

文章编号:1007-2934(2008)04-0001-05

节能玻璃的热学特性测量

周菁华¹ 刘芸¹ 陈骏逸¹ 马世红¹ 李天群²

(1.复旦大学,上海,200433)

(2.上海天欣科教仪器有限公司,上海,200433)

摘要 用稳态法测量节能玻璃的热学性能,并在同样的外界温度下,比较它与普通玻璃的保温性能,从而证明节能玻璃具有明显节能优越性。

关键词 节能玻璃;导热率,传热系数

中图分类号:O-551.3

文献标识码:A

引言

随着社会的发展与进步,人们逐渐意识到环境保护的迫切性和重要性,如何合理使用地球上有限的资源,已经成为人类热切关注的话题之一。其中建筑节能是缓解能源紧缺,减轻环境污染,改善人民生活工作条件,促进经济可持续发展的一项最直接的措施。

以往,高校物理实验教学以验证性为主,缺少学生可以独立思考和联系实际的内容,与社会急需解决课题有些脱节,而自主性研究性物理实验弥补了这一不足。节能玻璃物理特性测量的课题可以使物理实验与社会生活中热门专题相结合,可以说是一种改革性的尝试,本实验可以作为高校设计性研究性物理实验开设。

1 实验原理

玻璃窗的功能除了透光通风外,还应具有保温绝热作用,但不同玻璃的隔热性能不相同,为此需要研制新型的节能玻璃来满足节能环保的要求。

热传导是依靠物体各部分直接接触而进行的热传播过程,和温度的分布有着密切关系。一般说来,温度 θ 是坐标 x, y, z 和时间 t 的函数 $\theta = f(x, y, z, t)$ 。在某一瞬间,空间所有各点温度的集合叫做温度场。如果各点温度不随时间改变,称为稳定的温度场。

考虑温度 θ 的变化只沿 x 轴的情况,由于存在温差,热量将向温度减小的方向传递。当热传导平衡时,与 x 轴垂直的平面 S 内温度处处相同,则在时间 t 内,通过 S 传递的热量 Q 与 S 的大小、传递时间 t 的长短以及温度 θ 沿 x 轴方向的变化率 $d\theta/dx$ (即在 S 处的温度梯度)三者成正比,因而可写成

收稿日期:2008-06-27

$$Q = \lambda \frac{d\theta}{dx} S \times t \quad (1)$$

上式中的比例系数 λ 根据物质的类别及它所处的状态而变,称该物质的导热率(又称导热系数)。如果样品是均匀的,而且其侧周绝热。则温度梯度在它的各截面处处都相等。

本实验使用 FD-TC-B 导热系数测定仪测量玻璃样品的导热率,测量时,样品上表面与一个温度可以控制的稳定的均匀发热体充分接触,下表面与一均匀散热体相接触。由于样品的侧面积相比上下表面积小很多,可以认为热量只沿着上下方向垂直传递,横向由侧面散去的热量可以忽略不计,即可以认为,样品内只有在垂直样品平面的方向上有温度梯度,在同一平面内,各处的温度相同。

设稳态时,样品的上下平面温度分别为 θ_1 、 θ_2 ,根据傅立叶传导方程,在 Δt 时间内通过样品传递的热量 ΔQ 满足:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{h_B} S \quad (2)$$

式中 λ 为样品的导热率, h_B 为样品的厚度, S 为样品的平面面积。

当样品上下表面的温度 θ_1 和 θ_2 不变时,可以认为加热盘 C 通过样品传递的热流量与散热盘 P 向周围环境散热量相等。因此可以通过散热盘 P 在稳定温度 θ_2 时的散热速率来求出热流量。

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc \left. \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \right|_{\theta = \theta_2} \quad (3)$$

其中 m 为散热盘 P 的质量, c 为其比热容。

在达到稳态的过程中, P 盘的上表面并未暴露在空气中,而物体的冷却速率与它的散热表面积成正比,为此,稳态时铜盘 P 的散热速率的表达式应作面积修正:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc \left. \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \right|_{\theta = \theta_2} \frac{(\pi R_p^2 + 2\pi R_p h_p)}{(2\pi R_p^2 + 2\pi R_p h_p)} \quad (4)$$

其中 R_p 为散热盘 P 的半径, h_p 为其厚度。由(2)、(4)式可得样品的导热率

$$\lambda = mc \left. \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \right|_{\theta = \theta_2} \frac{(R_p + 2h_p) \times h_B}{(2R_p^2 + 2h_p)(\theta_1 - \theta_2) \times \pi R_p^2} \quad (5)$$

物质的热传导性能以其导热率表示。在工业中为了区分物体热传导性能,在公式(2)中,又定义传热系数 $K = \lambda/h_B$,它表示在单位时间内,单位面积、在温差为 $\theta_2 - \theta_1$ 时,通过平板状物体的热量^[2,3]。

