1、一内径为 300mm 、厚为 10mm 的钢管表面包上一层厚为 20mm 的保温材料，钢材料及保温材料的导热系数分别为 48 $W/(m\cdot K)$ 和 0.1 $W/(m\cdot K)$，钢管内壁及保温层外壁温度分别为 220 ℃ 及 40 ℃ ，管长为 10m 。试求该管壁的散热量。

解：已知 d_1 =300mm d_2 =300+2 × 10=320mm d_3 =320+2 × 20=360mm $l=10$m

$\lambda_1=48W/(m\cdot K)$ $\lambda_2=0.1W/(m\cdot K)$ t_{w1} =220 ℃ t_{w2} =40 ℃

$$\Phi=\frac{t_{w1}-t_{w3}}{\frac{1}{2\pi\lambda_1 \ell}\ln\frac{d_2}{d_1}+\frac{1}{2\pi\lambda_2 \ell}\ln\frac{d_3}{d_2}}$$

$$=\frac{220-40}{\frac{1}{2\pi\times48\times10}\ln\frac{320}{300}+\frac{1}{2\pi\times0.1\times10}\ln\frac{360}{320}}$$

=9591.226W

2、一块厚 20mm 的钢板，加热到 500^0C 后置于 20^0C 的空气中冷却。设冷却过程中钢板两侧面的平均表面传热系数为 $35W/(m^2\cdot K)$，钢板的导热系数为 $45W/(m^2\cdot K)$，若扩散率为 $1.375\times10^{-5}m^2/s$ 。试确定使钢板冷却到空气相差 10^0C 时所需的时间。

解：由题意知 $Bi=\frac{hA}{\delta}=0.0078<0.1$

故可采用集总参数法处理。由平板两边对称受热，板内温度分布必以其中心对称，建立微分方程，引入过余温度，则得：

$$\begin{cases}\rho cv\frac{d_\theta}{d_\tau}+hA\theta=0\\ \theta(0)=t-t_\infty=\theta_0\end{cases}$$

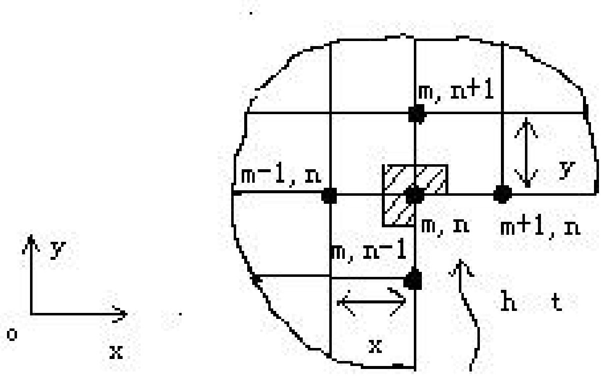
解之得：$\frac{\theta}{\theta_0}=\exp(-\frac{hA}{\rho cv}\tau)=\exp(-\frac{h\lambda}{\rho c(V/A)}\tau)=\exp(-\frac{h\alpha}{\lambda\delta}\tau)$

当$\theta=10^0C$时，将数据代入得，τ=3633s

3、如图所示的二维、含有内热源、常物性的稳态导热问题，试导

出内角顶节点 O（m,n）的离散方程式。且Δx=Δy 时，解出内角

顶节点 O（m,n）的温度分布 $t_{m,n}$ （8 分）



解：

$$\lambda\Delta y\frac{t_{m-1,n}-t_{m,n}}{\Delta x}+\lambda\Delta x\frac{t_{m,n+1}-t_{m,n}}{\Delta y}+\lambda\frac{\Delta y}{2}\frac{t_{m+1,n}-t_{m,n}}{\Delta x}+$$

$$\lambda\frac{\Delta x}{2}\frac{t_{m,n-1}-t_{m,n}}{\Delta y}+\frac{3}{4}\Delta x\Delta y\dot{\Phi}_{m,n}+\left(\frac{\Delta x}{2}+\frac{\Delta y}{2}\right)h\left(t_f-t_{m,n}\right)=0 \ldots\ldots (6\text{分})$$

当$\Delta x=\Delta y$时，

$$2\left(\frac{h\Delta x}{\lambda}+3\right)t_{m,n}=2\left(t_{m-1,n}+t_{m,n+1}\right)+t_{m+1,n}+t_{m,n-1}+$$

$$\frac{3\Delta x^2\dot{\Phi}_{m,n}}{2\lambda}+\frac{2h\Delta x}{\lambda}t_f \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{分})$$

