

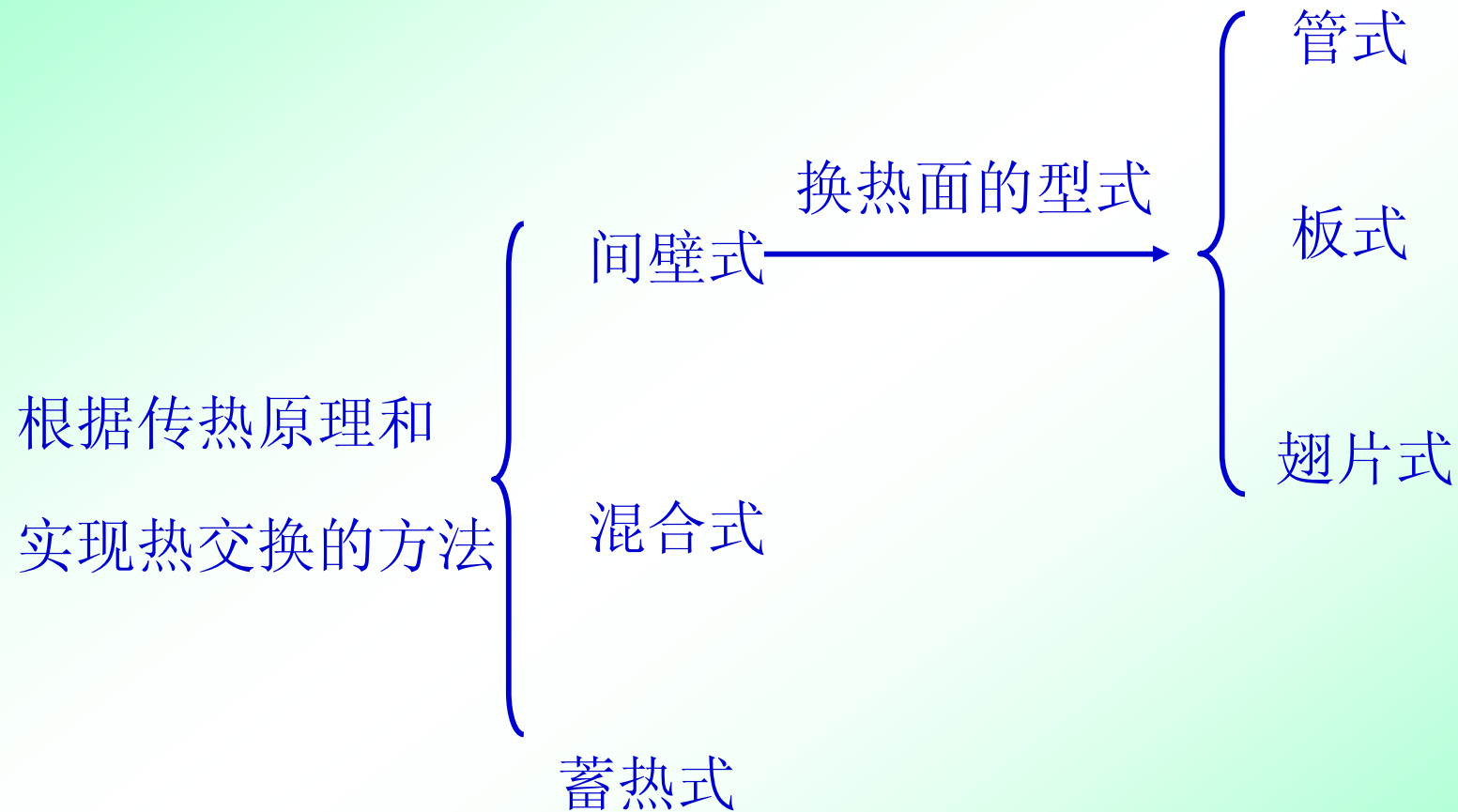
# 第六章 传热设备

---

化学工程与工艺研究所

2009-4-26

## 6.1 换热器的类型



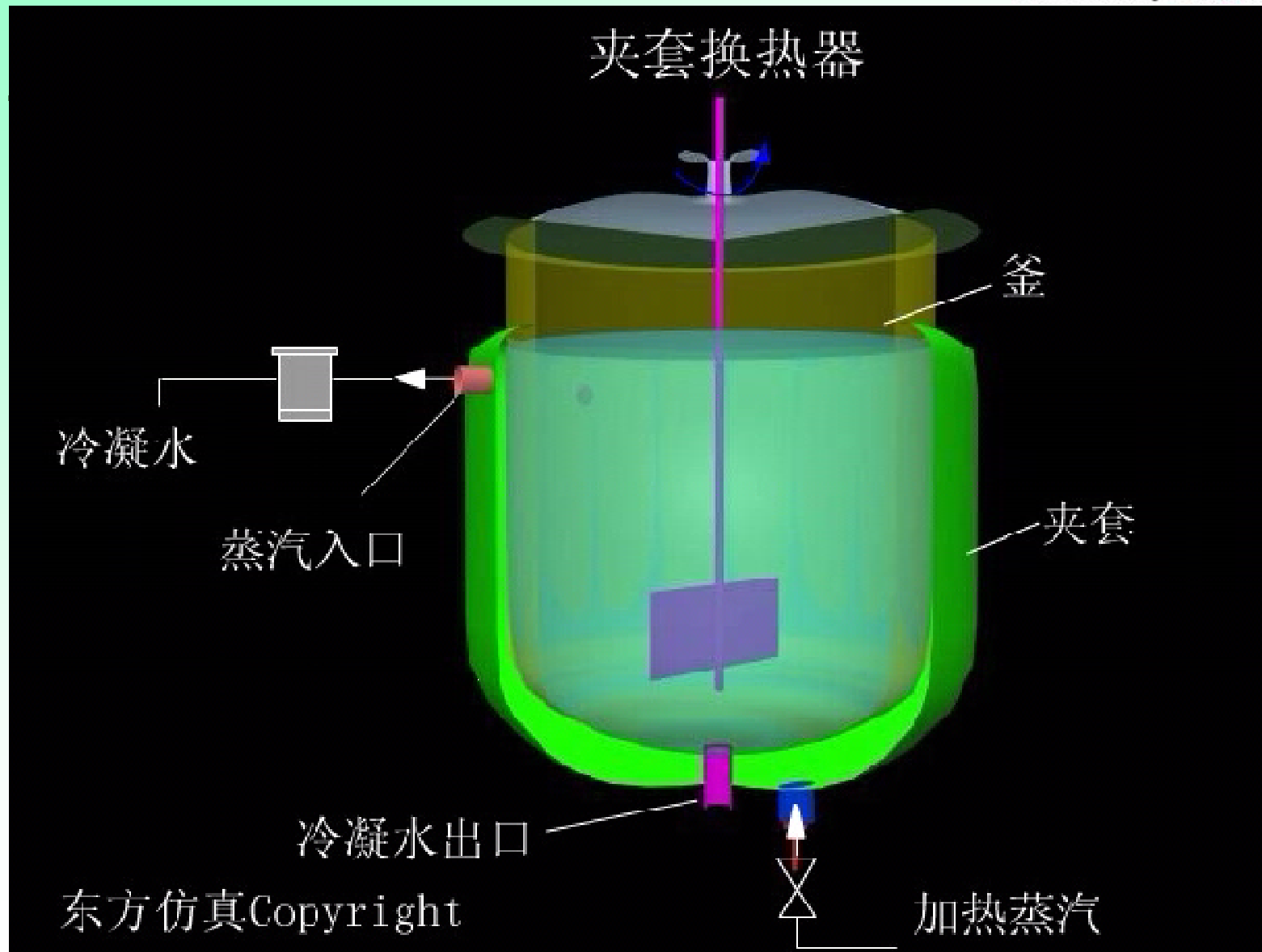
2009-4-26

## 6.2 夹套式换热器

夹套式换热器是最简单的板式换热器，它是在容器外壁安装夹套制成，夹套与容器之间形成的空间为加热介质或冷却介质的通路。这种换热器主要用于反应过程的加热或冷却。在用蒸汽进行加热时，蒸汽由上部接管进入夹套，冷凝水由下部接管流出。作为冷却器时，冷却介质（如冷却水）由夹套下部接管进入，由上部接管流出。

夹套式换热器结构简单，但其加热面受容器的限制，且传热系数也不高。为提高传热系数，可在器内安装搅拌器，为补充传热面的不足，也可在器内安装蛇管。

2009-4-26



2009-4-26

## 6.3 蛇管式换热器

### (1) 沉浸式蛇管换热器

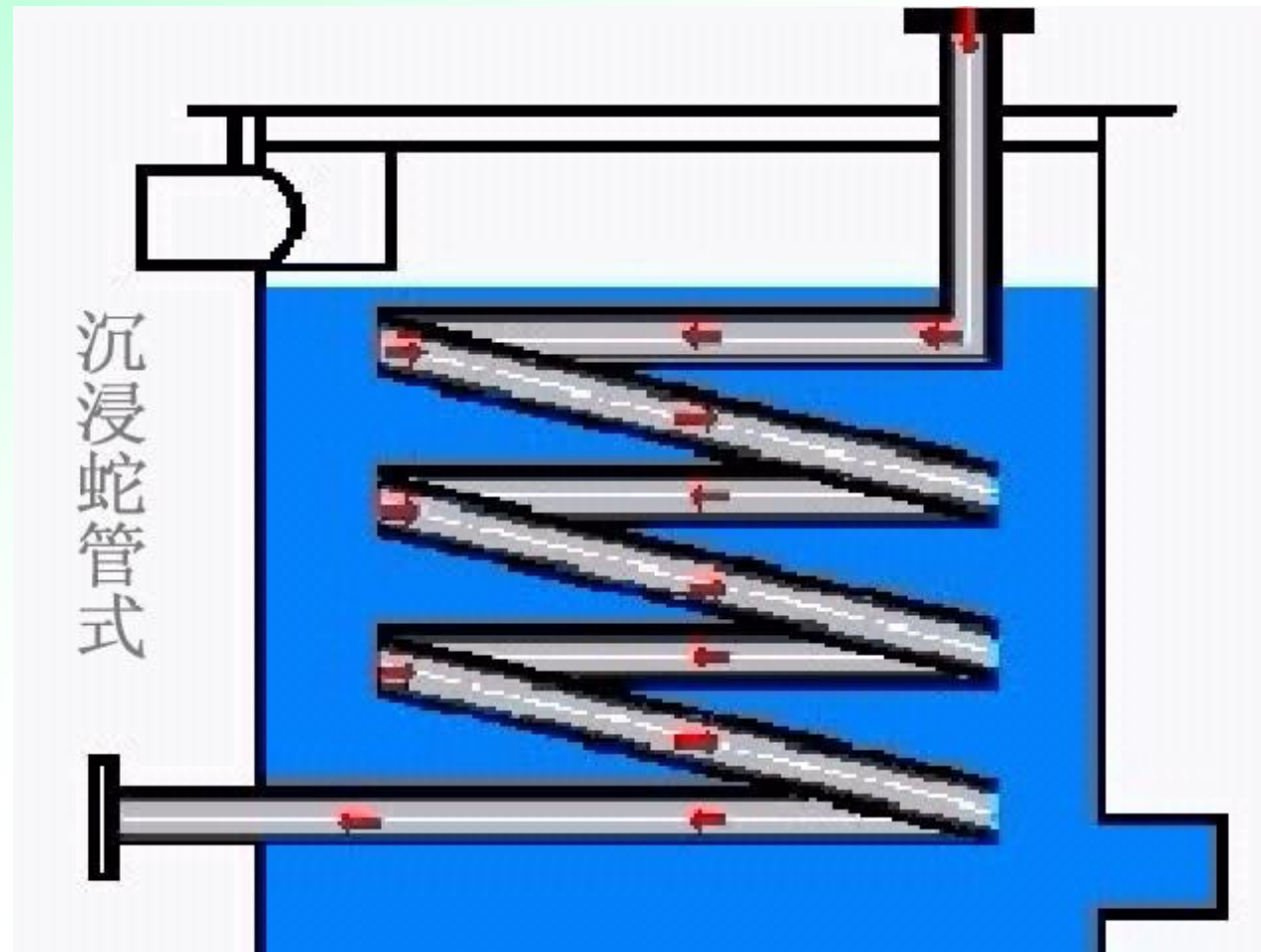
这种换热器是将金属管弯绕成各种与容器相适应的形状（多盘成蛇形，常称蛇管），并沉浸在容器内的液体中。蛇管内、外的两种流体进行热量交换。几种常见的蛇管形式如图所示。

