

# 节能玻璃的物理特性测量及应用\*

周菁华 刘芸 陈骏逸 马世红 李天群

(复旦大学)

(上海天欣科教仪器有限公司)

**【摘要】** 测量节能玻璃的导热率和光透射率,并在同样的实验条件下,与普通单层玻璃、普通双层玻璃相比较,实验结果表明节能玻璃具有明显低导热率和高透光率等优点。

**关键词:** 节能玻璃;导热率;光透射率

## 0 引言

随着社会的发展与进步,如何合理使用有限的资源已经成为人类热切关注的话题之一,能源压力也会制约国民经济的持续发展.其中建筑节能是缓解我国能源紧缺矛盾,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.

有数据显示,由于普通玻璃门窗保温性能差造成的空调能耗增加约 20% ~ 30%.所以,节能玻璃的使用无疑可以在很大程度上减少由于普通玻璃保温性能差而造成的能耗浪费.另外,相比普通双层玻璃,节能玻璃优越的透射率也使得室内采光明亮舒适.节能玻璃不仅对采光影响很小,而且减少了室内外的热交换.国内已有一些城镇试将节能玻璃用于环保建筑,取得良好的节能效果.为研究和改进节能玻璃的物理特性,笔者设计了一个采用基础物理教学实验仪器,结合节能专题,测量环保节能产品的特性,以便更好地理解其节能效率机理.该实验作为设计性物理实验,得到好评.

## 1 实验原理

玻璃窗的主要功能为透光通风,同时要求具有良好的保温隔热效果.但不同玻璃的节能效率

不相同,为使得玻璃同时兼顾这些要求,迫切需要研制新型的节能玻璃,并提供必要的物理特性测量数据.

玻璃的透光性能主要通过透射系数(即透射率)来反映,透射系数即在一定入射光强下,透射光强占入射光强的百分比,透射系数越大,玻璃的透光性越好.玻璃透射系数计算公式为:  $T_{\text{透}} = \frac{I}{I_0}$ ,其中  $I_0$  为入射至待测样品的光功率,  $I$  为从待测样品透射出来的光功率.

玻璃的保温绝热性能主要通过导热率  $\lambda$  (又称导热系数)来体现,导热率是当单位长度的温度梯度为 1 度时,在单位时间内通过物体单位面积所传递的热量.  $\lambda$  单位为  $\text{J}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$ .导热率越大,玻璃的隔热性能越差<sup>[1]</sup>.

笔者使用 FD - TC - B 导热系数测定仪测量玻璃样品的导热率  $\lambda$ ,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  $\theta_1$ 、

收稿日期:2008 - 11 - 11

\* 国家自然科学基金项目(J0730310)

$\theta_2$ , 根据傅立叶传导方程, 在  $\Delta t$  时间内通过样品传递的热量  $\Delta Q$  满足:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{h_B} S \quad (1)$$

式中  $\lambda$  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  $\theta_1$  和  $\theta_2$  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  $\theta_2$  时的散热速率来求出热流量。

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \Big|_{\theta=\theta_2} \quad (2)$$

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<sup>[4]</sup>:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \Big|_{\theta=\theta_2} \frac{(\pi R_p^2 + 2\pi R_p h_p)}{(2\pi R_p^2 + 2\pi R_p h_p)} \quad (3)$$

其中  $R_p$  为散热盘 P 的半径,  $h_p$  为其厚度。由 (1)、(3) 式可得样品的导热率:

$$\lambda = mc \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \Big|_{\theta=\theta_2} \frac{(R_p + 2h_p) \times h_B}{(2R_p^2 + 2h_p)(\theta_1 - \theta_2) \times \pi R_p^2} \quad (4)$$

在工业中为了表示物体热传导性能, 又定义传热系数  $K = \lambda/h$ ,  $h$  为样品厚度, 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<sup>[2,3]</sup>。

## 2 实验仪器和样品简介

### 2.1 温屏玻璃

温屏玻璃是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组成, 中间为低真空, 并用真空封泥封闭, 如图 1 所示。