4、压缩空气在中间冷却器的管外横掠流过， a 0 =90W/(m 2 · k) ，冷却水在管内流过 a 1 =6000W/(m 2 · k) 。冷却管是外径为 16mm ，厚 1.5mm 的黄铜管。求：

1 ）此时的传热系数；

2 ）若管外表面传热系数增加一倍，传热系数有何变化；

3 ）若管内表面传热系数增加一倍，传热系数又作何变化。

解：）对于管外表面积的传热系数为

$$K=\frac{1}{\frac{1}{6000}\times\frac{16}{13}+\frac{0.016}{2\times 111}\ln\frac{16}{13}+\frac{1}{90}}=88.5W/(m^2\cdot k)$$

2 ）略计算壁热阻，传热系数为

$$K=\frac{1}{0.000205+\frac{1}{180}}=174W/(m^2\cdot k)$$

传热系数增加了 96%

3 ）

$$K=\frac{1}{\frac{1}{12000}\times\frac{16}{13}\times 0.0111}=89.2W/(m^2\cdot k)$$

传热系数增加还不到 1%

∴抓住分热阻最大的那个环节进行强化，才能收到显著效果。

5-已知：20℃的水以 2m/s 的流速平行地流过一块平板，边界层内的流速为三次多项式分布。

求：计算离开平板前缘 10cm 及 20cm 处的流动边界层厚度及两截面上边界层内流体的质量流量（以垂直于流动方向的单位宽度计）。

解：20℃的水 $v=1.006\times 10^{-6}m^2/s$ $u=2m/s$

（1）x=10cm=0.1m $\mathrm{Re}_x=\frac{u_\infty x}{v}=\frac{2\times 0.01}{1.00\times 10^{-6}}$=19880.72 小于过渡雷诺数 Re_x. 按（5—22）

$$\delta=4.64\sqrt{\frac{vx}{u_\infty}}=4.64\sqrt{\frac{1.006\times 10^{-6}\times 0.1}{2}}=1.0406\times 10^{-3}m$$

设 $\frac{u_y}{u_\infty}=\frac{3}{2}\times\frac{y}{\delta}-\frac{1}{2}\times(\frac{y}{\delta})^3$

$$m=\int_0^\delta \rho u d_y=\int_0^\delta \rho\frac{u}{u_\infty}u d_y=\rho u_\infty\int_0^\delta\frac{u}{u_\infty}d_y=\rho u_\infty\int_0^\delta[\frac{3}{2}\times\frac{y}{\delta}-\frac{1}{2}\times(\frac{y}{\delta})^3]d_y$$

$=\rho u_\infty[\frac{3}{4}\times\frac{y^2}{\delta}-\frac{1}{8}(\frac{y^4}{\delta^3})]_0^\delta=\rho u_\infty[\frac{3\delta}{4}-\frac{\delta}{8}]$ $=998.2\times 2$ $\times\frac{5}{8}\delta$ $=1.298$ kg/m^2

（2）x=20cm=0.2m $\mathrm{Re}_x=\frac{2\times 0.02}{1.006\times 10^{-6}}$ =39761.43 （为层流）

$$\delta=4.64\sqrt{\frac{vx}{u_\infty}}=4.64\sqrt{\frac{1.006\times 10^{-6}\times 0.02}{2}}=1.47\times 10^{-3}$$ m

$$m=\int_0^\delta \rho u_x d_y=998.2\times 2\times\frac{5}{8}\delta=1.834 \quad kg/m^2$$

6、 水流过长为10m的直管，入口温度为20℃，出口温度为40℃，管内径d＝20mm，水在管内流速为2m/s，求对流换热系数和平均管壁温度。

已知：30℃水的物性为λ＝0.618W/(m·K)，ν＝0.805×10^{-6}m^2/s，Pr=5.42，ρ＝995.7kg/m^3, c_p=4.17kJ/(kg·K)。管内紊流强制对流换热关联式为

