

# 新型的与建筑一体化太阳能 双效集热器系统的模拟研究

罗成龙, 季杰, 孙炜, 何伟, 裴刚

(中国科学技术大学热科学和能源工程系, 安徽合肥 230027)

**摘要:**提出了一种新型的与建筑一体化太阳能双效集热器系统,该系统有两种工作模式:在冬季的被动采暖工作模式和在其他无需供暖时期的集热水工作模式.针对该新型系统的两种工作模式分别建立了与建筑耦合传热计算模型并进行了模拟计算.模拟结果表明:在冬季被动采暖工作模式下,在外环境平均温度只有 $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的给定模拟条件下,系统可以使房间温度最高提高至 $27.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,系统被动采暖性能优异;在自然循环集热水工作模式下,在给定模拟条件下,系统集热效率为 $54.8\%$ ,太阳得热总量为 $4.32\text{ MJ}/\text{m}^2$ .

**关键词:**与建筑一体化太阳能双效集热器系统;太阳能被动采暖;集热水;热效率

**中图分类号:**TK511+.2 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.0253-2778.2010.04.006

## Numerical study on a dual-functional building integrated solar collector

LUO Chenglong, JI Jie, SUN Wei, HE Wei, PEI Gang

(Department of Thermal Science and Energy Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

**Abstract:** A novel system of dual-functional building integrated solar collector is proposed. The system can run in two independent modes: passive space heating in cold days and solar water heating in hot days. Dynamic numerical models have been established to investigate the performance of the system in the two operating modes. Results show that when the system works in the space heating mode, the indoor air temperature reaches the maximum value of  $27.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , with the maximum value of ambient temperature being only  $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; when working in the water heating mode under given simulation conditions, the thermal efficiency of the collector is  $54.8\%$ , with the solar heat gains being  $4.32\text{ MJ}/\text{m}^2$ .

**Key words:** dual-functional solar collector integrated with buildings; passive space heating; water heating; thermal efficiency

收稿日期: 2009-04-02; 修回日期: 2009-06-11

基金项目: 国家自然科学基金(50876098), “十一五”国家科技支撑项目(2006BAA04B04)和中国高技术研究发展(863)计划(2006AA05Z412)资助.

作者简介: 罗成龙, 男, 1983年生, 博士生. 研究方向: 太阳能利用、建筑节能. E-mail: xxlong@ustc.edu

通讯作者: 季杰, 博士/教授. E-mail: jijie@ustc.edu.cn

## 0 引言

在太阳能采暖应用中,有几种比较典型的系统,如 Trombe 墙系统<sup>[1]</sup>,对 Trombe 墙系统进行改进的复合 Trombe 墙系统<sup>[2]</sup>、解决传统 Trombe 墙功能单一等问题而提出的新型光伏 Trombe 墙系统<sup>[3-4]</sup>以及采用金属板作为吸热板的 Barra-Costantini 系统<sup>[5]</sup>等.这些系统的提出和研究,推进了在建筑中应用太阳能供暖技术的发展,但仍然存在问题待完善.一般来说,在冬季,太阳能供暖系统可以很好地满足建筑采暖需求,但在建筑无需供暖的时期特别是夏季,太阳能供暖系统已无必要,造成系统全年使用率低,影响了系统使用的经济性,而且太阳能采暖系统的存在易造成建筑过热问题<sup>[6]</sup>.在太阳能制热水应用方面,由于太阳能热水系统相对简单、技术较成熟并且成本较低的特点,它从出现开始就成为太阳能热利用技术中在世界范围内发展最快和应用最为普遍的技术.同时随着太阳能制热水应用的发展,传统热水系统的一些局限性也逐渐显现:太阳能热水系统在冬季寒冷地区应用时,水温过低甚至系统结冻而造成系统无法有效使用<sup>[7]</sup>;传统安装方式将系统安装于建筑屋顶,影响建筑美观甚至城市整体形象,而且高层建筑屋顶面积无法满足需求等.因此为对太阳能制热水系统进行改进,太阳能热水墙的概念被提出<sup>[8]</sup>.该系统的提出可以解决传统系统安装于建筑屋顶要遇到的屋顶面积不足的问题,并且安装方式的改进使系统更美观,但对于热水系统在冬季使用时要出现的问题未给予根本解决.

