

附录 B5 上海交大 2002 年传热学试题

1. 回答下列 4 题 (共 20 分)

1-1 试在 $t-x$ 坐标图上画出厚为 δ 的无限大平板一维稳态导热温度分布曲线并简扼解释之。已知 $x=0, t=t_1$; $x=\delta, t=t_2$ ($< t_1$)。平板材料导热系数为

$\lambda = \lambda_0 (1 + bt)$, 式中 $b > 0$ 。(5 分)

答: (同图 3-4)

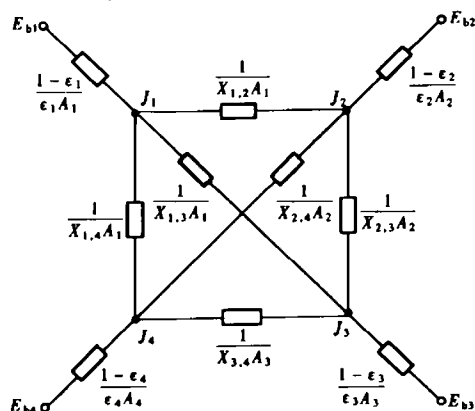
1-2 大空间自然对流的换热准则关系式 $Nu = C (GrPr)^n$ 中不出现 Re 数, 试问下述四种解释哪一种是正确的? ①不需考虑粘性力的影响; ②不需考虑惯性力的影响; ③ Re 是非定型 (待定) 准则; ④此时没有流速分布。(5 分)

答: ②正确。因为自然对流中起主要作用的是浮升力和粘性力。

1-3 写出 Bi 和 Fo 的组成式, 简述其物理意义。(5 分)

答: $Bi = \frac{hL}{\lambda}$ 物体导热热阻与表面换热热阻的对比。

$Fo = \frac{\alpha \tau}{l^2}$ 非稳态导热过程的无量纲时间。



附录 B5 图 1

1-4 试画出四个灰体表面间的辐射换热网络图并写出其四个节点的辐射换热计算方程组 (不需展开)。

解: 辐射换热网络图见附录 B5 图 1。

$$\frac{E_{b1} - J_1}{\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1 A_1}} + \frac{J_2 - J_1}{\frac{1}{A_1 X_{1,2}}} + \frac{J_3 - J_1}{\frac{1}{A_1 X_{1,3}}} + \frac{J_4 - J_1}{\frac{1}{A_1 X_{1,4}}} = 0$$

$$\frac{E_{b2} - J_2}{\frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2 A_2}} + \frac{J_1 - J_2}{\frac{1}{A_2 X_{2,1}}} + \frac{J_3 - J_2}{\frac{1}{A_2 X_{2,3}}} + \frac{J_4 - J_2}{\frac{1}{A_2 X_{2,4}}} = 0$$

$$\frac{E_{b3} - J_3}{\frac{1 - \epsilon_3}{\epsilon_3 A_3}} + \frac{J_1 - J_3}{\frac{1}{A_3 X_{3,1}}} + \frac{J_2 - J_3}{\frac{1}{A_3 X_{3,2}}} + \frac{J_4 - J_3}{\frac{1}{A_3 X_{3,4}}} = 0$$

$$\frac{E_{b4} - J_4}{\frac{1 - \epsilon_4}{\epsilon_4 A_4}} + \frac{J_2 - J_4}{\frac{1}{A_4 X_{4,2}}} + \frac{J_3 - J_4}{\frac{1}{A_4 X_{4,3}}} + \frac{J_1 - J_4}{\frac{1}{A_4 X_{4,1}}} = 0$$

2. 厚 $\delta = 10\text{cm}$ 、内热源 $\dot{\Phi} = 3 \times 10^4 \text{W/m}^3$ 的大平壁的一个表面 $x=0$ 为绝热面, 另一个表面 $x=\delta$ 暴露于 $t_\infty = 25^\circ\text{C}$ 的空气之中。已知空气与壁面之间的对流换热系数 $h = 50 \text{W/m}^2$, 壁的导热系数 $\lambda = 3 \text{W/(m}\cdot\text{K)}$ 。

(1) 写出平壁的稳态导热微分方程及边界条件;

(2) 计算最高壁温 t_{\max} 。(10 分)

解: (1) 由热平衡 $h(t_w - t_\infty) = \Phi \delta \Rightarrow t_w = \frac{\dot{\Phi} \delta}{h} + t_\infty$

微分方程
$$\frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{\dot{\Phi}}{\lambda} = 0$$

边界条件
$$\begin{cases} x=0, & \frac{dt}{dx}=0 \\ x=\delta, & t=t_w = \frac{\dot{\Phi} \delta}{h} + t_\infty \end{cases}$$

(2) 方程积分得
$$t = -\frac{\dot{\Phi}}{2\lambda} x^2 + c_1 x + c_2$$

代入边界条件得
$$\begin{cases} c_1 = 0 \\ c_2 = \frac{\dot{\Phi}}{2\lambda} \delta^2 + \frac{\dot{\Phi} \delta}{h} + t_\infty \end{cases}$$

$$t = \frac{\dot{\Phi}}{2\lambda} (\delta^2 - x^2) + \frac{\dot{\Phi} \delta}{h} + t_\infty$$

最高温度在 $x=0$ 处 $\left(\frac{dt}{dx}=0\right)$ 。

$$t_{\max} = \dot{\Phi} \delta \left(\frac{1}{h} + \frac{\delta}{2\lambda} \right) + t_\infty = 3 \times 10^4 \times 0.1 \times \left(\frac{1}{50} + \frac{0.1}{2 \times 3} \right) + 25 = 110 + 25 = 135^\circ\text{C}$$

3. 试导出具有内热源 $\dot{\Phi}$ 、变截面 $A(x)$ 、变导热系数 $\lambda(t)$ 、截面周长为 P 的细杆状扩展体一维稳态导热问题的温度场微分方程式 (不需展开和化简)。(10分)

解: 微元段导入热 $\Phi_x = -\lambda(t) A(x) \frac{dt}{dx}$

微元段导出热

$$\Phi_{x+dx} = -\left[\lambda(t) + \frac{\partial \lambda}{\partial t} \cdot dt \right] \cdot \left[A(x) + \frac{\partial A}{\partial x} \cdot dx \right] \cdot \frac{d}{dx} \left(t + \frac{\partial t}{\partial x} dx \right)$$

内热源生成热

$$\Phi_r = \dot{\Phi} \cdot A(x) dx$$

散热

$$\Phi_s = P \cdot dx \cdot h(t - t_\infty)$$

由热平衡得微分方程

$$\Phi_x - \Phi_{x+dx} + \Phi_r - \Phi_s = 0$$

4. 用集总参数法计算下落铝滴的初始冷却速率 $dT/d\tau$ 。若球状铝滴的直径 $d = 0.5\text{mm}$, 初始温度 $T_i = 1700\text{K}$, 下落速度 $u = 1\text{m/s}$, 铝滴可看成灰体, 其表面辐射率 (黑度) $\epsilon = 0.2$, 密度 $\rho = 2100\text{kg/m}^3$, 比热 $c_p = 1100\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$, 铝滴所处的环境及空气温度 $T_\infty = 300\text{K}$, 空气导热系数 $\lambda = 0.067\text{W/(m}\cdot\text{K)}$, 运动粘度 $\nu = 117.3 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, $Pr = 0.70$, 空气外掠球体的对流换热规律为 $Nu = 2 + (0.4Re^{0.5} + 0.06Re^{0.667}) Pr^{0.4}$ 。(15分)

解: $Re = \frac{ud}{\nu} = \frac{1 \times 0.0005}{117.3 \times 10^{-6}} = 4.2626$

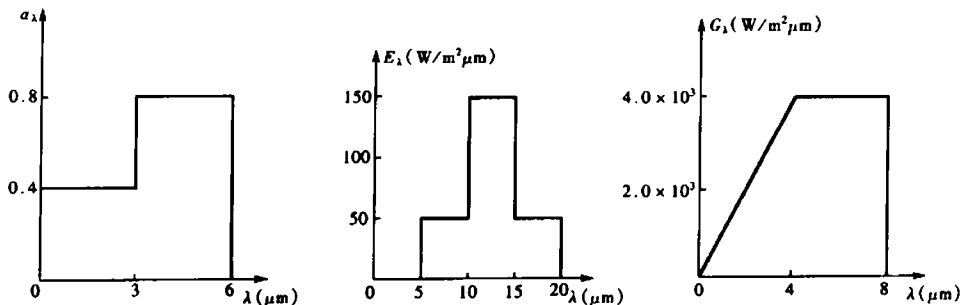
$$Nu = 2 + (0.4 \times 4.2626^{0.5} + 0.06 \times 4.2626^{0.667}) \times 0.7^{0.4} = 2.8529$$

$$h = Nu \cdot \frac{\lambda}{d} = 2.8529 \times \frac{0.067}{0.0005} = 382.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

由热平衡:

$$\begin{aligned} \left. \frac{dT}{d\tau} \right|_{\tau=0} &= \frac{6}{\rho c_p d} [h(T_1 - T_\infty) + \epsilon \sigma (T_1^4 - T_\infty^4)] \\ &= \frac{6}{2100 \times 1100 \times 0.0005} \times [382.3(1700 - 300) + 0.2 \times 5.67 \times 10^{-8} (1700^4 - 300^4)] \\ &= 3272 \text{ K/s} \end{aligned}$$

