

练习五

第六章 传热

一、填空题

1. 在沿球壁的一维定态传热过程中，热流量 Q 沿半径增大方向 不变，热流密度 q 沿该方向 减少，（增大，减少，不变）。

定态下：

$$Q = \pi r^2 q_r = \pi (r + \Delta r)^2 q_{r+\Delta r} = C \quad r \uparrow, q_r \downarrow$$

2. 在一维定态传热过程中，二层的热阻分别为 R_1 和 R_2 ，推动力为 Δt_1 和 Δt_2 ，若 $R_1 < R_2$ ，则推动力 Δt_1 < Δt_2 ，
 $(\Delta t/R)_1$ = $(\Delta t/R)_2$ = $(\Delta t_1 + \Delta t_2) / (R_1 + R_2)$ 。
(>, =, <)

$$Q = \frac{\Delta t_1}{R_1} = \frac{\Delta t_2}{R_2} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{R_1 + R_2} = C$$

说明：哪里热阻大，哪里推动力大

3. 为对某管道保温，现需将二种导热系数分别为 λ_1 和 λ_2 的材料包于管外，已知 $\lambda_1 > \lambda_2$ ， $\delta_1 = \delta_2$ ，则应该将导热系数为 λ_2 的材料包于内层，更有利于保温。

$$Q = \frac{\sum \Delta t}{\sum R}$$

当 $\sum \Delta t$ 一定时，使 $\sum R$ 最大，则 Q 最小保温效果最好。

$$\sum R = \frac{\delta_1}{\lambda_1 A_{m1}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2 A_{m2}} \quad \text{对平壁, } A_{m1} = A_{m2}$$

当 $\delta_1 = \delta_2$ 两种材料的位置对保温无影响，对圆筒壁、球壁，

$$A_{m1} < A_{m2}$$

λ_2 放内层 ($\lambda_2 < \lambda_1$) 可使 $\sum R$ 最大

4. 对流对传热的贡献是 增大了壁面处温度梯度，强化了传热过程。

5. 对流给热时， $\alpha \propto \Delta t^a$ ， $q \propto \Delta t^b$ ($\Delta t = t - t_w$)，当流体在圆形直管内强制高度湍流时， $a = \underline{0}$ ， $b = \underline{1}$ ；当蒸汽在管外冷凝时 $a = \underline{-1/4}$ ， $b = \underline{3/4}$ ；大容积饱和沸腾时， $a = \underline{2.5}$ ， $b = \underline{3.5}$ 。

$$\text{圆管: } \alpha = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^b \quad \alpha \propto \Delta t^0$$

$$q = \alpha \cdot \Delta t \propto \Delta t^1$$

$$\text{蒸汽冷凝: } \alpha \propto \Delta t^{-\frac{1}{4}} \quad q \propto \Delta t^{\frac{3}{4}}$$

$$\text{沸腾: } \alpha \propto \Delta t^{2.5} \quad q \propto \Delta t^{3.5}$$

6. 水在列管换热器的管程内流动，其 $Re > 10^4$ ，当流量增加一倍，管径不变，则 α 为原来的 $2^{0.8}$ 倍；将管径减小一倍，流量不变，则 α 为原来的 $2^{1.8}$ 倍；若流量、管径不变，而将管程数增加一倍，则 α 为原来的 $2^{0.8}$ 倍。
(忽略物性变化)

$$\text{因: } Re > 10^4, Pr > 0.7 \quad u = \frac{4q_v}{\pi d^2} \cdot \frac{N_p}{N_T}$$

$$\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{du}{\mu}\right)^{0.8} \left(\frac{c_p \mu}{\lambda}\right)^b \propto q_v^{0.8} d^{-1.8} N_p^{0.8} N_T^{-0.8}$$

7. 用饱和水蒸气在套管换热器内加热冷空气，此时，管壁温度接近于 蒸汽 的温度。

壁温趋近于 α 大的一侧流体温度，数量级上

$$\alpha_{\text{冷凝}} / \alpha_{\text{空气}} = 100 \sim 1000 \quad \text{即: } \alpha_{\text{冷凝}} \gg \alpha_{\text{空气}}$$

$$q = \frac{T - T_w}{\frac{1}{a_{\text{冷凝}}}} = \frac{T_w - t_w}{\frac{\delta}{\lambda}} = \frac{t_w - t}{\frac{1}{a_{\text{空气}}}}$$