为解决以上问题,我们提出了与建筑一体化太阳能双效集热器系统,该系统可以选择采用其两种工作模式之一:被动采暖工作模式和集热水工作模式.在全年中建筑需供暖的时期如冬季,系统以被动采暖工作模式运行为室内房间供暖;在全年其他时期特别是夏季,系统转换成集热水工作模式以提供生活用热水.该系统可以避免单独应用太阳能被动采暖系统在夏季易造成建筑过热而制约其推广应用的问题,而且还可以有效利用太阳能提供生活热水.

针对新型的与建筑一体化太阳能双效集热器系统的两种工作模式,本文分别建立了该系统在两种工作模式下的与建筑耦合传热计算模型,并以实测气象参数为基础,分别模拟计算了系统在两种工作模式下的性能

## 1 系统结构和原理

与建筑一体化太阳能双效集热器系统主要包括建筑房间、与建筑一体化太阳能双效集热器模块、上下风口、蓄热水箱、阀门和管路等,参见图 1、图 2.其中,与建筑一体化太阳能双效集热器模块是本系统的核心部件,该模块是在普通平板集热器的原理基础上改造而成,其区别于普通平板集热器的特点是双效集热器里有一个特别加宽的空气间隙空间,并

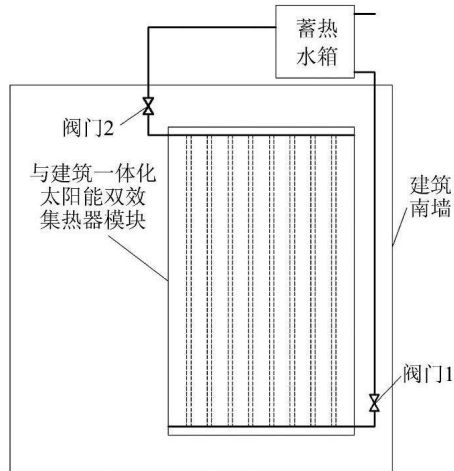


图 1 与建筑一体化太阳能双效集热器原理结构南视图

Fig. 1 South view of the dual-functional solar collector integrated with building

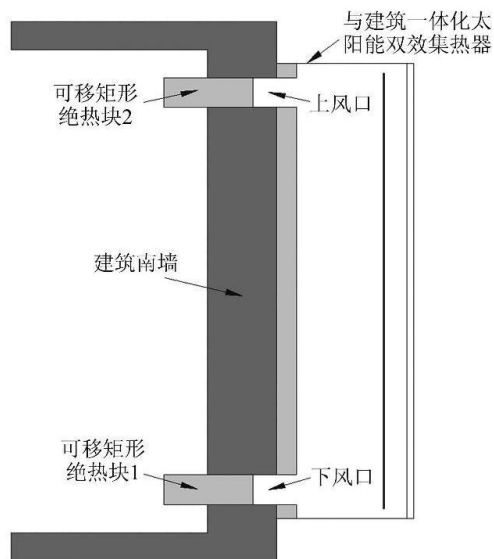


图 2 与建筑一体化太阳能双效集热器系统原理结构剖视图

Fig. 2 Sectional view of the dual-functional solar collector integrated with building

且集热器背面上下位置开有两个的矩形开口,如图 3、图 4 所示.