5. 给出一漫射表面的单色吸收率 α_λ 、单色辐射强度 E_λ 以及外界投入辐射 G_λ 随波长 λ 的分布 (见附录 B5 图 2)。若在某一瞬间测得其表面温度为 1100K, 试计算并回答: ① 此时该表面的全辐射力 E 及黑度 ϵ ; ② 定向辐射强度; ③ 单位面积吸收的外界投入辐射 Φ_a ; ④ 此条件下的物体温度 T 随时间 τ 的增加是增加还是减小, 假定物体无内热源, 也没有任何别的形式的热量传递。(15 分)



附录 B5 图 2

$$\text{解: (1) } E = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda = 50 \times (20 - 5) + (150 - 50) \times (15 - 10) = 1250 \text{ W/m}^2$$

$$E_b = \sigma T^4 = 5.67 \times 10^{-8} \times 1100^4 = 83014 \text{ W/m}^2$$

$$\epsilon = \frac{E}{E_b} = \frac{1250}{83014} = 0.015$$

$$(2) L = \frac{E}{\pi} = \frac{1250}{3.1416} = 398 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Sr})$$

$$\begin{aligned} (3) \Phi_a &= \int_0^3 G_\lambda \cdot \alpha_\lambda \cdot d\lambda + \int_3^6 G_\lambda \cdot \alpha_\lambda \cdot d\lambda \\ &= 0.4 \times 3 \times \frac{3 \times 1 \times 10^3}{2} + 0.8 \times \left[(4 - 3) \frac{(4 + 3) \times 10^3}{2} + (8 - 4) \times 4 \times 10^3 \right] \\ &= 1.8 \times 10^3 + 15.6 \times 10^3 = 17.4 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

$E < \Phi_a$, 此条件下物体温度随时间增加。

6. 测得一台已工作很长时间的逆流式油冷器的参数为: 热油流量 $q_{m1} = 2 \text{ kg/s}$, 进出口温度 $T_1 = 420 \text{ K}$, $T_1' = 380 \text{ K}$, 冷水流量 $q_{m2} = 1 \text{ kg/s}$, 进口温度 $T_2 = 300 \text{ K}$ 。已知传热面积 $A = 3.33 \text{ m}^2$ 。问: 相对原传热系数设计值 $k = 930 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 因表面积垢导致该台油冷器的 k 下

降百分之多少? 设热油的比热 $c_{p1} = 2330 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 冷水 $c_{p2} = 4174 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ (15 分)

$$\text{解: } \Phi = q_{m1} c_{p1} (t'_{11} - t''_{11}) = 2 \times 2330 \times (420 - 380) = 186400 \text{ W}$$

$$t''_{12} = \frac{\Phi}{q_{m2} c_{p2}} + t'_{12} = \frac{186400}{1 \times 4174} + 300 = 344.7 \text{ K}$$

$$\Delta t = \frac{(t'_{11} - t''_{12}) - (t'_{11} - t'_{12})}{\ln \frac{t'_{11} - t''_{12}}{t'_{11} - t'_{12}}} = \frac{(420 - 344.7) - (380 - 300)}{\ln \frac{420 - 344.7}{380 - 300}} = 77.6 \text{ K}$$

$$k' = \frac{\Phi}{A \Delta t} = \frac{186400}{3.33 \times 77.6} = 721.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\frac{k - k'}{k} = \frac{930 - 721.3}{930} = 22.4\%$$

答: 由于结垢导致油冷器传热系数下降 22.4%。

7. 试计算建筑物玻璃大门的对流热损失。已知玻璃大门高 2.3m, 宽 4.0m。其内表面温度 $t_s = 0^\circ\text{C}$, 建筑物内空气温度 $t_r = 20^\circ\text{C}$, 空气运动粘度 $\nu = 14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。空气沿竖壁从层流转换为紊流的临界 $Gr = 10^9$, 其自然对流换热经验式为

$$\text{层流 } h = 1.07 (\Delta T/x)^{0.25} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad 10^4 < Gr_1 < 10^9$$

$$\text{紊流 } h = 1.30 (\Delta T/x)^{0.33} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad 10^9 < Gr_1 < 10^{12} \quad (15 \text{ 分})$$

$$\text{解: } t_m = \frac{0 + 20}{2} = 10^\circ\text{C} = 283 \text{ K}$$

$$Gr = \frac{g \alpha \Delta t l^3}{\nu^2} = \frac{9.80665 \times (1/283) \times 20 \times 2.3^3}{(14 \times 10^{-6})^2} = 4.302 \times 10^{10} > 10^9$$

流态转换点高度

$$l' = \left(\frac{Gr_c \nu^2}{g \alpha \Delta t} \right)^{1/3} = \left[\frac{10^9 \times (14 \times 10^{-6})^2}{9.80665 \times (1/283) \times 20} \right]^{1/3} = 0.283 \text{ m}$$

层流区平均表面传热系数

$$\begin{aligned} h'_{11} &= \frac{1}{0.283} \int_0^{0.283} h(x) dx \\ &= \frac{1.07 \Delta t^{0.25}}{0.283} \int_0^{0.283} x^{-0.25} dx \\ &= \frac{1.07 \times 20^{0.25}}{0.283} \times \frac{4}{3} \times 0.283^{0.75} = 4.137 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

湍流区表面传热系数

$$h_2 = 1.3 \Delta T^{0.33} = 1.3 \times 20^{0.33} = 3.494 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

对流热损失

$$\Phi = (h_1 A_1 + h_2 A_2) \Delta t = [4.137 \times 0.283 \times 4 + 3.494 \times (2.3 - 0.283) \times 4] \times 20 = 657.5 \text{ W}$$

附录 B6 浙江大学 2000 年传热学试题

一、填空 (每题 2 分)

1. 自然对流换热是指由于流体自身温度场不均匀所引起的对流且与固体壁面发生传热的现象。

2. 肋片效率 η_f 是 实际散热量与假设整个肋表面处于肋基温度下的散热量之比。

3. 流体在大空间沿竖壁作自然对流换热时, 对于紊流工况, 其对流换热系数正比于竖壁高度的零次方。

4. 管槽内对流换热的入口效应是指入口段热边界层较薄, 对流换热系数较大, 换热效果比充分发展阶段高。

5. 定性温度是决定流体物性参数的温度, 特性尺度是特征数中所规定的几何尺寸。

6. 导热系数 α 描述了物体内部热量扩散的能力。

7. 半球内壁对底部半圆的角系数为 $1/4$ 。

8. 导热集总参数系统的热惯性可由时间常数 τ_c 来描述, 其影响因素为反映物体吸收能力的参数 ρ 、 c 、 V 和表面换热能力的参数 h 、 A 。

9. 黑体的温度越高, 其最大辐射力波长越短, 描述这一性质的物理定律叫维恩位移定律。

10. 均质平壁的稳态温度分布如图 (同图 3-4 中 $b > 0$) 所示, 它说明该平壁材质的导热系数随温度变化的规律为随温度升高而增大。

二、问答题 (每题 10 分)

1. 试举 5 个隔热保温的措施, 并用传热学理论阐明其原理。

答: (1) 在热力管道上敷设保温材料, 以增加传热热阻, 减少管道散热。

(2) 保温材料外敷设防水材料, 以避免受潮而降低保温效果。

(3) 保温外层采用低发射率材料, 以降低辐射换热量。

(4) 对于管道保温, 将导热系数小的材料包在内层, 以增加保温层热阻。

(5) 采用遮热板, 增加系统辐射热阻, 以减少高温物体的辐射散热。

2. 试解释蔬菜塑料大棚温室效应的传热学原理。

答: 塑料薄膜对热辐射有选择性透射特性, 它对太阳的短波辐射透射率较高, 而对蔬菜的长波辐射不透明, 所以在太阳光照射下产生温室效应。

3. 试分析逆流与顺流布置、管束的顺排与叉排布置的特点, 并说明在具体换热器设计时如何选择流动形式与管束的排列方式。

答: 换热器中流体逆流布置能获得较大传热温差, 使换热器结构紧凑, 但高温段换热面工作温度较高, 要综合考虑材料的耐温性能; 叉排的换热效果要优于顺排, 但叉排的流动阻力较大, 传热面结垢后的清理比较困难。

4. 一名游泳者刚从游泳池上来, 其皮肤上有一层水, 这时是阴天且有风, 请分析其皮肤上所发生的所有传热过程; 用传热学解释为什么这时会比皮肤完全干时感觉要冷得多; 如

果正在这时太阳出来了,发生在他身上的传热过程又会怎样?

