

# Nanjing, the Double-Window Envelope Measurement Study

Zheng Qiu<sup>1</sup>, Hongwei Gong<sup>1</sup>, Xiang Duan<sup>2</sup>, Jing Wang<sup>2</sup>

1. Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China

2. Shanghai Landsea Architecture Technology Co., Ltd, Shanghai 200135, China

1. sanwen@njut.edu.cn, 2. duanxiang@landsea.cn

**Abstract:** Build the indoor temperature, the window surface temperature and outdoor temperature testing equipment. Villa in Nanjing, east, south, west towards the LOW-E insulating double-glazed windows in the surface temperature of the continuous testing of different orientation and different times of the LOW-E insulating double glazed windows in the inner surface temperature is analyzed and different towards the LOW-E insulating double-glazed windows of the indoor heat gain are analyzed and compared, radiation accounts for most of interior heat gain. South towards the LOW-E insulating double window somehow calories a day minimum, while the West and East towards the LOW-E insulating double window calories a day of generally equal.

**Keywords:** Building energy efficiency; LOW-E insulating double-glazed windows; measured; heat gain

## 南京地区围护结构之双层窗实测研究

仇锋<sup>1</sup>, 龚红卫<sup>1</sup>, 段翔<sup>2</sup>, 王晶<sup>2</sup>

1.南京工业大学, 江苏 南京 210009

2.上海朗诗建筑科技有限公司, 江苏 南京 210009

sanwen@njut.edu.cn

**摘 要:** 搭建了室内温度、窗户内表面温度和室外温度的测试装置。对南京别墅的东、南、西朝向的 LOW-E 中空双层玻璃窗内表面温度进行了连续测试, 对不同朝向和不同时间的 LOW-E 中空双层玻璃窗内表面温度变化进行了分析, 并对不同朝向的 LOW-E 中空双层玻璃窗的室内得热进行了分析比较, 双层窗太阳辐射形成的得热占室内得热量的大部分。南朝向的 LOW-E 中空双层窗一天的总得热量最小, 而西和东朝向的 LOW-E 中空双层窗一天的总得热量相等。

**关键词:** 建筑节能; LOW-E 中空双层玻璃窗; 实测; 得热

## 1 引言

随着建筑墙体材料的革新, 墙体能耗大大降低, 从而外窗的能耗多少则成为建筑节能的重中之重。外窗的热损失 (包括冷风渗透、辐射换热和传导热损失) 可达建筑围护结构总热损失的 50% 左右, 因此在建筑节能工作中降低外窗的能耗是非常重要的<sup>[1]</sup>。然而单层玻璃窗的研究已经较为成熟, 双层玻璃窗的研究则相对较少。所以研究双层玻璃窗内表面温度随着室外温度、太阳照射的变化情况, 对于深入的了解双层玻璃窗在实际工程中的应用有重要的指导意义。

资助信息: 住房和城乡建设部 2010 年科学技术项目 (NO.2010-K2-13)

## 2 实测空间

在夏季初始 6 月末, 选取 6 月 25 号作为实验时间。实验别墅建于南京六合区郊区某地, 别墅大厅分为一层东侧房间、一层正中和一层大空间, 物理模型为一层东立面上的左右两扇 LOW-E 中空双层玻璃窗户, 一层南立面上的下面一扇 LOW-E 中空双层玻璃窗户, 以及一层西立面上的四扇 LOW-E 中空双层玻璃窗户。窗户都是采用的 LOW-E 5×9×5 中空玻璃窗, 辐射率《0.25, 传热系数 K=2.2 W/(m<sup>2</sup>·K)。别墅平面图如下: 一层东立面上的左右两扇 LOW-E 中空双层玻璃窗户分别高 2600mm, 宽 1200mm。窗户上布置了点

