

# 紫外可见近红外分光光度计、积分球附件以及日射透射率测定软件评价遮阳装置对室内热舒适性的影响

No.UV-011

**摘要：** 本文以实际测定为例，介绍了岛津UV-3600、积分球附件和日射透射率测定软件测定建筑遮阳装置的反射率和透射率，并根据正在制定的中华人民共和国建筑工业行业标准计算建筑遮阳装置的遮阳系数，以评价该遮阳装置对室内热舒适性的影响。

**关键词：** 紫外可见近红外分光光度计 积分球 日射透射率测定软件 遮阳系数 热舒适性

环保和节能是各个国家面临的重要课题，不仅是一个国家能否发展的重要因素，也是人类身体健康的重要保障。

现代建筑物，为了最大限度的利用太阳光来改善室内环境，往往会使用大面积的窗户甚至是玻璃幕墙。美国研究人员分别对通过墙体与玻璃进入室内的太阳辐射量进行对比结果显示，通过玻璃进入室内的太阳辐射量是墙体的30倍以上。而如果采取一定的遮阳措施，热量通过将明显减少，可见适当的遮阳设计对减少太阳辐射是十分有效的。同时遮阳板可以避免阳光直射，产生眩光和房间局部过热，改善室内光环境质量。

针对目前一些建筑物建筑能耗居高，推广应用新的节能技术，建筑隔热保温是重要的内容，它代表着建筑节能技术的发展方向，而遮阳技术就是建筑隔热保温通风技术的代表。

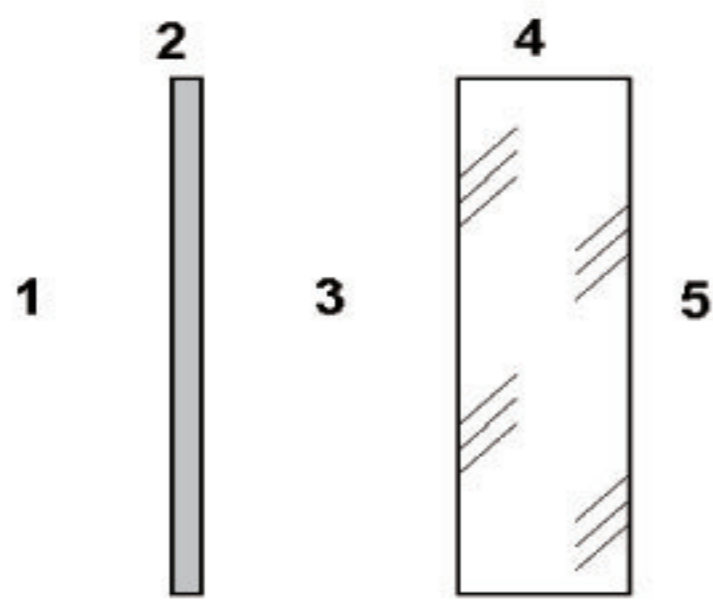
目前，针对此有JGJ/T 151《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》、JGJ26-95《民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）》、GB/T 2680-94《建筑玻璃 可见光透射比、太阳光直接透射比、太阳能总透射比、紫外线透射比以及有关窗玻璃参数的测定》已经执行，还有正在编制的中华人民共和国建筑行业工业标准《建筑遮阳对室内环境热舒适与视觉舒适性能的影响及其检测方法》。

## ■ 检测方法

根据中华人民共和国建筑行业工业标准《建筑遮阳对室内环境热舒适与视觉舒适性能的影响及其检测方法》，遮阳系数定义为：玻璃窗和遮阳装置组合体的太阳能总透射比 $g_{tot}$ 与相同条件下相同面积玻璃窗的太阳能总透射比 $g$ 的比值。

遮阳装置及玻璃窗结合体的太阳能总透射比 $g_{tot}$ 的计算公式是基于以下三种简单的物理模型。并结合GB/T 2680-94《建筑玻璃 可见光透射比、太阳光直接透射比、太阳能总透射比、紫外线透射比以及有关窗玻璃参数的测定》的常数和公式进行计算。

## 1、外部遮阳措施模型



1室外 2遮阳装置 3空气层 4玻璃窗 5室内  
图1 外部遮阳装置的典型状态

遮阳装置及玻璃窗结合体的太阳能总透射比 $g_{tot}$ 计算公式如下:

$$g_{tot} = \tau_{e,dir-h,B}g + \alpha_{e,dir-h,B} \frac{G}{G_2} + \tau_{e,dir-h,B}(1-g) \frac{G}{G_1}$$

式中:

$g_{tot}$ —遮阳装置及玻璃窗结合体的太阳能总透射比;

$\tau_{e,dir-h,B}$ —遮阳装置的太阳光透射比;

$g$ —玻璃窗太阳能总透射比;

$$\alpha_{e,dir-h,B} = 1 - \tau_{e,dir-h,B} - \rho_{e,dir-h,B}$$

$\rho_{e,dir-h,B}$ —遮阳装置太阳光直接照射面的太阳光反射比;

