

文章编号: 0254-0096(2019)03-0748-08

基于模拟光源的遮阳窗口系统太阳得热系数测试研究

陶求华^{1,2}, 李峥嵘², 李莉¹, 郑健雯¹, 陈馨¹

(1. 集美大学机械与能源工程学院, 厦门 361021; 2. 同济大学机械与能源工程学院, 上海 200092)

摘要: 为精确测量各种遮阳窗口系统的太阳得热系数, 搭建一套遮阳窗口系统太阳得热系数测定实验平台。该平台主要由太阳辐射模拟器、环境室、热箱、试件、热计量箱、循环水温度控制及计量系统等组成。实验测试基于稳定传热原理测量2个恒温箱之间建筑围护的净热流值, 平台对温度、流量、太阳辐射强度等热物理参数实时监控, 能实现系统工况参数的自动检测、监控与存储, 从而实现智能控制。接着, 重点分析实验测试所需的3个标定测试以及测试方法。最后对典型试件进行测试, 并与 Windows 7.4 的计算值进行对比, 研究结果表明测试数据与计算数据具有较好的一致性, 测试平台的可靠性较高。

关键词: 太阳得热系数; 热箱; 太阳辐射模拟器; 量热测试; 稳态

中图分类号: TK513.5

文献标识码: A

0 引言

数据显示, 中国建筑能耗的总量逐年上升, 在能源总消费量中所占的比例已从 20 世纪 70 年代末的 10% 逐渐攀升, 2009 年建筑相关能耗为 12 亿 t 标准煤, 占全社会终端能源消费的 41.4%, 成为国民经济中能源消费最大的部门^[1], 而国际上发达国家的建筑能耗一般约占全国总能耗的 33%。建筑物的各种能耗中, 外窗能耗占据了非常重要的地位。据测算, 每年通过门窗流失的能量, 占建筑围护结构能耗的 40%~50%, 约占社会总能耗的 10%。中国夏热冬暖地区和夏热冬冷地区夏季太阳辐射带来的建筑得热量占围护结构得热的比例较高, 使用合适的遮阳设施能有效阻挡太阳辐射侵入, 减小太阳辐射得热进而降低空调制冷能耗。外窗的遮阳性能成为了外围护结构遮阳评价的核心之一。在单层玻璃普遍使用时, 工程界广泛使用遮阳系数 (shading coefficient, SC) 来计算建筑窗口的太阳得热量, 但该系数仅考虑了窗玻璃的性能, 并未将窗框、遮阳等其他组件的太阳辐射得热量考虑在内;

由于不同的遮阳形式、不同的窗框材料对建筑围护得热的影响千差万别, 因此应将遮阳、窗口、窗框当成一个整体系统来考虑其太阳得热情况。为此, 参照美国国家门窗评价委员会的做法, 中国引入太阳得热系数 (solar heat gain coefficient, SHGC) 作为评价窗太阳的热性能的指标。太阳得热系数反映了通过某特定透明围护结构进入室内的太阳辐射得热的大小, 可直接反映出透光围护结构的热工性能。太阳得热系数可以通过理论计算, 如 ISO 15099-2003^[2], 中国参照上述标准编制《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》, 但理论计算较繁琐; 国外研究机构对 SHGC 的检测方法进行一定的探索, 美国劳伦斯伯克利国家实验室研究开发了一套建筑外窗现场实验测试装置^[3], 2009 年, Kotey 等^[4]用国家太阳能测试中心的太阳辐射模拟器和测试平台验证 SHGC 的计算方法, 此外, 还有丹麦技术大学^[5]和德国 ISE^[6,7]也建立了类似的实验平台。中国研究机构对 SHGC 的测试方法和试验台的研究起步较晚, 王一飞等^[8]设计搭建自然光源的太阳得热系数测试台, 自然光源的不稳定性、瞬变性与建筑得热

收稿日期: 2016-11-01

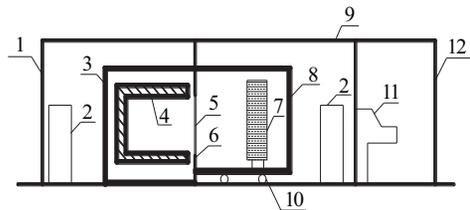
基金项目: 国家自然科学基金(51508225); 福建省自然科学基金(2016J01244); 福建省教育厅资助项目(B16162; B18221)

