

遮阳翻板对厦门市建筑物太阳辐射得热的影响

陶求华

(集美大学机械与能源工程学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 利用翻板辐射传输计算模型和得热逐时计算模型, 研究遮阳翻板对厦门市建筑物窗口及外墙得热的影响。结果表明: 相对于无遮阳情形, 梭形翻板和穿孔弧形翻板的隔热作用非常明显, 其中梭形翻板又比穿孔弧形翻板效果更好; 遮阳翻板有效降低了墙体和窗口的峰值得热量, 降低的幅度随翻板倾角的增大而增大; 但是, 由于遮阳板的存在, 使得建筑围护结构在夜间的散热能力降低; 翻板表面反射率越大, 进入窗口的太阳辐射得热量就越大。最后提出: 从夏季遮阳节能角度出发, 厦门夏季百叶倾角应尽可能大, 以阻挡太阳辐射带来的得热, 冬季应调整翻板倾角, 使得翻板尽量面对太阳直射方向, 尽可能使得太阳辐射进入室内。

[关键词] 遮阳翻板; 太阳辐射得热; 逐时得热; 控制策略; 厦门市

[中图分类号] P 422

The Effect of Shading Louvers on the Solar Radiation Heat Gain of Buildings in Xiamen

TAO Qiuhua

(School of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Based on the radiation calculation model and hourly heat transfer calculating model, effects of shading louvers are studied on buildings in Xiamen, and results show that, compared with no shading, shading effect of shuttle louvers and perforated louvers are obvious, especially the shuttle louvers; shading louvers can effectively reduce the peak heat gain of wall and window, and the effect increases in the rotation angle; however, shading louvers can reduce the cooling capacity of the building envelope at night. The greater the reflectivity of the surface of the plate, the greater the solar heat gain of window, which is more obvious when the rotation angle of the louvers is smaller, however the difference is very small when the rotation angle is larger. Finally, shading strategy for buildings in Xiamen is brought up. In the summer, the rotation angle should be as large as possible to prevent the solar heat gain. In the winter, rotation angle should be adjusted to face the direction of the sun as far as possible to let more solar radiation into the room.

Keywords: shading louvers; solar heat gain; hourly calculating; control strategy; Xiamen

[收稿日期] 2017-06-19

[修回日期] 2017-10-23

[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, JA13185, JB13137); 集美大学黄慧贞学科建设基金(ZC2013016)

[作者简介] 陶求华(1981—), 男, 副教授, 博士, 从事暖通空调、建筑节能、建筑热环境研究, E-mail: ttao-jiangshui@163.com。

0 引言

太阳辐射是影响室内环境的重要因素之一,它不仅会使热量进入室内,从而增加空调能耗,也和室内的照明能耗有着密切的关系。遮阳是对太阳光的一种合理利用,一方面,遮阳阻挡阳光直射辐射得热,控制热量进入室内;另一方面,调节适量进入室内的阳光,有利于人体视觉功效的发挥和生理机能的正常运行。

建筑遮阳种类很多,近年来,遮阳翻板的使用越来越普遍,国内外对于建筑外遮阳对建筑得热的影响开展了广泛的研究。李峥嵘^[1]对建筑外百叶遮阳结构(百叶倾角和百叶数量)进行了优化,对比分析了优化模型与现用模型全年节能效果;Jonsson 等^[2]给出了百叶角度对室内采光的系统计算方法;Shenqiu Zhang 等^[3]对可控遮阳设施室内采光进行模拟,得到基于采光的百叶角度规律;Fawwaz Hammad 等^[4-6]对动态百叶的节能潜力做了模拟分析;文献[7-8]采用 Energy-Plus 软件模拟分析动态百叶的节能效果;文献[9]利用 Ecotect 模拟外遮阳的节能效果;阳江英等^[11]采用 Visual-DOE,分析各朝向遮阳系数与建筑总能耗的关系;文献[11-12]使用 DeST 模拟遮阳板对建筑能耗的影响。综上所述,目前国内外学者主要借助 DeST、Ecotect、Visual-DOE、Energy-plus 等软件中的遮阳计算模型来分析遮阳翻板对建筑物带来的影响。

近年来,梭型翻板和圆弧穿孔翻板的应用越来越广泛,流线型梭型翻板,外观美观、自身强度高、有减风压、叶片转角可调等优点^[13],而圆弧穿孔翻板也具有自重轻、通风效果好的优点。

