

与建筑一体化太阳能双效集热器系统在夏季工作时 对建筑负荷的影响

季杰, 罗成龙, 孙炜, 何伟, 江清阳

中国科学技术大学热科学和能源工程系, 合肥 230026

E-mail: jijie@ustc.edu.cn

2009-10-12 收稿, 2009-12-09 接受

国家自然科学基金(批准号: 50876098)和国家“十一五”科技支撑计划(编号: 2006BAA04B04)资助项目

摘要 特别针对已提出的与建筑一体化太阳能双效集热器系统以自然循环方式工作的集热水模式, 建立了与建筑耦合计算的系统理论模型并进行了实验验证. 实验验证结果验证了该理论模型的正确性. 另外, 为了讨论该新型系统在夏季工作时对室内热环境的影响情况, 还特别针对一个依据一般实际建筑的结构和围护结构材料特点而设计的虚拟房间, 采用验证的理论模型, 模拟计算了该房间带新型集热模块和不带新型集热模块的冷负荷情况. 模拟结果得到, 在夏季工作时, 房间带新型集热模块时的全天冷负荷量比不带时要降低约 1.02%. 尽管这个降低量不大, 但这个结果表明, 与建筑一体化太阳能双效集热器系统在夏季工作时不仅可以有效利用太阳能制热水, 而且不会遇到传统被动采暖系统在夏季要遇到的夏季过热问题, 更特别的是还能一定程度上改善室内热环境.

关键词

与建筑一体化
太阳能双效
集热器系统
被动采暖
集热水
自然循环
冷负荷
夏季过热

近年来, 我国经济规模和能源消耗都快速增加, 但能源利用效率还停留在较低水平, 使我国的能源紧张和环境污染局势日趋加重. 能源和环境问题成为制约中华民族复兴, 同时也是制约人类生存发展的重要问题之一. 在社会能源总消耗中, 建筑耗能约占 1/3 以上, 其中建筑采暖、制冷、热水耗能约占整个建筑耗能达 40%, 因此, 建筑采暖、制冷、热水供应中的能源利用方式和能源利用效率, 直接影响到我国能源的总体利用情况. 太阳能因为其可再生以及对环境友好的优点, 是重要的化石能源替代物, 在建筑中大力推广应用太阳能利用技术将是规模化发展可再生能源、降低建筑能耗中常规能源比例的重要途径.

在太阳能应用中, 太阳能制热水和太阳能采暖是两种发展较为普遍的应用形式. 但这两类传统太

阳能应用形式仍然存在的一些不足, 制约了其进一步的发展和推广. 传统太阳能被动采暖系统存在夏季过热问题^[1~5]. 传统太阳能热水系统存在屋顶安装面积不够、安装不美观以及冬季易结冻等问题^[6,7]. 为解决这些问题, 我们提出了一种新型的与建筑一体化太阳能双效集热器系统^[8]. 该新型系统带有一种特别设计的新型集热模块——与建筑一体化太阳能双效集热器模块, 具有两种独立功能: 一是在冬季时采用被动采暖工作模式运行以给建筑供暖, 二是在建筑无需供暖时期采用集热水工作模式运行以制热水.

在文献[8]中, 我们已经给出了系统在热箱实验平台上分别在被动采暖工作模式和以自然循环方式工作的集热水工作模式下的实验测试结果. 本文将特别针对该新型系统以自然循环方式工作的集热水工作模式, 建立系统集热模块与建筑耦合传热计算

模型, 并进行模拟计算和实验验证. 另外, 还将针对一个依据一般实际建筑的结构和围护结构材料特点而设计的虚拟房间, 采用验证的理论模型, 模拟计算该房间带新型集热模块和不带新型集热模块的冷负荷情况, 并通过对比结果, 研究得到该新型系统在夏季工作时对建筑负荷的影响情况.

