

# 第六章 换热设备

6.1 概述

6.2 管壳式换热器

6.3 传热强化技术

6.3.1 传热强化概述

6.3.2 扩展表面及内插件强化传热

6.3.3 壳程强化传热

## 6.3 传热强化技术

教学重点：

传热强化在结构上采取的措施。

教学难点：

无。

## 6.3.1 传热强化概述

换热设备稳定传热时的传热方程式：

$$Q = KF\Delta t_m$$

表征传热过程  
强弱程度

$K$ ——传热系数， $\text{w/m}^2\text{°C}$ ；

$F$ ——换热面积， $\text{m}^2$ ；

$\Delta t_m$ ——热流体与冷流体的平均传热温差， $\text{°C}$

传热强化渠道



增加平均传热温差  
扩大换热面积  
提高传热系数

## 增大平均传热温差

平均传热温差 $\Delta t_m$ 是传热过程的推动力，由冷、热流体最大无相变温差决定，但一般生产工艺中已经确定。

1. 当冷流体和热流体进出口温度一定时，利用不同的换热面布置来改变平均传热温差；——逆流；多股流动换热。
2. 扩大冷、热流体进出口温度的差别以增大平均传热温差。此法受生产工艺限制，不能随意变动，只能在有限范围内采用。

## 增大换热面积

1. 采用小直径换热管；——在同样金属重量下总表面积增大
2. 改进传热面结构，设法提高单位容积内设备的传热面积，即扩展表面换热面，既增加换热面积，又提高传热系数。