答:此时存在多种传热形式,皮肤与水膜对流换热,水膜导热,水膜外表面与空气的对流换热,还有皮肤对环境的辐射换热。由于空气不饱使得水膜有较强的蒸发能力,相变换热的表面传热系数比非相变换热要高两个数量级,所以这时感觉会比皮肤完全干时要冷得多。太阳出来后,对水膜和皮肤表面进行辐射,水的蒸发热由太阳辐射进行补偿,感觉要暖和得多。

三、计算题

1. 一逆流式换热器刚投入工作时在下列参数下运行: $t'_1 = 360^\circ\text{C}$, $t''_1 = 300^\circ\text{C}$, $t'_2 = 30^\circ\text{C}$, $t''_2 = 200^\circ\text{C}$, $q_{m1}c_1 = 2500\text{W}/^\circ\text{C}$, $k = 800\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。运行一年后发现,在 $q_{m1}c_1$ 、 $q_{m2}c_2$ 及 t'_1 、 t'_2 保持不变的情况下,冷流体只能被加热到 162°C ,试确定此时的污垢热阻和热流体的出口温度是多少?(12分)

$$\begin{aligned}\text{解: 由} \quad \frac{q_{m1}c_1}{q_{m2}c_2} &= \frac{t'_2 - t'_1}{t'_1 - t''_1} = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t''_1} \\ t''_{1r} &= t'_1 - (t''_2 - t'_2) \cdot \frac{t'_1 - t''_1}{t'_2 - t'_1} = 360 - (162 - 30) \times \frac{360 - 300}{200 - 30} = 313.4^\circ\text{C} \\ \Delta t_r &= \frac{(t'_1 - t''_{1r}) - (t''_2 - t'_2)}{\ln \frac{t'_1 - t''_{1r}}{t''_2 - t'_2}} = \frac{(360 - 162) - (313.4 - 30)}{\ln \frac{360 - 162}{313.4 - 30}} = 238.2^\circ\text{C} \\ \Delta t &= \frac{(t'_1 - t''_2) - (t'_1 - t'_2)}{\ln \frac{t'_1 - t''_2}{t'_1 - t'_2}} = \frac{(360 - 200) - (300 - 30)}{\ln \frac{360 - 200}{300 - 30}} = 210.2^\circ\text{C}\end{aligned}$$

由

$$\Phi_1 = q_{m1}c_1(t'_1 - t''_1) = kA\Delta t$$

$$\Phi_2 = q_{m1}c_1(t'_1 - t''_{1r}) = k_r A \Delta t_r$$

$$k_r = \frac{t'_1 - t''_{1r}}{t'_1 - t''_1} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t_r} \cdot k = \frac{360 - 313.4}{360 - 300} \times \frac{210.2}{238.2} \times 800 = 548.3\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$R_f = \frac{1}{k_r} - \frac{1}{k} = \frac{1}{548.3} - \frac{1}{800} = 5.73 \times 10^{-4}\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

答:此时的污垢热阻为 $5.73 \times 10^{-4}\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, 热流体的出口温度为 313.4°C 。

2. 为了研究某种肋片管的对流换热性能,在传热风洞中进行空气横掠单管试验。管长 200mm , 竖直布置, 其内径为 20mm , 壁厚 2.5mm 。管壁导热系数为 $45\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, 管内以压力为 $1.013 \times 10^5\text{Pa}$ 、饱和温度为 100°C 的饱和水蒸气凝结来加热管外空气, 实验中测得空气平均温度为 30°C , 单管换热量为 450W , 管端散热可忽略, 试计算这时以管外径计算面积为基准的管外对流换热系数是多少? [已知管内凝结换热系数 $h = 15000(\Delta t)^{-1/4}$]。(12分)

$$\text{解: } \Phi = h_i A_i \Delta t = 15000 \Delta t^{-1/4} \pi d_i l \cdot \Delta t = 15000 \pi d_i l \Delta t^{0.75}$$

$$\Delta t^{0.75} = \frac{450}{15000 \times 3.14 \times 0.02 \times 0.2} = 2.387$$

$$\Delta t = 3.191^\circ\text{C}$$

$$h_i = 15000 \Delta t^{-1/4} = 11223\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$k = \frac{\Phi}{A_o (t_1 - t_f)} = \frac{450}{3.14 \times 0.025 \times 0.2 \times (100 - 30)} = 409.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\text{又} \quad \frac{1}{k} = \frac{d_o}{h_i d_i} + \frac{d_o}{2\lambda} \ln(d_o/d_i) + \frac{1}{h_o}$$

$$\begin{aligned} h_o &= \frac{1}{\frac{1}{k} - \frac{d_o}{h_i d_i} - \frac{d_o}{2\lambda} \ln(d_o/d_i)} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{409.3} - \frac{0.025}{11223 \times 0.02} - \frac{0.025}{2 \times 45} \times \ln(0.025/0.02)} = 440.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

答：以管外径计算面积为基准的管外对流换热系数是 $440.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

3. 在两板平行放置的相距很近的大平板 1 与 2 中插入一块很薄且两个表面黑度不等的第三块平板。已知 $t_1 = 300^\circ\text{C}$, $t_2 = 100^\circ\text{C}$, $\epsilon_1 = 0.5$, $\epsilon_2 = 0.8$, 当板 3 的 A 面朝向表面 1 时, 板 3 的温度为 170°C , 当板 3 的 B 面朝向表面 1 时, 稳态时板 3 的温度为 260°C 。试确定表面 A、B 各自的黑度 (精确到 2 位有效数字)。(16 分)

解:

$$\begin{aligned} \frac{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_A} - 1}{\frac{1}{\epsilon_B} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} &= \frac{E_{b1} - E_{b31}}{E_{b31} - E_{b2}} = \frac{T_1^4 - T_{31}^4}{T_{31}^4 - T_2^4} = \frac{573^4 - 443^4}{443^4 - 373^4} = 3.617 \\ \frac{\frac{1}{\epsilon_A} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_B} - 1} &= \frac{E_{b32} - E_{b2}}{E_{b1} - E_{b32}} = \frac{T_{32}^4 - T_2^4}{T_1^4 - T_{32}^4} = \frac{533^4 - 373^4}{573^4 - 533^4} = 2.264 \end{aligned}$$

联列解得

$$\epsilon_A = 0.18 \quad \epsilon_B = 0.64$$

附录 B7 浙江大学 2001 年传热学试题

一、填空题 (每题 2 分)

1. 流体刚流入恒壁温的管道作层流换热时, 其局部对流换热系数沿管长减小, 这是因为热边界层厚度沿管长增加。

2. 流体流过弯曲管道或螺旋管时, 对流换热系数会增大, 这是由于流体流动方向不断改变, 在管道横截面上引起二次环流而强化换热。

3. 管外流动换热, 有纵向冲刷和横向冲刷之分, 在其他条件相同时, 横向冲刷方式换热更为强烈, 这可以解释为横向冲刷边界层厚度相对纵向冲刷薄, 而且绕流脱体会强化换热。

4. 已知热流体进出口温度分别为 t_{1i} 、 t_{1o} , 冷流体进出口温度为 t_{2i} 、 t_{2o} , 当换热器顺流布置时, 对流平均温差表达式 $\frac{(t_{1i} - t_{2i}) - (t_{1o} - t_{2o})}{\ln \frac{t_{1i} - t_{2i}}{t_{1o} - t_{2o}}}$; 当换热器逆流布置时, 其对数平均温差表达式 $\frac{(t_{1i} - t_{2o}) - (t_{1o} - t_{2i})}{\ln \frac{t_{1i} - t_{2o}}{t_{1o} - t_{2i}}}$ 。(请以 t_{1i} 、 t_{1o} 、 t_{2i} 、 t_{2o} 表示)

5. 临界热绝缘直径 $d_{cr} = 2\lambda/h_o$, 其意义为 $d = d_{cr}$ 时 对流与导热热阻之和最小, 散热量最大。

6. 描述导热物体内部温度扯平能力的物性量叫热扩散率, 它由导热系数 λ , 密度 ρ , 比热容 c 物性量确定, 其定义式为 $\alpha = \lambda/\rho c$ 。

7. 确定导热微分方程的定解条件中有边界条件, 常用的有三种:

第一类边界条件为已知边界上任意时刻的温度值;

第二类边界条件为已知边界上任意时刻的热流密度值;

第三类边界条件为已知边界周围流体的温度 t_f 和表面传热系数 h 。

8. 在求解导热热阻时, 常碰到变导热系数的情况。当材料的导热系数为温度的线性函数时, 常取材料算术平均温度下的导热系数作为平均导热系数。

9. 黑体辐射的角系数具有三个性质, 它们是

(1) 相对性, 数学表达式为 $A_1 X_{1,2} = A_2 X_{2,1}$;

(2) 完整性, 数学表达式为 $\sum_{i=1}^n X_{1,i} = 1$;

(3) 可加性, 数学表达式为 $X_{1,2} = \sum_{i=1}^n X_{1,2,i}$ 。

10. 光谱吸收比 $\alpha(\lambda)$ 与波长 λ 无关的物体叫灰体。

二、简答题 (每题 10 分)

1. 试比较竖壁上自然对流与膜状凝结的异同。

答: (1) 都是竖壁表面与流体的换热, 自然对流主要作用力是浮升力和粘性力, 膜状凝结主要作用力是重力和粘性力。

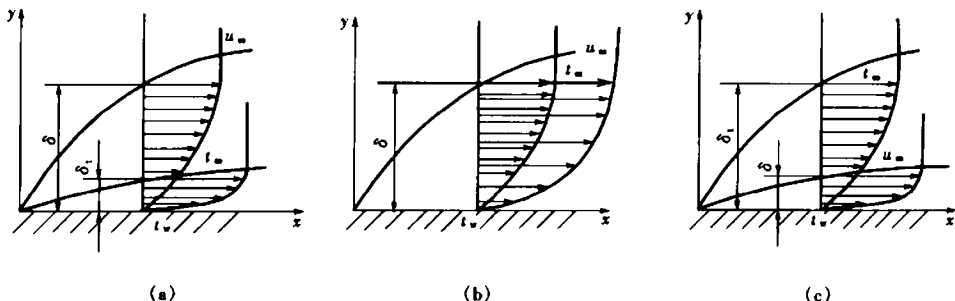
(2) 都存在层流和湍流两种流态, 其中自然对流是气体的流动状态; 膜状凝结指的是液

膜中凝结液的流动状态。

2. 请解释流动边界层与热边界层。对于油、空气及液态金属, 分别有 $Pr \gg 1$ 、 $Pr \approx 1$ 及 $Pr \ll 1$, 试就这三种冷流体外掠等温平板流动 ($t_w > t_f$) 分别画出其速度分布与温度分布的大致图像 (要能显示 δ 与 δ_t 的相对大小), 并作简要说明。

答: $Pr = \frac{\nu}{a}$, 它反映了流体动量传递能力和热量传递能力的相对大小, 体现在速度边界层和温度边界层厚度的相对大小。

速度分布与温度分布的大致图像见附录 B7 图 1。



附录 B7 图 1

(a) $Pr \gg 1$; (b) $Pr \approx 1$; (c) $Pr \ll 1$

3. 微元黑体的辐射能按空间方向是怎样分布的? 为什么?