1 集热水工作模式下的理论模型

图1所示为已经设计加工得到的与建筑一体化太阳能双效集热器模块, 该模块根据传统铜-铝复合平板集热器设计得到, 但具有一个特别设计加宽的空气间隙层和两个在模块背板上下位置的开口. 其尺寸大小为 $1.945\text{ m} \times 0.945\text{ m}$. 更详细参数可参见文献[8].

在集热水工作模式下, 与建筑一体化太阳能双效集热器系统在功能上与普通太阳能热水器系统相同, 但由于与建筑一体化太阳能双效集热器模块是直接安装在建筑南立面上, 集热模块与所安装的建筑南墙在传热上相互影响, 因此要分析与建筑一体化太阳能双效集热器系统在集热水工作模式下的性能, 应建立集热模块与建筑耦合传热模型.

1.1 集热模块的热平衡方程

在本研究中, 集热模块与建筑耦合传热模型关于水路的传热流动计算参照文献[9], 但关于水路计算也有一点不同, 即水箱中水温的计算在本研究中取为3个节点而原文中分作5个节点. 但关于玻璃盖板、吸热铝板、铜管的传热计算方程需要重新建立, 将在后面给出.

玻璃盖板作沿厚度方向的一维传热假设, 其热传导方程是:

$$\rho_g C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \lambda_g \frac{\partial^2 T_g}{\partial x^2} + S_{\text{solar}}, \quad (1)$$

外表面边界条件:

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

内表面边界条件:

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

其中 ρ_g , C_g , λ_g 和 d_g 分别代表玻璃盖板的密度(kg/m^3)、



图1 与建筑一体化太阳能双效集热器模块
(a) 剖视图; (b) 背视图

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

q_L 的计算关系式为:

$$q_L = \varepsilon_g \sigma (T_e^4 - T_g^4) \bigg|_{x=0}, \quad (4)$$

$$T_e^4 = f_s T_{\text{sky}}^4 + f_g T_{\text{grd}}^4 + f_u T_{\text{sur}}^4, \quad (5)$$

其中 ε_g 表示玻璃盖板热发射率, T_e 是一个综合了天空温度 T_{sky} 、地面温度 T_{grd} 和周围物温度 T_{sur} 的等价温度, f_g , f_s 和 f_u 分别表示玻璃盖板与天空、地面和周围物的视角系数. (5) 式中各参量参照文献[10]确定.

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:

$$\begin{aligned} w_p d_p \rho_p c_p \frac{\partial T_p}{\partial t} = & w_p d_p \lambda_p \frac{\partial^2 T_p}{\partial z^2} + \alpha_p \tau_g I_{\text{solar}} w_p \\ & + h_{p,g} (T_g - T_p) w_p + h_{p,\text{in}} (T_{\text{in}} - T_p) w_p \\ & + h_{t,p,g} (T_p - T_g) w_p + \frac{(T_t - T_p)}{R_{p,t}}, \end{aligned} \quad (6)$$

其中 w_p 表示单片铝板的宽度(m); ρ_p , C_p , λ_p 和 d_p 分别表示铝板的密度(kg/m^3)、热容(J/kg)、导热系数($\text{W/m}\cdot\text{K}$)和厚度(m); I_{solar} 表示投射的太阳总辐照强度(W/m^2); τ_g 表示玻璃盖板透过率; α_p 表示吸热铝板正面吸收率; $R_{p,t} = \frac{w_p}{8\lambda_p d_p}$ 代表铝板与铜管的热阻($\text{m}\cdot\text{K/W}$); T_t 和 T_{in} 分别表示铜管温度和绝热背板表面温度(K); $h_{p,\text{in}}$ 表示铝板与绝热背板间的对流换热系数($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$).