**优点：**结构简单、价格低廉，能承受高压，可用耐腐蚀材料制造

**缺点：**容器内液体湍动程度低，管外对流传热系数小。

2009-4-26

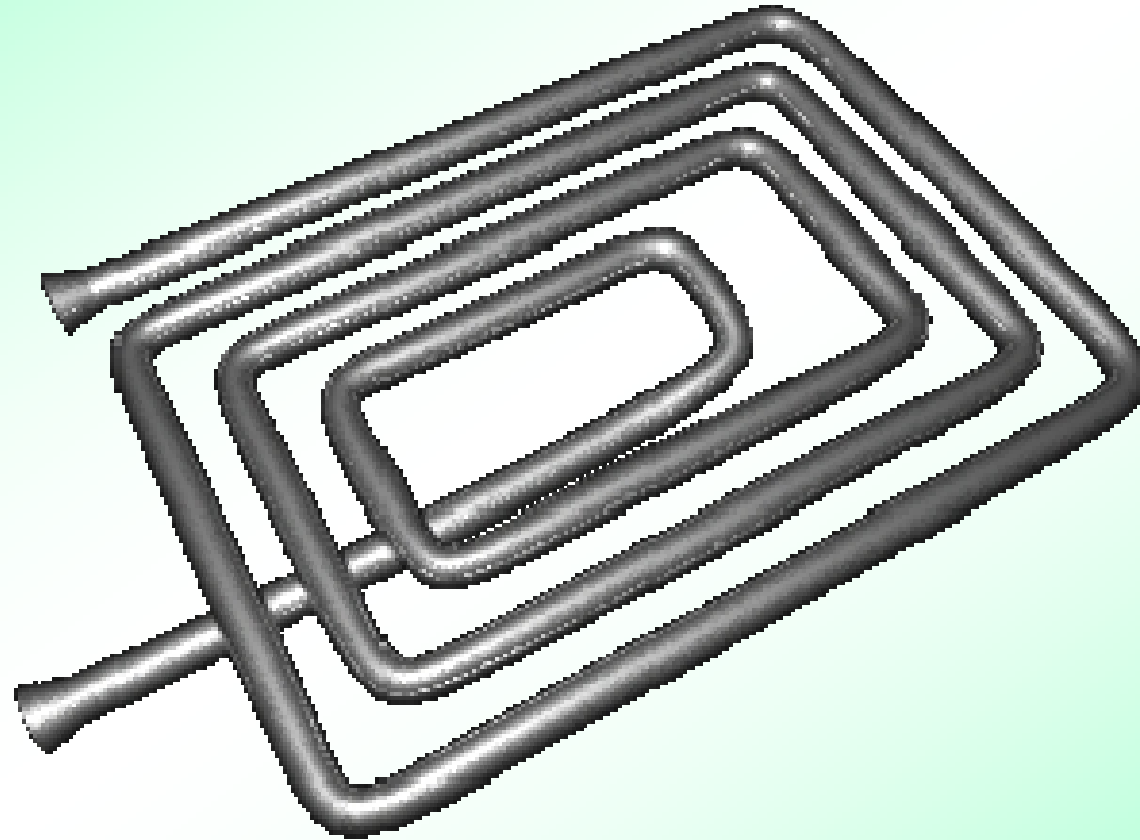
## 6.3 蛇管式换热器



2009-4-26

## 6.3 蛇管式换热器

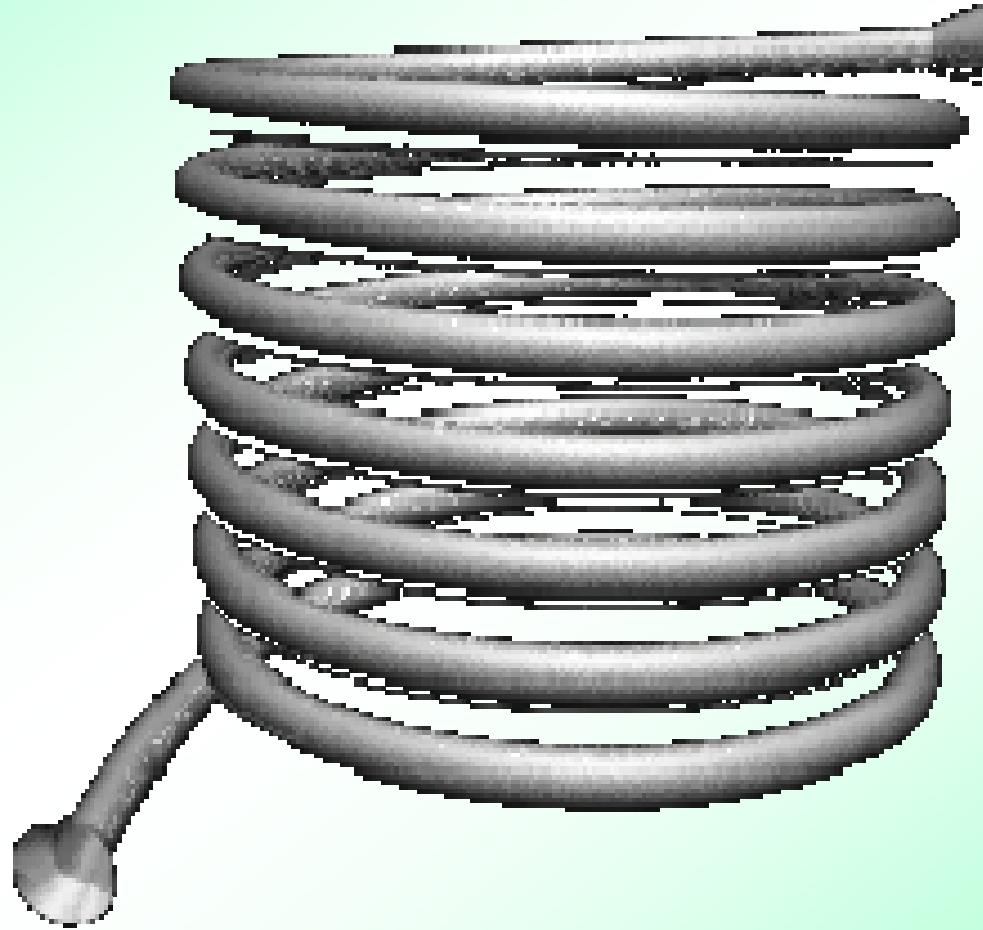
---



2009-4-26

## 6.3 蛇管式换热器

---



2009-4-26



## 6.3 蛇管式换热器

---

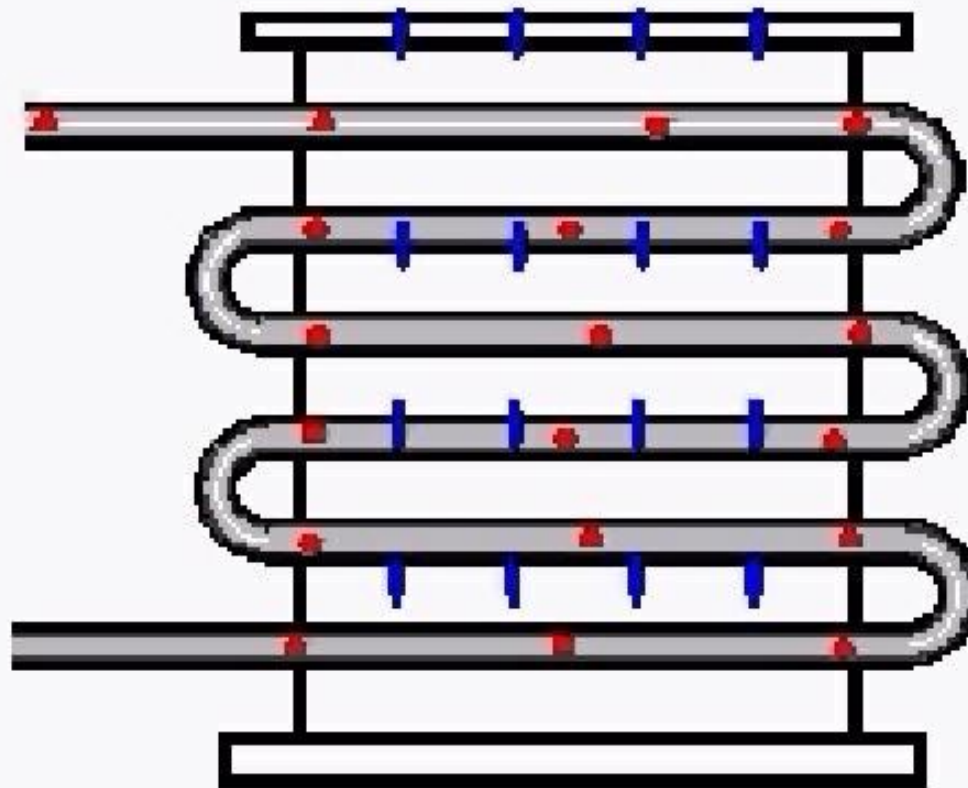
### (2) 喷淋式换热器

喷淋式换热器也为蛇管式换热器，多用作冷却器。这种换热器是将蛇管成行地固定在钢架上，热流体在管内流动，自最下管进入，由最上管流出。冷水由最上面的淋水管流下，均匀地分布在蛇管上，并沿其两侧逐排流经下面的管子表面，最后流入水槽而排出，冷水在各排管表面上流过时，与管内流体进行热交换。

2009-4-26

## 6.3 蛇管式换热器

喷淋蛇管式



2009-4-26

## 6.3 蛇管式换热器

---

这种换热器的管外形成一层湍动程度较高的液膜，因而管外对流传热系数较大。另外，喷淋式换热器常放置在室外空气流通处，冷却水在空气中汽化时也带走一部分热量，提高了冷却效果。因此，和沉浸式相比，喷淋式换热器的传热效果要好得多。同时它还便于检修和清洗等优点。其缺点是喷淋不易均匀。

