

6 传热

6.1概述

6.1.1传热过程冷热流体接触方式



直接式



间壁式



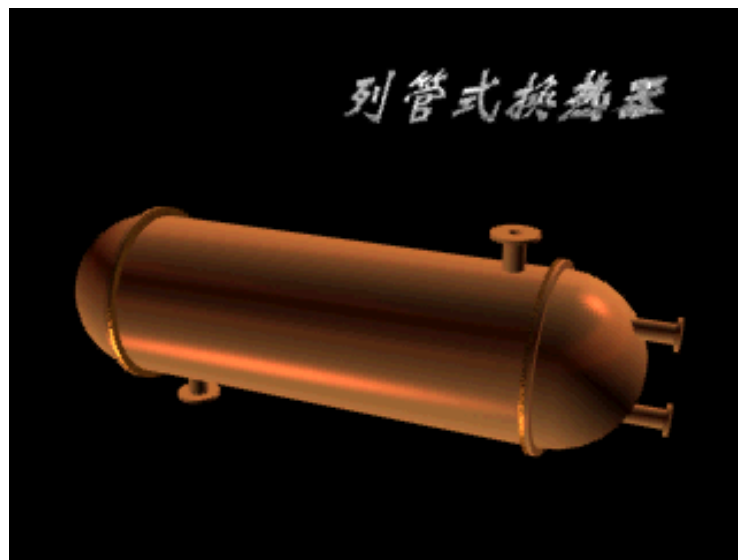
蓄热式

6.1.2 关于热量的基本概念

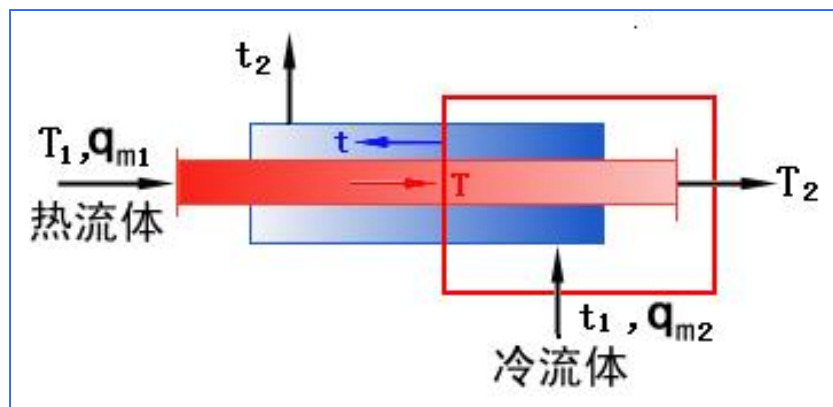
热负荷 Q_L (J/s)



动画



动画



$$Q_L = (q_m c_p)_1 (T_1 - T_2)$$

工艺要求，
是同种流体的温升、温降。

传热量 Q (J/s)

单位时间内，热流体通过整个换热器的传热面传递给冷流体的热量。

热流密度 q (J/m².s)

单位时间、通过单位传热面积所传递的热量。

$$q = \frac{dQ}{dA}$$

显然，一个能满足工艺要求的换热器应

$$Q=Q_L$$

Q ， q 是两种流体之间的换热，其传热推动力是
($T-t$)

