

文章编号: 2095—0411 (2014) 02 - 0075 - 04

# 平板太阳能空气集热器热性能的实验研究<sup>\*</sup>

蒋绿林, 徐 晨, 董应伟

(常州大学 石油工程学院, 江苏 常州 213164)

**摘要:** 设计了一种太阳能空气集热器, 对其热性能进行了实验研究。通过实验, 分析了冬季 3 个典型日的集热效率和空气流量、进出口温度、太阳辐射强度间的关系。结果表明, 出口温度随太阳辐射强度的增加而增加, 集热效率随着空气流量的增大而增大。同时给出了太阳能空气集热器的效率方程。

**关键词:** 太阳能空气集热器; 集热效率; 太阳辐射强度

中图分类号: TK 513

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.2095—0411.2014.02.018

## An Experimental Research on the Thermal Property of Flat Plate Solar Air Collector

JIANG Lv-lin, XU Chen, DONG Ying-wei

(School of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** A solar air collector is designed and experimental researches are made on its thermal performance. Through the experiment, the paper analyzes the relationship between collection efficiency and air mass flow, import and export temperature, and the intensity of solar radiation in three typical days in winter. The results show that with the increase of the intensity of solar radiation, outlet temperature increases, with the increase of air mass flow, collection efficiency is big. Also, the efficiency equation of the solar air collector is given.

**Key words:** solar air collector; collection efficiency; solar radiation intensity

平板太阳能空气集热器是一种太阳能热利用装置, 结构简单, 造价低廉, 使用方便, 易于维护, 接受太阳辐射面积大, 广泛应用于采暖、除湿、干燥等领域<sup>[1-2]</sup>。

太阳能空气集热器以空气作为传热介质, 空气的导热系数远小于水, 致使板温增高和环境热损增大; 空气的密度也远小于水, 其传热、蓄热能力小, 因此空气集热器热性能比热水器差。但空气介质也有突出的优点: ①在干燥、空调应用上不需要二次转换就可以直接利用; ②冬季不存在冻结问

题; ③空气不会腐蚀集热板和管路; ④空气系统对集热器的承压、密封等要求不太严格, 即使有少量泄漏, 对系统的运行和效率不会产生较大的影响<sup>[3-4]</sup>。

长期以来对太阳能空气集热器的研究重点集中于强化空气和板芯之间的换热, 并保持较小的风机功率<sup>[5]</sup>。本文设计了一种新型的太阳能空气集热器, 与传统的空气集热器相比具有结构简单, 制作成本低, 集热效率高等优点。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013 - 06 - 24。

作者简介: 蒋绿林 (1965—), 男, 江苏常州人, 副教授。

1 太阳能空气集热器

本文设计的管翼式太阳能空气集热器，是由常州市康舒环境科技有限公司制造，结构如图 1、图 2 所示：由透明玻璃盖板（1）、多通道吸热板芯（2）、底部及四周保温体（3）以及边框（4）和集管（5）组成，外形尺寸为 2 000mm×1 000mm×80mm（长×宽×厚）。玻璃盖板采用低铁布纹钢化玻璃，法向透过率为 0.915。吸热板芯由 16 个双通道吸热板芯通过搭扣咬合连接而成，表面选择性吸收涂层为磁控溅射氮氧化钛涂层，吸收率 $\geq 0.93$ ，发射率 $\leq 0.07$ 。集热器四周和底部均采用玻璃棉，导热系数为： $0.038\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，保温材料厚度为 30mm。边框采用 1mm 厚铝合金型材，表面做防腐处理。