但文献[8-13]的遮阳计算模型的适用性和准确性是有待考证的^[14],如无法考虑遮阳翻板的实际形状和表面镜面反射特性等因素对计算结果带来的误差,所以也无法准确得出遮阳翻板对建筑得热的影响的结论。因此,在实际运用过程中,无法根据季节变化给出准确的翻板控制策略^[15]。

针对遮阳翻板的实际形状和表面光学特性开发相应的光学和热学计算模型,文献[16-17]开发了梭形遮阳翻板的光学计算程序,文献[18-19]研究了遮阳翻板-围护结构间的长波辐射换热,文献[20]在文献[18-19]的基础上开发了梭形遮阳翻板建筑太阳辐射得热计算程序。

本文将利用翻板辐射传输计算模型和得热逐时计算模型,研究遮阳翻板对厦门市建筑物窗口及外墙得热的影响,并提出针对厦门市建筑物的翻板遮阳策略。

1 翻板-围护结构换热计算模型

图1为具有翻板外遮阳的建筑围护结构系统示意图,该结构系统由外遮阳翻板层、双层玻璃窗(glass-1 和 glass-2)、外墙(wall-a)、三面内墙(wall-b, wall-c, wall-d)、地板(floor)和天花板(ceiling)构成。当整个外立面都装配外遮阳时,把遮阳翻板分成两部分,一是与玻璃窗对应的部分(shades-g),它的垂直投影位于玻璃窗上;二是与外墙对应的部分(shades-w),它的垂直投影位于外墙上。

本文采用热平衡法分析遮阳围护结构传热模型,直接在遮阳围护结构的每个独立层上进行热平衡分析,同时考虑导热、对流、辐射这3种传热模式,其中辐射又包括热辐射和吸收的短波辐射。围护结构热平衡示意图如图2所示。

模型假设热流只沿垂直于遮阳窗口的方向传递,且长波辐射无法穿过玻璃层。每个独立层*i*的前面 f_i 与后面 b_i 都有如下热平衡关系:

$$q_{\text{cond},f_i} = q_{\text{lwr},f_i} + q_{\text{conv},f_i} + q_{\text{swr},f_i}; \quad (1)$$

$$q_{\text{cond},b_i} = q_{\text{lwr},b_i} + q_{\text{conv},b_i} - q_{\text{swr},b_i} \quad (2)$$

其中:*i*代表遮阳围护结构系统的某一层;*f*代表遮阳围护结构系统的某一层的前面;*b*代表遮阳围护结构系统的某一层的后面的; q_{cond} 为表面净热流, W/m^2 ; q_{conv} 为表面与相邻空气或表面对流换热, W/m^2 ; q_{lwr} 为表面与相邻表面或环境的长波辐射换热, W/m^2 ; q_{swr} 为表面吸收的太阳短波辐射热, W/m^2 。

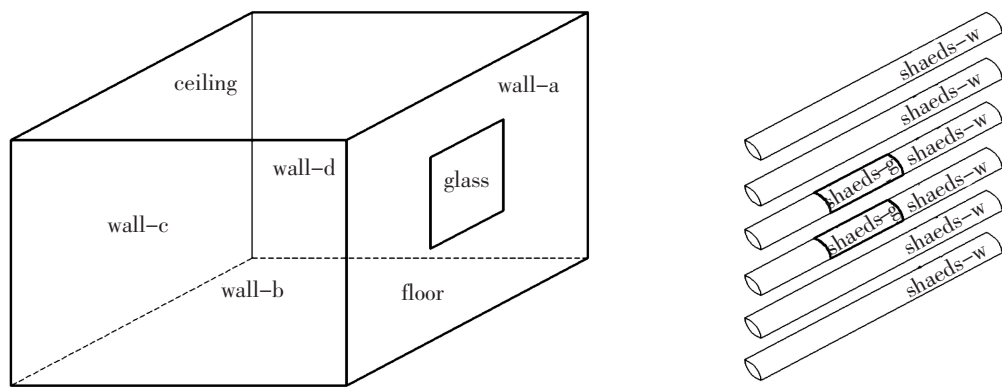


图 1 具有翻板外遮阳的建筑围护结构系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of a building envelope system with external louvers shading

