

# 遮阳翻板对围护结构表面温度分布影响的实测分析

蒋福建<sup>1</sup>, 李峥嵘<sup>1</sup>, 陶求华<sup>1</sup>, 赵 群<sup>2</sup>

(1. 同济大学 机械与能源工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学 建筑与城市规划学院, 上海 200092)

**摘要:** 对一栋实际建筑上的翻板-围护结构系统表面温度分布情况进行实测, 得出了在夏季晴日条件下, 翻板遮阳、设置遮阳的围护结构和未设置遮阳的围护结构表面的温度分布规律; 总结了翻板与围护结构之间的温差极值(平均温差极值约为 10 °C); 对比了设置翻板和未设置翻板两种情况下, 同一朝向围护结构表面的温度差异. 在实测数据的基础上, 分析了翻板设置引起的围护结构表面温度变化, 对其表面对流换热情况和长波辐射换热过程带来的影响, 强调了正确描述这两种过程的重要性.

**关键词:** 遮阳翻板; 围护结构; 温度分布; 现场实测

**中图分类号:** TU111.3

**文献标志码:** A

## Field Measurement of Surface Temperature at Building Façade with Louver Blinds

JIANG Fujian<sup>1</sup>, LI Zhengrong<sup>1</sup>, TAO Qiuhua<sup>1</sup>, ZHAO Qun<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** A field measurement was conducted on to a real building for temperature distribution at its façade and louver blinds in this paper. Half-hourly surface temperature distribution of louver blinds, louvered façade and unlouvered façade were performed by this measurement. From this data, a conclusion on maximum temperature difference (about 10 °C) between louver blinds and louvered façade was reached. Besides, the surface temperature at louvered facade was compared with that at an unlouvered one. Based on the measurement above, the effect of louver blinds on convective and longwave radiative heat transfer at building façade was briefly analyzed, and the importance to correctly describe these two process was pointed out.

**Key words:** louver blinds; envelope; temperature distribution; field measurement

建筑外部热环境不仅与建筑内环境相互作用进而影响空调系统的负荷, 而且还在一定程度上影响了诸如自然通风等被动式建筑节能技术的应用. 对此, 国内外部分学者对实际建筑外部的太阳辐射强度、风速风向以及建筑表面温度等热环境参数进行测量<sup>[1-3]</sup>, 以得到不同季节条件下建筑不同位置的热环境情况, 为建筑负荷能耗计算、舒适度分析等研究提供必要的依据.

作为一种能有效减少空调系统负荷的被动式节能技术, 可调式的百叶遮阳翻板能够有效地减少围护结构壁面所接收的太阳辐射<sup>[4-6]</sup>, 并且也将影响建筑表面的气流分布情况<sup>[7]</sup>, 进而影响围护结构表面的对流换热强度以及建筑窗洞的自然通风; 同时, 翻板的设置还将改变建筑与周边环境间的长波辐射换热情况. 因此, 遮阳翻板的使用将会对建筑围护结构的表面温度分布情况产生影响, 进而影响建筑周边的热环境, 但目前并没有针对于该影响结果的实测研究和分析. 据此, 本文对上海市一栋设置翻板的典型建筑在不同翻板角度下表面温度的分布情况进行实测, 并与未设置翻板的围护结构表面温度情况进行对比, 旨在探究夏季晴日条件下, 翻板对建筑围护结构外表面温度分布情况的影响, 为翻板-围护结构系统传热过程的研究提供实测依据.

## 1 实测概况

### 1.1 实测对象

本文实测对象为上海市同济大学明成楼. 该建筑位于上海市杨浦区同济大学四平路校区东北角, 其层高约 3.4 m, 西侧主楼共 4 层(教学楼), 东侧附楼共 3 层(办公楼), 建筑朝向为南偏西约 20°, 其周边环境如图 1 所示, 其与周边的文远楼、能源楼等建

收稿日期: 2016-08-27

基金项目: 国家自然科学基金(51278349, 51508225)

第一作者: 蒋福建(1989—), 男, 博士生, 主要研究方向为围护结构被动式节能技术. E-mail: jfjhvac@163.com

通讯作者: 李峥嵘(1969—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为建筑热湿传递与建筑环境.

E-mail: lizhengrong@tongji.edu.cn

筑构成了较典型的建筑街谷. 明成楼始建于 1985 年, 历经数次改造, 现其主楼南立面二层及其以上设有梭形百叶遮阳翻板, 而附楼南立面则不设外遮阳(见图 2 和图 3), 故实测研究主要围绕明成楼南立面进行. 明成楼主楼和附楼为框架结构建筑, 外墙厚约 210 mm, 外立面为深红色饰面砖, 外窗构造为 6 + 12A + 6(6 mm 普通白玻璃 + 12 mm 中空空气层 + 6 mm 普通白玻璃) 加断热铝合金窗框结构, 窗台高约 1 m. 主楼南立面所设百叶翻板为铝合金材质, 表面氟碳喷涂处理, 其宽约 350 mm, 翻板之间的间距约为 360 mm, 其离外墙表面的安装距离约为 700 mm, 如图 4 所示. 翻板角度  $\varphi$  以水平时为  $0^\circ$ , 顺时针转动为正值, 逆时针转动为负值.