2 实验仪器和样品简介

2.1 温屏玻璃

温屏玻璃是的一种热学性能优越的镀膜节能玻璃,它由两块内部镀膜的玻璃,中间为低真空,并用真空封泥封闭的双层平板玻璃,如图 1 所示。

本实验采用的温屏玻璃大小 35.0cm × 20.0cm,其中单片玻璃厚度均为 5mm,中间为 12mm 低真空层。

2.2 FD-TC-B 型导热系数测定仪

装置如图 2 所示,由加热器、铜加热盘 C,待测样品 B,铜散热盘 P、支架及调节螺丝、温度传感器以及控温与测温器组成。

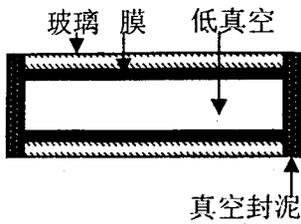


图 1 温屏玻璃截面结构图

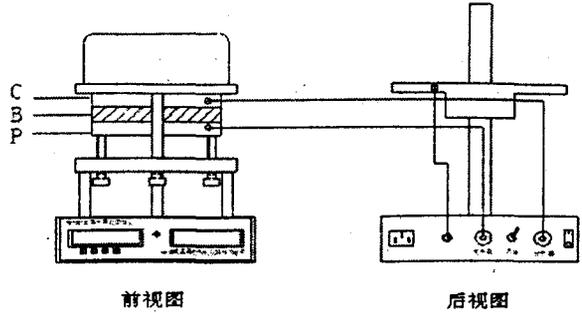


图 2 FD-TC-B 导热系数测定仪装置图

3 实验内容和方法

(1)将玻璃样品放在加热盘与散热盘中间,调节底部的三个微调螺丝,依样品与加热盘、散热盘接触良好且完全对准,但注意不宜过紧或过松。

(2)按照图 2 所示,插好加热盘的电源插头;再将 2 根连接线的一端与机壳相连,另一有传感器端插在加热盘和散热盘小孔中,要求传感器完全插入小孔中,并在传感器上抹一些硅油或者导热硅脂,以确保传感器与加热盘和散热盘接触良好。在安放加热盘和散热盘时,还应注意使放置传感器的小孔上下对齐(注意:加热盘和散热盘两个传感器要一一对应,不可互换。)

(3)开启导热系数测定仪的电源后,设定控制温度,完成这些操作后,再按“确定”键,此时加热盘即开始加热。右边显示散热盘的当时温度。

(4)加热盘的温度上升到设定温度值后,样品上下表面温度差将由不稳定逐渐趋向于稳定过程,经过 10 分钟或更长的时间内,加热盘和散热盘的温度值 θ 基本不变,可以认为已经达到稳定状态了,记录相关实验数据。

(5)按复位键停止加热,取走样品,调节三个螺栓使加热盘和散热盘接触良好,再设定温度到 75.0°C ,加快散热盘的温度上升,使散热盘温度上升到高于稳态时的 θ_2 值 20°C 左右即可。

(6)移去加热盘,让散热圆盘在风扇作用下冷却,每隔 10 秒记录一次散热盘的温度示值,由临近 θ_2 值的温度数据中计算冷却速率 $\left. \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right|_{\theta=\theta_2}$ 。

(7)根据测量得到的稳态时的温度值 θ_1 和 θ_2 ,以及在温度 θ_2 时的冷却速率,由公式(5)计算不良导体样品的导热率 λ [4,5]。

4 实验数据和分析

散热圆盘质量 $m = 857.51\text{g}$ 比热容(紫铜) $C = 385\text{J}/\text{Kg}\cdot^{\circ}\text{C}$

散热圆盘厚度 $\bar{h}_p = 7.65\text{mm}$,散热圆盘直径 $\bar{D}_p = 129.68\text{mm}$

4.1 测温屏玻璃样品的导热率 λ 和传热系数 K

实验条件:室温 22.5°C 加热盘温度设定为 $\theta_1 = 75.0^{\circ}\text{C}$

玻璃参数:面积 $35.0\text{cm} \times 20.0\text{cm}$ 平均厚度 $\bar{h}_p = 22.82\text{mm}$

测量散热盘冷却速率时,在平衡时下盘温度: $\theta_2 = 31.6^\circ\text{C}$

从 33.1°C 起开始计时,每隔 10 秒纪录一个数据,直至降温至 30.1°C 。将 θ_2 正负 0.5°C 的数据记录在表 1 中。

表 1 温屏玻璃散热盘冷却速率测量数据

时间 t/s	0	10	20	30	40	50	60
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	32.1	32.1	32	32	31.9	31.8	31.8
时 t/s	70	80	90	100	110	120	130
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	31.8	31.7	31.6	31.6	31.6	31.5	31.5
时间 t/s	140	150	160	170	180	190	200
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	31.4	31.4	31.3	31.3	31.2	31.2	31.1
时间 t/s	210						
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	31.1						