本文在式（1）、式（2）的基础上求解遮阳围护结构系统的遮阳翻板、外围护结构（外墙、外窗）和内围护结构的温度场和热流量场随时间的变化规律。

2 遮阳模拟原始数据

研究对象为某栋大楼中间层的一个朝南房间，建筑平面图见图 3。房间进深 4.5 m；开间 10 m；窗口宽 8 m；高度 1.8 m。

外墙为 240 mm 砖墙，内外抹 20 mm 石灰砂浆；外窗为铝合金双层窗，其玻璃可见光透射率 53%，太阳能总透射比 39%，中部传热系数 3.1 W/(m²·K)；室内表面发射率：墙体内壁为 0.8，楼板为 0.8，地板为 0.6。计算程序采用《中国建筑热环境分析专用气象数据集》的逐时干球温度、天空温度、地表温度以及辐射强度数据作为逐时模拟计算输入参数^[21]。翻板尺寸和表面光学参数见表 1。

夏季设计日选取 7 月 20 日，其辐射强度、温度及风速等参数具有较好的代表性，逐时数据见表 2，室内设计温度取 25℃。

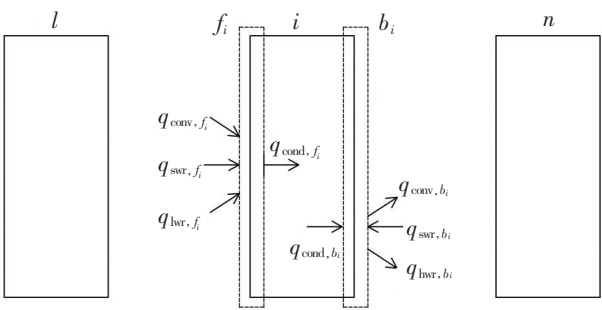


图 2 各层围护结构热平衡示意图

Fig.2 Schematic diagram of heat balance between layers of building envelope

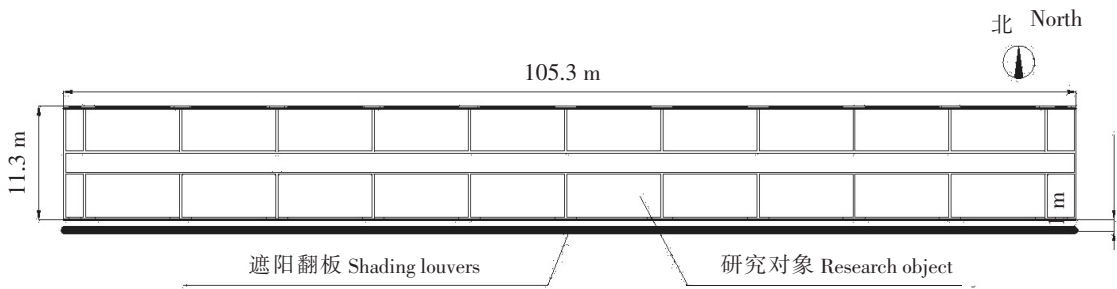


图 3 模拟建筑平面图

Fig.3 Plan of simulated building

表 1 翻板试件的几何尺寸和光学特性

Tab.1 Geometrical size and optical properties of louver specimens

翻板形式 Type of couvers	宽度 Width /mm	间距 Spacing /mm	弦高 Chord height /mm	表面总反射率 Total surface reflectivity	穿孔率 Perforation rate
梭形翻板 Shuttle louvers	300	260	25	0.52	0
弧形穿孔板 Circular perforated louvers	300	260	25	0.52	0.05

表 2 夏季设计日室外逐时辐射强度、温度及风速分布

Tab.2 Hourly outdoor radiation ,temperature and wind speed distribution in summer design day

