

2 种 PV-Trombe 墙的光电光热性能对比研究

马 杨, 季 杰, 孙 炜, 赵 志, 谢广觉

(中国科学技术大学热科学与能源工程系, 合肥 230026)

摘 要: 在同种工况下, 对外置式 PV-Trombe 墙与内置式 PV-Trombe 墙进行自然对流实验, 对比研究 2 种系统装置的热性能与电效率。研究表明, 相比于外置式 PV-Trombe 墙, 内置式 PV-Trombe 墙的空气集热效果更加明显, 且内置式 PV-Trombe 墙与外置式 PV-Trombe 墙的上下风口最高温差可分别达到 14.9 和 13.5 °C。带有内置式 PV-Trombe 墙的房间的平均温度比带有外置式 PV-Trombe 墙房间的平均温度高 1.5 °C。在光电转化方面, 外置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池模块效率高于内置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池模块效率。内置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池的工作温度较高, 且受边框阴影的影响严重, 光电转化效率较低。

关键词: 太阳能采暖; 太阳能电池; 被动式太阳能建筑; PV-Trombe 墙

中图分类号: TK519

文献标识码: A

0 引 言

Trombe 墙与建筑结合结构是一种广泛研究的集热-储热被动式采暖系统。国内外关于 Trombe 墙已有大量针对其传热、流动、性能评价方面的理论和实验研究。Smolec 等^[1,2]对 Trombe 墙系统的温度场进行理论计算, 并将计算结果与实验结果进行比较, 得到了很好的吻合关系; 文献[3]在冬季夜晚通过实验对 Trombe 墙在添加卷帘的情况下进行了保温效果研究; 季 杰等^[4-8]研究了一种新型 PV-Trombe 墙, 在传统 Trombe 墙的玻璃盖板背面层压上深蓝色的多晶硅光电池, 外表面更加美观。

当太阳光照射到 Trombe 墙上的太阳能电池时, 部分太阳光会被太阳能电池吸收并转换成电能, 电池接收太阳辐照产生的热量会被流道内部的空气吸收。部分太阳光会通过玻璃上太阳能电池的空隙, 照射到背面集热板上并加热 Trombe 墙的空气流道内的空气。但是 PV-Trombe 墙的光电池贴在玻璃盖板上, 阻挡了大部分的太阳光透过玻璃进入 Trombe 墙内部, 影响集热墙对于太阳辐照的吸收。太阳能电池产生的热量通过玻璃盖板与室外的空气进行对流传热, 产生大量热损。苏亚欣等^[9,10]针对 PV-

Trombe 墙的阳光遮挡严重与太阳能电池产生热量容易散发到室外的情况, 提出内置式 PV-Trombe 墙。在这种 PV-Trombe 墙中, 太阳能电池模块分布于 Trombe 墙的通道内墙体, 太阳光穿过高透过率的玻璃盖板照射到太阳能电池表面。太阳能电池吸收到太阳辐照发电, 在发电的同时还会产生热量, 加热空气流道内的空气, 通过 CFD 的数值模拟研究, 得出这种 PV-Trombe 墙对室内通风效果更好, 热效果更佳。

为表述方便, 将第 1 种 PV-Trombe 墙称为外置式 PV-Trombe 墙, 第 2 种为内置式 PV-Trombe 墙。本文通过实验的研究方法, 在冬季对上述 2 种 PV-Trombe 墙在相同气候环境、相同结构尺寸, 分别安装在热箱的 2 个对比房间的南墙上的系统装置进行对比研究。通过实验得到 2 种装置的发电效率、流道温度分布和室内的温度分布, 并对实验结果进行比较分析和性能评估。

1 实 验

实验装置所在热箱是具有外围护结构建筑结构, 2 个对比房间南墙分别装有 2 块外置式 PV-Trombe 墙和 2 块内置式 PV-Trombe 墙, 如图 1a 所

收稿日期: 2017-03-09

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51878636); 安徽省重点研究和开发计划(201904a07020014); 东莞市引进创新科研团队计划(2014607101008)

