐温性能限制，
不宜过高；
流道狭窄，易堵塞，处理量小；
流动阻力大。

应用

用于处理从水到高粘度液体的加热、冷却、
冷凝、蒸发等过程，适用于经常需要清洗，
工作环境要求十分紧凑等场合。

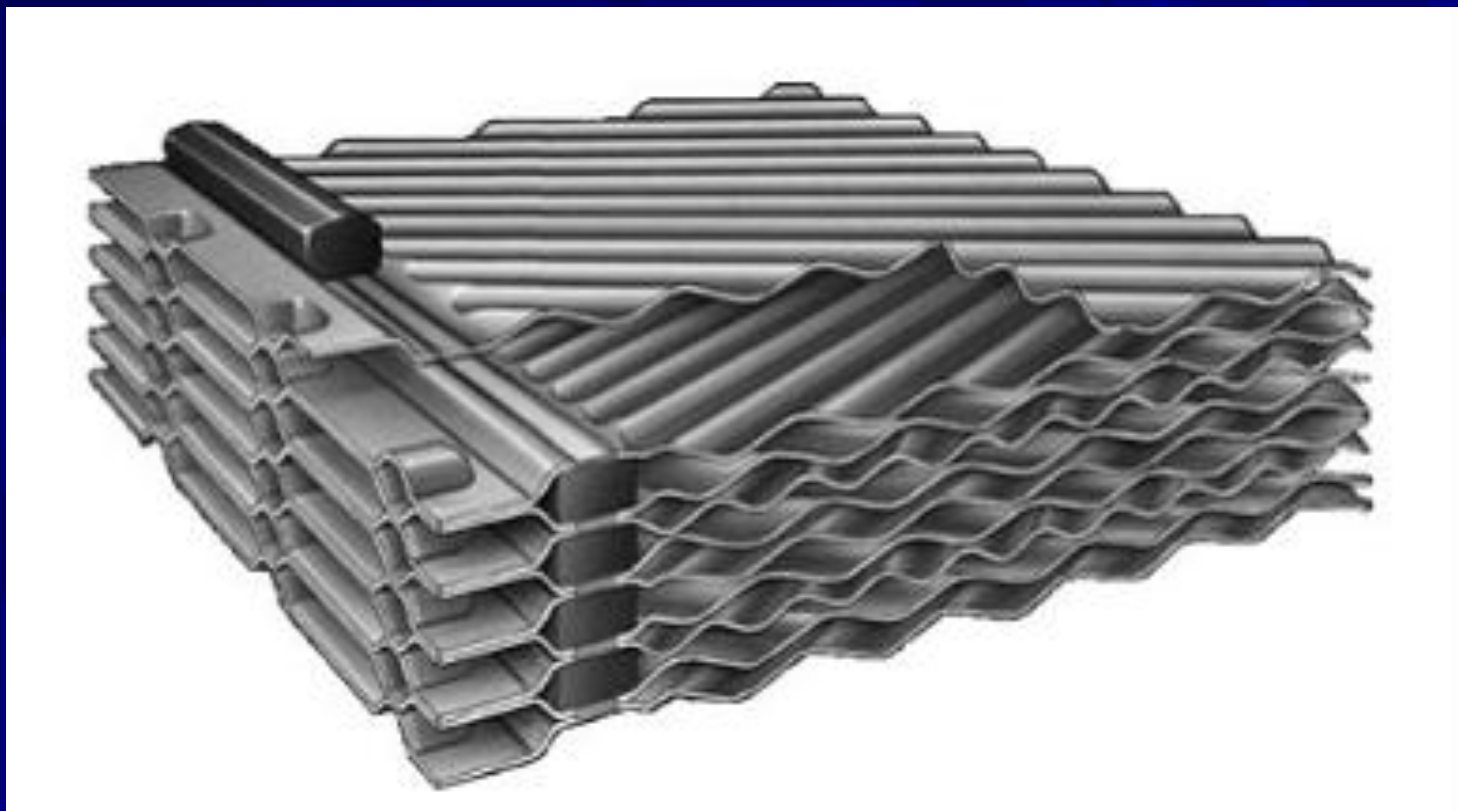


图6-11 焊接板式换热器

6.1 概述

3.板翅式换热器

板翅降低热阻，