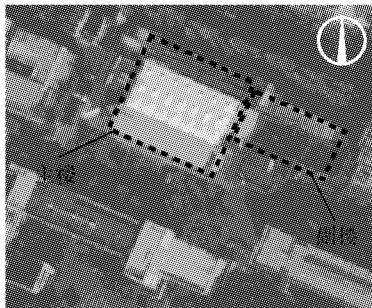


图 1 明成楼及其周边建筑情况

Fig.1 Mingcheng Building and its surroundings

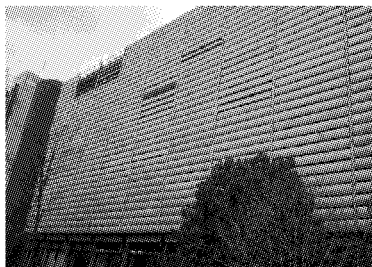


图 2 明成楼主楼西南立面实景

Fig.2 Southwest façade of the main building



图 3 明成楼附楼西南立面实景

Fig.3 Southwest façade of the wing building

1.2 实测测点及仪器

本文着重对明成楼主楼和附楼西南立面翻板和围护结构系统表面的温度情况进行实测, 辅以外气温和水平面太阳辐射强度的测量, 用以得出在典

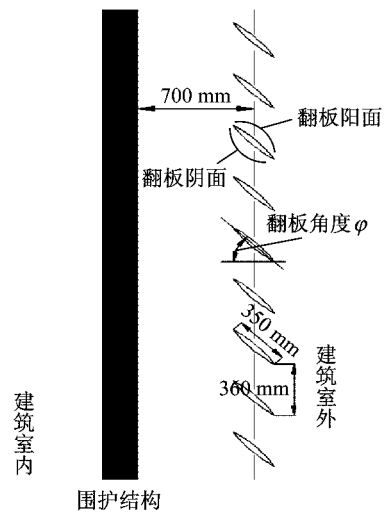


图 4 明成楼主楼遮阳翻板设置情况示意图

Fig.4 Geometry of the blinds attached to the main building

型夏季晴日条件下, 遮阳翻板对围护结构表面温度分布情况的影响. 在此, 定义遮阳翻板面向室外环境的表面为阳面, 而面向建筑围护结构的一面为阴面(见图 4), 则表面温度测点分布情况如图 5 所示, 其中遮阳翻板阳面和阴面的定性温度测点位于翻板延宽度方向上的中心点, 外墙和外窗的测点位于与所测翻板等高的立面上. 室外气温测点位于明成楼以南室外 1.5 m 高背阴处, 水平面太阳辐射强度测点则位于明成楼主楼屋面. 同时, 实测研究还将对遮阳翻板内外表面进行红外热成像图像采集, 以分析翻板表面的温度分布情况, 其图像采集点位于主楼 3 层(见图 5). 实测采用的仪器主要为表面温度探头,

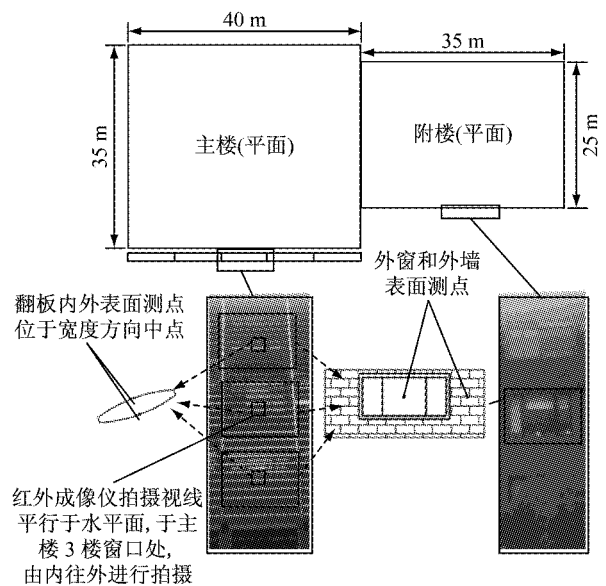


图 5 明成楼主楼测点设置情况示意图

Fig.5 Arrangement of measuring point on the main building

其中翻板和围护结构表面温度测量采用天建华仪 WZYW-1 型热电阻温度探头,测量范围为  $-20\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,测量不确定度为  $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,记录间隔为 30 min;室外气温测量采用天建华仪 WSZY 型温湿度自记录仪,其测温范围为  $-40\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,温度测量不确定度为  $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,记录间隔为 30 min;水平面太阳辐射强度测点位于所测建筑屋面中心,采用法国 KIMO 公司 SL-200 型太阳辐射照度计进行测量,其测量准确度为 5%,测量间隔为 30 min.同时,每隔 60 min 对遮阳翻板使用美国 FLIRB400 型红外热成像仪进行图像采集.

## 2 实测结果

对所选建筑的实测从 7 月中旬起至 8 月上旬截止,实测期间对翻板角度  $\varphi$  处于  $30^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$  和  $60^{\circ}$  工况下对围护结构-翻板体系的表面温度情况和室外气象参数进行了数天的测量,由于翻板的隔热作用主要体现在夏季晴日,因此在每种工况中择选出较为典型的夏季晴日工况进行分析.

### 2.1 室外参数

3 种工况所选晴日当天室外干球温度和水平面太阳辐射强度的逐时变化数据与 CSWD(中国建筑热环境分析专用气象数据集)<sup>[8]</sup>数据中上海地区典型年 7 月某晴日气象参数的对比情况如图 6 和图 7 所示.同时,该地区(杨浦区)气象站公布数据显示,所测 3 d 的平均风力均为 2~4 级.