通信作者: 季 杰(1963—), 男, 博士、教授, 主要从事太阳能利用方面的研究。jjie@ustc.edu.cn

示的左侧、右侧房间的南墙。图 1b 所示的房间尺寸为 3.9 m(长)×3.9 m(宽)×2.6 m(高),南墙是厚度为 400 mm 的红砖墙体。其他墙体以及顶和底板均采用夹心保温钢板。热箱有内外保温轻质墙,内保温墙壁厚度为 50 mm,外保温墙壁厚度为 100 mm。

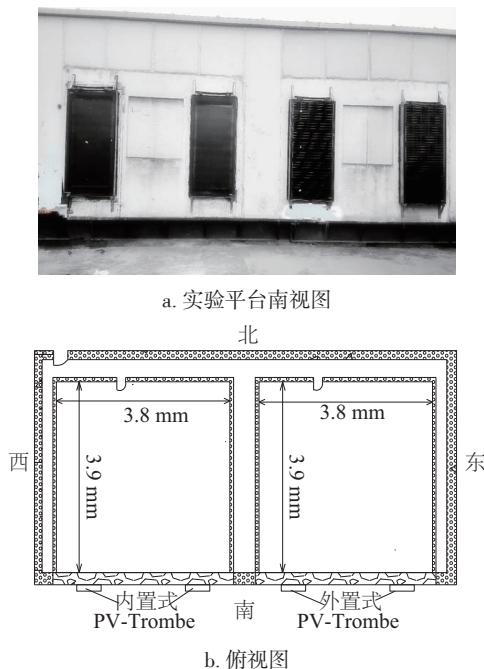


图 1 可对比房间实验平台南视图和俯视图示意图

Fig. 1 South view of the comparable hot box & horizontal cross section view of comparable room

2 种 PV-Trombe 墙的物理模型如图 2 所示,结构尺寸均为 1994 mm(高)×994 mm(宽)×180 mm(厚)。外置式 PV-Trombe 墙由玻璃盖板、单晶硅太阳能电池、吸热板以及保温层组成,太阳能电池层压在玻璃盖板上;内置式 PV-Trombe 墙,结构与外置式 PV-Trombe 墙相同,但其太阳能电池层压在保温层上的吸热板上,太阳能电池主要覆盖在吸热板的上下开口的中间位置。上下风口的尺寸是 80 mm(高)×800 mm(宽),流道的截面尺寸 120 mm(厚)×994 mm(宽),保温层的厚度 50 mm。外置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池层压在玻璃上,太阳能电池接收太阳辐照要穿过玻璃;内置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池层压在集热板,在太阳能电池表面有 TPT(tedlar/PET/tedlar)材料,太阳能电池接收太阳辐照要穿过玻璃与 TPT,所以第 1 种情况接收到的太阳辐照比第 2 种情况强。

光伏系统主要包括太阳能电池模块、直流传感器、光伏控制器以及蓄电池组成。2 种结构的光伏部分数量一致且具有相同的电路连接方式。每个 PV-Trombe 墙的太阳电池模块均由 50 块 156 mm×156 mm 的单晶硅太阳能电池组成,每个 PV-Trombe 墙的实际电池面积均为 1.22 m²,太阳能电池总面积占 Trombe 墙竖直截面的比例为 0.6。太阳能电池输出采用最大功率追踪法 MPPT,蓄电池采用密封式铅酸蓄电池(12 V, 65 Ah)。