只考虑铜管沿高度方向的温度变化, 其热平衡方程写为:

$$\begin{aligned} \pi D_t d_t \rho_t c_t \frac{\partial T_t}{\partial t} = & \pi D_t d_t \lambda_t \frac{\partial^2 T_t}{\partial z^2} + \pi D_t h_{t,\text{in}} (T_{\text{in}} - T_t) \\ & + \pi D_t h_{w,t} (T_w - T_t) + \frac{(T_p - T_t)}{R_{p,t}}, \end{aligned} \quad (7)$$

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

1.2 建筑房间

(i) 一般围护结构的热平衡方程. 仅考虑围护结构沿厚度方向的热传导, 关于一般围护结构的热传导方程可表述为:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + s, \quad (8)$$

其中 s 表示热源项, 其值除窗户结构外, 都为 0.

其外表面的边界条件为:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = f(x) \Big|_{x=0}, \quad (9)$$

特别地, 对于南墙可表述为:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha I_{\text{solar}} + h_{c,o} (T_a - T), \quad (10)$$

其内表面的边界条件是:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_{c,i} (T_{\text{indoor}} - T_L) + \sum_{j \neq i}^N q_{j,i} + q_{\text{solar,sh},i}, \quad (11)$$

其中 $f(x) \Big|_{x=0}$ 表示边界条件表述形式, αI_{solar} 表示围护结构外表面吸收的太阳辐照(W/m^2); T_{indoor} 表示房间空气温度, 特别地对于空调房间, 它代表空调房间的控制温度(K); $h_{c,o}$ 和 $h_{c,i}$ 分别表示围护结构外表面和内表面上的对流换热系数($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$); N 表示围护结构数量; $q_{j,i}$ 表示围护结构 i 与围护结构 j 之间的辐射换热(W/m^2); $q_{\text{solar,sh},i}$ 表示透过窗帘结构进入室内后, 太阳辐射在围护结构 i 上的分配量(W/m^2). 特别地, 对于无窗结构房间, 关于房间的所有围护结构的 $I_{\text{solar,sh},i}$ 都为 0; 对于有窗结构房间, 关于窗户结构的 αI_{solar} , $q_{j,i}$ 和 $q_{\text{solar,sh},i}$ 这 3 项都为 0.

对于非窗户结构, $q_{j,i}$ 可线性化表示为:

$$q_{j,i} = h_{rj,i} A_i (T_j - T_i), \quad (12)$$

其中 $h_{rj,i}$ 表示围护结构 i 与围护结构 j 内表面之间的线性化的辐射换热系数($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$), A_i 表示围护结构 i 的表面面积(m^2), T_i , T_j 分别表示围护结构 i , j 的内表面温度(K).

考虑到室内各表面间热辐射换热存在热辐射被多次吸收反射等问题, 求解 $h_{rj,i}$ 可采用^[10]:

$$\begin{aligned} h_{rj,i} = & \frac{\varepsilon_i \varepsilon_j \sigma f_{i \rightarrow j} (T_j^2 + T_i^2) (T_j + T_i)}{[1 - (1 - \varepsilon_i)(1 - \varepsilon_j) f_{i \rightarrow j} A_i / A_j]} \\ & + \varepsilon_i \varepsilon_j \sigma A_j (T_j^2 + T_i^2) (T_j + T_i) \\ & \times \sum_{k=1}^N \frac{(1 - \varepsilon_k) f_{i \rightarrow k} f_{j \rightarrow k}}{A_k [1 - (1 - \varepsilon_i)(1 - \varepsilon_j)(1 - \varepsilon_k) f_{i \rightarrow k} f_{k \rightarrow j} f_{j \rightarrow i}]}, \end{aligned} \quad (13)$$

其中下标 i , j 和 k 分别代表对应围护结构内表面, A 表示围护结构表面面积(m^2), ε 表示围护结构内表面热发射率, f 表示视角系数.