通信作者: 陶求华(1981—), 男, 博士、副教授, 主要从事建筑节能、建筑热环境方面的研究。taojiangshui@163.com

负荷的时间延迟、峰值衰减等特点明显不吻合。本文在参照国内外先进的规范标准,并吸收国内、外一系列有关太阳得热系数测试技术的基础上,搭建基于模拟光源的遮阳窗口系统太阳得热系数测定实验台。

1 实验台搭建

遮阳窗口系统太阳得热系数的实验测试平台示意图见图1。该测试平台包括太阳辐射模拟器、环境室、热箱、试件框、热计量箱、循环水温度控制及计量系统等。



1. 热计量箱环境室 2. 空调 3. 热计量箱
4. 吸收器 5. 试件 6. 试件框
7. 太阳辐射模拟器 8. 热箱 9. 热箱环境室
10. 电动走车系统 11. 控制系统 12. 控制室

图1 太阳得热系数实验测试平台示意图

Fig. 1 Schematic diagram for test platform of solar heat gain coefficient

1.1 热箱环境室及热箱

热箱环境室尺寸为 $5.5\text{ m} \times 5.0\text{ m} \times 3.5\text{ m}$, 采用 100 mm 厚泡沫彩钢板制作, 室内配置 7.2 kW 环境空调, 以保持热计量箱内外温度大致相同, 见图2。

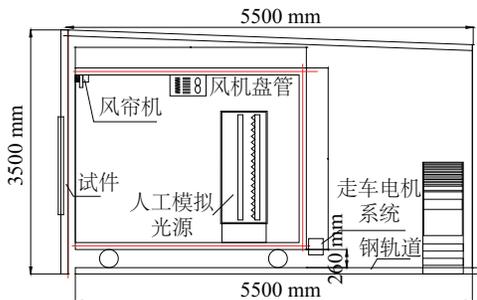


图2 热箱及热箱环境室布置图

Fig. 2 Layout diagram of hot box and its environment room

热箱尺寸为 $3.2\text{ m} \times 2.2\text{ m} \times 2.4\text{ m}$, 采用 100 mm 厚 PU 发泡板制作。热箱底部设置导轨和电动走车系统, 方便试件出入并保持断面严密闭合。

热箱内部设置太阳辐射模拟发生器和风机盘管。太阳辐射模拟器由 6 只 1500 W 的专用短弧氙灯、反射镜、滤光镜等组成, 模拟 $150 \sim 1100\text{ W/m}^2$ 的太阳辐射, 模拟光线以固定的入射角照射试件, 2 台制冷量 7.38 kW 的风机盘管用于带走氙灯发出的热量并维持热箱空气温度的恒定。

1.2 热计量箱环境室及热计量箱

热计量箱环境室尺寸为 $5.0\text{ m} \times 5.0\text{ m} \times 3.5\text{ m}$, 围护结构为 100 mm 厚泡沫彩钢板制作。内部含有热计量箱和 1 台 7.2 kW 的空调, 空调可维持热计量箱周围的温度与热计量箱内温度之差小于 $1\text{ }^\circ\text{C}$ 。热计量箱尺寸为 $3.2\text{ m} \times 2.6\text{ m} \times 2.6\text{ m}$, 围护结构为 200 mm 厚 PU 发泡板制作, 底部悬空 260 mm , 见图3。

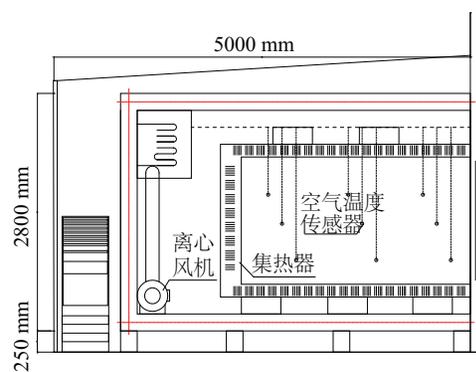


图3 热计量箱环境及计量箱布置图

Fig. 3 Layout of heat metering box and its environment room

热计量箱为一个可控的、模拟建筑物内部的热环境空间, 内含集热器、冷水盘管、离心风机、温度传感器等。在收集透过围护结构的太阳辐射得热量的同时, 通过换热装置和冷却循环系统控制热计量箱内的空气温度, 保持箱内的环境要求。热计量箱内部悬空装有集热器, 集热器尺寸为 $3.0\text{ m} \times 1.8\text{ m} \times 1.8\text{ m}$ (底部架空 200 mm), 集热器为发黑氧化铝制作, 表面太阳辐射吸收系数高于 0.95 。热计量箱内设置 9 只 T 型热电偶, 以测定该空间的平均空气温度。

