

第九章 习题与参考答案

9-1 建筑物的外抢以 10cm 厚的普通砖和 2.5 cm 厚的玻璃纤维制成（普通砖的 $\lambda_1 = 0.69W/m^\circ C$ ，玻璃纤维的 $\lambda_2 = 0.05W/m^\circ C$ ）求当温差为 $45^\circ C$ 时的传热通量。

答： $69.77W/m^2$

9-2 铜板厚 4 cm，其一面的温度为 $175^\circ C$ ，另一面以 1.5 cm 厚的玻璃纤维覆盖，且温度为 $80^\circ C$ ，假设经由此组合流出的热量为 300W，求截面积的大小。 $\lambda_{铜} = 375W/m^\circ C$ ， $\lambda_{纤维} = 0.048W/m^\circ C$ 。

答： $0.9872 m^2$

9-3 墙以 2.0 cm 厚的铜（ $\lambda_1 = 378W/m^\circ C$ ）、3.0 mm 厚的石棉（ $\lambda_2 = 0.66W/m^\circ C$ ）和 6.0 cm 厚玻璃纤维（ $\lambda_3 = 0.048W/m^\circ C$ ）组合而成，若两面的温差为 $500^\circ C$ ，求单位面积的导热量。

答： $394.32W/m^2$

9-4 墙由不锈钢（ $\lambda = 16W/m^\circ C$ ）4.0 mm 厚，两边包着塑料层所组成，总导热系数 $120W/m^2^\circ C$ ，假如墙的外界总温差 $60^\circ C$ ，计算不锈钢两边的温差。

答： $\frac{60}{1/120} = \frac{\Delta T}{0.004/16}$ 得： $\Delta T = 18^\circ C$

9-5 一热蒸汽管，内表面温度 $300^\circ C$ ，内直径 8 cm，管厚 5.5mm，包覆 9 cm 的绝缘层（ $\lambda_1 = 50W/m^\circ C$ ），再覆盖 4cm 厚的绝缘层（ $\lambda_2 = 0.35W/m^\circ C$ ），最外层绝缘温度 $30^\circ C$ ，假设管子的 $\lambda_3 = 47W/m^\circ C$ ，计算每米长的热损失。

答： $448.81W/m$

9-6 一屋子的墙壁用2层1.2 cm的纤维热板($\lambda_1 = 0.048W/m$
 $^{\circ}C$) 1层8.0 cm的石棉($\lambda_2 = 0.156W/m^{\circ}C$)及1层10cm
普通砖($\lambda_3 = 0.69W/m^{\circ}C$)制作,假设两侧的 α 均为 $15W/m^2$
 $^{\circ}C$,试计算总传热系数。
答: $0.774W/m^2$ $^{\circ}C$

9-7 墙由1 mm厚的钢($\lambda_1 = 384W/m^{\circ}C$), 4 mm厚的1%含C量
的钢($\lambda_2 = 43W/m^{\circ}C$), 1 cm厚的石棉帛($\lambda_3 = 0.166W/m$
 $^{\circ}C$)和10 cm厚的玻璃纤维板($\lambda_4 = 0.048W/m^{\circ}C$)组成,
试求其热阻?若两面温度分别为 $10^{\circ}C$ 和 $150^{\circ}C$,求其各材
料之间的温度?
答: $R_{\Sigma} = 2.083^{\circ}Cm^2/W$, $T_1 = 149.9998^{\circ}C$, $T_2 = 149.9936$
 $^{\circ}C$, $T_3 = 149.9333^{\circ}C$

9-8 半无限大水泥地坪,初试温度为 $50^{\circ}C$,导温系数为 $8.33 \times 10^{-7}m^2/s$,若表面温度突然降到 $0^{\circ}C$,试求距表面20 mm深处温度下降到 $25^{\circ}C$ 所需时间。
答: 521s

9-9 一块厚20mm的钢板($\lambda = 45W/m^{\circ}C$,
 $a = 1.37 \times 10^{-5}m^2/s$)加热到 $500^{\circ}C$ 后置于空气中冷却,
设冷却过程中钢板两侧面的平均换热系数 $\alpha = 35W/m^2$
 $^{\circ}C$,试确定使钢板冷却到与空气相差 $10^{\circ}C$ 时所需的时间。
答: 3633s

9-10 一块厚300mm的板状钢坯(含C=0.5%),初温为 $20^{\circ}C$,送入温度为 $1200^{\circ}C$ 的炉子里单侧加热,不受热侧可近似

地认为是绝热的。已知钢板的 $a = 5.55 \times 10^{-6} m^2 / s$ ，加热过程中平均换热系数为 $290 W / m^2 \cdot ^\circ C$ ， $\lambda = 34 W / m \cdot ^\circ C$ 。试确定加热到钢板表面温度低于炉温 $15^\circ C$ 时所需的时间，及此时两表面间的温差。