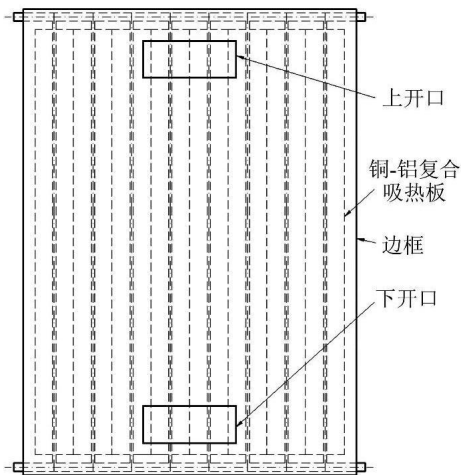


图 3 与建筑一体化太阳能双效集热器模块原理结构背视图

Fig.3 Back view of dual-functional solar collector

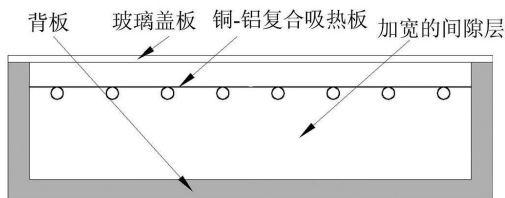


图 4 与建筑一体化太阳能双效集热器模块原理结构剖视图

Fig.4 Cross-section view of dual-function solar collector integrated with building

系统的工作原理是:在被动采暖工作模式下,阀门关闭,系统的上下风口开启,从而使建筑房间与集热器相通,集热器特别设计的加宽的空气间隙层成为通风流道,流道内空气在集热器加热而造成的热虹吸作用下自下而上流动,从而向建筑室内供暖;在集热水工作模式下,系统上下风口关闭,阀门开启,蓄热水箱中的水通过管路与集热器的水管相通,系统作为普通太阳能集热水系统使用.

## 2 理论模型

### 2.1 集热水工作模式

在集热水工作模式下,与建筑一体化太阳能双效集热器尽管在功能上与普通太阳能热水器相同,但由于与建筑一体化太阳能双效集热器是直接安装在建筑南立面上,集热器与所安装的建筑南墙在传热上相互影响,因而要分析与建筑一体化太阳能双

效集热器在集热水工作模式下的性能,应建立集热器与建筑的耦合传热模型.

本文针对与建筑一体化太阳能双效集热器的集热水工作模式,建立了集热器与建筑耦合传热模型.该耦合传热模型关于水路的传热流动计算与文献 [9] 相同,区别仅在于玻璃盖板、吸热铝板、铜管的传热计算上.

玻璃盖板作沿厚度方向的一维传热假设,其热传导方程是

$$\rho_g C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial x} \right] + s_{solar} \quad (1)$$

外表面边界条件:

$$-\lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial x} \Big|_{x=0} = q_L + h_{a,g} (T_a - T_g) \quad (2)$$

内表面边界条件:

$$-\lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial x} \Big|_{x=d_g} = (h_{p,g} + h_{r,p,g}) (T_p - T_g) \quad (3)$$

式中,  $\rho_g / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ ,  $C_g / (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ ,  $\lambda_g / (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$  和  $d_g / \text{m}$  分别代表玻璃盖板的密度、热容、导热系数和厚度;  $s_{solar} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$  表示吸收太阳辐射产生的内热源;  $T_g / \text{K}$ ,  $T_a / \text{K}$  和  $T_p / \text{K}$  分别表示玻璃盖板温度、环境温度和吸热铝板温度;  $q_L / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$  表示玻璃盖板外表面与环境的热辐射换热;  $h_{a,g} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示玻璃盖板外表面的对流换热系数;  $h_{p,g} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示玻璃盖板内表面和吸热铝板间的对流换热系数;  $h_{r,p,g} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示玻璃盖板内表面与吸热铝板间的辐射换热系数.