管壁热阻较小，故 $T_w = t_w$

8. 蒸汽冷凝分 滴 状冷凝和 膜 状冷凝，工业设计时按 膜 状冷凝考虑；大容积饱和沸腾分 核 状沸腾和 膜 状沸腾，操作应控制在 核 状沸腾下进行。

9. 某无相变逆流传热过程，已知 $T_1 = 60^\circ\text{C}$ ， $t_2 = 30^\circ\text{C}$ ， $(q_m c_p)_2 / (q_m c_p)_1 = 1$ ，则 $\Delta t_m = \underline{30^\circ\text{C}}$

$$(q_m c_p)_2 / (q_m c_p)_1 = 1$$

$$\Delta t_m = \Delta t_1 = \Delta t_2 = (T_1 - t_2) = 30^\circ\text{C}$$

10. 用饱和蒸汽加热冷流体（冷流体无相变），若保持加热蒸汽压降和冷流体 t_1 不变，而增加冷流体流量 q_{m2} ，则 $t_2 \downarrow$ ， $Q \uparrow$ ， $K \uparrow$ ， $\Delta t_m \uparrow$ 。

$$\because \alpha_{\text{冷}} < \alpha_{\text{热}} \quad \therefore q_{m2} \uparrow, \alpha_{\text{冷}} \uparrow, K \uparrow, Q \uparrow$$

$$Q = q_{m2} c_{p2} (t_2 - t_1) = KA \frac{(T - t_1) - (T - t_2)}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}}$$

$$\ln \frac{T - t_1}{T - t_2} = \frac{KA}{q_{m2} c_{p2}} \propto \frac{q_{m2}^{0.8}}{q_{m2}} = q_{m2}^{-0.2}$$

$$\therefore q_{m2} \uparrow \Rightarrow t_2 \downarrow \Rightarrow \Delta t_m \uparrow$$

11. 冷热流体在换热器无相变逆流传热，换热器用久后形成垢层，在同样的操作条件下，与无垢层时相比，结垢后换热器的 K ↓， Δt_m ↑， t_2 ↓， Q ↓。

$$\because \sum R = \frac{1}{\alpha_1} + R_1 + \frac{\delta}{\lambda} + R_2 + \frac{1}{\alpha_2} \uparrow$$

$$\therefore K \downarrow, Q \downarrow$$

因 $Q = q_{m1}c_{p1}(T_1 - T_2) = q_{m2}c_{p2}(t_1 - t_2)$ 有

$T_2 \uparrow, t_2 \downarrow$ 从而 $\Delta t_1 \uparrow \Delta t_2 \uparrow \Delta t_m \uparrow$

12. 冷热流体的进出口温度 t_1 ， t_2 ， T_1 ， T_2 相等时， $\Delta t_{m并}$ < $\Delta t_{m复杂}$ < $\Delta t_{m逆}$ ($>$, $=$, $<$)。

$$(\Delta t_1 + \Delta t_2)_{并} = (\Delta t_1 + \Delta t_2)_{逆} = C$$

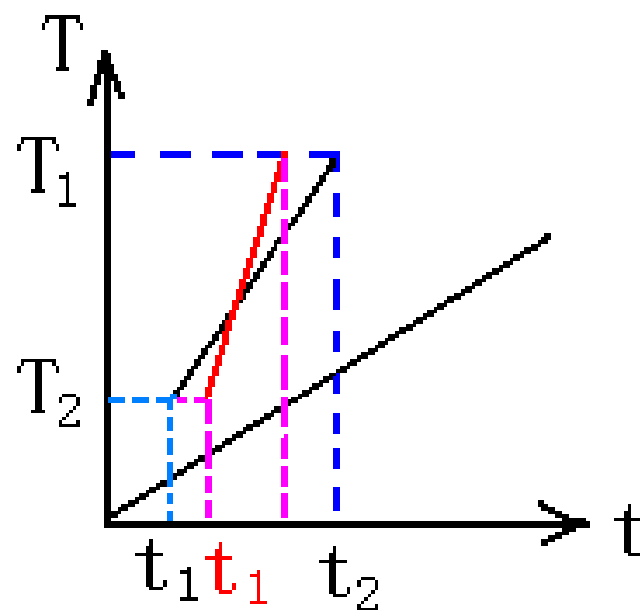
$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{x - (C - x)}{\ln \frac{x}{C - x}}$$