答：12.6h, $21^\circ C$

9-11 一球形容容器，内直径 $d_1 = 1m$ ，外直径 $d_2 = 1.2m$ ，球壁外面包一层厚度为 $10mm$ 的绝热材料，若球内表面温度 $t_1 = 200^\circ C$ ，绝热层外表面温度 $t_3 = 50^\circ C$ ，球壁与绝热材料的导热系数分别为 $\lambda_1 = 23.3 W / m \cdot ^\circ C$ ， $\lambda_2 = 0.12 W / m \cdot ^\circ C$ 。试求每小时的热损失。

答：7787.53W

9-12 计算由 $10 mm$ 钢板和 $20 mm$ 铝板组成的复合板的热阻。若板间有 $0.01 mm$ 的空气隙时又怎样？

已知 $\lambda_{\text{钢}} = 59.5 W / m \cdot ^\circ C$ $\lambda_{\text{铝}} = 236 W / m \cdot ^\circ C$

$$\lambda_{\text{空气}} = 2.24 \times 10^{-2} W / m \cdot ^\circ C$$

答： $R_1 = 2.53 \times 10^{-4} m^2 \cdot ^\circ C / W$ ， $R_2 = 6.99 \times 10^{-4} m^2 \cdot ^\circ C / W$

9-13 计算以下三种双平面炉墙的导热通量：（1）内层为 $0.23m$ 的普通粘土砖，外层为 $0.115m$ 厚的轻质粘土砖；（2）内层为 $0.23m$ 的普通粘土砖，外层为 $0.115m$ 的珍珠岩磷酸盐制品；（3）内层为 $0.23m$ 的密度为 $1000 kg / m^3$ 的轻质粘土砖，外层为 $0.115m$ 的珍珠岩磷酸盐制品。内表面温度为 $1000^\circ C$ ，三种炉墙外表面温度分别为 $100^\circ C$ ， $80^\circ C$ ， $60^\circ C$ 。已知

普通粘土砖 $\lambda = 0.84 + 0.58 \times 10^{-3} t$

轻质粘土砖 $\lambda = 0.29 + 0.26 \times 10^{-3} t$

珍珠岩磷酸盐制品 $\lambda = 0.052 + 0.29 \times 10^{-3} t$

- 答：① $t=668^{\circ}\text{C}$ $q=1920\text{W}/\text{m}^2$
 ② $t=807^{\circ}\text{C}$ $q=1144\text{W}/\text{m}^2$
 ③ $t=644^{\circ}\text{C}$ $q=781\text{W}/\text{m}^2$

结论：① 选用导热能力小的材料，导热量减小。
 ② 内层材料相同厚度不变，外层保温性好时，界面温度升高。

9-14 一热风管外径 $d = 812\text{mm}$ ，厚 6mm ，管内衬 B 级砖藻土培烧砖厚 115mm ，管、砖间垫有 10mm 厚的石棉板。已知风管内、外表面温度为 600°C 和 40°C 。求每米长风管的导热量。

已知硅藻土砖的导热系数 $\lambda_1 = 0.048 + 0.20 \times 10^{-3}t \quad \text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$

石棉的导热系数 $\lambda_2 = 0.157 + 0.19 \times 10^{-3}t \quad \text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$

忽略钢的热阻。

答： $1104\text{W}/\text{m}$

9-15 长 0.5m ，直径 0.05m 的圆钢棒在初温 30°C 时放入炉温 1200°C ，综合传热系数 $\alpha = 140\text{W}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$ 的炉子中加热。求加热到 800°C 所需时间。钢的 $\lambda = 36\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ ， $C_p = 0.5\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ，

$\rho = 7750\text{kg}/\text{m}^3$

答： $\tau = 371\text{s}$

9-16 上题中，求钢棒放入炉中加热 0.15h 后的温度。

答： 954.3°C

9-17 直径 0.2m 的长钢棒加热到 800°C 时放入 60°C 的循环水中淬火冷却。求 3 分钟后棒中心温度。钢的平均热量传输系数 a 为 $1.11 \times 10^5\text{m}^2/\text{s}$ 。

答：提示看作 $t_s = \text{常数}$ 的不稳态导热 $t_s = 100^{\circ}\text{C}$ 水中的沸腾温度

$t_0 = 219^{\circ}\text{C}$

9-18 厚 200mm 大钢板，初温 20°C ，在 $t_f = 1000^{\circ}\text{C}$ ， $a_{\Sigma} = 174\text{W}/\text{m}^2$

℃的炉中双面对称加热，计算板中心温度达到 400, 500, 600, 700, 800℃所需时间及相应的表面温度。

钢的导热系数 $\lambda = 34.9 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ， $a = 5.56 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

答：

t_0 (°C)	400	500	600	700	800
$\frac{t_f - t_0}{t_f - t_i}$	0.61	0.51	0.408	0.306	0.204
Bi	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fo	1.3	1.7	2.2	2.8	3.9
$\tau(h)$	0.65	0.85	1.10	1.40	1.95
t_s (°C)	520	598	686	750	823

9-19 一冶金炉的炉底用 0.8m 厚的粘土砖，直接砌在混凝土基础上。开工后，炉内表面温度即升至 800℃ 并保持不变。问砖与混凝土界面处何时开始升温？一周后该处温度为多少？设砖及混凝土的热量传输系数均为 $5.9 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