传热效率提高，
且起加强作用。

- a. 板束结构
- b. 逆流式
- c. 错流式
- d. 错逆流式

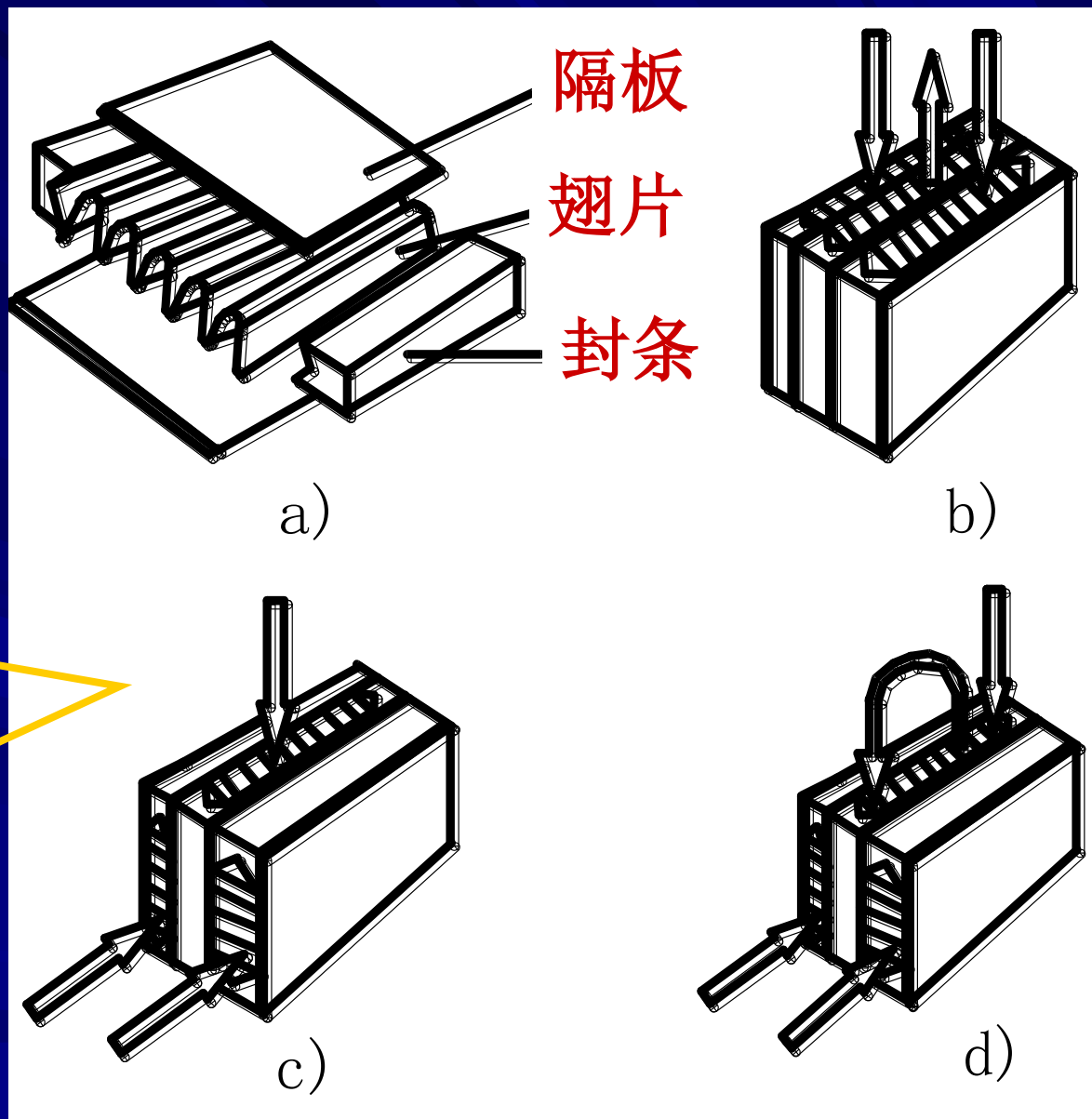


图6-12 板翅式换热器

一般翅片传热面积占总传热面积的75%-85%。

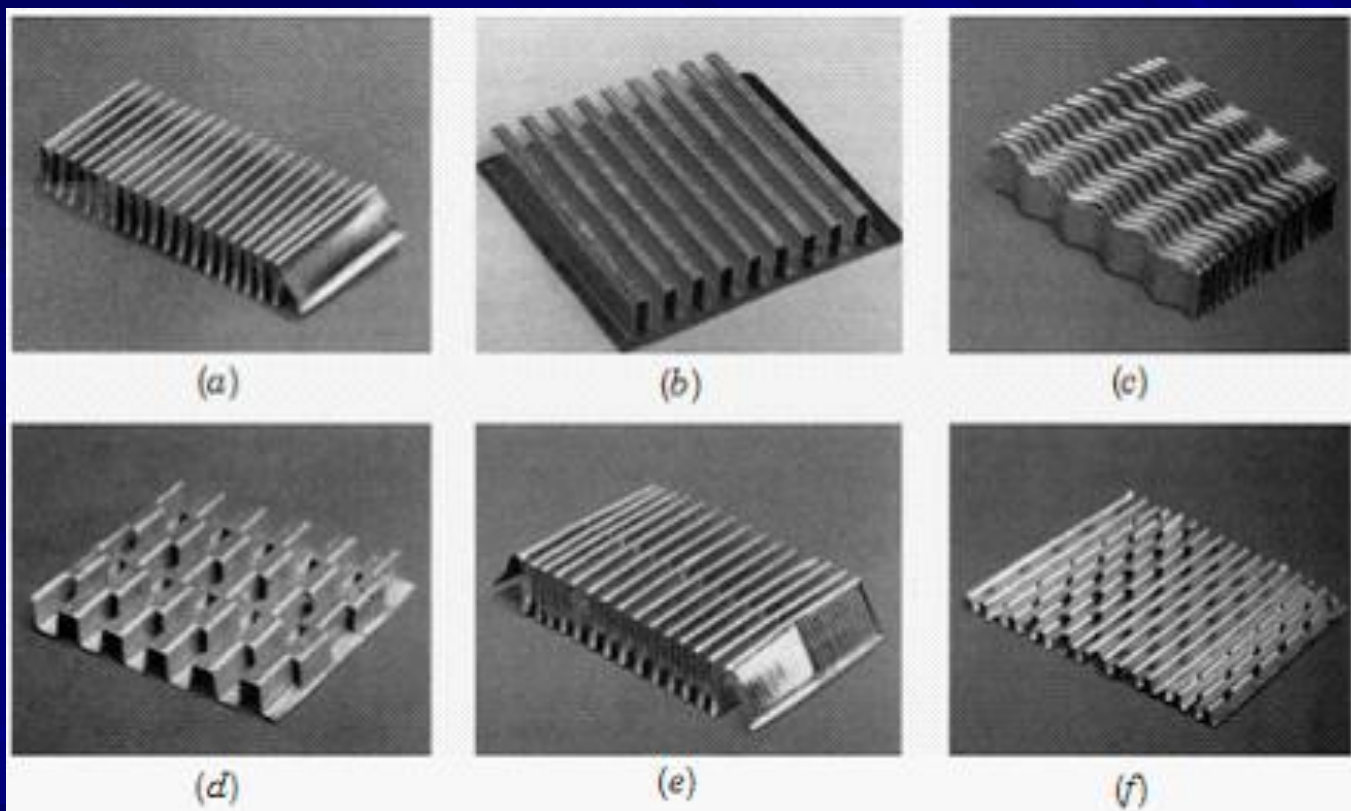


图6-13 板翅换热器翅片形式



优点

传热系数比管壳式换热器大3~10倍。
结构紧凑、轻巧，单位体积内传热面积能达2500~4370m²/m³,是管壳式换热器的十几倍到几十倍，而重量只有管壳式换热器的10%~65%；
适应性广，可作气-气、气-液和液-液的热交换，亦可作冷凝和蒸发，同时适用于多种不同的流体在同一设备中操作，
特别适用于低温或超低温的场合。