问题：流动阻力增大

## 提高传热系数

## 当前研究传热强化的重点

提高传热系数的方法

主动强化（有源强化）

被动强化（无源强化）

**1. 主动强化**——需要采用外加的动力（如机械力、电磁力等）来增强传热的技术。

如：搅拌换热介质、使换热表面或流体振动、将电磁场作用于流体以促使换热表面附近流体的混合等技术。

**2. 被动强化**——指除了输送传热介质的功率消耗外不需要附加动力来增强传热的技术。

主要包括：涂层表面、粗糙表面、扩展表面、扰动元件、涡流发生器、射流冲击、螺旋管以及添加物等手段。

扩展表面及管内放置强化传热元件：  
既能增加传热面积，又能提高传热系数

### (1) 扩展表面强化传热

扩展表面强化传热主要包括

槽管

翅片管

## (2) 槽管——提高传热系数

壁面扰流结构的换热管



在圆管及圆形通道内形成扰流结构



改变了流体的流动结构，增加近壁区的湍流度



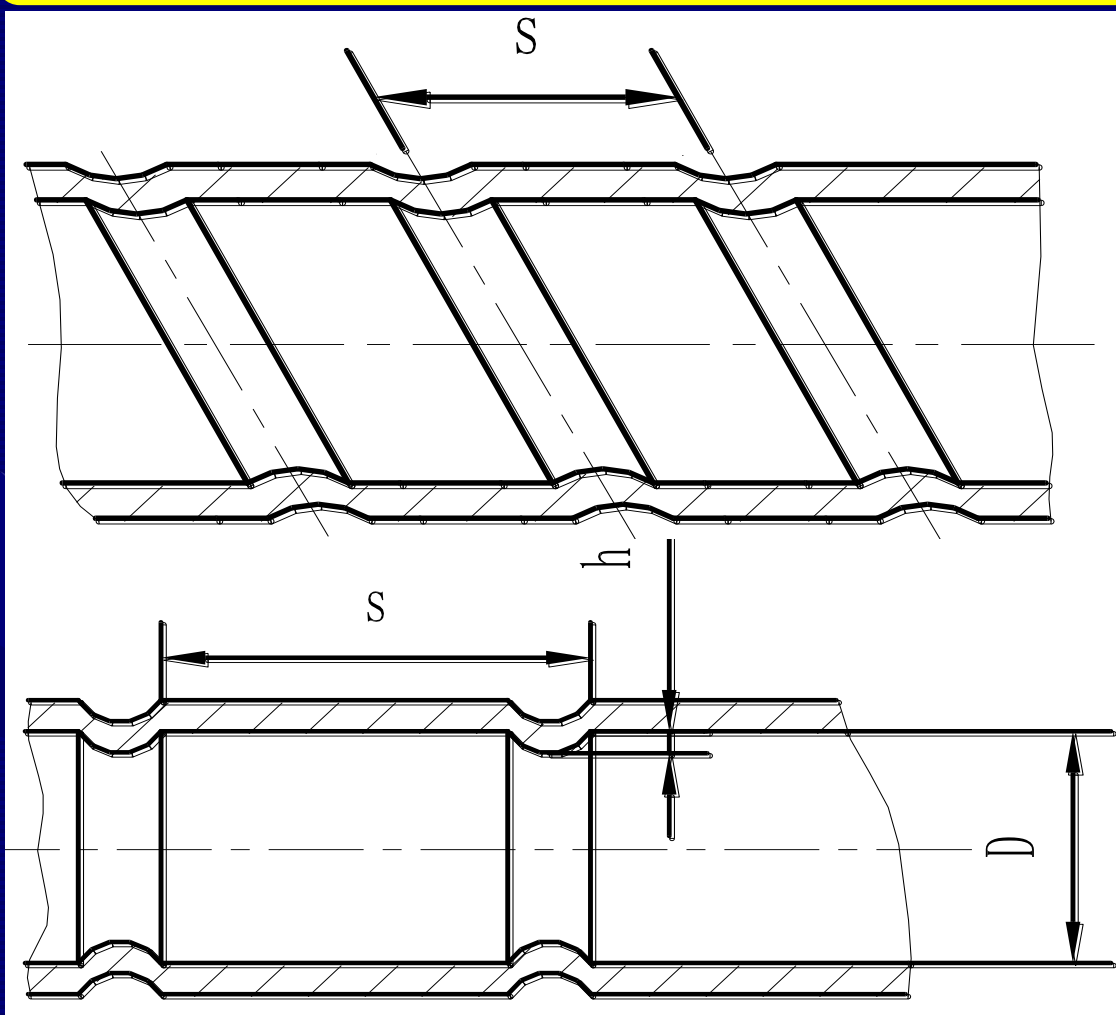
提高流体和壁面的对流传热膜系数



**a.碾轧槽管**——特别适用于换热器中用于强化管内单相流体的传热以及增强管外流体蒸汽冷凝和液体膜态沸腾传热的作用

**b.螺旋槽管**

**c.横纹槽管**



螺旋槽管

横纹槽管

图6-31 槽管结构

