第十章

传热过程分析
与换热器热计算

§ 10-1 传热过程的分析和计算

传热过程：高温流体通过固体壁面把热量传给低温流体的过程.

传热量计算：

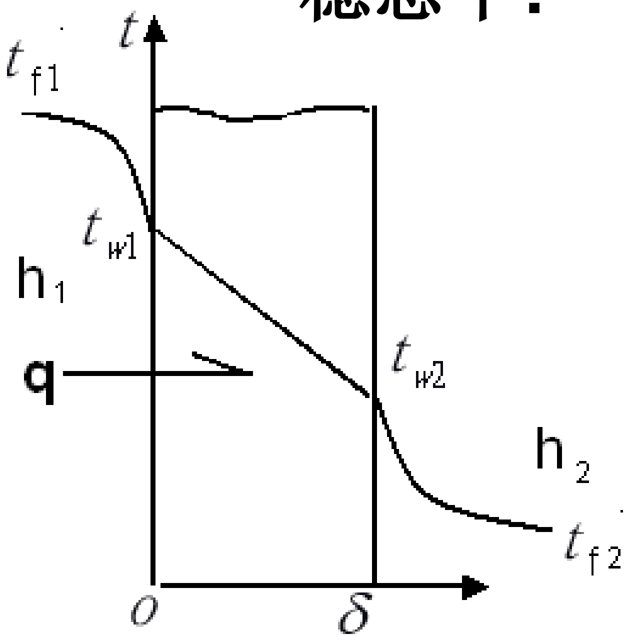
$$\Phi = kA\left(t_{f1} - t_{f2}\right)$$

一、传热系数的计算

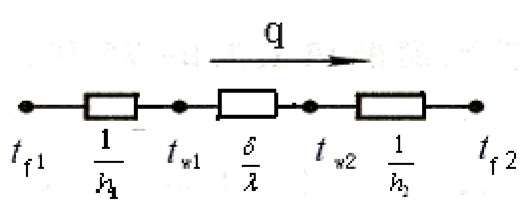
1.通过平壁的传热

稳态下：

$$\Phi = \frac{(t_{f1} - t_{f2})A}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} = kA(t_{f1} - t_{f2}) \quad (W)$$



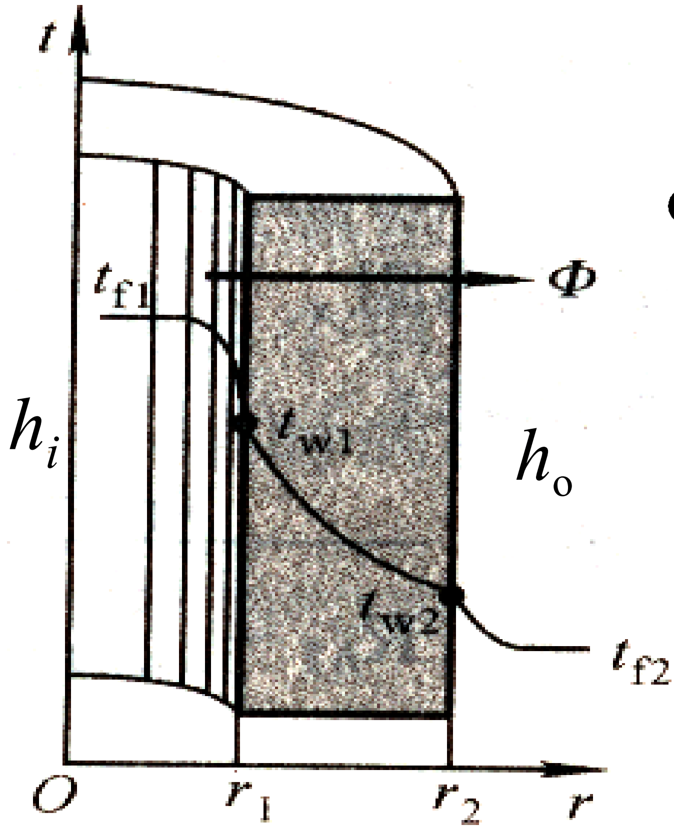
$$\therefore k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} \qquad (W/m^2 \cdot K)$$



A两侧相同，∴k也两侧相同

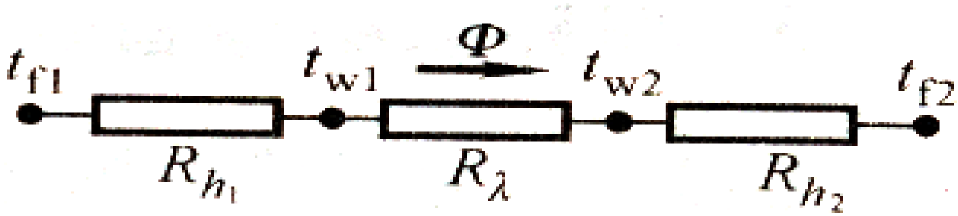
2.通过圆管的传热

稳态下，总热流量是不变的。



$$\Phi = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{h_i \pi d_i l} + \frac{1}{2\pi\lambda l}\ln\frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{h_o \pi d_o l}}$$

$$= k_0 \pi d_0 l (t_{f1} - t_{f2}) \quad (W)$$



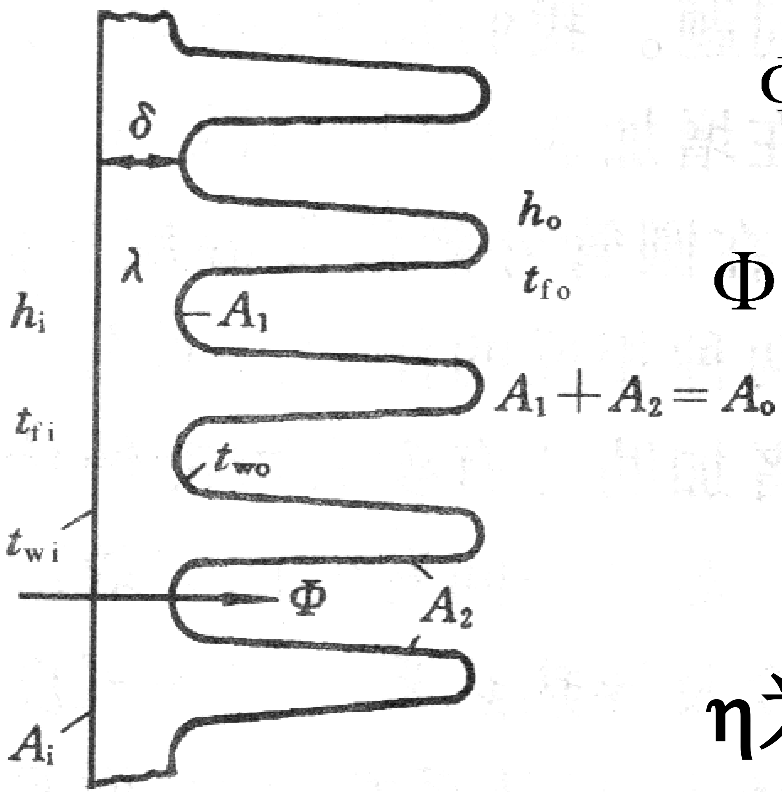
$$\Phi = k_0 \pi d_0 l (t_{f1} - t_{f2}) \qquad (W)$$