只考虑吸热铝板温度沿高度方向的变化,并可忽略铝板背面与绝热背板间的辐射换热,吸热铝板的热平衡方程可写为

$$w_p d_p \rho_p C_p \frac{\partial T_p}{\partial t} = w_p d_p \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial z} \right] + \alpha_p \tau_g q_{solar} w_p + h_{p,g} (T_g - T_p) w_p + h_{p,in} (T_{in} - T_p) w_p + h_{r,p,g} (T_p - T_g) w_p + \frac{(T_i - T_p)}{R_{p,t}} \quad (4)$$

式中,  $w_p / \text{m}$  表示单片铝板的宽度;  $\rho_p / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ ,  $C_p / (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ ,  $\lambda_p / (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$  和  $d_p / \text{m}$  分别表示铝板的密度、热容、导热系数和厚度;  $q_{solar} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$  表示投射的太阳总辐照强度;  $\tau_g$  表示玻璃盖板透过率;  $\alpha_p$  表示吸热铝板正面吸收率;  $R_{p,t} / (\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1})$  代表铝板与铜管的热阻;  $T_i / \text{K}$  和  $T_{in} / \text{K}$  分别表示铜管温度和绝热背板表面温度;  $h_{p,g} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示铝板与绝热背板间的对

流换热系数.

只考虑铜管沿高度方向的温度变化,则热平衡方程可写为

$$\begin{aligned} \pi D_t d_t \rho_t c_t \frac{\partial T_t}{\partial t} = \pi D_t d_t \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda \frac{\partial T_t}{\partial z} \right] + \\ \pi D_t h_{t,\text{in}} (T_{\text{in}} - T_t) + \pi D_t h_{w,t} (T_w - T_t) + \\ \frac{(T_p - T_t)}{R_{p,t}} \end{aligned} \quad (5)$$

式中,  $D_t/\text{m}$  表示铜管管径;  $\rho_t/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ ,  $C_t/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ ,  $\lambda/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$  和  $d_t/\text{m}$  分别表示铜管的密度、热容、导热系数和厚度;  $h_{t,\text{in}}/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示铜管与绝热背板间的对流换热系数;  $h_{w,t}/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示铜管内表面的对流换热系数;  $T_w/\text{K}$  表示铜管内水温.

## 2.2 被动采暖工作模式

玻璃盖板的热平衡方程在形式上与集热水工作模式下相同. 吸热铝板和铜管可作为整体考虑, 统称为吸热体.

对吸热体温度分布作沿高度方向的一维假设, 则

$$\begin{aligned} (\rho_p c_p d_p + \phi \rho_t c_t d_t) \frac{\partial T_{\text{pt}}}{\partial t} = d_p \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda_p \frac{\partial T_{\text{pt}}}{\partial z} \right] + \\ \phi d_t \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda \frac{\partial T_{\text{pt}}}{\partial z} \right] + \alpha_a \tau_g q_{\text{solar}} + \\ (1 + \phi) h_{\text{pt},d} (T_d - T_{\text{pt}}) + h_{\text{r,pt,g}} (T_{\text{pt}} - T_g) \end{aligned} \quad (6)$$

式中,  $T_{\text{pt}}/\text{K}$  表示吸热体温度;  $T_d/\text{K}$  表示流道内空气温度;  $h_{\text{pt},d}/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示吸热体表面对流换热系数;  $h_{\text{r,pt,g}}/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示吸热体与玻璃盖板的辐射换热系数;  $\phi$  是定义的单根铜管与单片铝板的面积之比, 为

$$\phi = \frac{\pi D_t}{w_p} \quad (7)$$

对于流道, 参见文献[10], 其温度分布作沿高度方向的一维假设, 则

$$\begin{aligned} \rho_d D_{\text{gap}} C_d \frac{\partial T_d}{\partial t} = \rho_d V_d D_{\text{gap}} C_d \frac{dT_d}{dz} + \\ (1 + \phi) h_{\text{pt},d} (T_{\text{pt}} - T_d) + \\ h_{g,d} (T_g - T_d) + h_{\text{in},d} (T_{\text{in}} - T_d) \end{aligned} \quad (8)$$

式中,  $\rho_d/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ ,  $C_d/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$ ,  $\lambda_d/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$  分别表示流道内空气的密度、热容、导热系数;  $D_{\text{gap}}/\text{m}$  表示流道深度;  $h_{g,d}/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示玻璃盖板内表面的对流换热系数;  $h_{\text{in},d}/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$  表示绝热背板表面在流道内的对流换热系数;  $V_d/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$  表示流道内空气流速.