A1,A2 和 A3,在它们 3 个点的外窗贴了锡箔纸,用于防太阳辐射干扰对温度测定的影响,窗户上布点位置如下图 2 所示。

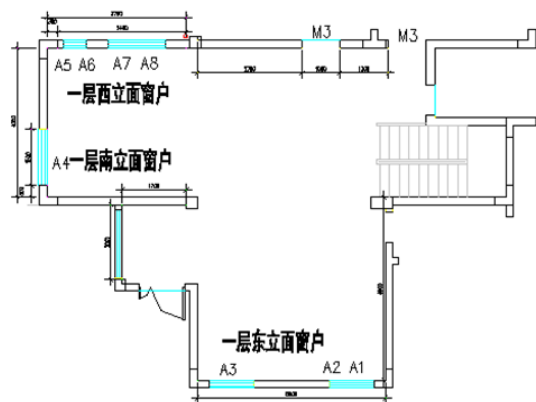


Figure 1. Experiment room plan

图 1. 实验房间平面图



Figure 2. A layer of the east window

图 2 一层东立面窗户

一层西立面上左边的上下两扇 LOW-E 中空双层玻璃窗户高 2600mm, 宽 600mm。窗户上布置了点 A6,A5。右边的上下两扇 LOW-E 中空双层玻璃窗户高 2600mm, 宽 1500mm。窗户上布置了点 A8,A7, 西立面的外窗上点 A5、A7 分别贴了锡箔纸, 窗户上布点位置如下图 3 所示。

一层南立面的 LOW-E 中空双层玻璃窗户高 2600mm, 宽 1500mm。窗户上布置了点 A4, 在点的外窗上贴了锡箔纸, 窗户上布点位置如下图 4 所示。



Figure 3. A layer of the west window

图 3 一层西立面窗户



Figure 4. A layer of the south window

图 4 一层南立面窗户

### 3 LOW-E 中空双层玻璃窗内表面温度变化

#### 3.1 东向窗户的温度变化

从实测数据库里截取 6 月 25 号一天的东、南、西各个朝向窗户的温度和室内温度以及室外温度的测试数据, 绘制成图, 如图所示:

三条温度曲线的变化都是从 0 点到 6 点移动平缓, 波动不大。从 6 点开始上升, 达到最大值, 然后下降至 24 点, 室内温度 (25.9℃) 和窗户温度 (24℃) 在 24 点达到最小值。室外温度在 2 点达到最小值 (23℃)。

室内温度大部分时间总大于室外温度，室外温度从 6 点开始和室内温度存在 3 度左右的温差，温度同时上升，随后温差逐渐减小，在 15 点左右温度同时下降，然而室内的温度下降的快些，在 16 点左右温度达到相同，室外和室内温度继续下降，而室内降温慢，室外降温快。因为有维护结构，室内的热量以辐射的形式向外面放热，受到维护结构的阻挡，不能向外界很好释放热量。

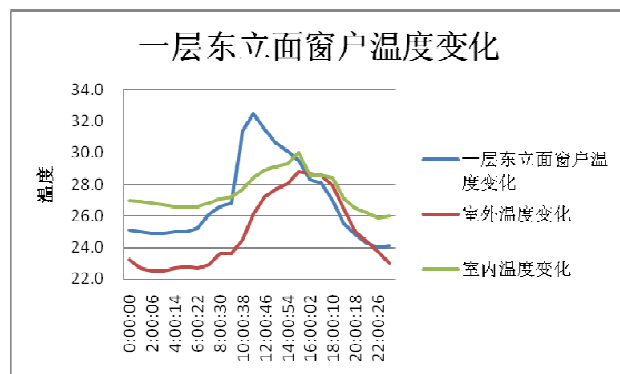


Figure 5. A layer of the east window the temperature change  
图 5. 一层东立面窗户温度变化

0 点时，一层东立面窗户温度为 25 °C，到 6 点温度基本无变化。早上 6 点，窗户的温度维持在室内温度 26.6°C 和室外温度 22.7°C 之间，室内向窗户放热，窗户向室外放热。随着太阳的升起，室外温度上升，向窗户放热，太阳照射使其温度逐渐上升，并在 9 点左右温度超过了室内温度（27°C），它同时向室外和室内放热，在 11 点 30 左右达到温度最大值（32.5°C），随后太阳照射变弱、直至消失，窗户的温度不断下降。在下午 2 点左右温度降至室内温度（29.5°C）以下，在 4 点左右温度降至室外温度（28.7°C）以下，同时向室外和室内得热。