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{h_i} \cdot \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o}{2\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{h_o}} \qquad (W / m^2 \cdot K)$$

$$\Phi = k_i \pi d_i l (t_{f1} - t_{f2}) \qquad (W)$$

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{d_i}{2\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{h_o} \frac{d_i}{d_o}} \qquad (W / m^2 \cdot K)$$

3.通过肋壁的传热



$$\Phi = h_i A_i \left(t_{fi} - t_{wi}\right)$$

$$\Phi = \frac{\lambda}{\delta} A_i \left(t_{wi} - t_{wo}\right)$$

$$\Phi = h_o A_1 \left(t_{wo} - t_{fo}\right) + h_o \eta_f A_2 \left(t_{wo} - t_{fo}\right)$$

$$= h_0 \eta A_0 (t_{w0} - t_{f0})$$

η为肋面总效率：

$$\eta = \frac{A_1 + A_2 \eta_f}{A_0}$$

$$\Phi = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\delta}{\lambda A_i} + \frac{1}{h_o A_0 \eta}}$$

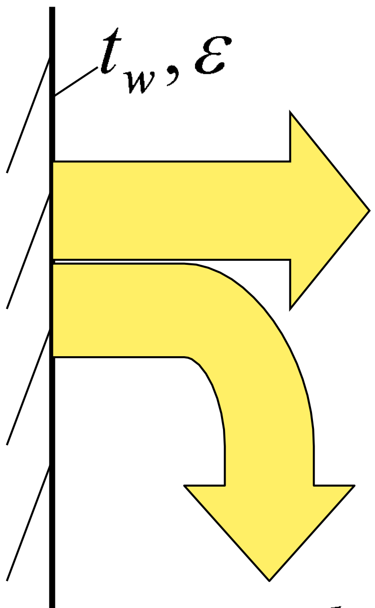
则以光壁为基准的*传热系数*:

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_o \eta \ \beta}}$$

定义*肋化系数:* $\beta = A_o / A_i \quad \text{Q}\ \beta > 1, \quad \therefore \eta\beta > 1$

$$\therefore k$$

§ 10-2 复合换热时的传热计算



t_w, ε

$$q_c = h_c\left(t_w - t_f\right) \quad (W/m^2)$$

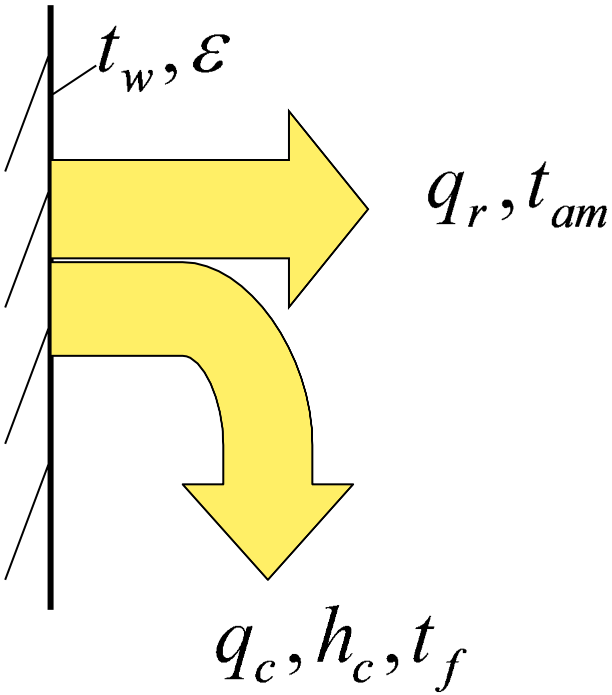
q_r, t_{am}

$$q_r = \varepsilon C_b[(\frac{T_w}{100})^4 - (\frac{T_{am}}{100})^4] \quad (W/m^2)$$

q_c, h_c, t_f

$$= \left\{\varepsilon C_b \frac{[(\frac{T_w}{100})^4 - (\frac{T_{am}}{100})^4]}{t_w - t_f}\right\}(t_w - t_f)$$

$$= h_r(t_w - t_f)$$



$$q = q_c + q_r = (h_c + h_r)\left(t_w - t_f\right)$$

$$= h\left(t_w - t_f\right)$$

§ 10-3 换热器的型式和基本构造

一、分类

1. 按结构型式分:

1) 间壁式：冷、热流体被固体壁面隔开。

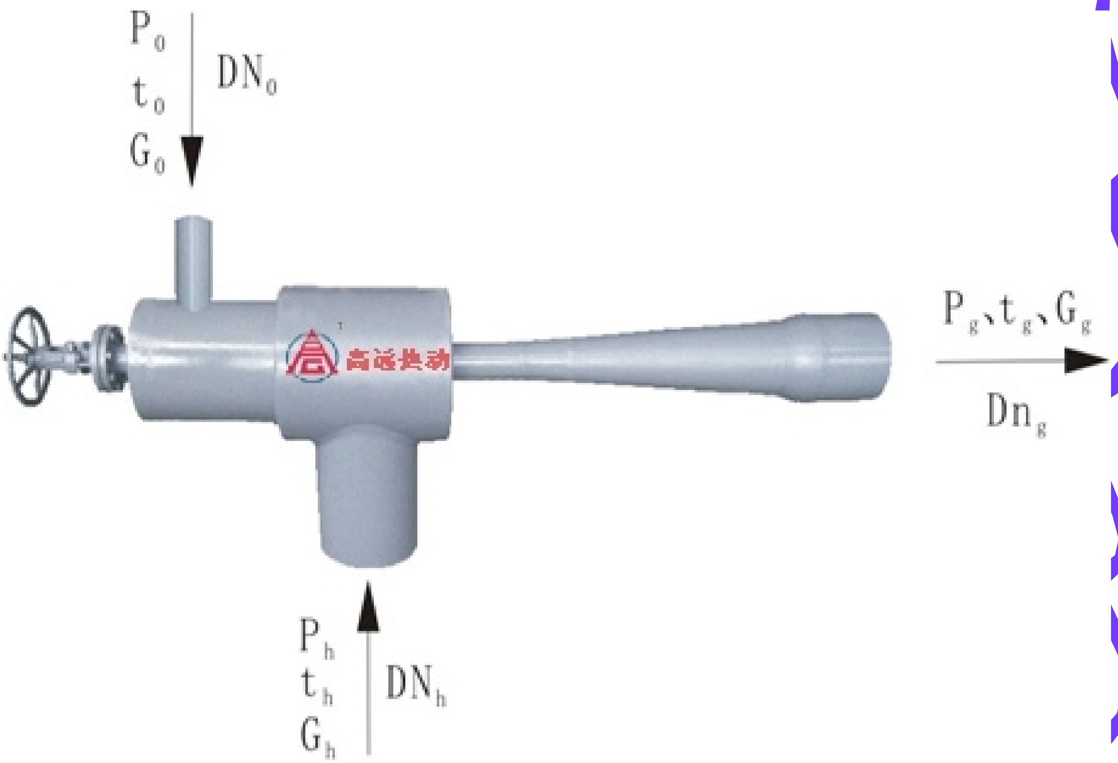
如：暖风机、冷凝器、蒸发器等。

暖风机

风冷冷凝器

2) 混合式：冷、热流体互相混合。

如：喷淋式冷却塔、蒸汽喷射器。



3) 蓄热式(回转式)：冷、热流体交替流过壁面，壁面周期性地吸热和放热，壁面除了换热，还有蓄热作用。

如：电站锅炉中的回转式空气预热器。

2. 按流动方式分：

1) 顺流：冷、热流体平行、同向流动。

