

东南大学

二〇一一年攻读硕士学位研究生入学考试试题

一、名词解释（共 30 分，每小题 6 分。）

- 1、速度边界层
- 2、临界绝缘直径
- 3、接触热阻
- 4、灰体
- 5、相似现象

二、简答题（共 18 分，每题 6 分）

- 1、写出比渥数和格拉晓夫数的定义式，并说明其物理意义。
- 2、流体与竖直平壁换热，试写出沿高度方向换热系数的变化情况。
- 3、简述不凝结性气体对相变换热的影响。
- 4、什么是定向辐射强度，计算表面温度为 127°C 的黑体沿法向方向的定向辐射强度与法向差 600 处定向辐射强度。

三、模型与理论分析（共 32 分，每题 8 分）

- 1、二维稳态有内热源平板与外界流体进行换热，流体温度为 t_f 、换热系数为 h ，试写出平板内部和边界的显示节点方程，并指出稳定性条件。
- 2、写出 ε 、 NTU 的定义式，并说明 $\varepsilon-NTU$ 在换热器计算中的作用。
- 3、利用强制管内对流换热实验关联式，推导随着管径增大，对流换热系数的变化。
- 4、夏天，人在太阳下，打伞会感觉热度降低，为什么？

四、计算题（共 80 分，每题 20 分）

- 1、对于一圆柱，其外径为 5cm、壁面温度 300℃。其外包扎有 $\lambda_1 = 0.166 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、 $\lambda_2 = 0.04388 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 两种厚度均为 δ （忘记）的绝热材料，外层温度 40℃，先将导热系数大的材料放在里层，试计算绝热层中间温度，单位长度散热量。若将导热系数小的材料放在里层，结果如何，得出什么结论。
- 2、一圆柱体外径为 80mm，长为 1.82m，表面温度保持 95℃，放置于 27℃的大气中。试计算该圆柱水平放置和竖直放置时的热损失。
- 3、将一个热电偶温度计放置在高温风道中测量空气的温度。已知风道壁面温度 $t_w = 265^\circ\text{C}$ ，温度计的指示温度 $t_i = 300^\circ\text{C}$ 。若热电偶温度计可以看成是一个直径为 2mm 的小球，其表面可以认为是 $\varepsilon = 0.9$ 的漫射灰体。空气与其表面的对流换热系数为 $110 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，试求空气的实际温度 t 。
- 4、温度为 99℃的热水进入一个逆流式的换热器，并将 4℃的冷水加热到 32℃。冷水的流量为 1.3Kg/s，热水的流量为 2.6 Kg/s，总传热系数为 $385 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，试计算
 - (1) 该换热器的换热面积；
 - (2) 该换热器的效能。

2011 年传热学专业课试题解析

一、名词解释

- 1、固体表面附近流体速度发生剧烈变化的薄层。
- 2、对于圆柱换热问题，存在一个临界直径 d_{cr} ，若圆柱外径 d 小于 d_{cr} 时，散热量随着 d 的增大而增大；若圆柱外径 d 大于 d_{cr} 时，散热量随着 d 的增大而减小。其中外径在 d_{cr} 处散热量达到最大值，则临界直径 d_{cr} 就是临界绝缘直径。
- 3、两个名义上相接触的固体表面，实际上接触仅发生在一些离散的面积元上，而未接触的界面之间的间隙充满着空气，热量以导热的方式穿过这种空气层。这种情况与两固体表面真正完全接触相比，增加了附加的传递阻力，称为接触热阻。
- 4、把光谱吸收比与波长无关的物体称为灰体。
- 5、对于两个同类的物理现象，如果在相应的时刻及相应的地点上与现象相关的物理量一一对应成比例，则称此两现象彼此相似。