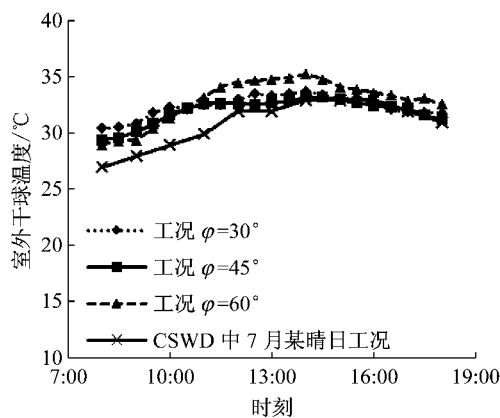


图 6 实测工况与典型年 7 月晴日室外逐时干球温度对比  
Fig.6 Comparison of air temperature between measurement and CSWD

从图 6 和图 7 中可得出,3 种工况实测当天的晴日室外干球温度和水平面太阳辐射强度的逐时变化情况与典型年夏季晴日基本相近.室外干球温度的峰值均出现在午后(14:00~15:00 间),室外最高气

温均在  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右;水平面太阳辐射强度峰值则出现在正午时分(12:00 左右),同时其峰值约在  $950\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  以上.因此,可认为 3 种实测工况为较为典型的夏季晴日工况.

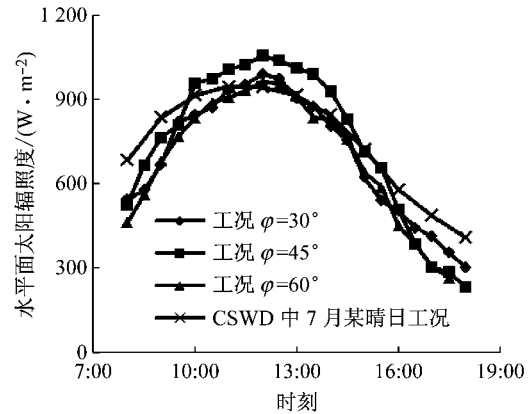


图 7 实测工况与典型年夏季晴日水平面逐时太阳辐射强度对比

Fig.7 Comparison of solar radiation between measurement and CSWD

### 2.2 翻板表面的温度分布

当遮阳翻板处于不同角度时,其可能被太阳直射辐射覆盖的部位也不尽相同;同时,翻板不同部位的天空角系数也有一定差异,其所接收的散射辐射也不相同;因此翻板表面的温度分布也将有所差异.对此,本文对所选 3 个晴日当天 15:00 时(此时室外气温接近最高值,太阳辐射强度也相对较强,翻板表面的温度差异也较大)翻板表面的红外热图像进行定点取样采集,采集位置见图 5,其图像采集分析方法和分析结果如图 8 和表 1 所示.取样时外窗保持全开状态,拍摄镜头垂直于水平面,将翻板分别旋转至  $+90^{\circ}$ (取阴面图像)和  $-90^{\circ}$ (取阳面图像)进行拍摄.为对比分析翻板表面内外侧温度差异情况,本文将红外图像中的翻板图像划分为若干部分,取其中的 3 个部分分别代表翻板表面的外侧、中部和内侧

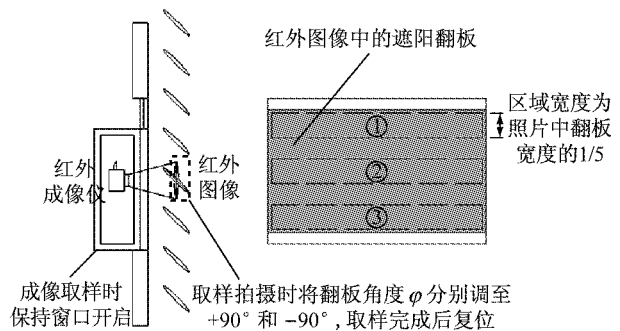


图 8 遮阳翻板阴阳面红外成像取样示意图

Fig.8 Method to photograph infrared image of louver blinds' sunside and shadedside

区域. 如图 8 所示. 当处理翻板阴面图像时, 处于上部的区域①代表阴面内侧, 区域②代表阴面中部, 区域③代表阴面外侧; 当处理翻板阳面图像时, 上部的区域①则代表阳面外侧, 区域②代表阳面中部, 区域③代表阳面内侧. 区域①、②和③的长度为图像中的翻板长度(通常横贯整个图像), 宽度为翻板显示宽度的 1/5.

表 1 翻板表面红外成像取样分析结果

翻板角度/ $^{\circ}$	翻板朝向	区域平均温度/ $^{\circ}\text{C}$		
		外侧	中部	内侧
30	阳面	45.8	43.7	41.3
	阴面	44.6	42.8	40.4
45	阳面	47.4	45.7	44.2
	阴面	45.9	44.4	43.0
60	阳面	49.3	48.2	47.6
	阴面	47.2	46.1	45.7

从表 1 可得出, 当翻板处于  $30^{\circ}$  时, 翻板表面太阳辐射强度的分布不均引起了一定的表面温度分布差异, 其翻板阳面内外侧表面温度相差约为  $4.5^{\circ}\text{C}$ , 而阴面的内外侧表面温度相差约为  $4.2^{\circ}\text{C}$ ; 而当翻板角度变化至  $45^{\circ}$  时, 翻板表面内外侧的温度分布差异有所减小, 其阳面内外侧表面温度差异减小到约  $3.2^{\circ}\text{C}$ , 阴面的内外侧温度差异减小至约  $2.9^{\circ}\text{C}$ ; 当翻板角度增大至  $60^{\circ}$  时, 翻板表面的温度分布差异进一步减小, 如表 1 所示, 翻板阳面的内外侧温度差异减小至  $1.7^{\circ}\text{C}$ , 而阴面内外侧温度差异则减小至只有约  $1.5^{\circ}\text{C}$ .