传热机理：传导，对流，辐射

6.2 热传导

起因于物体内部分子微观运动的一种传热方式。

6.2.1 傅立叶定律

宏观规律： $q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}$

$\frac{\partial t}{\partial n}$ —法向温度梯度

$t=f(x,y,z, \tau)$

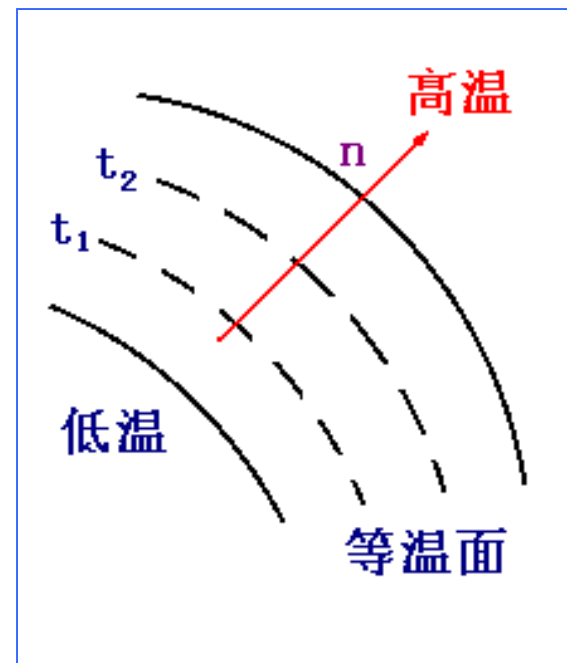
导热系数 λ : $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

λ 愈大，导热愈快。

注意：

1、 λ 与 μ 一样是分子微观运动的宏观表现。

2、 $\lambda_{\text{金属}} > \lambda_{\text{液体}} > \lambda_{\text{气体}}$



3、温度升高时，

$\lambda_{\text{液}}$ 下降，但水明显例外 (p175, 图6-4)

$\lambda_{\text{气}}$ 上升， (p175, 图6-5)

6.2.2 单层壁传热

热量衡算：进=出+累积

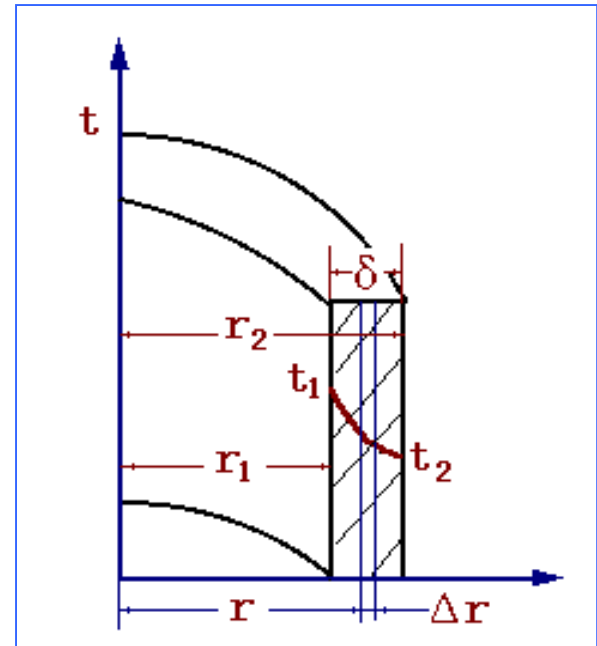
$$Q_{\text{入}} = Q_{\text{出}} + \frac{\partial Q}{\partial \tau}$$

定态： $\frac{\partial Q}{\partial \tau} = 0$ $Q=Q'$, $q \neq q'$

即： $Q = qA = q'A'$

一维传热： $q = -\lambda \frac{dt}{dr}$

$$\therefore Q = -\lambda \frac{dt}{dr} (2\pi r L)$$



$$\frac{Q}{2\pi\lambda L} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = - \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$\therefore Q = \frac{2\pi L \lambda (t_1 - t_2)}{\ln(r_2 / r_1)} = \frac{(t_1 - t_2)}{\frac{(r_2 - r_1) \ln(r_2 / r_1)}{2\pi L (r_2 - r_1) \lambda}}$$

写成通式：

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\delta / \lambda A_m} = \frac{\Delta t}{\Delta R} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}}$$

