

第三章教学案例

一房屋的墙体厚 $\delta=0.3\text{m}$ ，墙体材料导热系数 $\lambda=0.9\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、热容量 $\rho c=1.05\times 10^5\text{J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ ，室内温度 $t_{\text{f}1}=20^\circ\text{C}$ ，复合表面传热系数 $h_1=6\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。起初该墙的温度处于稳定状态，内墙表面温度为 15°C 。后寒潮入侵，室外温度下降到 $t_{\text{f}2}=-12^\circ\text{C}$ ，外墙复合表面传热系数 $h_2=30\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。假定墙体材料均匀且热物性为常数、寒潮前后室内条件保持不变，沿墙厚方向为一维导热。

试：

- (1) 写出寒潮入侵后墙体导热过程的数学描写；
- (2) 定性画出墙体温度随时间的变化曲线，要求画出初始状态、终了状态和中间状态，中间状态至少画出三条，以明确表示不同的导热阶段；
- (3) 计算人体感到明显冷感时内墙的温度。假设此时人体与空气间的自然对流表面传热系数为 $2.6\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ，人体衣物表面温度取为 27°C 、发射率为 0.65 （织物表面室温时的发射率为 $0.55\text{--}0.75$ ）。

分析：

根据题意，寒潮入侵前，墙体中的热量传递属于稳态的、无内热源的、常物性的一维热传导问题，内外壁均为第三类边界条件。寒潮入侵后，由于外墙壁面受冷空气流的扰动，所以外墙壁温度逐渐下降，墙体经历非正规状况和正规状况两个阶段后达到新的热稳定状态。寒潮入侵后墙体非稳态导热过程，其初

始条件为前面稳态导热的温度分布、内外壁均为第三类边界条件。

当墙体非稳态导热过程达到正规状况阶段，这时内墙壁温度开始降低，室内人体表面和墙体内壁间的辐射传热量增大。当人体表面散失的热量超过100W（可查阅人体热舒适性方面的资料，具体值会有所变化）时，人体会感到明显的冷感。这部分的计算可参阅第一章例题1-5。

解：

（1）根据以上分析，寒潮入侵后墙体非稳态导热过程，其初始条件为前面稳态导热的温度分布、内外壁均为第三类边界条件，所以

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$$

$$\tau = 0, \quad t = f(x)$$

$$x = 0, \quad h_1(t_{f1} - t_1) = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}$$

$$x = \delta, \quad h_2(t_2 - t_{f2}) = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}$$

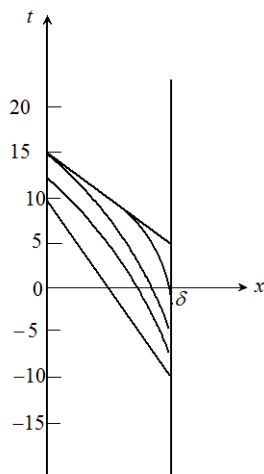
初始状态（ $\tau = 0$ ）时，根据能量守恒，有

$$q = h_1(t_{f1} - t_1) = 6 \times (20 - 15) = 30 \quad \text{W/m}^2$$

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}, \quad \text{可得} \quad t = 15 - q \frac{x}{\lambda}$$

$$\text{即} \quad \tau = 0, \quad t = 15 - q \frac{x}{\lambda}$$

（2）下图中从上到下：第一条线是寒潮入侵前墙体内稳态导热的温度分布，由于是常物性无内热源问题，所以温度为线性分布；第二条线为寒潮入侵时刻起墙体内非稳态导热的非正规状况阶段，此时初始条件占主导地位；第三条线为非正规状况和正规状况两个阶段的分界线；第四条线为墙体内非稳态导热的正规状况阶段，此时边界条件起决定作用；第五条线为墙体达到新的稳定态时的温度分布。



(3) 假设将人体简化为直径等于 25cm、高为 1.75m 的圆柱体，忽略人体与地板间的导热及人体呼吸和无感蒸发散热量。所以

$$\text{换热面积 } A = \pi dH + \pi d^2/4 = 3.14 \times 0.25 \times 1.75 + 3.14 \times 0.25^2/4 = 1.37 + 0.049 = 1.42 \text{ m}^2$$

人体的总散热量应为人体与周围空气间的自然对流散热量和人体表面与内墙面间的辐射散热量，即：

$$= 286.0(\text{K})$$

所以， $t_{w2} = 13.0^\circ\text{C}$

讨论：

这是从实际问题中抽象出的传热学问题，内容涉及热量传递的三种基本方式，同时还涉及人体热舒适性方面的拓展内容，目的是引导学生掌握“提出问题-分析问题-解决问题”这一基本技能。值得指出：第三部分的计算做了比较大的简

化，实际上人体的热平衡是有新陈代谢热、对流传热、辐射传热、热传导、呼吸/无感蒸发散热等组成，在本例中做了适当的简化。