### (3) 翅片——提高传热面积、提高传热系数

翅片不适合用于高表面张力的液体冷凝和会产生严重结垢的场合，尤其不适用于需要机械清洗、携带大量颗粒流体的流动场合。

a. 内翅片圆管

b. 外翅片圆管

c. 板式翅片

d. 槽带板式翅片

e. 穿孔翅片



图6-38 内翅管

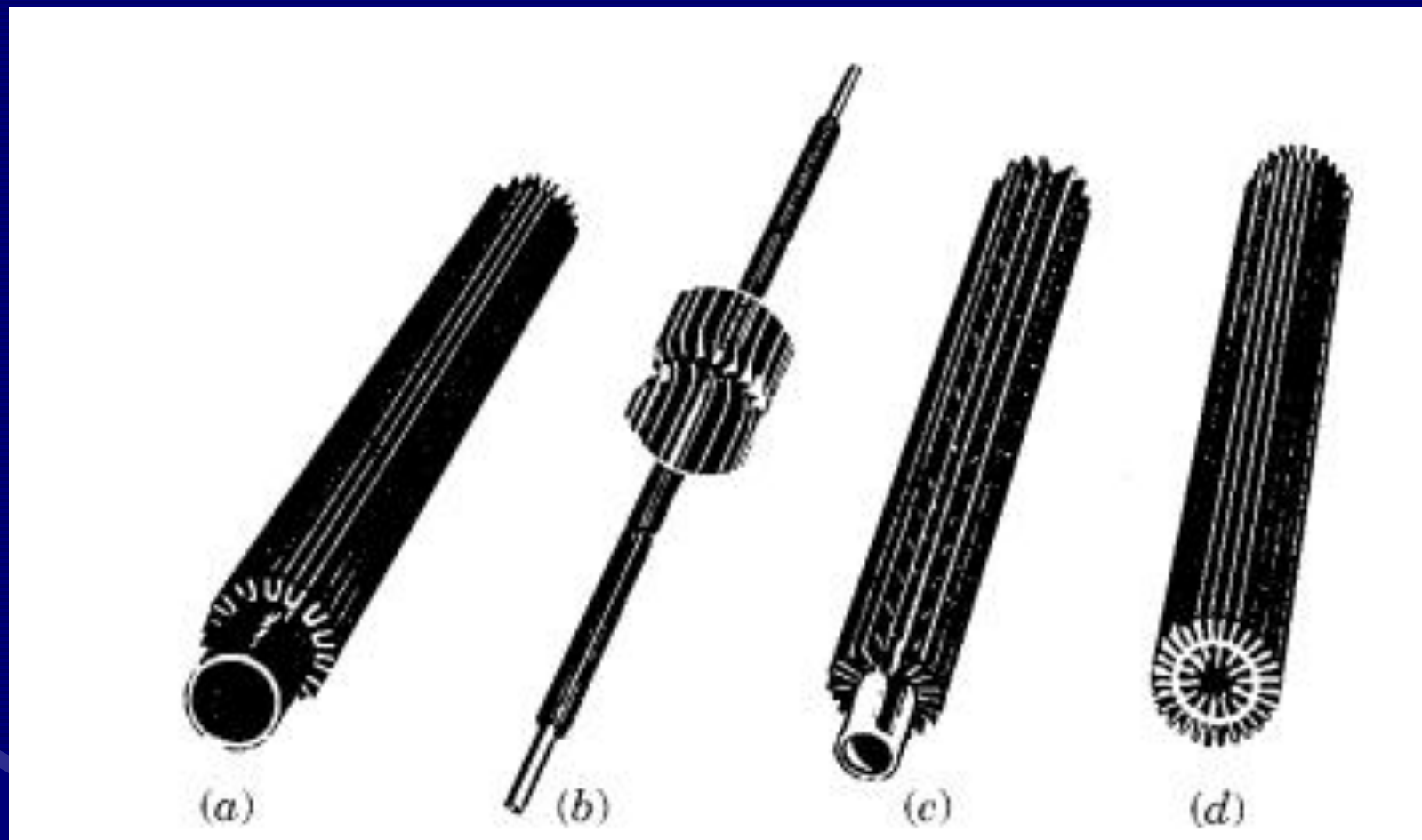


图6-39 纵向翅片

(a) 连续平直翅片 (b) 切割扭曲 (c) 穿孔翅片 (d) 纵向内外翅片

6.3.2 扩展表面及内插件强化传热

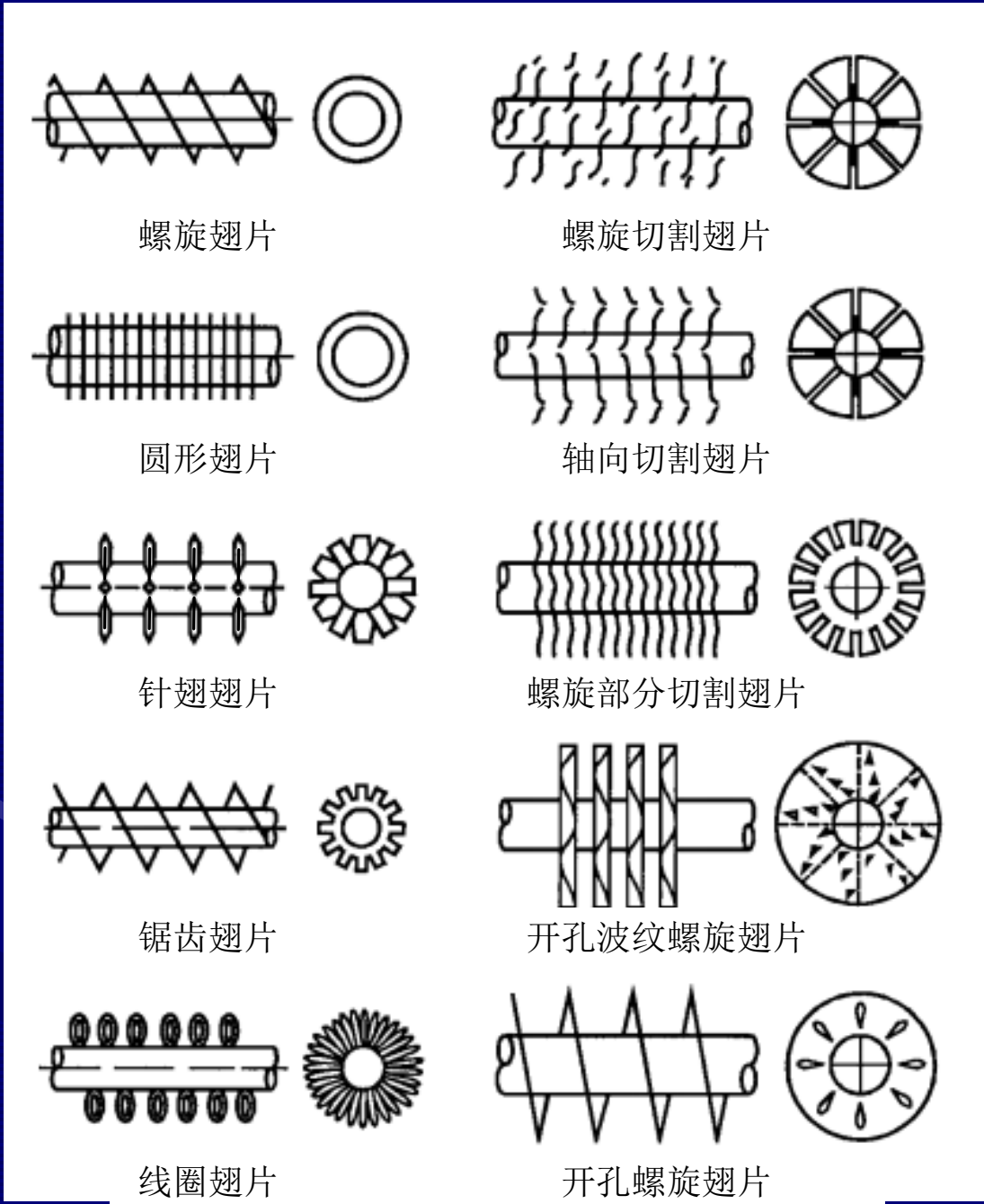
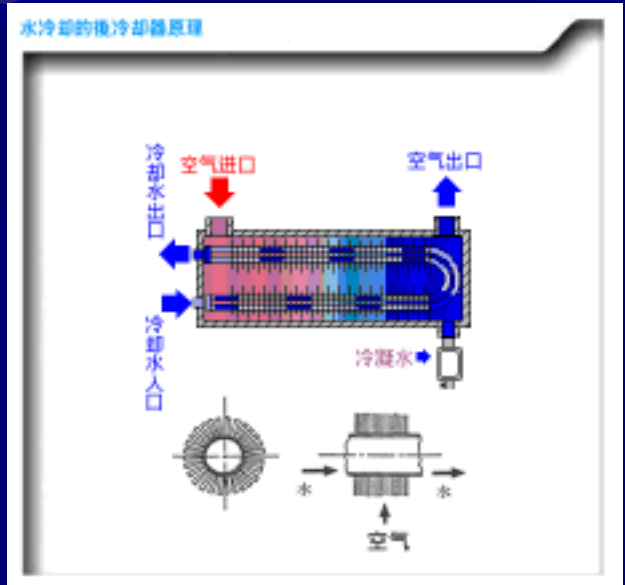