1.3 循环水温度控制及计量系统

循环水温度控制及计量系统由风机盘管、水循环系统、制冷系统、温度计和流量计等组成, 循环水温度控制及计量系统整体设计见图4。热计量箱内吊装一台 12.3 kW 的风机盘管机组, 用于完成箱内

空气与循环水的热交换,辅助达到热计量的目的,送风经由孔板送风口低速均匀吹送至集热器的吸收腔。

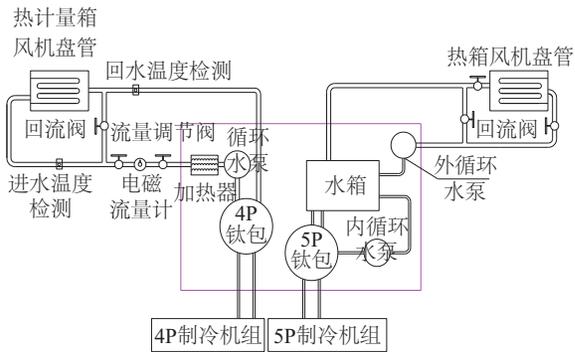


图4 循环水温度控制及计量系统图

Fig. 4 Schematic diagram of circulating water temperature control and measurement system

采用电磁流量计测量水循环系统的流量,量程为 $0\sim 4\text{ m}^3/\text{h}$,精度为 1.0 级。并在流量计的上游装过滤器,防止异物损坏流量计。热计量箱的进出水温采用铂电阻温度传感器进行测量。循环管路中设有一条带有风机盘管的旁通管路,加装阀门,用于调节系统的循环水量及散热量。循环水在板式换热器中与制冷剂完成换热,放出携带的热量。控制参数选择热计量箱的进水温度,智能调节仪根据输入的水温信号来控制晶闸管调整器的输出电压,从而控制电热水器的加热量,最终达到控制水温的目的。热计量箱进水温度控制原理图见图 5,图 5 中 P 为压力表,t 为温度计。图 6 为实验过程中加热器的加热量控制在主控柜上的体现。

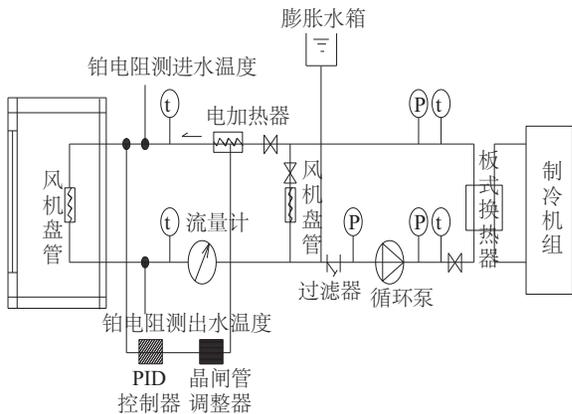


图5 热计量箱进水温度控制原理图

Fig. 5 Principle diagram of water temperature controlling for heat metering box



图6 测试过程中的主控柜

Fig. 6 Control cabinet in testing

1.4 数据的采集和处理

本实验台主要采集温度、水流量和辐射照度等数据。需采集的温度数据主要有:热计量箱进出水口的循环水温度、热计量箱内部空气平均温度、计量箱两侧壁面温度、热箱内部空气均温度、试件框两侧温度;利用流量计来采集热计量箱的循环水流量数据;采用辐射表采集试件接收的平均辐射强度数据。实验基于稳定传热原理,要求有效数据应该在一定的稳定状态下。本实验对稳定状态的界定为:热箱、热计量箱内温度波动不超过 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$;辐射照度波动不超过 1%;热计量箱热平衡误差不超过循环水系统带走热量的 5%;若系统根据记录的数据判断实验已稳定后,数据采集软件每 10 分钟自动采集一次原始数据,并根据记录的各测点的原始数据计算均值后保存。得到 12 组稳定实验数据后测试结束,采用后 6 次数据的平均值进行计算。