### 3.2 南向窗户的温度变化

三条温度曲线的变化都是从 0 点到 6 点移动平缓，波动不大。从 6 点开始上升，达到最大值，然后下降至 24 点，室内温度（25.9°C）和一层南立面窗户温度（24.3°C）在 24 点达到最小值。室外温度在 2 点达到最小值（23°C）。

0 点时，一层南立面窗户温度为 25.5 °C，0 点到 6 点温度上下波动。早上 6 点，窗户的温度 25.5°C 维持在室内温度 26.6°C 和室外温度 22.7°C 之间，室内向窗

户放热，窗户向室外放热。随着太阳的升起，室外温度上升，向窗户放热，窗户升温，到 9 点左右时，窗户温度曲线的斜率变大了，由于太阳光的照射加快它的升温，在 12 点的时候窗户温度达到了最大值

（30.9°C），随后太阳照射变弱、直至消失，窗户的温度不断下降，下降的速度比室外和室内温度都快。在 16 点左右降至室外 28.6°C 和室内温度 28.6°C，然后继续下降，同时向室内和室外得热。在 23 点达到最小值 24.6°C。

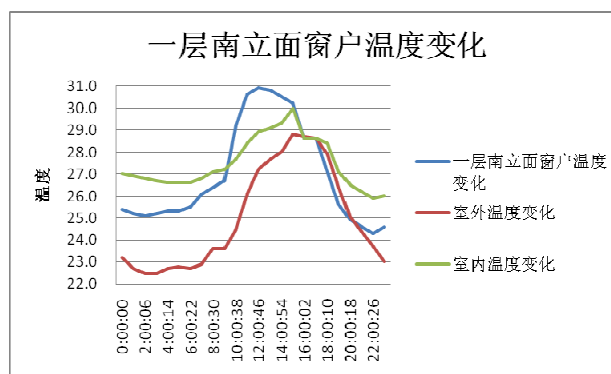


Figure 6. A layer of the south window the temperature change  
图 6. 一层南立面窗户温度变化

### 3.3 西向窗户的温度变

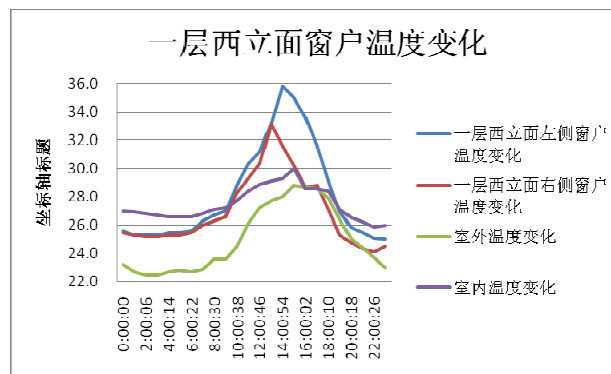


Figure 7. A layer of the wsst window the temperature change  
图 7. 一层西立面窗户温度变化

三条温度曲线的变化都是从 0 点到 6 点移动平缓，波动不大。从 6 点开始上升，达到最大值，然后下降至 24 点。

0 点时, 一层西立面窗户温度为 25.5 °C, 0 点到 6 点温度上下波动。早上 6 点, 窗户的温度维持在室内温度和室外温度之间, 室内向窗户放热, 窗户向室外放热。随着太阳的升起, 室外温度上升, 向窗户放热, 窗户升温, 左侧的窗户升温速度快于右侧的, 到 9 点左右时, 窗户温度上升到和室内温度 (27°C) 相同, 随后超过室内温度, 向室外和室内同时放热。在 13 点左右窗户受到太阳照射, 温度变化斜率变大, 左侧的窗户温度变化斜率大于右侧的。因为由于屋檐遮挡太阳光线的原因, 太阳先照射到左侧的窗户, 随后才照射到右侧的窗户。在 13 点右边窗户温度 (33.1°C) 达到最大值。在 14 点左边窗户温度 (35.8°C) 达到最大值。随后温度逐渐下降。在 17 点, 右边窗户温度 (28.6°C) 降到和室内外温度一样, 随后温度下降的速度比室内外快, 温度低于室内外。在 21 点, 温度 (24.4°C) 和室外温度相同, 然后保持在室外和室内温度之间。在 18 点, 左边窗户温度 (27.9°C) 降到和室内温度一样, 然后温度保持在室外和室内温度之间。