时刻 Hour	水平面总辐 射强度 Horizontal total radiation intensity/ (W · m ⁻²)	水平面散 射辐射强度 Horizontal diffuse radiation intensity/ (W · m ⁻²)	竖直面散射 辐射强度 Vertical surface diffuse radiation intensity/ (W · m ⁻²)	法向直射 辐射强度 Normal direct radiation intensity/ (W · m ⁻²)	干球温度 Drought bulb temperature/ K	天空有效 温度 Effective sky temperature/ K	地表温度 Ground surface temperature/K	风速 Wind speed/ (m · s ⁻¹)
0	0.0	0.0	0.0	0.0	299.1	276.4	297.7	1.0
1	0.0	0.0	0.0	0.0	298.9	276.6	297.9	1.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	298.4	276.5	297.8	1.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	298.0	276.5	297.8	1.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	297.9	276.6	297.9	1.0
5	99.8	22.5	22.7	449.7	298.1	277.3	298.6	1.0
6	267.3	38.8	50.1	587.3	298.7	278.8	299.9	1.0
7	449.3	65.2	84.3	650.3	299.5	281.4	302.3	1.0
8	626.7	90.9	117.5	701.6	300.6	285.0	305.7	1.0
9	774.5	112.3	145.2	740.3	301.7	289.3	309.7	1.0
10	870.3	126.2	163.2	763.9	302.8	293.7	313.9	1.0
11	898.8	130.3	168.5	770.7	303.8	297.5	317.5	1.0
12	855.4	124.1	160.4	760.3	304.6	300.1	320.2	1.0
13	726.2	163.8	165.4	645.7	305.2	301.1	321.2	2.0
14	337.5	337.5	207.6	0.0	305.4	300.0	320.2	2.0
15	399.2	90.0	90.9	562.0	305.0	297.3	317.6	2.0
16	230.7	33.5	43.3	573.1	304.0	293.4	313.9	2.0
17	69.9	15.8	15.9	427.4	302.7	289.0	309.8	2.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	301.4	284.6	305.8	2.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	300.4	281.0	302.4	3.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	299.7	278.7	300.2	3.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	299.5	277.4	299.0	3.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	299.5	277.0	298.5	3.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	299.6	277.1	298.4	3.0

3 模拟结果及分析

3.1 夏季工况，相同反射率的两种遮阳翻板对建筑物得热的影响

基于遮阳翻板辐射传输模型，并结合遮阳围护结构系统非稳态传热计算模型，分别计算无遮阳以及不同翻板遮阳围护结构的非稳态传热量。

1) 夏季窗口得热量变化规律

考察夏季工况下，翻板尺寸和表面反射率相同时，采用梭形翻板与圆弧穿孔板对窗口传热量的影

响。图4为翻板倾角为45°时，双层玻璃窗口逐时得热量的变化曲线。由图4可以看出：相对于无遮阳情形，梭形翻板和穿孔弧形翻板的隔热作用非常明显，其中梭形翻板又比穿孔弧形翻板效果更好；还可以发现，由于遮阳板的存在，使得窗口在夜间的散热能力降低大概8~16 W/m²。

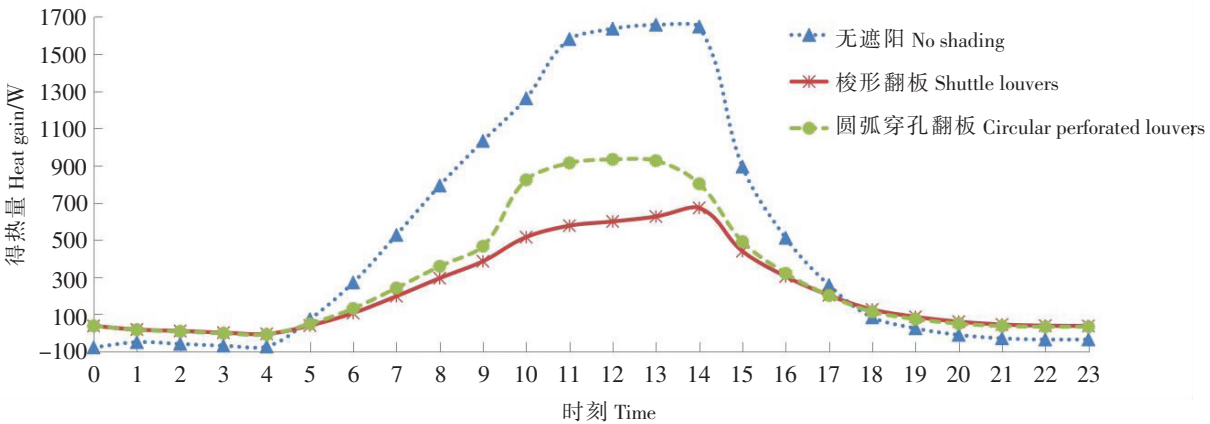


图4 双层玻璃窗口逐时得热量

Fig.4 Hourly heat gain of double glazing window

2) 夏季墙体传热量变化规律

考察夏季工况下，翻板尺寸和表面反射率相同时，采用梭形翻板与圆弧穿孔板对墙体传热量的影响。图5为翻板倾角为45°时，墙体逐时得热量的变化曲线。从图5可以看出：相对于无遮阳情形，梭形翻板和穿孔弧形翻板对墙体有一定的遮阳效果，梭形翻板和圆弧翻板有效降低了墙体的峰值传热量，且梭形翻板比圆弧翻板作用更明显；还可以发现，由于遮阳板的存在，使得墙体在夜间的散热能力降低，较大程度上阻碍了室内热量的散发。