速度  $V_d$  通过下式求解<sup>[11]</sup>:

$$V_d = \sqrt{\frac{2\beta g H (T_d - T_r)}{C_1 \left( \frac{A_d}{A_v} \right)^2 + C_2}} \quad (9)$$

式中,  $\beta/(\text{K}^{-1})$  表示热扩散率;  $g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$  表示重力加速度;  $H/\text{m}$  表示流道高度;  $T_d/\text{K}$ ,  $T_r/\text{K}$  分别表示流道内空气平均温度、房间温度;  $A_d/\text{m}^2$  表示流道截面积;  $A_v/\text{m}^2$  表示风口面积;  $C_1, C_2$  是常量参数.

## 2.3 换热系数

假定有两个辐射换热表面: 表面 1 和表面 2, 则这两个表面之间的辐射换热系数可采用下面关系计算<sup>[11]</sup>,

$$h_{r,12} = \xi_{12} (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2) \quad (10)$$

$$\frac{1}{\xi_{12}} = \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \quad (11)$$

式中,  $T_1/\text{K}$ ,  $T_2/\text{K}$  分别表示表面 1 和表面 2 的温度;  $\xi_{12}$  表示两表面之间的辐射换热因子;  $\epsilon_1, \epsilon_2$  分别表示表面 1 和表面 2 的热发射率.

系统运行在集热水工作模式和被动采暖工作模式时, 玻璃盖板外表面的对流换热系数采用同样的强迫对流换热计算关系<sup>[11]</sup>:

$$h_c = 5.6 + 3.8V \quad (12)$$

式中,  $V/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$  表示环境风速.

当系统运行于集热水工作模式时, 处于加宽的空气流道内的各个表面之间的对流换热系数的计算关系是

$$h_c = \frac{Nu \lambda_a}{\delta} \quad (13)$$

式中,  $Nu$  表示平均努塞尔数;  $\lambda_a/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$  表示空气的导热系数;  $\delta/\text{m}$  表示两相邻面之间的距离.  $Nu$  采用下面的经验式求解<sup>[12]</sup>,

$$Nu = 0.197 (Gr_\delta Pr)^{1/4} (\delta/H)^{1/9} \quad (14)$$

$$Gr_\delta = \frac{g \beta \Delta T \delta^3}{\nu^2} \quad (15)$$

式中,  $\Delta T/\text{K}$  表示相邻两面之间的温差;  $\nu/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$  表示空气的动力粘度;  $Pr$  表示空气的普朗特数.

当系统运行于被动采暖工作模式时, 处于空气流道内的各个表面的对流换热系数的计算关系是

$$h_c = \frac{Nu_z \lambda_a}{z} \quad (16)$$

式中,  $Nu_z$  表示当地努塞尔数, 参见文献[10]:

$$Nu_z = 0.12 \cdot (Gr_z \cdot Pr)^{1/3} \quad (17)$$

$$Gr_z = g \beta \cdot (T_s - T_a) \cdot z^3 / \nu^2 \quad (18)$$

式中,  $T_s/K$  表示所对应表面的当地温度;  $T_a/K$  表示当地空气温度.

### 3 数值模拟

本研究与建筑一体化太阳能双效集热器模块假定安装在一热箱房间南墙上. 模块设计参数参见表 1. 热箱房间处于另一更大的房间内, 仅南墙与外部环境接触. 模拟所针对的热箱房间的结构尺寸为 2.60 m(高)×2.97 m(宽, 东西方向)×2.90 m(深, 南北方向). 热箱房间所用围护结构全为轻质墙体, 蓄热能力很低, 其结构参数见表 2.

