

# 含石蜡层玻璃幕墙动态传热特性实验

李 栋, 吴洋洋, 刘昌宇, 周英明, 刘晓燕

(东北石油大学土木建筑工程学院, 大庆 163318)

**摘 要:** 基于搭建的含石蜡层玻璃幕墙传热实验装置,在大庆地区室外环境开展幕墙填充石蜡前后及在不同熔点石蜡等条件下幕墙动态传热实验,获得秋季和初冬季节典型天气下幕墙填充石蜡前后夹层温度、房内温度动态变化规律。实验结果表明:太阳的辐照度对环境温度升降有明显的促进作用;幕墙夹层填充石蜡使其温度显著降低,太阳辐照度越高,其降温效果越明显,而实验房内夜间温度升高、日间温度降低,使房内热舒适性明显改善。

**关键词:** 幕墙; 石蜡; 传热; 实验

**中图分类号:** TK124

**文献标识码:** A

## 0 引 言

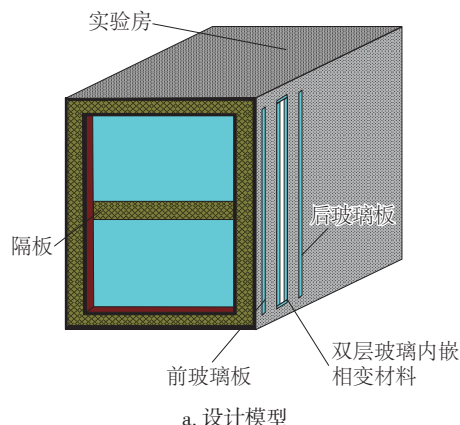
据统计,建筑能耗约占社会总能耗的 30%,其中建筑围护结构占建筑能耗的 50%,而玻璃幕墙类围护结构能耗尤为严重<sup>[1,2]</sup>。目前在玻璃围护结构中添加石蜡等半透明相变材料改善其光热性能是新技术之一,但其动态传热机理和材料物性研究尚处于起步阶段<sup>[3,4]</sup>。

国内外众多学者对含相变材料玻璃围护结构传热过程进行了研究<sup>[5-10]</sup>。例如 Alvaro 等<sup>[5,6]</sup>测试含 SP-22 相变材料双层玻璃幕墙系统内表面温度,发现其可有效减少空调负荷。Francesco 等<sup>[7]</sup>对含石蜡相变玻璃窗与传统玻璃窗进行对比实验,发现供热和制冷季节含相变材料窗室内可形成更舒适的热环境。Silva 等<sup>[8]</sup>搭建含相变材料和不含相变材料对比实验房,研究结果说明相变材料潜热能够调节一定的室内环境温度,并能提高建筑的能源利用效率。上述文献表明填充半透明相变材料可改善玻璃围护结构光热性能,但目前针对严寒地区的相关实验研究尚少。

本文考虑严寒地区环境特点,搭建含石蜡层玻璃幕墙传热实验装置,进行实验研究,分析幕墙填充石蜡前后夹层温度及房内温度动态变化情况,并研究石蜡熔点对其影响。

## 1 实验方法

含石蜡层玻璃幕墙传热实验装置位于东北石油大学,其主要包括 3 组对比实验房、分光辐射表、辐射自计仪、T 型热电偶、安捷伦温度巡检仪、计算机等。实验房外部尺寸为 86 cm×96 cm×120 cm、内部尺寸为 58 cm×84 cm×93 cm,如图 1a 所示。图 1b 为标记 3 组实验实物照片,由右至左编号依次为 1#、2#、3#,实验房朝南向阳侧为由前玻璃板和后玻璃板组成的玻璃幕墙类通道,该通道宽度为 145 mm,其中 1#、2#实验房幕墙类通道中间层为内嵌相变材料的双层玻璃幕墙。玻璃和石蜡层厚度分别为 4.0 mm 和 5.5 mm。1#石蜡层的相变点为



收稿日期: 2016-07-26

基金项目: 国家自然科学基金(51306031)

通信作者: 李 栋(1979—), 男, 博士、副教授, 主要从事太阳能利用方面的研究。lidonglvyan@126.com



b. 实物照片

图1 实验装置图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental device

299 K(26 ℃)、相变潜热为 224 kJ/kg, 2#石蜡层的相变点为 305 K(32 ℃)、相变潜热为 238 kJ/kg。

实验所用仪器设备见表 1。安捷伦温度巡检仪通过 T 型热电偶对 3 组对比实验房幕墙通道及室内外实时温度数据进行监测,同时辐射自计仪记录下分光辐射表所接受到的瞬时太阳辐射,由计算机自动记录下辐射和温度数据,其中温度巡检仪和辐射自计仪记录周期为 10 min。