$Nu=0.023\mathrm{Re}^{0.8}\mathrm{Pr}^{0.4}$。

解：定性温度 $t_f=(20+40)/2=30$℃

$$Nu=0.023\mathrm{Re}^{0.8}\mathrm{Pr}^{0.4}=0.023\times(\frac{ud}{\nu})^{0.8}\mathrm{Pr}^{0.4}$$

$$=0.023\times(\frac{2\times 0.02}{0.805\times 10^{-6}})^{0.8}\times 5.42^{0.4}=258.43$$

$$h=\frac{\lambda Nu}{d}=\frac{0.618\times 258.43}{0.02}=7985.4\ \ (W/m^2\cdot K)$$

由热量平衡得：

$$q_m c_p(t_1''-t_1')=h\pi dl\Delta t$$

则：

$$\Delta t=\frac{q_m c_p(t_1''-t_1')}{h\pi dl}=\frac{\pi d^2\rho u}{4}\cdot\frac{c_p(t_1''-t_1')}{h\pi dl}$$

$$=\frac{du\rho c_p(t_1''-t_1')}{4hl}=\frac{0.02\times 2\times 995.7\times 4170}{4\times 7985.4\times 10}=10.4$$

设管壁平均温度为t，则：

$$\Delta t=\frac{(t-20)-(t-40)}{\ln(\frac{t-20}{t-40})}=10.4$$

解得：t＝43.4℃

7、试确定一个电功率为100W的电灯泡发光效率。假设该灯泡的钨丝可看成是2900K的黑

体，其几何形状为$2mm \times 5mm$的矩形薄片。

解：$E_b = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4$

可见光的波长范围 0.38～0.76 μm

则 $\lambda_1 T = 1102 \mu m.K; \lambda_2 T = 2204 \mu m.K$

由表可近似取 $F_{b(0-0.38)} = 0.092; F_{b(0-0.76)} = 10.19$

在可见光范围内的能量为 $\Delta E = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \times (10.19 - 0.094)\%$

发光效率 $\eta = \frac{\Delta E}{E} = 10.09\%$

8、有一圆柱体，如图 2 所示，表面 1 温度 $T_1 = 550K$，发射率 $\varepsilon_1 = 0.8$，表面 2 温度 $T_2 = 275K$，发射率 $\varepsilon_2 = 0.4$，圆柱面 3 为绝热表面，角系数 $X_{3,1} = 0.308$。求：（1）表面 1 的净辐射损失；（2）绝热面 3 的温度。

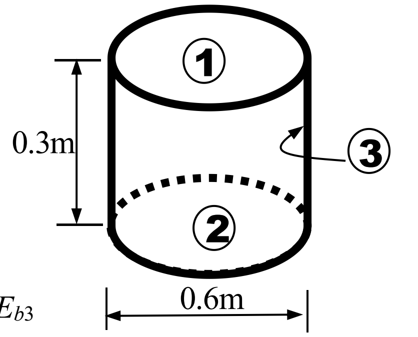
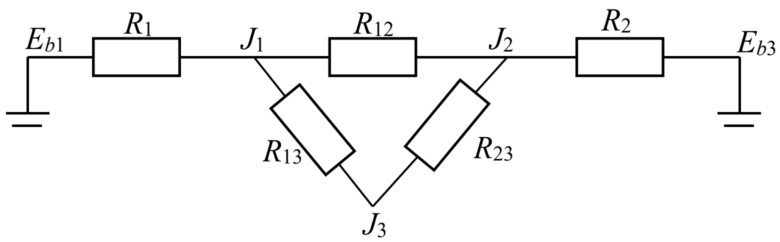


图 2

解：

(1)



$A_1 = A_2 = \pi \times 0.3^2 = 0.09\pi$，$A_3 = \pi \times 0.6 \times 0.3 = 0.18\pi$

$$X_{1,3} = \frac{A_3}{A_1} X_{3,1} = \frac{0.18\pi}{0.09\pi} \times 0.308 = 0.616, \quad X_{1,2} = 1 - 0.616 = 0.384$$

$$R_1 = \frac{1-0.8}{0.8 \times 0.09\pi} = \frac{1}{0.36\pi}, \quad R_2 = \frac{1-0.4}{0.4 \times 0.09\pi} = \frac{1}{0.06\pi}$$

$$R_{12} = \frac{1}{A_1 X_{12}} = \frac{1}{0.09\pi \times 0.384} = \frac{28.9}{\pi} \qquad R_{13} = R_{23} = \frac{1}{0.09\pi \times 0.616} = \frac{18.0}{\pi}$$

$$(R_{13} + R_{23}) / R_{12} = \frac{1}{\frac{\pi}{28.9} + \frac{\pi}{18.0 \times 2}} = \frac{16.0}{\pi}$$

$$\Phi_1 = \frac{5.67\times(5.5^4-2.75^4)\pi}{\frac{1}{0.36}+\frac{1}{0.06}+16.0} = 4.31\times10^2\,(\text{W})$$

……………………………...