从表 1 中还可得出, 中部区域的表面温度测点在 15:00 左右时, 与翻板表面外侧和内侧可能存在  $0.4\sim 2.4^{\circ}\text{C}$  左右的温度差异, 中部区域的温度能够反映翻板表面的平均温度情况. 因此, 将翻板表面温度测点设置在宽度方向的中心区域, 以此作为翻板表面的定性温度具有合理性.

另一方面, 从表 1 中还可得出在晴日条件下, 翻板的阳面和阴面也具有一定的温度差异. 在同一位置(内侧或外侧)阳面和阴面的温度差异在最大时能够达到  $2.0^{\circ}\text{C}$ , 而最小时仅有  $0.9^{\circ}\text{C}$ . 可见, 由于遮阳翻板本身蓄热能力较弱且导热系数较大, 遮阳翻板阳面和阴面的温度差异要远比围护结构被直射面和未被直射面的差异要小得多.

### 2.3 翻板和围护结构表面的温度分布

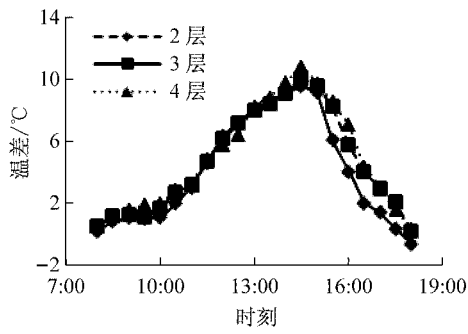
翻板遮阳的使用减少了建筑围护结构表面所得的太阳辐射, 但相对而言吸收了太阳辐射后的翻板则又作为建筑附近的热源, 阻碍围护结构表面的散热. 因此, 翻板-围护结构体系表面的温度分布情况

决定了夏季翻板对于围护结构表面散热(包括对流换热和长波辐射换热等)的影响程度. 考虑到 3 种工况实测晴日的室外气温略有差异, 表面温度情况在一定程度上受到室外空气干球温度的影响, 直接列出表面温度分布进行分析可能会受到气温差异的影响. 另一方面, 表面换热强度(特别是对流换热强度)的重要影响因素之一即为表面温度与空气间的温差, 因此, 在已给出 3 种工况测试当天室外气温逐时变化情况下, 在此列出翻板-围护结构系统中各表面与室外空气干球温度之差, 以此来衡量翻板对围护结构表面温度分布情况的影响, 见图 9~11.

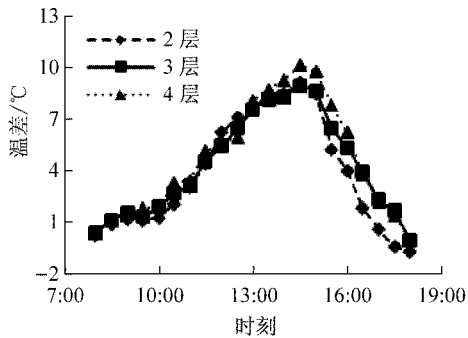
图 9a、b、图 10a、b 及图 11a、b 反映了翻板阴面和阳面表面定性温度(中部区域温度)的逐时变化情况. 从图中可得出, 3 种角度下翻板阴阳两面均在 10:30 后, 即被太阳直射辐射照射后(上海地区 7 月中旬至 8 月上旬的太阳方位角在北京时间 10:30 左右过后会小于  $70^{\circ}$ , 直射辐射能够投射到南偏西  $20^{\circ}$  的被测立面上), 会与空气温度逐渐拉开加大的温差. 其中阳面的定性温度最大能够高于室外气温  $12\sim 14^{\circ}\text{C}$ (15:00~15:30 左右, 温差随角度增大而增大), 即高于其对应的围护结构表面约  $10\sim 12^{\circ}\text{C}$ ; 阴面的定性温度最大也能够高于室外气温  $10\sim 12^{\circ}\text{C}$ (同样在 15:00~15:30 左右, 随角度增大温差增大), 即高于其对应围护结构表面约  $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ . 因此, 翻板与围护结构之间的最大的平均温差将达到  $10^{\circ}\text{C}$  左右. 此外, 从图中还可得出, 翻板阴阳两面的定性温度具有一定差异, 且最大温差一般而言出现在定性温度最高时(约 15:00~15:30), 该温差最大能够达到约  $2^{\circ}\text{C}$ , 这也与 2.2 节中红外图像的分析结果接近.

图 9c、图 10c 及图 11c 反映了夏季晴日条件下, 无翻板的外墙表面和设置翻板后的外墙表面温度的差异情况. 从图中可得出, 相同墙体构造下, 南向未设置翻板的外墙(附楼 2 层)表面温度在 10:00~11:00 后将迅速上升, 其与空气间的最大温差能达到约  $12^{\circ}\text{C}$ (约出现在 15:00~15:30 左右); 而未设置翻板外墙表面(主楼 2~4 层)的温度相对而言则要低出很多, 在 15:00~15:30 左右时仅高于室外空气温度  $0.4\sim 2.0^{\circ}\text{C}$  左右, 即与未设置翻板的外墙表面(西侧各层表面)存在着  $10^{\circ}\text{C}$  左右的最大温差.