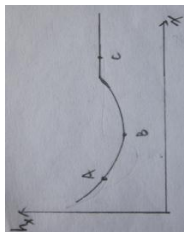
二、简答题

- 1、 $Bi = \frac{hl}{\lambda}$ ，固体内部导热热阻与界面上换热热阻之比；

$$Gr = \frac{g\alpha\Delta t l^3}{\nu^2}$$

，浮升力与粘性力之比的一种度量。

- 2、①若为自然对流：



左图是局部换热系数 h_x 随高度的变化而变化的曲线，由图可知：层流时，局部换热系数主要取决于边界层的厚度，从竖壁下部开始，随着高度的增加，边界层厚度增加，因此局部换热系数减小；高度继续升高时，层流会经过过渡阶段，此时由于流动扰动和混合，局部对流换热系数增大，达到稳定湍流 (C) h_x 达到恒值。

- ②若为强迫对流：

开始为层流，局部换热系数主要取决于边界层的厚度，随着高度的增加，边界层厚度增加，因此局部换热系数减小；高度继续增大时，层流会经过过渡阶段，此时由于流动扰动和混合，局部对流换热系数增大，达到稳定湍流后 h_x 达到恒值。

- 3、(1) 凝结换热

- ①降低了汽液界面蒸汽分压力，即降低蒸汽饱和温度，从而减小了凝结换热的驱动力；
- ②蒸汽在抵达液膜表面凝结前，需通过扩散的方式才能穿过不凝结性气体，从而增加了传热阻力。

- (2) 沸腾换热

与凝结换热不同，溶解于液体中的不凝结性气体会使沸腾传热得到某种强化。

- 4、定向辐射强度：单位时间内单位可见辐射面积发射出去的落在任意方向的单位立体角中的辐射量

无论什么方向定向辐射强度都相同，所以

$$I_b = \frac{E_b}{\pi} = \frac{5.67 \times 10^{-8} \times (127 + 273)^4}{3.14} = 462.27 \text{ W / m}^2$$

三、建模与理论分析

1、(1) 内部节点 (m, n)

$$\rho c \Delta x \Delta y \frac{t_{m,n}^{i+1} - t_{m,n}^i}{\Delta \tau} = \lambda \left(\frac{t_{m-1,n}^i - t_{m,n}^i}{\Delta x} \Delta y + \frac{t_{m+1,n}^i - t_{m,n}^i}{\Delta x} \Delta y + \frac{t_{m,n+1}^i - t_{m,n}^i}{\Delta y} \Delta x + \frac{t_{m,n-1}^i - t_{m,n}^i}{\Delta y} \Delta x \right) + \dot{\Phi} \Delta x \Delta y$$

$$\text{化简得 } t_{m,n}^{i+1} = F_{ox} (t_{m-1,n}^i + t_{m+1,n}^i) + F_{oy} (t_{m,n+1}^i + t_{m,n-1}^i) + [1 - 2(F_{ox} + F_{oy})] t_{m,n}^i + \frac{\dot{\Phi}}{\rho c} \Delta \tau$$

收敛条件是： $1 - 2(F_{ox} + F_{oy}) \geq 0$ ，即 $F_{ox} + F_{oy} \leq \frac{1}{2}$

(2) 边界节点 (m+1, n)

$$\rho c \frac{\Delta x}{2} \Delta y \frac{t_{m+1,n}^{i+1} - t_{m+1,n}^i}{\Delta \tau} = \lambda \left(\frac{t_{m,n}^i - t_{m+1,n}^i}{\Delta x} \Delta y + \frac{t_{m+1,n+1}^i - t_{m+1,n}^i}{\Delta y} \frac{\Delta x}{2} + \frac{t_{m+1,n-1}^i - t_{m+1,n}^i}{\Delta y} \frac{\Delta x}{2} \right) + \dot{\Phi} \frac{\Delta x}{2} \Delta y + h \Delta y (t_f - t_{m+1,n}^i)$$

$$\text{化简得 } t_{m+1,n}^{i+1} = [1 - 2(F_{ox} + F_{oy}) - \frac{2h\Delta\tau}{\rho c \Delta x}] t_{m+1,n}^i + 2F_{ox} t_{m,n}^i + F_{oy} (t_{m+1,n+1}^i + t_{m+1,n-1}^i) + \frac{\dot{\Phi}}{\rho c} \Delta \tau + \frac{2ht_f \Delta \tau}{\rho c \Delta x}$$