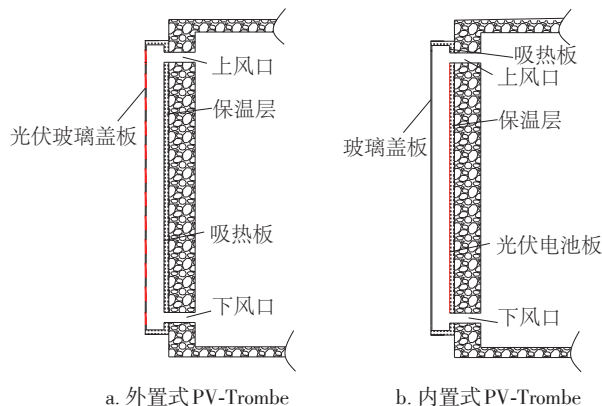


图 2 PV-Trombe 墙的示意图

Fig. 2 Schematic of PV-Trombe wall

在实验过程中进行温度测量、辐射测量及太阳能电池的电力最大功率输出测量。温度使用测量精度为 0.5 °C 的铜康铜热电偶,测试位置有太阳能电池部分,玻璃盖板上、中、下,内置式 PV-Trombe 墙的光伏吸热板,外置式 PV-Trombe 的吸热板,Trombe 墙的空气流道,Trombe 墙的上下风口,房间的上、中、下的 3 个高度位置和房间的内墙壁、并对环境温度进行测量。

太阳辐照用与 Trombe 墙平面平行的 TBQ-2 总辐照表测量。电力输出通过最大功率追踪器的光伏控制器进行最大功率输出。上述的所有测量数据均是由 Agilent34980A 数据采集仪实时采集,采集时间周期 0.5 min。

2 实验数据分析

2.1 室内温度变化对比

本次实验的时间为 2016 年 12 月 5 日 09:00~7 日 21:00(共 60 h)。在合肥地区的热箱内进行了热性能与电性能动态对比试验,图 3 中环境温度 T_a 、辐照度是测量了 3 d 的温度值与垂直面辐照变化曲

线。这 3 d 中太阳辐照良好,辐照强度最大为 735 W/m^2 ,环境温度波动明显。

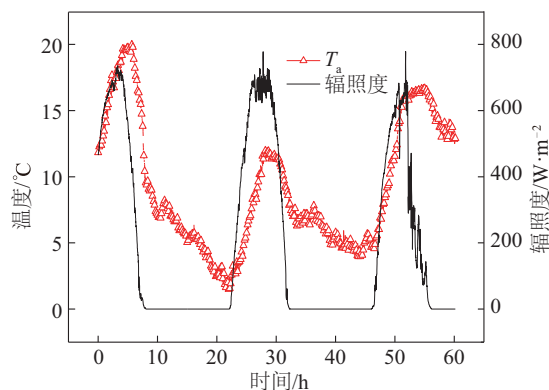


图3 2016年12月5日09:00~7日21:00(共60 h)环境温度参数

Fig. 3 Variation of solar irradiation and ambient temperature from 09:00 December 5th, 2016 to 21:00 on 7th (60 h)

图4为2016年12月5日09:00~7日21:00内房间温度随时间在高度方向的温度变化曲线。 T_{1-1} 、 T_{2-1} 、 T_{3-1} 是内置式 PV-Trombe 墙的房间在高度方向 0.35、1.55、2.30 m 处温度值; T_{1-2} 、 T_{2-2} 、 T_{3-2} 为外置式 PV-Trombe 墙的房间在高度方向 0.35、1.55、2.30 m 处温度值。2个房间最上部的空气温度最高,下部分的空气温度最低,说明房间内部出现明显的分层现象。相比于带有外置式 PV-Trombe 墙的房间,带有内置式的 PV-Trombe 墙的房间各处温度均稍高。

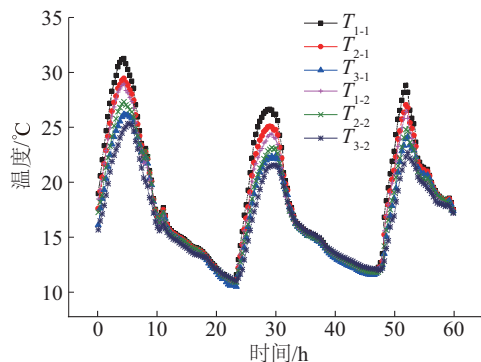


图4 2016年12月5日09:00~7日21:00(共60 h)温度变化曲线

Fig. 4 Temperature change curve of two rooms from 09:00 December 5th, 2016 to 21:00 on 7th (60 h)