经过直线拟合后,得斜率为 -0.00489 , 相关系数 $r = -0.995$, 即 $\left. \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right|_{\theta=\theta_2} = 0.00489$

($^\circ\text{C}/s$)

综上可得温屏玻璃在 75.0°C 时,等效平均导热率为

$$\bar{\lambda}_1 = 0.0355 \text{ W}/^\circ\text{C} \cdot m$$

$$\bar{K}_1 = \frac{\lambda}{h_B} = 1.56 \text{ W}/^\circ\text{C} \cdot m^2$$

4.2 作为对比,测量普通单层玻璃的导热率 λ 和传热系数 K

实验条件:室温 22.5°C , 加热盘温度设定为 $\theta_1 = 75.0^\circ\text{C}$

试样玻璃面积: $20.0\text{cm} \times 20.0\text{cm}$, 平均厚度 $\bar{h}_B = 5.095\text{mm}$

试样玻璃厚度 h_B 与温屏玻璃单层玻璃厚度相近。

测量散热盘的冷却速率平衡时下盘温度: $\theta_2 = 68.4^\circ\text{C}$, 数据记录在表 2 中。

表 2 单层玻璃散热盘冷却速率测量数据

时间 t/s	0	10	20	30	40	50
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	71.5	71.1	70.7	70.3	69.9	69.5
时间 t/s	60	70	80	90	100	110
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	69.1	68.7	68.4	68	67.6	67.3
时间 t/s	120	130	140	150	160	
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	66.9	66.5	66.1	65.8	65.4	

经过直线拟合后,得斜率为 -0.03794 , 相关系数为 $r = 0.9997$, 即 $\left. \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right|_{\theta=\theta_2} = 0.0379$

($^\circ\text{C}/s$)

综上可得该玻璃在 75.0°C 时的导热率

$$\lambda_2 = 0.404 \text{ W}/^\circ\text{C} \cdot m$$

$$K_2 = \frac{\lambda}{h_B} = 79.33 \text{ W}/\text{C} \cdot \text{m}^2$$

这个导热率的结果与某些企业提供的家用玻璃导热率数据一致。通常将导热率 λ ($0.23 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{C}$, 称为绝热材料^[6], 单层玻璃导热率比此值大, 所以作为绝热材料使用是不够理想的。

5 实验结果与展望

本实验中, 将单层玻璃和温屏玻璃在相同的实验条件下进行对比测量, 对其结果比较后发现: 单层玻璃的传热系数 K_2 与温屏玻璃的传热系数 K_1 , 相差 50.85 倍, 温屏玻璃体现出优越的隔热保温性能。

通过温屏玻璃与普通家用玻璃的热学性质的对比, 证明了温屏玻璃具有极好的隔热保温性能。将温屏玻璃应用于商场, 商务楼及住宅等建筑上, 可以有效地节省电能, 减少因为空调使用带来的种种环境问题, 如温室效应等。

通过研究节能玻璃的热学特性, 使笔者深刻认识到, 基础物理实验联系当前国民经济热门课题的重要性, 在联系实际的研究性实验学习中, 提高了学生对知识的综合应用能力和创新意识。

参 考 文 献

- [1] 贾玉润、王公治、凌佩玲. 大学物理实验. 上海: 复旦大学出版社, 1987
- [2] Horst stocker(编)、吴锡真等译. 物理手册, 北京大学出版社, 2004
- [3] 徐龙道等. 物理学词典. 北京: 科学出版社, 2004
- [4] 沈元华、陆申龙. 基础物理实验. 北京: 高等教育出版社, 2003
- [5] 陆申龙、郭有思. 热学实验. 上海: 上海科学技术出版社, 1988
- [6] 丁慎训、张连芳. 物理实验教程第二版. 北京: 清华大学出版社, 2000

MEASUREMENT OF ENERGY - SAVING GLASS' THERMAL PROPERTIES

Zhou Jinghua¹ Liu Yun¹ Chen Junyi¹ Ma Shihong¹ Li Tianqun²

(1. Fudan University, Shanghai, 200433)

(2. Shanghai Tianxin teaching - equipment Ltd, Shanghai, 200433)

Abstract: The thermal properties of energy - saving glass are measured by the method of "Stable - Condition", and which are compared with general glass in the aspect of temperature - keeping property under the same temperature. This can prove that energy - saving glass is obviously superior in energy conservation.

Key Words: energy - saving glass; thermal conductivity; heat - transfer coefficient