热流体 ⟶

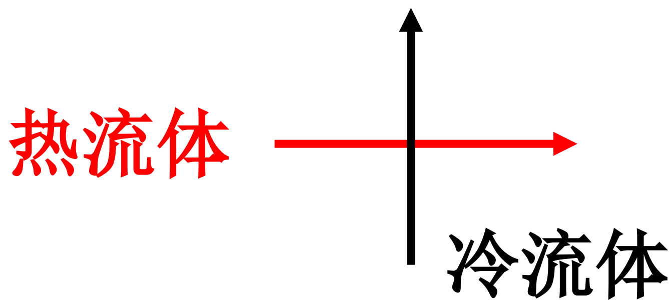
冷流体 ⟶

2) 逆流：冷、热流体平行、反向流动。

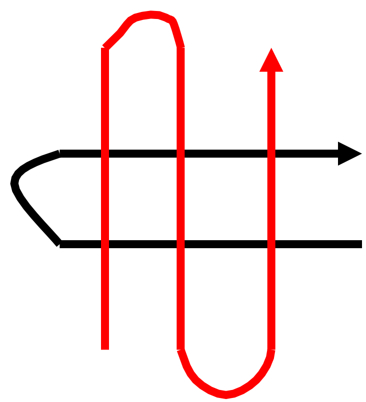
热流体 ⟶

冷流体 ⟵

3)交叉流：彼此垂直交叉流动。



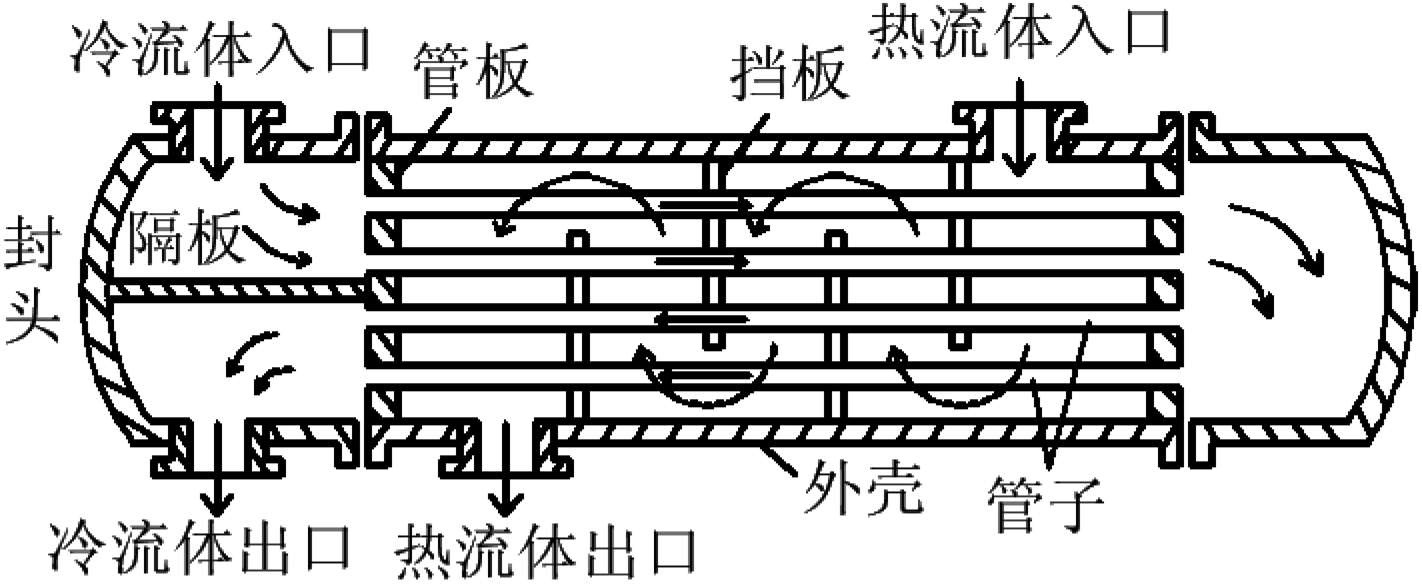
4)混合流：多种流动的混合。