室内的平均温度是由房间内上、中、下 3 个位置的温度取平均值所得,图5为房间的平均温度与

环境温度间温度差的变化曲线,其中 $T_1 - T_e$ 和 $T_2 - T_e$ 分别是带有内置式 PV-Trombe 墙和外置 PV-Trombe 墙的房间平均温度与环境的温差值。在打开风口的情况下,带有内置式 PV-Trombe 墙的房间温度与环境温度差高于带有外置式 PV-Trombe 墙的房间温度与环境温度差。对比房间与环境温差在实验的第2天(2016年12月6日)最高,所以对于此类 PV-Trombe 墙在辐照情况好,环境温度低的地区有更优越的效果。实验第2天,装有内置式 PV-Trombe 墙的房间和装有外置式 PV-Trombe 墙的房间平均温度与环境温度的温差分别是 12.3 和 10.4 $^{\circ}\text{C}$ 。

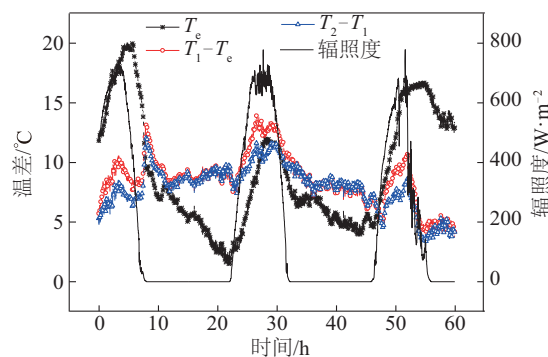


图5 2016年12月5日09:00~7日21:00(共60 h)环境温差图

Fig. 5 Temperature difference between two rooms average temperature and ambient temperature from 09:00 December 5th, 2016 to 21:00 on 7th (60 h)

2.2 PV-Trombe 墙的温度对比

在图6中,测试曲线表征的种 PV-Trombe 墙上下风口处温度值,其中 $T_{1-\text{Inlet}}$ 与 $T_{1-\text{Out}}$ 是内置式 PV-Trombe 墙的进出风口温度值, $T_{2-\text{Inlet}}$ 和 $T_{2-\text{Out}}$ 是外置式 PV-Trombe 墙的进出风口值,二者温度变化趋势相同。在上下风口打开期间,内置式 PV-Trombe 墙的上风口温度值是高于外置式 PV-Trombe 墙的上风口温度值,内置式 PV-Trombe 墙的上风口温度值为 40.9 $^{\circ}\text{C}$,外置式 PV-Trombe 墙的上风口温度值为 38.7 $^{\circ}\text{C}$ 。实验期间,内置式 PV-Trombe 墙的上、下风口处温差最大值可达 14.9 $^{\circ}\text{C}$,外置式 PV-Trombe 墙的上、下风口处温差值最大为 13.5 $^{\circ}\text{C}$ 。根据上下风口温差情况可知,内置式 PV-Trombe 墙的集热效果更优越。影响集热效果的因素较为复杂,一个原因是外置式 PV-Trombe 墙的光伏玻璃板的对环境的

热损略高于内置式 PV-Trombe 墙。

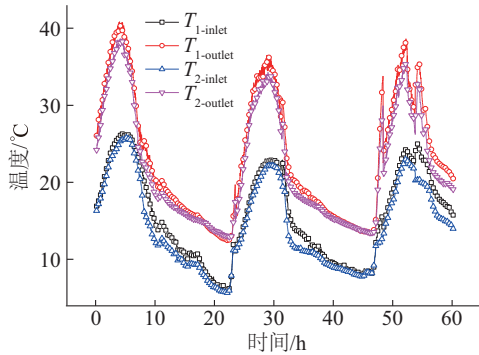


图6 2016年12月5日09:00~7日21:00(共60 h)
上下风口温度测试结果

Fig. 6 Air temperatures at inlet and outlet of two PV-Trombe walls from 09:00 December 5th, 2016 to 21:00 on 7th (60 h)

图7为2种装置玻璃盖板的平均温度对比。在上下风口打开期间,外置式 PV-Trombe 墙玻璃盖板的平均温度与内置式 PV-Trombe 墙的平均温度最大的温度差为 10.2 °C,平均温度差 5.6 °C。

