

文章编号:1673-9469(2012)03-0045-04

建筑热工学中稳定传热的图解法及应用

赵娟

(陕西理工学院 土木工程与建筑学系,陕西 汉中 723000)

摘要:稳定传热是建筑热工学中的基本传热过程,一般通过公式计算来求解。本文利用稳定传热中热流强度 q 处处相等的特点引入图解法,即在以热阻-温度坐标系中,绘制贯通平壁的温度分布线,利用该线进行求解。通过实例说明图解法有理论依据,结果准确,图形直观,可行性强。

关键词:稳定传热;热阻;热流密度;温度分布线

中图分类号:TU111.19⁺5.4

文献标识码:A

The application of graphic method in solving for steady heat transfer

ZHAO Juan

(Department of Civil Engineering and Architecture, Shanxi University of Technology, Shanxi Hanzhong 723000, China)

Abstract: The steady heat transmission is the basic form in architectural thermal engineering. It usually can be worked out by calculation. This article introduces the graphic method based on the characteristic of equivalent heat flow intensity q . It is a line in the heat resistance - temperature cord, which can be used to solve problems. Through the examples, the graphic method has theoretical basis, acute result, visualized figure and strong feasibility.

Key words: steady heat transfer; heat resistance; heat - flow density; temperature profile

在冬季,一般性建筑(除冷库等特殊功能)的室内气温持续高于室外气温,而且室内外气温的波动小。因此,围护结构的传热过程可简化成一维稳定传热,即热流沿厚度方向由室内向室外传递,平壁两侧的室内、室外气温视作稳定值,不随时间发生变化。这样既符合实际情况又简化了计算。

在夏季,室外气温和太阳辐射综合作用使气温昼夜之间波动较大,加之室内外的通风对流,围护结构的传热过程变得很复杂,被认为是不稳定周期性传热。沿厚度方向平壁各界面的温度呈周期性变化,其波动可视为是简谐波。在某时刻,界面的温度等于一个周期内的平均温度与相对温度之和。平均温度又要按一维稳定传热来求,相对温度按周期函数来求^[2]。

1 图解方法思路的提出

稳定传热的特征有:(1)平壁的温度稳定,某个界面上流入流出的热流强度 q 相等,则通过平壁的热流强度 q 处处相等。(2)结合傅里叶定律,同一材质内各点的 q 与温度梯度成正比,这个比例常数就是材料的导热系数。当 q 处处相等时,则同一材质的平壁内温度梯度相等,即温度分布呈直线关系。由特征(2)可以做出平壁内部的温度分布线,如图1所示。按 q 的流向将材料层编号为1,2,3; d 为材料层厚度; t_i 为室内气温, t_e 为室外气温, θ_i 为平壁内表面温度, θ_e 为平壁外表面温度, θ_2, θ_3 分别为材料层间接触面的温度。图中的温度分布线是一条连续的折线,同一材质内的温度线为直线,反映了平壁内各个材料层导热系数的大小关系。材料层内的温度分布线越陡(即

温度梯度越大),其导热系数 λ 就越小。该图经常用作稳定传热计算的辅助图,而不能直接用来求解。由于平壁的温度分布线不是一条贯通的直线,每一线段都是相对独立的。当已知某段温度分布线时,不能直接由此做出整个平壁的温度分布线。平壁各材料层之间没有相通的可共同利用的桥梁。那么,根据特征(1)来做图,以 q 作为图形中的桥梁将各层串联起来,得到一条斜率为 q 的直线,使平壁成为一个相关的整体,如图2所示。 R_1, R_2, R_3 分别为平壁材料层1,2,3的热阻; R_i, R_e 分别为平壁内、外表面换热阻; R_0 为平壁传热阻。以材料层的热阻为横坐标所做出的平壁内部温度线是一条贯通平壁整体的直线,直线的斜率就是 q 值。 q 等于某个(或多个)材料层两侧温度差与其对应的热阻之比,可以表示成 $q = \frac{t_i - t_e}{R_0}$, $q = \frac{t_i - \theta_1}{R_i}$, $q = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_1}$, $q = \frac{\theta_2 - \theta_3}{R_2}$, $q = \frac{\theta_3 - t_e}{R_e}$ 等等。比较图1和图2,它们都是平壁的剖面图,都是根据稳定传热特征做出