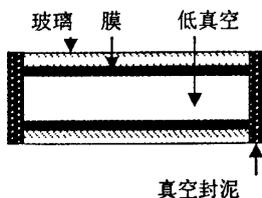


图1 温屏玻璃示意图

实验采用的温屏玻璃大小为  $35.0 \text{ cm} \times 20.0 \text{ cm}$ , 其中单片玻璃厚度均为  $5 \text{ mm}$ , 中间为  $12 \text{ mm}$  低真空层。

### 2.2 透射系数测定装置<sup>[4]</sup>

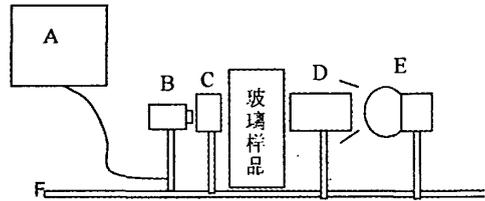


图2 透射系数测定装置

装置如图 2 所示, 由光功率计 A, 接收器 B, 截止片 C, 挡光圈 D (内径为  $6.1 \text{ cm}$ ), 光源 E (功率可调节), 光具座 F 组成。

截止片 3 种, 分别为红外 HWB760 (对于波长大于  $760 \text{ nm}$  的光, 透射率在  $90\%$ , 其余波长透射率为  $0$ ), 可见光 GRB3 (对于波长  $310 \sim 720 \text{ nm}$  间的光, 透射率大于  $50\%$ , 其余基本为  $0$ ), 紫外 ZWB1 (对于波长  $250 \sim 400 \text{ nm}$  的光, 透射率基本大于  $50\%$ , 其余透射率不超过  $7\%$ )。

玻璃样品有三种, 分别为单层普通玻璃 (厚度  $3 \text{ mm}$ )、双层玻璃 (每块玻璃厚  $3 \text{ mm}$ ) 和温屏玻璃。

### 2.3 FD-TC-B 型导热系数测定仪<sup>[5]</sup>

装置如图 3 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。

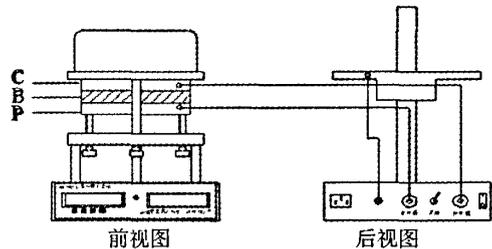


图3 FD-TC-B 导热系数测定仪装置图

## 3 实验内容和方法

### 3.1 透射率的测量

实验用透射系数测定装置来测量单层普通玻璃和温屏玻璃在不同截止片下的透射率, 从而得到在红外、可见和紫外三个波段情况下的透射率。对不同波段情况下的透射率进行比较分析。

### 3.2 热系数的测量

实验使用 FD-TC-B 导热系数测定仪根据稳态法原理, 测量并计算玻璃样品的导热系数  $\lambda$  及  $K$  值。<sup>[5,6]</sup>

## 4 实验数据和分析

### 4.1 不同样品玻璃光透射率的比较

从应用的角度,在光强较弱时,玻璃透射率大小对照明影响较大.所以,以下实验用弱光(0 ~ 100 μW 光功率)做实验.实验中,以白炽灯作为光源,即入射光功率 0 ~ 100 μW 的范围内,分别用三块不同波长的截止片(一种特殊功能的滤色片)进行透射率的测量,数据如表 1 所示.样品玻璃对同一波段的透射率基本维持不变,故采用了平均透射率作图 4.同时忽略低真空情况下的光吸收,普通双层玻璃的透射率约是普通单层玻璃的透射率的平方.

表 1 几种玻璃透射率测量结果

光源加截止片规格	红外 HB760	可见 CRB3	紫外 ZWB1
普通单层玻璃	0.243	0.561	0.432
普通双层玻璃	0.059	0.315	0.187
温屏玻璃	0.226	0.477	0.391

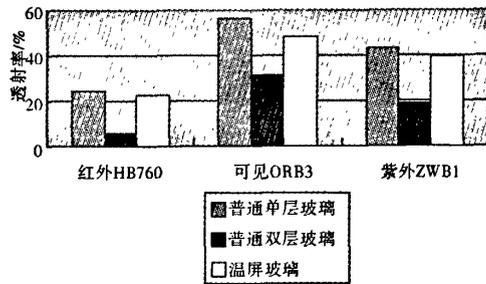


图 4 入射光强较弱 0 ~ 100 μW 时透射率和波长的关系

从实验观测和实验结果可得到以下几个规律:

(1) 在小光功率下(0 ~ 100 μW),波长由大至小(红外—可见—紫外)变化时,可见光的透射

率最大,红外、紫外光的透射率均明显比可见光小.考虑到红外线的温室效应和紫外线对人类的辐射害处,窗玻璃可以减少红外波和紫外波的透射.