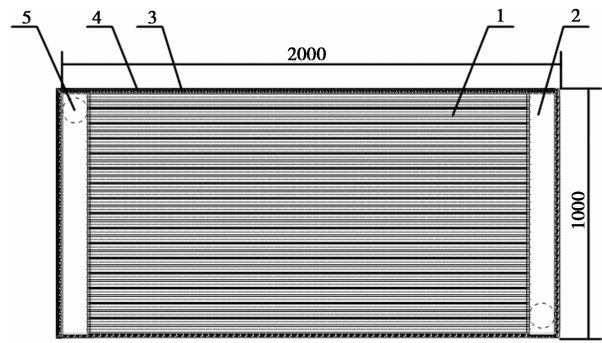


图 1 空气集热器俯视图

Fig. 1 Top view of the air collector

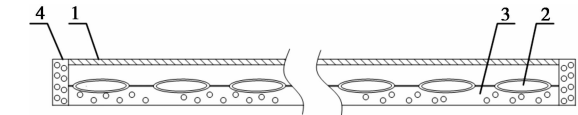


图 2 空气集热器剖面图

Fig. 2 Sectional view of the air collector

吸热板是 16 组双通道吸热板芯构成，如图 3 所示，其结构为 21mm×10mm 的椭圆形流道。因为椭圆形流道相比圆形流道，在与空气相同的换热面积下，流道的横截面积更小，这样就加大了空气在流道内的流动速度，从而提高了空气与吸热板的对流换热系数，板芯之间通过搭扣咬合连接，减小了吸热板表面的边界热损失。



图 3 空气集热器吸热板芯结构图

Fig. 3 Structure diagram of the air collector absorber plate core

管翼式平板空气集热器增加了对太阳光的吸收面积和与气流的换热面积，提高了吸收率和增强了

换热，并且采用了弧形吸热表面，内表面 360°传热结构，使得集热器具有较高的出口温度和集热效率。

2 实验装置介绍

实验系统主要是由风量调节阀（1）、离心风机（2）、进口温度测量点（3）、环境温度测量点（4）、出口温度测量点（5）、出口风速测量点（6）、环境风速测量点（7）、辐照仪感应头（8）、太阳能空气集热器（9）和风管（10）组成，如图 4 所示。风机的型号为 86FLJ2 型离心风机，额定功率 60W、转速 3 500r/min、额定风量 180m<sup>3</sup>/h、风压 180Pa；集热器的温度测量主要利用 JK - X 多路巡检仪进行测试；太阳辐射强度测量是用北京中西远大科技有限公司提供的辐照度计 TBQ - 2 总辐照表及数据采集机进行测量；环境风速及集热器内空气的流速用法国 KIMO - VT200 多功能风量风速仪进行测量。

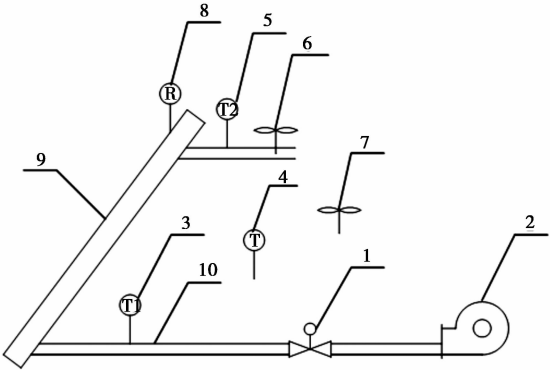


图 4 实验装置布置示意图

Fig. 4 Schematic of experimental device

在实验过程中，环境空气由离心风机送入风道，经过风量调节阀后，进入太阳能空气集热器，最后排入环境中。环境风速每 10min 记录 1 次，集热器内空气的流速在集热器出口进行测量。进出口温度每 1min 记录 1 次，太阳辐射强度每隔 10s 记录 1 次。

3 实验结果与分析

在 2012 年 12 月 19 日、22 日、23 日分别进行了 3 次实验。19 日的出口空气流速为 1.55m/s，流量为 53.03m<sup>3</sup>/h；22 日出口的空气流速为 3.65m/s，流量为 124.87m<sup>3</sup>/h；23 日的出口空气流速为 4.5m/s，流量为 153.95m<sup>3</sup>/h。所得数据是在当天阳光较好的 10：00 - 14：40 这一时段范围

内测得到的。集热效率的计算公式为:

$$\eta = \frac{mc_p(t_o - t_i)}{AI + P} \tag{1}$$

式中:  $m$ —空气的质量流量,  $m = \rho VD^2 \pi / 4$ ,  $\rho$ —空气的密度, 取  $1.2 \text{ kg/m}^3$ ;  $V$ —出口空气的流速,  $\text{m/s}$ ;  $D$ —出口管径, 取  $D = 110 \text{ mm}$ ;  $c_p$ —空气的热容, 取  $1.005 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ ;  $I$ —集热器表面接受的太阳辐射强度,  $\text{W/m}^2$ ;  $t_o$ —空气的出口温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_i$ —空气的入口温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $A$ —集热板的采光面积, 取  $1.8 \text{ m}^2$ ;  $P$ —离心风机的额定功率,  $\text{W}$ 。