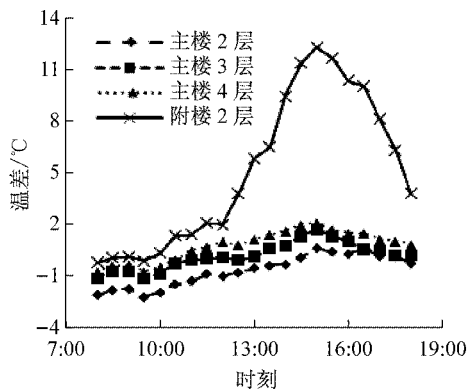
图 9d、图 10d 及图 11d 反映了夏季晴日下, 有遮阳翻板(主楼)和无遮阳翻板(附楼)的外窗玻璃表面的温度差异, 其显示出与外墙表面相类似的规律. 虽然玻璃对于太阳辐射有着较高的透过率, 但由于玻



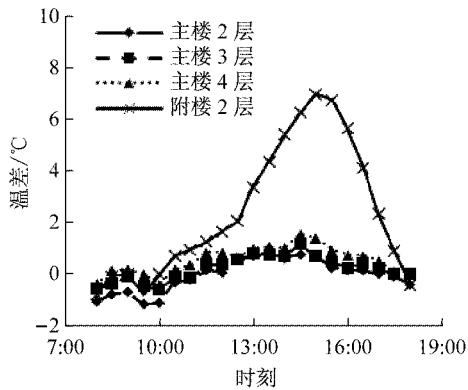
a 翻板阳面与室外空气温度之差



b 翻板阴面与室外空气温度之差



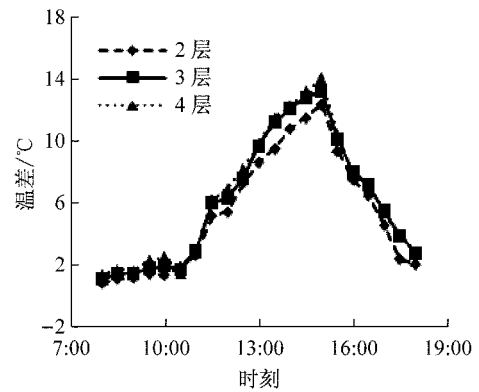
c 外墙表面与室外空气温度之差



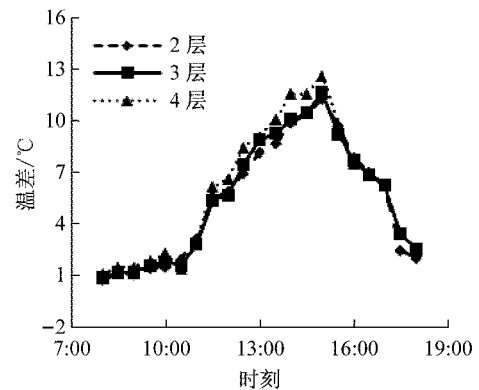
d 外窗表面与室外空气温度之差

图 9  $\phi = 30^\circ$  工况翻板-围护结构系统各测点表面温度逐时变化情况

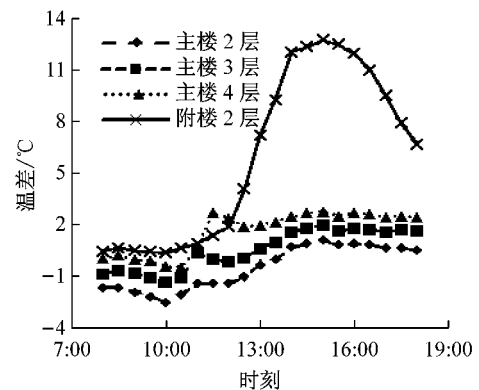
Fig. 9 Hourly temperature distribution of façade and louver blinds on a clear summer day at  $\phi = 30^\circ$



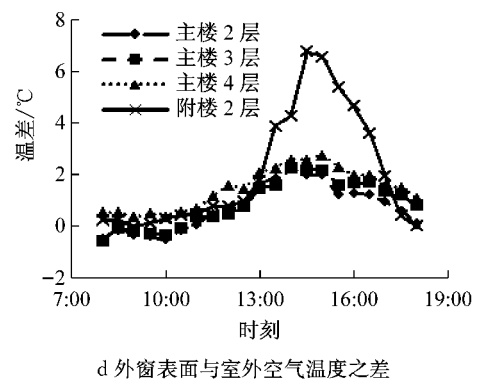
a 翻板阳面与室外空气温度之差



b 翻板阴面与室外空气温度之差



c 外墙表面与室外空气温度之差



d 外窗表面与室外空气温度之差

图 10  $\phi = 45^\circ$  工况翻板-围护结构系统各测点表面温度逐时变化情况

Fig. 10 Hourly temperature distribution of façade and louver blinds on a clear summer day at  $\phi = 45^\circ$