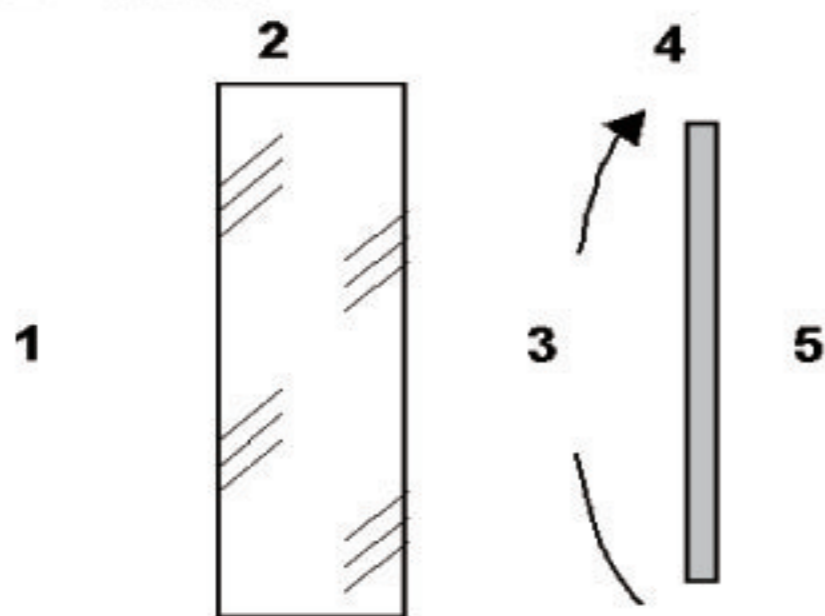
$G_1$ —遮阳帘的传热系数  $W/(m^2 \cdot K)$ , 可取  $6 W/(m^2 \cdot K)$ ;

$G_2$ —遮阳帘与玻璃窗之间空气间层的传热系数  $W/(m^2 \cdot K)$ , 可取  $18 W/(m^2 \cdot K)$ ;

$$G = \left( \frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

$U_g$  玻璃窗的传热系数。

## 2、内部遮阳措施模型



1室外 2玻璃窗 3空气层, 与室内连通  
4 遮阳装置 5室内  
图2 内部遮阳装置的典型状态

遮阳装置及玻璃窗结合体的太阳能总透射比 $g_{tot}$ 计算公式如下:

$$g_{tot} = g \left( 1 - g \rho_{e,dir-h,B} - \alpha_{e,dir-h,B} \frac{G}{G_2} \right)$$

式中:

$g_{tot}$ —遮阳装置及玻璃窗结合体的太阳能总透射比;

$g$ —玻璃窗太阳能总透射比;

$\rho_{e,dir-h,B}$ —遮阳装置太阳光直接照射面的太阳光反射比;

$$\alpha_{e,dir-h,B} = 1 - \tau_{e,dir-h,B} - \rho_{e,dir-h,B}$$

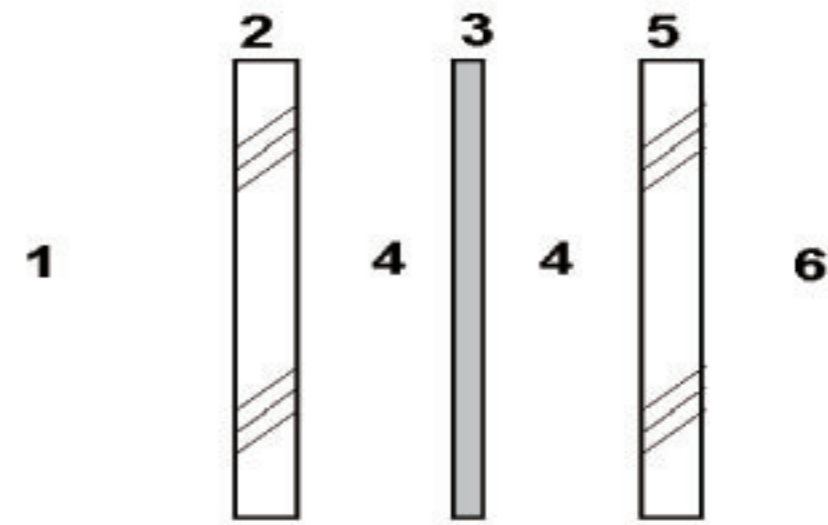
$\tau_{e,dir-h,B}$ —遮阳装置的太阳光透射比;

$G_2$ —遮阳帘与玻璃窗之间空气间层的传热系数  $W/(m^2 \cdot K)$ , 可取  $18 W/(m^2 \cdot K)$ ;

$$G = \left( \frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

$U_g$  玻璃窗的传热系数。

## 3、内置遮阳装置模型



1室外 2非镀膜单层玻璃 3内置遮阳装置  
4空气层 5镀膜或非镀膜单层玻璃 6室内  
图3 内置遮阳装置的典型状态

遮阳装置及玻璃窗结合体的太阳能总透射比 $g_{tot}$ 计算公式如下:

$$g_{tot} = \tau_{e,dir-h,B}g + g(\alpha_{e,dir-h,B} + \rho_{e,dir-h,B}(1-g)) \frac{G}{G_3}$$

$g_{tot}$ —遮阳装置及玻璃窗的太阳能总透射比;

$g$ —玻璃窗太阳能总透射比;

$\rho_{e,dir-h,B}$ —遮阳装置太阳光直接照射面的太阳光反射比;