缺点

结构复杂，造价高；流道小，易堵塞，不易清洗，难以检修等。

4.印刷线路板换热器

印刷线路板换热器(Printed-Circuit Heat Exchanger) 见图6-14所示。换热板面一般是在相应的金属板上用腐蚀的方法加工出所需流道, 流道横截面的形状多为近似半圆形, 其深度一般为0.1~2.0mm。把加工好的板面按一定的工艺要求组合起来, 用扩散焊连接等方法组装在一起, 即成为印刷线路板换热器。印刷线路板传热效率与紧凑度非常高, 传热面积密度为 $650\sim 1300\text{ m}^2/\text{m}^3$, 可以承受工作压力 $10\sim 50\text{MPa}$, 温度可达 $150\sim 800^\circ\text{C}$ 。可用于化工、石油、废热回收、电力等非常清洁气体、液体以及相变的换热过程。

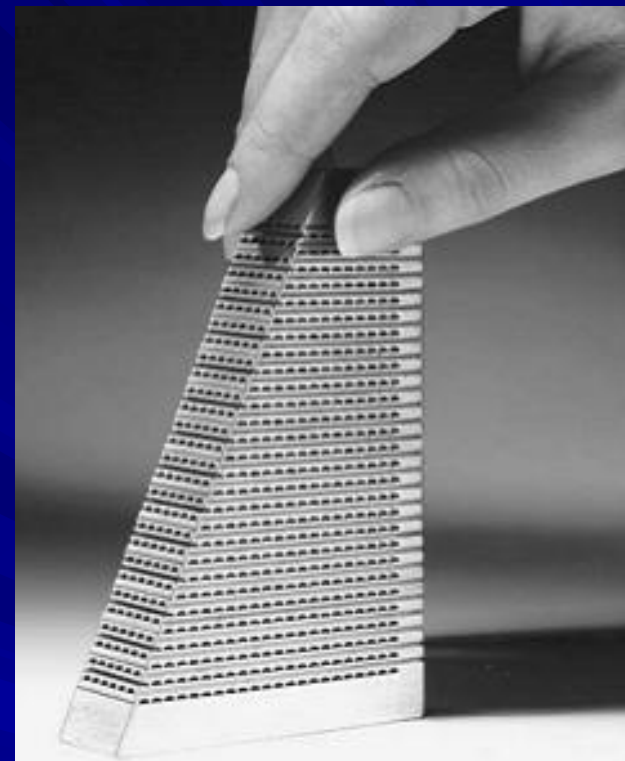


图6-14 印刷线路板换热器

5.板壳式换热器

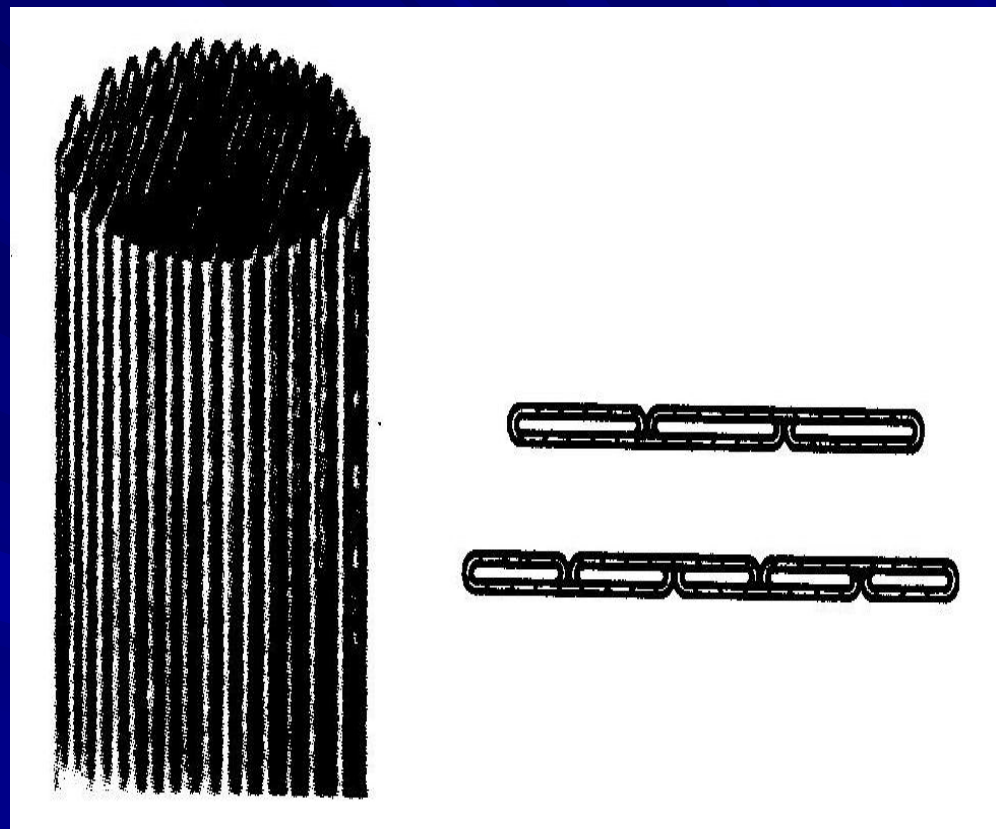
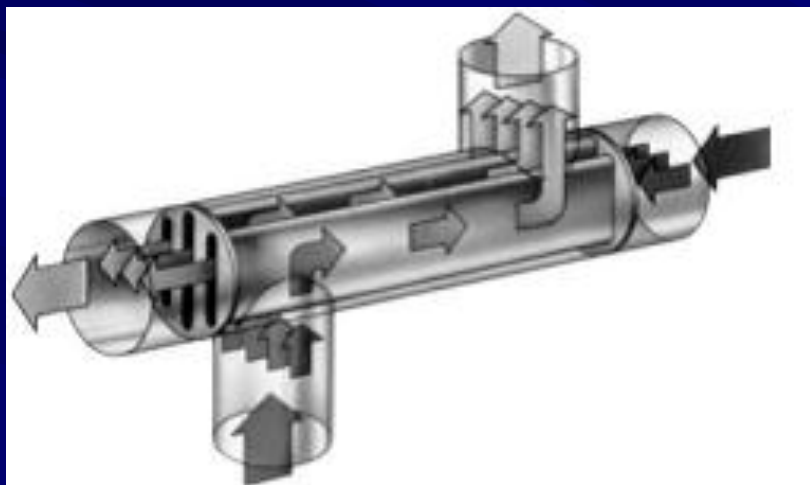