2009-4-26

## 6.4 套管式换热器

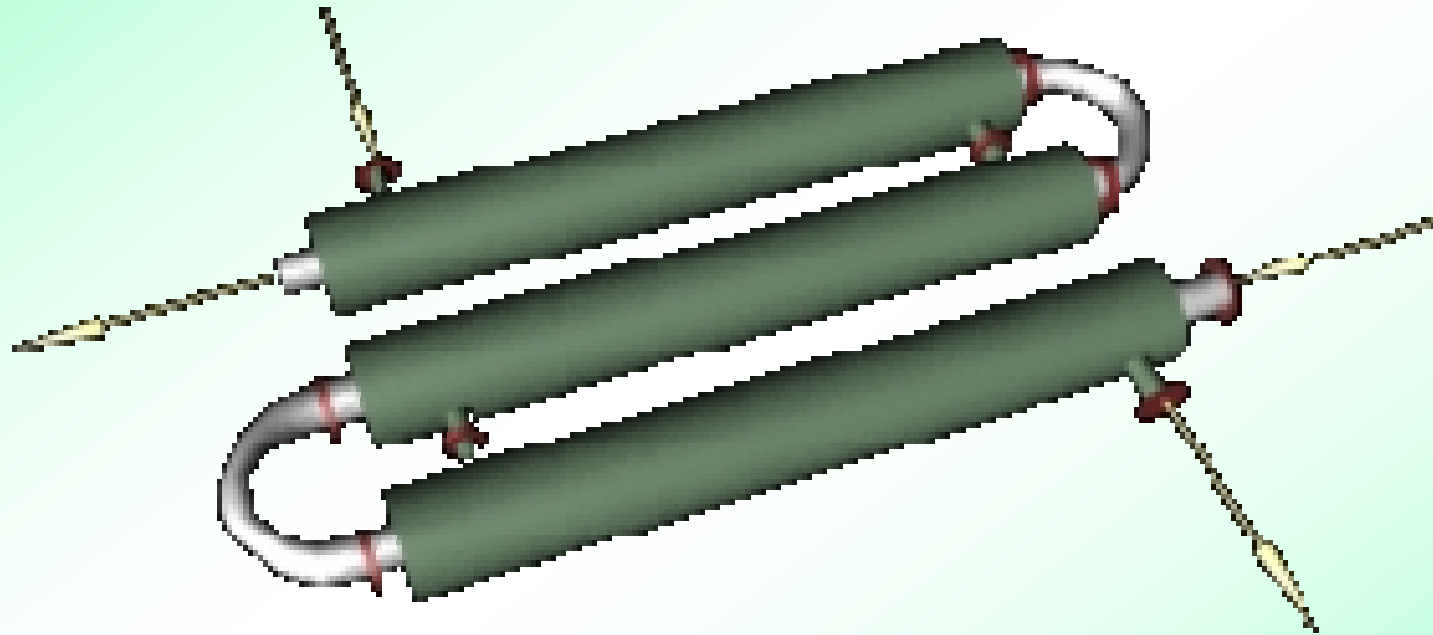
套管式换热器是由大小不同的直管制成的同心套管，并由U型弯头连接而成。每一段套管称为一程，每程有效长度约为4~6m，若管子过长，管中间会向下弯曲。在套管式换热器中，一种流体走管内，另一种流体走环隙适当选择两管的管径，两流体均可得到较高的流速，且两流体可以为逆流，对传热有利。另外，套管式换热器构造较简单，能耐高压，传热面积可根据需要增减，应用方便

缺点：管间接头多，易泄露，占地较大，单位传热面消耗的金属量大。因此它较适用于流量不大，所需传热面积不多而要求压强较高的场合。

2009-4-26

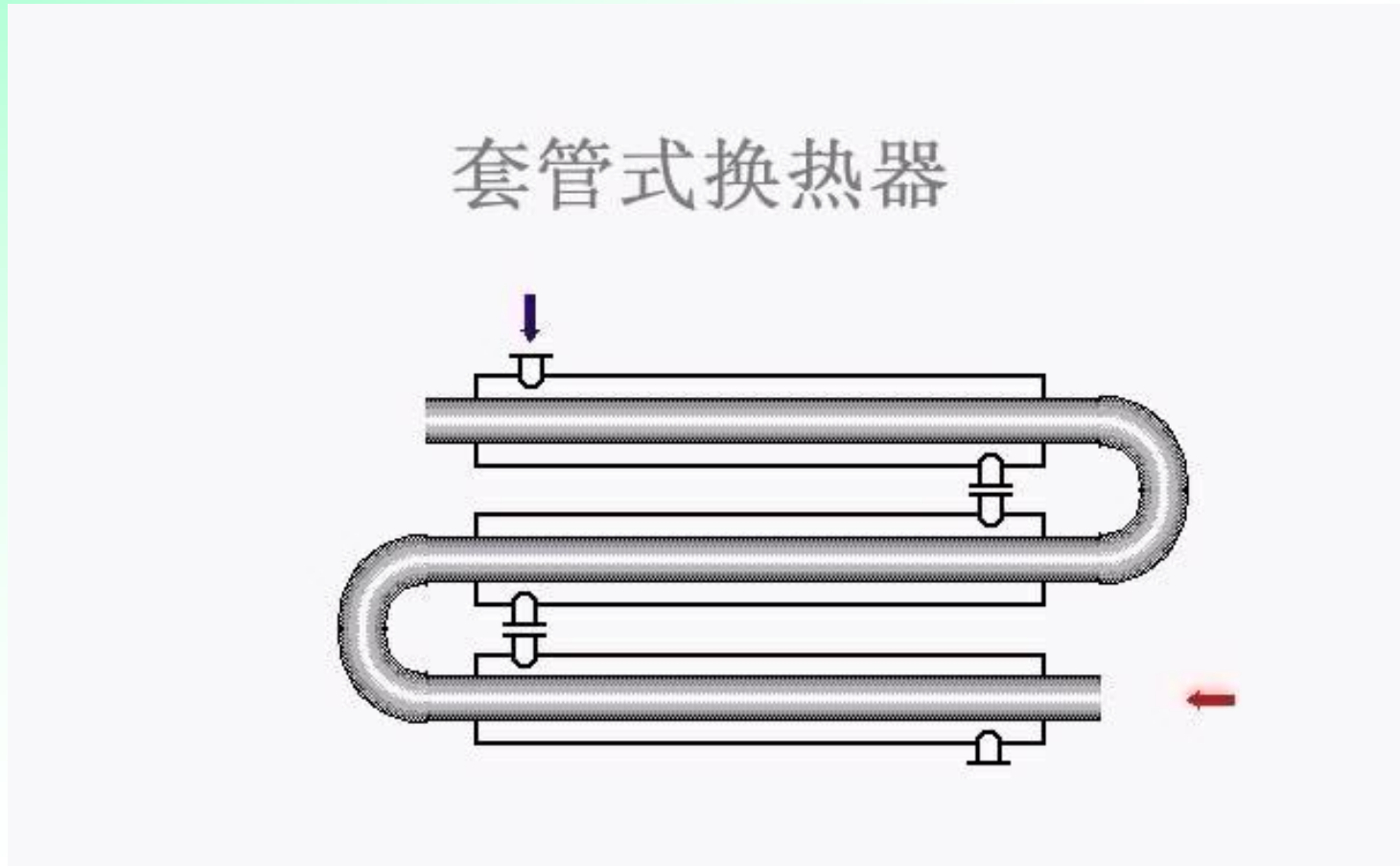
## 6.4 套管式换热器

---



2009-4-26

## 6.4 套管式换热器



2009-4-26

## 6.5 列管式换热器

### 一、列管式换热器的构造和型式

列管式换热器主要由壳体、管束、管板（又称花板）和顶盖（又称封头）等部件构成。

**优点：**单位体积所具有的传热面积大，结构紧凑、紧固传热效果好。能用多种材料制造，故适用性较强，操作弹性较大，尤其在高温、高压和大型装置中多采用列管式换热器。

在列管式换热器中，由于管内外流体温度不同，管束和壳体的温度也不同，因此它们的热膨胀程度也有差别。若两流体的温差较大，就可能由于热应力而引起设备变形，管子弯曲，甚至破裂或从管板上松脱。因此，当两流体的温差超过 $50^{\circ}\text{C}$ 时，应采用热补偿的措施。

2009-4-26



## 6.5 列管式换热器

根据热补偿方法的不同，列管式换热器分为以下几种主要形式：

### (1) 固定管板式

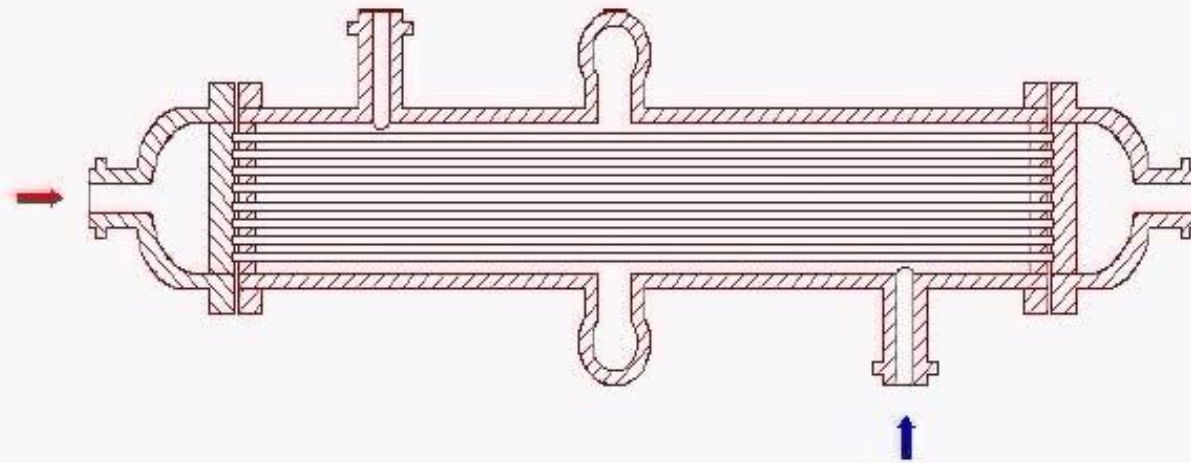
固定管板式的两端管板和壳体制成一体。因此它具有结构简单和成本低的优点。但是壳程清洗和检修困难，要求壳程流体必须是洁净而不易结垢的物料。当两流体的温差较大时，应考虑热补偿。即在外壳的适当部位焊上一个补偿圈，当外壳和管束热膨胀不同时，补偿圈发生弹性变形（拉伸或压缩），以适应外壳和管束不同的热膨胀程度。这种补偿方法简单，但不宜应用两流体温差过大（应不大于 $70^{\circ}\text{C}$ ）和壳程流体压强过高的场合。

2009-4-26



## 6.5 列管式换热器

补偿圈式列管换热器



2009-4-26

## 6.5 列管式换热器

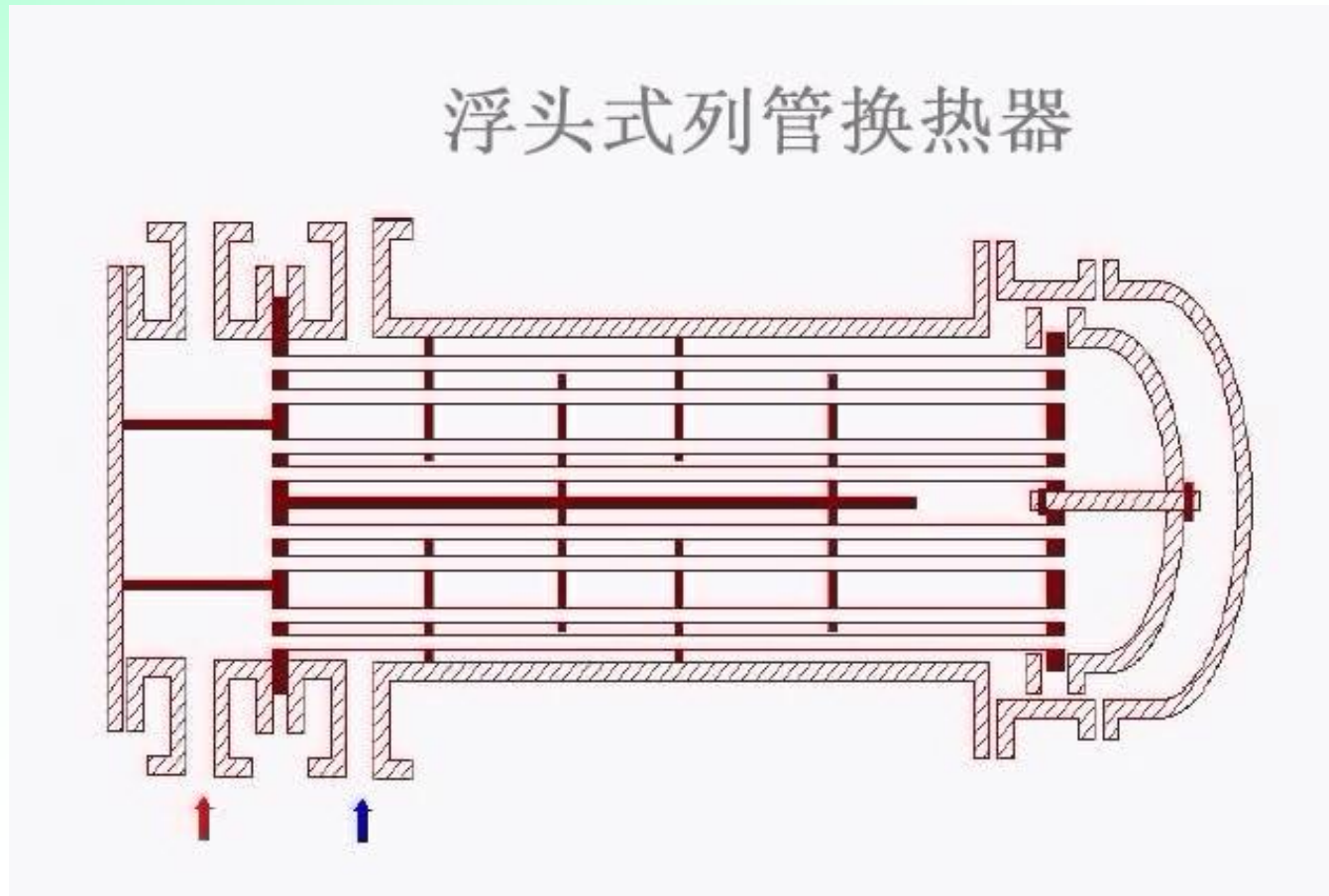
---

### (2) 浮头式换热器

浮头式换热器的特点是有一端管板不与外壳连为一体，可以沿轴向自由浮动。这种结构不但完全消除了热应力的影响，且由于固定端的管板以法兰与壳体连接，整个管束可以从壳体中抽出，因此便于清洗和检修。故浮头式换热器应用较为普遍，但它的结构比较复杂，造价较高。

