

# 一种新型的多孔太阳墙采暖房

王一鸣 杨昆 刘伟 江雯 杨金国 范爱武

(华中科技大学能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要** 长江中下游地区很多建筑没有安装专门的供暖设备, 传统的空调采暖增加了建筑能耗。利用太阳能和建筑物自身进行采暖, 具有重要的意义和价值。本文提出了一种新型的多孔太阳墙采暖房, 其核心部分多孔太阳墙是由多孔陶瓷构成。在晴朗的冬季, 对多孔太阳墙采暖房的采暖性能进行了实验研究; 研究重点检测了不同外界环境 (主要是指太阳辐射照度和环境温度) 下, 多孔太阳墙采暖房的采暖及储热性能。研究表明: 多孔太阳墙采暖房在白天大部分时间都具有较好的采暖效果, 且采暖房内的温差较小; 同时具有较好的储热性能。以实验测得的武汉地区 1 月某天的实验数据为例, 相比环境温度, 当天采暖房内最高温升为 19.9°C。在 07:00~16:00 之间, 采暖房的平均温升为 11.5°C; 在辐射强度较弱的 16:00~18:00, 采暖房的平均温升为 6.6°C。在 07:00~18:00 之间, 采暖房内最大温差为 1.37°C, 出现在 12:40。

**关键词** 太阳墙; 太阳房; 采暖; 多孔陶瓷

**中图分类号**: S214.3

**文献标识码**: A

**文章编号**: 0253-231X(2012)03-0501-04

## A Novel Porous Solar Wall Heating Room

WANG Yi-Ming YANG Kun LIU Wei JIANG Wen YANG Jin-Guo FAN Ai-Wu

(School of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract** Many cities in the middle and lower reaches of Changjiang River have not installed special heating system, and the traditional air-conditioning heating will increase energy consumption of the building. So it is of great value to make use of solar energy for heating the building. This paper presents a novel kind of solar house—porous solar wall heating room (PSWHR), the core part of which is that the porous solar wall is constituted by the porous ceramic. In this paper, there are some experimental study about heating performance of the PSWHR in the clear winter, the research focuses on heating performance and Thermal energy storage performance of the heating room in different external environment (mainly refers to the solar irradiance and ambient temperature). The results shows that: the PSWHR has a good heating effect during the day, and a small temperature difference in the heating room, PSWHR also has a good heat storage performance. With an example of experiment data on one day in January Wuhan, the maximum temperature rise of the heating room is 19.9°C compared to the ambient temperature. From 7 o'clock to 16 o'clock the average temperature rise of the heating room is 11.5°C. From 16 o'clock to 18 o'clock the average temperature rise of the heating room is only 6.6°C because of weak radiation. During the whole day, the maximum temperature difference in the heating room is 1.37°C in 12:40.

**Key words** solar wall; solar house; heating; porous ceramics

## 0 前 言

相比传统的空调采暖系统, 太阳能采暖系统更加节能与环保。按照特朗勃墙<sup>[1-5]</sup> (Trombe wall) 结构建造的太阳房是一种典型的被动太阳房。由于其结构简单、建造成本较低, 故特朗勃墙式太阳房有较广的应用。LPSHW<sup>[6,7]</sup> (Lattice passive solar heating wall) 是由花格墙和玻璃构成, 其中花格墙有很多沿墙厚方向的通风口, 它们均匀或者基本均匀分布于

整个墙体。相比于 Trombe 墙, LPSHW 墙式太阳房的温升更高更快, 且节省建筑材料。为了减少特朗勃墙外层玻璃的散热损失, 可将特朗勃墙的外层玻璃置换成 TIM (Transparent insulation material) 材料, 此时该种结构被命名为 TIW (Transparent insulation wall)。Wallner 等人开发了一种新型的 TIW 采暖系统, 其太阳能效率达到 44%。由于在太阳辐

**收稿日期**: 2011-12-24; **修订日期**: 2012-02-20

**基金项目**: 国家科技支撑计划资助项目 (No.2008BAJ12B03); 国家自然科学基金重点基金资助项目 (No.51036003); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (No.2011QN151; No.2011QN156)