2 系统标定

测试系统需进行 3 项标定:太阳辐射模拟器标定,热计量箱风机盘管风机发热量标定,热计量箱外壁热流系数 M_1 和试件框热流系数 M_2 标定。

2.1 太阳辐射模拟器辐射量及均匀性标定

太阳辐射模拟器辐射量采用总辐射表标定,试件安装平面的中心点作为标定位置进行辐照量的测试,通过自动调整光源与试件的距离以及光源的功率实现。光源辐射照度均匀度标定采用将辐照计在试件安装平面内移动到相应位置进行测试的方法,具体可参考文献[9]。本试验台标定原始数据见表 1。光源辐射照度均匀度大于 99.6%,能满足实验精度要求。

表1 太阳辐射模拟器辐射量标定测试结果

Table 1 Calibration test results for radiation value of solar simulator

测试序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
辐射强度/W·m ⁻²	653.3	652.2	650.2	649.5	648.9	651.0	650.4	651.5	650.7

2.2 热计量箱风机盘管风机发热量标定

热计量箱风机盘管装配2台额定功率为370 W的离心风机,运行过程中存在一定的无功损失并产生热量,在实验数据整理时必须把风机发热量纳入考虑。

可通过冷热箱标定来获取风机发热功率。标定方法如下:开启制冷系统并维持热箱温度为25℃,热计量箱温度为25℃,热计量箱外环境温度为25℃,太阳辐射强度设置为0。实验测试得到12组稳定实验数据,见表2,采用后6次数据的平均值进行计算。

表2 风机盘管风机发热量标定测试结果

Table 2 Calibration test results for fan calorific value of fan coil

参数	t _f /℃	t _{jlw} /℃	t _{jlw} /℃	t _f /℃	t _{kn} /℃	t _{kw} /℃	t _f /℃	t _f /℃	G/m ³ ·h ⁻¹
1	25.12	24.85	24.38	25.21	24.92	24.45	24.51	25.03	0.400
2	25.20	24.8	24.26	25.15	24.90	24.44	24.65	25.16	0.399
3	25.15	24.95	24.37	25.11	25.00	24.46	24.61	25.11	0.399
4	25.16	24.92	24.50	25.10	25.04	24.46	24.43	25.01	0.400
5	25.18	24.93	24.79	25.08	25.06	24.4	24.66	25.12	0.400
6	25.20	24.96	24.80	25.05	25.00	24.49	24.67	25.21	0.400
7	25.20	25.05	24.62	25.07	25.04	24.50	24.75	25.22	0.401
8	25.15	24.95	24.64	25.05	25.06	24.52	24.30	24.86	0.400
9	24.95	24.92	24.65	25.08	24.98	24.47	24.61	25.08	0.400
10	25.10	24.85	24.88	25.06	24.85	24.48	24.65	25.20	0.400
11	25.13	24.86	24.73	25.06	24.89	24.51	24.49	25.09	0.400
12	25.10	24.76	24.62	25.06	24.89	24.42	24.54	25.10	0.401
均值	25.10	24.90	24.69	25.063	24.95	24.48	24.56	25.09	0.400

根据式(1)可计算得到风机发热量。

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{fan}} &= Q_w + Q_{\text{jl}} + Q_{\text{glass}} + Q_{\text{frame}} \\
 &= G \cdot C \cdot \rho \cdot (t_c - t_j) + \frac{\lambda_{\text{jl}}}{d_{\text{jl}}} \cdot A_{\text{jl}} \cdot (t_{\text{jlw}} - t_{\text{jlw}}) + \\
 &\quad k_{\text{glass}} \cdot A_{\text{glass}} \cdot (t_{\text{jl}} - t_{\text{rx}}) + \frac{\lambda_{\text{sjk}}}{d_{\text{sjk}}} \cdot A_{\text{sjk}} \cdot (t_{\text{kn}} - t_{\text{kw}})
 \end{aligned} \quad (1)$$