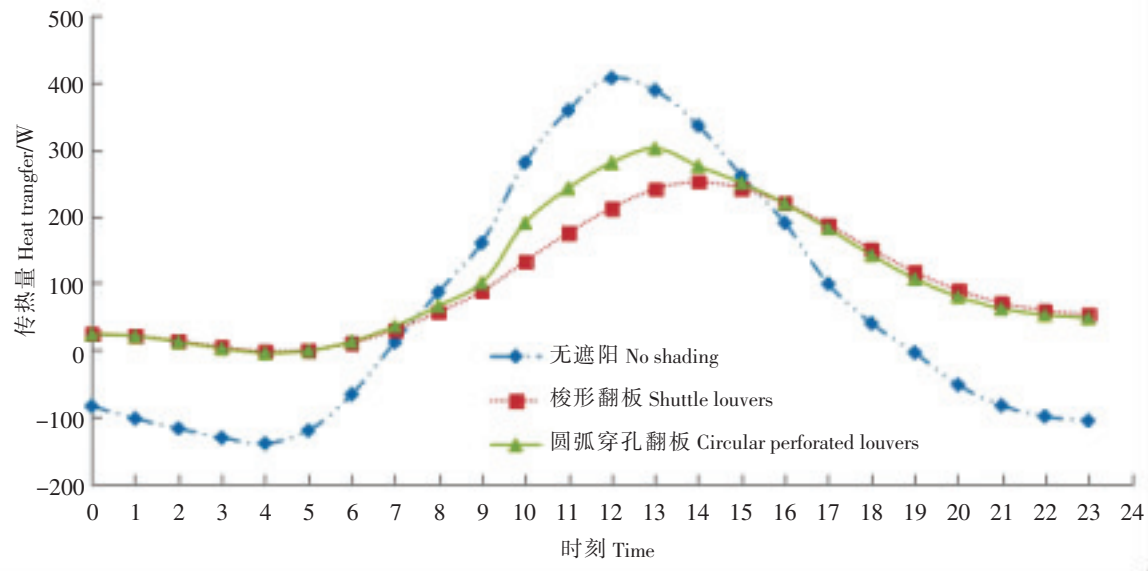


图5 梭形翻板与圆弧穿孔板对墙体逐时传热量的影响

Fig.5 The influence of shuttle louvers and circular perforated louvers on hourly heat transfer of the wall

3.2 总反射率对梭形翻板遮阳建筑得热的影响

考察尺寸相同而表面总反射率不同（分别为0.85、0.52、0.40）的三种梭型翻板对窗口得热量的影响，双层玻璃窗口的逐时得热量变化如图6所示。

从图6可知，翻板表面反射率越大，通过遮阳翻板镜面反射、漫反射后投射到窗口的太阳辐射强度就越大，进入窗口的太阳辐射得热就越大。总反射率为0.85的梭形遮阳翻板的窗口太阳辐射峰值