本文将针对的有窗结构的房间其窗户后置有窗帘. 因为对于透过窗帘的太阳辐射可假定透过太阳辐射为散射投射, 因此, 可借用前面求解室内各表面间热辐射换热的方法, 得到在室内各表面的分配, $q_{\text{solar,sh},i}$ 的求解公式为:

$$\begin{aligned} q_{\text{solar,sh},i} = & \frac{\alpha_i f_{i \rightarrow \text{sh}} A_i \tau_g I_{\text{solar}} (1 - \gamma_{\text{sh}})}{[1 - (1 - \alpha_i)(1 - \tau_{\text{sh}}) f_{i \rightarrow \text{sh}} A_i / A_{\text{sh}}]} \\ & + \alpha_i \tau_g I_{\text{solar}} (1 - \gamma_{\text{sh}}) A_{\text{sh}} \end{aligned}$$

$$\times \sum_{k=1}^N \frac{(1-\alpha_k)f_{i \rightarrow k}f_{sh \rightarrow k}}{A_k[1-(1-\alpha_i)(1-\tau_{sh})(1-\alpha_k)f_{i \rightarrow k}f_{k \rightarrow sh}f_{sh \rightarrow i}]}, \quad (14)$$

其中下标 sh 表示窗帘结构, $\tau_g I_{\text{solar}}$ 表示投射在窗帘上太阳辐照强度(W/m^2), α 表示围护结构内表面的太阳辐射吸收率, γ_{sh} 和 τ_{sh} 分别代表窗帘的太阳辐射反射率和透过率, 并且假定忽略其吸收率, 故 $\gamma_{\text{sh}} + \tau_{\text{sh}} = 1$.

(ii) 集热模块与建筑耦合传热计算. 由于集热模块是直接安装贴附在建筑南墙外表面上, 集热模块与其附着建筑南墙之间存在热耦合问题, 因此对于带有集热模块的建筑南墙的传热计算需要特殊考虑. 为简化处理, 本文将集热模块的绝热背板看作为其相邻南墙多加的一绝热材料层, 从而可将集热模块的绝热背板和其相邻南墙两者统一看成一复合墙体结构. 因而, 关于该复合墙体结构的热传导方程、内表面的边界条件都可以采用前已针对一般围护结构所给出的方程, 只需将其外表面的边界条件修改为:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \bigg|_{x=0} = h_{p,\text{in}}(T_p - T_{\text{in}}) + h_{t,\text{in}}(T_t - T_{\text{in}}). \quad (15)$$

(iii) 室内空气温度. 对于非空调房间, 为计算房间空气温度, 可以将整个房间作为一个节点建立其与所有建筑围护结构的对流换热关系. 可得:

$$\rho_a V_{\text{room}} C_a \frac{\partial T_{\text{indoor}}}{\partial t} = \sum h_{c,i} A_i (T_L - T_{\text{indoor}}), \quad (16)$$

其中 ρ_a , C_a 分别表示空气密度(kg/m^3)和定容比热容(J/kg), V_{room} 表示房间体积(m^3), A_i 表示围护结构 i 的面积(m^2). 而对于空调房间, 房间温度为设定固定值.

1.3 换热系数

(i) 建筑围护结构相关对流换热系数. 在建筑传热模拟计算中, 常是将围护结构外表面的对流换热当作强迫对流考虑, 而将围护结构的内表面的对流换热当作自然对流考虑, 因此, 围护结构的内外表面上的对流换热系数的计算方法并不相同.

围护结构外表面的对流换热计算, 采用^[11]

$$h_c = 5.6 + 3.8V, \quad (17)$$

其中 V 表示环境风速(m/s).

围护结构外表面的对流换热计算, 采用经验关系式^[12]:

$$h_c = 2.03\Delta T^{0.14}, \quad (18)$$

其中 ΔT 表示表面与房间空气之间的温差(K).

(ii) 集热模块内的换热系数. 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:

$$h_c = \frac{Nu\lambda_a}{\delta}, \quad (19)$$

其中 Nu 表示平均努塞尔数, λ_a 表示空气的导热系数($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$), δ 表示两相邻面之间的距离(m). Nu 采用下面的经验式求解^[13]:

$$Nu = 0.197(Gr_\delta Pr)^{1/4}(\delta/H)^{1/9}, \quad (20)$$

$$Gr_\delta = \frac{g\beta\Delta T\delta^3}{\nu^2}, \quad (21)$$

其中 ΔT 表示相邻两面之间的温差(K), ν 表示空气的动力黏度(m^2/s), Pr 表示空气的普朗特数.