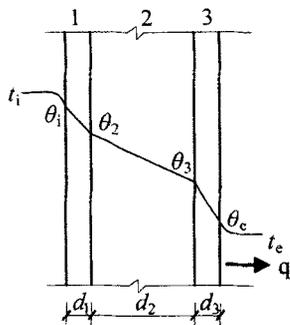


图1 以厚度为坐标的温度分布线

Fig.1 The temperature profile with thickness coord

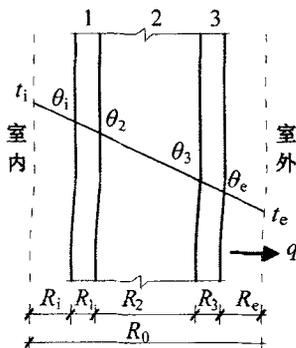


图2 以热阻为坐标的温度分布线

Fig.2 The temperature profile with heat-resistance coord

的。但表现形式不同,图2以材料层的热阻代替材料层的厚度作为横坐标,从而以直线代替折线来反映温度的分布,直观地体现了稳定传热中 q 处处相等的特征,并且可以直接由图求解。

在热阻-温度坐标系中,只要能根据已知的温度做出一部分温度分布线,然后将其向两侧延伸穿过平壁,就能使该线成为各个层可利用的已知条件,该线与各层界面处的交点是求解的关键点,在这个坐标系里作图来求解的方法即图解法。

2 图解法的应用

2.1 R_0, q 和 θ 的求解

某平壁按热流方向将各材料层依次编号如表1所示。

已知: $t_i = 18^\circ\text{C}$, $t_e = -5^\circ\text{C}$, $R_i = 0.115 \text{ m}^2\text{K/W}$, $R_1 = 0.043 \text{ m}^2\text{K/W}$ 。求平壁的传热阻 R_0 ,通过平壁的热流强度 q ,以及平壁内部各层界面处的温度 θ 。

表1 材料层及其导热系数

Tab.1 The material layers and their thermal conductivities

编号	材料层	厚度	导热系数
1	石灰砂浆	20	0.81
2	砖砌体	240	0.76

首先按公式 $R = \frac{d}{\lambda}$ 求出材料层1,2的热阻 $R_1 = 0.025 \text{ m}^2\text{K/W}$, $R_2 = 0.316 \text{ m}^2\text{K/W}$ 。依次作为绘制平壁剖面图的横坐标。图解过程,如图3所示。

建立热阻-温度坐标系。以 R 为横坐标,以 t 为纵坐标,定出合适的比例,这里以1个单位代表热阻 $0.005 \text{ m}^2\text{K/W}$,1个单位代表温度 0.2°C 。

在坐标系中做出平壁的剖面图。从原点 O 开始,沿横坐标依次量取 R_i, R_1, R_2, R_e ,过这四个标志点做横坐标的垂线,即得到以热阻为尺度的平壁剖面图。

由已知温度绘制温度线。在纵坐标轴上量取 $t_i = 18^\circ\text{C}$,在 R_e 右边垂线上量取 $t_e = -5^\circ\text{C}$,连接 t_i, t_e 的标志点,得到贯穿平壁的温度分布线。

由温度线求解。从横坐标上量得 $R_0 = 0.494 \text{ m}^2\text{K/W}$,从图上量得平壁各层界面的温度 $\theta_1 = 12.9^\circ\text{C}$, $\theta_2 = 11.7^\circ\text{C}$, $\theta_3 = -3.1^\circ\text{C}$, $q = \frac{t_i - t_e}{R_0} = 46.6 \text{ m}^2/\text{W}$ 。