式中,试件框结构: λ_{jl} ——导热系数,0.022 W/m·K; d ——厚度,0.1 m; A ——3.315 m²。计量箱围护结构: λ_{jl} ——导热系数,0.022 W/(m·K); d ——厚度,0.2 m; A ——52.640 m²; k_{glass} ——玻璃传热系数,2.8 W/(m²·K); A ——2.250 m²。

根据热平衡方程式可计算得到:

$$Q_{\text{fan}} = 235.80 + 1.16 + 0.19 + 0.35 = 237.5 \text{ W}$$

2.3 热计量箱外壁热流系数M₁和试件框热流系数M₂标定

标定实验在相同的实验条件下进行,标准试件分别采用5 mm单层普通透明玻璃和遮阳系数约为0.5的中空玻璃,窗框采用宽度55 mm铝合金制作;玻璃的遮阳系数应依据文献[10]进行测定,玻璃的光学和热学参数见表3;整窗标准试件的遮阳系数依据文献[11]进行计算,分别为0.85、0.49。

表3 玻璃的光学参数和热学参数

Table 3 Optical and thermal parameters of the glass

参数	透明玻璃	中空玻璃
规格	5 mm 透明玻璃	6 mm 镀膜 + 12 mm 空气 + 6 mm 透明
可见光透射率/%	77	53
太阳能总透射比/%	82	39
中部传热系数/W·m ⁻² ·K ⁻¹	5.7	3.1

在不同的环境温度下分别进行 2 次实验,具体

表5 标定热流系数所需的单层及双层玻璃测试原始数据

Table 5 Calibration environment setting for heat transfer coefficient M_1 and M_2

参数	1		2		3		4		5		6		均值	
	单层	双层	单层	双层	单层	双层	单层	双层	单层	双层	单层	双层	单层	双层
$t_i/^\circ\text{C}$	25.12	25.11	25.08	25.07	25.06	25.02	25.02	25.00	25.03	24.98	25.05	24.96	25.06	25.02
$t_{jw}/^\circ\text{C}$	22.50	22.45	22.63	22.53	22.63	22.53	22.70	22.22	22.62	22.23	22.7	22.21	22.63	23.36
$t_{jw'}/^\circ\text{C}$	30.46	16.86	30.47	16.77	30.48	16.88	30.46	16.86	30.49	16.81	30.45	16.85	30.47	16.80
$t_r/^\circ\text{C}$	29.94	29.94	29.96	29.96	29.93	29.93	29.97	29.97	30.13	30.13	30.11	30.11	30.00	30.00
$t_{kn}/^\circ\text{C}$	22.94	24.24	23.01	24.31	23.04	24.24	23.05	24.25	23.03	24.28	23.09	24.29	23.02	24.26
$t_{kw}/^\circ\text{C}$	39.70	37.40	39.84	37.54	39.79	37.49	39.79	37.49	39.90	37.60	39.91	37.61	39.80	37.52
$t_j/^\circ\text{C}$	15.55	20.31	15.59	20.35	16.02	20.78	15.96	20.72	15.76	20.52	15.77	20.53	15.77	20.50
$t_c/^\circ\text{C}$	18.70	22.30	18.72	22.34	18.74	22.31	18.71	22.24	18.74	22.27	18.74	22.27	18.72	22.29
$G/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0.409	0.409	0.399	0.399	0.397	0.397	0.397	0.397	0.402	0.402	0.395	0.395	0.400	0.400
$I/\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	649.98	649.98	650.49	650.79	650.45	650.75	650.39	650.85	650.5	650.86	650.5	650.75	650.38	650.66

将各测量参数的平均值代入式(2)、式(3)联立求解,计算得出热流系数: $M_1=5.62 \text{ W/K}$; $M_2=0.51 \text{ W/K}$ 。

$$0.87 \cdot SC' \cdot I' \cdot A = G' \cdot C' \cdot \rho' \cdot (t_c' - t_j') + (t_{jw}' - t_{jw'}) \cdot M_1 + (t_{kn}' - t_{kw}') \cdot M_2 - Q_{fan} \quad (2)$$

$$0.87 \cdot SC'' \cdot I'' \cdot A = G'' \cdot C'' \cdot \rho'' \cdot (t_c'' - t_j'') + (t_{jw}'' - t_{jw''}) \cdot M_1 + (t_{kn}'' - t_{kw}'') \cdot M_2 - Q_{fan} \quad (3)$$