(2) 对于同种波长,温屏玻璃的透射率略小于单层普通玻璃,明显大于双层普通玻璃.可见温屏玻璃采用了双层镀膜结构后,虽然整个玻璃较厚,但与两块普通玻璃简单叠加相比,显著地提高了透射率.

(3) 普通双层玻璃虽然能够减少红外波和紫外波的透射,但因白光透射率太小,严重影响室内采光.普通单层玻璃隔热效果差,而温屏玻璃具有隔热和较大透射率的特性.所以从室内采光以及节能两方面综合考虑,温屏玻璃是比较优越的.

(4) 在玻璃实际使用的情况下(日光作为光源)进行测量,除去以上性质外,发现随光功率增大,在 100 ~ 500 μW 之间,玻璃的透射率也略有增大,随后趋于平坦.其中温屏玻璃的透射率与普通玻璃相近,几乎仅比普通玻璃小 8% (绝对值)左右.

### 4.2 测量玻璃样品导热率 λ 和传热系数 K

实验采用 FD-TC-B 型导热系数测定仪,采用稳态法,在相同实验条件下(实验条件:室温 22.5℃,加热盘温度设定为  $\theta = 75.0^\circ\text{C}$ ),分别测量计算各玻璃样品导热率 λ 和传热系数 K.

温屏玻璃参数:面积 35.0 cm × 20.0 cm,平均厚度  $\bar{h}_B = 22.82$  mm(游标卡尺测量).

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℃ 起开始计时,每隔 10 s 记录一个数据,直至降温至 30.1℃.将  $\theta_2$  正负 0.5℃ 的数据纪录在表 2 中.

表 2

时间 t/s	0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	32.1	32.1	32	32	31.9	31.8	31.8
时间 t/s	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	31.8	31.7	31.6	31.6	31.6	31.5	31.5
时间 t/s	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	31.4	31.4	31.3	31.3	31.2	31.2	31.1
时间 t/s	210.0						
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	31.1						

表 3

时间 t/s	0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	71.5	71.1	70.7	70.3	69.9	69.5
时间 t/s	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	69.1	68.7	68.4	68	67.6	67.3
时间 t/s	120.0	130.0	140.0	150.0	160.0	
温度 $\theta/^\circ\text{C}$	66.9	66.5	66.1	65.8	65.4	

经  $\theta - t$  关系直线拟合,得

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Big|_{\theta=\theta_2} = 0.00489 (\text{°C/s})$$

普通单层玻璃面积:20.0 cm × 20.0 cm,平均厚度  $h'_B = 5.095$  mm(千分尺测量)测量散热盘的冷却速率平衡时下盘温度: $\theta_2 = 68.4$  °C,数据纪录在表3中.经关系  $\theta - t$  直线拟合,得

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Big|_{\theta=\theta_2} = 0.0379 (\text{°C/s})$$

利用公式  $\lambda = mc \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Big|_{\theta=\theta_2} \frac{R_p + 2h_p}{2(R_p + h_p)} \times \frac{4h_B}{\theta_1 - \theta_2} \frac{1}{\pi d_B^2}$  和  $K = \frac{\lambda}{h_B}$ ,可得表4所示数据.

表4 两种玻璃导热率和传热系数实验结果

	$\lambda$ (W/K·m)	$K$ (W/m <sup>2</sup> K)
温屏玻璃	0.0355	1.56
普通单层玻璃	0.404	79.33

综上所述,从实验结果可得以下结论:

(1) 单层玻璃的传热系数  $K_{\text{单层}}$  与温屏玻璃的传热系数  $K_{\text{温屏}}$ ,相差50.85倍,反映玻璃保温能力的指标是  $K$  值.  $K$  值越小,说明玻璃的保温隔热性能越好,在使用时的节能效果越显著.比如夏季,室外温度很高,温屏玻璃具有良好的隔热性能,使室外热量不容易传到室内,与普通单片玻璃相比大大降低了传热量.