图6-15 板壳式换热器板束

优点

- 结构紧凑，单位体积包含换热面积较管壳式换热器增加70%；
- 传热效率高，压力降小；
- 与板式换热器相比，由于没有密封垫片，较好解决了耐温、抗压与高效率之间的矛盾；
- 容易清洗。

缺点

- 焊接技术要求高；
- 常用于加热、冷却、蒸发、冷凝等过程。

6.伞板式换热器

是我国独创的新型高效换热器,由板式换热器演变而来。

制造工艺大为简化, 成本降低;
伞形板式结构稳定, 板片间容易密封;
结构紧凑, 传热效率高, 便于拆洗等。

设备流道较小, 容易堵塞, 不宜
处理较脏介质。

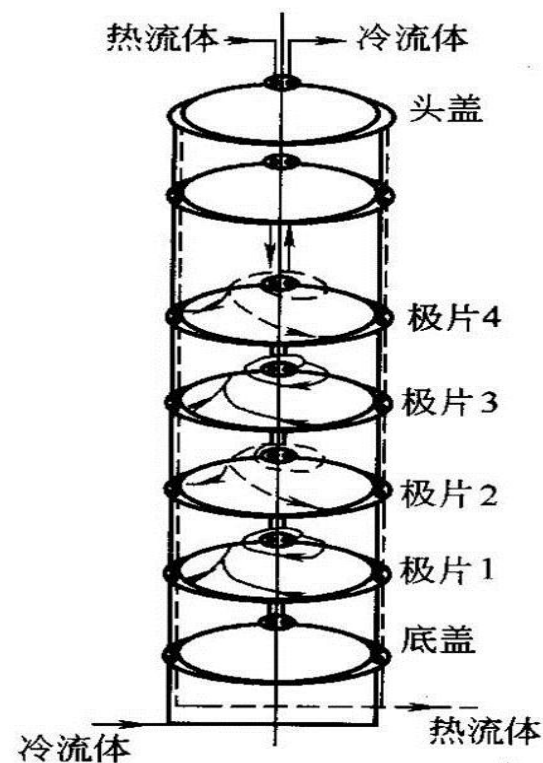


图 6-16 蜂螺型伞板换热器工作原理

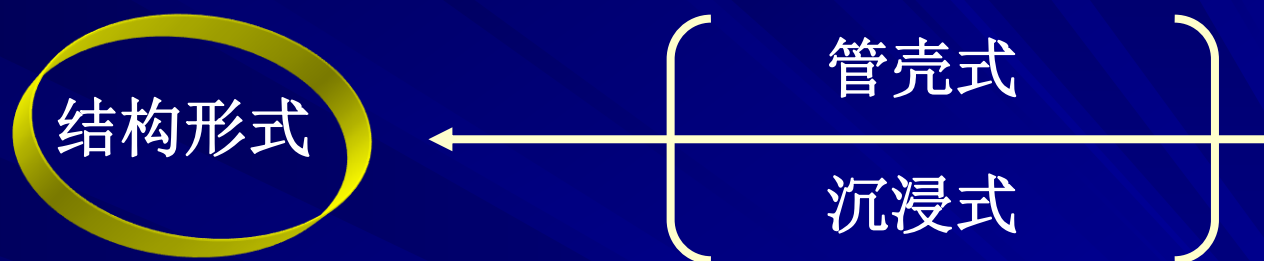
三、其它型式换热器