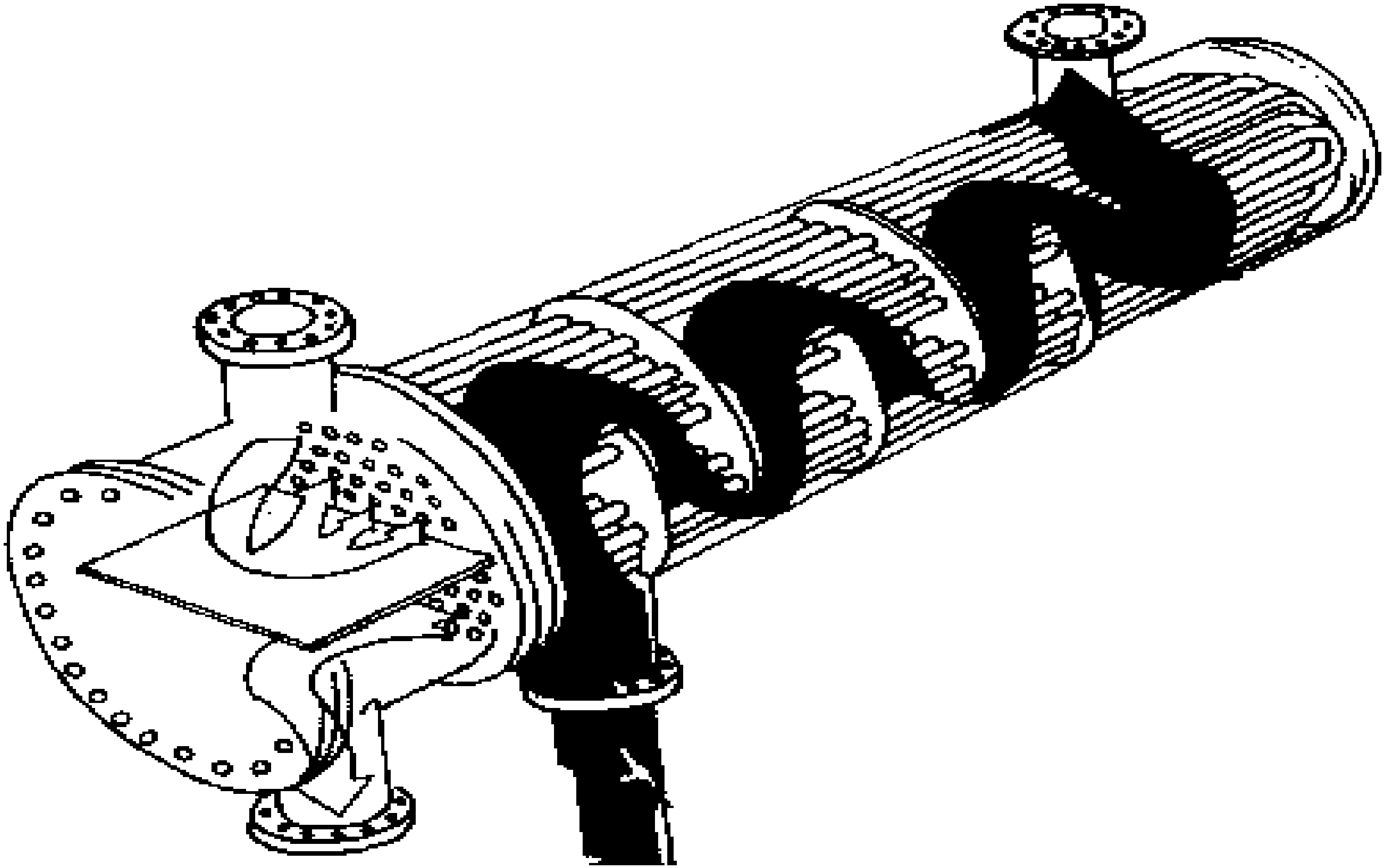


二、换热器的基本构造

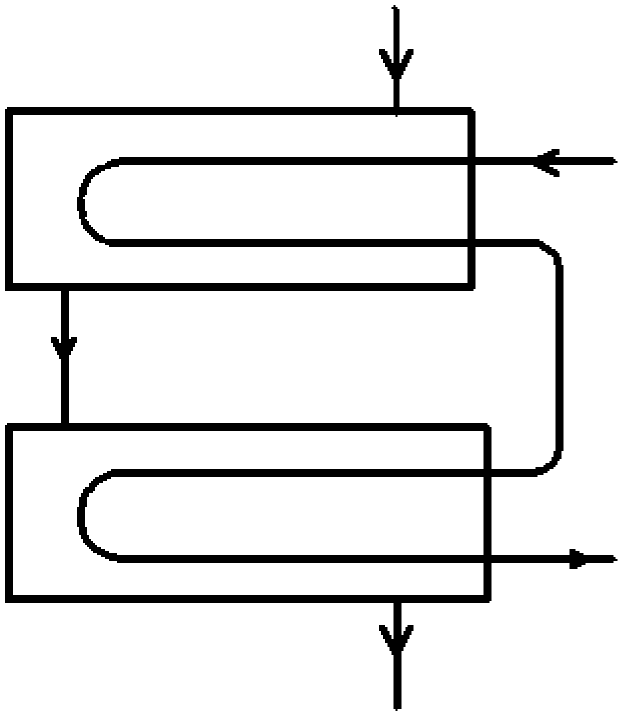
主要讨论间壁式换热器（应用最广）

1.管壳式换热器



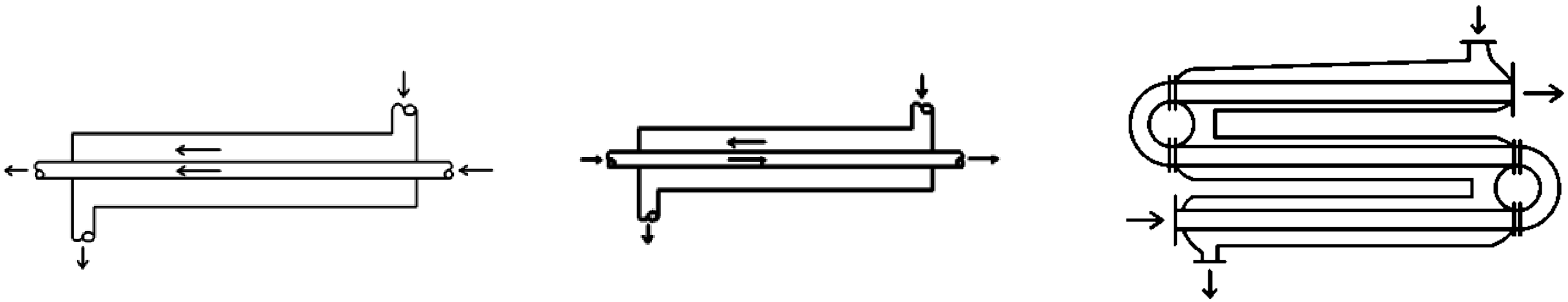


2-1型换热器

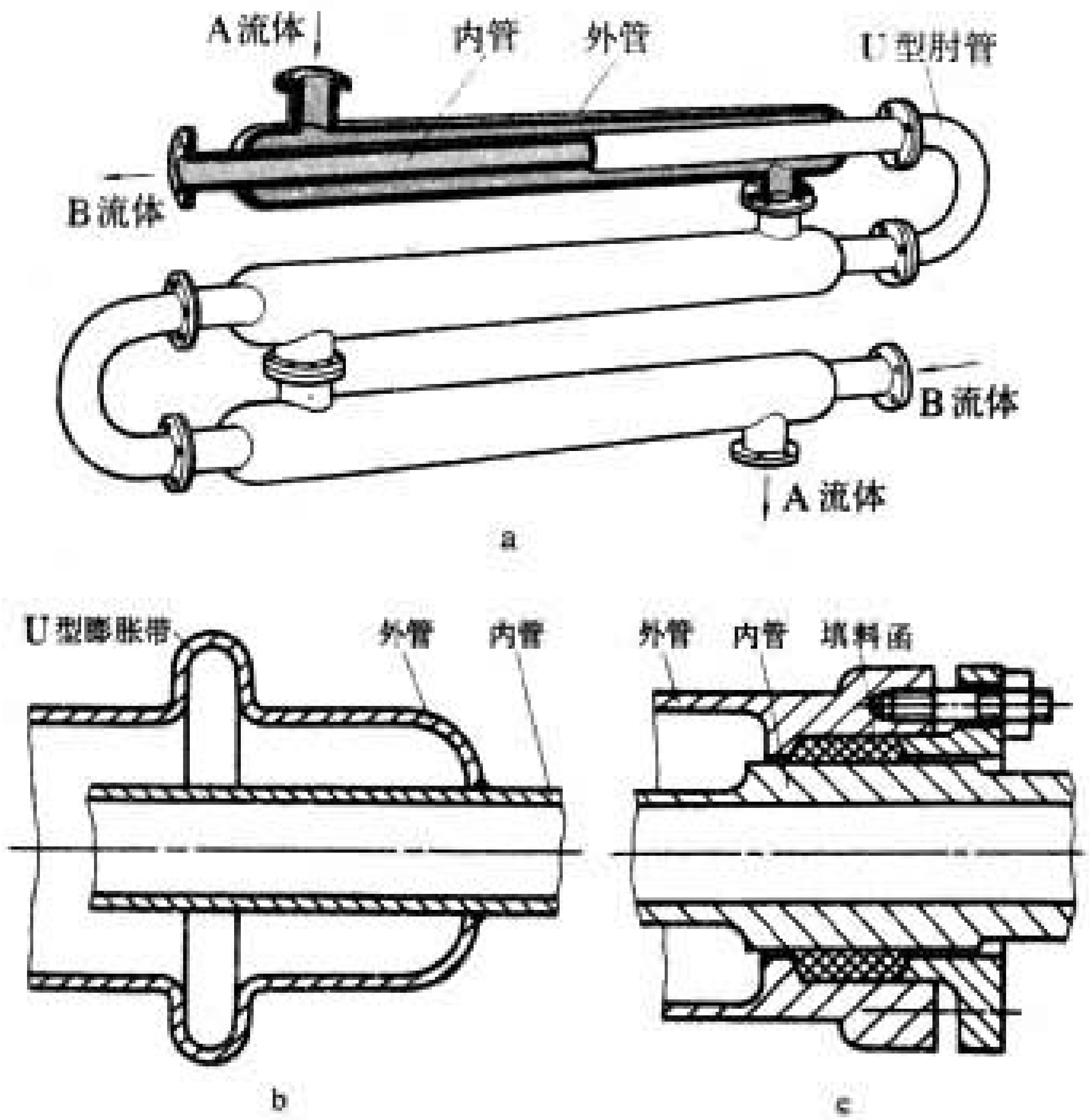


4-2型换热器(4管程2壳程)