由图 5~图 7 可知由于集热器进行室外测试, 采用的是全新风系统, 所以进口空气的温度变化幅度不大, 波动范围在  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  之间。集热器的出口温度的变化主要受太阳辐射强度的影响。

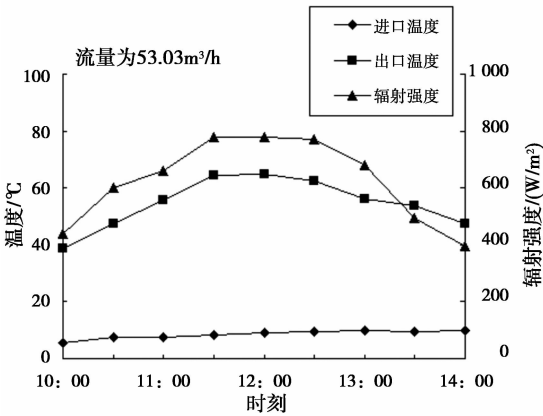


图 5 19 日进出口温度及辐射强度

Fig. 5 Inlet and outlet temperature and radiation intensity of the 19th day

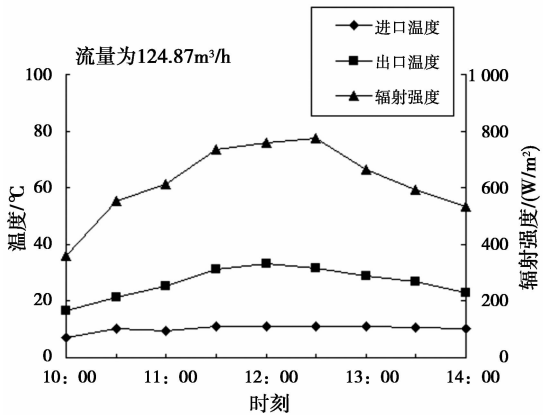


图 6 22 日进出口温度及辐射强度

Fig. 6 Inlet and outlet temperature and radiation intensity of the 22th day

从 10 点开始, 太阳辐射强度开始逐渐增加, 此时进口空气温度较低, 空气出口温度随着太阳辐

射强度增加而增加, 到 12 点达到高峰, 而此后的辐射强度开始缓慢下降, 进口温度基本达到全天的最高值, 随着辐射强度的下降, 集热板接收到的太阳辐射能也减少, 空气与集热板的换热能力下降, 空气所能得到的能量减少, 出口空气温度下降。

由图 5~图 7 给出了在不同空气流量下的实验结果。空气流量越大, 进出口温差越小。这是因为集热器流道内空气流量增大, 空气流速增大, 空气与换热表面接触时间变短, 单位质量流量的空气带走的热量变小。

图 8 给出了 3 个工况下瞬时集热效率曲线, 结合图 5~图 7 可知随着空气流量变大集热效率变大。因为集热器流道内空气流量增大, 空气与集热板的对流换热系数增大, 增强了空气与集热板的换热效果, 同时较大的空气流量能够将集热板上的热量及时带走, 使得集热板的温度下降, 这又降低了集热板的热量损失。