式中, SC' 、 SC'' ——2次标定实验的试件的遮阳系数; I' 、 I'' ——2次标定实验试件表面入射的人工模拟太阳光源的辐射热量, W/m^2 ; A ——标定试验试件的有效面积, m^2 ; G' 、 G'' ——2次标定实验的循环水流量, m^3/s ; C' 、 C'' ——2次标定实验的循环水比热, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; ρ' 、 ρ'' ——2次标定实验的循环水密度, kg/m^3 ; t_c' 、 t_c'' ——2次标定实验的热计量循环水进口温度, K ; t_j' 、 t_j'' ——2次标定实验的热计量循环水出口温度, K ; t_{jw}' 、 $t_{jw''}$ ——2次标定实验的热计量箱外壁内表面温度, K ; $t_{jw''}$ 、 $t_{jw''}$ ——2次标定实验的热计量箱外壁外表面温度, K ; t_{kn}' 、 t_{kn}'' ——2次标定实验的试件框内表面温度, K ; t_{kw}' 、 t_{kw}'' ——2次标定实验的试件框外表面温度, K ; M_1 ——热计量箱热流系数, W/K ; M_2 ——试件框热流系数, W/K ; Q_{fan} ——风机盘管风机散热功率, W 。

环境设定见表4。

表4 热流系数 M_1 和 M_2 标定环境设定Table 4 Calibration environment setting for heat transfer coefficient M_1 and M_2

试件品种	$t_i/^\circ\text{C}$	$t_j/^\circ\text{C}$	$t_r/^\circ\text{C}$	$I/\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
单层玻璃	30	25	30	650
中空玻璃	30	25	16	650

每次实验稳定后记录相关测试数据,采用后6次数据的平均值进行计算,2种玻璃的测试原始数据见表5。

次标定实验的热计量箱外壁内表面温度, K ; t_{jw}' 、 $t_{jw''}$ ——2次标定实验的热计量箱外壁外表面温度, K ; t_{kn}' 、 t_{kn}'' ——2次标定实验的试件框内表面温度, K ; t_{kw}' 、 t_{kw}'' ——2次标定实验的试件框外表面温度, K ; M_1 ——热计量箱热流系数, W/K ; M_2 ——试件框热流系数, W/K ; Q_{fan} ——风机盘管风机散热功率, W 。

3 实验测试

标定结束后,可进行各种遮阳窗口太阳得热系数的测定。在试件框上安装试件,将玻璃试件与箱体洞口间隙用聚苯乙烯泡沫塑料条填塞,并密封;电动走车使得热箱和热计量箱严密闭合;设定热箱内空气平均温度 30°C ,温度波动振幅不大于 0.3°C ;设定热计量箱内温度为 25°C ,温度波动振幅不大于 0.3°C ;设定人工模拟光源辐射强度控制为

500~700 W/m²;启动环境空间和热计量箱设备及控制系统;启动人工模拟光源和热箱空调设备;启动风机、制冷系统进行实验测试,测试过程中的仪器琴台见图7。



图7 测试过程中的仪表琴台
Fig. 7 Instrument board in testing

稳定成立后,可进行辐射得热计量,记录相关数据(10 min 记录1次,历时2 h)。采用稳定后最后6次的数据进行整理,按式(4)、式(5)计算实测窗口得热量和遮阳窗口系统太阳得热系数 SHGC。实测窗口得热量=冷冻水带走热量-离心风机发热量+计量箱热传导+试件框热传导,即:

$$Q_{\text{glass}} = Q_{\text{extracion}} - Q_{\text{fan}} + Q_{\text{jl}} + Q_{\text{k}} \\ = G \cdot C \cdot \rho \cdot (t_c - t_j) - Q_{\text{fan}} + M_1 \cdot (t_{\text{jln}} - t_{\text{jlw}}) + M_2 \cdot (t_{\text{kn}} - t_{\text{kw}}) \quad (4)$$