(2) 温屏玻璃隔热节能的核心技术是可见光透射率高的温屏膜.为了达到不同颜色光玻璃的目的,有的温屏玻璃还在两层玻璃中间充不同的惰性气体.若用两块普通玻璃组成和温屏玻璃同规格的中空玻璃,由于无温屏膜的作用,隔热效果

并不能与温屏玻璃相提并论.

(3) 虽然温屏玻璃整体比较厚,由于其中间是低真空,热量向侧面传递比较少.实验数据也证明导热率的误差小于15%,与样品说明书提供的参数基本吻合.说明实验过程及数据是可靠的.

## 5 实验结果与展望

通过温屏玻璃与普通家用玻璃(单、双层)在光学和热学性质方面的对比,证明了温屏玻璃具有极好的透光和隔热保温性能.将温屏玻璃应用于商场,商务楼及住宅等建筑上,在保证采光的同时,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物理特性,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[M].上海:复旦大学出版社,1987.171-173.
- [2] Horst stocker(编),吴锡真,等译.物理手册[M].北京:北京大学出版社,2004.1:671-677.
- [3] 徐龙道,等.物理学词典[M].北京:科学出版社,2004.(5):87.
- [4] 沈元华,陆申龙.基础物理实验[M].北京:高等教育出版社,2003.12:141-144.
- [5] 上海天欣科教仪器有限公司.FD-TC-B型导热系数测定仪说明书,2000.11.
- [6] 陆申龙,郭有思.热学实验[M].上海:上海科学技术出版社,1988.3:197-201.

## THE PHYSICAL PROPERTIES MEASUREMENT AND APPLICATION OF ENERGY - SAVING GLASS

Zhou Jinghua Liu Yun Chen Junyi Ma Shihong

(Fudan University)

Li Tianqun

(Tianxin Science and Education Instrument Co., Ltd.)

### ABSTRACT

Under the same experimental conditions, the measurement of glasses' thermal conductivity and optical transmission rate shows that, compared to general single-layer glass and ordinary double-glazing, energy-saving glass excels in low thermal conductivity and high transmission rates. This study provides a related experimental method to explore new energy-saving materials with the use of basic physics experiment instruments, and a scientific way to improve energy-saving products as well.

**Keywords:** Energy-saving glass; Thermal conductivity; Optical transmission rate

(责任编辑:李双臻)

# 节能玻璃的物理特性测量及应用

作者: [周菁华](#), [刘芸](#), [陈骏逸](#), [马世红](#), [李天群](#), [Zhou Jinghua](#), [Liu Yun](#), [Chen Junyi](#),  
[Ma Shihong](#), [Li Tianqun](#)

作者单位: [周菁华, 刘芸, 陈骏逸, 马世红, Zhou Jinghua, Liu Yun, Chen Junyi, Ma Shihong\(复旦大学\)](#),  
[李天群, Li Tianqun\(上海天欣科教仪器有限公司\)](#)

刊名: [哈尔滨师范大学自然科学学报](#)

英文刊名: [NATURAL SCIENCE JOURNAL OF HARBIN NORMAL UNIVERSITY](#)

年, 卷(期): 2009, 25(1)

引用次数: 0次

## 参考文献(6条)

1. [贾玉润, 王公治, 凌佩玲](#) [大学物理实验](#) 1987
2. [Horst stocker, 吴锡真](#) [物理手册](#) 2004
3. [徐龙道](#) [物理学词典](#) 2004
4. [沈元华, 陆申龙](#) [基础物理实验](#) 2003
5. [上海天欣科教仪器有限公司](#) [FD-TC-B型导热系数测定仪说明书](#) 2000
6. [陆申龙, 郭有思](#) [热学实验](#) 1988

## 相似文献(1条)

1. 期刊论文 [周菁华, 刘芸, 陈骏逸, 马世红, 李天群, Zhou Jinghua, Liu Yun, Chen Junyi, Ma Shihong, Li Tianqun](#) [节能玻璃的热学特性测量 -大学物理实验](#)2008, 21(4)

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.

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hebsfdxzkxxb200901011.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hebsfdxzkxxb200901011.aspx)

下载时间: 2009年12月22日