答: 由兰贝特定律可知: 微元黑体的辐射能落到空间不同方向单位立体角内的能量的数值不等, 其数值正比与该方向与辐射面法线方向夹角的余弦。这是因为可见辐射面积与该夹角的余弦成正比。

4. 采用温度计套管测量气体温度时, 辐射和导热会引起测温误差, 请提出提高测温精度的措施。

答: (1) 采用导热系数小的材料作套管, 尽量增加套管高度, 并减小套管的壁厚, 从而降低套管顶端与根部间的导热热量;

(2) 强化套管与流体间的换热, 从而降低套管顶端与气体的温差;

(3) 在气体测量段或气体容器外部进行保温处理和减小套管表面黑度, 从而降低套管与气体容器壁面的辐射换热量。

(4) 降低温度计探头与套管内壁的接触热阻, 如采用导热油、水银、导热硅胶等。

三、计算题

1. (15 分) 现欲用 -7°C 的冷媒水将温度为 37°C 、流量为 0.1kg/s 的空气冷却至 12°C 。已知冷媒水出口温度为 15°C , 它在管内流动时的对流换热系数为 $1000\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, 空气在管外流动的对流换热系数为 $30\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, 管道内径 (直径) 16mm , 外径 20mm , 管壁材料的导热系数很大, 对传热的影响可以忽略, 试求:

(1) 采用光管, 最少需用多长的管子?

(2) 若在管外装上肋片 (肋化系数为 7, 肋面总效率为 0.8), 则最少需要多长的管子?

已知空气物性: $c_p = 1.005 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $\rho = 1.23 \text{ kg}/\text{m}^3$, $\lambda = 0.026 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。冷媒水物性: $c_p = 4.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, $\lambda = 0.56 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

解: 由冷媒水出口温度可知该换热器为逆流换热。

$$\Delta t = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t''_1 - t'_2)}{\ln \frac{t'_1 - t''_2}{t''_1 - t'_2}} = \frac{(37 - 15) - (12 + 7)}{\ln \frac{37 - 15}{12 + 7}} = 20.46^\circ \text{C}$$

$$\Phi = q_{m1} c_{p1} (t'_1 - t''_1) = 0.1 \times 1005 \times (37 - 12) = 2512.5 \text{ W}$$

(1) 以内表面为基准的传热系数

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{d_i}{h_o d_o}} = \frac{1}{\frac{1}{1000} + \frac{0.016}{30 \times 0.02}} = 36.14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$l = \frac{\Phi}{k \Delta t \pi d} = \frac{2512.5}{36.14 \times 20.46 \times 3.14 \times 0.016} = 67.6 \text{ m}$$

答: 采用光管, 最少需用 67.6m 管子。

(2) 在管外装上肋片后以内表面为基准的传热系数

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{d_i}{a_o \beta r h_o}} = \frac{1}{\frac{1}{1000} + \frac{0.016}{0.02 \times 7 \times 0.8 \times 30}} = 173.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$l = \frac{\Phi}{k \Delta t \pi d} = \frac{2512.5}{173.6 \times 20.46 \times 3.14 \times 0.016} = 14.1 \text{ m}$$

答: 在管外装上肋片后, 最少需要 14.1m 管子。

2. (15 分) 某一矩形烟道, 截面积为 $800 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$, 烟道长 20m, 烟道内恒壁温为 $t_w = 70^\circ \text{C}$, 现有 $t_f(0) = 230^\circ \text{C}$ 的烟气流过该烟道, 质量流量 $q_m = 1.6 \text{ kg/s}$, 试计算烟气的出口温度。

已知烟气物性: $c_p = 1.08 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ \text{C})$, $\rho = 0.8 \text{ kg}/\text{m}^3$, $\lambda = 0.035 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ \text{C})$, $\nu = 27.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $Pr = 0.68$ 。

通道内换热计算式: $Nu_f = 0.023 Re_f^{0.8} Pr_f^{0.3}$

对于恒温壁下的管内流动有: $t_f(x) - t_f(0) = -\frac{hPx}{q_m c_p}$

其中: P 为截面周长, h 为对流换热系数, \bar{t}_f 为流体平均温度, $\bar{t}_f = 0.5 [t_f(x) + t_f(0)]$ 。

解:

$$A_c = 0.7 \times 0.8 = 0.56 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \times (0.7 + 0.8) = 3 \text{ m}$$

$$de = \frac{4A_c}{P} = \frac{4 \times 0.56}{3} = 0.747 \text{ m}$$

$$u = \frac{q_m}{\rho A_c} = \frac{1.6}{0.8 \times 0.56} = 3.571 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{u de}{\nu} = \frac{3.571 \times 0.747}{27 \times 10^{-6}} = 98810$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} = 0.023 \times 98810^{0.8} \times 0.68^{0.3} = 202.92$$

$$h = Nu_{de} \frac{\lambda}{d_e} = 202.92 \times \frac{0.035}{0.747} = 9.51 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

由热平衡关系整理得

$$t_f(L) = \frac{\frac{hpL}{q_m c_p} \left[t_w - \frac{t_f(0)}{2} \right] + t_f(0)}{1 + \frac{hpL}{2q_m c_p}} = \frac{\frac{9.51 \times 3 \times 20}{1.6 \times 1080} \times \left(70 - \frac{230}{2} \right) + 230}{1 + \frac{9.51 \times 3 \times 20}{2 \times 1.6 \times 1080}} = 184.7^\circ\text{C}$$

答：烟气的出口温度为 184.7°C 。

3. (10分) 在某产品的制造过程中，厚度为 2.0mm 基板上紧贴一层厚为 0.1mm 的透明薄膜，薄膜表面上有一股冷气流流过，其温度为 10°C ，对流换热系数为 $50\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，同时有辐射能透过薄膜投射到薄膜与基板的结合面上，基板的另一面维持在 30°C ，生产工艺要求薄膜与基板的结合面的温度应为 60°C ，试确定辐射热流密度 q 应为多大？（已知薄膜导热系数为 $0.02\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，基板的导热系数为 $0.06\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。投射到结合面上的辐射热流全部被结合面吸收，薄膜对 60°C 的热辐射不透明，而对投入辐射是完全透明的。）

$$\text{解： } q = \frac{t_1 - t_f}{\frac{1}{h} + \frac{\delta_1}{\lambda_1}} + \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{60 - 10}{\frac{1}{50} + \frac{0.0001}{0.02}} + \frac{60 - 30}{\frac{0.002}{0.06}} = 2900 \text{ W}/\text{m}^2$$

附录 B8 南京航空航天大学 2000 年传热学试题

(二、六、七题任选两题)

一、基本概念题 (每题 6 分, 共 36 分)

1. 写出 Bi 准则的表达式及物理意义, 并定性画出当 $Bi \rightarrow 0$ 和 $Bi \rightarrow \infty$ 时, 置于恒温流体中的一维平板非稳态导热的温度分布随时间的变化。

答: $Bi = \frac{hl}{\lambda}$, 是物体内部导热热阻与表面对流换热热阻之比。(图略)

2. 为了减少蒸汽管道的热损失, 在管外包上绝热材料, 试问在什么条件下, 绝热材料包得越厚热损失越少?

答: $\frac{\Phi}{l} = \frac{\pi (t_{w,i} - t_{f,o})}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{h_o d_o}}$, 从式中可看出, 保温层的加厚, 一方面使导热热阻增加, 另

一方面使对流热阻减小。当 $d_o = d_{cr} = \frac{2\lambda}{h_o}$ 时, 总热阻最小。当圆管外径大于临界热绝缘直径 d_{cr} 时, 绝热材料包得越厚热损失越小。

3. 写出辐射力的定义和量纲。对于扩散辐射表面, 辐射力和辐射强度之间有何关联?