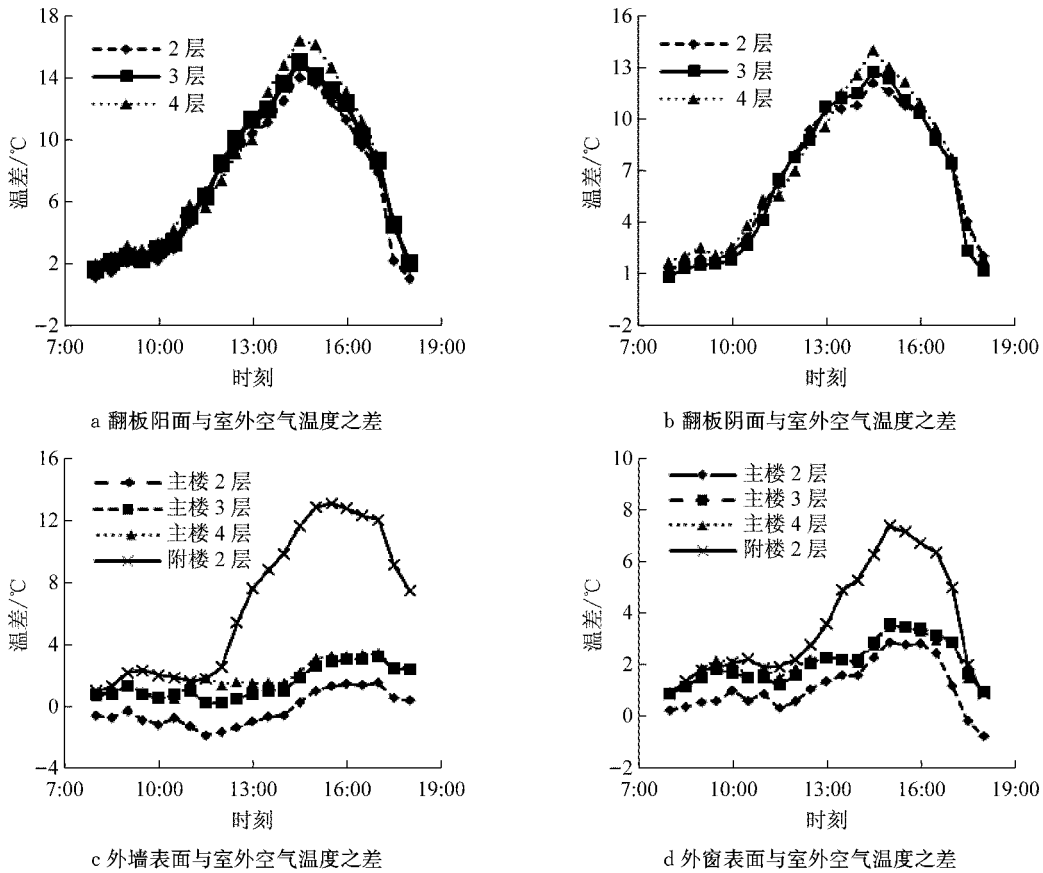


图 11  $\varphi = 60^\circ$  工况翻板-围护结构系统各测点表面温度逐时变化情况

Fig. 11 Hourly temperature distribution of façade and louver blinds on a clear summer day at  $\varphi = 60^\circ$

璃的蓄热能力不强,且导热性能较好,故在白天其表面温度均要高于其对应位置的外墙表面温度.从图中可得出,未设置翻板的南向外窗玻璃外表面温度与室外气温的最大差异能够达到  $7.5^\circ\text{C}$  (出现于  $15:00\sim 15:30$  左右),而设置翻板后的外窗玻璃表面在此时则仅能高出室外空气  $0.2\sim 2.0^\circ\text{C}$ ,设置翻板前后的玻璃表面温度差异明显.

对比图 9~11 中不同楼层测点的测量结果还可得出,翻板-围护结构系统的表面温度随着高度的增加有逐渐增高的趋势.但这种差异(同时刻最大温差不超过  $2^\circ\text{C}$ )远不及翻板和围护结构之间的温差,故此可以用整个立面的平均温度表征围护结构和翻板表面的定性温度.

### 3 实测结果分析

从实测结果中可得出,在夏季晴日白天设置翻板后,围护结构表面的温度将明显低于未设置翻板围护结构的表面温度.同时,翻板表面将会比围护结构表面的温度高出一定温度,其在最高时,二者表面的温差能达到约  $8\sim 14^\circ\text{C}$ .而表面温度的变化将在

一定程度上改变围护结构表面的换热情况(主要是对流换热情况和长波辐射换热情况).以围护结构外表面热平衡方程为基础进行分析,对于没有设置翻板的围护结构外表面而言其计算式如下<sup>[9]</sup>:

$$q_s + q_r + q_b + q_g = q_0 + q_{ca} + q_{ra} \quad (1)$$

式中: $q_s$  为围护结构外表面吸收的太阳辐射得热,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $q_r$  为围护结构外表面吸收的地面反射辐射得热,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $q_b$  为围护结构外表面吸收的大气长波辐射得热,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $q_g$  为围护结构外表面吸收的地面长波辐射得热,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $q_0$  为围护结构外表面向内表面传递的热量,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $q_{ca}$  为围护结构外表面与室外空气间的对流换热量,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $q_{ra}$  为围护结构外表面的热辐射力强度,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ . 等号左侧为围护结构外表面的得热,而等号右侧为得热的分配.在处理外表面换热时,通常来说将  $q_b$ 、 $q_g$  和  $q_{ra}$  相结合作为围护结构表面的净长波辐射换热量处理,即

$$q_{ra,n} = q_{ra} - q_b - q_g = C_b \epsilon_{sur,b} \varphi_{sur,b} \left[ \left( \frac{T_{sur}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 \right] + C_b \epsilon_{sur,g} \varphi_{sur,g} \left[ \left( \frac{T_{sur}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_g}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

式中: $q_{ra,n}$ 为围护结构表面的净长波辐射换热量, $W \cdot m^{-2}$ ;  $C_b$ 为黑体辐射常数,即  $5.67 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ;  $\epsilon_{sur,b}$ 和  $\epsilon_{sur,g}$ 分别为围护结构与天空和地面间的系统黑度; $\varphi_{sur,b}$ 和  $\varphi_{sur,g}$ 分别为围护结构与天空和地面间的角系数; $T_{sur}$ 、 $T_b$ 和  $T_g$ 分别为围护结构表面温度、天空当量温度和地面有效温度,K.在围护结构热工过程计算中, $T_b$ 通常而言将低于室外空气温度<sup>[10]</sup>,而  $T_g$ 取与室外空气温度相等<sup>[11]</sup>,而实测结果显示未设置翻板时围护结构表面温度在夏季晴日均明显高于室外气温(外墙外表面与室外气温最大温差可达约  $14^\circ C$ ,外窗玻璃外表面与室外空气最大温差可达  $7\sim 8^\circ C$ ).因此未设置翻板时, $q_{ra,n}$ 应为正值,即围护结构与环境间的长波辐射换热结果是散热.