2009-4-26

## 6.5 列管式换热器



2009-4-26

## 6.5 列管式换热器

---

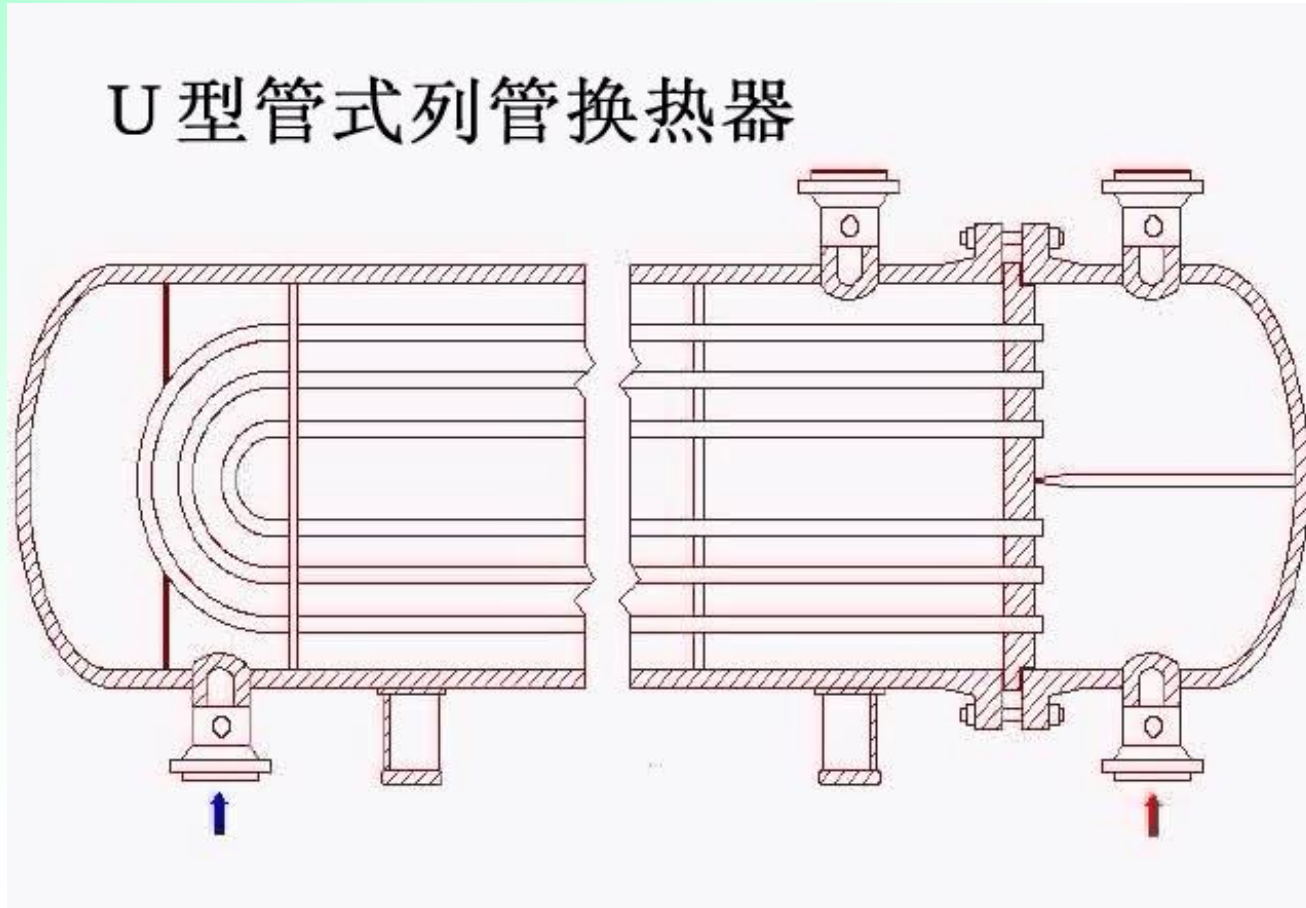
### (3) U型管式换热器

U型管式换热器每根管子都弯成U型，进出口分别安装在同一管板的两侧，封头用隔板分成两室。这样，每根管子可以自由伸缩。而与其他管子和壳体均无关。这种换热器结构比浮头式简单，重量轻，但管程不易清洗，只适用于洁净而不易结垢的流体，如高压气体的换热。

2009-4-26

## 6.5 列管式换热器

U型管式列管换热器



2009-4-26

## 6.5 列管式换热器

---

### 二、列管式换热器的选用和设计

#### ① 流程的选择

a、不洁净或易于分解结垢的物料应当流经易于清洗的一侧。

对于直管管束，上述物料一般应走管内，但当管束可以拆出清洗时，也可以走管外；

b、需要提高流速以增大其对流传热系数的流体应当走管内，

因为管内截面积通常都比管间的截面积小，而且易于采用多管程以增大流速；

2009-4-26

## 6.5 列管式换热器

- c、具有腐蚀性的物料应走管内，这样可以用普通材料制造壳体，仅仅管子，管板和封头要采用耐蚀材料；
- d、压力高的物料走管内，这样外壳可以不承受高压；
- e、温度很高（或很低）的物料应走管内以减少热量（或冷量）的散失。当然，如果为了更好地散热，也可以让高温的物料走壳程；
- f、蒸汽一般通入壳程，因为这样便于排出冷凝液，而且蒸汽较清洁，其对流传热系数又与流速关系小；

2009-4-26



## 6.5 列管式换热器

---

g、粘度大的流体，一般在壳程空间流过，因在设有挡板的壳程中流动时，流道截面和流向都在不断改变，在低Re数下（ $Re > 100$ ）即可达到湍流，有利于提高管外流体的对流传热系数；

### ②流速的选择

选择适宜的流速十分重要，表6-1和表6-2列出了一些工业上常用的流速范围，可供参考。

2009-4-26



## 6.5 列管式换热器

---

- ③换热管规格及其在管板上的排列方法
- ④阻力损失的计算
- ⑤列管式换热器的选用和设计计算步骤
  - a、计算传热量及逆流平均温度差；
  - b、试选适当型号的换热器；
  - c、核算总传热系数；
  - d、计算传热面积；
  - e、计算管、壳程阻力损失。

2009-4-26

## 6.6 换热器的强化途径

所谓换热器的强化，就是力求使换热设备的传热速率尽可能增大，力图用较少的传热面积或体积较小的设备来完成同样的传热任务。

### 1) 增大传热面积

增大传热面积，可以提高换热器的传热速率。但是增大传热面积不能靠增大换热器的尺寸来实现，而是要从设备的结构入手，提高单位体积的传热面积。如采用小直径管，用螺旋管、波纹管代替光滑管，采用翅片式换热器等都是增大传热面积的有效方法。

2009-4-26

## 6.6 换热器的强化途径

---

### 2) 增大平均温差

平均温差的大小主要取决于两流体的温度条件。物料的温度由生产工艺所决定，一般不能随意变动，而加热介质或冷却介质温度由于所选介质不同，可以有很大差异，如化工中常用的加热介质是饱和水蒸气，提高蒸汽的压强就可以提高蒸汽的温度。但提高介质的温度必须考虑到技术上的可能和经济上的合理。当换热器中两流体均无相变时，应尽可能从结构上采用逆流或接近逆流的流向以得到较大的传热温差。

2009-4-26

## 6.6 换热器的强化途径

### 3) 增大传热系数

增大K值是在强化过程中应该着重考虑的方面。由于换热器中的传热过程是稳态的串联传热过程，欲提高K值，就必须减小对流传热热阻、污垢热阻和管壁热阻。由于各项热阻所占比重不同，故应设法减小其中较大的热阻。

在换热设备中，金属壁面比较薄且导热系数高，一般不会成为主要热阻。污垢热阻是一个可变因素，在换热器投入使用时，污垢热阻很小，不会成为主要矛盾。但随着使用时间加长，便可能成为阻碍传热的主要因素。因此，应通过增

2009-4-26

## 6.6 换热器的强化途径

大流速等手段设法减弱垢层的形成和发展，并注意及时清除污垢。

对流传热热阻经常是传热过程的主要矛盾，也应是着重研究的内容。当换热器壁面两侧对流传热系数相差较大时，应设法强化对流传热系数小的一侧的换热。

提高对流传热系数，减小对流传热热阻的主要途径是减小层流边界层或层流底层的厚度，通常采用的具体手段有：

(1) 提高流速，加大 $Re$ 数，以减薄层流底层，例如增加列管式换热器中的管程数和壳体中的挡板数，可分别提高管程和壳程的流速。

2009-4-26

## 6.6 换热器的强化途径

---

(2) 增加流体的人工扰动，以减薄层流底层。例如采用管式或螺旋板式换热器；采用各种异形管或管内加装麻花铁、螺旋圈或金属卷片等添加物；采用波纹状或粗糙的换热面等等都可提高对流传热强度。在列管式换热器的壳程中安装折流挡板，使流体流动方向不断改变，增加流体的扰动，是提高壳程对流传热系数的重要方法。

2009-4-26

## 6.6 换热器的强化途径

---

(3) 利用传热进口段换热较强的特性，采用短管换热器，如锯齿形翅片的板翅式换热器，不仅增加了流体的扰动，而且由于流道短，边界层厚度小，因而使对流传热强度加大可以自由伸缩。而与其他管子和壳体均无关。这种换热器结构比浮头式简单，重量轻，但管程不易清洗，只适用于洁净而不易结垢的流体，如高压气体的换热。

2009-4-26



## 6.7 板式换热器

---

板式换热器具有传热效果好，结构紧凑等优点，是新型换热器的一种。在温度不太高和压力不太大的情况下，应用板式换热器比较有利。

板式换热器，是由一组长方形的薄金属板平行排列，加紧组装于支架上而构成。两相邻板片的边缘衬有垫片，压紧后板间形成密封的流体通道，且可用垫片的厚度调节通道的大小。每块板的四个角上，各开一个圆孔，其中有一对圆孔和一组板间流道相通，另外一对圆孔则通过在孔的周围放置