答: 辐射力: 单位时间内物体的单位辐射面积向外界发射的全部波长的辐射能称为辐射力, 记为 E , 其单位: W/m^2 , 量纲: $[MT^{-3}]$ 。

对于漫射表面: $E = \pi I$, 数值上辐射力是辐射强度的 π 倍。

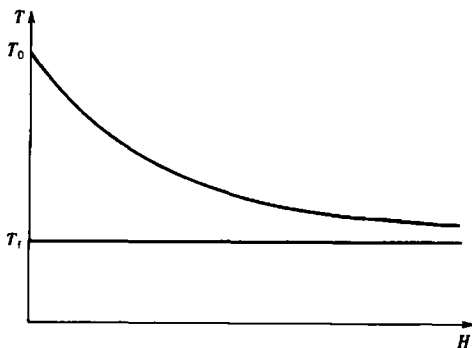
4. 试述气体辐射和固体辐射的主要差异。

答: (1) 气体辐射对波长有选择性, 对某些波长呈现透明性, 而固体辐射一般是波长的连续函数;

(2) 气体的辐射和吸收是在整个容积中进行的, 而固体的辐射和吸收只在表面进行。

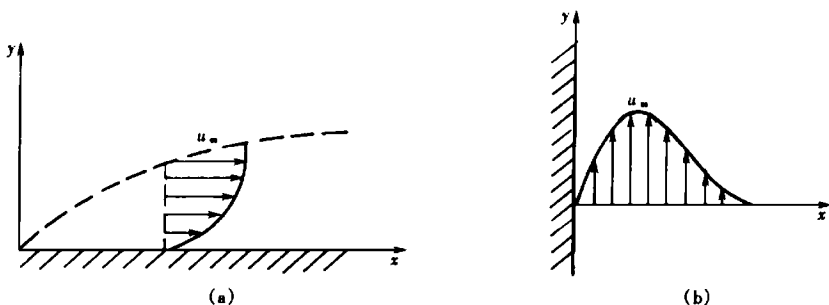
5. 对于一等截面直肋, 设肋根温度为 T_0 , 周围介质温度为 T_f , 且 $T_0 > T_f$ 。试定性画出沿肋高方向的温度分布, 并扼要分析在设置肋片时, 肋片高度是否越长越好。

答: 沿肋高方向的温度分布如附录 B8 图 1, 由图可见, 肋片温度随高度成指数关系下降。肋片高度增加使散热表面积增加, 但肋效率下降, 虽然换热量也在增加, 但因换热器的体积、重量和成本增加, 肋片并非越高越好。肋片散热量与 mH 的双曲正切成正比, 而双曲正切是以 1 为极值的单调增加函数, mH 为 1.5 时其值已超过 0.9。



附录 B8 图 1

6. 用图并配合简要的文字或公式, 说明空气外掠平板强迫对流和竖壁自然对流时 (均



附录 B8 图 2

(a) 空气外掠平板; (b) 竖壁自然对流

为层流状态) 边界层内的速度分布特征。

答: 如附录 B8 图 2。空气外掠平板强迫对流: 由于流体的粘性作用, 流体在平板壁面处速度为零, 在边界层内速度急剧变化, 在边界层外边缘处达到流体主流速度。[如附录 B8 图 2 (a)]

竖壁自然对流: 由于流体的粘性作用, 贴壁层流体速度为零。在边界层外缘处流体与远处流体温差近似为零, 流体速度也为零。这样, 边界层内形成了两边速度为零、中间有峰值的速度分布。[如附录 B8 图 2 (b)]

二、已知平壁两侧温度分别为 T_1 和 T_2 , 壁厚为 δ , 材料的导热系数与温度的关系为 $\lambda = \lambda_0 (1 + bT)$, λ_0 和 b 为常数, 无内热源。试求通过平壁的热流密度表达式。(10 分)

解: 根据傅里叶定律, 对于无内热源变物性的一维平壁稳态导热

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} = -\lambda_0 (1 + bT) \frac{dT}{dx}$$

分离变量并积分:

$$q \int_0^\delta dx = -\lambda_0 \int_{T_1}^{T_2} (1 + bT) dT \Rightarrow q\delta = \lambda_0 \left[T + \frac{b}{2} T^2 \right]_{T_2}^{T_1} \Rightarrow q = \lambda_0 \left(1 + \frac{T_1 + T_2}{2} b \right) \frac{T_1 - T_2}{\delta}$$

三、直径为 30mm 的钢球, 具有均匀的初始温度 450℃, 突然放入温度保持为 100℃ 的恒温介质中, 已知钢的导热系数为 46.5W/(m·K), 比热为 0.5kJ/(kg·K), 密度为 7600kg/m³, 钢球与介质间的对流换热系数为 11.6W/(m²·K), 求钢球被冷却到 150℃ 所需的时间。(12 分)

$$\text{解: } Bi = \frac{hR}{\lambda} = \frac{11.6 \times 15 \times 10^{-3}}{46.5} = 0.0037 < 0.1$$

采用集总参数法求解:

$$\text{因为 } \theta = \theta_0 e^{-\frac{hA}{\rho c V} \tau} \Rightarrow \tau = \frac{\rho c V}{hA} \ln \frac{\theta_0}{\theta} = \frac{\rho c R}{3h} \ln \frac{\theta_0}{\theta}$$

$$\tau = \frac{7600 \times 0.5 \times 10^3 \times 0.015}{3 \times 11.6} \times \ln \frac{450 - 100}{150 - 100} = 3187.3s$$

四、一铂丝长为 10mm, 直径为 0.1mm, 将此铂丝置于温度为 20℃ 的空气气流中, 用它测定空气的流速。此时铂丝通以 1.22A 的电流, 温度能稳定在 202℃, 若铂丝的电阻为

0.215Ω, 问冲刷铂丝的空气流速是多少? (12 分)

空气 $\nu = 15.06 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\lambda = 2.56 \times 10^{-2} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

空气横向冲刷圆柱体的对流换热准则方程:

当 $Re_d = 10 \sim 100$ 时, $Nu_d = 0.52 Re_d^{0.47}$

当 $Re_d = 1000 \sim 2 \times 10^5$ 时, $Nu_d = 0.18 Re_d^{0.62}$

解: 稳定时铂丝通电产生的热量与空气带走的热量相平衡。即

$$I^2 R = hA(t - t_f) = h\pi dl(t - t_f)$$

$$h = \frac{I^2 R}{\pi dl(t - t_f)} = \frac{1.22^2 \times 0.215}{3.1416 \times 0.0001 \times 0.01 \times (202 - 20)} = 559.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$Nu_d = \frac{559.68 \times 0.1 \times 10^{-3}}{2.56 \times 10^{-2}} = 2.1862$$

设 $Re_d = 10 \sim 100$ 之间。

$$Re_d^{0.47} = \frac{Nu_d}{0.52} = \frac{2.1862}{0.52} = 4.2043 \Rightarrow Re_d = 21.233 \text{ (符合假设)}$$

$$u_\infty = Re_d \frac{\nu}{d} = 21.233 \frac{15.06 \times 10^{-6}}{0.1 \times 10^{-3}} = 3.2 \text{ m/s}$$

五、有两块无限大平行平板, 其发射率分别为 0.3 和 0.8, 二者由于温度不同进行辐射换热, 若在两平板之间插入一块两面抛光的铝遮挡板, 其发射率为 0.04, 求由此引起的辐射换热降低的百分率。(10 分)

解: 未插入遮热板前系统黑度

$$\epsilon_{s1} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0.3} + \frac{1}{0.8} - 1} = \frac{1}{3.583}$$

插入遮热板后系统黑度

$$\epsilon_{s2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1\right) + \left(\frac{2}{\epsilon_3} - 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{0.3} + \frac{1}{0.8} - 1\right) + \left(\frac{2}{0.04} - 1\right)} = \frac{1}{52.583}$$

由此辐射换热降低的百分率为

$$\frac{\frac{1}{3.583} - \frac{1}{52.583}}{\frac{1}{3.583}} = 93.2\%$$

六、流体通过内径为 50mm 圆管时的对流换热系数为 $1000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 雷诺数等于 1×10^5 。假设改用周长与圆管相等的正方形管道, 流体的流速保持不变, 试问对流换热系数将如何变化? (10 分)

解: 对于管内湍流强制对流换热 $h \propto d^{-0.2}$ 。

改为相同周长的正方形通道后, 其当量直径

$$de = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times \left(\frac{\pi d}{4}\right)^2}{\pi d} = \frac{\pi}{4} d$$

$$h_2 = h_1 \left(\frac{de}{d} \right)^{-0.2} = 1000 \times \left(\frac{\pi}{4} \right)^{-0.2} = 1049 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

答：当量直径变小，对流换热系数变大。

七、求下列各表面之间的辐射角系数 $X_{1,2}$ 和 $X_{2,1}$ 。(10分)

(1) 半径为 R 的半球内表面和圆底面组成的封闭系统；

(2) 两相互垂直的平板，长度分别为 A 和 B ，设垂直于纸面的长度。为无限大。

答：(1) 底面对半球内表面的角系数为 $X_{1,2} = 1$ ，半球内表面对底面的角系数为 $X_{2,1} = X_{1,2} \cdot A_1/A_2 = 1 \times 0.5 = 0.5$ 。

(2) 假想第三个平面与 A 和 B 组成封闭空间，其长度为 $\sqrt{A^2 + B^2}$

$$\text{则} \quad X_{A,B} = \frac{A + B - \sqrt{A^2 + B^2}}{2A} \quad X_{B,A} = \frac{A + B - \sqrt{A^2 + B^2}}{2B}$$

八、计算一圆管壁的传热热流。已知管内流体温度为 90°C ， $h_1 = 10^4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，直径 $d_1 = 50 \text{ mm}$ ；管外流体温度为 20°C ， $h_2 = 100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，直径 $d_2 = 58 \text{ mm}$ ；导热系数 $\lambda = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，管长为 1 m 。(10分)

解：

$$\Phi = \frac{\pi (t_1 - t_2) l}{\frac{1}{d_1 h_1} + \frac{1}{d_2 h_2} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{3.1416 \times (90 - 20) \times 1}{\frac{1}{0.05 \times 10000} + \frac{1}{0.058 \times 100} + \frac{1}{2 \times 50} \ln \left(\frac{0.058}{0.05} \right)} = 1250 \text{ W}$$