图6-40 横向翅片



**外翅片圆管**——影响翅化表面传热的主要因素是翅片高度、翅片厚度、翅片间距以及翅片材料的导热系数

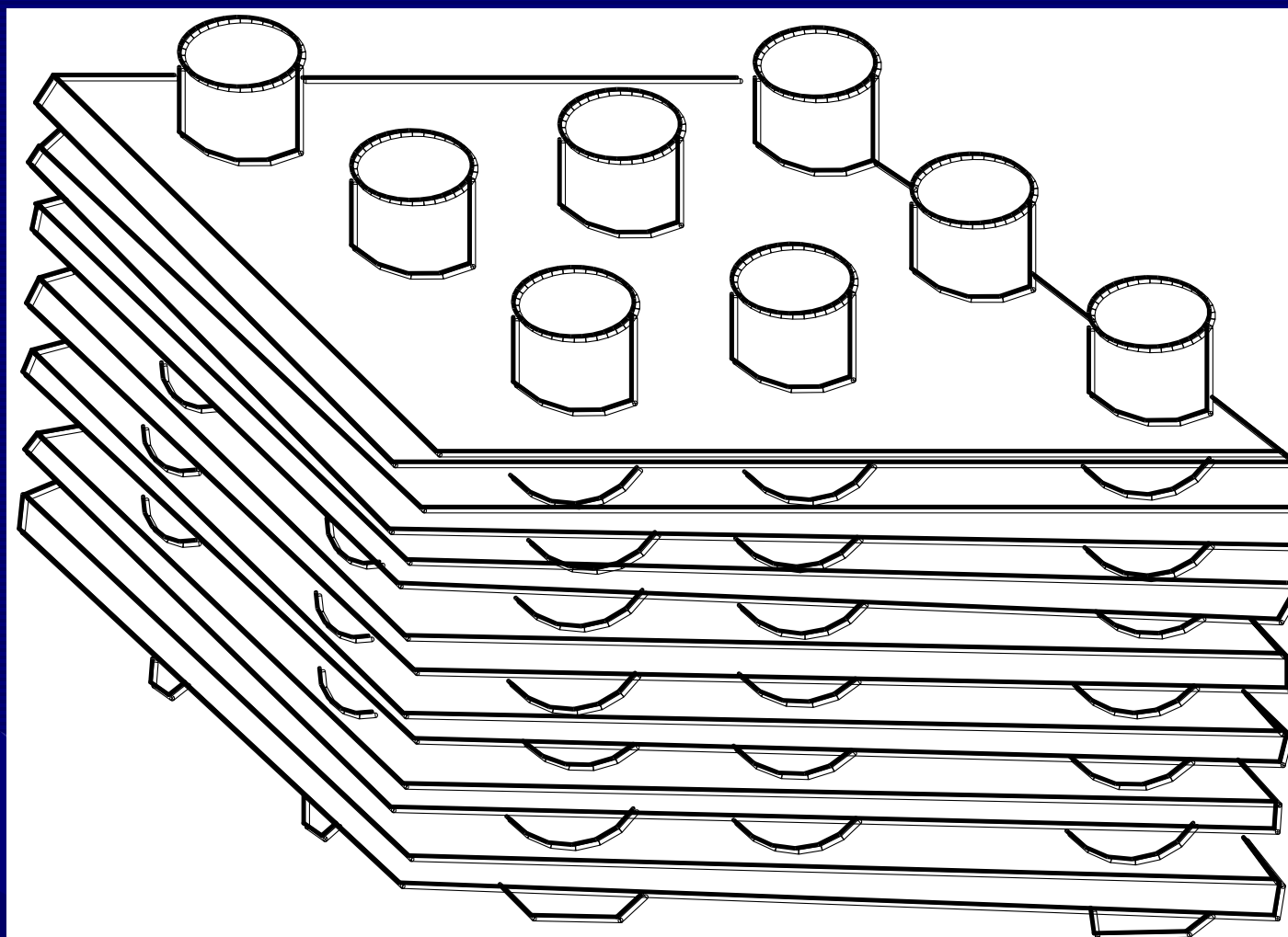
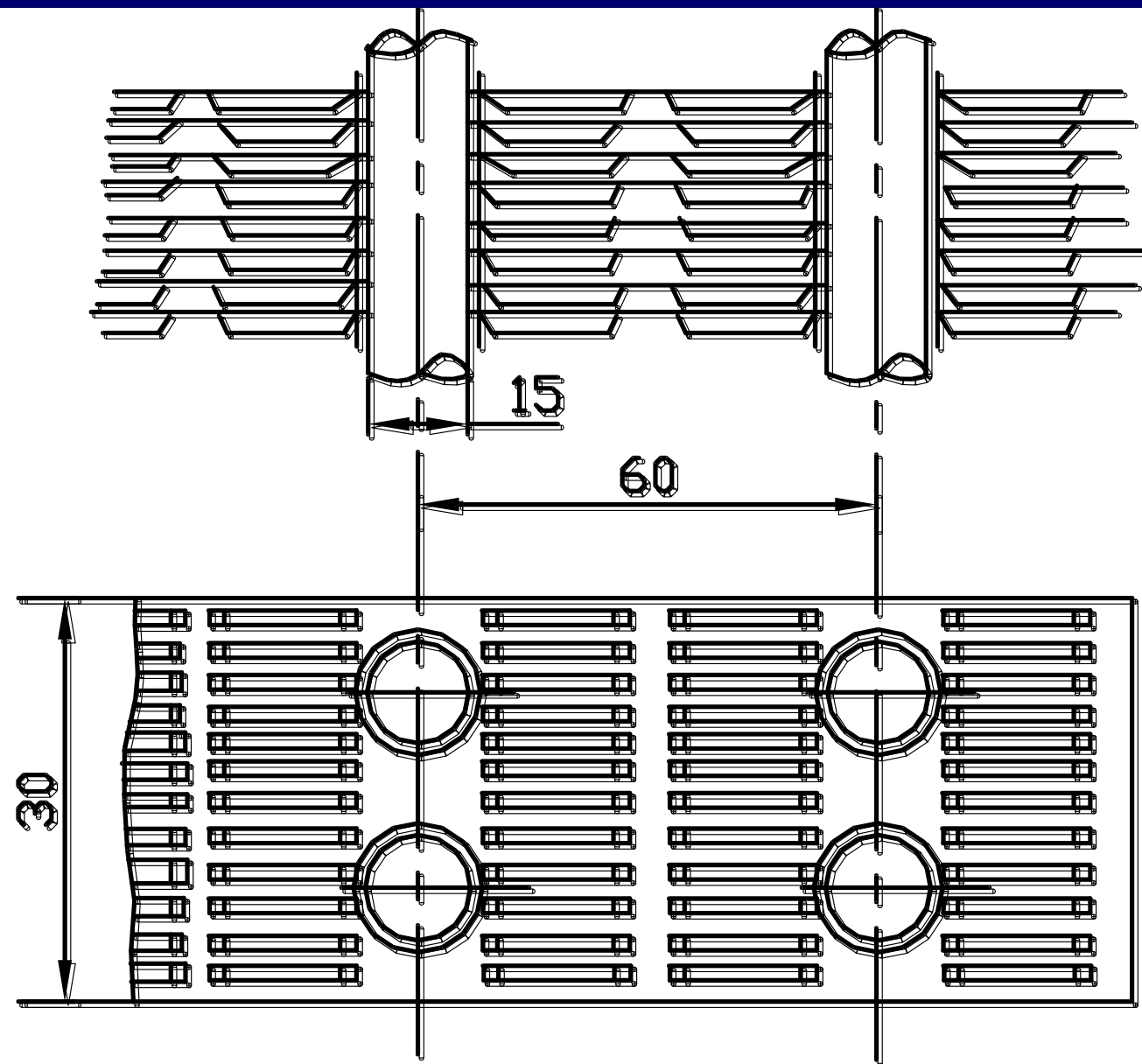