2009-4-26



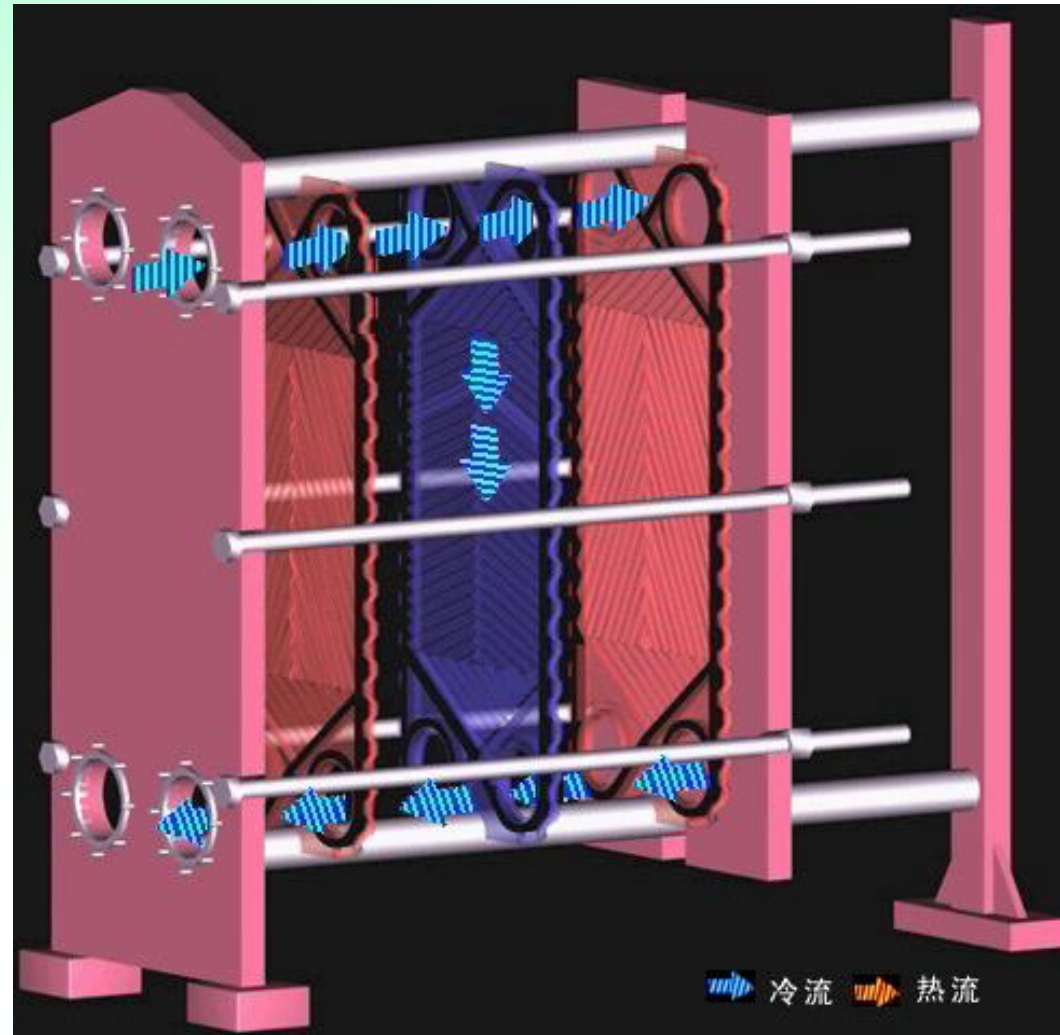
## 6.7 板式换热器

---

垫片而阻止流体进入该组板间的通道。这两对圆孔的位置在相邻板上是错开的以分别形成两流体的通道。冷热流体交错地在板片两侧流过，通过板片进行换热。板片厚度约为0.5~3mm，通常压制凹凸地波纹状。例如人字形波纹板。增加了板的刚度以防止板片受压时变形，同时又使流体分布均匀，增强了流体湍动程度和加大了传热面积，有利于传热。