表 1 主要实验仪器

Table 1 Main experimental instrument

仪器名称	型号/规格	生产厂家/品牌
温度数据采集仪	Agilent 34970A	美国 Agilent 公司
热电偶	T 型	自制
辐射数据自计仪	QTS-4	锦州阳光气象科技有限公司
分光辐射表	TBQ-4-5	锦州阳光气象科技有限公司

实验房幕墙内侧热流密度表达式可近似表示为:

$$q = \alpha(T_s - T_6) \quad (1)$$

式中,  $q$  ——室内热流密度,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;  $\alpha$  ——空气耦合换热系数,取  $7.43 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;  $T_s$  ——幕墙室内侧温度;  $T_6$  ——实验房室内温度。

## 2 实验结果及分析

图 2 为 2015 年 9 月 24 日(多云)、10 月 8 日(晴)、10 月 17 日(阴雨)的太阳辐射度与温度测量数据。由图 2 可知,多云天气时由于云彩遮挡太阳,辐射度存在一定波动,在阴雨天太阳辐射度小

于  $180 \text{ W}/\text{m}^2$ ,在晴朗天气时太阳辐射强度达到峰值  $786 \text{ W}/\text{m}^2$ 。此外由图 2 还可知,在多云和晴朗天气下室外温度峰值时间比太阳辐射度延迟 1.5 h,说明太阳辐射对环境温度的升降有明显促进作用。

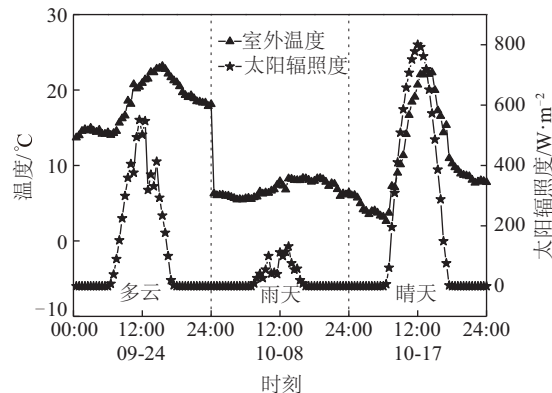


图2 太阳辐射和室外温度

Fig. 2 Solar irradiation and outdoor temperature

图 3 为幕墙夹层温度分布情况,图 4 是幕墙靠近室内侧玻璃表面温度情况,图 5 为实验房内空气温度情况,图 6 是实验房幕墙内侧表面热流密度情况。由图 3 可知,填充石蜡层后幕墙夹层温度发生明显改变,在阴雨时 3#实验房幕墙内空气温度较 1#、2#实验房石蜡层温度高  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ,在多云时高  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ ,在晴朗时高  $11 \text{ }^\circ\text{C}$ 。由此说明石蜡的存在使幕墙夹层温度显著降低,并且太阳辐射强度越高、其降温效果越明显,其原因在于石蜡吸收大量的太阳能而发生相变导致幕墙夹层升温幅度较小。

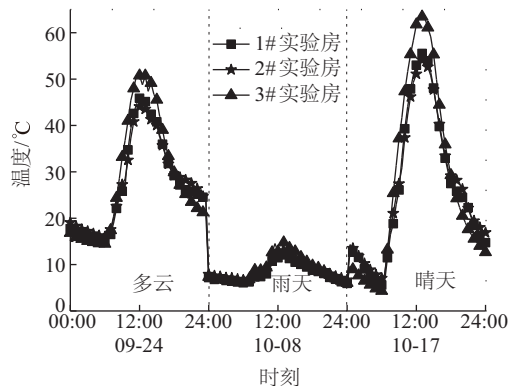


图3 幕墙夹层温度

Fig. 3 Temperature of facade interlayer

由图 4 和图 5 可知,多云天气时,在夜间时段 3#实验房幕墙内侧玻璃表面温度和房内空气温度最小值同 1#、2#实验房相比低  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,但在正午时段