$\tau_{e,dir-h,B}$ —遮阳装置的太阳光透射比;

$$\alpha_{e,dir-h,B} = 1 - \tau_{e,dir-h,B} - \rho_{e,dir-h,B}$$

$G_3$ —封闭间层内遮阳帘的传热系数  $W/(m^2 \cdot K)$ , 可取  $3 W/(m^2 \cdot K)$ ;

$$G = \left( \frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_3} \right)^{-1}$$

$U_g$  玻璃窗的传热系数。

外部遮阳模型和内部遮阳模型是单层窗结构, 内置遮阳装置模型是双层窗构件结构, 后面分别进行其测量计算过程。

## ■ 仪器测量条件

仪器装置：Shimadzu UV-3600；  
UVProbe软件；  
日射透射率测定软件

附件：积分球附件

谱带宽度：20nm

测定方式：反射（ $8^\circ$ ）；透过（ $0^\circ$ ）

波长范围：300nm~2500nm

## ■ 测定应用实例

岛津紫外可见分光光度计和积分球附件测定样品反射率和透射率。

### 1、透过率测定

使用积分球分别测定玻璃和遮阳装置的透过率，空气做参比，测试谱图如下所示：

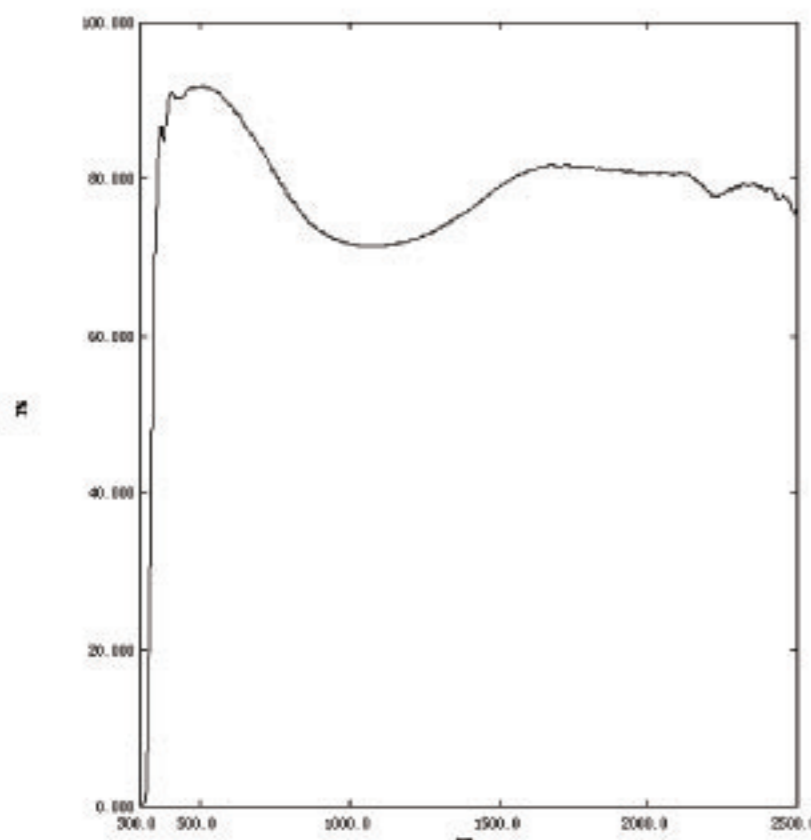


图4 某玻璃1透射光谱图

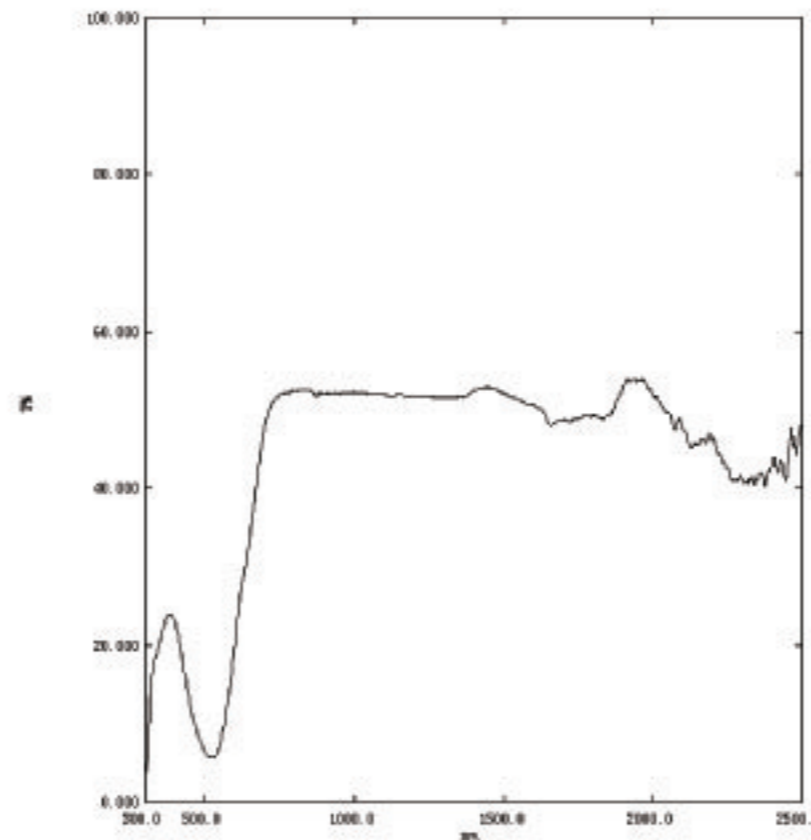


图5 某玻璃2透射光谱图

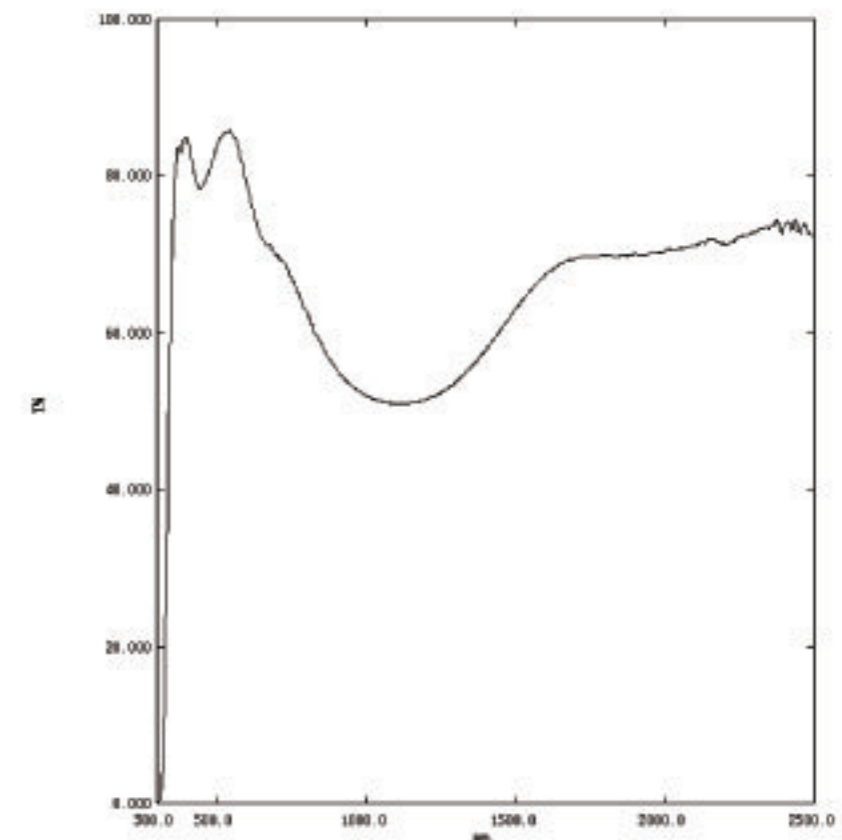


图6 某遮阳布透射光谱图

### 2、反射率测定

使用入射角为 $8^\circ$ 的积分球附件，BaSO<sub>4</sub>白板做参比，分别测定玻璃和遮阳布的反射率，测试谱图如下所示：