2009-4-26

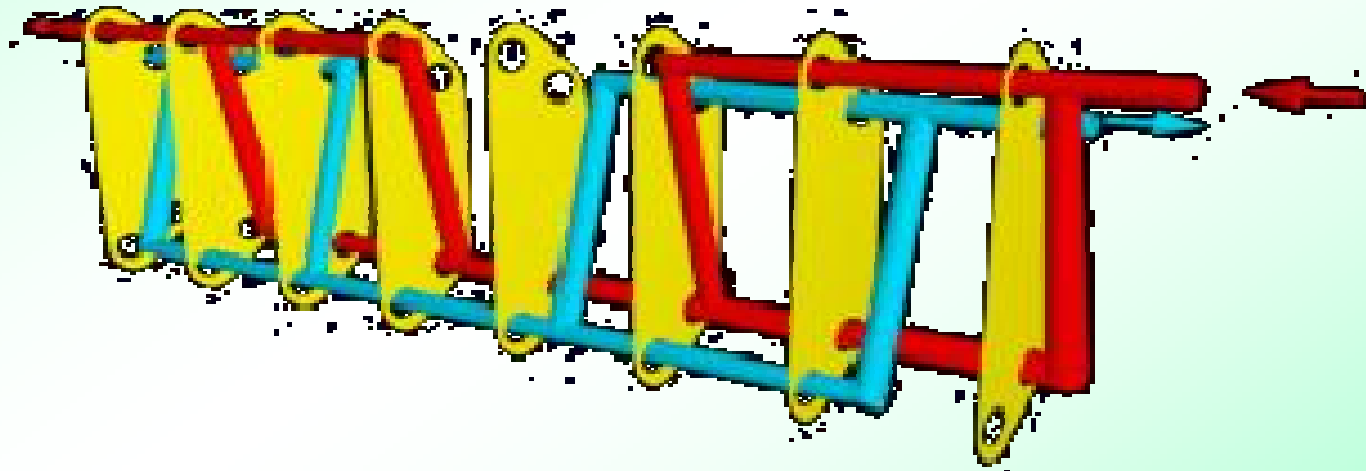
## 6.7 板式换热器



2009-4-26

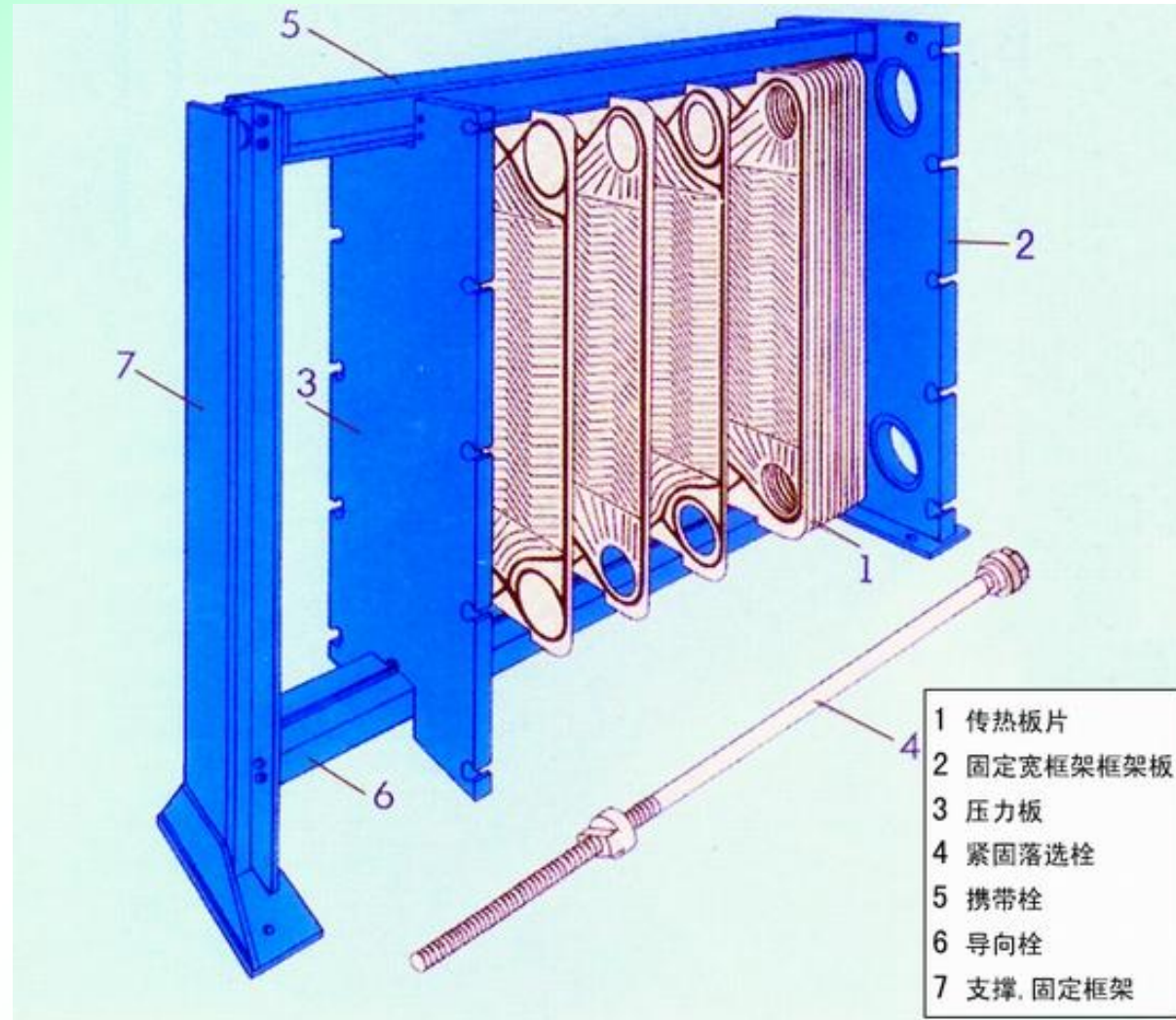
## 6.7 板式换热器

---



2009-4-26

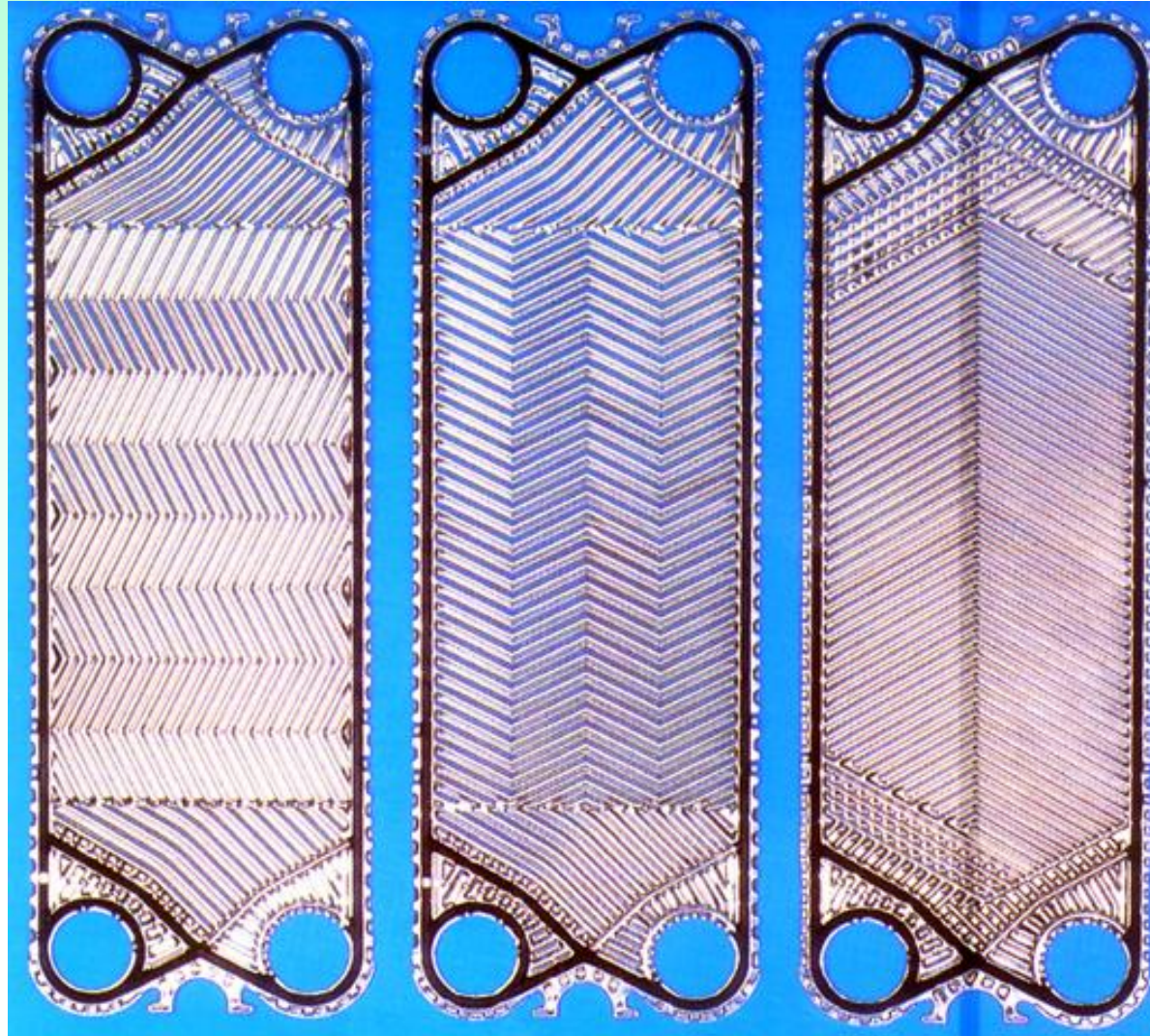
## 6.7 板式换热器



2009-4-26



## 6.7 板式换热器

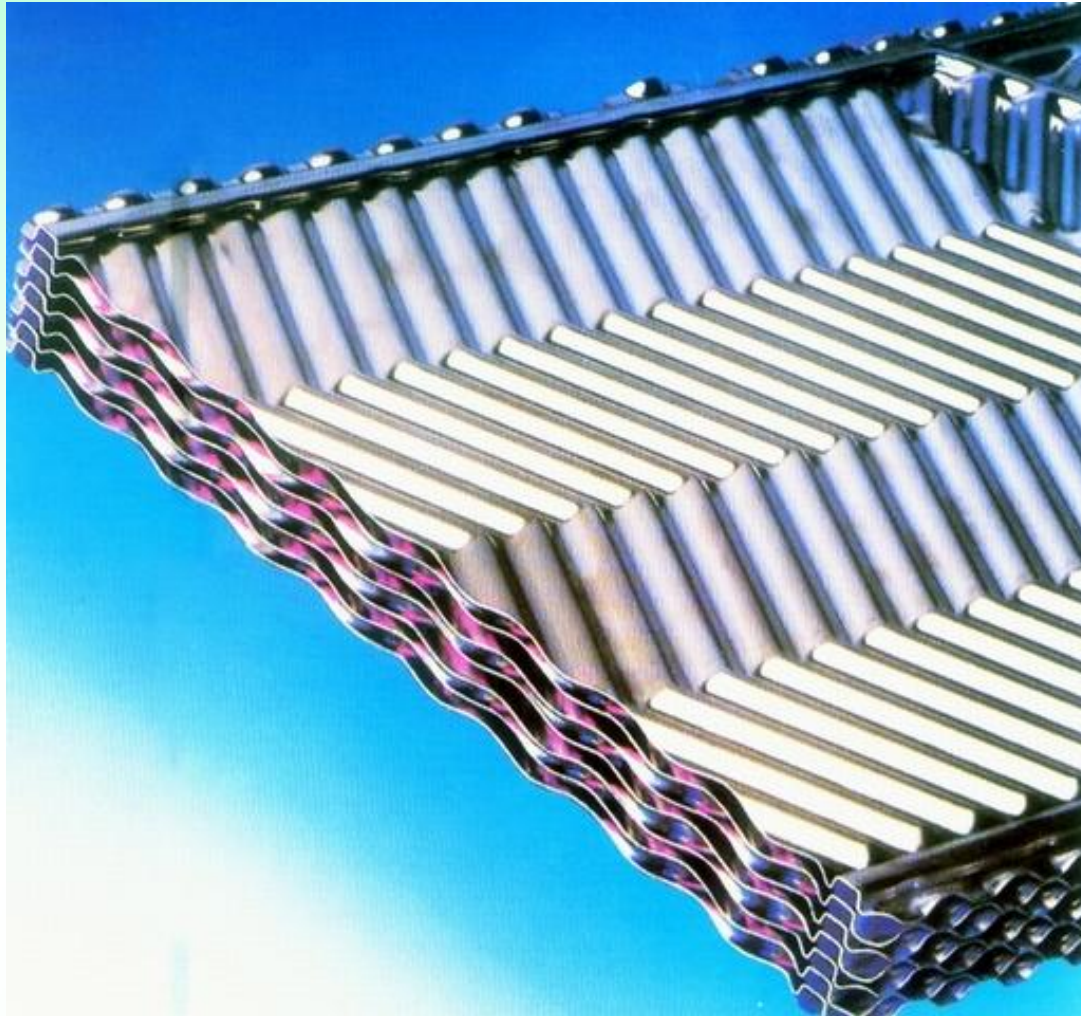


2009-4-26



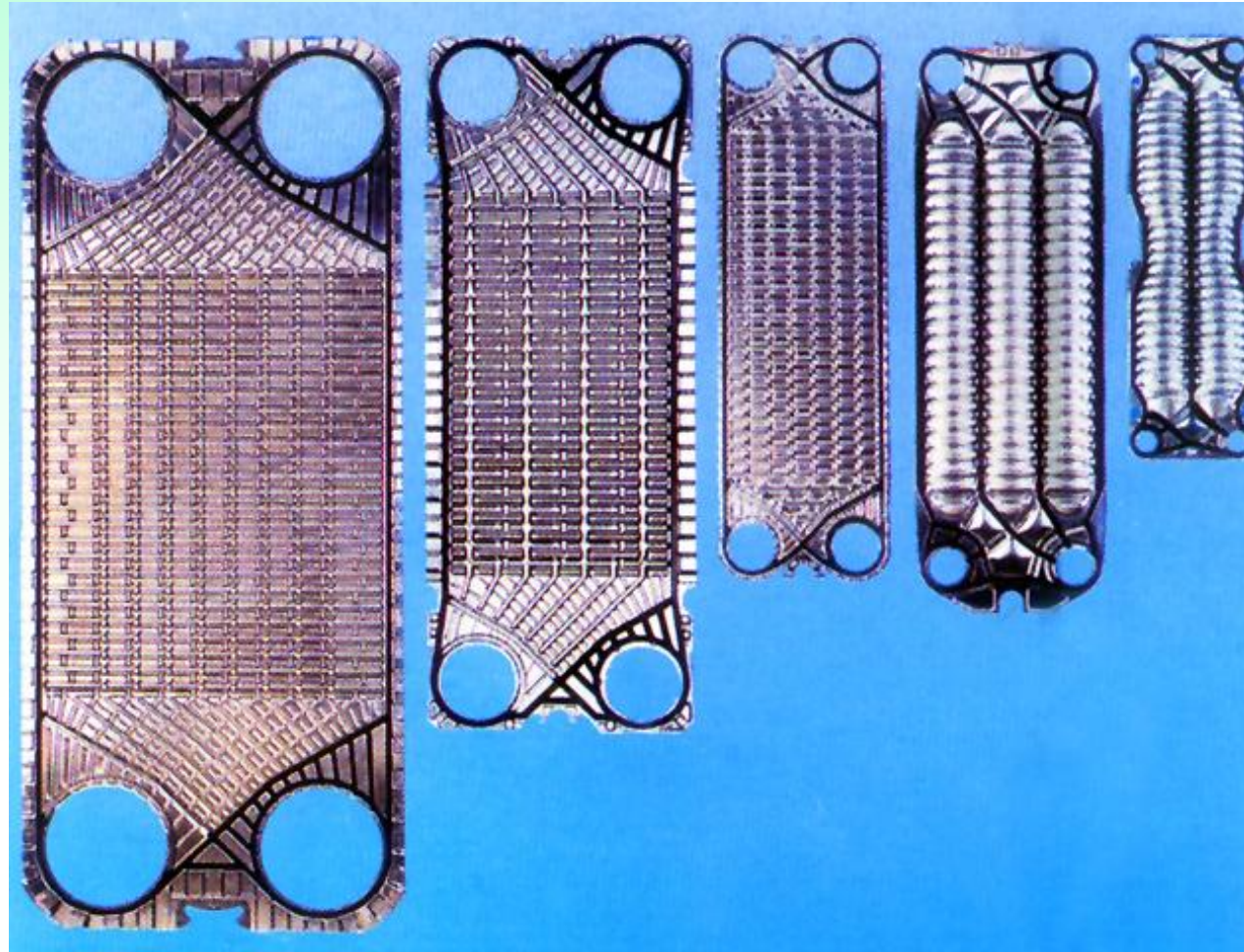
## 6.7 板式换热器

---



2009-4-26

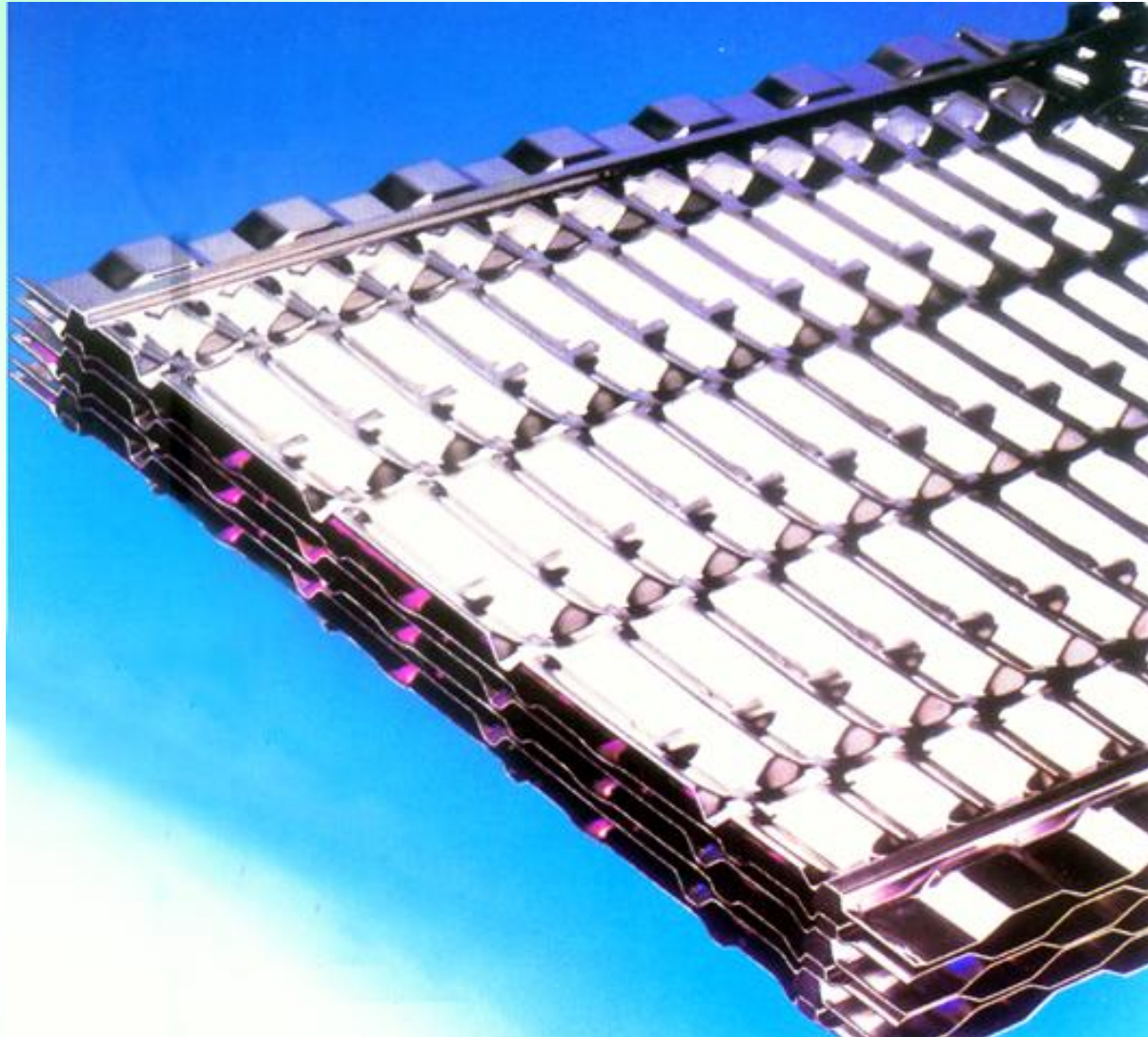
## 6.7 板式换热器



2009-4-26



## 6.7 板式换热器



2009-4-26



## 6.7 板式换热器

板式换热器的优点是：

- 1) 传热系数高：由于平板式换热器中板面有波纹或沟槽，可在低雷诺数（ $Re=200$ 左右）下即达到湍流。而且板片厚度又小，故传热系数大。例如水对水的传热系数可达 $1500\sim 4700W/(m^2\cdot^{\circ}C)$ 。
- 2) 结构紧凑：一般板间距为 $4\sim 6mm$ ，单位体积设备可提供的传热面为 $250\sim 1000m^2/m^3$ （列管式换热器只有 $40\sim 150 m^2/m^3$ ）。