1.4 空调房间的冷/热负荷计算

由于本文所建立的模型为动态模型, 因此对于空调房间, 其围护结构内表面与房间空气在某时刻的对流换热量就代表该时刻该围护结构对于房间冷/热负荷的贡献量, 所有围护结构的冷/热负荷的贡献量的总和即为该时刻房间的动态的冷/热负荷.

根据方程(11), 可得:

$$L_i = h_{c,i} A_i (T_L - T_{\text{indoor}})^+, \quad (22)$$

$$L = \sum h_{c,i} A_i (T_L - T_{\text{indoor}})^+, \quad (23)$$

其中 L_i 表示围护结构 i 对于房间冷/热负荷的瞬时贡献量(W), L 表示房间的瞬时冷/热负荷(W), 特别地, 标识⁺表示: 正值代表冷负荷, 负值代表热负荷.

2 结果和讨论

2.1 模型验证

为进行与建筑一体化太阳能双效集热器系统在集热水工作模式下的性能研究, 我们在 2008 年 4 月 25 日对系统进行了 8 h 的连续测试, 测试时间段为 8:00 ~ 16:00. 实验装置、测试方法的介绍和测试结果已在文献[8]给出. 本文将以此期间测试结果为基础, 验证之前所建立的模型的正确性和精度.

以测试期间的环境数据为条件, 采用所建立的集热模块与建筑耦合传热计算模型, 模拟计算得到的水箱中水温变化曲线见图 2 所示标识 S 对应曲线. 此外, 图 2 所示水温上中下 3 条曲线分别在水箱上部、

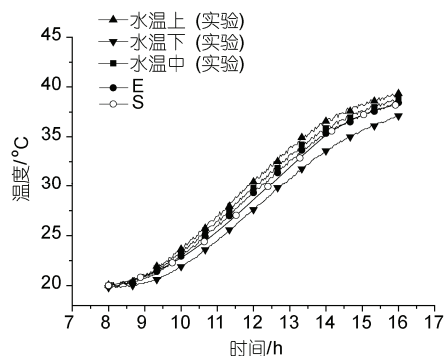


图2 系统水箱中水温变化的实测结果和模拟结果的对比

中部和下部位置所测实验数据。为了对比方便,取三个位置水温的平均值来作对比,见图2中标识E所对应曲线。通过对比曲线S和E,可以发现水箱中水温的模拟结果变化曲线与实验测试结果曲线吻合很好。在整个对比期间,模拟结果与对比结果的最大绝对误差仅为 0.8°C 。模拟结果得到的系统在期间的集热水效率为 51.7% ,与实验结果得到的集热水效率 52.8% 的绝对误差仅为 1.1% ,相对误差为 2.1% 。

图3所示为系统工作期间,室内房间温度的实验测试结果曲线和模拟结果曲线的对比情况。两者对比表明,模拟得到的室内房间温度的变化曲线在整个期间与实验测试得到的室内房间温度的变化曲线吻合很好,而且整个期间两者的最大绝对误差仅为 0.5°C 。

综合以上结果,可以得到本文关于与建筑一体化太阳能双效集热器系统以自然循环方式工作在集热水模式下所建立的理论模型的准确。

2.2 夏季工作时对室内热环境的影响

为了研究以自然循环方式运行在集热水工作模式下,与建筑一体化太阳能双效集热器系统对建筑室内热环境的影响情况,本文将采用前已建立并验证的理论模型,模拟计算并对比分析带该新型系统的房间和不带该新型系统的对比房间的负荷情况。