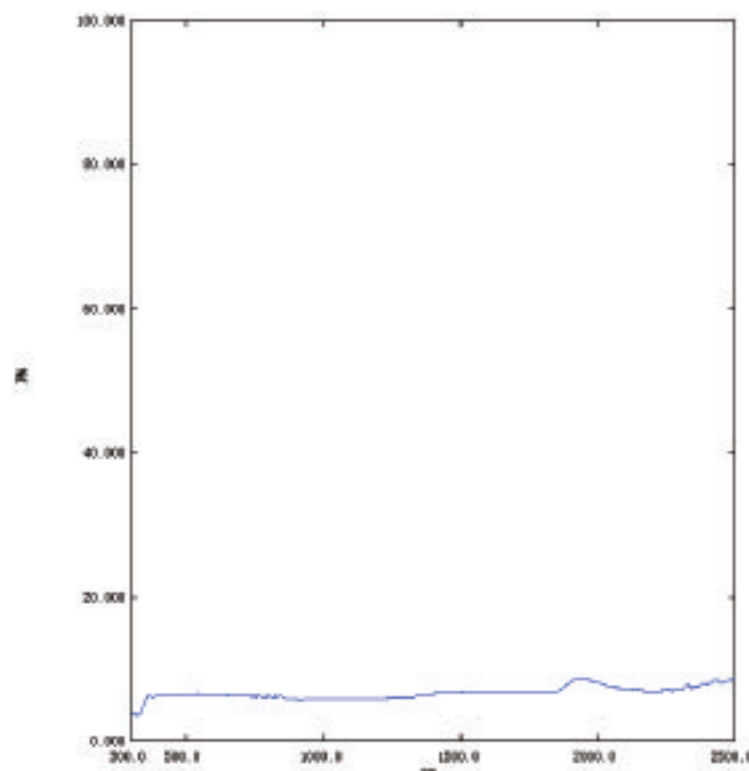


图7 某玻璃1反射光谱图（外侧）

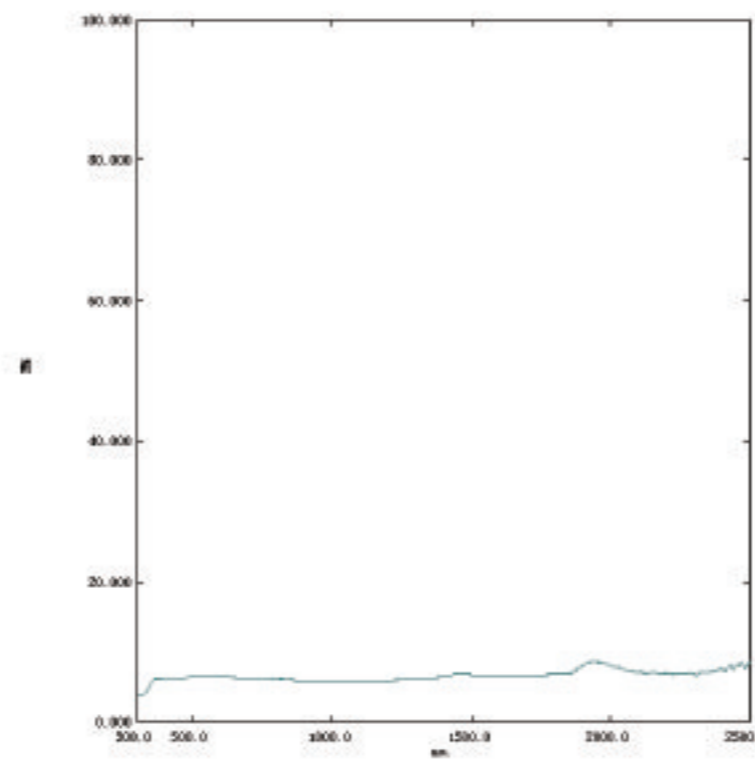


图8 某玻璃1反射光谱图（内侧）

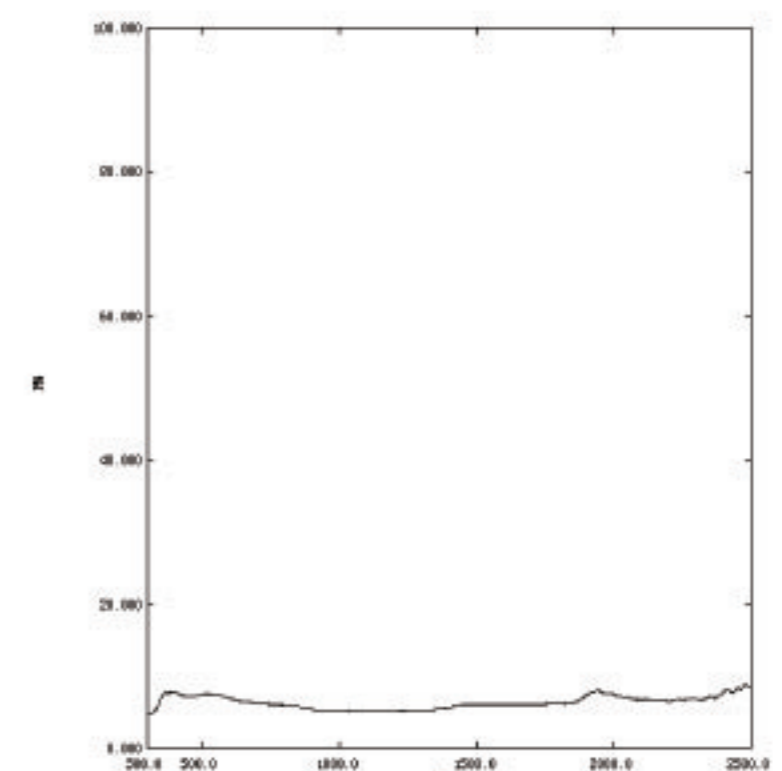


图9 某玻璃2反射光谱图（外侧）

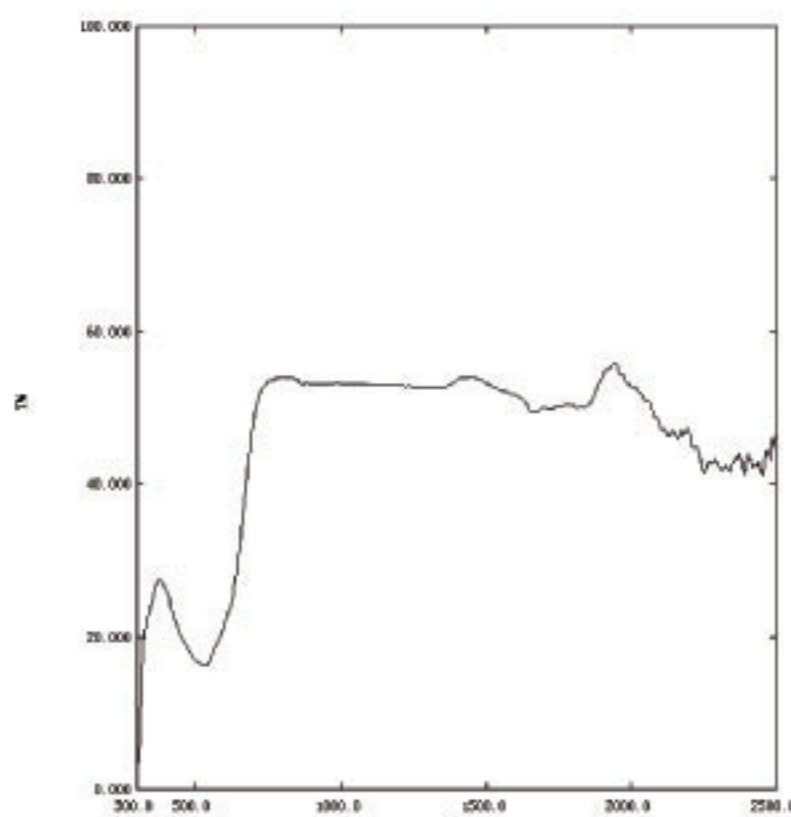


图10 某遮阳布反射光谱图

注：对于第一，二个模型，玻璃窗都是指玻璃1；  
对于第三种模型，玻璃1指的是第一层玻璃，  
玻璃2指的是第二层玻璃；  
外侧指的是光由室外侧射入室内侧；  
内侧指的是光由室内侧射入室外侧；

### 3、遮阳装置漫透射测定

测试方法同透射测定，只是测试时，积分球样品处对面的BaSO<sub>4</sub>白板拿掉，使直线透射光不采集，空气做参比，测试谱图如下所示：

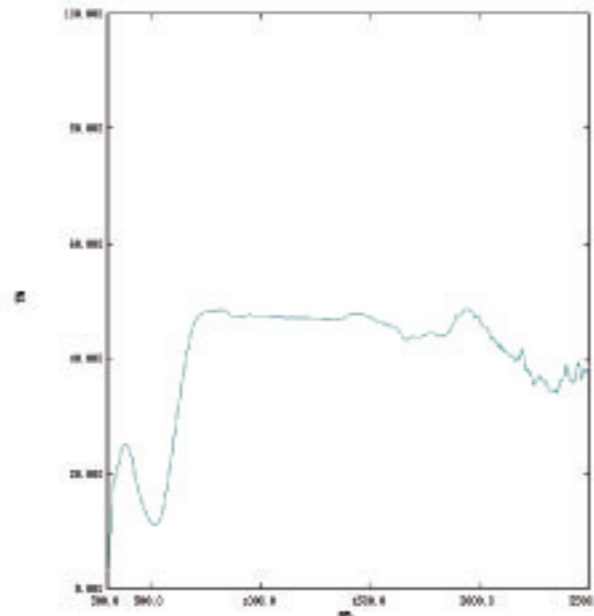


图11 某遮阳布漫透射光谱图

## ■ 计算过程

### 1、玻璃窗

根据GB/T 2680-94《建筑玻璃 可见光透射比、太阳光直接透射比、太阳能总透射比、紫外线透射比以及相关窗玻璃参数的测定》

$$g = \tau_e + q_{i, \text{tot}}$$

$g$  - 太阳能总透射比

$\tau_e$  - 试样的太阳光直接透射比，%

$q_{i, \text{tot}}$  - 试样向室内侧的二次传热系数，%

#### 1.1 单层窗：

$$q_{i, \text{tot}} = a_i \times \frac{h_i}{h_i + h_e}$$

$a_e$  - 太阳光直接吸收比

$h_i$  - 试样构件内侧表面的热传递系数，W/m<sup>2</sup>.K