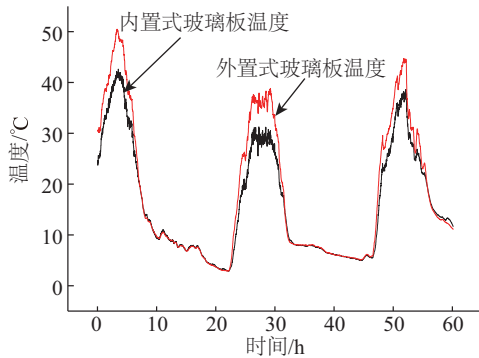


图7 2016年12月5日09:00~7日21:00(共60 h)
PV-Trombe 墙的玻璃板温度测试结果

Fig. 7 Temperatures of glass of PV-Trombe wall from 09:00 December 5th, 2016 to 21:00 on 7th (60 h)

2.3 太阳能电池电力输出

太阳能电池模块效率 η_{pv} 为:

$$\eta_{pv} = \frac{P_{Max}}{G \cdot A_{pv}} = \frac{U \cdot I}{G \cdot A_{pv}} \quad (1)$$

式中, P_{Max} —— 电池模块的最大瞬时功率, W; G —— 太阳辐照度, W/m^2 ; A_{pv} —— 太阳能电池模块面积, m^2 ; U —— 最大功率点电压, V; I —— 最大功率点电流, A。

在图8中, η_{In-pv} 、 η_{Out-pv} 分别指的是内置式 PV-

Trombe 墙与外置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池模块工作效率, T_{1-pv} 、 T_{2-pv} 分别是内置式 PV-Trombe 墙和外置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池的工作温度。外置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池模块效率维持在 0.13~0.15 之间, 内置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池模块效率在 0.09~0.12 之间。2 种 Trombe 墙的太阳能电池工作情况下, 太阳能电池产生的电功率差别约 50 W, 二者的电池工作效率具有很大差异。造成太阳能电池模块效率差异性的原因为: 1) 制作工艺, 即内置式 PV-Trombe 墙的光伏模块在接收到辐照时, 太阳辐照需穿过玻璃与 TPT; 2) 装置的结构存在区别, 即内置式 PV-Trombe 墙的光伏模块会受到边框阴影的遮挡; 3) 太阳能电池工作温度不同, 影响电池效率。内置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池会长时间工作在高温环境, 这种情况对于太阳能电池是很危险的, 会影响其使用寿命。

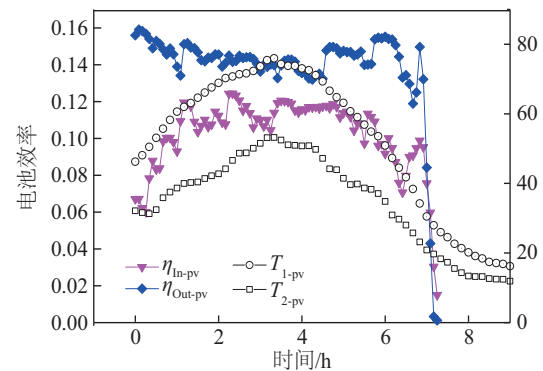


图8 2016年12月5日09:00~17:00(8 h)电池效率和
工作温度测试结果

Fig. 8 Electrical efficiency and operation temperature from 09:00 December 5th, 2016 to 17:00 (8 h)

3 光电光热性能评估

3.1 光热效率

PV-Trombe 墙有通过风口的对流换热和通过墙体的导热 2 种加热方式。2 种 Trombe 墙背面均有保温材料, 所以通过墙体传导热量较小, 本节主要对通过风口的对流换热进行分析。瞬时光热转换效率定义为空气得热量与投射到 Trombe 墙上的太阳辐照度之比:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m} \cdot c_p (T_{out} - T_{in})}{G \cdot A_c} \quad (2)$$