2009-4-26

## 6.7 板式换热器

3) 操作灵活性大。

4) 金属消耗量底。与列管式换热器相比，每平方米的传热面金属消耗量约可以减少一半左右。

5) 板片加工制造以及检修、清洗都比较方便。

板式换热器的**主要缺点**：

1) 允许的操作压力比较低。通常操作压强低于1.5Mpa，最高不超过2.0Mpa，压强过高容易泄露。

2) 操作温度不能太高。因受垫片材料的耐热性限制，一般不超过250℃。

3) 处理量不大。由于两板的间距仅几毫米，流通面积较小，流速又不大，处理量受到限制。

2009-4-26

## 6.8 螺旋板式换热器

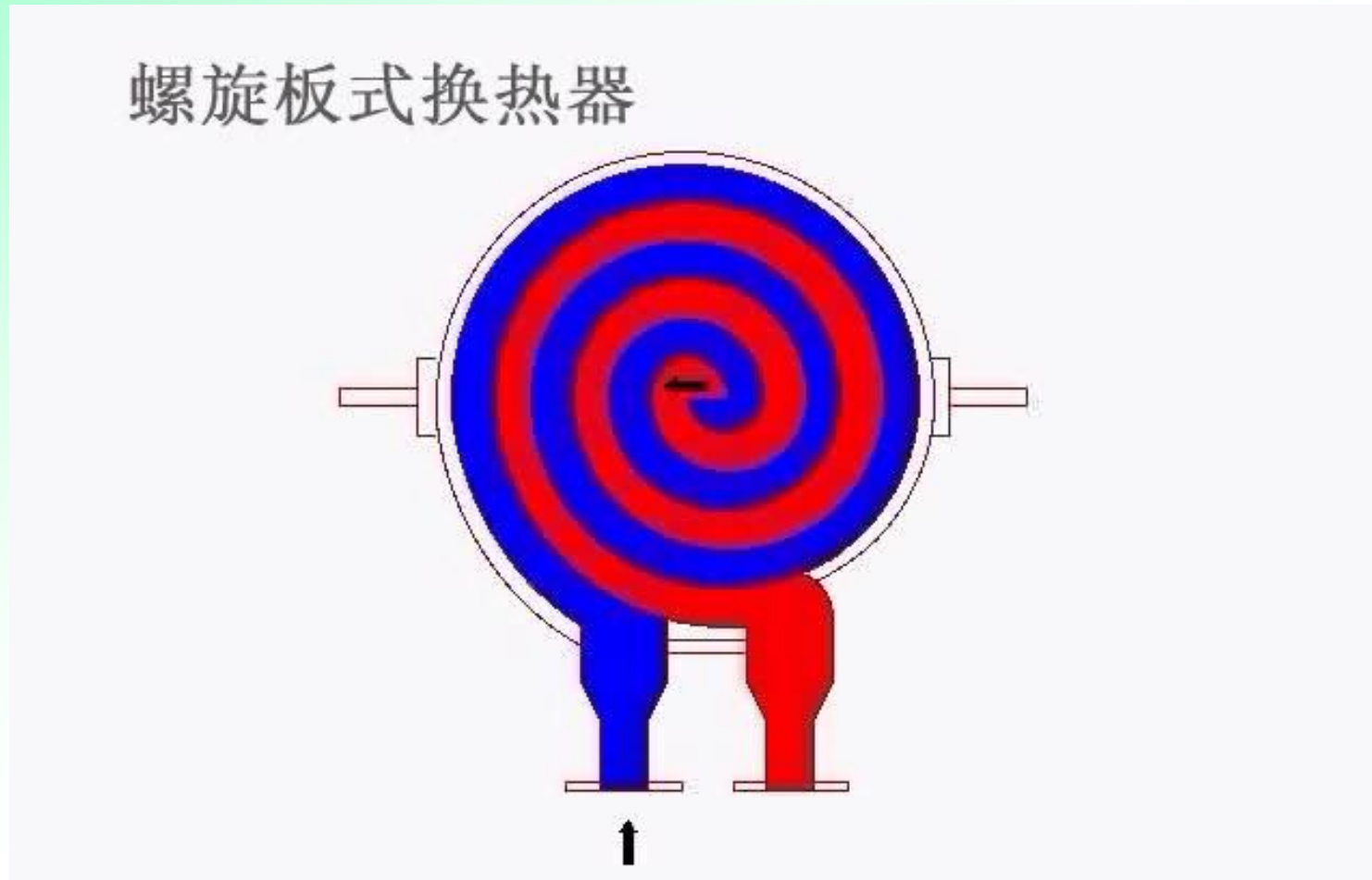
---

螺旋板式换热器也是发展较早的一种由板材制造的换热器。它同样具有传热系数较大，结构较紧凑等特点。

螺旋板式换热器是由两张间隔一定的平行薄金属板卷制而成，在其内部形成两个同心的螺旋形通道。换热器中央设有隔板，将螺旋形通道隔开，两板之间焊有定距柱以维持通道间距。在螺旋板两侧焊有盖板。冷热流体分别通过两条通道，在器内逆流流动，通过薄板进行换热。

2009-4-26

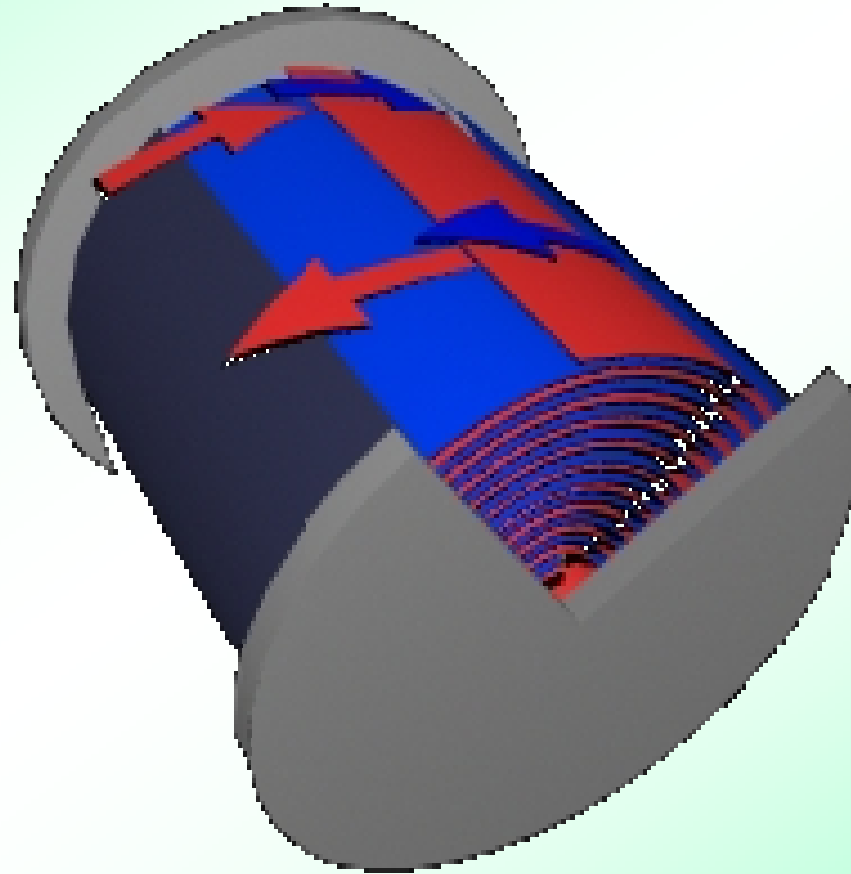
## 6.8 螺旋板式换热器



2009-4-26

## 6.8 螺旋板式换热器

---



2009-4-26

## 6.8 螺旋板式换热器

---

螺旋板式换热器的优点：

1) 传热系数高。螺旋流道中的流体由于惯性离心力的作用和定距柱的干扰，在较低的雷诺数（一般 $Re=1400\sim 1800$ 或更低些）下即达到湍流，并且允许选用较高的流速（对液体为 $2\text{m/s}$ ，气体为 $20\text{m/s}$ ），故传热系数较高。如水对水的换热，其传热系数可达 $2000\sim 3000\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，而列管式换热器一般为 $1000\sim 2000\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

2009-4-26

## 6.8 螺旋板式换热器

---

2) 不易结垢和堵塞。由于流体的速度较高，又有惯性离心力的作用，流体中悬浮的颗粒被抛向螺旋形通道的外缘而受到流体本身的冲刷，故螺旋板换热器不易结垢和堵塞，适合处理悬浮液及粘度较大的介质。

3) 能利用温度较低的热源。由于流体流动的流道较长和两流体可进行完全逆流，故可在较小的温差下操作，能充分利用温度较低的热源。

4) 结构紧凑，制作简便。单位体积的传热面积为列管式的3倍，可节约金属材料。

2009-4-26



## 6.8 螺旋板式换热器

---

螺旋板换热器的主要缺点是：

(1) 操作压力和温度不宜太高。目前最高操作压强不超过2Mpa，温度不超过300~400℃。

(2) 不易检修。因整个换热器被焊成一体，一旦损坏，修理很困难。

(3) 流体在换热器内是作螺旋式流动，加上定距柱对流体流动的干扰作用，因而同样物料在相同流速条件下，阻力损失较大。

2009-4-26



## 6.9 板翅式换热器

---

板翅式换热器是一种更为高效、紧凑、轻巧的换热器，过去由于制造成本较高，仅用于宇航、电子、原子能等少数部门。现在已逐渐用于石油化工及其它工业部门，取得良好效果。

板翅式换热器的结构形式很多，但是基本结构元件相同，即在两块平行的薄金属板之间，加入波纹状或其它形状的金属翅片，将两侧面封死，即成为一个换热基本元件。将各基本元件进行不同的叠积和适当的排列，并用钎焊固定，即