而对于围护结构与室外空气间的对流换热,通常是通过以下公式计算:

$$q_{ca} = h_c(T_{sur} - T_{air}) \quad (3)$$

式中: $T_{air}$ 为室外空气干球温度,K; $h_c$ 为围护结构外表面对流换热系数, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ .通常与室外特征风速直接相关<sup>[10-11]</sup>.由实测结果可得出,由于夏季晴日未设置翻板的围护结构与空气间有较大的温差,因此  $q_{ca}$ 值也应为正,即与空气间对流换热的结果也为散热.

从式(1)~(3)中可看出,围护结构表面温度主要影响了其外表面的对流换热和长波辐射换热过程.而在设置翻板后,首先围护结构外表面换热情况将发生变化,热平衡方程变为

$$q'_s + q'_r + q'_b + q'_g + q_1 = q'_o + q'_{ca} + q'_{ra} \quad (4)$$

式中: $q_1$ 为围护结构外表面吸收翻板散发的长波辐射得热;上标“'”表示设置遮阳翻板后所对应的量符号.净长波辐射换热量的计算也相应变为

$$\begin{aligned} q'_{ra,n} = q'_{ra} - q'_b - q'_g - q_1 = & \\ C_b \epsilon_{sur,b} \varphi'_{sur,b} \left[ \left( \frac{T'_{sur}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T'_b}{100} \right)^4 \right] + & \\ C_b \epsilon_{sur,g} \varphi'_{sur,g} \left[ \left( \frac{T'_{sur}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T'_g}{100} \right)^4 \right] + & \\ C_b \epsilon_{sur,l} \varphi_{sur,l} \left[ \left( \frac{T'_{sur}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right] & \end{aligned} \quad (5)$$

式中: $\epsilon_{sur,l}$ 为围护结构与翻板间的系统黑度; $\varphi_{sur,l}$ 为围护结构与翻板间的角系数; $T_1$ 为翻板表面温度,K;上标“'”意义同前.根据实测结果,设置翻板后, $T'_{sur}$ 明显降低(与空气间的最大温差仅为  $2\sim 3^\circ C$ 左右),甚至有低于空气温度的时段,而  $T_1$ 则是在晴日白天一直高于  $T'_{sur}$ ;同时,高温的遮阳翻板通常设置位置都接近围护结构外立面,这使得  $\varphi_{sur,l}$ 较大,相对低温的天空和地面角系数  $\varphi'_{sur,b}$ 和  $\varphi'_{sur,g}$ 将明显小于

设置翻板前的  $\varphi_{sur,b}$ 和  $\varphi_{sur,g}$ .两方面因素的影响导致围护结构表面的净长波辐射散热强度大幅降低,甚至可能从散热变成得热.而在目前的负荷和能耗计算模型中,翻板遮阳对围护结构表面长波辐射换热的影响并没有引起足够重视:部分模型中用以描述翻板和围护结构之间角系数关系的物理模型过于简单<sup>[12-17]</sup>;部分模型甚至没有详细计算这部分的换热情况<sup>[18]</sup>.因此,对描述翻板-围护结构系统长波辐射传热过程的模型进行改进和补充显得尤为重要.

同理,设置翻板后,由于围护结构表面与室外空气间温差的大幅减少,对流换热强度也将削弱, $q'_{ca}$ 将减小,甚至在部分时段变为负值(空气温度高于围护结构壁面温度).另一方面,翻板设置后,围护结构表面与空气间的温差降低,由于该温差形成的围护结构表面贴附气流的强度也将减小;同时,翻板表面的高温将使得其表面由于自然对流而形成贴附气流,因而翻板和围护结构表面温度变化将使得围护结构近壁面的气流分布情况发生改变,原有的  $h_c$  计算公式可能将不再适用.而目前的建筑热过程模型中,并没有对这部分的变化加以充分的描述<sup>[15-18]</sup>.

综上所述,翻板的设置改变了围护结构表面的温度分布,进而影响了其表面对流换热和长波辐射换热过程.从结果来看,二者的强度与未设置翻板的围护结构相比将有明显的减弱,甚至可能使其效应从散热变为得热.而现有的建筑热过程计算模型中,对于翻板和围护结构表面的长波辐射换热和对流换热过程的描述均过于简略,对二者的补充和完善显得尤为必要.