2. 套管式换热器



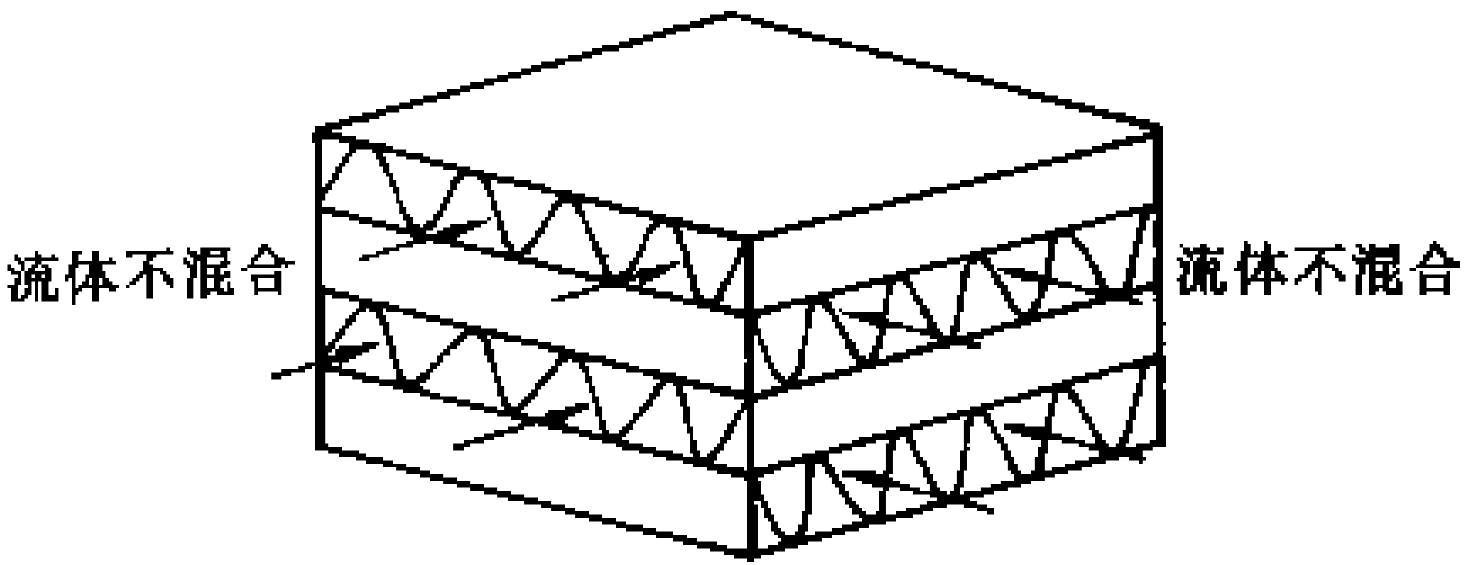
适用于传热量不大或流体流量不大的情形。



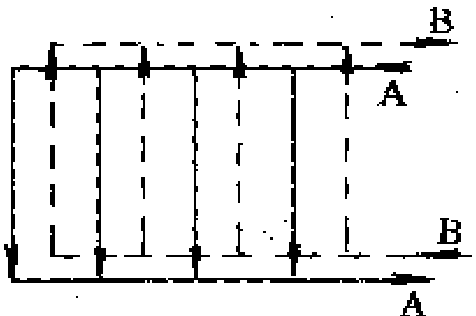
套管式换热器的结构

3．交叉流换热器

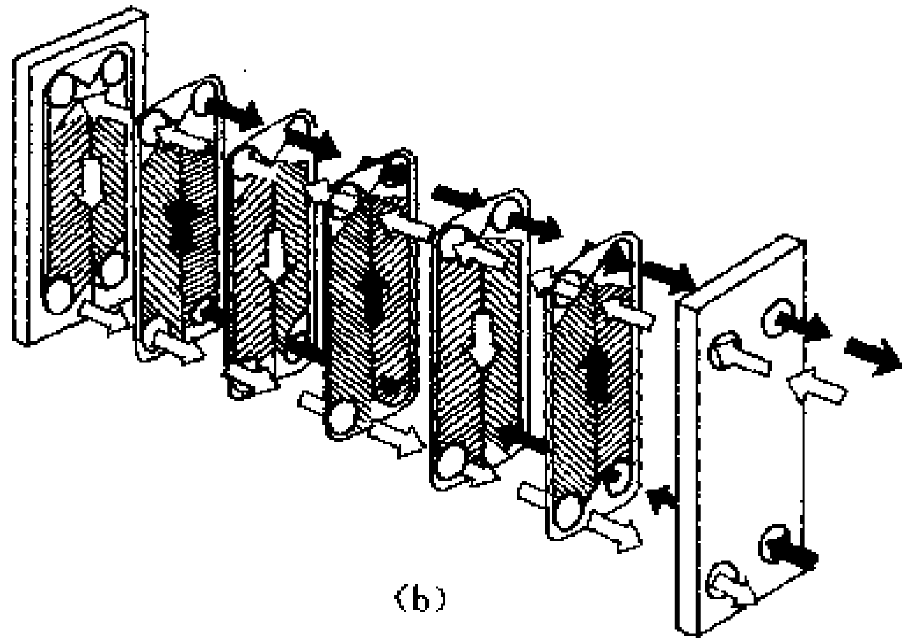
它是间壁式换热器的又一种主要型式。根据换热表面结构的不同又可有管束式、管翅式及板翅式等的区别 。



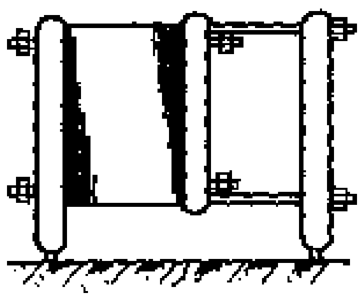
4. 板式换热器



(a)



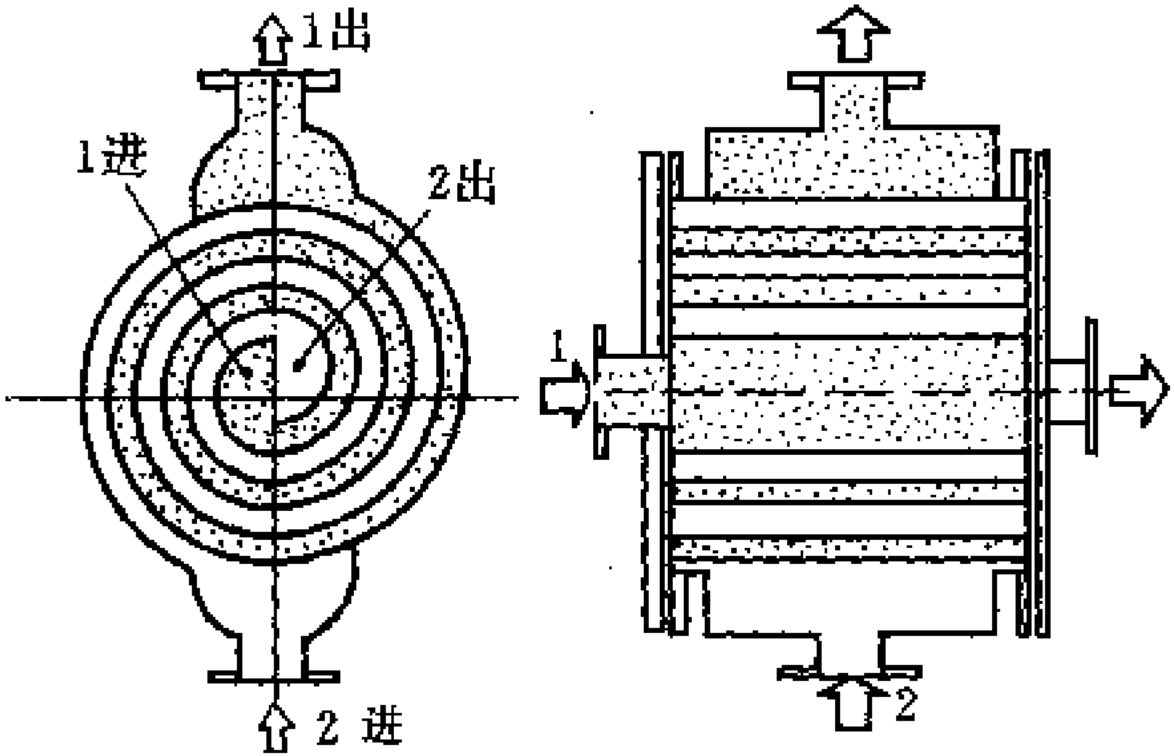
(b)

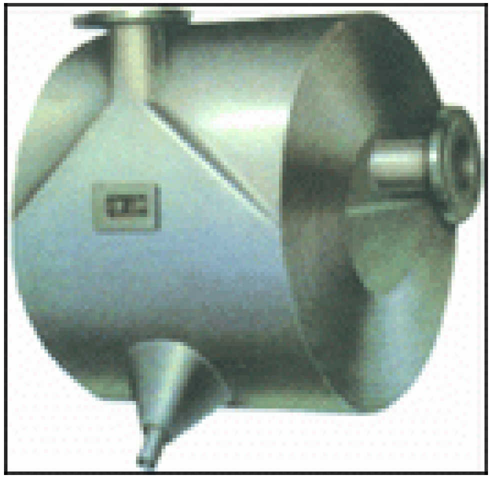


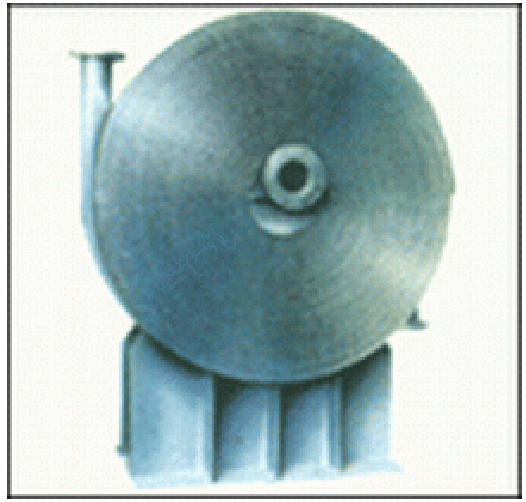
(c)