**作者简介**: 王一鸣 (1986-), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 主要从事建筑节能研究。 **通信作者**: 杨昆, 副教授, ykhust@126.com。

射照度较大的时候, TIW 采暖系统经常出现过热问题, Rockendorf, et al. 设计了一种 TIHW<sup>[9]</sup> (Transparent insulation hybrid wall). TIHW 在解决采暖系统过热问题的同时, 将剩余的太阳能用于加热生活用的热水. Hollick 设计了一种 Solar wall<sup>[10]</sup> 空气采暖系统. Solar wall 空气采暖系统采用多孔金属板(铝或者钢)作为集热器, 安装在建筑南墙上, 板上涂有选择性涂层. Solar wall 采暖系统的优点是采暖房新风量充足且送入室内空气的温度较高. 采暖和通风是一对固有矛盾, Yoon and Hoyano 提出一种自然通风系统, 该系统包括带呼吸墙<sup>[11]</sup> 结构倾斜屋顶. 采用呼吸墙的被动太阳房能在保持较高的能量利用率的前提下, 同时保证采暖房环境的舒适性. 有研究人员<sup>[12-14]</sup> 设计一种多孔介质组合墙系统, 并在不同工况参数下对其传热与流动情况进行模拟分析与讨论. 其中多孔介质吸收层具有热二极管效应, 即多孔介质吸收层的热阻很大, 能在没有太阳辐射的条件下起到隔热的作用.

本文设计并建造了一种新的被动太阳房——多孔太阳墙采暖房, 并对该系统进行了实验研究.

## 1 实验系统

### 1.1 多孔太阳墙采暖房的结构

如图 1 所示, 多孔太阳墙采暖房主要由两个部分组成: 1) 多孔太阳墙系统. 多孔太阳墙系统主要包括多孔太阳墙、玻璃外墙及玻璃内墙. 多孔太阳墙负责吸收及蓄积太阳辐射的能量, 其朝南面涂有黑色涂层, 并在其上端安装玻璃. 2) 空气输送系统. 玻璃内墙下端装有可调速风机, 室外空气和室内回风在风机的作用下被引入到第一暖风通道内与太阳墙与玻璃外墙进行换热, 然后经过多孔太阳墙的加热, 到达第二暖风通道后继续与多孔太阳墙与玻璃

内墙进行换热, 最后送入到采暖房.

图 2 为多孔太阳墙采暖房实体外观图. 多孔太阳墙采暖房的整体尺寸为 4000×3000×2500 (mm), 其中东西长度为 4000 mm, 南北进深为 3000 mm, 上下高度为 2500 mm. 第一暖风通道与第二暖风通道的间距均为 120 mm. 进气口的大小为 4000×150 (mm), 多孔太阳墙上端玻璃的竖直高度为 450 mm, 并在其东西长度方向上对称安装 8 根 50 mm 直径的回风管. 玻璃内墙下端对称安装 6 个直径 200 mm 的轴流风机和一个变频器. 本实验通过变频器来调整风机的频率, 进而改变风机的转速和送入采暖房的风速 (其中每个风机都配有一个独立的开关, 可以选择风机工作的数量). 多孔太阳墙采暖房其他部分的构造和材质如表 1 所示.

表 1 多孔太阳墙采暖房的构造和材质

Table 1 Construction and materials of PSWHR

名称	材质及尺寸
玻璃外墙、玻璃内墙	厚钢化玻璃/5 mm
多孔太阳墙	多孔陶瓷/20 mm
东墙、西墙、北墙、天花板	彩板/100 mm
地板	PVC 硬板/12 mm

相对于 trombe 墙式太阳房, 多孔太阳墙采暖房有以下优点: 1) 兼顾采暖与通风; 2) 系统设置了回风管, 太阳能利用效率更高; 3) 变频风机的设置, 既能使房间内温差更小, 又可以控制送风温度和调整储能与采暖的比例; 4) 采暖房光亮度较好, 一部分光线能够透过玻璃外墙、多孔太阳墙、玻璃内墙散射或者直射进来, 增加了采暖房的光亮度; 5) 多孔太阳墙采用组装式的模板, 方便日后维护.