其中：

$$A_m = \frac{A_2 - A_1}{\ln(A_2 / A_1)}$$

讨论：

平壁：

$$A_m = A$$

球壁：

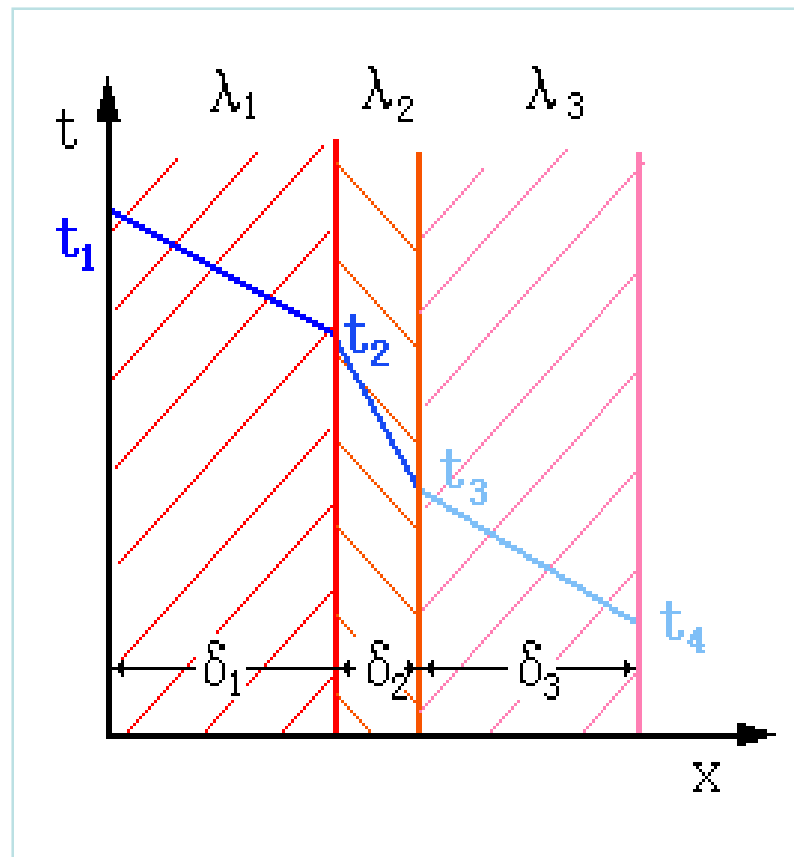
$$A_m = \sqrt{A_1 A_2}$$

6.2.3 多层壁传热

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1 A_{m1}}} = \frac{t_2 - t_3}{\frac{\delta_2}{\lambda_2 A_{m2}}} = \frac{t_3 - t_4}{\frac{\delta_3}{\lambda_3 A_{m3}}}$$
$$= \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1 A_{m1}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2 A_{m2}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3 A_{m3}}}$$

通式：

$$Q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta}{\lambda A_m} \right)_i}$$



(1) 通式表示含义：速率 = $\frac{\text{总推动力}}{\text{总热阻}} = \frac{\text{某层推动力}}{\text{某层热阻}}$

(2) 层与层之间密切接触时，不存在空隙。如接触处有空隙时，由于有空气，而 $\lambda_{\text{气}} < \lambda_{\text{金属}}$ ，增加了接触热阻，往往成为控制因素。

例：已知蒸汽管道外径 $\phi = 150\text{mm}$ ，外壁温度 $t_0 = 180^\circ\text{C}$ ， $\lambda = 0.013 + 0.000198t$ ($t: ^\circ\text{C}$)，保温层外壁温度 $t_1 = 50^\circ\text{C}$ ，冷凝量 $w = 1 \times 10^{-4}\text{kg/m} \cdot \text{s}$ 。

求：保温层厚度 δ

解： $Q_L = wr$

查 180°C 水 $r = 2019\text{kJ/kg}$

$$\therefore Q/L = 1 \times 10^{-4} \times 2019 = 202\text{W/m}$$

对于圆筒壁：

$$\therefore Q = \frac{\Delta t}{\frac{\delta}{\lambda A_m}} = \frac{2\pi L \lambda (t_1 - t_2)}{\ln(r_2 / r_1)}$$