13. 利用水在逆流操作的套管换热器中冷却某物料。要求热流体的温度 T_1 、 T_2 及流量 q_{m1} 不变。今因冷却水进口温度 t_1 增高, 为保证完成生产任务, 提高冷却水的流量 q_{m2} , 则 K ↑, t_2 ↓, Δt_m ↓, Q 不变。(上升, 不变, 下降, 不确定)。

$$\alpha_2 \propto u^{0.8} \uparrow, K \uparrow$$

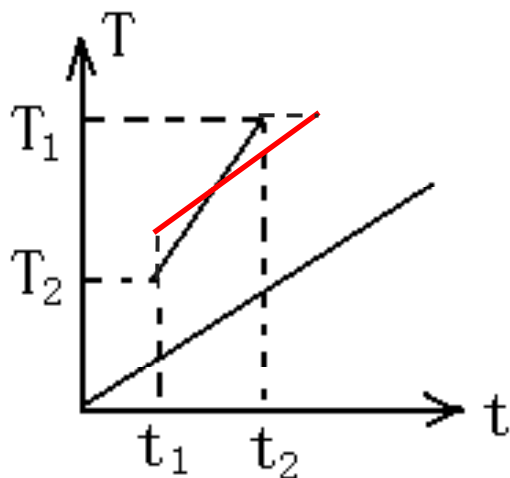
$$Q = (q_m c_p)_1 \Delta T \text{ 不变}$$

$$Q = K \uparrow A \Delta t_m \downarrow$$



二、作图题

1.某换热器原工况操作线如图，试将新工况操作线定性画在原画中，并证明之。

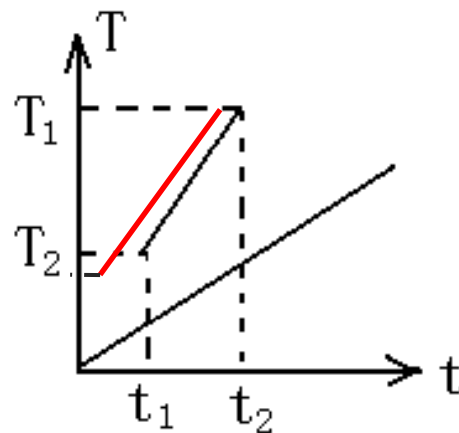


热流体流量增加

$$k_{\text{斜率}} = \frac{q_{m2}c_{p2}}{q_{m1}c_{p1}} \downarrow$$

$$q_{m1} \uparrow, \alpha_h \uparrow, K \uparrow$$

有利于传热，故 $Q \uparrow$



t_1 降至 t_1'

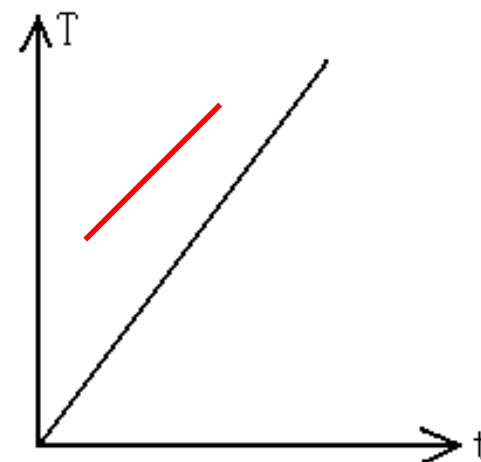
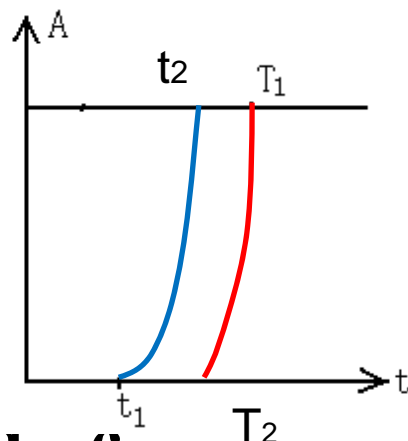
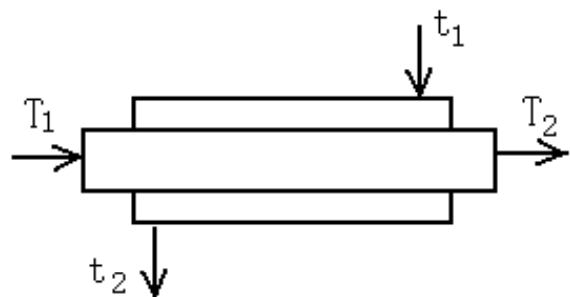
又因 $Q = q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1)$ 故 $t_2 \uparrow$