图6-41  
板式翅片结构

**板式翅片**——板式翅片上各局部位位置的换热强弱存在着很大差异，板式翅片传热受到雷诺数、管排数、翅片间距和管间距的影响。



### 槽带板式翅片——

槽带板式翅片已广泛应用于空调工业, 以及干式冷却塔的空气冷却器中。

图6-42 槽带板式翅片



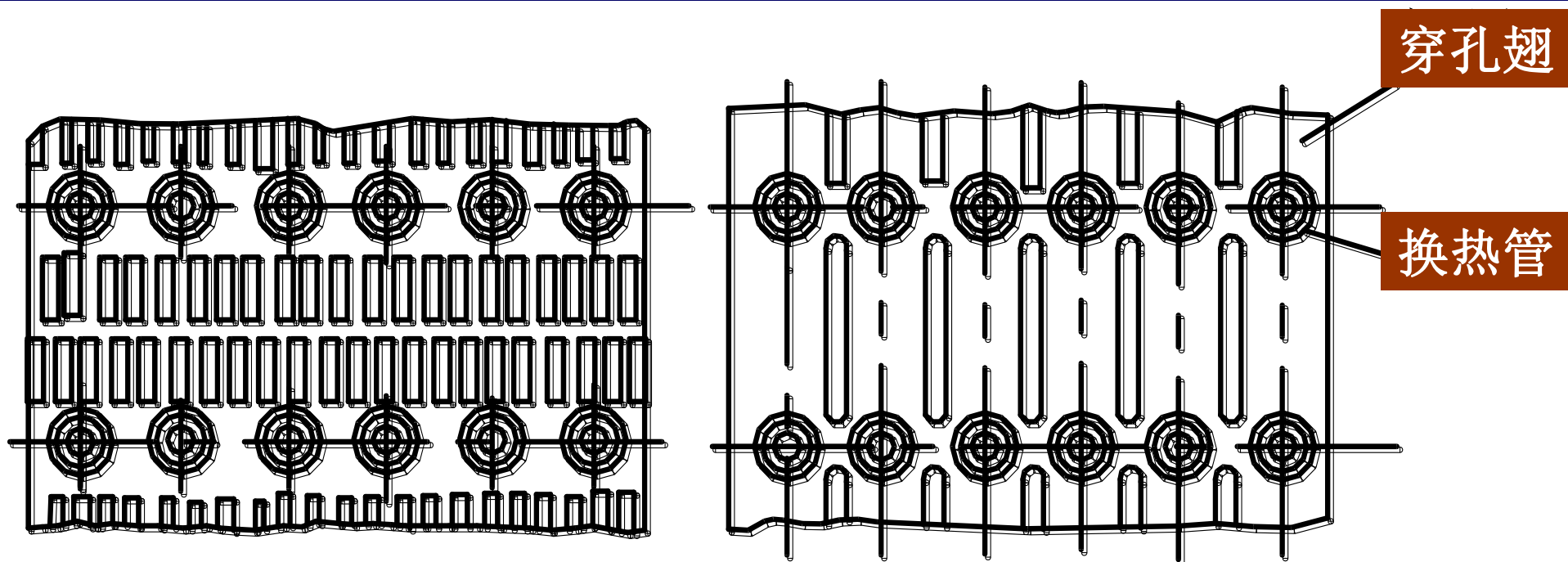


图6-43 穿孔翅片结构

**穿孔翅片**——增加对流传热膜系数而流动阻力增加不大。

## (4) 其他形状换热管



缩放管

螺纹管

波纹管

## (5) 内插件强化传热

在换热管内加入某种形式的内插强化元件是管式换热器强化管程单相流体传热的有效措施之一，尤其是强化气体、低雷诺数或高黏度流体传热更为有效。

## 6.3.3 壳程强化传热

目前，换热设备壳程强化传热的途径主要有：

改变管子外形或在管外加翅片，即通过管子形状或表面性质的改变来达到强化传热目的，如采用螺纹管、外翅片管等；

改变壳程挡板或管束支承结构，使壳程流体流动形态发生变化，以减少或消除壳程流动与传热的滞留死区，使换热面积得到充分利用。

## (1) 改变壳程挡板结构

### 传统的单弓形折流板支承局限——

壳程流体易产生流动死区，换热面积无法充分利用，因而壳程传热系数低、易结垢、流体阻力大。且当流体横向流过管束时，还可能引起管束流体诱导振动。

### 新型——

多弓形折流板、整圆形板、异形孔板、网状整圆形板等。它们的特点是尽可能将原折流板的流体横向流动变为平行于换热管的纵向流动，以消除壳程流体流动与传热的死区，达到强化传热的目的。