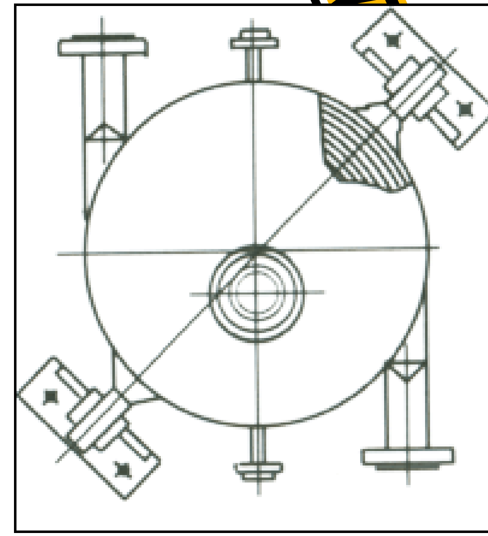
5. 螺旋板式换热器

这种换热器换热效果较好，缺点是换热器的密封比较困难。

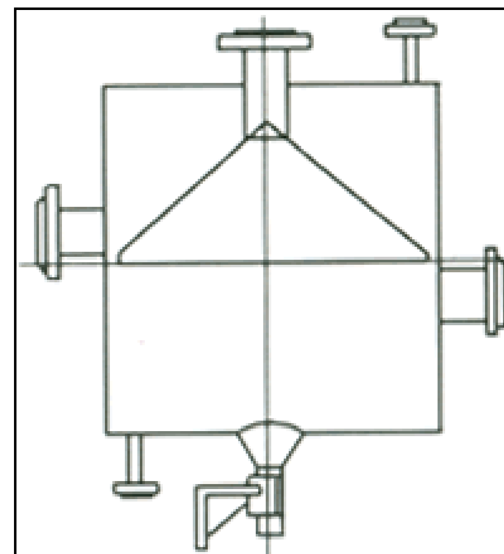








不可拆式（I型）



可拆式（II型）

§10-4 平均温差

传热方程的一般形式： $\Phi = KA\Delta t_m$

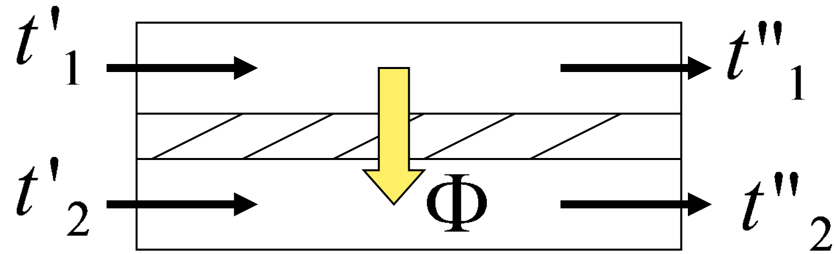
一. 顺流

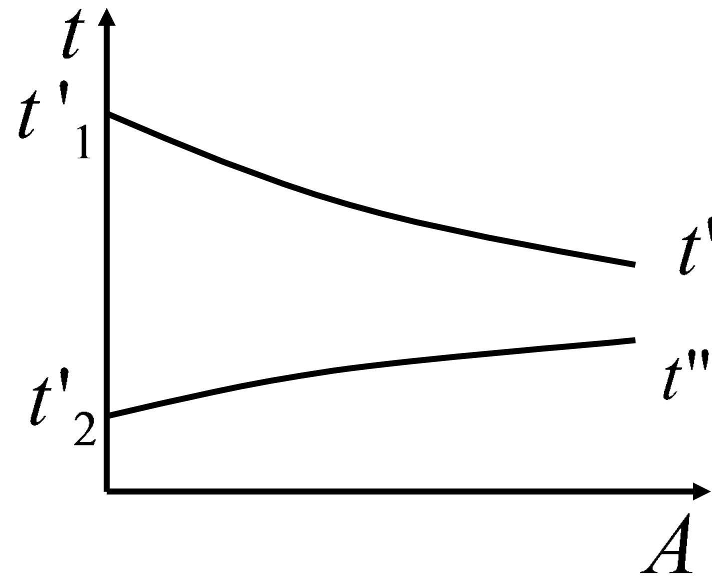
入口用“ ′ ”,出口用“ ″ ”

热流体:由 $t'_1 \searrow t''_1$

冷流体:由 $t'_2 \nearrow t''_2$

即冷、热流体的温差沿换热面是变化的.





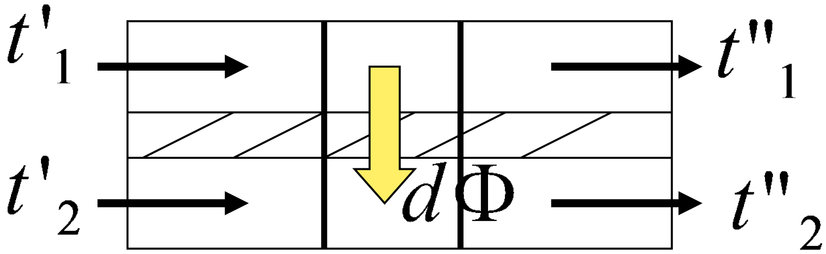
假设：

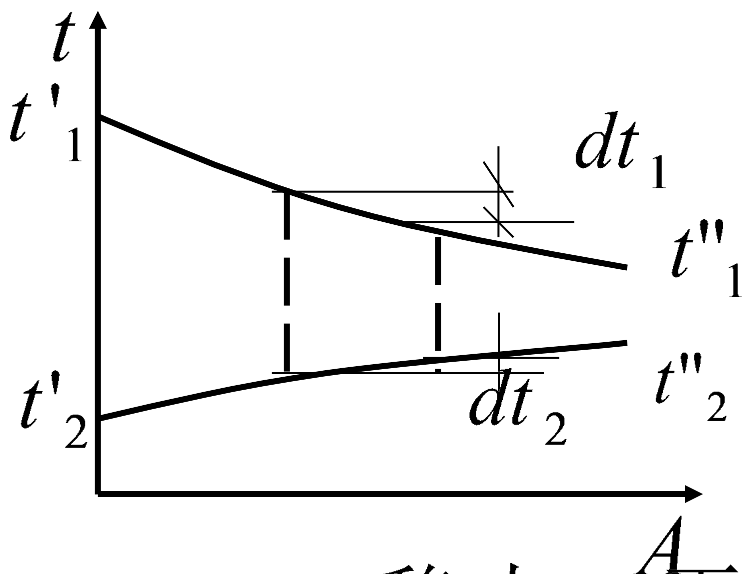
（1）质量流量M_1、M_2，比热容c_1、c_2为常数；

（2）传热系数K为常数；

（3）换热器无散热损失；

（4）换热面沿流动方向的导热量可以忽略不计。





传热方程：

$$d\Phi = K \cdot \Delta t \cdot dA \quad (a)$$

热平衡方程：

热流体 $d\Phi_1 = -M_1 c_1 dt_1 \quad (b)$

冷流体 $d\Phi_2 = M_2 c_2 dt_2 \quad (c)$

稳态、无散热 $d\Phi = d\Phi_1 = d\Phi_2$

冷、热流体温差 $\Delta t = t_1 - t_2 \quad (d)$

对式（d）微分，得

$$d(\Delta t) = dt_1 - dt_2$$

$$= -(\frac{1}{M_1 c_1} + \frac{1}{M_2 c_2}) d\Phi$$

$$= -(\frac{1}{M_1 c_1} + \frac{1}{M_2 c_2}) K \cdot \Delta t \cdot dA$$

分离变量，并积分

$$\int_{\Delta t'}^{\Delta t_x} \frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = -\int_0^{A_x} (\frac{1}{M_1 c_1} + \frac{1}{M_2 c_2}) K \cdot dA$$

$$\ln\frac{\Delta t_x}{\Delta t'} = -K\cdot\left(\frac{1}{M_1c_1}+\frac{1}{M_2c_2}\right)\cdot A_x$$

$$\therefore \Delta t_x = \Delta t'\cdot e^{-K\cdot\left(\frac{1}{M_1c_1}+\frac{1}{M_2c_2}\right)\cdot A_x}$$