$h_e$  - 试样构件外侧表面的热传递系数，

$h_e = 23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$\tau_e$  - 太阳光直接透射比，软件直接给出，

$\tau_e = 0.8156$

$\rho_e$  - 太阳光直接反射比，软件直接给出，

$\rho_e = 0.0625$

$a_e + \tau_e + \rho_e = 1$

计算得到  $a_e = 0.1219$

$$h_i = 3.6 + \frac{4.4 \epsilon_i}{0.83}$$

$\epsilon_i$  - 半球辐射，参照GB/T 2680-94中表4，由日射透射测定软件可知，可见光透射比 > 15% 时，所以  $\epsilon_i$  取 0.83

计算得  $h_i = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$q_{i, \text{tot}} = 0.0315$

计算得该玻璃的太阳能总透射比  $g$  为：0.8471

#### 1.2 双层窗：

$$q_{i, \text{tot}} = \frac{\frac{a_{e1} + a_{e2}}{h_e} + \frac{a_{e2}}{G}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{G}}$$

$G$  - 双层窗两片玻璃之间的热导，W/m<sup>2</sup>.K；

$h_i, h_e$  - 同单层窗，

可知  $h_i = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$h_e = 23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$$a_{e_{1(2)}} = \frac{\int_{300}^{2500} S_1 \cdot a_{1'2(12')}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{300}^{2500} S_1 \cdot d\lambda} \approx \frac{\sum_{350}^{1800} S_1 a_{1'2(12')}(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{350}^{1800} S_1 \cdot \Delta\lambda} \quad (1)$$

$$\alpha_{1'2}(\lambda) = a_1(\lambda) + \frac{a_1'(\lambda) \tau_1(\lambda) r_2(\lambda)}{1 - r_1'(\lambda) r_2(\lambda)} \quad (2)$$

$$\alpha_1(\lambda) = 1 - \tau_1(\lambda) - \rho_1(\lambda) \quad (3)$$

$$\alpha_1'(\lambda) = 1 - \tau_1(\lambda) - \rho_1'(\lambda) \quad (4)$$

$$\alpha_{12}(\lambda) = \frac{a_2(\lambda) \cdot \tau_1(\lambda)}{1 - r_1'(\lambda) \cdot r_2(\lambda)} \quad (5)$$

$$\alpha_2(\lambda) = 1 - \tau_2(\lambda) - \rho_2(\lambda) \quad (6)$$

其中,  $\alpha_{e1(2)}$ —双层窗玻璃构件第一或第二片玻璃的太阳光直接吸收比, %;