### 1.2 实验仪器及测试方法

如图 1, 本测试在采暖房中均匀布置 12 个温度

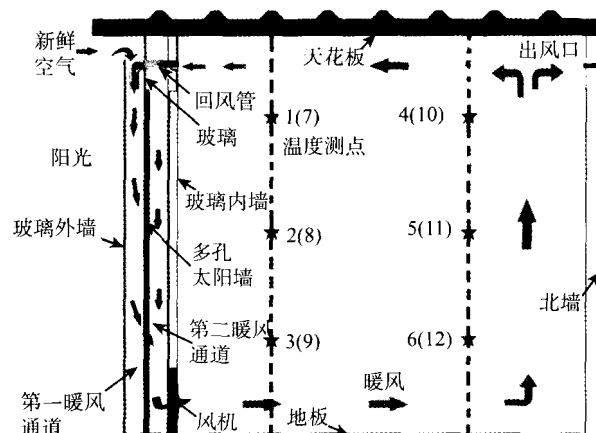


图 1 多孔太阳墙采暖房二维示意图

Fig. 1 Schematic of PSWHR

测点 (温度测点 7~12 分别为测点 1~6 向西移动 1 m 的位置, 测点 7~12 与测点 1~6 处于同一高度和南北进深)。采暖房温度为同一时刻采暖房中 12 个温度测点温度的平均值。采暖房温差为同一时刻, 采暖房中 12 个温度测点的最高温度与最低温度的差值 (反映采暖房的舒适度)。室外布置 2 个温度测点 (朝阳侧和背阳侧各一个测点), 用以检测外界环境温度 (环境温度值为 2 个温度测点的平均值)。所有的温度测点都用 T 型热电偶检测, 并用数据采集器记录。采暖房温升为同时一时刻下, 采暖房平均温度与环境温度的差值。热线风速仪用来测量风机不同频率下的风速。本次测试采用 TBQ-2 型总辐射表和 QTS-4 型光辐射自记仪来检测和记录水平面下太阳辐射总照度。

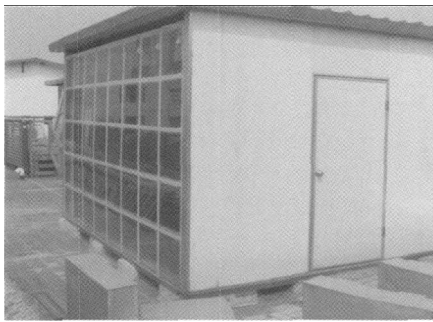


图 2 多孔太阳墙采暖房实体图  
Fig. 2 Physical diagram of PSWHR

## 2 实验结果及分析讨论

如图 3 所示, 当日 09:30 时, 采暖房温升已经有 6.5°C; 在 14:10 时, 采暖房温升达到最大 18.3°C。在 09:30~17:00 之间的采暖房的平均温升为 14.3°C; 在 17:00~19:00 之间的采暖房的平均温升为 7.6°C。由于多孔陶瓷存在蓄热能力, 导致最高太阳辐射照度和采暖房温升最大值不在同一时间, 采暖房温升最大值出现的时刻相比太阳辐射照度的最大值有一个延迟效应。

如图 4 所示, 当日 09:30 时, 采暖房温升已经有 8.6°C; 在 13:50 时, 采暖房温升达到最大 16.3°C。在 07:00~16:00 之间的采暖房的平均温升为 10.7°C; 在 16:00~18:00 之间的采暖房的平均温升为 6.9°C。

如图 5 所示, 当日 09:30 时, 采暖房温升已经有 7.3°C; 在 14:30 时, 采暖房温升达到最大 19.9°C。在 07:00~16:00 之间的采暖房的平均温升为 11.5°C; 在 16:00~18:00 之间的采暖房的平均温升为 6.6°C。最高的采暖房温差出现在 12:40 为 1.37°C, 相比图 3 和