表 1 与建筑一体化太阳能双效集热器模块设计参数

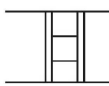
Tab.1 The detail design of the dual-function solar collector

参数	数据
尺寸	
1. 宽	0.945 m
2. 深度	0.21 m
3. 高	1.945 m
玻璃盖板	
1. 厚度	0.003 m
2. 发射率	0.83
3. 透过率	0.87
4. 导热系数	1.05 W/(m·K)
铝板	
1. 厚度	0.001 m
2. 吸收率	0.95
3. 发射率	0.15(前面)/忽略(背面)
4. 数量	8 块
铜管	
1. 管径	0.008 m
2. 厚度	0.001 5 m
3. 数量	8 根
背板	
1. 厚度	0.05 m
2. 导热系数	0.036 W/(m·K)
3. 热容	1 000 J/(kg·K)
4. 密度	30 kg/m <sup>3</sup>

根据本系统两种工作模式的特点, 本文选取了位于合肥的两种气象实测数据用于分析系统分别在

表 2 热箱围护结构参数

Tab.2 Structure parameters of the facades in hot-box

结构简图	层	材料	厚度/m	导热系数 (W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	密度 (kg·m <sup>-3</sup> )	热容 (J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	发射率	吸收率
	1	钢板	0.004	60.5	7 854	434	0.91	0.58
	2	聚苯乙烯	0.1(南墙)/0.05(其他)	0.04	15	1 210	—	—
	3	钢板	0.004	60.5	7 854	434	0.91	—

两种工作模式下的性能: 被动采暖工作模式下, 采用冬季 2008 年 1 月 2 日的实测气象数据; 集热水模式下, 采用 2008 年 4 月 25 日的实测数据.

#### 3.1 被动采暖工作模式

用于模拟被动采暖工作模式下系统性能的全天气象实测数据(1 月 2 日, 冬季, 合肥)包括外环境温度和投射在南向竖直面的太阳总辐照强度, 参见图 5. 外环境全天平均温度为 2.8 °C, 太阳日出日落时间段约为 7:11~17:15, 期间太阳总辐照强度最高为 713.3 W/m<sup>2</sup>. 环境风速采用平均值 3.5 m/s. 另外, 模拟中假定系统初始值取外环境全天平均温度 2.8 °C, 假定系统风口开关控制采用理想方式, 即流道内上风口气体温度高于热箱房间空气温度时上下风口开启, 否则关闭.

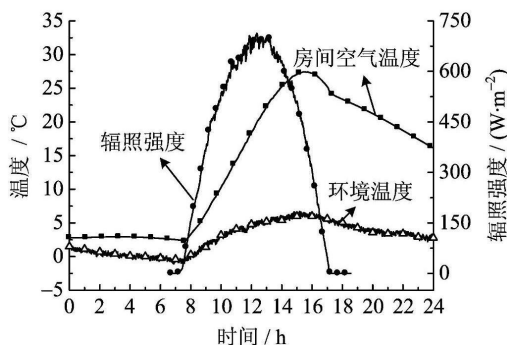


图 5 被动采暖工作模式下, 计算得到房间温度变化与实测环境温度及投射在南向竖直面的太阳总辐照强度变化的对比曲线

Fig.5 Simulated result of the indoor air temperature, and measured data of ambient temperature and the incident solar radiation on south wall

图 5 还给出了在模拟参数下所计算得到的房间空气温度变化曲线. 通过对比模拟出的房间空气温度和环境温度的变化曲线, 可以得到在 0:00~24:00 这个模拟期间内, 房间温度全天平均为 13.8 °C, 最高达到 27.4 °C, 而环境温度全天平均仅为 2.8 °C, 最高只有 6.7 °C. 这个结果表明热箱房间空气温度相对于环境温度得到了很大提升. 注意到,

从房间温度处于最高的 $27.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始,房间空气温度出现下降,到 $24:00$ 模拟结束时房间空气温度下降为 $16.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,房间空气温度下降总共有 $10.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .这个较快的温度下降应该是由热箱的围护结构蓄热能力弱造成的,与集热模块性能并无关联.另外,对比房间空气温度和太阳总辐照强度的变化曲线,可以发现本系统风口开关时间为 $7:27\sim 17:04$ ,与太阳日出日落时间极为接近,这表明系统对于太阳辐射的变化响应很快.特别地,从太阳日出开始,系统只需经过很短的时间就可以开始给房间供暖.