收敛条件是： $1 - 2(F_{ox} + F_{oy}) - \frac{2h\Delta\tau}{\rho c \Delta x} \geq 0$ ，即 $F_{ox} + F_{oy} + \frac{h\Delta\tau}{\rho c \Delta x} \leq \frac{1}{2}$

2、换热器的效能： $\varepsilon = \frac{(t' - t'')_{\max}}{t_1 - t_2}$ ，其分母为流体在换热器中可能发生的最大温差

值，分子则为冷流体或热流体在换热器中的实际温度差值中的大者。换热器的效能表示换热器的实际换热效果与最大可能的换热效果之比。

传热单元数： $NTU = \frac{kA}{(q_m c)_{\min}}$ ，它在一定程度上可以看成是 kA 值大小的一种

度量。

传热单元数法常用于低温换热器的设计。

3、由附录一可知：

(1) 层流

$$Nu_f = \frac{hd}{\lambda} = 1.86 \left(\frac{Re_f Pr_f}{l/d} \right)^{1/3} \left(\frac{\eta_f}{\eta_w} \right) \Rightarrow h \sim d^{-\frac{1}{3}}$$

可见，当管径增大时对流换热系数减小

(2) 湍流

$$Nu_f = \frac{hd}{\lambda} = 0.023 Re_f^{0.8} Pr_f^n \Rightarrow h \sim d^{-0.2}$$

可见，当管径增大时对流换热系数减小

综上所述，随着管径的增大，对流换热系数减小。

- 4、打伞就相当于在太阳和人之间加了一块遮热板。遮热板能显著削弱辐射传热，使得人体感受到热度减少。

三、计算题

1、这里我来说下做法

材料 1 放在内层：

$$\Phi = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\ln[(d+2\delta)/d]}{2\pi\lambda_1 l} + \frac{\ln[(d+4\delta)/(d+2\delta)]}{2\pi\lambda_2 l}} \quad (1)$$

$$\text{又 } \Phi = \frac{t_1 - t_{m1}}{\frac{\ln[(d+2\delta)/d]}{2\pi\lambda_1 l}} \quad (2)$$

$$\text{由①②可解出 } t_{m1} = t_1 - \frac{\lambda_2 \ln[(d+2\delta)/d]}{\lambda_2 \ln[(d+2\delta)/d] + \lambda_1 \ln[(d+4\delta)/(d+2\delta)]}$$

将 $l=1m$ 代入①即可得出二问。

材料 2 放在内层：

同上，只不过将 λ_1 、 λ_2 位置换一下

结论：①说一下那种情况中间温度更大

②为减少传热量，导热系数较小的材料应放在内层。

$$2、\text{定性温度 } t_m = \frac{1}{2}(t_w + t_\infty) = \frac{1}{2} \times (95 + 25) = 60^\circ C$$

查附录有： $\lambda = 2.90 \times 10^{-2} W/(m \cdot K)$ 、 $\nu = 18.97 \times 10^{-6} m^2/s$ 、 $Pr = 0.696$

横放：

$$Gr = \frac{g\alpha\Delta t d^3}{\nu^2} = \frac{9.8 \times \frac{1}{273-60} \times (93-27)^3 \times 0.08}{(18.97 \times 10^{-6})^2} = 2.764 \times 10^6$$

$Gr Pr = 2.764 \times 10^6 \times 0.696 = 1.924 \times 10^6$ ，由附录三可得：

$C=0.48$ 、 $n=1/4$

$$\therefore Nu = 0.48 Gr^{1/4} = 0.48 \times (1.924 \times 10^6)^{1/4} = 10$$

$$h = \frac{\lambda Nu}{d} = \frac{2.90 \times 10^{-2} \times 10}{0.08} = 3.625 W/(m^2 \cdot K)$$

