



双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的热性能研究

闫崇强^{1*}, 颜士峰¹, 肖胜鑫², 张 波¹, 沈其民¹, 卢丽丽¹, 孙奕颖¹

(1. 山东鲁源节能认证技术工程有限公司, 济南 250100; 2. 山东省产品质量检验研究院, 济南 250102)

摘 要: 针对单层玻璃盖板平板型太阳能集热器、双层玻璃盖板平板型太阳集热器进行了热性能对比实验。结果显示: 在 28.7 °C 和 41.4 °C 这 2 种工质进口温度下, 单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率比双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的高, 而在 54.2 °C 和 66.9 °C 这 2 种工质进口温度下, 双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率比单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的高。单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率截距比双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的大; 双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的热损系数比单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的小。

关键词: 双层玻璃盖板; 平板型; 太阳能集热器; 热性能; 瞬时效率; 归一化温差

中图分类号: S214.9

文献标志码: A

0 引言

在与建筑一体化相结合的太阳能产品中, 平板型分体式太阳能热水系统是兼顾安全和优良性能的产品^[1]。虽然与真空管型太阳能热水系统相比, 平板型分体式太阳能热水系统在能效方面还存在较大差距, 但真空管型太阳能热水系统与高层建筑结合时存在炸管、非承压等缺点。平板型太阳能集热器是平板型分体式太阳能热水系统的核心集热部件, 其性能会直接影响整个太阳能热水系统的能效。提高平板型太阳能集热器的热性能不仅有利于充分利用太阳能, 还能够增加集热器的可靠性^[2-3]。保温性和吸热体的吸收率是影响平板型太阳能集热器热性能的 2 个主要因素, 现有的吸热体涂层材料的吸收率基本上已达到 0.92

以上的水平, 提升空间有限^[4-5]。因此, 提升平板型太阳能集热器的保温性是提升其热性能的关键因素。

为探索玻璃盖板对平板型太阳能集热器热性能的影响, 本文针对分别采用单层玻璃盖板和双层玻璃盖板的平板型太阳能集热器的热性能进行了对比实验, 以期能为平板型太阳能集热器的推广应用提供参考。

1 实验平台的搭建

根据实验需要, 设计制作了分别采用单层玻璃盖板和双层玻璃盖板的平板型太阳能集热器各 1 台, 这 2 台平板型太阳能集热器的参数如表 1 所示。

表 1 2 台平板型太阳能集热器的参数

Table 1 Parameters of two flat plate solar collectors

玻璃盖板 层数	集热器尺寸(长×宽×厚度) / mm	采光面积 / m ²	吸热体 涂层材料	吸热体 吸收率	玻璃盖板 透过率	背板保温层 厚度 / mm
1	2000×1000×800	1.955	蓝膜	0.93	0.94	40
2	2000×1000×800	1.955	蓝膜	0.93	0.94	40

收稿日期: 2019-12-09

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFF0208302)

通信作者: 闫崇强 (1987—), 男, 硕士、中级工程师, 主要从事太阳能热利用方面的研究。ycq19870901@163.com

为测试 2 台平板型太阳能集热器的热性能,搭建了实验平台,如图 1 所示。平板型太阳能集热器的工质进、出口温度由 Pt1000 温度传感器测量,测量精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,分辨率为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$;太阳辐射强度采用 1 级太阳辐照表测量;工质质量流量采用流量计测量;实验数据采用 Agilent 34970A 数据采集仪采集,记录步长为 20 s 。

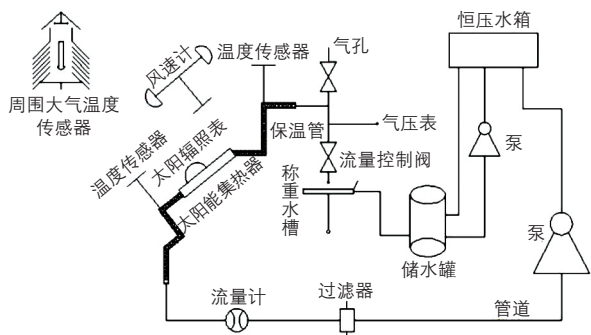


图 1 实验平台示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental platform

本实验中,以水作为工质,实验平台采用主动跟踪太阳的方式运行,循环系统通过控制器调节电加热和冷却机组,将工质进口温度控制在设定温度 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当太阳光照射平板型太阳能集热器后,集热器的吸热体将吸收的太阳能转化成热能,并通过吸热体与水之间的对流换热将热能传递给水,由此将太阳辐射能转化成为可储存在工质中的热能。