表7 5 mm透明玻璃的测试原始数据

Table 7 Tested original data of testing 5 mm clear glass

参数	1	2	3	4	5	6	均值
$t_i/^\circ\text{C}$	25.23	25.31	24.97	25.22	25.26	25.19	25.20
$t_{\text{jln}}/^\circ\text{C}$	24.27	24.43	24.68	24.53	24.57	24.49	24.50
$t_{\text{jlw}}/^\circ\text{C}$	25.93	25.92	25.89	25.87	25.85	25.86	25.89
$t_r/^\circ\text{C}$	29.84	29.86	29.93	29.97	30.08	30.11	29.97
$t_{\text{kn}}/^\circ\text{C}$	26.24	26.32	26.34	26.38	26.36	26.49	26.36
$t_{\text{kw}}/^\circ\text{C}$	39.46	39.40	39.46	39.55	39.65	39.71	39.54
$t_f/^\circ\text{C}$	22.18	22.44	22.56	22.41	22.43	22.31	22.39
$t_c/^\circ\text{C}$	24.98	25.10	25.10	25.15	25.03	25.10	25.07
$G/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0.409	0.399	0.397	0.397	0.402	0.390	0.399
$I/\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	599.9	600.07	599.91	600.04	599.80	599.83	599.93

$$SHGC = \frac{Q_{\text{glass}}}{I_{\text{solar}} \cdot A} \quad (5)$$

利用 Window7.4 分别计算出3种整窗的太阳得热系数 SHGC 值^[12],并与测试值对比,具体计算结果见表6。由表6可知,测试数据与计算数据的相对误差不超过5%,实验测试与软件计算结果具有较好的一致性,测试平台的可靠性、准确度较高。

表6 试件 SHGC 计算值和测试值对比

Table 6 Comparison of calculated value and test value of SHGC

试件品种	透明玻璃	中空玻璃1	中空玻璃2
规格	5 mm 透明玻璃,铝合金框	6 mm 透明 + 12 mm 空气 + 6 mm 透明,铝合金框	6 mm 镀膜玻璃 + 12 mm 空气 + 6 mm 透明,铝合金框
计算值	0.734	0.637	0.451
测试值	0.741	0.655	0.467
差值	0.007	0.018	0.016
差比/%	0.95	2.83	3.55

实验中测得的表7中3种试件的原始数据分别见表7、表8。

表 8 中空玻璃 1 和中空玻璃 2 的测试原始数据
Table 8 Tested original data of testing double glazing 1 and 2

参数	1		2		3		4		5		6		均值	
	中空 玻璃 1	中空 玻璃 2												
$t_f/^\circ\text{C}$	25.47	25.39	25.07	24.97	25.05	25.13	25.34	25.38	25.14	25.10	25.27	25.31	25.22	25.21
$t_{jin}/^\circ\text{C}$	24.13	24.25	24.15	24.23	24.70	24.6	24.59	24.73	24.37	24.47	24.57	24.57	24.42	24.48
$t_{jout}/^\circ\text{C}$	26.01	26.07	25.98	26.02	26.01	26.09	26.03	25.93	25.75	25.57	25.96	26.06	25.96	25.96
$t_r/^\circ\text{C}$	29.88	29.98	29.88	30.00	30.09	30.23	30.13	30.27	30.16	30.00	30.09	30.07	30.04	30.09
$t_{kn}/^\circ\text{C}$	26.24	26.08	26.32	26.42	26.34	26.44	26.38	26.38	26.36	26.38	26.49	26.63	26.36	26.39
$t_{kw}/^\circ\text{C}$	39.46	39.36	39.40	39.36	39.46	39.48	39.55	39.71	39.65	39.73	39.71	39.81	39.54	39.58
$t_b/^\circ\text{C}$	22.19	21.89	22.03	21.73	22.16	21.86	22.22	21.92	22.14	21.84	22.21	21.91	22.16	21.86
$t_c/^\circ\text{C}$	24.53	23.73	24.58	23.78	24.58	23.78	24.59	23.79	24.46	23.66	24.66	23.66	24.57	23.73
$G/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0.409	0.400	0.399	0.392	0.397	0.396	0.397	0.397	0.402	0.402	0.390	0.395	0.399	0.397
$I/\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	599.88	600.04	600.21	600.19	599.89	599.99	599.96	600.04	599.72	599.80	599.65	599.65	599.88	599.95