所针对的房间假定为空调房间,其尺寸为高 2.8 m /宽 3.6 m (东西方向)/深 4.8 m (南北方向)。房间设置有水平遮阳板和高 1.2 m /宽 2.0 m 的、背面置有窗帘的南向窗户,其中窗帘对于太阳辐射的透过率假定为 0.3 。房间的竖直墙体为 240 mm 砖墙。砖墙的导热系数、密度和热容分别为 $0.814\text{ W/m}\cdot\text{K}$, 1800 kg/m^3 和 $840\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ 。地面和屋顶为 100 mm 水泥板。

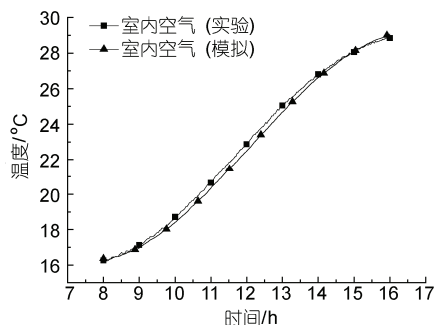


图3 室内房间温度的实验测试结果与模拟结果的对比曲线

水泥板的导热系数、密度和热容分别为 $0.93\text{ W/m}\cdot\text{K}$, 1800 kg/m^3 和 $840\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ 。为简化模型,其他参数和假设:

(1)除南向向外,其他所有墙体外表面假定为绝热。

(2)水平遮阳板假定设计合理,可以达到遮挡直射太阳辐射投射在竖直围护结构上(南墙和南窗),但不遮挡投射在集热模块的玻璃盖板上的太阳辐射。

空调房间的控制温度为 23°C 。系统每天晚上 $19:00$ 换水,并且假定换水过程可以瞬间完成。换水温度依据合肥地区在夏季的自来水温度范围取 26°C 。用于模拟计算所采用的气象数据是合肥在2009年6月15日(夏天)的全天实测数据,见图4所示。由图4可得,当天环境温度最高达到 32.7°C ,平均为 27.2°C ;投射在南向竖直面上的太阳辐照强度最高为 313.4 W/m^2 ,全天辐照总量约为 8.04 MJ/m^2 。特别说明的是当天天气晴朗,太阳辐照很好,但由于夏季太阳高度角高,所以会存在竖直面上辐照强度不高的结果。

图5~7所示为以所测气象数据作为条件,在集热器的水量负荷 40 kg/m^2 下,进行连续7天模拟计算得到的结果:水箱中水温变化、带新型集热模块的房

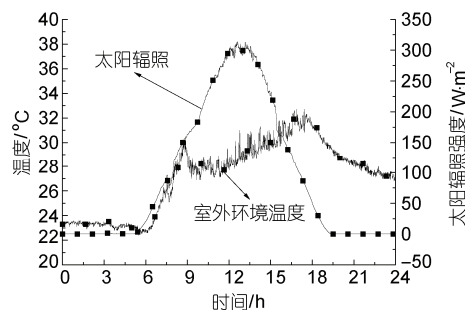


图4 2009年6月15日合肥地区外环境温度和投射在南向竖直面的太阳辐照强度的全天实测数据(夏天)

间和对比房间的围护结构对各自房间负荷的贡献量. 由图可以看出, 进行连续7天的模拟后, 所有结果参数的变化趋势在最后几天已趋于稳定, 因此可以把已趋于稳定的第7天的模拟结果作为讨论依据.