2 理论分析

根据 GB/T 4271-2007《太阳能集热器热性能试验方法》^[6],平板型太阳能集热器实际获得的有效功率 Q_U 可表示为:

$$Q_U = mc_f \Delta T \quad (1)$$

式中, m 为工质质量流量, kg/s ; ΔT 为工质进、出口温差, $^{\circ}\text{C}$; c_f 为对应于平均工质温度的传热工质比热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。

当以采光面积 A_a 作为参考标准时,平板型太阳能集热器表面接收的太阳辐射功率为 $A_a I$,其中, I 为太阳辐射强度。则平板型太阳能集热器基于采光面积 A_a 的瞬时效率 η_a 可表示为^[6]:

$$\eta_a = \frac{Q_U}{A_a I} \quad (2)$$

基于工质进口温度的归一化温差 T_i^* 可表示为^[6]:

$$T_i^* = \frac{t_i - t_a}{I} \quad (3)$$

式中, t_i 为工质进口温度, $^{\circ}\text{C}$; t_a 为环境温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

瞬时效率 η_a 应利用最小二乘法进行曲线一次拟合得出,其公式为^[6]:

$$\eta_a = \eta_0 - UT_i^* \quad (4)$$

式中, η_0 为瞬时效率截距; U 为热损失系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 。

3 实验结果与分析

本次实验地点位于国家节能产品质量监督检验中心 ($117^{\circ}14'12''\text{E}$ 、 $36^{\circ}39'53''\text{N}$)。将 2 台平板型太阳能集热器放置在同一个实验平台上进行实时测试,实验参照 GB/T 4271-2007《太阳能集热器热性能试验方法》中对太阳能集热器瞬时效率的测试方法,在同一个测试日对 2 台平板型太阳能集热器分别设定 28.7 、 41.4 、 54.2 和 $66.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这 4 个工质进口温度进行实验。2 台平板型太阳能集热器的热性能实验典型数据如表 2 所示。

从表 2 可以看出,在 $28.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $41.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这 2 个工质进口温度下,单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率比双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的高;而在 $54.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $66.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这 2 个工质进口温度下,双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率比单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的高。这是因为相较于单层玻璃盖板,双层玻璃盖板在削弱了太阳光线透过率的同时,还减少了集热器的热损失,因而在较低工质进口温度时,单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率比双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的高;而在工质进口温度较高时,单层玻璃盖板的热损失明显增大,从而出现了双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率比单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的高的情况^[7]。综上

表 2 2 台平板型太阳能集热器的热性能实验典型数据
Table 2 Typical data of thermal performance for two flat plate solar collectors

平板型太阳能集热器类型	工质进口温度 /℃	工质出口温度 /℃	环境温度 /℃	工质质量流量 /kg·s ⁻¹	太阳辐射强度 /W·m ⁻²	归一化温差 /m ² ·℃·W ⁻¹	瞬时效率 /%
单层玻璃盖板	28.7	35.9	30.2	0.050	1008	-0.0015	76.9
	41.4	48.0	31.7	0.050	985	0.0098	72.4
	54.2	59.8	31.3	0.048	872	0.0263	66.3
	66.9	71.4	30.4	0.048	798	0.0458	58.4
双层玻璃盖板	28.7	35.7	30.2	0.050	1008	-0.0015	74.7
	41.4	47.8	31.7	0.050	985	0.0098	70.2
	54.2	59.9	31.3	0.048	872	0.0263	67.5
	66.9	71.6	30.4	0.048	798	0.0458	61.0

所述，在工质进口温度 $t_i \geq 54.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，更适合采用双层玻璃盖板平板型太阳能集热器。

2 台平板型太阳能集热器的采光面积为 A_a 、工质进口温度为 t_i 时，基于工质进口温度的归一化温差 T_i^* 和瞬时效率 η_a 的线性拟合曲线如图 2 所示。

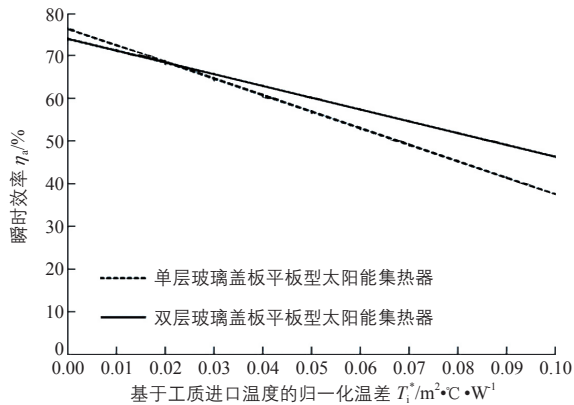


图 2 2 台平板型太阳能集热器基于工质进口温度的归一化温差和瞬时效率的线性拟合曲线

Fig. 2 Linear fitting curve of normalized temperature difference based on inlet temperature of working fluid and instantaneous efficiency of two flat plate solar collectors