得热会比总反射率为 0.40 时高 38%。

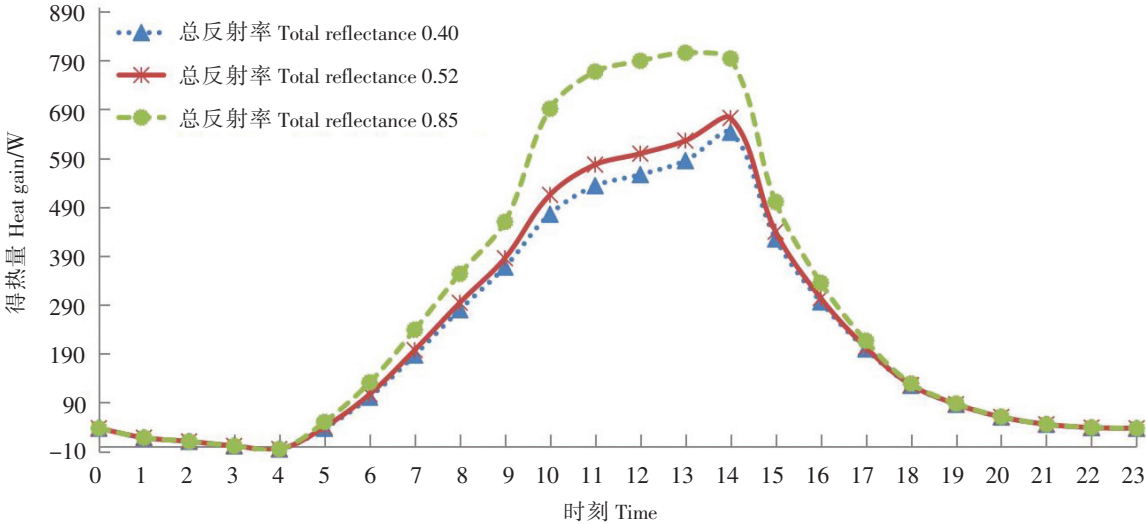


图 6 窗口在不同总反射率下的逐时得热量

Fig.6 Hourly heat gain of windows under different total reflectances

3.3 梭形翻板倾角对建筑得热的影响

1) 夏季工况

考察表 1 中梭型翻板的倾角变化带来的影响，图 7 为该翻板在不同倾角情况下双层玻璃窗口夏季设计日的逐时得热量与无遮阳时的对比变化曲线。

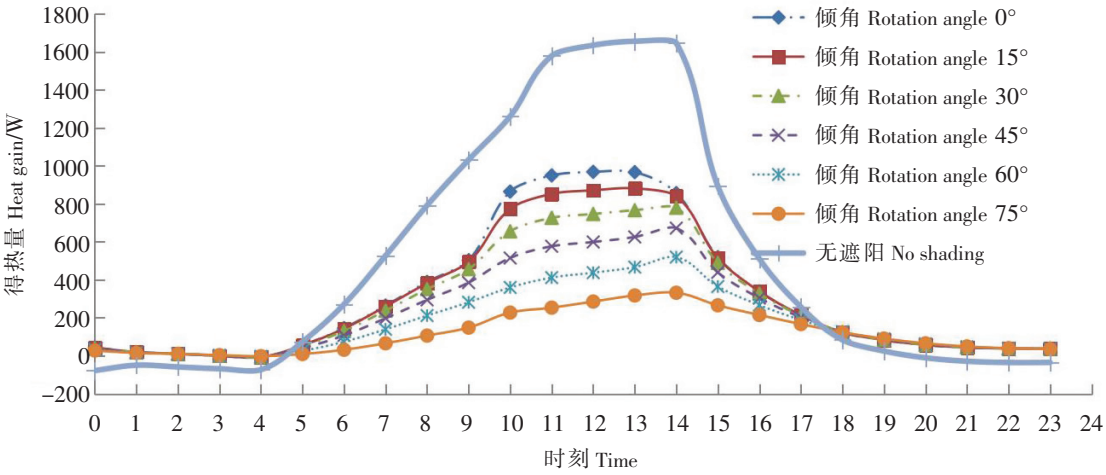


图 7 夏季设计日窗口逐时得热量

Fig.7 Hourly heat gain of windows on the summer design day

由图 7 可知，夏季设计日，随着梭形翻板倾角的增大，遮阳翻板对太阳辐射阻挡效果越好；无遮阳时峰值得热量为 1657.2 W，与无遮阳情形对比，各种倾角下的峰值得热量变化情况见表 3。

表 3 窗口夏季峰值得热量变化

Tab.3 The peak heat gain of windows on the summer design day

翻板倾角 Rotation angle/(°)	0	15	30	45	60	75
夏季峰值得热量减少百分比 Reduction in percentage/%	41.5	46.8	52.9	59.4	68.6	80.0

