

# 建筑节能镀膜玻璃热传递系数的研究\*

顾培夫 刘 旭 黄胜军 唐晋发

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

**摘 要** 建筑节能镀膜玻璃的热传递系数  $k$  是反映节能薄膜性能的重要指标。本文提出其热传递系数的计算和测量方法, 并介绍部分测量结果。研究结果表明节能薄膜确能较大地降低建筑物的能耗。

**关键词** 建筑镀膜玻璃, 热传递系数。

## 1 引 言

建筑节能镀膜玻璃可为建筑物提供良好的“热舒适”, 避免室内过冷或者过热, 因而可节省致冷或致热的空调费用。

热传递系数能充分表征节能镀膜玻璃的节能性能。它表示由室内外单位温差引起的通过玻璃获得或损失的热流密度。它的公制单位是  $W/(m^2 \cdot K)$ , 称为  $k$  值。

本文将着重讨论热传递系数的计算方法, 测试技术及测量结果, 这对评价建筑物薄膜的节能性能是极其重要的。

## 2 计算方法

物体间存在着三种传热方式: 辐射、对流和传导。它们决定着三种换热方式: 辐射换热、对流换热和传导换热<sup>[1]</sup>。其中前二种换热称为表面换热。

辐射换热: 物体间的辐射量之差就是高温物体流至低温物体的辐射换热量。当两物体表面温度分别为  $T_1$ 、 $T_2$ , 且  $T_1 > T_2$  时, 两物体的辐射换热量为

$$Q_{12} = a_r(T_1 - T_2)\Phi_2 A_1 \quad (1)$$

式中  $\Phi_2$  为 0~1 间的形态系数, 对互为平行的两物体,  $\Phi_2 = 1$ ; 当物体 1 被物体 2 包围时,  $\Phi_2$  为两物体的表面积之比。  $A_1$  为物体 1 的面积。  $a_r$  定义为辐射换热系数, 且有

$$a_r = C_{12} \frac{T_1^3 + T_1^2 T_2 + T_1 T_2^2 + T_2^3}{10^8} \quad (2)$$

$C_{12}$  为有效辐射常数。

对流换热: 玻璃表面的对流换热系数  $a_c$  可从经验公式算得, 对不同的风速  $V$  有

\* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1995 年 4 月 12 日; 收到修改稿日期: 1995 年 11 月 8 日

$$\begin{aligned} a_c &= 6.12 V^{0.78} && (\text{当 } V > 5 \text{ m/s}) \\ a_c &= 4.8 + 3.4V && (\text{当 } V \leq 5 \text{ m/s}) \\ a_c &= 1.7 (\Delta T)^{0.25} && (\text{自然对流}) \end{aligned}$$

表面换热系数是  $a_r$  和  $a_c$  之和。

导热换热: 导热量与玻璃两侧表面的温差成正比, 且

$$Q = (\lambda d)(T_1 - T_2) \quad (3)$$

$\lambda$  为导热系数,  $d$  为玻璃厚度,  $c = \lambda d$  称热导。

了解表面换热与导热换热的计算方法后, 就可计算窗的热传递系数  $k$  值。

对单层窗

$$k = \left[ \frac{1}{a_{\text{out}}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{a_{\text{in}}} \right]^{-1} \quad (4)$$

对多层窗

$$k = \left[ \frac{1}{a_{\text{out}}} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_{\text{in}}} \right]^{-1} \quad (5)$$

式中 in, out 分别表示玻璃的内外表面, 且有  $a_{\text{out}} = a_{c \text{ out}} + a_{r \text{ out}}$ ,  $a_{\text{in}} = a_{c \text{ in}} + a_{r \text{ in}}$ 。对于 3 mm 厚的普通窗玻璃, 当风速为 3 m/s 时,  $a_{c \text{ out}} = 15$ ,  $a_{r \text{ out}} = 4.5$ ,  $a_{c \text{ in}} = 3.3$ ,  $a_{r \text{ in}} = 4.5$ ,  $d/\lambda = 0.004$ , 则  $k = 5.45 \text{ kcal/m}^2/\text{hr/K} = 6.34 \text{ W/m}^2/\text{K}$ 。若玻璃内表面镀上一辐射率为 0.1 的节能膜, 则  $a_{r \text{ in}} = 0.527$ ,  $k$  值降为  $3.69 \text{ W/m}^2/\text{K}$ 。镀膜面朝外时,  $a_{r \text{ in}} = 4.5$ ,  $a_{r \text{ out}} = 0.527$ ,  $k = 5.92 \text{ W/m}^2/\text{K}$ 。

## 3 测试技术

### 3.1 测试原理

设某密闭容器内有质量为  $m$  的空气, 温度升高  $\Delta T$  所获得的热量为  $Cm\Delta T^{[2]}$ , 这里  $C$  是空气的比热。显然, 在无内部热源的情况下, 容器内的空气所获得的热量是通过容器壁从外部传入的。故有

$$C m \Delta T = kA(T_{\text{out}} - T) \Delta t \quad (6)$$

式中  $A$  为容器壁面积,  $T_{\text{out}}$  为容器外温度,  $T$  为容器内温度,  $\Delta t$  为时间。整理上式得

$$\frac{dT}{dt} = \frac{kA}{Cm} [T_{\text{out}} - T(t)] \quad (7)$$

且有边界条件: 当  $t = 0$  时,  $T = T_0$ ;  $t = \infty$  时,  $T = T_{\text{out}}$ 。得解

$$\ln \frac{T_{\text{out}} - T}{T_{\text{out}} - T_0} = - \frac{kA}{Cm} t \quad (8)$$