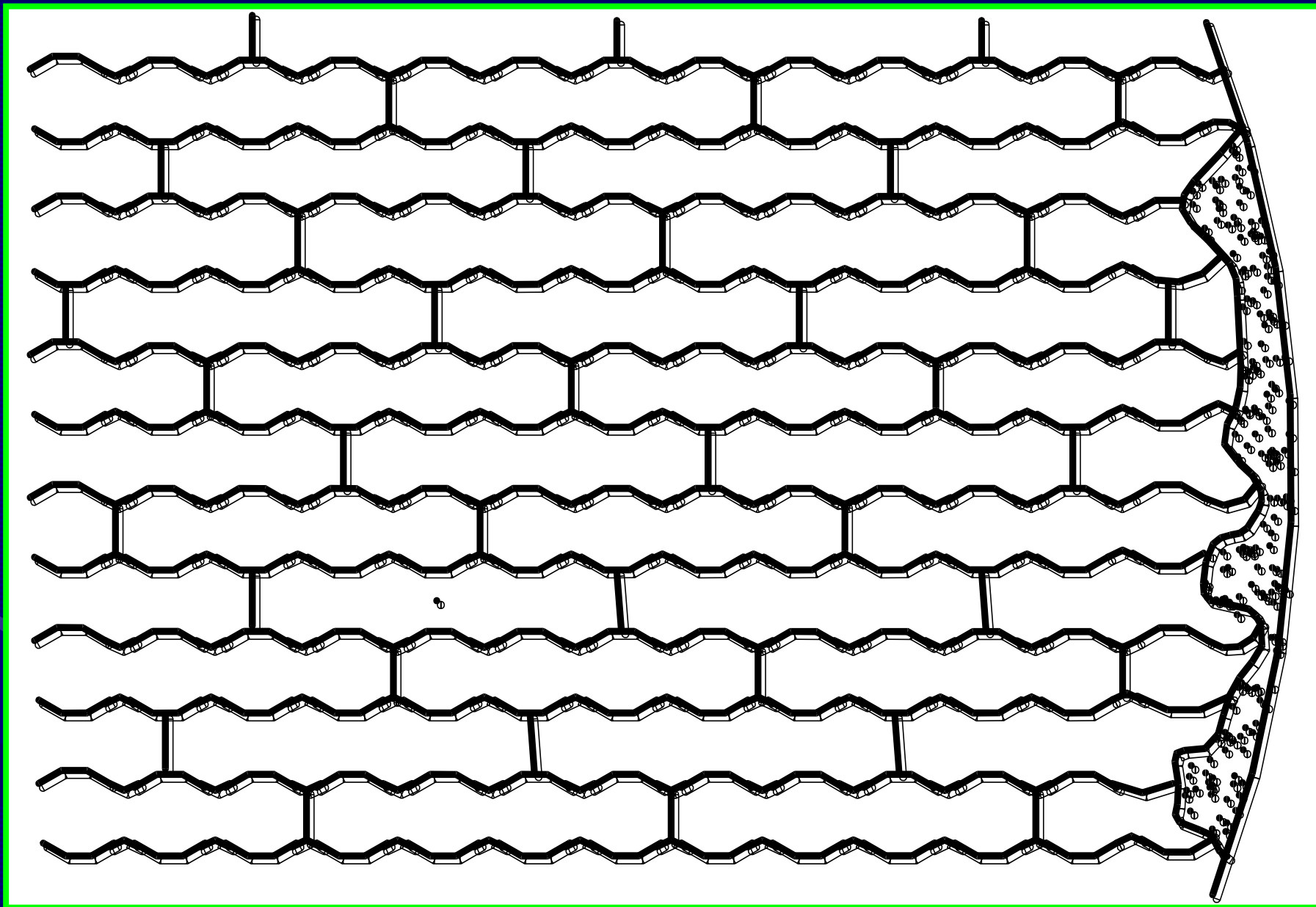
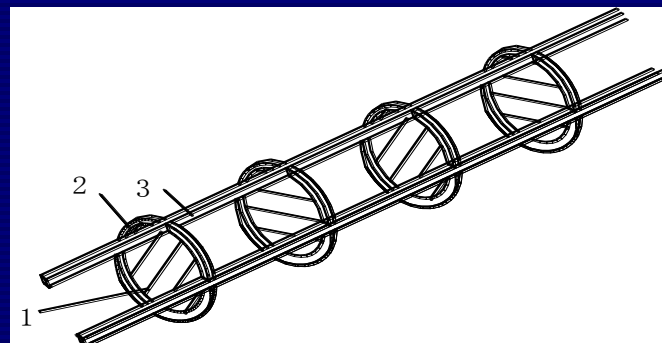


图6-45 网状整圆形折流板

## (2) 改变管束支承结构



### a. 杆式支承结构

将管壳式换热器中的折流板改成杆式支承结构，具有许多优点

- (1) 使换热器壳程流体的流动方向主要呈轴向流动，消除了弓形折流板造成的传热死区。
- (2) 由于壳程介质为轴向流动，没有弓形折流板那么多转向和缺口处的节流效应，因而流动阻力比较小，一般为传统弓形折流板的50%以下，达到了节能的效果。

(3) 结垢速率变慢，延长了操作周期。

---

(4) 消除了弓形折流板造成的局部腐蚀和磨损（或切割）破坏，改善了换热管的支撑情况和介质的流动状态，消除或减少了因换热管的振动而引起管子的破坏，延长了换热器的使用寿命。

由于折流杆换热器壳程流体为纵向流动，因此折流杆换热器适合在高雷诺数（或高流速）下运行；在中低雷诺数下运行强化传热效果不显著，或者无效，甚至比折流板换热器更差，此时可进一步改进换热器结构，例如采用多壳程的折流杆换热器。