从表 3 可以看出，倾角较大时，梭形翻板可以阻挡 80% 的太阳辐射峰值得热。从夏季遮阳节能角度出发，厦门夏季百叶倾角应尽可能大，以阻挡太阳辐射进入带来的得热。

2) 冬季工况

考察梭形翻板在不同倾角下冬季设计日（12月21日）的双层玻璃窗口逐时得热量的变化规律，见图8。

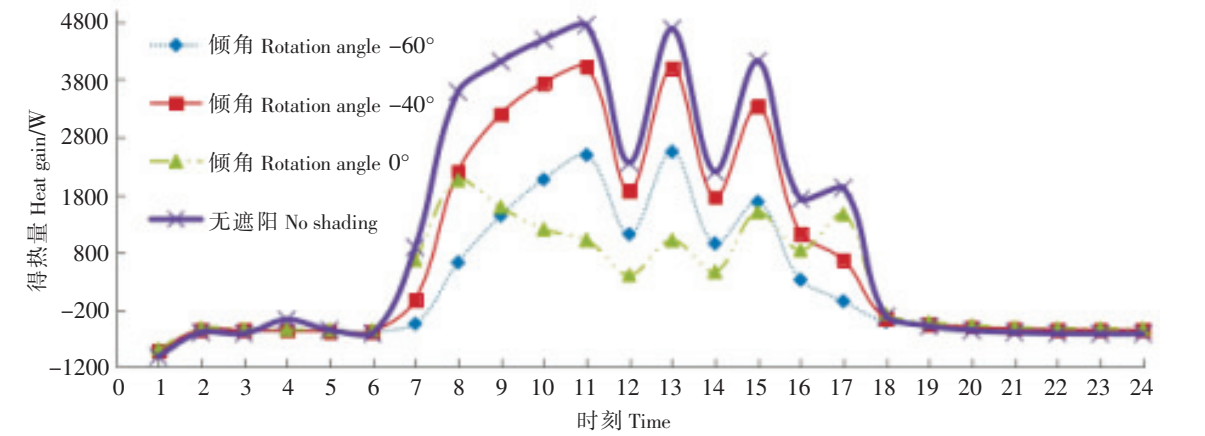


图 8 冬季设计日的窗口得热量

Fig.8 Hourly heat gain of windows on the winter design day

冬季，为使太阳辐射能更多地透过遮阳翻板照射至围护结构，遮阳翻板的角度转为负值，无遮阳时峰值得热量为 4744 W，与无遮阳情形对比，各种倾角下的冬季设计日峰值得热量减小情况见表 4。

表 4 冬季设计日窗口峰值得热量变化

Tab.4 The peak heat gain of window on the winter design day

翻板倾角 Rotation angle/(°)	0	-15	-30	-40	-45	-60
冬季峰值得热量减少百分比 Reduction in percentage/%	56.7	40.1	18.9	15.2	18.8	46.4

从表 4 可知，冬季设计日应调整翻板倾角，使得翻板 ($\beta = -40^\circ$) 尽量面对太阳直射方向，让太阳辐射进入室内。

厦门冬季（12 月、1 月、2 月），南向竖直表面的水平翻板投影角分布如表 5 所示。

表 5 厦门冬季南向投影角小时数统计

Tab.5 Statistics of the south projection angle hours for Xiamen in winter

投影角范围 Projection angle range/(°)	0 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 45	45 ~ 60
12 月南向投影角小时数 South projection angle hours in December/h	0	60	210	0
1 月南向投影角小时数 South projection angle hours in January/h	0	41	196	42
2 月南向投影角小时数 South projection angle hours in February/h	0	2	54	205

根据表 5 可以判定，厦门的建筑在 12 月、1 月把南向翻板倾角设置为 $-30 \sim -45^\circ$ 时可以获得较大的窗口得热量，而在 2 月份南向翻板倾角设置为 $-45 \sim -60^\circ$ 时较为合适。

4 结论

相对于无遮阳情形，梭形翻板和穿孔弧形翻板的隔热作用非常明显，梭形翻板又比穿孔弧形翻板效果更好，梭形翻板和圆弧翻板有效降低了墙体的峰值传热量，降低幅度随翻板倾角增大而增大，且梭形翻板比圆弧翻板作用更明显。但是，由于遮阳板的存在，使得窗口在夜间的散热能力降低大概 $8 \sim 16 \text{ W/m}^2$ 。

翻板表面反射率越大，进入窗口的太阳辐射得热就越大，这种规律在翻板倾角较小时更为明显， 0° 倾角时，总反射率为 0.85 的梭形翻板太阳辐射峰值得热会比总反射率为 0.40 时高 38%。