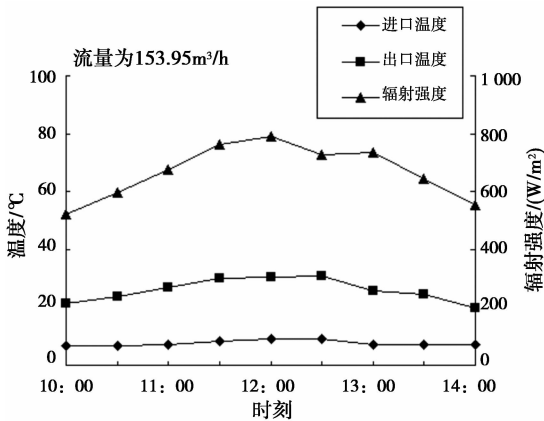


图 7 23 日进出口温度及辐射强度

Fig. 7 Inlet and outlet temperature and radiation intensity of the 23th day

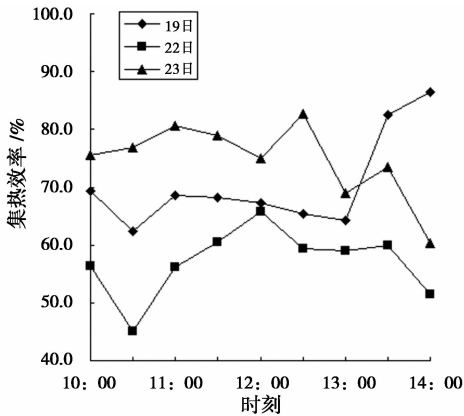


图 8 实验日 3 天瞬时集热效率

Fig. 8 Instant collector efficiency of the experiment for three days

注意到 19 日 13 点以后虽然辐射强度减弱了,

但是瞬时效率不降反增。因为空气在集热器内的停留时间过长,集热板热容很大,虽然太阳辐射强度已经大幅减弱,但是空气流量很低导致与集热板壁面的换热系数较小,所以单位质量流量的空气带出的热量有限,集热板的温度不能较快的下降,这样集热器出口的温度下降较慢。对于公式(1),式子的分子略微减小,而分母则急剧减小,这样得出的集热效率不仅没有下降反而有所提高。

## 4 集热器总热损系数及效率曲线

集热器的热损失主要来源于 3 部分<sup>[6]</sup>:顶部热损失,底部热损失和边框热损失。

### 4.1 底部热损

$$U_b = \frac{1}{\delta/\lambda + 1/h_w}$$

式中: $\lambda$ —保温材料的导热系数,  $W/(m \cdot K)$ ;  $\delta$ —底部保温层的厚度, mm;  $h_w$ —底部外壳与周围环境的对流换热系数,  $h_w = 5.7 + 3.8V$ ,  $V$  为风速, m/s。

### 4.2 顶部热损

克莱恩 (Klein) 经验公式计算:

$$U_t = \left\{ \frac{1}{(344/t_p)^{0.882} (t_p - t_a)^{0.3}} + 0.063 \right\}^{-1} + 0.638 \times 10^{-8} (t_p + t_a) (t_p^2 + t_a^2)$$

式中:  $t_p$ —吸热板温度,  $^{\circ}C$ ;  $t_a$ —环境温度,  $^{\circ}C$ 。

### 4.3 侧面热损

侧面热损值约为顶部和底部热损失的 3%, 所以有  $U_e = 3\% (U_b + U_t)$ 。因此总热损  $U_L = U_b + U_e + U_t$ 。集热器效率方程:

$$\eta = (\tau\alpha)_e - U_L \frac{t_p - t_a}{I_c} \quad (2)$$

式中:  $(\tau\alpha)_e$ —透射比和吸收比的有效乘积;  $U_L$ —

总热损系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $I_c$ —太阳辐照度,  $W/m^2$ 。

结合实验工况整理得效率方程为

$$\eta = 0.874 - 15.04 \frac{t_p - t_a}{I_c}$$

## 5 结 论

①进口空气温度在  $7 \sim 10^{\circ}C$  之间, 日均辐射强度在  $500 \sim 700 W/m^2$  之间, 进口空气体积流量在  $50 \sim 200 m^3/h$  之间, 集热器的日均效率在  $55\% \sim 80\%$  之间, 比普通平板空气集热器的平均效率要高; ②集热器出口温度随着太阳辐射强度的增加而增加, 集热效率随着空气流量的增大而增大; ③集热器具有一定的热延迟性, 集热器效率并不随太阳辐射强度的下降而立即下降, 在较低的入口空气流量下集热器的进出口温差达到  $57^{\circ}C$ , 说明集热器本身具有很高的热容; ④通过分析集热器热损得出热损系数, 求得集热器效率方程; ⑤本文给出的一些结论可供工程设计参考。

## 参考文献:

- [1] 冯其明. 一种新型太阳能空气集热器的热性能研究 [D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [2] Suleyman Karsli. Performance analysis of new - design solar air collectors for drying applications [J]. Renewable Energy, 2007, 32: 1645 - 1660.
- [3] 丁刚. 平板式太阳能空气集热器的实验研究和数值模拟 [D]. 镇江: 江苏大学, 2011.
- [4] El - Sawi A M, Wifi A S, Younan M Y, et al. Application of folded sheet metal in flat bed solar air collectors [J]. Applied Thermal Engineering, 2010, 30 (8): 864 - 871.
- [5] 丁刚, 左然, 张旭鹏, 等. 平板式太阳能空气集热器流道改进的试验研究和数值模拟 [J]. 可再生能源, 2011, 29 (2): 12 - 15.
- [6] 何梓年. 太阳能热利用 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009: 109 - 111.