2009-4-26

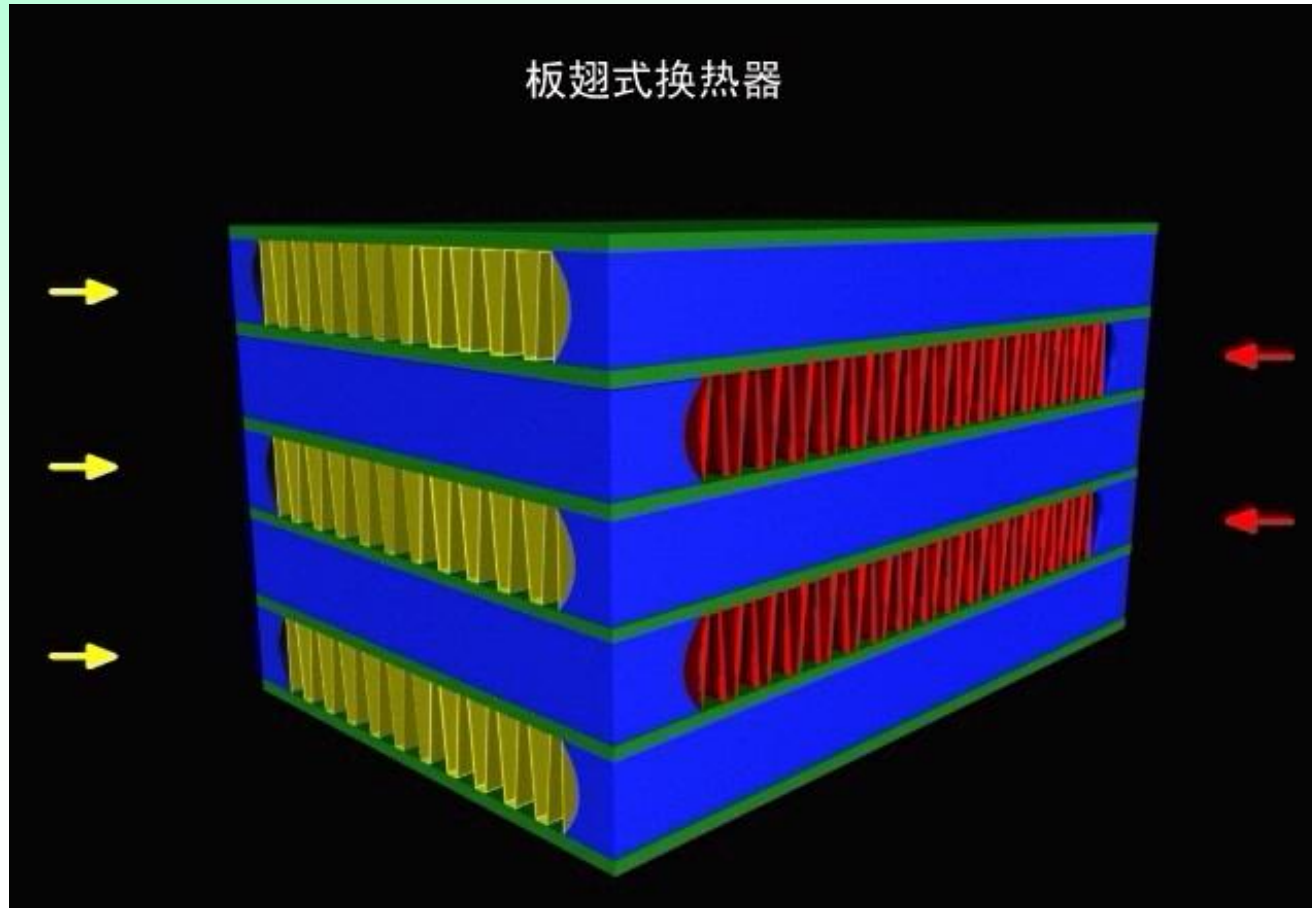
## 6.9 板翅式换热器

---

可制成并流、逆流或错流的板束（或称芯部），然后再将带由流体进出口的接管的集流箱焊在板束上，即成为板翅式换热器。我国目前常用的翅片形式有光直型翅片、锯齿型翅片和多孔型翅片三种。

2009-4-26

## 6.9 板翅式换热器



2009-4-26

## 6.9 板翅式换热器

板翅式换热器的优点是：**结构高度紧密**、轻巧、单位体积设备所提供的传热面一般能达到 $2500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ，最高可达 $4300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。通常用铝合金制造，故重量轻，在相同的传热面下，其重量约为列管式的十分之一。由于翅片促进了流体的湍动并破坏了热边界层的发展，故其**传热系数较高**；另外铝合金不仅导热系数高，而且在零度以下操作时，其延性和抗拉强度都很高，适用于低温和超低温的场合，故操作范围广，可在 $200^\circ\text{C}$ 至绝对零度范围内使用。同时因翅片对隔板有支撑作用，板翅式换热器允许操作压强也比较高，可达 $5\text{MPa}$ 。

2009-4-26

## 6.9 板翅式换热器

---

板翅式换热器的缺点是制造工艺比较复杂，清洗和检修困难，因而要求换热介质清洁。

2009-4-26

## 6.10 翅片管换热器及空气冷却器

---

翅片管换热器是在管的表面加装翅片制成，翅片与管表面的连接应紧密无间，否则连接处的接触热阻很大，影响传热效果。常用的连接方法有热套、镶钳、张力缠绕和焊接等方法。此外，翅片管也可采用整体轧制、整体铸造或机械加工等方法制造。

当两种流体的对流传热系数相差较大时，在传热系数较小的一侧加翅片可以强化传热。

2009-4-26

## 6.10 翅片管换热器及空气冷却器

例如用水蒸气加热空气，该过程的主要热阻是空气侧对流传热热阻。在空气侧加装翅片，可以起到强化换热器传热的效果。当然，加装翅片会使设备费提高，但一般，当两种流体的对流传热系数之比超过3:1，采用翅片管换热器经济上是合算的。

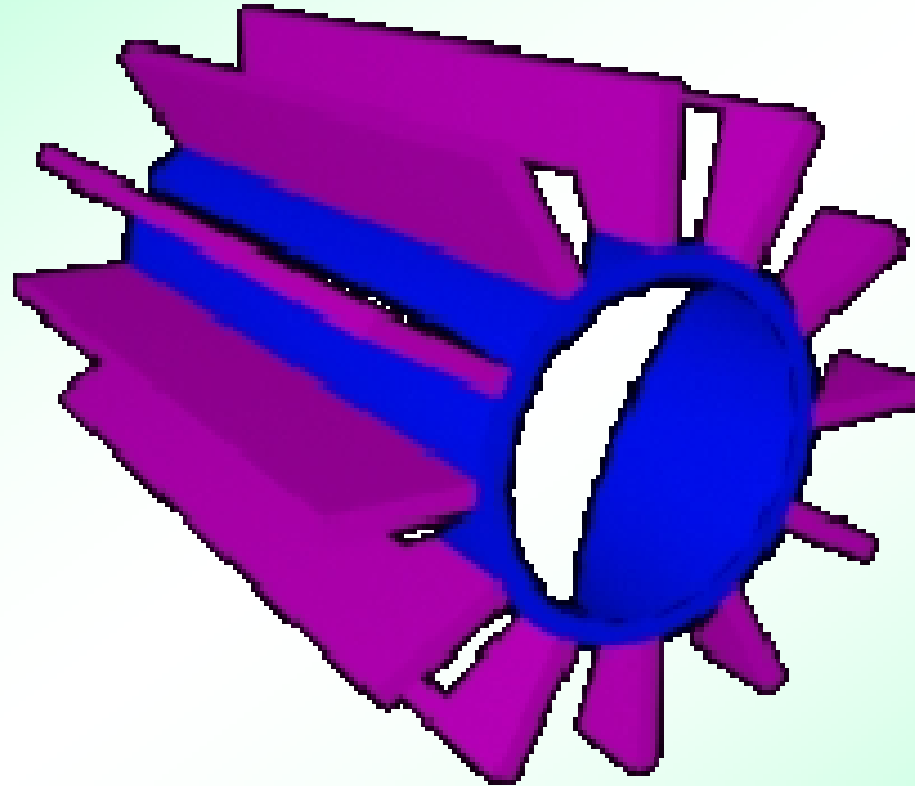
近年来用翅片管制成的空气冷却器（简称空冷器）在化工中应用很广。用空冷代替水冷，不仅在缺水地区适用，而且在水源充足的地方，采用空冷也可取得较大的经济效果。

2009-4-26



## 6.9 翅片管换热器及空气冷却器

---



2009-4-26

## 6.11 热管换热器

---

热管是60年代中期发展起来堵塞一种新型传热元件。它是由一根抽除不凝性气体的密封金属管内充以一定量的某种工作液体而成。工作液体在热端吸收热量而沸腾汽化，产生的蒸汽流至冷端冷凝放出潜热，冷凝液回至热端，再次沸腾汽化。如此反复循环，热量不断从热端传至冷端。冷凝液的回流可以通过不同的方法（如毛细管作用、重力、离心力）来实现，目前应用最广的方法是奖具有毛细结构的吸液芯装在管的内壁，利用毛细管的作用是冷凝液由冷端回流至热端

2009-4-26

## 6.11 热管换热器

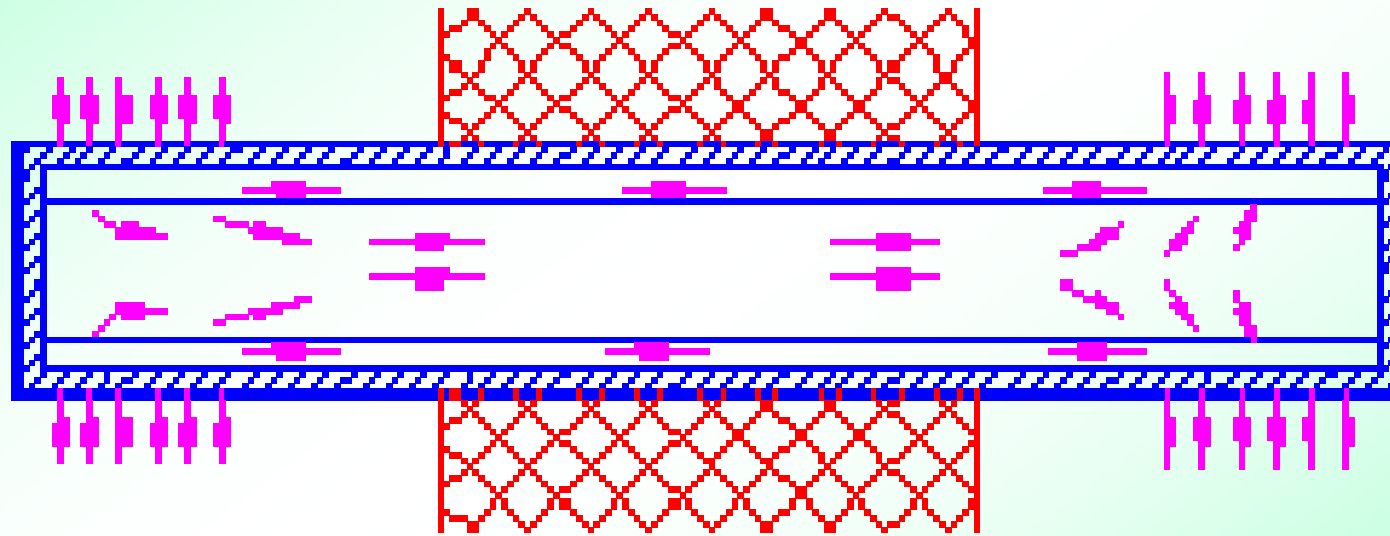
---

采用不同的工作液体（氨、水、汞等）。热管可以在很宽的温度范围内使用。

热管的传热特点是热管中的热量传递通过沸腾汽化、蒸汽流动和蒸汽冷凝三步进行，由于沸腾和冷凝的对流传热强度都很大，两端管表面比管截面大很多，而蒸汽流动阻力损失又较小，因此热管两端温差可以很小，即能在很小的温差下传递很大的热流量。与热管截面相同的金属壁面的导热能力比较，热管的导热能力可达最良好的金属导热体的 $10^3 \sim 10^4$ 倍。因此它特别适用于低温差传热以及某些等温性要求较高的场合。

2009-4-26

## 6.11 热管换热器



2009-4-26

## 6.11 热管换热器

---

热管的这种传热特性为器（或室）内外的传热强化提供了极有利的手段。例如器两侧均为气体的情况，通过器壁装热管，增加热管两端的长度，并在管外装翅片，就可以大大加速器内外的传热。

此外，热管还具有结构简单，使用寿命长，工作可靠，应用范围广等优点。

热管最初主要应用于宇航和电子工业部门，近年来在很多领域都受到了广泛的重视，尤其在工业余热的利用上取得了很好的效果。

2009-4-26

谢谢!

2009-4-26