t_1 降至 t_1' ，操作线斜率不变。

$t_1 \downarrow$ 有利于传热， $Q \uparrow$

又由 $Q = q_{m1}c_{p1}(T_1 - T_2)$ 知 $T_2 \downarrow$

2 某逆流换热器的 $(q_m c_p)_2 < (q_m c_p)_1$ ，试定性绘出两种流体沿传热面的温度分布曲线及操作线。



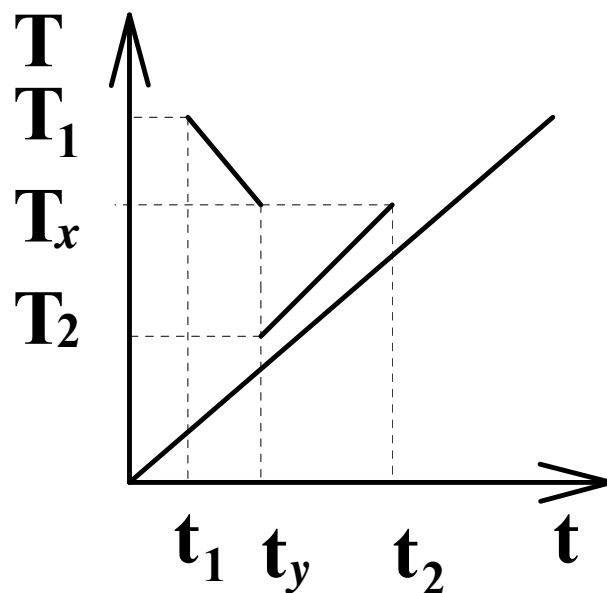
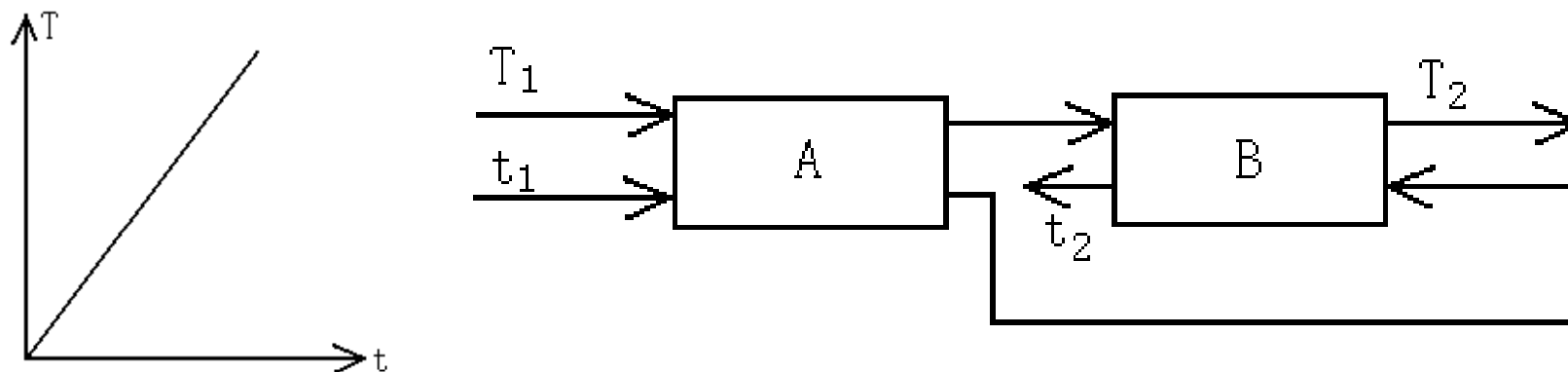
操作线:
$$T = T_2 + \frac{q_{m2} c_{p2}}{q_{m1} c_{p1}} (t - t_1)$$

$$k_{\text{斜率}} = \frac{q_{m2} c_{p2}}{q_{m1} c_{p1}} < 1 \quad \therefore \Delta t_1 < \Delta t_2$$

$$\therefore q dA = q_{m2} c_{p2} dt \quad K(T - t) dA = q_{m2} c_{p2} dt$$

$$\therefore \frac{dA}{dt} = \frac{q_{m2} c_{p2}}{K(t - T)}$$

3 试定性在同一图中绘出两个换热器的操作线。



三、找错题

1. 热辐射中，(A) 灰体是一种理想物体，(B) 黑体也是一种特殊的灰体，(C) 温度相等时，黑体与灰体的辐射能力相同，(D) 对太阳能的辐射，实际物体也可看作灰体。