### 3.2 集热水工作模式

用于模拟集热水工作模式下系统性能的气象实测数据(4月25日,春季)同样包括外环境温度 and 投射在南向垂直面的太阳总辐照强度,但为了分析方便,其时间段仅为 $8:00\sim 16:00$ ,参见图6.期间,平均环境温度为 $25.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,平均太阳总辐照强度为 $273.3\text{ W/m}^2$ .环境风速采用平均值 $2.5\text{ m/s}$ .系统水量假定为 $100\text{ kg}$ ,初始水温假定为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

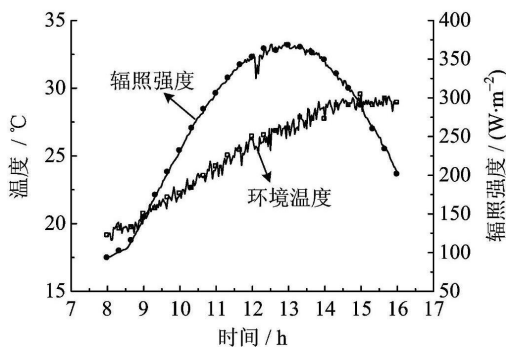


图6 集热水工作模式下的环境温度和投射在南向垂直面的太阳总辐照强度变化曲线  
(4月25日,合肥)

Fig.6 Measured data of the ambient temperature and the incident solar radiation on south wall  
(April 25, Hefei)

图7给出了蓄热水箱中水温随时间的变化的模拟结果.由模拟结果可以看出,水箱中水温存在明显的温度分层,表现为水箱上部温度最高,下部温度最低.由图可以看出,在实验期间绝大部分时刻最上和最下位置的温差约为 $3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .由计算结果可以得到水箱中水的平均终温约为 $39.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,参见文献[9],可以得到系统的集热水效率为 $54.8\%$ ,系统太阳得热为 $4.32\text{ MJ/m}^2$ .

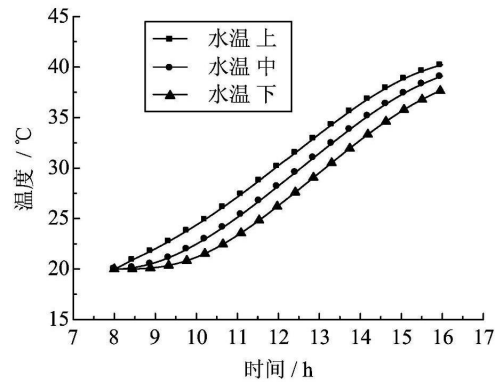


图7 蓄热水箱上部、中部和下部处水温随时间的变化曲线

Fig.7 Simulated result of variation of temperatures of water at three positions of upper, middle and lower in water tank

## 4 结论

针对新型的与建筑一体化太阳能双效集热器的两种工作模式,本文分别建立了其各自的与建筑耦合传热计算模型,并以实测气象参数为条件模拟计算了系统在两种模式下的性能:

(I)系统以被动采暖工作模式运行时,对房间温度的提高作用明显.模拟结果显示,在给定模拟条件下,房间温度全天平均为 $13.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高达到 $27.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,而环境温度全天平均仅为 $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高只有 $6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

(II)模拟计算表明,在被动采暖工作模式下,系统在理想控制方式下风口开关时间与太阳日出日落时间很接近.这表明系统从太阳日出开始,只需经过很短的时间就可以开始给房间供暖,系统具有响应迅速的特点.

(III)在集热水工作模式下,在给定模拟条件下,模拟计算得到系统的集热效率为 $54.8\%$ ,太阳得热总量为 $4.32\text{ MJ/m}^2$ .

### 参考文献 (References)

- [1] Akbarzadeh A, Charters W W S, Lesslie D A. Thermocirculation characteristics of a Trombe wall passive test cell[J]. Solar Energy, 1982, 28: 461-468.
- [2] Zalewski L, Chantant M, Lassue S, et al. Experimental thermal study of a solar wall of composite type[J]. Energy and Buildings, 1997, 25 (1): 7-18.