因此热损失为:

$$\Phi_2 = hA(t_w - t_\infty) = 6.48 \times 0.467232 \times (93 - 27) = 199.83W$$

竖放:

$$Gr = \frac{g\alpha\Delta t L^3}{\nu^2} = \frac{9.8 \times \frac{1}{273+60} \times (93-27) \times 1.82^3}{(18.97 \times 10^{-6})^2} = 3.254 \times 10^{10}$$

$$GrPr = 3.254 \times 10^{10} \times 0.696 \times 2.1, \text{ 由附录三可得:}$$

$$C=0.11, \quad n=1/3$$

$$\therefore Nu = 0.11(GrPr)^{1/3} = 0.11 \times (2.265 \times 10^{10})^{1/3} = 311.23$$

$$h' = \frac{\lambda Nu}{L} = \frac{2.90 \times 10^{-2} \times 311.23}{1.82} = 4.96W/(m^2 \cdot K)$$

因此热损失为:

$$\Phi_2' = h'A(t_w - t_\infty) = 4.96 \times 0.467232 \times (93 - 27) = 152.95W$$

3、 如右图, 由热平衡有: $h(t_0 - t) = \varepsilon\sigma(T^4 - T_w^4)$, 则实际温度

$$t_0 = t_1 + \frac{\varepsilon\sigma(T_1^4 - T_w^4)}{h} = 300 + \frac{5.67 \times 10^{-8} \times 0.9 \times [(300+273)^4 - (265+273)^4]}{110} = 311.14^\circ C$$

4、 (1) $t_{m2} = \frac{1}{2}(t_2' + t_2'') = \frac{1}{2} \times (4 + 32) = 18^\circ C$, 查附录有 $c_2 = 4.1846 KJ/(Kg \cdot K)$

$$\text{假设热水出口温度为 } t_1'' = 81^\circ C, \text{ 则 } t_{m1} = \frac{1}{2}(t_1' + t_1'') = \frac{1}{2} \times (99 + 81) = 90^\circ C$$

$$\text{查附录有 } c_1 = 4.187 KJ/(Kg \cdot K)$$

$$\text{由热平衡有 } \Phi = c_1 q_{m1}(t_1' - t_1'') = c_2 q_{m2}(t_2'' - t_2') \quad \text{①}$$

$$t_1'' = t_1' - \frac{c_2 q_{m2}(t_2'' - t_2')}{c_1 q_{m1}} = 99 - \frac{4.1846 \times 1.3 \times (32 - 4)}{4.187 \times 2.6} = 85^\circ C$$

以此温度重复上述计算有

$$t_{m1} = \frac{1}{2}(t_1' + t_1'') = \frac{1}{2} \times (99 + 85) = 92^\circ C, \quad c_1 = 4.187 KJ/(Kg \cdot K)$$

$$t_1'' = t_1' - \frac{c_2 q_{m2}(t_2'' - t_2')}{c_1 q_{m1}} = 99 - \frac{4.1846 \times 1.3 \times (32 - 4)}{4.187 \times 2.6} = 85^\circ C$$

因此出口温度为 $85^\circ C$

$$\text{则 } \Delta t_m = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} = \frac{(85-4) - (99-32)}{\ln \frac{(85-4)}{(99-32)}} = 73.78^{\circ}\text{C}$$

$$A = \frac{\Phi}{k\Delta t_m} = \frac{4.187 \times 10^3 \times 1.3 \times (99-85)}{385 \times 73.78} = 5.37 \text{m}^2$$

$$(2) \quad \varepsilon = \frac{(t'_1 - t''_2)_{\max}}{t'_1 - t'_2} = \frac{32-4}{99-4} = 0.2947$$

注：考研材料系东大研究生亲自编写， 分讲义、真题解析、模拟题三块。 编者由于工作原因 2013 年后的真题无时间未继续编写， 现贱卖； 但讲义很全。 详情请通过百度找我！