C: 克希荷夫定律指出，温度相等时，灰体的辐射能力与吸收率的比值 $\frac{E}{a} = E_b$ 恒等于同温度下的辐射能力。因为灰体的 $a = \varepsilon < 1$ ，所以 $E < E_b$

D: 太阳辐射能中，可见光占46%。而实际物体的颜色对可见光的吸收有很强的选择性。故实际物体不能视为灰体。

A: 灰体：是对各种波长辐射能力均能同样吸收的物体。即对不同波长辐射能的吸收率相同。吸收率与波长无关。

B: 黑体：对不同波长辐射能的吸收率相等，且等于1的物体。是一种理想物体。

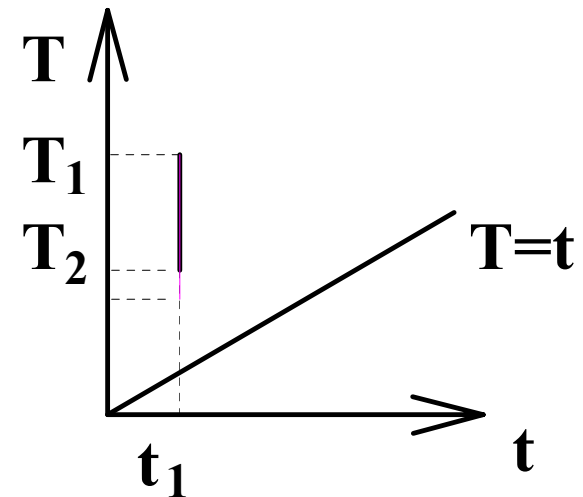
2. 某逆流换热器，已知 $(q_m c_p)_2 / (q_m c_p)_1 = \infty$ ，(A) 此时冷流体的进、出口温度近似相等，(B) 该条件下的平均传热推动力决定于 $(T_2 - t_1)$ ，若继续增加冷流体流量 (C) 平均推动力 Δt_m 将下降，(D) 但热流量 Q 仍能明显上升。

$$T = T_2 + \frac{q_{m2} c_{p2}}{q_{m1} c_{p1}} (t - t_1)$$

因 $\frac{q_{m2} c_{p2}}{q_{m1} c_{p1}} = \infty$ 故操作线如图：

因 $t_2 = t_1$ 故当 $q_{m2} \uparrow$ 时 Q 无明显变化

$Q = KA\Delta t_m$ 由于 $K \uparrow$ 故 $K\Delta t_m \downarrow$ 但不明显



四、计算题

1. 进入某间壁式换热器的冷、热流体温度为 $t_1=50^\circ\text{C}$, $T_1=200^\circ\text{C}$, 已知换热器的总热阻 $1/KA=0$, 试求下列条件下冷流体的出口温度。

- ① 并流操作 $(q_m c_p)_2 / (q_m c_p)_1 = 2$;
- ② 逆流操作 $(q_m c_p)_2 / (q_m c_p)_1 = 2$;
- ③ 逆流操作 $(q_m c_p)_2 / (q_m c_p)_1 = 0.5$;

总热阻 $\frac{1}{KA} = 0$ 只有 $A \rightarrow \infty$

又因 $Q = KA\Delta t_m$

传热量 Q 必为一有限值, 故 $\Delta t_m \rightarrow 0$

(1) 并流

$$\Delta t_1 = T_1 - t_1 = 200 - 50 = 150^\circ \text{C} \quad \neq 0$$

$$\Delta t_2 = T_2 - t_2 = 0 \quad (\text{a})$$

$$\text{又} \because \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{q_{m2} c_{p2}}{q_{m1} c_{p1}} = 2 \quad (\text{b})$$

解 (a) (b) 二式得:

$$T_2 = 100^\circ \text{C} \quad t_2 = 100^\circ \text{C}$$

(2) 逆流

$$T - T_2 = \frac{q_{m2}c_{p2}}{q_{m1}c_{p1}}(t - t_1)$$

$$\therefore \frac{q_{m2}c_{p2}}{q_{m1}c_{p1}} = 2 > 1$$

$$\therefore \Delta t_2 = T_2 - t_1 = 0 \quad (c)$$

$$\text{又} \therefore \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{q_{m2}c_{p2}}{q_{m1}c_{p1}} = 2 \quad (d)$$