图 4 所示的采暖房温差, 图 5 的温差要小一些。这主要是由于送入采暖房内的风速大一点, 采暖房内空气的扰动也要强一点, 故温差较小。

上述实验结果说明: 第一, 在白天大部分时间内多孔太阳墙采暖房都有较好的采暖效果, 且采暖房温差较小; 风机频率越大, 送入采暖房中的风速也越大, 采暖房内空气的扰动越强, 采暖房温差也越小。第二, 在太阳辐射较弱、环境温度较低的 18:00 时左右, 采暖房依然维持了较高的温升; 需要指出的是, 此时采暖房仍处于通风的状态下。这说明了使

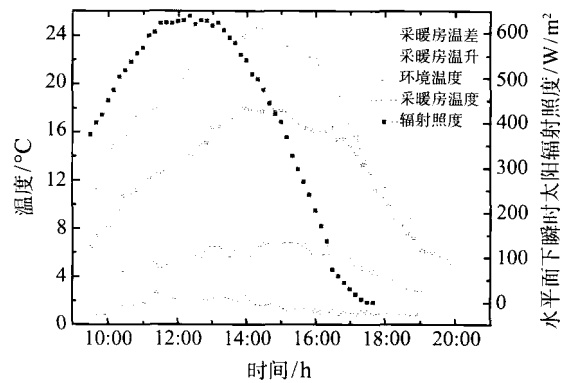


图 3 采暖房温度、采暖房温差、环境温度、采暖房温升及太阳辐射照度随时间的变化情况 (武汉, 2010 年 12 月 30 日, 风机的工作频率: 5 Hz)

Fig. 3 Temperature in the heating room, temperature difference in the heating room, ambient temperature, temperature rise and the total horizontal solar irradiance variation with time (Wuhan, 30th december 2010, fan operating frequency: 5 Hz)

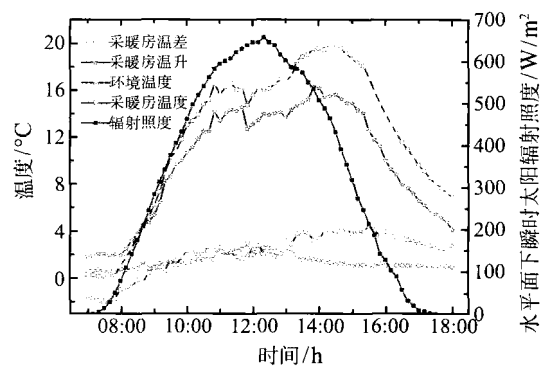


图 4 采暖房温度、采暖房温差、环境温度、采暖房温升及太阳辐射照度随时间的变化情况 (武汉, 2010 年 12 月 31 日, 风机的工作频率: 5 Hz)

Fig. 4 Temperature in the heating room, temperature difference in the heating room, ambient temperature, temperature rise and the total horizontal solar irradiance variation with time (Wuhan, 31th December 2010, Fan operating frequency: 5 Hz)

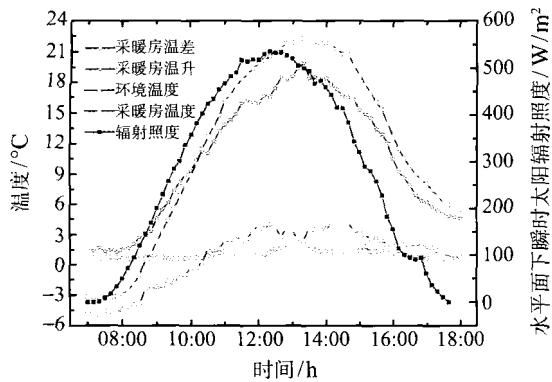


图5 采暖房温度、采暖房温差、环境温度、采暖房温升及太阳辐射照度随时间的变化情况(武汉, 2011年01月16日, 风机的工作频率: 10 Hz)