(2)

$$J_1 = E_{b1} - \Phi_1\cdot R_1 = 5.67\times5.5^4 - 4.31\times10^2\times\frac{1}{0.36\pi} = 4.81\times10^3\,(\text{W/m}^2)$$

$$J_2 = E_{b2} + \Phi_1\cdot R_2 = 5.67\times2.75^4 + 4.31\times10^2\times\frac{1}{0.06\pi} = 2.61\times10^3\,(\text{W/m}^2)$$

$$J_3 = \frac{1}{2}(J_1+J_2) = \frac{1}{2}(4.81\times10^3+2.61\times10^3) = 3.71\times10^3\,(\text{W/m}^2)$$

$$J_3 = E_{b3} \quad \therefore \quad T_3 = \sqrt[4]{\frac{J_3}{\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{3.71\times10^3}{5.67\times10^{-8}}} = 506(\text{K})$$

…………………...

9、一台逆流式换热器用水来冷却润滑油。流量为 2.5kg /s 的冷却水在管内流动，其进出口温度分别为 15 ℃ 和 60 ℃ ,比热为 4174J/(kg •k) ;热油进出口温度分别为 110 和 70 ，比热为 2190 J/(kg • k) 。传热系数为 400W （ m 2 • k ）。试计算所需的传热面积。

已知： q m2 =2.5kg/s $t'=100°C$ $t_1''=70°C$ $t_2'=15°C$ $t_2''=60°C$

$$c_1 = 2190\,\text{J/(kg}\cdot\text{k)} \quad c_2 = 4174\,/(\text{kg}\cdot\text{k}) \quad k = 400\,\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

- 计算平均温差 Δt_m

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{max}-\Delta t_{min}}{\ln\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{(t''_1-t'_2)-(t'_1-t''_2)}{\ln\frac{t''_1-t'_2}{t'_1-t''_2}} = \frac{(70-15)-(110-60)}{\ln\frac{70-50}{110-60}} = 52.46°C$$

（ 2 ）计算水所吸收的热量

$$\Phi = q_{m2}c_2(t''_2-t'_2) = 2.5\times4174\times(60-15) = 469575\,\text{W}$$

（ 3 ）计算传热面积

由 $\Phi = kF\Delta t_m$ 得

$$F = \Phi/k\Delta t_m = 469575/(400\times52.46) = 22.38\text{m}^2$$

10、在一台逆流式水－水换热器中，$t_1' = 87.5°C$，流量为每小时 9000kg，$t_2' = 32°C$，流量为每小时 13 500kg，总传热系数 $k = 1\,740 W/(m^2 \cdot K)$，传热面积 A=3.75m^2,试确定热水的出口温度。

解：设冷、热水平均温度分别为40°C和75°C,则可查得：

$$c_{p1} = 4191 J/kg \cdot k \qquad c_{p2} = 4174 J/kg \cdot k$$

$$B = \frac{(q_m c)_1}{(q_m c)_2} = \frac{9000 \times 4191}{13500 \times 4174} = 0.6694$$

$$NTU = \frac{kA}{(q_m c)_{\min}} = \frac{1740 \times 3.75}{9000 \times 4191/3600} = 0.623$$

由 $\varepsilon - NTU$法，逆流换热器的效能为：

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\{(-NTU)[1-B]\}}{1 - B\exp\{(-NTU)[1-B]\}} = 0.409$$

又 $$\varepsilon = \frac{t_1' - t_1''}{t_1' - t_2'} \Rightarrow t_1'' = t_1' - \varepsilon(t_1' - t_2') = 87.5 - 0.409 \times (87.5 - 32) = 64.8°C$$

平均温度验算：

$$t_{1m} = (t_1' + t_1'')/2 = (87.5 + 64.8)/2 = 76.15$$

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{(q_m c)_1}{(q_m c)_2} = B \Rightarrow \Delta t_2 = 0.6694 \times (87.5 - 64.8) = 15.20°C$$

$$t_{2m} = t_2' + \Delta t_2 / 2 = 19.60$$

冷热流体平均温度与设定相差很小，计算结果有效。