附录 B9 上海理工大学 2000 年传热学试题

一、概念分析题 (共 30 分)

1. 已知一固体导热系数与温度的关系为 $\lambda = \lambda_0 (1 + bt)$, 试分析当 $b > 0$, $b = 0$, $b < 0$ 时, 无内热源平壁处于稳态时的温度分布。

答: 稳态无内热源平壁热流密度不变。

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} = -\lambda_0 (1 + bt) \frac{dt}{dx} \Rightarrow (1 + bt) \frac{dt}{dx} = -\frac{q}{\lambda_0}$$

两边对 x 求导:

$$(1 + bt) \frac{d^2 t}{dx^2} + b \frac{dt}{dx} \cdot \frac{dt}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{d^2 t}{dx^2} = -b \left[\left(\frac{dt}{dx} \right)^2 / (1 + bt) \right]$$

因为 $1 + bt > 0$, $\left(\frac{dt}{dx} \right)^2 > 0$

所以 $b > 0 \Rightarrow \frac{d^2 t}{dx^2} < 0 \Rightarrow$ 凸形曲线

$b = 0 \Rightarrow \frac{d^2 t}{dx^2} = 0 \Rightarrow$ 直线

$b < 0 \Rightarrow \frac{d^2 t}{dx^2} > 0 \Rightarrow$ 凹形曲线

2. 采用集总参数法求解物体非稳态导热时, 需满足什么条件? 说明为什么要满足此条件。

答: 集总参数法适用条件: $Bi < 0.1$ 。

毕渥准则的物理含义是物体内部导热热阻与表面传热热阻之比, 满足该条件就意味着物体的内部热阻远远小于外部热阻, 即物体内部的热量传递较快, 温度较均匀, 该条件下的非稳态导热温度场可近似认为只是时间的函数, 用集总参数法可简化分析。

3. Pr 数的物理意义是什么? 当 $Pr \gg 1$, $Pr = 1$, $Pr \ll 1$ 时, 比较速度边界层与温度边界层的相对大小。

答: $Pr = \frac{\nu}{a}$, 它反映了流体动量传递能力和热量传递能力的相对大小, 也体现速度边界层与温度边界层的相对厚薄。

(1) $Pr \gg 1$ 时, 温度边界层厚度 $\delta_t \ll$ 速度边界层厚度 δ

(2) $Pr = 1$ 时, $\delta_t \approx \delta$

(3) $Pr \ll 1$ 时, $\delta_t \gg \delta$

4. 什么是沸腾换热的临界热流密度? 为什么有些换热设备需在加热热流密度低于临界热流密度状态下工作?

答: 核态沸腾和过度沸腾交界处的热流密度峰值叫做沸腾换热的临界热流密度。对于热流可控的换热设备, 当热流密度超过 q_{\max} 值时, 工况将跳至稳定膜态沸腾, 传热温差 Δt 猛升至近 1000°C , 为保证设备安全运行而不致烧毁, 应控制 $q < q_{\max}$ 。

5. 当大气中三原子气体比例增加时, 会出现所谓大气温室效应, 试说明其原因。

答: 三原子气体辐射和吸收对波长有选择性, 大气中的三原子气体 (主要是二氧化碳和水蒸气) 对太阳短波辐射呈现透明性, 而对地球表面的长波辐射吸收较多。所以当大气中三原子气体比例增加时, 会加剧大气温室效应。

二、理论推导题 (共 30 分)

1. 某物体开始时与温度为 t_∞ 的空气处于热平衡, 突然对该物体通电加热, 设加热功率为 Φ_r , 物体与周围环境的总换热系数为 h , 该物体内热阻可以忽略, 其体积为 V , 表面积为 A , 密度为 ρ , 比热为 C , 求该物体温度随时间的变化关系。

解: 过剩温度 $\theta = t - t_\infty$, 由热平衡:

$$\rho c V \frac{d\theta}{d\tau} = \Phi_r - hA\theta$$

初始条件

$$\tau = 0, \theta = 0$$

$$\rho c V \int_0^\theta \frac{d\theta}{\Phi_r - hA\theta} = \int_0^\tau d\tau \Rightarrow -\frac{\rho c V}{hA} \ln \left(\frac{\Phi_r - hA\theta}{\Phi_r} \right) = \tau$$

$$\theta = \frac{\Phi_r}{hA} (1 - e^{-\frac{hA}{\rho c V} \tau})$$

2. 来流速度为 u_∞ , 温度为 t_∞ 的流体绕流温度为 t_w 的恒壁温平板。若 $Pr \ll 1$, 可以忽略速度边界层, 试用边界层能量积分方程求解温度边界厚度。(温度分布可取为一次多项式)

解: 边界层能量积分方程 (微元段内能变化量 = 壁面导热量)

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_t} u(t_\infty - t) dy = a \left. \frac{\partial t}{\partial y} \right|_{y=0}$$

$Pr \ll 1 \Rightarrow u = u_\infty$, 引入过剩温度 $\theta = t - t_w$

$$\Rightarrow \text{能量积分方程} \quad \frac{d}{dx} \int_0^{\delta_t} u_\infty (\theta_\infty - \theta) dy = a \left. \frac{\partial \theta}{\partial y} \right|_{y=0}$$

假设

$$\theta(y) = b + cy$$

由边界条件

$$y=0, \theta=0, y=\delta_t, \theta=\theta_\infty$$

$$\Rightarrow b=0, c = \frac{\theta_\infty}{\delta_t}$$

$$\theta = \frac{\theta_\infty}{\delta_t} y, \quad \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{\theta_\infty}{\delta_t}$$

代入能量积分方程:

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_t} u_\infty \left(\theta_\infty - \frac{\theta_\infty}{\delta_t} y \right) dy = a \frac{\theta_\infty}{\delta_t} \Rightarrow \frac{u_\infty \delta_t}{2} = \frac{ax}{\delta_t} \Rightarrow \delta_t = \sqrt{\frac{2ax}{u_\infty}}$$

三、计算题 (共 40 分)

1. 一炉壁由三层材料组成。第一层是耐火砖, 导热系数为 $\lambda_1 = 1.7 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, 其最高使用温度为 1400°C ; 第二层是绝热砖, 导热系数为 $\lambda_2 = 0.35 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, 其允许最高使用温度为 1100°C , 第三层是钢板, 厚 $\delta_3 = 6 \text{ mm}$, $\lambda_3 = 40.7 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, 炉壁内外表面温度分别为 1350°C 和 220°C , 若通过炉壁的热流密度 $q = 4652 \text{ W/m}^2$, 则第一层和第二层材料分别应为多

厚才能使炉壁总厚度为最小?

解: 绝热砖单位厚度的热阻最大, 为了使炉壁总厚度为最小, 应尽量使绝热砖的厚度大, 即, 使其与耐火砖交界面的温度为其最高使用温度 1100°C 。

$$\delta_1 = \lambda_1 \frac{t_1 - t_2}{q} = 1.7 \times \frac{1350 - 1100}{4652} = 0.091\text{m}$$

$$\delta_2 = \lambda_2 \left(\frac{t_2 - t_3}{q} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) = 0.35 \left(\frac{1100 - 220}{4652} - \frac{0.006}{40.7} \right) = 0.066\text{m}$$

2. 一台逆流套管换热器用来冷却润滑油。冷却水在管内流动, 入口温度为 20°C , 出口温度为 50°C , 流量为 3kg/s , 管内对流换热系数为 $8700\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 管子壁厚可不计; 管外油的入口温度为 100°C , 出口温度为 60°C , 管外对流换热系数为 $400\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 试计算油的流量及所需的传热面积。[假设套管换热器外绝热, 水的比热为 $4174\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 油的比热为 $2148\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]

解: 油的流量

$$q_{m1} = \frac{q_{m2} c_2 (t''_2 - t'_2)}{c_1 (t'_1 - t''_1)} = \frac{3 \times 4174 \times (50 - 20)}{2148 \times (100 - 60)} = 4.37\text{kg/s}$$

平均传热温差

$$\Delta t = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t''_1 - t'_2)}{\ln \left(\frac{t'_1 - t''_2}{t''_1 - t'_2} \right)} = \frac{(100 - 50) - (60 - 20)}{\ln \left(\frac{100 - 50}{60 - 20} \right)} = 44.81^{\circ}\text{C}$$

传热系数

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}} = \frac{1}{\frac{1}{8700} + \frac{1}{400}} = 382.4\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

所需传热面积

$$A = \frac{q_{m1} c_1 (t'_1 - t''_1)}{k \Delta t} = \frac{4.37 \times 2148 \times (100 - 60)}{382.4 \times 44.81} = 21.9\text{m}^2$$

3. 水流过长为 10m 的直管, 入口温度为 20°C , 出口温度为 40°C , 管内径 $d = 20\text{mm}$, 水在管内流速为 2m/s , 求换热系数和平均管壁温度。已知 30°C 水的物性为 $\lambda = 0.618\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, $\nu = 0.805 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, $Pr = 5.42$, $\rho = 995.7\text{kg}/\text{m}^3$, $c_p = 4.17\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$, 管内系流的强制对流换热关联式为 $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$