1. 石墨换热器

- 耐腐蚀、良好的传热性能
- 受拉伸和弯曲能力差，抗压强度高
- 各向异性的特性在导热方向的应用
- 管壳式、块式、板式

2. 聚四氟乙烯换热器

近十余年发展起来的新型耐腐蚀换热器。



■ 优点

结构紧凑、耐腐蚀等（聚四氟乙烯具有耐腐蚀、不生锈、能制成小口径薄壁软管）

■ 缺点

机械强度、导热性较差，

使用温度 $\leq 150^{\circ}\text{C}$

使用压力 $\leq 1.5\text{MPa}$

3. 热管换热器

通过封闭热管作为传热元件，里面是特定材料制的多孔毛细结构和载热介质，在冷热区吸收及释放潜热的过程实现传热。

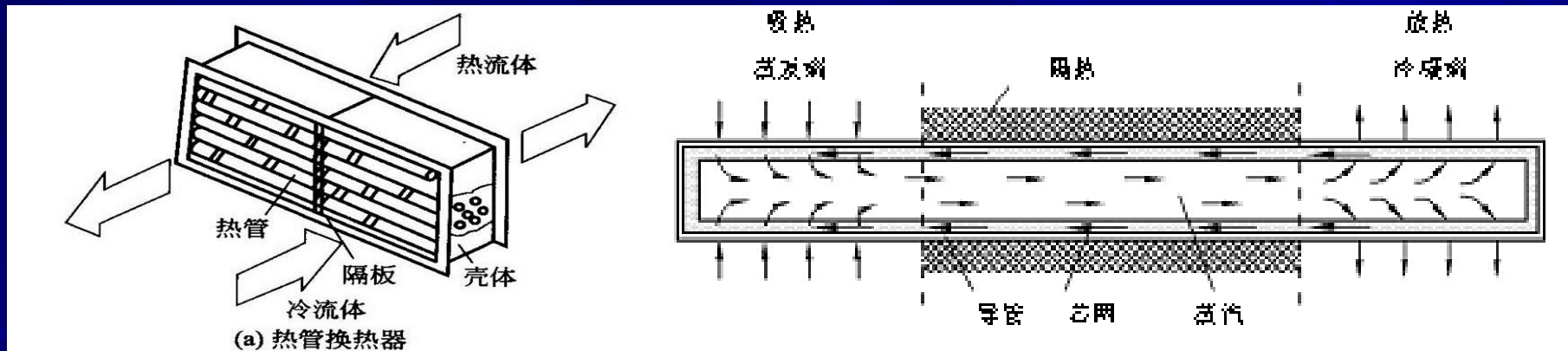
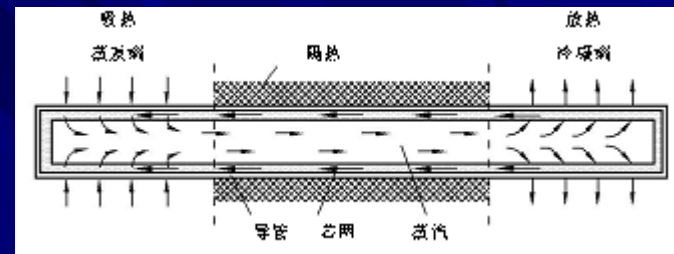