## 4 结论

对于建筑而言,翻板遮阳的设置不仅遮蔽了绝大部分的太阳辐射,而且还影响了围护结构周边的气流情况,改变了建筑周边的长波辐射热环境,进而使得围护结构外表面的传热过程产生变化.本文测量了在夏季晴日,由于该表面传热过程变化而产生的翻板-围护结构系统表面的温度分布情况,并与相同情况下未设置翻板的围护结构进行比较,得出以下主要结论:

(1) 翻板表面由于内外受热不均,其表面内外侧与阴阳面都会产生一定的温度差异.在太阳辐射水平较高,翻板表面温度也较高的下午(约  $15:00\sim 15:30$ ),内外侧的温度差异最大达到  $4.5^\circ C$ ,最小则为  $1.5^\circ C$ ,并且该温度差异随着翻板角度的增大而

逐渐减小。此时,相同位置阴阳面的温差最大约为 2 °C。

(2) 在所测立面能够接收到被太阳直射辐射后(10:30 过后),翻板表面的温度将明显高于其对应的围护结构表面的温度,其平均温差最高达到 10 °C 左右。

(3) 设置翻板后的围护结构表面温度在夏季晴日的白天明显低于未设置翻板的围护结构表面。对于外墙而言,在其表面温度最高的时刻(约 15:00~15:30),设置翻板的外墙外表面温度会比未设置翻板的外墙外表面温度低约 10~12 °C;对于外窗玻璃而言,设置翻板的外窗玻璃则会比未设置翻板的玻璃表面温度低约 5~7 °C。

(4) 翻板设置引起的表面温度变化将明显地影响围护结构外表面的对流换热和长波辐射换热。从结果上来看,二者的散热效应减弱、甚至变为得热。而当前建筑热过程模型中对翻板设置后,二者情况的描述较为简化。因此,后续研究将以此次实测为数据基础,对翻板设置后,围护结构表面对流换热和长波辐射换热的具体情况进行研究。

#### 参考文献:

- [ 1 ] HOYANO A, ASANO K. Analysis of the sensible heat flux from the exterior surface of building using time sequential thermography[J]. *Atmospheric Environment*, 1999, 33(24/25):3941.
- [ 2 ] 林波荣,李晓锋,朱颖心. 太阳辐射下建筑外微气候的实验研究——建筑外表面温度分布及气流特征[J]. *太阳能学报*, 2001,22(3):327.  
LIN Borong, LI Xiaofeng, ZHU Yingxin. Study on solar radiation effects on the microclimate of building envelope; the characteristics of external surface temperature and airflow[J]. *Acta Energiæ Solaris Sinica*, 2001, 22(3):327.
- [ 3 ] 王孝邦,黄晨,王丽慧. 建筑垂直外壁面温度分布及换热系数实测研究[J]. *流体机械*, 2011,39(1):69.  
WANG Xiaobang, HUANG Chen, WANG Lihui. Experimental study of temperature distribution and heat transfer coefficient of vertical exterior surface of a building[J]. *Fluid Machinery*, 2011, 39(1):69.
- [ 4 ] 陶求华,李峥嵘,蒋福建. 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(自然科学版)*, 2013,36(9):151.  
TAO Qiuhua, LI Zhengrong, JIANG Fujian. Necessity of shading on north facade and optimal selection of shading device [J]. *Journal of Chongqing University (Natural Science Edition)*, 2013, 36(9): 151.
- [ 5 ] 张磊,孟庆林. 百叶外遮阳太阳散射辐射计算模型及程序实现[J]. *土木建筑与环境工程*, 2009,31(6):92.  
ZHANG Lei, MENG Qinglin. Calculating model of solar diffuse radiation transporting through external blinds and its program realization[J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2009, 31(6):92.
- [ 6 ] CHOI J P, LEE T Y, AHN E S. Evaluation of parameters for louver design algorithm based on direct solar radiation control performance [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 838: 1917.
- [ 7 ] 汤民. 百叶外遮阳对建筑自然通风影响的研究[D]. 上海:同济大学,2007.  
TANG Min. The effect of louver blinds on the natural ventilation of buildings [D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [ 8 ] 中国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.  
Climate Data Office of Chinese Climate Information Center, Department of Building Science and Technology of Tsinghua University. Chinese standard weather data for Chinese building thermal environment [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.
- [ 9 ] 彦启森,赵庆珠. 建筑热过程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1991.  
YAN Qisen, ZHAO Qingzhu. Building thermal process[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1991.
- [10] MARTIN M. Characteristics of infrared sky radiation in united states[J]. *Solar Energy*, 1984, 33(3/4):321.
- [11] LEON M A. Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors [J]. *Solar Energy*, 2007, 81(1):62.
- [12] ISO. Thermal performances of window, doors, and shading devices-detailed calculations: ISO/FDIS 15099: 2003 [S]. Switzerland: ISO Copyright Office, 2003.
- [13] ITO N, KIMURA K, OKA J. A field experiment study on the convective heat transfer coefficient on exterior surface of a building[J]. *ASHRAE Trans*, 1972, 78(1):184.
- [14] YAHODA D S, WRIGHT J L. Methods for calculating the effective solar-optical properties of a venetian blind layer[J]. *ASHRAE Transactions*, 2005,111(1):572.
- [15] U Lawrence Berkeley Laboratory. Energy plus engineering reference 2012[EB/OL]. [2016-05-10]. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. U S Department of Energy.
- [16] CLARKE J A. Energy simulation in building design[M]. 2nd ed. London: Routledge, 2001.
- [17] ESRU. ESP-r [EB/OL]. [2016-05-10]. <http://www.esru.strath.ac.uk/programs/esp-r.htm>.
- [18] 宋芳婷,诸群飞. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第 5 讲:影响建筑热过程的各种外界因素的取值方法[J]. *暖通空调*, 2004,34(11):52.  
SONG Fangting, ZHU Qunfei. Building environment design simulation software DeST(5): generation of the values of the extraneous factors influencing building thermal processes[J]. *Heating Ventilating & Air Conditioning*, 2004, 34(11):52.