4 结 论

遮阳窗口系统太阳得热系数是中国节能设计标准中的重要指标,应将遮阳、窗口、窗框当成一个整体系统来考虑其太阳得热情况,准确可靠地获取太阳得热系数对中国建筑节能工作的推进及建筑遮阳行业的健康发展具有重要意义。本文阐述遮阳窗口系统太阳得热系数测试的背景、国内外研究现状;详细介绍利用太阳模拟器搭建的遮阳窗口系统太阳得热系数测试平台的系统构成;重点阐述实验测试所需的 3 个标定测试以及测试方法。最后对典型试件进行测试,并与 Windows 7.4 的计算值进行对比,研究结果表明测试数据与计算数据具有较好的一致性,测试平台的可靠性、准确度较高。

[参考文献]

- [1] 蔡伟光. 中国建筑能耗影响因素分析模型与实证研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [1] Cai Weiguang. Analyzing impact factors of building energy consumption: Modeling and empirical study [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [2] ISO 15099: 2003 (2003). Thermal performance of windows, doors, and shading devices- detailed calculations [S]. International Standards Organization, Geneva.
- [3] Klems J H, Warner J L, Kelley G O, A comparison between calculated and measured SHGC for complex glazing systems [A], ASHRAE winter meeting [C], Atlanta, GA, 1996.
- [4] Kotey N A, Wright J L, Barnaby C S, et al. Solar gain through windows with shading devices: Simulation versus measurement [J]. ASHRAE Transactions, 2009, 115(2): 18—30.
- [5] Paludan. Muller C. Investigation of solar walls by means of indoor measurements [A]. Proceedings of the biennial congress of the international solar energy society [C], Hamburg, Federal Republic of Germany, 1987.
- [6] Kuhn T E, Bühler C, Platzer W J. Evaluation of overheating protection with sun-shading systems [J]. Solar Energy, 2001, 69: 59—74.
- [7] Kuhn T E, Calorimetric determination of the solar heat gain coefficient g with steady-state laboratory measurements [J] Energy and Buildings, 2014, 84: 388—402.
- [8] 王一飞, 由世俊, 解 勇, 等. 窗太阳得热系数测试设备的研发 [J]. 太阳能学报, 2009, 30(8): 1028—1032.
- [8] Wang Yifei, You Shijun, Xie Yong, et al. Measurement apparatus development of solar heat gain coefficient of window [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2009, 30 (8): 1028—1032.
- [9] GB/T 30592—2014, 透光围护结构太阳得热系数检测方法 [S]. 全国建筑构配件标准化技术委员会, 2014.

- [9] GB/T 30592—2014, Test method for solar heat gain coefficient of transparent envelope [S]. The Building Components Standardization Technical Committee, 2014.
- [10] GB/T 2680—1994, 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、紫外线透射比及有关玻璃参数的测定[S]. 全国建筑构配件标准化技术委员会, 1994.
- [10] GB/T 2680—1994, Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance and ultraviolet transmittance for glass in building and related glazing factors [S]. The Building Components Standardization Technical Committee, 1994.
- [11] JGJ/T 151—2008, 建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程 [S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2009.
- [11] JGJ/T 151—2008, Calculation specification for thermal performance of windows, doors and glass curtain-walls [S]. Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, 2009.
- [12] Lawrence Berkeley National Laboratory, THERM6.3 / WINDOW 6.3 NFRC Simulation Manual [M]. California: University of California, 2013, 25—168.

EXPERIMENTAL RESEARCH ON SOLAR HEAT GAIN COEFFICIENT OF SHADING WINDOW SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL LIGHT

Tao Qiuhua^{1,2}, Li Zhengrong¹, Li Li¹, Zheng Jianwen¹, Chen Xin¹

(1. College of Mechanical Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to measure the solar heat gain coefficient of shading window system accurately, a test platform for determination of the solar heat gain coefficient was set up. Firstly, the construction of the platform was introduced, the platform is mainly composed of solar simulator, environment rooms, hot box, specimen, heat metering box, circulating water temperature control and measurement system, etc. The measurement of the net heat flow between two incubator boxes is based on the principle of steady heat transfer. Thermal physical parameters, such as temperature, flow rate, the intensity of solar radiation can be monitored by the platform real-timely, so these parameters can be automatically detected, monitored and stored, so as to realize the intelligent control. Secondly, three vital calibration tests and test method were discussed in detail. Finally, typical specimens were tested, and the test results were compared with the calculated value of Windows 7.4, results show that the test data and calculated data has good consistency, and the test platform has high reliability.

Keywords: solar heat gain coefficient; hot box; solar simulator; calorimetric measurement; steady state