Fig. 5 Temperature in the heating room, temperature difference in the heating room, ambient temperature, temperature rise and the total horizontal solar irradiance variation with time (Wuhan, 16th January 2011, Fan operating frequency: 10 Hz)

用陶瓷材料的多孔太阳墙, 储热效果较好。进一步, 可通过控制风机频率, 调节风速大小, 从而改变采暖与蓄能的比例。多孔陶瓷的材质、体积和太阳辐射照度很大程度上决定了多孔太阳墙的储热能力, 在实际应用多孔太阳墙系统时, 需要综合考虑当地太阳辐射照度情况、多孔陶瓷的成本来确定多孔陶瓷的材质、厚度、面积及空隙率。目前在中国, 多孔陶瓷的成本已可以达到 $\text{¥} 3000 \text{元}/\text{m}^3$ 左右。第三, 由于风机基本上是在低速下工作, 故不存在吹风感的问题和噪音大的问题; 实验过程中, 所有风机一直处于开启状态, 故新风量充足。

### 3 结 论

本文提出并建立了一种新型的多孔太阳墙采暖房, 通过对多孔太阳墙采暖房的实验研究, 可得出如下结论:

- 1) 采暖房在白天大部分时间内都有较好的采暖效果, 同时采暖房内温度的均匀性较好。
- 2) 使用多孔陶瓷材料的多孔太阳墙, 具有较好

的储能效果。

### 参 考 文 献

- [1] Yilmaz Z, Kundakci A B. An Approach for Energy Conscious Renovation of Residential Buildings in Istanbul by Trombe Wall System [J]. Building and Environment, 2008, 43: 508-517
- [2] Hernández V, Morillón D, Best R, et al. Experimental and Numerical Model of Wall Like Solar Heat Discharge Passive System [J]. Applied Thermal Engineering, 2006, 26: 17-18
- [3] Zalewski L, Chantant M, Lassue S, et al. Experimental Thermal Study of a Solar Wall of Composite Type [J]. Energy and Buildings, 1997, 25: 7-18
- [4] Zalewski L, Lassue S, Duthoit B, et al. Study of Solar Walls-Validating a Simulation Model [J]. Building and Environment, 2002, 37: 109-121
- [5] Shen J B, Lassue S, Zalewski L, et al. Numerical Study on Thermal Behavior of Classical or Composite Trombe Solar Wall [J]. Energy and Buildings, 2007, 39: 962-974
- [6] FANG X D, LI Y Z. Numerical Simulation and Sensitivity Analysis of Lattice Passive Solar Heating Walls [J]. Solar Energy, 2000, 69: 55-66
- [7] FANG X D, YANG T T. Regression Methodology for Sensitivity Analysis of Solar Heating Walls [J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28: 2289-2294
- [8] Wallner G M, Lang R W, Schobermayr H, et al. Development and Application Demonstration of a Novel Polymer Film Based Transparent Insulation Wall Heating System [J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2004, 84: 441-457
- [9] Rockendorf G, Janssen S, Felten H. Transparently Insulated Hybrid Wall [J]. Solar Energy, 1996, 58: 33-38
- [10] Hollick J C. Unglazed Solar Wall Air Heaters [J]. Renewable Energy, 1994, 5: 415-421
- [11] Yoon S, Hoyano A. Passive Ventilation System That Incorporates a Pitched Roof Constructed of Breathing Walls for Use in a Passive Solar House [J]. Solar Energy, 1998, 64: 189-195
- [12] Du Z G, Bilgen E. Natural Convection in Composite-Wall Collectors With Porous Absorber [J]. Solar Energy, 1990, 45: 325-332
- [13] CHEN W, LIU W. Numerical Analysis of Heat Transfer in a Composite Wall Solar-Collector System With a Porous Absorber [J]. Applied Energy, 2004, 78: 137-149
- [14] CHEN W, LIU W. Numerical Analysis of Heat Transfer in a Passive Solar Composite Wall With Porous Absorber [J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28: 1251-1258