式中, \dot{m} ——空气质量流量, $\dot{m} = \rho \cdot A_{in} \cdot V$, 其中 ρ 为空气密度, A_{in} 为风口界面积, V 为 Trombe 墙空气流道的空气流速, kg/s; c_p ——空气定压比热, J/(kg·K); T_{in} 、 T_{out} ——Trombe 墙进出口空气温度, °C; A_c ——Trombe 墙采光面积, m²。

测量 Trombe 墙内的空气流速目前还存在很多困难。首先由于 Trombe 墙的结构原因, 无法将风速仪直接放入空气流道内部测量流道空气流速; 其次空气流速在流道或风口, 其大小是分布不均匀的。

本文使用伯努利方程推导的空气流速方程^[11]为:

$$V = \sqrt{\frac{g\beta(T_{out} - T_{in})L}{C_{in}\left(\frac{A_c}{A_{in}}\right)^2 + f\frac{L}{D_h} + C_{out}\left(\frac{A_c}{A_{out}}\right)^2}} \quad (3)$$

式中, T_{in} 、 T_{out} ——Trombe 墙进出口空气温度, °C; L ——PV-Trombe 墙的高度, m; A_{in} 、 A_{out} ——Trombe 墙上、下风口截面积, m²; f ——空气流道的沿程阻力系数; C_{in} 、 C_{out} ——上下风口的处的损失系数, 分别取 1.0、1.5; D_h ——流道的动力尺寸, m, $D_h = 2(w + d)$, 其中 w 、 d 代表流道的宽与厚, m。

如果是湍流, 沿程阻力系数值为:

$$f = 0.3164Re^{-0.25} \quad (4)$$

如果是层流, 沿程阻力系数值为:

$$f = \frac{96}{Re}(1 - 1.20244\chi + 0.88119\chi^2 + 0.88819\chi^3 - 1.69812\chi^4 + 0.72366\chi^5) \quad (5)$$

式中, χ ——Trombe 墙的宽高比。

图 9 为 2 种 PV-Trombe 墙的瞬时热效率间隔 20 min 的平均值, 由于在 12 月 7 日的 14:20 后天气变差, 所以关闭风口较早, 工作时间较短。从二者 3 天中对流换热的热效率变化曲线可知, 内置式 PV-Trombe 墙的热效率明显高于外置式 PV-Trombe 墙, 二者的热效率最高值分别可达到 43%、37%。

3.2 光电性能评估

Florschuetz^[12]研究得出, 太阳能电池工作效率是随电池模块工作温度的上升而下降, 它们之间的线性关系为:

$$\eta_{pv} = \eta_{ref}[1 - \beta(T_{pv} - T_{ref})] \quad (6)$$

式中, η_{ref} ——太阳能电池的参考工作温度下所取得

的参考效率; β ——太阳能电池的工作效率与温度的变化比例系数; T_{ref} ——参考温度。

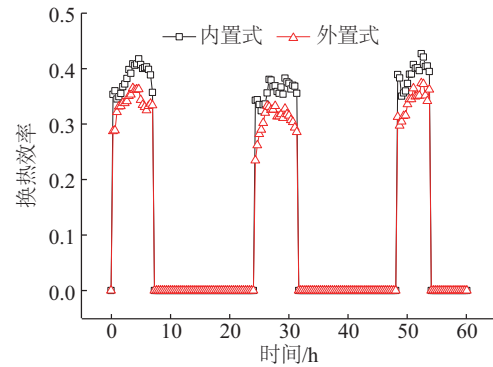


图9 2016年12月5日09:00~7日21:00(共60 h),
对流换热效率

Fig. 9 Convective heat efficiency of from 09:00 December 5th, 2016 to 21:00 on 7th (60 h)

参考温度 $T_{ref} = 25$ °C 时, 太阳能电池的工作效率 $\eta_{ref} = 0.158$, 斜率 $\beta = 0.0047$ K⁻¹。