内 3#实验房幕墙内侧玻璃表面温度和房内空气温度最大值同 1#、2#实验房相比高 7℃;在阴雨时,在夜间时段 3#实验房幕墙内侧玻璃表面温度和房内空气温度最小值同 1#、2#实验房相比低 1.5℃,而在正午时段内 3#实验房幕墙内侧玻璃表面温度和房内空气温度最大值同 1#、2#实验房相比高 3℃;晴朗天气时,在夜间时段 3#实验房幕墙内侧玻璃表面温度和房内空气温度最小值同 1#、2#实验房相比低 4℃,而在正午时段 3#实验房幕墙内侧玻璃表面温度和房内空气温度最大值同 1#、2#实验房相比高 10℃。同时由图 5 可知,玻璃幕墙填充石蜡后其房内温度峰值时间明显延迟,但填充两者不同熔点石蜡对其影响较小。由此说明,幕墙填充石蜡后,实验房内夜间温度升高、日间温度降低,热舒适性得到明显改善。

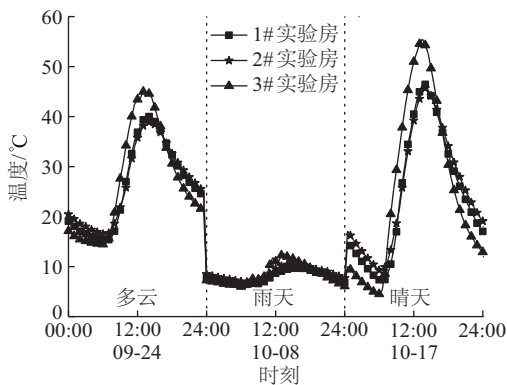


图4 幕墙内侧玻璃表面温度

Fig. 4 Temperature of facade interior surface

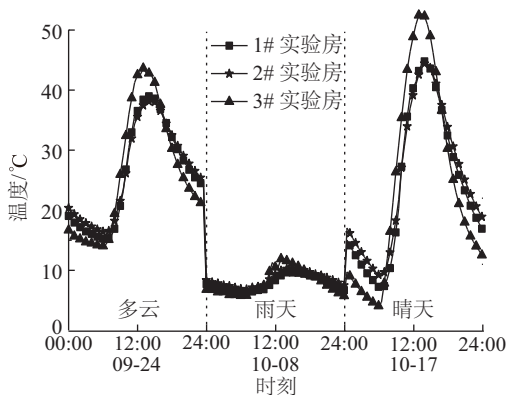


图5 实验房内空气温度

Fig. 5 Airflow temperature of experimental room

由图 6 可知,不同天气状况时 3#实验房热流密度与 1#、2#实验房显著不同。多云天气时 3#实验房热流密度在正午(约 12:00)达到峰值,为 15 W/m<sup>2</sup>,而

在日落后(17:00~20:00)其热流密度呈现负值,这是由于此时间段室外温度降低而室内温度变化较小的缘故;但随着室内热量传到室外造成室内温度与室外温度基本一致,导致 20:00~次日 06:00(太阳升起前)的热流密度很小。由于石蜡的吸热融化影响,导致 1#、2#实验房幕墙内侧温度明显低于其室内温度,从而导致部分时刻热流密度出现负值,但随着 1#、2#实验房吸收太阳能辐射的增加以及石蜡融化,幕墙内侧温度高于室内温度造成热流密度为正值。阴雨时,同 3#实验房相比,含石蜡层实验房热流密度波动范围明显减小,其原因在于石蜡层增加了围护结构的蓄热能力。在晴天时,在室外温度和太阳辐射的影响下,3 种实验房热流密度在中午时刻显著不同,而在无太阳时刻其差距较小,其原因在于晴天石蜡层吸收的能量满足最大潜热后其温度在一定时间段内变化缓慢,同时透过石蜡层的太阳辐射能使得室内空气温度升高。

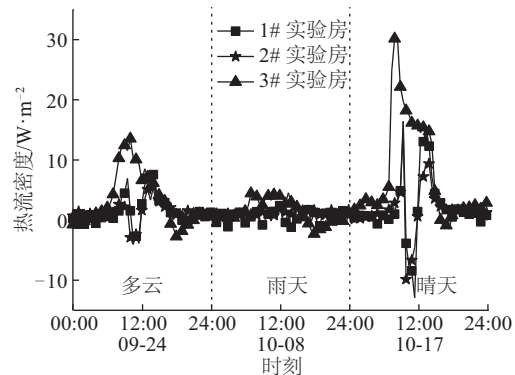


图6 幕墙内表面热流密度

Fig. 6 Heat flux of facade interior surface

### 3 结 论

为降低严寒地区玻璃围护结构建筑能耗,提高其蓄热能力,可发展含石蜡类半透明相变材料玻璃幕墙围护结构技术,本文对此技术进行室外条件实验探索研究,得出如下主要结论:

1)幕墙夹层填充石蜡使其温度显著降低,在晴朗时其温度可降低 11℃,并且太阳辐射强度越高,降温效果越明显。

2)幕墙填充石蜡后,实验房内夜间温度升高、日间温度降低,其热舒适性得到明显改善,但填充石蜡熔点对其影响较小。

3)玻璃幕墙填充石蜡后其房内温度峰值时间明显延迟,说明相变材料可有效提高幕墙的隔热性能。

## [参考文献]

- [1] 孙红三, 吴如宏, 燕 达. 太阳辐射的室内表面能量计算方法研究与开发[J]. 太阳能学报, 2015, 36 (12): 3054—3059.
- [1] Sun Hongsan, Wu Ruhong, Yan Da. Research and development of method for indoor surface solar radiation [J]. *Acta Energeticae Solaris Sinica*, 2015, 36 (12) : 3054—3059.
- [2] 韩宗伟, 王一茹, 阿不来提·依米提. 太阳能热泵相变蓄热供暖系统参数影响研究[J]. 太阳能学报, 2015, 36(8): 2028—2035.
- [2] Han Zongwei, Wang Yiru, Ablat · Yimit. Parameter study of solar assisted heat pump heating system with phase change thermal storage[J]. *Acta Energeticae Solaris Sinica*, 2015, 36 (8): 2028—2035.
- [3] Soares N, Costa J J, Vicente R, et al. Numerical evaluation of a phase change material-shutter using solar energy for winter nighttime indoor heating[J]. *Journal of Building Physics*, 2014, 37(4): 367—394.
- [4] Kenisarin M, Mahkamov K. Passive thermal control in residential buildings using phase change materials[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2016, 55: 371—398.
- [5] de Gracia A, Navarro L, Castell A, et al. Experimental study of a ventilated façade with PCM during winter period[J]. *Energy and Buildings*, 2013, 58: 324—332.
- [6] de Gracia A, Navarro L, Castell A, et al. Thermal analysis of a ventilated facade with PCM for cooling applications[J]. *Energy and Buildings*, 2013, 65: 508—515.
- [7] Goia F, Perino M, Serra V. Improving thermal comfort conditions by means of PCM glazing systems[J]. *Energy and Buildings*, 2013, 60: 442—452.
- [8] Silva T, Vicente R, Rodrigues F, et al. Development of a window shutter with phase change materials: Full scale outdoor experiment approach [J]. *Energy and Buildings*, 2015, 88: 110—121.
- [9] de Gracia A, Navarro L, Castell A, et al. Solar absorption in a ventilated facade with PCM. Experimental results[J]. *Energy Procedia*, 2012, 30: 986—994.
- [10] Weinlaeder H, Koerner W, Heidenfelder M. Monitoring results of an interior sun protection system with integrated latent heat storage[J]. *Energy and Buildings*, 2011, 43: 2468—2457.

## EXPERIMENTAL STUDY ON DYNAMIC HEAT TRANSFER PERFORMANCE OF GLAZED FACADE INCLUDING PARAFFIN LAYER

Li Dong, Wu Yangyang, Liu Changyu, Zhou Yingming, Liu Xiaoyan

(School of Architecture and Civil Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

**Abstract:** In this paper, an experimental set for heat transfer investigation of glazed facade filled with paraffin in Daqing was built, and the dynamic heat transfer data of glazed facade filled with and without paraffin at different melting temperatures under the typical day in autumn and early winter season were measured, and the temperatures of glazed facade with paraffin and room temperature were attained. The results showed that solar energy plays an important role in the enhancing or weakening environment temperature. The temperature of inner layer in the glazed facade filled with paraffin is clearly smaller than that without paraffin, and the temperature of inner layer in the glazed facade filled with paraffin is descending with solar energy increasing. The night temperature of indoors room under the glazed facade filled with paraffin is increasing, and the day temperature of indoors room is descending compared with that without paraffin, which results in the improvement of thermal environment in the room.

**Keywords:** facade; paraffin; heat transfer; experiment