单层玻璃盖板平板型太阳集热器和双层玻璃盖板平板型太阳集热器的一次线性拟合公式分别为 $\eta_{a1}=0.763-3.89T_i^*$ 、 $\eta_{a2}=0.739-2.76T_i^*$ 。结合图 2 及 2 台太阳能集热器的线性拟合公式可知，单层玻璃盖板平板型太阳集热器的瞬时效率截距大于双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率截距，而且单层玻璃盖板平板型太阳能集热器

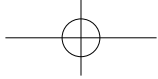
的线性拟合曲线斜率比双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的大，因此，双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的热损系数小于单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的热损系数。当 $T_i^*=0.0212$ 时，2 台平板型太阳能集热器的瞬时效率相等；当 $T_i^*>0.0212$ 时，双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率大于单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率；当 $T_i^*<0.0212$ 时，双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率小于单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率。

4 结论

本文针对单层、双层玻璃盖板平板型太阳能集热器进行了热性能实验对比，对 2 台平板型太阳能集热器在不同工质进口温度下的瞬时效率进行了对比分析研究，并根据 2 台平板型太阳能集热器的一次线性拟合曲线及公式对其各自的热性能优劣进行了比较，得到以下结论：

1) 在 $28.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $41.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这 2 个工质进口温度下，单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率比双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的高；而在 $54.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $66.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这 2 个工质进口温度下，双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率比单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的高。

2) 单层玻璃盖板平板型太阳集热器的瞬时效



率截距大于双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的瞬时效率截距, 双层玻璃盖板平板型太阳能集热器的热损系数小于单层玻璃盖板平板型太阳能集热器的热损系数。

[参考文献]

- [1] 魏生贤, 李明, 刘江涛, 等. 高效平板集热器件吸热面与透明盖板间距优化 [J]. 太阳能学报, 2011, 32(9): 1413 – 1418.
- [2] 高文峰, 林文贤, 吕恩荣. 交叉波形吸热板—波形底板空气集热器的盖板与波形吸热板间换热的数值模拟和分析 [J]. 太阳能学报, 1998, 19(4): 376 – 382.
- [3] 高嵩, 何妍秋, 巩学梅. 太阳能热水系统集热性能研究 [J]. 四川建材, 2013, 40(6): 123 – 124.
- [4] LIN W X, GAO W F, LIU T. A parametric study on the thermal performance of cross-corrugated solar air collectors[J]. Applied thermal engineering, 2006, 26(10): 1043 – 1053.
- [5] GBAHA P, KONAN K, SARAHA J K, et al. Influence of obstacles with wing delta shape on flat-plate air solar collector efficiency[J]. Journal of applied sciences, 2007, 7(21): 3302 – 3306.
- [6] 全国能源基础与管理标准化技术委员会新能源和可再生能源分委会, 太阳能集热器热性能试验方法: GB/T 4271-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [7] 杨世铭, 陶文铨. 传热学 (第4版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 197 – 296.

STUDY ON THERMAL PERFORMANCE OF FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR WITH DOUBLE-LAYER-GLASS COVER

Yan Chongqiang¹, Yan Shifeng¹, Xiao Shengxin², Zhang Bo¹, Shen Qimin¹, Lu Lili¹, SunYiying¹

(1. Shandong Luyuan Energy Conservation Certification Technology Engineering Co., Ltd., Jinan 250100, China;

2. Shandong Institute for Product Quality Inspection, Jinan 250102, China)

Abstract: This paper presents a comparison of the thermal performance between flat plate solar collectors with single-layer-glass cover and double-layer-glass cover. The results show that at the inlet temperature of working fluids of 28.7 °C and 41.4 °C, instantaneous efficiency of the single-layer-glass cover flat plate solar collector is higher than that of flat plate solar collector with double-layer-glass cover, while it is lower at 54.2 °C and 66.9 °C. Comparing with that of flat plate solar collector with double-layer-glass cover, the instantaneous efficiency intercept of flat plate solar collector with single-layer-glass cover is greater and the heat loss coefficient is larger.

Keywords: double-layer-glass cover; flat plate; solar collector; thermal performance; instantaneous efficiency; normalized temperature difference