即  $\ln(T - T_{\text{out}})$  与  $t$  之间是线性关系。

若保持外界温度  $T_{\text{out}}$  不变, 测出一系列  $(T, t)$ , 得到一组  $[\ln(T - T_{\text{out}}), t]$ , 就可用最小二乘法得到  $-kA/Cm$ 。则热传导系数为

$$k = \frac{\ln \left[ \frac{T_{\text{out}} - T_1}{T_{\text{out}} - T_0} \right]}{\ln \left[ \frac{T_{\text{out}} - T_2}{T_{\text{out}} - T_0} \right]} k_0 \quad (9)$$

式中分母项和分子项可分别从透明无色玻璃和镀膜玻璃制成的容器测得, 对 5 mm 厚的透明

浮法玻璃,  $k$  为  $6.34 \text{ W/m}^2/\text{K}$ 。由此可获得待测玻璃的  $k$  值。

### 3.2 测试装置及测试结果

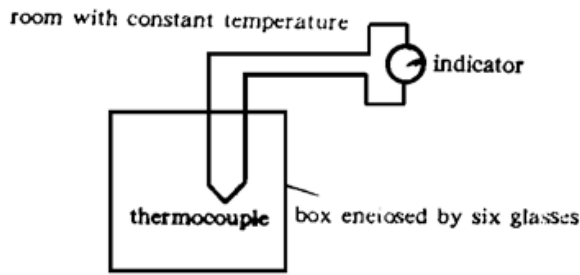


Fig. 1 The set up for  $k$ -value measurement

测试过程需要稳定  $T_{\text{out}}$ , 故容器要放在恒温室中。装置如图 1 所示。

当透射率约为 14% 的兰宝石镀膜玻璃的镀膜面朝外时, 测得的数据列于表 1, 故有  $kA/cm = 0.0342$ ; 而白玻璃的测试结果列于表 2, 对应的  $k_0A/cm = 0.0407$ 。即有透过率 14% 的镀膜玻璃的  $k = 5.29 \text{ W/m}^2/\text{K}$ 。同样方法测得膜面朝内时  $k = 5.39 \text{ W/m}^2/\text{K}$ 。

Table 1. Measured data of coated glass

time $t$ (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
temperature $T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	18.3	18.7	19.0	19.35	19.7	20.1	20.45	20.8	21.2	21.6	21.9	22.25
$T_{\text{out}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	30.0	30.3	30.5	30.5	30.5	30.5	30.6	30.7	30.8	30.8	30.9	30.9
$-\ln \frac{T_{\text{out}} - T}{T_{\text{out}} - T_0}$	0	0.0339	0.0591	0.090	0.1219	0.1596	0.1921	0.2252	0.2610	0.3065	0.3365	0.3761
$\Delta(-\ln \frac{T_{\text{out}} - T}{T_{\text{out}} - T_0})$		0.0339	0.0252	0.0309	0.0319	0.0337	0.0325	0.0331	0.0388	0.0425	0.030	0.0396

Table 2. Measured data of the glass without coating

time $t$ (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
temperature $T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	15.7	16.1	16.5	16.9	17.35	17.8	18.25	18.7	19.1	19.5	20.0	20.4
$T_{\text{out}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	28.0	28.4	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.6	28.8	29.0	29.0
$-\ln \frac{T_{\text{out}} - T}{T_{\text{out}} - T_0}$	0	0.0320	0.0645	0.0984	0.1380	0.1792	0.2222	0.2671	0.3059	0.3426	0.3905	0.4360
$\Delta(-\ln \frac{T_{\text{out}} - T}{T_{\text{out}} - T_0})$		0.0320	0.0325	0.0339	0.0396	0.0412	0.0430	0.0449	0.0388	0.0367	0.0479	0.0455

### 3.3 误差因素

容器外的温度在测量过程中要严格控制恒值, 否则会严重地影响测量结果。本实验的测量是在室内进行的, 风速可视为零。这与实际使用条件显然有差别。容器要求密封性好。此外, 在测量时把透明无色的厚片玻璃的热传递系数作为标准值, 这个“标准”值的误差自然也导致一定的误差。

**结 论** 本文提出的节能镀膜玻璃热传递系数 ( $k$  值) 的计算和测试方法是可行的, 可以用于检验镀膜玻璃的性能指标。

### 参 考 文 献

- [1] [日]山田雅士著, 景贵琴译, 建筑绝热, 中国建筑工业出版社, 1987,
- [2] R. Atkinson, Development of a wavelength scanning laser calorimeter. *Appl. Opt.*, 1985, **24**(4): 464~471

## Heat Transfer Coefficient of Architectural Window with Energy Efficient Coating

Gu Peifu    Li Xiu    Huang Shengjun    Tang Jinfa

(*State Key Laboratory of Modern Optical Instruments, Zhejiang University, Hangzhou 310027*)

(Received 12 April 1995; revised 8 November 1995)

**Abstract** The heat transfer coefficient of architectural window with energy efficient coatings is an important parameter which reflects the performance of energy efficient coatings. In this paper, a method is put forward for calculating and measuring the heat transfer coefficient of architectural windows. Some of measured results are presented. It is found that optical coatings can greatly improve the energy efficiency of windows.

**Key words** architecture window coatings, heat transfer coefficient.