图8是在给定条件下, 系统水箱中平均水温在全

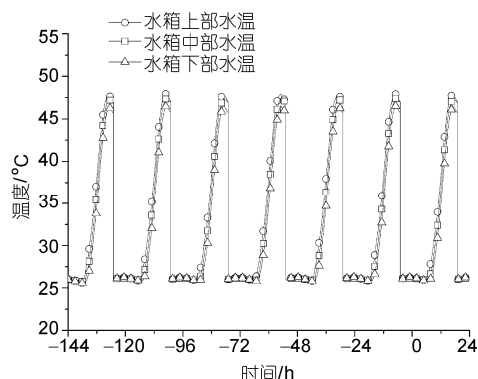


图5 模拟得到的水箱不同位置的水温在全部7天的变化曲线

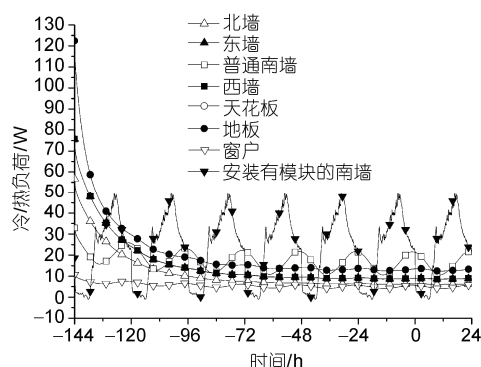


图6 7天中带集热模块的房间的所有围护结构对室内负荷贡献的变化曲线

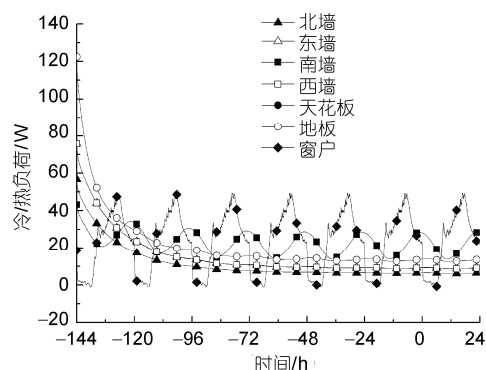


图7 7天中不带集热模块的房间的所有围护结构对室内负荷贡献的变化曲线

天的变化情况. 图示所示, 水温在全天的变化区间为 25.8~47.3℃. 由最高水温情况, 可以发现系统在给定条件下, 在夏天可以有效提供热水.

图9为带新型集热模块的房间与对比房间的负荷对比情况. 由图可以发现, 两个房间在该时期都只有冷负荷; 带新型集热模块的房间的冷负荷变化曲线在白天大致与对比房间的接近, 但在晚上其变化曲线完整地处在对比房间的下部. 计算得到, 对比房间的全天冷负荷量为 8185.8 kJ, 带新型集热模块的房间的全天冷负荷量为 8102.5 kJ, 带新型集热模块的房间的全天冷负荷量相对于对比房间降低约 1.02%. 这个降低量尽管比较小, 但这个结果表明该新型系统在夏季工作时可以在一定程度上改善室内热环境, 不会造成建筑过热问题.

考虑到传统被动采暖系统在夏季时不仅不能有效利用, 而且还会造成建筑过热问题, 相比较该新型系统在夏天可以有效利用太阳能制热水, 而且还能一定程度上改善室内热环境, 这突出地证明了该新