### 3.4 东南西向窗户的温度变化

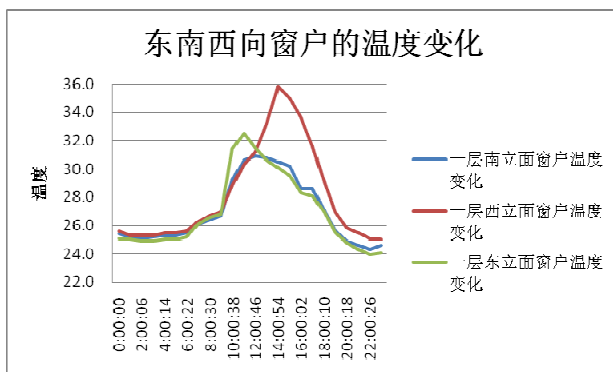


Figure 8. East Southwest to the window temperature

图 8.东南西向窗户温度变化

从 0 点到 9 点, 各朝向温度的变化曲线一致, 从 9 点开始, 太阳光照射东面窗户, 一层东立面窗户的温度升高的速度最快, 而此时西立面和南立面窗户的温度变化曲线仍然保持一致。在 11 点, 东立面窗户温度 (32.5°C) 首先达到最大值。然后太阳辐射减小, 温度下降。在 12 点, 西立面窗户受到太阳光照射, 温度升高速度加快, 而此时南立面窗户太阳照射渐渐减弱, 温度缓慢下降, 温度略高于东窗温度。在 14 点, 西立面窗户温度升高到最大值 35.8°C, 然后太阳照射

逐渐减弱, 温度下降。在 24 点, 一层西立面窗户温度 (25°C) 达到最小值。

### 3.5 双层窗朝向得热比较

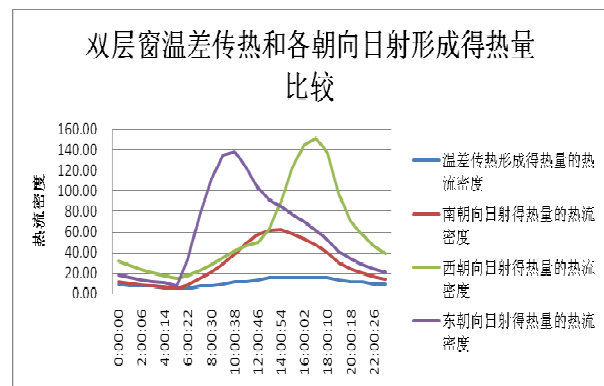


Figure 9. Double-window heat gain change towards

图 9.双层窗朝向得热变化

(1) 在凌晨 5 点左右, 各曲线热流密度都达到最小值, 温差传热的热流密度曲线变化平缓, 在下午 14 点左右达到最大值。各朝向的日射得热的热流密度曲线从 0 点开始都在下降, 但西立面窗户的热流密度值高于南和东立面的窗户, 在 5 点左右都开始变大, 由于太阳出来了, 受到太阳照射, 东立面窗户的日射得热的热流密度上升最快, 在 10 点达到最大值, 然后不断下降。随着地球的转动, 南立面窗户受到太阳照射, 热流密度在 13 点左右达到最大值, 然后不断下降。太阳在下午 13 点开始照射西立面窗户, 在 16 点西立面窗户日射热流密度也达到最大值。