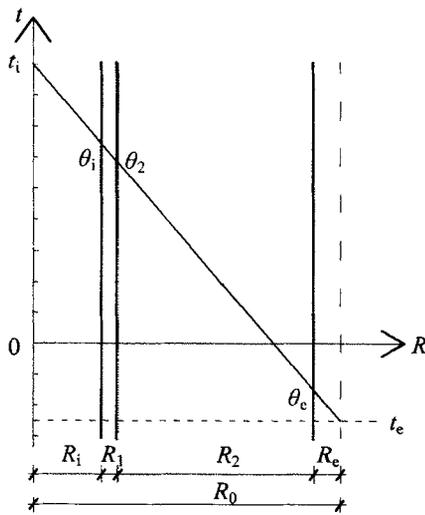


图3 基本物理量求解

Fig. 3 The graphic representation of basic terms

通过计算得

$$R_0 = R_i + R_1 + R_2 + R_3 = 0.499 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$q = \frac{t_i - t_e}{R_0} = 46.09 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$\theta_i = t_i = R_i \frac{t_i - t_e}{R_0} = 12.7^\circ\text{C}$$

$$\theta_2 = t_i - (R_i + R_1) \frac{t_i - t_e}{R_0} = 11.5^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = t_e + R_e \frac{t_i - t_e}{R_0} = -3.0^\circ\text{C}$$

图解的结果与计算结果相符。

2.2 围护结构的最小传热阻 $R_{0 \cdot \min}$

最小传热阻又叫卫生低限热阻,是满足室内一定气温要求下,保证结构内表面不结露的最小传热阻值。对于正常湿度的房间,围护结构的实有传热阻至少要大于它才能防治内表面不产生冷凝水。

某居室室内气温要求达到 $t_i = 18^\circ\text{C}$,室内气温与外墙内表面的允许温差 $\Delta t = 6^\circ\text{C}$,根据所在城市 and 围护结构的热惰性值确定室外气温 $t_e = -5^\circ\text{C}$,求该居室外墙的最小传热阻 $R_{0 \cdot \min}$,图解过程如图4所示。

(1)建立热阻-温度坐标系。(2)在坐标系中做出外墙内表面附近的内表面换热层的剖面,从原点0开始,沿横坐标量取 $R_i = 0.115 \text{ m}^2 \text{K/W}$,过这个标志点做横坐标的垂线,即得内表面换热层的剖面图。(3)由已知温度绘制温度线。在纵坐标轴上量取 $t_i = 18^\circ\text{C}$,在 R_i 右边垂线上量取 $\theta_i = 12^\circ\text{C}$ ($\Delta t = t_i - \theta_i = 6^\circ\text{C}$),连接 t_i, θ_i 的标志点,并

将其延长。(4)在反映了已知条件的图上求解。在纵坐标上量取 $t_e = -5^\circ\text{C}$,过该标志点做纵坐标的垂线,与(3)中的温度线相交于一点A,过点A做横坐标的垂线交横坐标于点B。量得B点的横坐标 $R_{0 \cdot \min} = 0.441 \text{ m}^2 \text{K/W}$ 。由B点向原点方向移动 $R_e = 0.043 \text{ m}^2 \text{K/W}$,可得外墙的外表面标志线,量得外表面的温度 $\theta_e = -2.76^\circ\text{C}$ 。

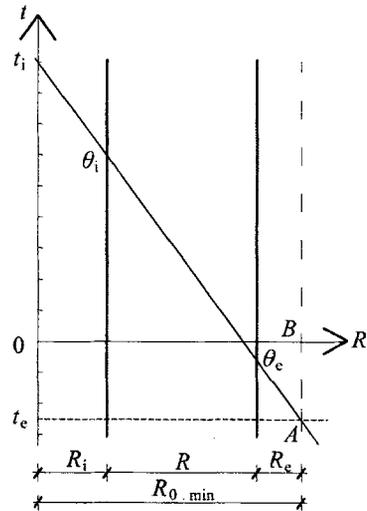


图4 最小传热阻求解

Fig. 4 The graphic representation of minimum thermal resistance

如果该围护结构外表面不与室外空气直接接触,则以 $R_{0 \cdot \min}$ 乘以温差修正系数。

$$\text{通过计算得 } R_{0 \cdot \min} = \frac{(t_i - t_e)n}{[\Delta t]} R_i = 0.441$$

$$\text{m}^2 \text{K/W}, \theta_e = t_e \frac{t_i - t_e}{R_{0 \cdot \min}} = -2.76^\circ\text{C}.$$