夏季，随着梭形翻板倾角的增大，遮阳翻板对太阳辐射阻挡效果越好；倾角较大时，梭形翻板可

以阻挡 80% 的太阳辐射峰值得热。从夏季遮阳节能角度出发, 厦门夏季百叶倾角应尽可能大, 以阻挡太阳辐射进入带来的得热。冬季应调整翻板倾角, 使得翻板尽量面对太阳直射方向, 让更多的太阳辐射进入室内。厦门的建筑南向遮阳设施在 12 月、1 月把翻板倾角设置为 $-45^{\circ} \sim -30^{\circ}$ 时可以获得较大的窗口得热量, 而在 2 月份翻板倾角设置为 $-60^{\circ} \sim -45^{\circ}$ 较为合适。

[参 考 文 献]

- [1] 李峥嵘, 夏麟. 基于能耗控制的建筑外百叶遮阳优化研究 [J]. 暖通空调, 2007, 37(11): 11-13.
- [2] ATHANASSIOS TZEMPELIKOS. The impact of venetian blind geometry and tilt angle on view, direct light transmission and interior illuminance [J]. Solar Energy, 2008, 82(12): 1172-1191.
- [3] SHENQIU ZHANG, DAGNACHEW BIRRU. An open-loop venetian blind control to avoid direct sunlight and enhance daylight utilization [J]. Solar Energy, 2012, 86(3): 860-866.
- [4] JIA HU, SVETLANA OLBINA. Illuminance-based slat angle selection model for automated control of split blinds [J]. Building and Environment, 2011, 46(3): 786-796.
- [5] FAWWAZ HAMMAD, BASSAM ABU-HIJLEH. The energy savings potential of using dynamic external louvers in an office building Energy and Buildings, 2010, 42(10): 1888-1895.
- [6] SVETLANA OLBINA, JIA HU. Daylighting and thermal performance of automated split-controlled blinds [J]. Building and Environment, 2012, 56(10): 127 ~ 138.
- [7] 李峥嵘, 陶求华, 蒋福建, 等. 建筑外百叶最佳固定倾角与动态百叶节能潜力 [J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版), 2012, 44(6): 767-772.
- [8] 陶求华, 李峥嵘, 蒋福建, 等. 北外窗遮阳的必要性及遮阳设施的优化选择 [J]. 重庆大学学报, 2013, 36(9): 151-158.
- [9] LI QING, GAO RUN, JIANG BO, WANG SHIMING. University library external window sunshade device simulation analysis and optimization design [J]. Procedia Engineering, 2017, 174: 1196-1201.
- [10] 阳江英, 杨丽莉, 吕忠. 重庆地区外窗遮阳能效模拟分析 [J]. 建筑节能, 2008, 36(9): 66-69.
- [11] 刘甜甜. 北京地区建筑能耗分析与遮阳制品优化选择 [D]. 北京: 北京工业大学, 2010.
- [12] 陶求华. 外窗性能对厦门居住建筑空调能耗的影响 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2011, 16(2): 135-140.
- [13] 陶求华, 李峥嵘, 郑健雯. 梭形翻板太阳直射辐射传输计算模型及实现 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2017, 45(5): 770-775.
- [14] YU-HAO LIN, KANG-TING TSAI, MIN-DER LIN, et al. Design optimization of office building envelope configurations for energy conservation [J]. Applied Energy, 2016, 171(6): 336-346.
- [15] KIM J, PARK Y, YEO M, KIM K. An experimental study on the environmental performance of the automated blind in summer [J]. Build Environ, 2009, 44: 1517-1527.
- [16] 陶求华, 李峥嵘, 郑健雯. 梭形遮阳翻板太阳散射辐射传输计算模型及程序实现 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2015, 43(5): 777-782.
- [17] QIU-HUA TAO, ZHENGRONG LI, JIANWEN ZHENG, et al. Model of solar diffuse radiation transmission through circular perforated louvers and experimental verification [J]. Energy and Buildings, 2017, 142(1): 49-55.
- [18] 蒋福建, 李峥嵘, 赵群, 等. 遮阳翻板-围护结构间的长波辐射换热数值分析 [J]. 太阳能学报, 2016, 37(3): 690-696.
- [19] FUJIAN JIANG, ZHENGRONG LI, QUN ZHAO, et al. Accuracy analysis and improvement of the Blind Enclosure Model to calculate the longwave radiative heat transfer for a façade with louver blinds [J]. Energy and Buildings, 2017, 140(1): 98-109.
- [20] 陶求华. 遮阳翻板对建筑得热的影响研究 [D]. 上海: 同济大学, 2017.
- [21] 国家气象局气象信息中心气象资料室, 清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 郑青榕)