解: 定性温度 $t_f = \frac{20 + 40}{2} = 30^{\circ}\text{C}$

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

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

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

由热量平衡得 $q_{m2} c_p (t''_1 - t'_1) = h \pi d l \Delta t$

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{q_m c_p (t''_1 - t'_1)}{h \pi d l} = \frac{\pi d^2 \rho c_p (t''_1 - t'_1)}{4 h \pi d l} \\ &= \frac{d \rho c_p (t''_1 - t'_1)}{4 h l} \\ &= \frac{0.02 \times 2 \times 995.7 \times 4170 \times (40 - 20)}{4 \times 7985.4 \times 10} = 10.4^\circ\text{C}\end{aligned}$$

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 $t = 43.4^\circ\text{C}$

4. 已知一个边长为 0.2m 的正立方体, 下底面被加热, 温度保持 427°C , 底面材料黑度为 0.8; 顶面温度为 27°C , 材料黑度为 1; 侧面绝热, 为了保持下底面的温度不变, 对底面加热的功率应为多少? (下底面对顶面的角系数为 0.2)

解: 设底面为 1, 顶面为 2, 侧面为重辐射换热面 3。

$$X_{1,2} = X_{2,1} = 0.2 A_1 = A_2 = 0.04 \text{ m}^2 \epsilon_1 = 0.8 \epsilon_2 = 1$$

$$X_{1,3} = X_{2,3} = 1 - X_{1,2} = 1 - 0.2 = 0.8$$

$$\begin{aligned}\Phi &= \frac{E_{b1} - E_{b2}}{\frac{1}{\frac{1}{A_2 X_{2,3}} + \frac{1}{A_1 X_{1,3}}} + \frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1 A_1}} \\ &= \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\frac{1}{0.04 \times 0.08} + \frac{1}{0.04 \times 0.08}} + \frac{1}{0.04 \times 0.2}} + \frac{1 - 0.8}{0.8 \times 0.04} \\ &= \frac{5.67 \times 10^{-8} \times (700^4 - 300^4)}{6.258} = 2102 \text{ W}\end{aligned}$$

附录 B10 中国科学技术大学 2000 年传热学

一、已知一根一维均质棒, 在稳态、无内热源条件下, 实验发现 $\frac{d^2 t}{dx^2} < 0$ (式中 T 为温度, x 为空间坐标), 试判断棒材的导热系数 $\lambda(t)$ 随 T 增大呢, 还是减小? (10 分)

$$\text{解: } q = -\lambda \frac{dt}{dx} = -\lambda_0 (1+bt) \frac{dt}{dx} \Rightarrow (1+bt) \frac{dt}{dx} = -\frac{q}{\lambda_0}$$

两边对 x 求导:

$$(1+bt) \frac{d^2 t}{dx^2} + b \frac{dt}{dx} \cdot \frac{dt}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{d^2 t}{dx^2} = -b \left[\left(\frac{dt}{dx} \right)^2 / (1+bt) \right]$$

因为

$$1+bt > 0, \left(\frac{dt}{dx} \right)^2 > 0$$

所以 $\frac{d^2 t}{dx^2} < 0 \Rightarrow b > 0$, 即导热系数 $\lambda(t)$ 随 T 增大。

二、将直径为 D , 初始均温 T_i 的金属圆球悬挂在四周壁温为 T_w , 空气温度为 T_∞ 的大房间内。已知圆球表面发射率 ϵ , 空气对流系数 h 。如果对流换热和辐射换热两者数量级相同, 试建立①能应用集总热容法 (即集总参数法) 的准则; ②在上述准则下, 圆球温度 T 随时间 τ 变化的微分方程。(10 分)

解: (1) 纯对流换热条件下应用集总参数法的条件: $Bi = \frac{hr}{\lambda} < 0.1$ 。

本题中物体的热交换有对流换热和辐射换热, 且两者数量级相同, 所以考虑辐射后的当量换热系数是原换热系数的 2 倍, 则反映内外热阻之比的准则条件为 $Bi' = \frac{2hr}{\lambda} < 0.1 \Rightarrow Bi < 0.05$

(2) 在符合上述准则条件下, 内热阻可以忽略, 温度与空间位置无关, 只是时间的函数, 由此得导热微分方程

$$\rho c V \frac{dT}{d\tau} = hA (T_\infty - T) + \epsilon \sigma A (T_w^4 - T^4)$$

对于球体: $V/A = D/6$

$$\text{微分方程} \quad \frac{\rho c D}{6} \frac{dT}{d\tau} = h (T_\infty - T) + \epsilon \sigma (T_w^4 - T^4)$$

$$\text{初始条件} \quad \tau = 0, T = T_i$$

三、一无限大平壁厚 δ , 导热系数 $\lambda = \text{常量}$, 内热源产热率 $\dot{\Phi}$ 均匀, 且为常数, 已知两壁面温度分别保持 t_1, t_2 ($t_1 > t_2$)。求①出现在平壁内部的最高温度 t_{\max} ; ②从两壁面传出的热流密度值 (或热流量)。(10 分)

解: 由题意可列出微分方程如下:

$$\frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{\dot{\Phi}}{\lambda} = 0 \Rightarrow t = -\frac{\dot{\Phi}}{2\lambda} x^2 + c_1 x + c_2$$

边界条件与积分常数

$$\begin{cases} x=0, & t=t_1 \\ x=\delta, & t=t_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} c_1 = \frac{1}{\delta} \left(t_2 - t_1 + \frac{\dot{\Phi}}{2\lambda} \delta^2 \right) \\ c_2 = t_1 \end{cases}$$

温度分布的无量纲参数方程

$$\frac{t-t_1}{t_2-t_1} = \left[1 + \frac{\dot{\Phi} \delta^2 (1-x/\delta)}{2\lambda (t_2-t_1)} \right] \frac{x}{\delta}$$

(1) 平壁内部的最高温度 t_{\max} 出现在 $\frac{dt}{dx} = 0$ 处, 解得

$$x = \frac{\delta}{2} + \frac{\lambda}{\dot{\Phi} \delta} (t_2 - t_1)$$

代入上式得

$$t_{\max} = \frac{1}{2} \left[t_1 + t_2 + \frac{\lambda}{\dot{\Phi} \delta^2} (t_2 - t_1)^2 + \frac{\dot{\Phi} \delta^2}{4\lambda} \right]$$

(2) 热流密度

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} + \dot{\Phi} \left(x - \frac{\delta}{2} \right)$$

$$x=0, \quad q_1 = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\delta} - \dot{\Phi} \cdot \frac{\delta}{2}$$

$$x=\delta, \quad q_2 = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\delta} + \dot{\Phi} \cdot \frac{\delta}{2}$$

四、何谓管内层流流动的入口段及充分发展段? 求出密度为 ρ , 常物性的流体在半径 r_0 的圆管内, 进行稳定不可压流动的平均速度 u_m 及平均温度 T_m 的表达式; 回答管内流动的短管换热器效率是否高于同管径的长管换热器? 为什么? (10分)

答: (1) 当流体与管壁之间有热交换时, 管子壁面上的热边界层有一个从零开始增长, 直到汇合于管子中心线的过程, 当流动边界层及热边界层汇合于管子中心线后称流动及换热已经充分发展, 此后的换热强度将保持不变, 从进口到边界层汇合点称为入口段, 其后称为充分发展段。

(2) 平均速度 $u_m = \frac{q_m}{\rho \pi r_0^2}$ (q_m 为质量流量)

平均温度 $T_m = T_1 - T_2$ (T_1 为进口温度, T_2 为出口温度)

(3) 管内流动的短管换热器效率高于同管径的长管换热器, 这是因为在短管换热器中, 入口段的影响相对较大, 而入口段边界层较薄使得平均表面传热系数较大。

五、假定不可压, 牛顿型流体, 常物性, 无内热源, 忽略摩擦产生的耗散热, 试写出二维、稳态对流换热方程组, 并说明其中各项的物理意义。(10分)

解: 换热微分方程 $h = - \left. \frac{\lambda}{\Delta} \frac{\partial t}{\partial x} \right|$ (对流换热量等于壁面处的导热热量)

能量方程

$$u \frac{\partial t}{\partial x} + v \frac{\partial t}{\partial y} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right)$$

(微元体的内能变化量等于其边界的导热量)

连续性方程 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$ (进出微元体的质量守恒)

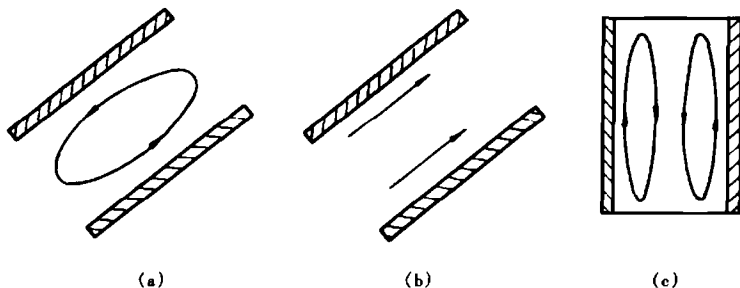
$$\text{动量方程} \begin{cases} \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \eta \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \eta \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{cases}$$

(惯性力 = 体积力 + 压力 + 粘滞力)

六、画出如下各加热表面的自然对流流动示意图:

- (1) 两平板倾斜, 热面在下, 冷面在上;
- (2) 两倾斜平板, 上下面等温 T_s , 置于大气温度 T_∞ ($T_s > T_\infty$) 中;
- (3) 两竖壁组成的封闭有限矩形空间 (上下表面绝热)。(10 分)

答: 见附录 B10 图 1。



附录 B10 图 1

七、写出黑体辐射能的光谱分布表达式, 写出辐射强度 L 的定义式, 并证明 L 与方向无关的表面 (即兰贝特表面), 其辐射力 (即发射功率) E 为 πL 。(10 分)