解 (c) , (d) 可得:

$$T_2 = 50^\circ \text{C} \quad t_2 = 125^\circ \text{C}$$

(3) 逆流

$$\therefore \frac{q_{m2}c_{p2}}{q_{m1}c_{p1}} = 0.5 < 1$$

$$\therefore \Delta t_1 = T_1 - t_2 = 0 \quad (\text{e})$$

$$\therefore \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{q_{m2}c_{p2}}{q_{m1}c_{p1}} = 0.5 \quad (\text{f})$$

解 (e) (f) 得

$$T_2 = 125^\circ \text{C} \quad t_2 = 200^\circ \text{C}$$

2.有一单程列管式换热器，其管束由269根长3m， $d=25\text{mm}$ 的管子组成.现欲用此换热器将流量为 8000kg/h 的常压空气从 10°C 加热至 110°C ,已知定性温度下,空气的 $c_p=1.01\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$, $\mu=2.01\times 10^{-2}\text{mPa}\cdot\text{s}$, $\lambda=2.87\times 10^{-2}\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$,试问，若壳程通 120°C 饱和蒸汽，此换热器是否适用？（蒸汽管壁及垢层热阻可忽略不计）。

判断依据, $A_{\text{实}} > A_{\text{需}}$

$$A_{\text{实}} = N_T \cdot \pi d \cdot l = 269 \times 3.14 \times 0.025 \times 3 = 63.48 \text{m}^2$$

$$q_{m2} = \frac{8000}{3600} = 2.22 \text{kg/s}$$

热流量: $Q = q_{m2} c_{p2} (t_2 - t_1)$

$$= 2.22 \times 1.01 \times 10^3 \times (110 - 10) = 224.3 \times 10^3 \text{W}$$

$$q_{m2} = \rho g_v = \rho \frac{\pi}{4} d^2 \cdot u \cdot N_T$$

$$R_e = \frac{dG}{M} = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{4q_{m2}}{n_T \pi du}$$
$$= \frac{4 \times 8.26 \times 10^{-3}}{269 \times 3.13 \times 0.025 \times 2.01 \times 10^{-5}} = 20929 > 10000$$

$$P_r = \frac{\mu c_p}{\lambda} = \frac{2.01 \times 10^{-5} \times 1.01 \times 10^3}{2.87 \times 10^{-2}} = 0.707 > 0.7$$

$$\frac{l}{d} = \frac{3}{0.025} = 120 > 30$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 0.023 \frac{\lambda}{d} \cdot (R_e)^{0.8} P_r^{0.4} \\ &= 0.023 \frac{2.87 \times 10^{-2}}{0.025} \cdot (20929)^{0.8} (0.707)^{0.4} \\ &= 65.77 \text{ w / m}^2 \cdot ^\circ \text{ c} \end{aligned}$$

又因 $\alpha_1 \gg \alpha_2$ 且 R 可忽略, 故 $K = \alpha_2 = 65.77 \text{ w / m}^2 \cdot ^\circ \text{ C}$

$$\Delta t_m = \frac{(T - t_1) - (T - t_2)}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}} = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}} = \frac{110 - 10}{\ln \frac{120 - 10}{120 - 110}} = 41.7^\circ \text{ c}$$

又因 $Q = KA_{\text{需}}\Delta t_m$, 有

$$A_{\text{需}} = \frac{Q}{K\Delta t_m} = 81.78 > A_{\text{实}}$$

故此换热器不适用

3. 某台传热面积为 25m^2 的单程列管式换热器，在管程内水逆流冷却热油，原工况下，水的流量为 2kg/s ，比热为 $4.18\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ ，进出口温度分别为 20°C 和 40°C ，热油的进出口温度分别为 50°C 和 100°C ，热油的给热系数 $\alpha=500\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ 。现将冷水的流量降为 1.2kg/s ，同时因管子渗漏而堵塞该部分管子，使管子根数为原来的0.8倍，已知冷水的管内的 $\text{Re}>10^4$ ，物性的变化、管壁及垢层热阻可忽略，试求新工况下，冷、热流体的出口温度。冷热流体的进口温度及热流体的流量不变。