答： $\tau = 67800 \text{ s}$, $t = 285^\circ\text{C}$

9-20 用一块绝热平板减少热炉墙对地下室的散热量，平板一面的温度为 80℃，另一面温度为 15℃，要求每平方米平板的散热量小于 154J/s，若平板导热系数为 $5.82 \times 10^{-7} \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ，计算所需平板厚度。

答： 23mm

9-21 用 345mm 厚的普通耐火粘土砖和 115mm 厚的轻质粘土砖（ $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ ）砌成的平面炉墙，其内表面温度为

$t_1 = 1250^\circ\text{C}$ ，外表面为 $t_2 = 150^\circ\text{C}$ ，求导热通量。

已知

普通耐火粘土砖的导热系数 $\lambda = 0.84 + 0.58 \times 10^{-3} t \text{ W/m}^\circ\text{C}$

轻质粘土砖的导热系数 $\lambda = 0.08 + 0.22 \times 10^{-3}t$ W/m $^{\circ}\text{C}$

答: 1.35kW/m 2

9-22 外径 $d = 150\text{mm}$ 的蒸汽管道要求散热量不大于 465J/m·s, 试确定用珍珠岩磷酸盐制品作保温包扎层的最小厚度。设蒸汽管外表温度为 400 $^{\circ}\text{C}$, 保温层外壳温度为 250 $^{\circ}\text{C}$

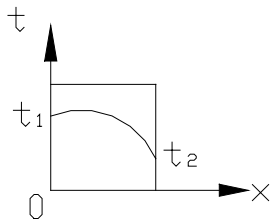
已知珍珠岩磷酸盐制品的 $\lambda = 0.052 + 0.29 \times 10^{-3}t$ W/m $^{\circ}\text{C}$

答: 26mm

9-23 以微元体能量平衡法导出柱体径向 (一维) 导热微分方程:

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dt}{dr} \right) = 0$$

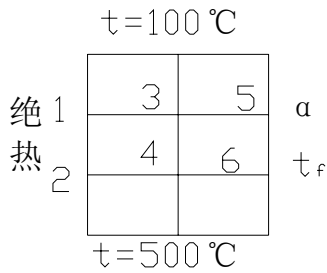
9-24 如图所示的平壁, 表面温度稳定均匀, 试从物理概念上说明, 当 $\lambda = \lambda_0(1 + bt)$ 中的 $b > 0$ 时, 所得温度分布为上凸的曲线。



9-25 一金属杆内温度分布为 $T = e^{-0.2\tau} \sin \frac{\pi x}{2L}$, 式中 τ 为时间 (小时), L 为总杆长, x 为从杆的一端量起的坐标, 试确定此杆经受的最高温度及其所发生的位置和时间。

答: 1 $^{\circ}\text{C}$, $\tau = 0$, $x=L$

9-26 如图所示, 材料的导热系数为 20W/m $^{\circ}\text{C}$, 介质温度为 50 $^{\circ}\text{C}$, 给热系数为 10W/m 2 $^{\circ}\text{C}$, $\Delta x = \Delta y = 10\text{cm}$, 试计算节点 1 至 6 各节点温度。(用高斯—塞德尔叠代法求解, 连续两次值之差小于 0.5 $^{\circ}\text{C}$)



答:

$$t_1 = 229.38 \text{ °C} \quad t_2 = 362.5 \text{ °C} \quad t_3 = 227.8 \text{ °C}$$

$$t_4 = 360.6 \text{ °C} \quad t_5 = 221.5 \text{ °C} \quad t_6 = 352 \text{ °C}$$

9-27 付立叶方程在圆柱坐标系的表达式是

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

(a) 对于稳态下的径向传热，这个方程可简化成什么形式？

(b) 若给出边界条件：

$$\text{在 } r = r_i \text{ 时, } t = t_i$$

$$\text{在 } r = r_0 \text{ 时, } t = t_0$$

从 (a) 的结果出发，求温度分布曲线的方程式。

(c) 根据 (b) 的结果，求出热流量 Q_r 的表达式。

答: (a) $\frac{d}{dr} \left(r \frac{dt}{dr} \right) = 0$

$$(b) \quad t = t_i + \frac{t_0 - t_i}{\ln \frac{r_0}{r_i}} \ln \frac{r}{r_i}$$

$$(c) Q_r = \frac{t_i - t_0}{\frac{1}{2\pi L \lambda} \ln \frac{r_0}{r_i}} \quad W$$

9-28 首先假定付立叶方程是圆柱坐标形式写出的：

- (a) 假如在 θ 方向是稳态传热，试将上式简化成可以适用的形式
- (b) 按图中表示的条件 在 $\theta = 0$ 时, $t = t_0$; $\theta = \pi$ 时, $t = t_\pi$;
若其径向表面是隔热的，求温度分布曲线。
- (c) 试使用 (b) 的结果求出热流量 Q_θ 的表达式。

答: (a) $\frac{d^2 t}{d\theta^2} = 0$

(b) $t = t_0 - (t_0 - t_\pi)\theta / \pi$

(c) $Q_\theta = \lambda L \frac{\ln \frac{r_0}{r_i}}{\pi} (t_0 - t_\pi)$