答: 黑体光谱辐射力 $E_{b,\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/(\lambda T)} - 1}$

辐射强度定义式 $L(\theta) = \frac{d\Phi(\theta)}{dA d\Omega \cos\theta}$

兰内特表面: 半球空间各个方向上的定向辐射强度相等。

$$\begin{aligned} E &= \int_{\Omega=2\pi} E(\theta) d\Omega = \int_{\Omega=2\pi} L \cos\theta d\Omega = L \int_{\Omega=2\pi} \cos\theta \sin\theta d\varphi d\theta \\ &= L \int_{\varphi=0}^{2\pi} d\varphi \int_{\theta=0}^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta d\theta = L \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{2} = L\pi \end{aligned}$$

八、在一个晴朗初冬夜晚, 有效天空温度 $T_{sky} = -70^\circ\text{C}$, 微风引起的对流换热系数 $h = 28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 发现湖面上有一层薄冰出现, 但检测空气温度 T_∞ 高于 0°C , [假定为干空气, 水的长波发射率为 1, 水与大地绝热, 不计水蒸发, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$], 试理论估算 T_∞ 。(10 分)

解：由题意知湖面与空气的对流换热量和湖面与天空的辐射换热量相等。

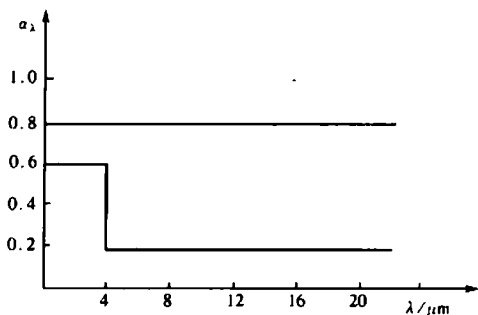
$$h(T_{\infty} - T_{\text{ice}}) = \sigma(T_{\text{ice}}^4 - T_{\text{sky}}^4)$$

$$28 \times (T_{\infty} - 273) = 5.67 \times 10^{-8} \times (273^4 - 203^4)$$

$$\Rightarrow T_{\infty} = 280.8\text{K}$$

九、两种不透明的漫射涂层，其光谱吸收率分布 $\alpha_{\lambda}(\lambda)$ 如附录 B10 图 2 所示。试从中选择屋顶材料，问哪种涂层适用夏天？哪种适用冬天？并示出理想的 $\alpha_{\lambda}(\lambda)$ 的分布。

答： $\alpha_{\lambda}(\lambda)$ 为水平线的涂层适合冬天用， $\alpha_{\lambda}(\lambda)$ 为折线的涂层适合夏天用。理想分布：冬天 $\alpha_{\lambda}(\lambda) = 1$ ，夏天 $\alpha_{\lambda}(\lambda) = 0$ 。



附录 B10 图 2

十、相距很小，平行放置的两块很大的漫射—灰表面，如果发射率是 0.8，为使两块表面的辐射传热速率减小到原来的 1/10，需要放入一个薄防辐射层（遮热板），其发射率应为多少？

解：设遮热板的发射率为 ϵ_2 。

在未放防辐射层前系统黑度

$$\epsilon_{sl} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_1} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0.8} + \frac{1}{0.8} - 1} = 1.5$$

放入防辐射层后系统黑度

$$\epsilon_2 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_1} - 1\right) + \left(\frac{2}{\epsilon_2} - 1\right)} = \frac{1}{\frac{2}{\epsilon_2} + 0.5}$$

出

$$\frac{\epsilon_2}{\epsilon_{sl}} = \frac{1}{10} \Rightarrow \epsilon_2 = 0.138$$

参 考 文 献

1. 杨世铭, 陶文铨编著. 传热学. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 1998.
2. 戴锅生编. 传热学. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1999.
3. [美] J·P·霍尔曼著. 传热学题解. 马庆芳等译. 北京: 人民教育出版社, 1981.
4. 王秋旺著. 传热学重点难点及典型题精解. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
5. 朱惠人主编. 传热学典型题解析及自测试题. 2002.
6. 章熙民等编著. 传热学. 第一版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
7. 厉家尚等编译. 传热基础 600 题解. 北京: 宇航出版社, 1990.
8. 陆煜等编著. 传热原理与分析. 北京: 科学出版社, 1997.
9. 俞佐平编. 传热学. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1979.
10. 姜为珩等编. 传热学习题集. 北京: 人民教育出版社, 1982.
11. [美] 施天谟著. 计算传热学. 北京: 科学出版社, 1987.



普通高等教育“十五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU SHIWU GUIHUA JIAOCAI

- | | |
|-------------------------|-------------|
| 《工程热力学》 | 严家骏等编著 |
| 《工程热力学学习指导》 | 武淑萍主编 |
| 《计算流体力学及传热学》 | 陶文铨编著 |
| 《变质量系统热力学及其应用》 | 何雅玲编著 |
| 《工程传热学》 | 许国良等编著 |
| 《传热学学习指导及典型习题分析》 | 周根明编 |
| 《热力发电厂》 | 叶涛主编 |
| 《热力发电厂课程设计》 | 黄新元主编 |
| 《热能与动力装置基础》 | 蔡兆麟主编 |
| 《能源与节能技术》 | 黄素逸编著 |
| 《煤的清洁利用与污染防治》 | 惠世恩等合编 |
| 《制冷与低温工程》 | 周远、王如竹主编 |
| 《环境工程基础》 | 庄正宁主编 |
| 《能源工程管理》 | 任有中编 |
| 《计算机控制技术与系统（第二版）》 | 吕震中等合编 |
| 《火电厂计算机控制》 | 刘志远主编 |
| 《自动测量技术》 | 丁轲轲主编 |
| 《热工测量及仪表》 | 朱小良等主编 |
| 《电厂热工过程自动调节》 | 王建国等编著 |
| 《汽轮机数字电液调节系统》 | 王爽心等合编 |
| 《电厂金属材料（第二版）》 | 宋琳生主编 |
| 《工程流体力学（第二版）》 | 周云龙等合编 |
| 《泵与风机（第二版）》 | 杨诗成、王喜魁 |
| 《泵与风机（第三版）》 | 郭立君主编 |
| 《热能与动力专业英语》 | 阎维平主编 |
| 《热能专业英语阅读与写作》 | 程乐鸣等合编 |

ISBN 7-5083-2399-8



9 787508 323992 >

ISBN 7-5083-2399-

定价：21.00 元

[General Information]

书名=传热学学习指导及典型习题分析

作者=周根明编

页数=211

SS号=11314449

出版日期=2004年08月第1版

出版社=中国电力出版社

尺寸=23cm

原书定价=21.00

主题词=传热学(学科: 高等教育)传热学

参考文献格式=周根明编. 传热学学习指导及典型习题分析. 北京市: 中国电力出版社, 2004.

内容提要=普通高等教育“十五”规划教材: 本书针对导热、对流、辐射、传热过程与换热器等内容, 进行概念汇总, 剖析重点内容, 分析典型习题与思考题。

封面

书名

版权

前言

目录

1. 绪论

- 1.1 知识结构
- 1.2 重点内容剖析
- 1.3 概念汇总
- 1.4 思考题分析
- 1.5 典型习题分析

2. 导热基础理论

- 2.1 知识结构
- 2.2 重点内容剖析
- 2.3 概念汇总
- 2.4 思考题分析
- 2.5 典型习题分析

3. 稳态导热

- 3.1 知识结构
- 3.2 重点内容剖析
- 3.3 概念汇总
- 3.4 思考题分析
- 3.5 典型习题分析

4. 非稳态导热

- 4.1 知识结构
- 4.2 重点内容剖析
- 4.3 概念汇总
- 4.4 思考题分析
- 4.5 典型习题分析

5. 导热问题的数值解法

- 5.1 知识结构
- 5.2 重点内容剖析
- 5.3 概念汇总
- 5.4 思考题分析
- 5.5 典型习题分析

- 6. 对流换热基础理论
 - 6.1 知识结构
 - 6.2 重点内容剖析
 - 6.3 概念汇总
 - 6.4 思考题分析
 - 6.5 典型习题分析
- 7. 单相流体对流换热及其实验关联式
 - 7.1 知识结构
 - 7.2 重点内容剖析
 - 7.3 概念汇总
 - 7.4 思考题分析
 - 7.5 典型习题分析
- 8. 凝结与沸腾换热
 - 8.1 知识结构
 - 8.2 重点内容剖析
 - 8.3 概念汇总
 - 8.4 思考题分析
 - 8.5 典型习题分析
- 9. 热辐射基本定律及物体的辐射特性
 - 9.1 知识结构
 - 9.2 重点内容剖析
 - 9.3 概念汇总
 - 9.4 思考题分析
 - 9.5 典型习题分析
- 10. 辐射换热的计算
 - 10.1 知识结构
 - 10.2 重点内容剖析
 - 10.3 概念汇总
 - 10.4 思考题分析
 - 10.5 典型习题分析
- 11. 传热过程分析与换热器计算
 - 11.1 知识结构
 - 11.2 重点内容剖析
 - 11.3 概念汇总
 - 11.4 思考题分析

11.5 典型习题分析

12 . 传质过程简介

12.1 知识结构

12.2 重点内容剖析

12.3 概念汇总

附录A 复习思考题

附录B 部分院校硕士研究生入学传热学试题及参考答案

参考文献