$\alpha_{1'2}(\lambda)$ —双层窗玻璃构件第一片玻璃的太阳光光谱吸收比, %

$\alpha_{12'}(\lambda)$ —双层窗玻璃构件第二片玻璃的太阳光光谱吸收比, %

$\alpha_1(\lambda)$ —第一片玻璃, 在光由室外侧射入室内侧条件下, 测定的太阳光光谱吸收比, %

$\alpha_{1i}(\lambda)$ —第一片玻璃, 在光由室内侧射入室外侧条件下, 测定的太阳光光谱吸收比, %

$\alpha_2(\lambda)$ —第二片玻璃, 在光由室外侧射入室内侧条件下, 测定的太阳光光谱吸收比, %

$t_1(\lambda)$ —第一片玻璃的太阳光光谱透射比, %

$\rho_1(\lambda)$ —第一片玻璃, 在光由室外侧射入室内侧条件下, 测定的太阳光谱的反射比, %

$t_2(\lambda)$ —第二片玻璃的太阳光光谱透射比, %

$\rho_1'(\lambda)$ —第一片玻璃, 在光由室内侧射入室外侧条件下, 测定的太阳光谱的反射比, %

$\rho_2(\lambda)$ —第二片玻璃, 在光由室外侧射入室内侧条件下, 测定的太阳光谱的反射比, %

$S_\lambda$ —太阳光辐射相对光谱分布, 见GB/T2680表2或者表3

$\Delta\lambda$ —波长间隔, nm

通过光谱图4, 5可以得到  $t_1(\lambda)$   $t_2(\lambda)$  数据, 通过光谱图7, 8, 9可以得到  $\rho_1(\lambda)$ ,  $\rho_2(\lambda)$ ,

$\rho_1'(\lambda)$  数据, 再根据GB/T2680表2和上述方程式(1)(2)(3)(4)计算  $\alpha_{e1}$ , 根据GB/T2680表2和上述方程式(1)(5)(6)计算  $\alpha_{e2}$ ,

得到

$$\alpha_{e1}=0.1943$$

$$\alpha_{e2}=0.1211$$

$$\text{根据公式 } q_{i, \text{tot}} = \frac{\frac{a_{e1} + a_{e2}}{h_e} + \frac{a_{e2}}{G}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{G}}$$

可以计算得到  $q_{i, \text{tot}}=0.1109$

根据GB/T 2680-94方程式(9)

$$t_e = \frac{\int_{300}^{2500} S_l \cdot t(l) \cdot d_l}{\int_{300}^{2500} S_l \cdot d_l}$$

$$\approx \frac{\sum_{350}^{1800} S_l t(l) \cdot \Delta l}{\sum_{350}^{1800} S_l \cdot \Delta l}$$

$$t(l) = \frac{t_1(l) \cdot t_2(l)}{1 - r_1'(l) r_2(l)}$$

$\tau(\lambda)$ —双层窗玻璃构件的太阳光光谱透射, %

$\tau_1(\lambda)$ —第一片玻璃的太阳光光谱透射比, %

$\tau_2(\lambda)$ —第二片玻璃的太阳光光谱透射比, %

$\rho_1'(\lambda)$ —第一片玻璃, 在光由室内侧射入室外侧条件下, 测定的太阳光谱的反射比, %

$\rho_2(\lambda)$ —第二片玻璃, 在光由室外侧射入室内侧条件下, 测定的太阳光谱的反射比, %

可以计算得到双层窗玻璃  $\tau_e=0.5779$

计算得该玻璃的太阳能总透射比g为: 0.6888

## 2、遮阳装置

$\rho_{e,dir-h,B}$ —遮阳装置太阳光直接照射面的太阳光反射比，日射透射率测定软件直接得到

$$\rho_{e,dir-h,B}=0.1903$$

$\tau_{e,dir-h,B}$ —遮阳装置的太阳光透射比，日射透射率测定软件直接得到

$$\tau_{e,dir-h,B}=0.3860$$

$$a_{e,dir-h,B}=1-\tau_{e,dir-h,B}-\rho_{e,dir-h,B}=0.4237$$

### 2.1 第一个模型：外部遮阳装置（单层窗）

$$g_{tot}=\tau_{e,dir-h,B}g+a_{e,dir-h,B}\frac{G}{G_2}+\tau_{e,dir-h,B}(1-g)\frac{G}{G_1}$$

$$\text{其中, } G=\left(\frac{1}{U_g}+\frac{1}{G_1}+\frac{1}{G_2}\right)^{-1}$$

根据资料可查单层钢铝窗户传热系数6.4K(W/m<sup>2</sup>.K)（或者根据GB/T8484测试方法进行测试U<sub>g</sub>），可以得到G=2.642。