选取外置式 PV-Trombe 墙的太阳能电池, 研究电池效率与其工作温度的函数关系, 太阳能电池的发电效率随工作温度的上升而下降。电池工作效率与工作温度的线性拟合如图 10 所示, 拟合的线性方程式为:

$$\eta_{pv} = 0.1775 - 0.00075T_{pv} \quad (7)$$

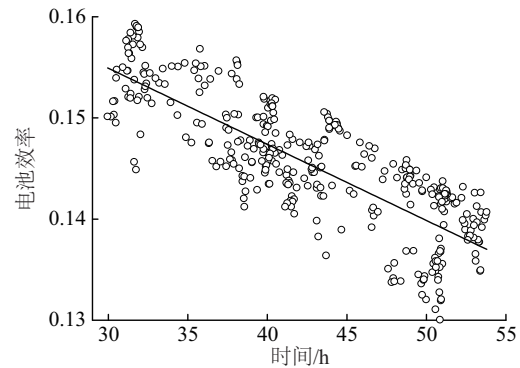


图10 电池效率与电池工作温度拟合曲线

Fig. 10 Electrical efficiency as a function of
PV temperature

式(7)可转化为式(6)形式, 更常见的为式(8)所示的函数方程:

$$\eta_{pv} = 0.158[1 - 0.0047 \cdot (T_{pv} - 25)] \quad (8)$$

选取上述电池效率与温度之间拟合的函数关系式, 以此去研究内置式 PV-Trombe 墙的边框阴影

对太阳能电池模块的效率影响。将内置式 PV-Trombe 墙的太阳电池模块工作温度平均值代入式(8)计算一组电池模块效率的公式值,如图 11 所示。实测的太阳电池模块工作效率相比于拟合效率,除中午时间段相差较小,其他时间的效率差距都很明显,说明内置式 PV-Trombe 墙的电池系统工作效率受到边框阴影遮挡的影响非常严重。在早晨或下午,太阳的方位位于实验装置偏东或者偏西位置,内置式 PV-Trombe 墙的太阳电池模块分布于墙体内侧,边框阻挡部分太阳光线照射太阳电池上,在太阳电池模块上产生边框阴影。边框阴影导致部分太阳电池模块无法正常工作,输出的功率减小,电池模块的效率有所减少。

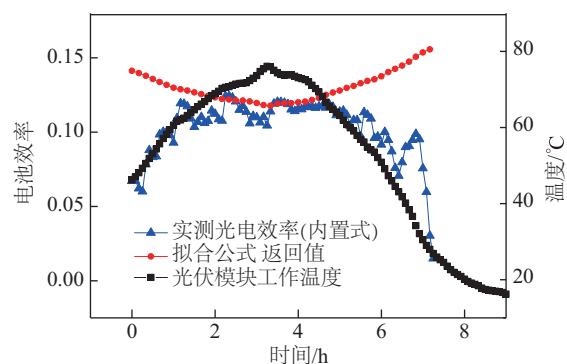


图 11 2016 年 12 月 5 日 09:00~17:00(8 h) 电池模块实测效率与拟合效率曲线

Fig. 11 Curve of electrical efficiency and fitting efficiency from 09:00 December 5th, 2016 to 17:00 (8 h)

4 结 论

本文通过 2 种 PV-Trombe 墙与建筑一体的实验平台,对 2 种结构产生的热性能与电性能进行实验分析以及性能评估,得到以下主要结论:

1) 实验的测试结果显示,2 种 PV-Trombe 墙对房间采暖都有明显效果,其中内置式 PV-Trombe 墙对室内空气加热效果更优越。测试期间带有内置式 PV-Trombe 墙的房间平均温度最高可达 29.0℃,而外置式 PV-Trombe 墙的房间平均温度最高可达 27.0℃。

2) PV-Trombe 墙对空气的集热效果明显,内置式 PV-Trombe 墙的上下风口处温差值最大可达 14.9℃,集热效率最高为 0.43;外置式 PV-Trombe 墙的上下风口处温差值最大 13.5℃,集热效率最高为

0.37。

3) 相比于内置式 PV-Trombe 墙,外置式 PV-Trombe 墙的太阳电池模块工作温度低,工作的功率与工作效率更高。外置式 PV-Trombe 墙的电池模块效率维持在 0.13~0.15 之间,内置式 PV-Trombe 墙的太阳电池模块效率在 0.09~0.12 之间。