(下转第405页)

- Lett, 2001, 78(4): 419-421.
- [3] Eden J G, Park S J. Microcavity plasma devices and arrays: a new realm of plasma physics and photonic applications[J]. Plasma Phys Control Fusion, 2005, 47: B83-B92.
- [4] Ostrom N P. Photodetection in silicon pyramidal microdischarge[D]. Urbana, Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2004.
- [5] Wen Li, Zhang Qiuping, Xiang Weiwei, et al. Design and fabrication of the microplasma reactor for maskless scanning plasma etching[C]//Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems. New York: IEEE, 2009: 577-580.
- [6] Buder U, von Klitzing J P, Obermeier E. Reactive ion etching for bulk structuring of polyimide[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2006, 132: 393-399.
- [7] 王文如, 杨正兵. 微细金属图形制作中的剥离技术[J]. 压电与声光, 2001, 23(1): 68-73.
- [8] 史锡婷, 陈四海, 何少伟, 等. 剥离技术制作金属互连柱及其在 MEMS 中的应用[J]. 半导体技术, 2005, 30(12): 15-18.
- [9] 黄磊, 陈四海, 何少伟, 等. 蒸发制备金属薄膜实现 MEMS 工艺中电互连[J]. 半导体技术, 2005, 30(12): 12-14.
- [10] Groth S, Krüger P, Wildermuth S, et al. Atom chips: Fabrication and thermal properties [J]. Appl Phys Lett, 2004, 85(14): 2 980-2 982.
- [11] Jiang W, Ahn J, Xu F L, et al. Fabrication of a low operating voltage diamond thin film metal semiconductor metal photodetector by laser writing lithography[J]. Appl Phys Lett, 1998, 72(10): 1 131-1 133.
- [12] 余凤斌, 夏祥华, 于子龙, 等. 磁控溅射镍膜及其性能的研究[J]. 绝缘材料, 2008, 41(2): 57-59.
- [13] 陈光红, 于映, 罗仲梓, 等. AZ5214E 反转光刻胶的性能研究及其在剥离工艺中的应用[J]. 功能材料, 2005, 36(2): 431-433.
- [14] Franssila S. 微加工导论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [15] 于映, 赵晨, 罗仲梓, 等. Al、Au 溅射薄膜的剥离技术研究[J]. 真空科学与技术学报, 2005, 25: 112-114.
- [16] 徐学基, 诸定昌. 气体放电物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1996.

---

(上接第 368 页)

- [3] 季杰, 蒋斌, 陆剑平, 等. 新型 PV-Trombe 墙的实验[J]. 中国科学技术大学学报, 2006, 36(4): 349-354.
- [4] Ji Jie, Yi Hua, Pei Gang, et al. Study of PV-Trombe wall installed in a fenestrated room with heat storage [J]. Applied Thermal Engineering, 2007, 27: 1 507-1 515.
- [5] Buzzoni L, Dall'Olio R, Spiga M. Energy analysis of a passive solar system[J]. Rev Gén Therm, 1998, 37: 411-416.
- [6] Ciampi M, Leccese F, Tuoni G. Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings[J]. Solar Energy, 2003, 75: 491-502.
- [7] Kreider J F, Keith F. Solar Heating and Cooling: Active and Passive Design[M]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1982.
- [8] Matuska T, Sourek B. Facade solar collectors [J]. Solar Energy, 2006, 80: 1 443-1 452.
- [9] Chow T T, He W, Chan A L S, et al. Computer modeling and experimental validation of a building-integrated photovoltaic and water heating system[J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28: 1 356-1 364.
- [10] Ji Jie, Yi Hua, He Wei, et al. Modeling of a novel Trombe wall with PV cells [J]. Building and Environment, 2007, 42: 1 544-1 552.
- [11] Duffie J A, Beckman W A. Solar Engineering of Thermal Processes [M]. New York: Wiley-Interscience, 1980.
- [12] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.