**b. 自支承结构**——自支撑结构通过采用自支承管，如刺孔膜片管、螺旋扁管和变截面管来简化管束约束，提高换热器的紧凑度。

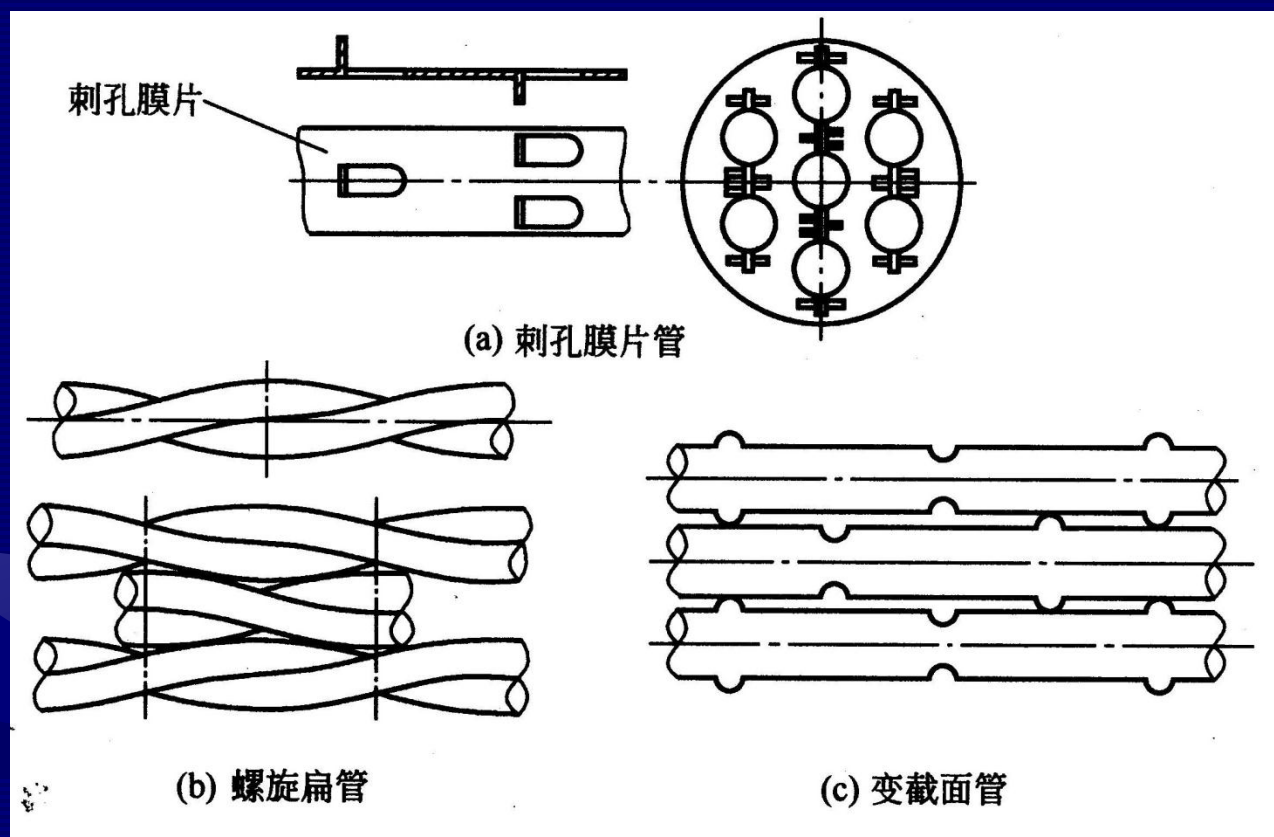


图6-46 自支承管及其自支承结构

**c.螺旋折流式支承结构**——螺旋折流板是圆截面的折流板互相形成一种特殊的螺旋形结构，每个折流板与壳程流体的流动方向成一定角度，使得壳程流体沿着折流板做螺旋运动。

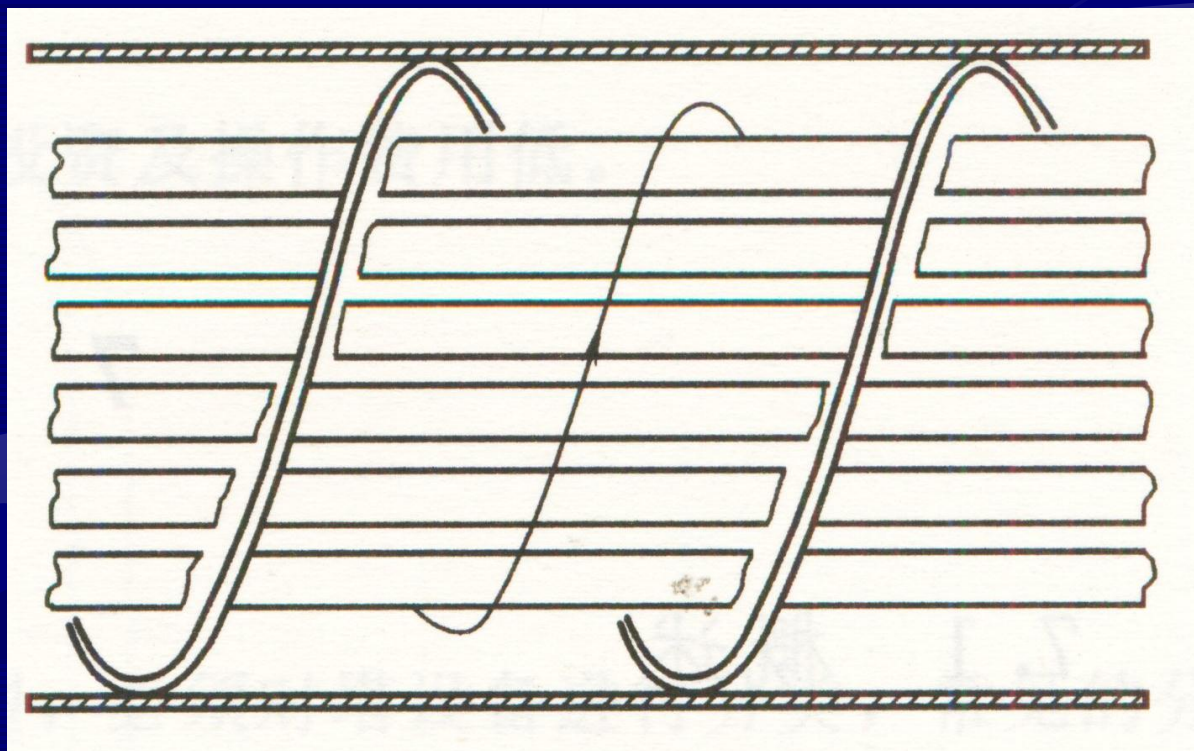


图6-47 螺旋折流式支承