原工况时

$$Q = KA\Delta t_m = q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1) = q_{m1}c_{p1}(T_1 - T_2)$$

$$\Delta t_m = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} = \frac{(100 - 40) - (50 - 20)}{\ln \frac{100 - 40}{50 - 20}} = 43.28^{\circ}\text{C}$$

$$K = \frac{q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1)}{A\Delta t_m} = \frac{2 \times 4.18 \times 10^3 (40 - 20)}{25 \times 43.28} = 154.5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{由 } \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \text{ 得}$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{1}{K} - \frac{1}{\alpha_1} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{154.5} - \frac{1}{500} \right)^{-1}$$

$$= 223.59 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$$

$$\frac{KA}{q_{m1}c_{p1}} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta t_m} = \frac{100 - 50}{43.28} = 1.155$$

$$\frac{q_{m1}c_{p1}}{q_{m2}c_{p2}} = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2} = \frac{40 - 20}{100 - 50} = 0.4$$

新工况时

由 $q_{m2} = n_T \frac{\pi}{4} d^2 u$ 得

$$\frac{u'}{u} = \frac{q'_{m2}}{q_{m2}} \cdot \frac{n_T}{n'_T} = \frac{1.2}{2} \times \frac{1}{0.8} = 0.75$$

由 $\alpha_2 \propto u^{0.8}$, 有

$$\alpha'_2 = \left(\frac{u'}{u}\right)^{0.8} \cdot \alpha_2 = (0.75)^{0.8} \times 223.59$$
$$= 177.62 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{C)}$$

$$K' = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha'_2}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{500} + \frac{1}{177.62}\right)^{-1}$$
$$= 131.06 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$$

$$\text{由 } \frac{t'_2 - t_1}{T_1 - T'_2} = \frac{q_{m1} c_{p1}}{q'_{m2} c_{p2}} = \left(\frac{q_{m2}}{q'_{m2}}\right) \frac{q_{m1} c_{p1}}{q_{m2} c_{p2}} = \frac{2}{1.2} \times 0.4 = 0.667$$

$$\text{得 } t'_2 = t_1 + 0.667(T_1 - T'_2) = t_1 + 0.667(100 - T'_2)$$
$$= 86.7 - 0.667 T'_2 \quad (1)$$

$$\text{由 } Q' = q_{m1} c_{p1} (T_1 - T'_2) = KA' \frac{(T_1 - t'_2) - (T'_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t'_2}{T'_2 - t_1}}$$

变形得：

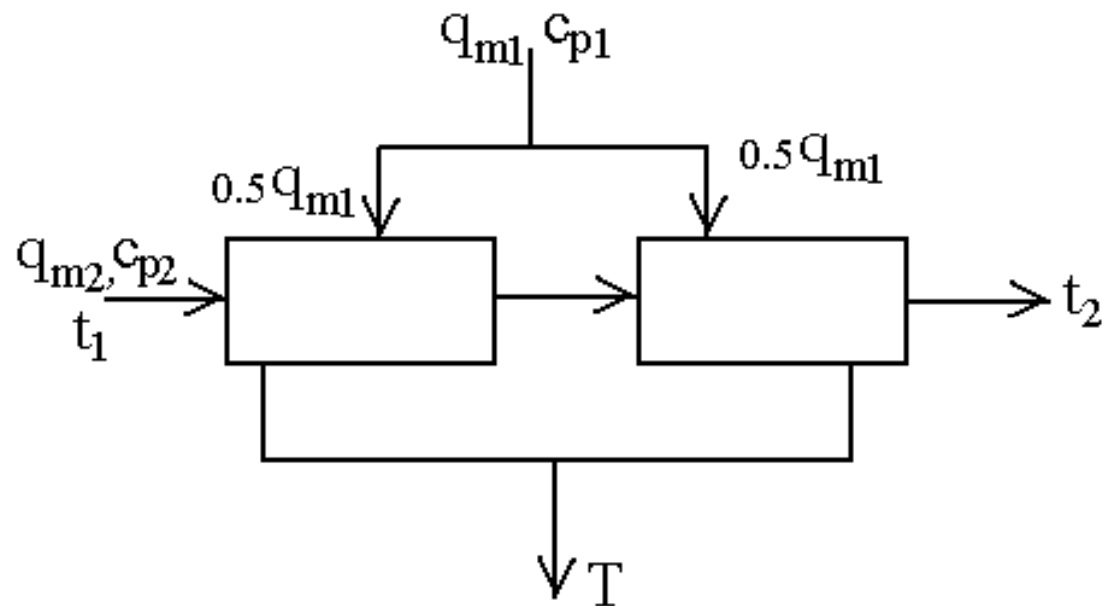
$$\begin{aligned}\ln \frac{T_1 - t'_2}{T'_2 - t_1} &= \frac{K'A'}{q_{m1}c_1} \left[1 - \frac{t'_2 - t_1}{T_1 - T'_2} \right] \\ &= \left(\frac{K'}{K} \right) \cdot \left(\frac{A'}{A} \right) \cdot \frac{KA}{q_{m1}c_{p1}} \left[1 - \frac{q_{m1}c_{p1}}{q'_{m2}c_{p1}} \right] \\ &= \left(\frac{131.06}{154.5} \right) \times 0.8 \times 1.155 [1 - 0.667] = 0.261\end{aligned}$$