温差沿换热面按对数曲线变化

出口： $A_x = A$ ， $\Delta t_x = \Delta t''$

$$\therefore \frac{\Delta t''}{\Delta t'} = e^{-K\cdot\left(\frac{1}{M_1c_1}+\frac{1}{M_2c_2}\right)\cdot A}$$

$$\Phi = KA\Delta t_m = \int_0^A K\Delta t_x dA$$

$$\therefore \Delta t_m = \frac{1}{A}\int_0^A \Delta t_x dA$$

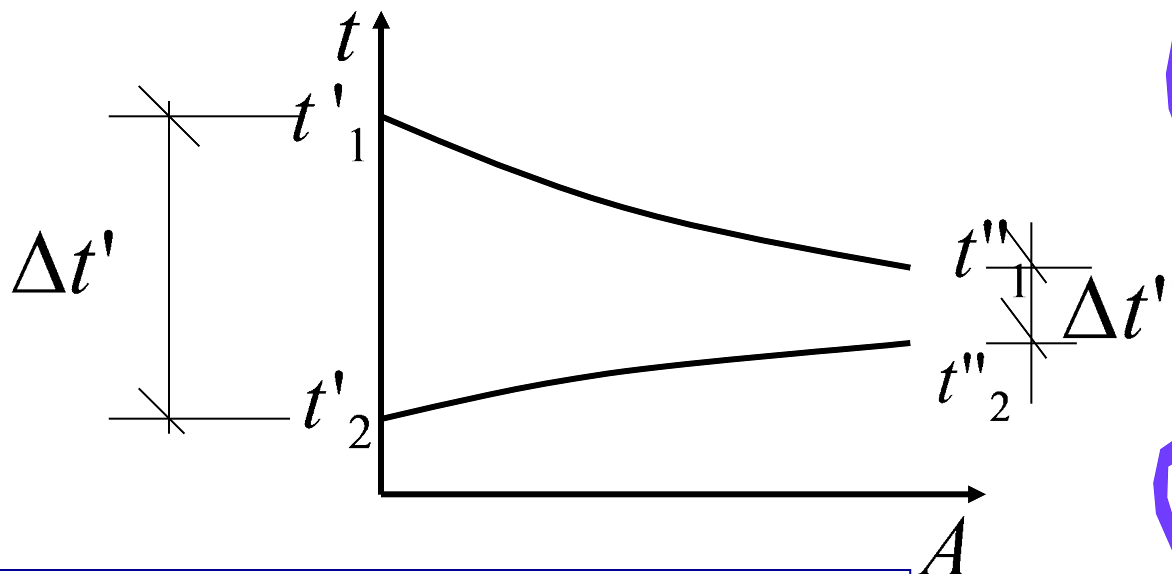
$$= \frac{1}{A}\int_0^A \Delta t' \cdot e^{-K\cdot(\frac{1}{M_1c_1}+\frac{1}{M_2c_2})\cdot A_x} dA$$

$$= \frac{\Delta t'' - \Delta t'}{\ln\frac{\Delta t''}{\Delta t'}}$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln\dfrac{\Delta t'}{\Delta t''}} = \frac{端差大的 - 端差小的}{\ln\dfrac{大}{小}}$$

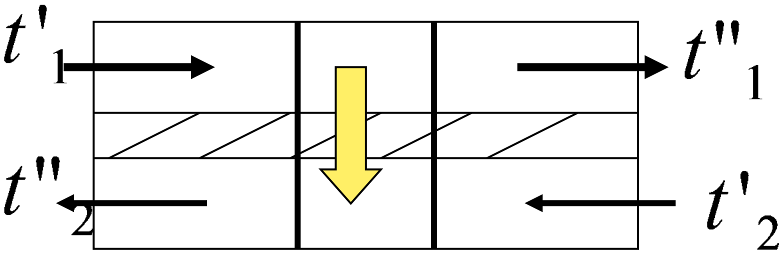
$$\Delta t' = t'_1 - t'_2$$

$$\Delta t'' = t''_1 - t''_2$$



端差是冷、热两种流体的温差

二. 逆流

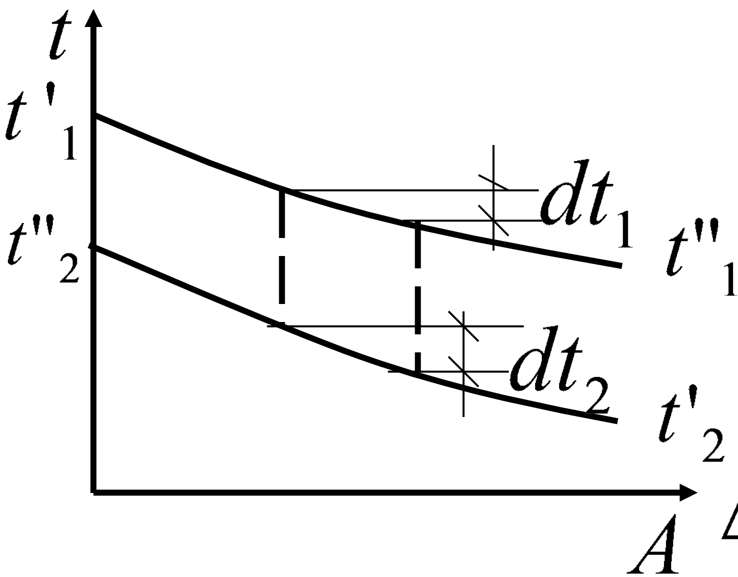


$$d\Phi = K \cdot \Delta t \cdot dA \quad (a)$$

热流体 $d\Phi_1 = -M_1 c_1 dt_1 \quad (b)$

冷流体 $d\Phi_2 = -M_2 c_2 dt_2 \quad (c)$

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad (d)$$



$$\Delta t_m = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \dfrac{\Delta t'}{\Delta t''}} \qquad \begin{cases} \Delta t' = t'_1 - t''_2 \\ \Delta t'' = t''_1 - t'_2 \end{cases}$$