图6-17 热管换热器

特点



- 结构简单、重量轻、经济耐用；
- 在极小的温差下，具有极高的传热能力；
- 通过材料的适当选择和组合，可用于大幅度的温度范围，如从 -200°C ~ $+2000^{\circ}\text{C}$ 均可应用；
- 一般没有运动部件，操作无声，不需要维护，寿命长；
- 输热效率高，可达90%。

应用

- 热管换热器结构形式复杂多变，用途广泛；
- 如作传送热量、保持恒温、当作热流阀和热流转换器等；
- 特别适用于工业尾气余热回收的换热设备。

3. 流化床换热器

此种换热器特别适用于烟气中的粉尘较多且为气——液换热的余热回收，主要由布风板(多孔板)、砂床、换热管和壳体组成。

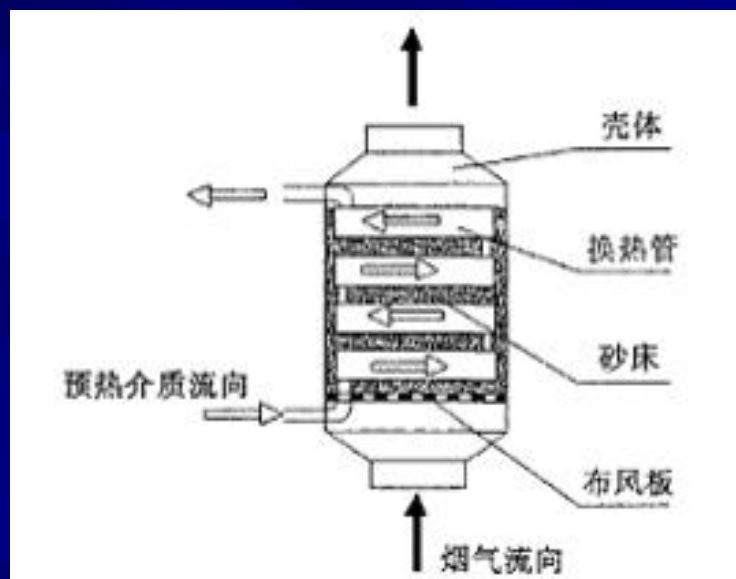



图6-18 流化床换热器

3. 流化床换热器

在流化床换热器中，流动着的粒子可以破坏气体边界层，而直接将热量传给传热面，且“流动”着的粒子可以“清洗”换热面，它的综合换热系数较高，所需的传热面积比通常的换热器要小许多。内部温度十分均匀，不会造成局部过热现象，而且其换热系数非常高，壁面温度较低。换热器适应工况能力强，不易产生低温腐蚀和烟灰堵塞，但由于气流的方向受限制，烟气只能自下而上垂直通过床层，换热器阻力较大。

6.1.3 换热器选型

换热器选型主要因素：

- 
1. 满足工艺过程要求；
 2. 满足压力、温度要求，能够抗工程环境和介质的腐蚀，并且具有合理的抗结垢性能；
 3. 对清洗、维修的要求；
 4. 可能地经济；
 5. 根据场地的限制考虑换热器的直径、长度、重量和换热管结构等。

流体的性质

物理性质：流体种类、导热系数、粘度等

化学性质：腐蚀性、热敏性等

例如

应力腐蚀开裂

冷却湿氯气时，湿氯气的强腐蚀性决定了设备必须选用聚四氟乙烯等耐腐蚀材料，限制了可能采用的结构范围。

处理热敏性流体换热器：要求能有效地控制加热过程中的温度和停留时间。


易结垢的流体，应选用易清洗的换热器。

压力、温度影响

- 管壳式换热器：高温、高压、大型换热器
- 板面式换热器：操作温度、压力不高，处理量不大，物料具有腐蚀性。因为板面式换热器具有传热效率高、结构紧凑和金属材料消耗低等优点。

6.1.4 换热器相关技术发展动向

主要表现在以下几个方面

- 
1. 防腐技术的应用;
 2. 大型化和微小化并重;
 3. 强化技术;
 4. 抗震技术;
 5. 防结垢技术;
 6. 先进制造技术;
 7. 研究手段。