$$\text{即 } t'_2 = 127.72 - 1.386 T'_2 \quad (2)$$

由（1）（2）解得：

$$t'_2 = 45.22^\circ \text{C} \quad T'_2 = 62.17^\circ \text{C}$$

4. 现有两个完全相同的列管式换热器，内有180根 $\phi 19 \times 1.5\text{mm}$ 的管子，每根长3m，管内走流量为 2000kg/h 的冷流体，进口温度为 30°C ，与热流体单程换热，已知 $(q_m c_p)_2 / (q_m c_p)_1 = 0.5$ ；冷流体 $c_p = 1.05\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ， $\mu = 2 \times 10^{-2}\text{mPa} \cdot \text{s}$ ， $\lambda = 0.0289\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ，热流体的进口温度 $T_1 = 150^\circ\text{C}$ ，热流体、管壁及垢层热阻可忽略，现按下图方式进行操作，求热流体的出口温度 T 。



对A换热器（逆流）

$$d = 19 - 1.5 \times 2 = 16\text{mm} = 0.016\text{m}$$

$$q_{m2} = \frac{2000}{3600} = 0.556\text{kg/s}$$

$$q_{m2} = q_v \rho = N_T \cdot \frac{\pi}{4} d^2 u \cdot \rho$$

$$Re = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{4q_{m2}}{\pi d \mu N_T} = \frac{4 \times 0.556}{3.14 \times 0.016 \times 2 \times 10^{-5} \times 180} = 12278.8$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda} = \frac{2 \times 10^{-5} \times 1.05 \times 10^3}{0.0289} = 0.727$$

$$\alpha_2 = 0.023 \frac{\lambda}{d} Re^{0.8} Pr^{0.4} = 0.023 \frac{0.0289}{0.016} \times (12278.8)^{0.8} (0.727)^{0.4}$$

$$= 68.30 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ \text{ C}$$

$$K = \alpha_2 = 68.30 \text{ W / m} \cdot ^\circ \text{ C}$$

$$A = \pi d L \cdot N_T = 3.14 \times 0.016 \times 3 \times 180 = 27.13$$

$$\frac{q_{m2} c_{p2}}{q_{m1} c_{p1}} = 1 \therefore \Delta t_{mA} = T_a - t_1 = T_1 - t$$

$$Q = q_{m2} c_{p2} (t - t_1) = KA \Delta t_m = KA (T_1 - t)$$

$$\therefore t - t_1 = \frac{KA}{q_{m2} c_{p2}} (T_1 - t) = \frac{68.3 \times 27.13}{0.556 \times 1.05 \times 10^3} (T_1 - t)$$

$$\therefore t = 121.33^\circ \text{ C}$$

$$T_a = (T_1 - t) + t_1 = (150 - 121.33) + 30 = 58.66^\circ \text{ C}$$

对于换热器B（并流）

$$\text{热量衡算式} \quad \frac{q_{m2} c_{p2}}{q_{m1} c_{p1}} = \frac{T_1 - T_b}{t_2 - t_1} = 1$$

传热速率方程

$$Q = q_{m2} c_{p2} (t_2 - t) = KA \frac{(T_1 - t) - (T_b - t_2)}{\ln \frac{T_1 - t}{T_b - t_2}}$$

$$\therefore \ln \frac{T_1 - t}{T_b - t_2} = \frac{KA}{q_{m2} c_{p2}} \left[1 + \frac{T_1 - T_b}{t_2 - t} \right]$$

$$= \frac{68.3 \times 27.13}{0.556 \times 1.105 \times 10^3} [1 + 1] = 6.364$$

由 (1) (2) 解得

$$T_b = 135.68^\circ \text{C} \quad t_2 = 135.63^\circ \text{C}$$

$$T = (T_a + T_b) / 2 = 97.2^\circ \text{C}$$