图解结果与计算结果相符。

2.3 围护结构内部冷凝的检验

围护结构的内部冷凝水不仅降低了结构的保温性能而且破坏了结构的强度,影响结构的使用质量和耐久性。进行内部冷凝的检验,以便采取适当的防治措施是必要的。建筑热工学中不仅考虑围护结构的热状况,而且也要考虑湿状况。

目前在建筑设计中,围护结构的湿状况通常按稳定条件下单纯的水蒸汽渗透过程考虑。计算过程与稳定传热的计算过程完全类似。因此,稳定传热的图解法一定适用于稳定蒸汽渗透的求解。以渗透阻 H 为横坐标,水蒸汽压力 P 为纵坐标。忽略不计围护结构内外表面的湿转移阻,内外表面的水蒸汽分压力近似地取室内外空气的水

蒸汽分压力 P_i, P_e 。这一点与稳定传热不同。

以 2.1 中所示的平壁和条件为例,又已知室内气温相对湿度是 70%,室外气温相对湿度是 50%,检验平壁内是否会产生内部冷凝。图解过程如图 5 所示。

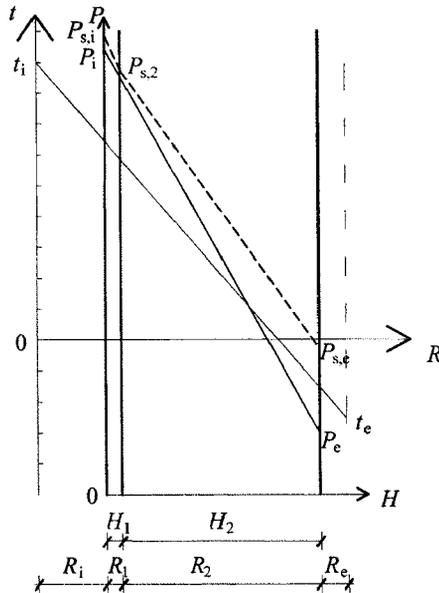


图5 内部冷凝的检验

Fig. 5 The test of internal condensation

建立渗透阻 - 水蒸汽压力坐标系。按 2.1 建立热阻 - 温度坐标系以及温度分布线。从平壁内表面处开始再建立坐标,以 H 为横坐标,不用设比例,直接利用已做出的平壁剖面, P 为纵坐标,1 个单位代表 10 Pa (P 不存在负值)。确定饱和水蒸汽压力 P_s 的分布线。由量取各层界面处的温度 $\theta_1, \theta_2, \theta_e$ 查得对应的饱和水蒸汽压力分别是 $P_{s,1} = 1486.5 \text{ Pa}$, $P_{s,2} = 1374.5 \text{ Pa}$, $P_{s,e} = 472 \text{ Pa}$ (也可以多取几个 t 值,查出对应的 P_s 值,做出更准确的曲线)。确定各标志点并连接得 P_s 线。

确定实际水蒸汽分压力 P 的分布线。根据室内外的温度和相对湿度得到 $P_i = 1443.8 \text{ Pa}$, $P_e = 401.3 \text{ Pa}$ 。在平壁内表面(即纵轴)和外表面确定两个标志点并连接得 P 直线。

判断平壁内部是否产生冷凝。 P_s 线与 P 线不相交,从图上量得 $P_2 = 1352.6 \text{ Pa}$, 小于 $P_{s,2} = 1374.5 \text{ Pa}$ 。实际水蒸汽分压力小于该温度下的饱和水蒸汽压力,内部不产生冷凝。

3 结语

通过以上图解法的介绍和它在稳定传热求解中的应用举例,可以明显地看出图解法省去了大量的计算,避免了在计算中因混淆字母而出错。图形直观、形象地反映出稳定传热的本质特点,使图形的作用从计算的辅助图成为可直接求解的图形。对越复杂的问题,图解法比计算法越显得简洁精确。

参考文献:

- [1] GB50176-93,民用建筑热工设计规范[S].
- [2] 刘加平. 建筑物理(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [3] 夏云,夏葵. 生态与可持续建筑[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [4] 赵娟,苏晓海. 组合壁热阻的求解思想及应用分析[J]. 陕西理工学院学报:自然科学版,2009,26(4):48-51.
- [5] 李磊,刘卫东. 引气混凝土导热系数试验与分析[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2011,28(3):17-20.

(责任编辑 刘存英)