(2) LOW-E 中空玻璃窗在各个朝向由于温差传热产生的得热量远远小于日射形成的得热量。并且各朝向 24 小时内日射得热达到最大值的顺序随着太阳照射顺序, 依次为: 一层东立面窗户, 一层南立面窗户, 一层西立面窗户。且热流密度最大值的比较存在关系: 西立面窗户日射热流密度 > 东立面窗户日射热流密度 > 南立面窗户日射热流密度 > 温差传热热流密度。

### 3.6 各朝向双层窗 24 小时总得热量比较

从图中看出在供冷季, 一天 24 小时的一层南立面窗户形成的室内总得热量的热流密度较小, 即形成的室内总得热量比东和西立面窗户小, 只有东和西立面窗户总得热量的 57.7%。一层东和西立面窗户的一天 24 小时的总得热量一样多。

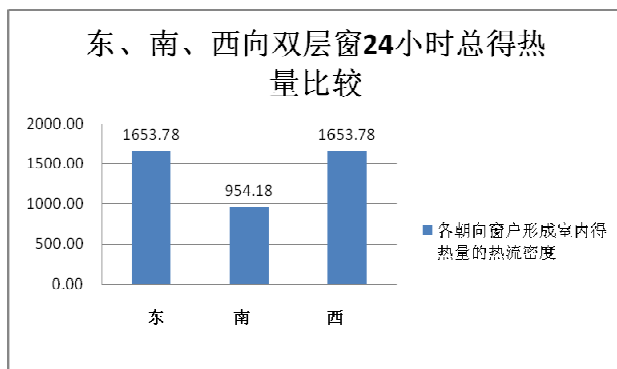


Figure 10. The double window toward the 24-hour gotta heat  
图 10. 双层窗各朝向 24 小时总得热量

#### 4 结语

(1) 一层东立面窗户在 11 点半内表面温度达到最大值, 24 点达到最小值。一层南立面窗户在 12 点内表面温度达到最大值, 在 23 点达到最小值。一层西立面左侧窗户在 14 点内表面温度达到最大值, 右侧窗户在 13 点内表面温度达到最大值。共同点: 在 9 点到 14 点之间各朝向 LOW-E 中空双层玻璃窗的内表面温度比室外和室内都高。

(2) LOW-E 中空双层玻璃窗在各个朝向温差传热产生的室内得热量远远小于日射形成的室内得热量。并且各朝向日射得热 24 小时内达到最大值的顺序依次是: 一层东立面窗, 一层南立面窗, 一层西立面窗。各最大值之间存在关系: 西立面窗户最大日射得热

量>东立面窗户最大日射得热量>南立面窗户最大日射得热量>温差传热形成得热量。

(3) 各朝向上的双层窗户的得热量与室内外温差传热以及太阳辐射吸热有关, 而前者只是双层窗户得热的很小一部分, 太阳辐射所造成的双层窗得热占大部分, 对东、南、西各朝向双层窗得热量起主导作用。

(4) 南朝向的 LOW-E 中空双层玻璃窗一天 24 小时形成的室内总得热量最小, 只有东和西立面窗户室内总得热量的 57.7%。而西和东朝向的 LOW-E 中空双层玻璃窗一天形成的室内总得热量相等。

#### References (参考文献)

- [1] YAN Qisen, ZHAO qingzhu. Building thermal process[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1986  
彦启森, 赵庆珠. 建筑热过程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986
- [2] QIAN yiming, Air-conditioning and energy saving high-rise building[M]. Shanghai: Tongji University Press  
钱以明, 高层建筑空调与节能[M]. 上海: 同济大学出版社, 1990
- [3] LU yaoqing, Design Manual heating and air conditioning[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1986  
陆耀庆. 供热空调设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986
- [4] YANG Wan-sheng, Error Analysis of On-site Detecting Heating Flux for Envelope Structure by Solar Radiation, ENERGY-SAVING TECHNOLOGY & MEASURE, No.7 in 2009 (Total No.221, Vol.37)P70-80  
杨晚生, 太阳辐射对围护结构热流密度的现场检测误差分析 2009 年第 7 期(总第 37 卷第 221 期)P70-80