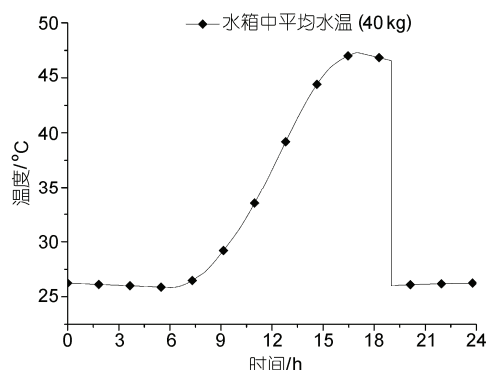


图8 第7天系统水箱中平均水温的变化曲线

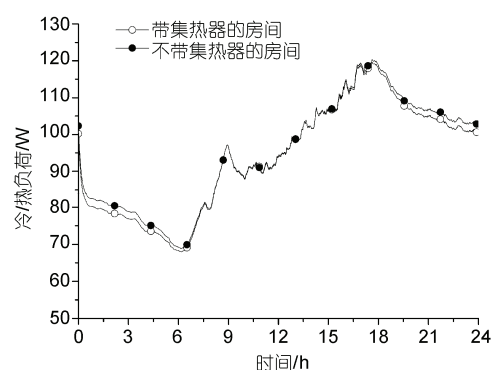


图9 第7天带集热模块房间与不带集热模块房间的冷负荷变化的对比曲线

型系统的概念的先进和有效。

3 结论

本文特别针对与建筑一体化太阳能双效集热器系统以自然循环方式运行的集热水工作模式,建立了系统在该工作模式下的集热模块与建筑耦合传热计算模型。模拟结果和实验测试结果对比得到,模拟得到的水箱中水温变化曲线以及室内房间温度变化曲线都与实验结果吻合很好,水箱中水温模拟结果的绝对误差为 0.8°C ,系统集热水效率的相对误差为 2.1% ,室内房间温度模拟结果的绝对误差为 0.5°C 。这些结果验证了本文关于与建筑一体化太阳能双效集热器系统以自然循环方式工作在集热水模式下所建立的理论模型的准确性。

此外,依据验证的理论模型,为了研究与建筑一体化太阳能双效集热器系统在夏季工作时对建筑负荷的影响情况,本文还模拟对比了一个根据实际房间结构和材料特点设计的房间带新型集热模块和不带新型集热模块时的冷负荷情况。模拟结果得到,在夏季工作时,系统水箱中水温最高达到 47.3°C ,房间带新型集热模块时的全天冷负荷量为 8102.5 kJ ,而不带新型集热模块时的全天冷负荷量为 8185.8 kJ ,带新型集热模块的房子的全天冷负荷量要降低约 1.02% 。这些结果表明,与建筑一体化太阳能双效集热器系统在夏季工作时可以有效利用太阳能制热水,而且不会遇到传统被动采暖系统在夏季要遇到的夏季过热问题,更特别的是还能一定程度上改善室内热环境。

参考文献

- 1 Zalewski L, Chantant M, Lassue S, et al. Experimental thermal study of a solar wall of composite type. *Energy Build*, 1997, 25: 7—18
- 2 Chen B, Zhang Z, Chen X, et al. Field survey on indoor thermal environment of rural residences with coupled Chinese Kang and passive solar collecting wall heating in Northeast China. *Solar Energy*, 2007, 81: 781—790
- 3 Li Y G, Zhuang Z, Liu J P. Chinese Kangs and building energy consumption. *Chinese Sci Bull*, 2009, 54: 992—1002
- 4 Ji J, Yi H, He W, et al. Modeling of a novel Trombe wall with PV cells. *Build Envir*, 2007, 42: 1544—1552
- 5 Wang X, Zhang Y P, Xiao W, et al. Review on thermal performance of phase change energy storage building envelope. *Chinese Sci Bull*, 2009, 54: 920—928
- 6 Norton B, Edmonds J E J. Aqueous propylene-glycol concentrations for the freeze protection of thermosyphon solar energy water heaters. *Sol Energy*, 1991, 47: 375—382
- 7 Chow T T, Chan A L S. Numerical study of desirable solar-collector orientations for the coastal region of South China. *Appl Energy*, 2004, 79: 249—260
- 8 季杰, 罗成龙, 孙伟, 等. 一种新型的与建筑一体化太阳能双效集热器系统的实验研究. *太阳能学报*, 已接受
- 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. *Appl Therm Eng*, 2008, 28: 1356—1364
- 10 Clarke J A. *Energy Simulation in Building Design*. 2nd ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2001
- 11 Duffie J A, Beckman W A. *Solar Engineering of Thermal Process*. New York: Wiley-Interscience, 1980
- 12 Khalifa A J N, Marshall R H. Validation of Heat transfer coefficients on interior building surfaces using a real-sized indoor test cell. *Int J Heat Mass Transfer*, 1990, 33: 2219—2236
- 13 杨世铭, 陶文铨. *传热学*. 北京: 高等教育出版社, 1998