$$r_1 = 75 \text{ mm}, r_2 = r_1 + \delta = (75 + \delta) \text{ mm}$$

$$\text{保温层平均温度: } t_m = \frac{1}{2}(t_0 + t_1) = 115^\circ \text{C}$$

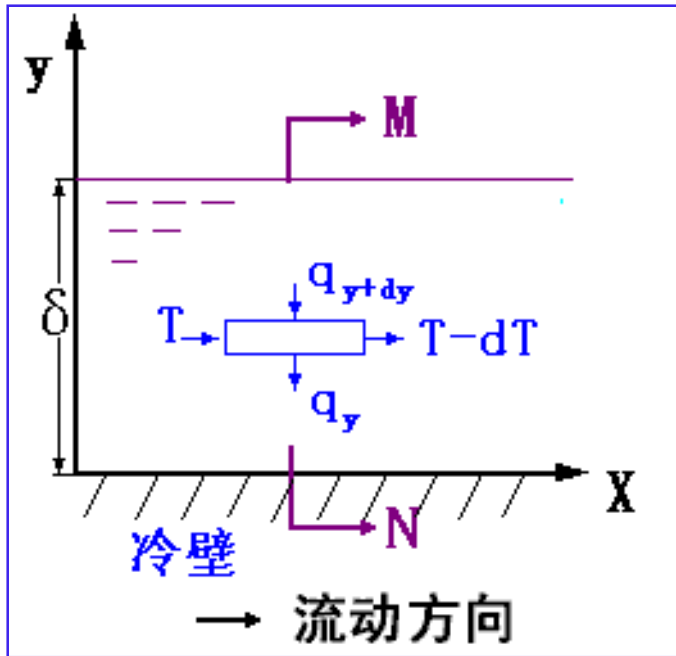
$$\therefore \lambda = 0.013 + 0.000198 t_m = 0.126 \text{ (W/m.K)}$$

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) &= \frac{2\pi \lambda (t_0 - t_1)}{Q / L} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 0.126 \times (180 - 50)}{202} = 0.51 \end{aligned}$$

$$\underline{\therefore \delta = 50 \text{ mm}}$$

6.3 对流给热

6.3.1 流动对传热的贡献



流体被冷却

$$\therefore T > T - dT$$

导致

$$q_y > q_{y+\Delta y}$$

流体沿 x 方向作层流流动的结果，使垂直方向上的热流密度（ q ）随距离 y 的增大而减小，温度梯度 $\frac{dT}{dy}$ 也随之减小。

在温差相同的情况下

$(T_0 - T_w)$ 一定，

流动增加了壁面处的温度梯度，使壁面的热流密度较流体静止时为大。

湍流时曲线更平坦

$(\frac{\partial T}{\partial y})_{y=0}$ 更大， q 更大

一维导热+二维流动，使 $q \uparrow$

6.3.2 两种对流形式

—自然对流与强制对流

1、自然对流

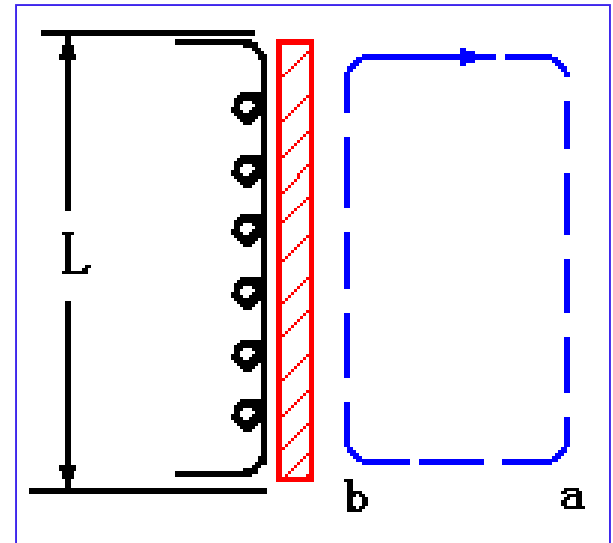
流体内部温度不同，引起密度不同而引起宏观流动

$t \downarrow \rho \uparrow$ —重者下沉

$t \uparrow \rho \downarrow$ —轻者上浮

2、强制对流

在外力或 $\Delta \mathcal{P}$ 作用下引起流动



习题:

1, 2, 4, 5