最后，计算

$$g_{tot}=\tau_{e,dir-h,B}g+a_{e,dir-h,B}\frac{G}{G_2}+\tau_{e,dir-h,B}(1-g)\frac{G}{G_1}$$

$$=0.3860 \times 0.8471 + 0.4237 \times (2.642 \div 18) + 0.3860 \times (1 - 0.8471) \times (2.642 \div 6) = 0.4152$$

$$Fc=g_{tot}/g=0.4152/0.8471 = 0.4901$$

### 2.2 第二个模型：内部遮阳装置（单层窗）

$$g_{tot}=g(1-g\rho_{e,dir-h,B}-a_{e,dir-h,B}\frac{G}{G_2})$$

$$\text{其中, } G=\left(\frac{1}{U_g}+\frac{1}{G_2}\right)^{-1}$$

根据资料可查单层钢铝窗户传热系数6.4K(W/m<sup>2</sup>.K)（或者根据GB/T8484测试方法进行测试U<sub>g</sub>），可以得到G=4.721

最后，计算

$$g_{tot}=g(1-g\rho_{e,dir-h,B}-a_{e,dir-h,B}\frac{G}{G_2})$$

$$=0.8471(1-0.8471 \times 0.1903 - 0.4237 \times (4.721 \div 18)) = 0.6164$$

$$Fc=g_{tot}/g = 0.6164/0.8471 = 0.7277$$

### 2.3 第三个模型：内置遮阳装置（双层窗）

$$g_{tot}=\tau_{e,dir-h,B}g+g(a_{e,dir-h,B}+\rho_{e,dir-h,B}(1-g))\frac{G}{G_3}$$

$$\text{其中, } G=\left(\frac{1}{U_g}+\frac{1}{G_3}\right)^{-1}$$

根据资料可查单层钢铝窗户传热系数6.4K(W/m<sup>2</sup>.K)（或者根据GB/T8484测试方法进行测试U<sub>g</sub>），可以得到G=2.043

最后，计算

$$g_{tot}=\tau_{e,dir-h,B}g+g(a_{e,dir-h,B}+\rho_{e,dir-h,B}(1-g))\frac{G}{G_3}$$

$$=0.3860 \times 0.6888 + 0.6888 \times (0.4237 + 0.1903(1 - 0.6888)) \times (2.043 \div 3) = 0.4924$$

$$Fc=g_{tot}/g = 0.4924/0.6888 = 0.7149$$

### 2.4 遮阳装置热舒适性评价另外参数为 $\tau_{e,n-n}$

$$t_{e,dir-dir}=t_{e,dir-h}-t_{e,dir-dif}$$

由上面可知日射透射率测定软件直接得到

$$t_{e,dir-h,B}=0.3860$$

$\tau_{e,dir-dif}$ 可以根据图8由日射透射率测定软件得到为0.3478

$$t_{e,dir-dir}=t_{e,dir-h}-t_{e,dir-dif} = 0.3860 - 0.3478 = 0.0382$$

$\tau_{e,n-n}$ 测试方法同  $t_{e,dir-h,B}$ ，即  $\tau_{e,n-n}$ 为0.0382

### 3、评价

根据中华人民共和国建筑工业行业标准，通过太阳能总透射比 $g_{tot}$ ，向内二次传热因子 $q_{i,tot}$ ，法向-法向太阳能透射比 $\tau_{e,n-n}$ ，遮阳系数来评价此遮阳装置的热舒适性。

#### 评价标准

分级	1	2	3	4	5
	影响很小	影响较小	影响中等	影响较大	影响很大
$g_{tot}$	$g_{tot} \geq 0.50$	$0.50 < g_{tot} \leq 0.35$	$0.15 \leq g_{tot} < 0.35$	$0.10 \leq g_{tot} < 0.15$	$g_{tot} < 0.10$
$q_{i,tot}$	$q_{i,tot} \geq 0.30$	$0.20 \leq q_{i,tot} < 0.30$	$0.10 \leq q_{i,tot} < 0.20$	$0.03 \leq q_{i,tot} < 0.10$	$q_{i,tot} < 0.03$
$\tau_{e,n-n}$	$\tau_{e,n-n} \geq 0.20$	$0.15 \leq \tau_{e,n-n} < 0.20$	$0.10 \leq \tau_{e,n-n} < 0.15$	$0.05 \leq \tau_{e,n-n} < 0.10$	$\tau_{e,n-n} < 0.05$
$FC$	$FC \geq 0.50/g$	$0.50/g < FC \leq 0.35/g$	$0.15/g \leq FC < 0.35/g$	$0.10/g \leq FC < 0.15/g$	$FC < 0.10/g$

#### 测试结果

	$g_{tot}$ 影响	$q_{i,tot}$ 影响	$\tau_{e,n-n}$ 影响	FC
第一模型	0.4152 影响较小	0.0315 影响较大	0.0382 影响很大	影响较小
第二模型	0.6164 影响很小	0.0315 影响较大	0.0382 影响很大	影响很小
第三模型	0.4924 影响较小	0.1109 影响中等	0.0382 影响很大	影响较小

### ■ 结论

使用岛津UV-3600和积分球附件可以方便地测定建筑玻璃和遮阳布的紫外-可见-近红外波段的透过及反射光谱，并使用日射透射率测定软件计算其日光和可见光的透射比和反射比，根据国标中公式和常数可以得到玻璃构件对太阳辐射的遮蔽系数，对于评价建筑玻璃的性能有很好的意义。