4) 内置式 PV-Trombe 墙太阳电池模块的工作温度很高,太阳电池模块的工作效率受边框阴影遮挡影响非常严重。

[参考文献]

- [1] Smolec W, Thomas A. Some aspects of Trombe wall heat transfer models[J]. Energy Conversion and Management, 1991, 32(3): 269—277.
- [2] Smolec W, Thomas A. Theoretical and experimental investigations of heat transfer in a Trombe wall[J]. Energy Conversion and Management, 1993, 34(5): 385—400.
- [3] Chen B, Chen X, Ding Y H, et al. Shading effects on the winter thermal performance of the Trombe wall air gap: An experimental study in Dalian [J]. Renewable Energy, 2006, 31(12): 1961—1971.
- [4] 杨洪兴, 季 杰. BIPV 对建筑墙体得热影响的研究[J]. 太阳能学报, 1999, 20(3): 270—273.
- [4] Yang Hongxing, Ji Jie. Study on the heat gain of a PV-wall [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 1999, 20(3): 270—273.
- [5] 季 杰, 蒋 斌, 陆建平, 等. PV 新型 Trombe 墙光电光热性能数值模拟[J]. 太阳能学报, 2006, 27(9): 870—877.
- [5] Ji Jie, Jiang Bin, Lu Jianping, et al. Numerical study on the photo-thermal and electrical performance of a novel Trombe wall with PV cells [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2006, 27(9): 870—87.
- [6] Ji Jie, Yi Hua, He Wei, et al. PV-Trombe wall design for buildings in composite climates [J]. Journal of Solar Energy Engineering, 2007, 129(4): 431—437.
- [7] Ji Jie, Yi Hua, Pei Gang, et al. Study of PV-Trombe wall assisted with DC fan [J]. Building and Environment, 2007, 42(10): 3529—3539.
- [8] 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(8): 1507—1515.
- [9] Xu Xiaowei, Su Yaxin. Modeling of natural ventilation

- in built-in photovoltaic-Trombe wall[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 448-453: 1537—1541.
- [10] 雷菲宁, 苏亚欣, 徐小伟. 宽度对内置式 PV-Trombe 墙内通风与换热影响的数值研究[J]. *太阳能学报*, 2015, 36(7): 1710—1716.
- [10] Lei Feining, Su Yaxin, Xu Xiaowei. Numerical modeling of effect of channel width on heat transfer and ventilation in a built-in PV-Trombe wall[J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2015, 36(7): 1710—1716.
- [11] Sun Wei, Ji Jie, Luo Chenglong, et al. Performance of PV-Trombe wall in winter correlated with south façade design[J]. *Applied Energy*, 2011, 88(1): 224—231.
- [12] Florschuetz L W. Extension of the Hottel-Whillier model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors[J]. *Solar Energy*, 1979, 22(4): 361—366.

COMPARATIVE STUDY OF TWO TYPES OF PV-TROMBE WALL ON THERMAL AND PHOTOVOLTAIC PERFORMANCE

Ma Yang, Ji Jie, Sun Wei, Zhao Zhi, Xie Guangjue

(*Department of Thermal Science and Energy Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China*)

Abstract: The experiment on the two types of PV-Trombe wall has been conducted in HeFei, east region of China and the thermal and photovoltaic performance were studied. Compared with the PV-out-Trombe wall, PV-In-Trombe wall showed a better air heating effect, and the maximum temperature rise of PV-in-Trombe wall and the PV-out-Trombe wall between the upper and lower vent are 14.9 °C and 13.5 °C, respectively, which resulted in that the average temperature in the first room equipped with PV-in-Trombe got higher than the second one by 1.47 °C. On the contrary, due to the influence of higher operating temperature and inevitable frame shadow, PV-out-Trombe wall showed a better photoelectric conversion efficiency. The experimental data shows that the difference of power generation is up to 50 W in the same area of PV.

Keywords: solar heating; photovoltaic cell; passive solar buildings; PV-Tromber wall