

DOI: 10.19479/j.2095-719x.2404249

双重吸热太阳能空气集热器集热性能实验研究

李佳琦, 常茹, 霍聪颖

(天津城建大学能源与安全工程学院, 天津 300384)

摘要:为提升太阳能空气集热器的集热性能,在传统集热器的基础上填加吸热材料,创建双重吸热式空气集热器,并通过实验进行了对比分析.结果表明:双重吸热式集热器在进出口温差和集热效率方面比传统型集热器有所提升,同时填加的吸热材料设置于集热板下部时,具有较优的集热效果.

关键词:太阳能空气集热器;吸热材料;集热效率

中图分类号:TK513.1 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-719X(2024)04-0249-05

Experimental Study on the Performance of Flat Plate Solar Air Collector with Auxiliary Heat Absorbing Material

LI Jiaqi, CHANG Ru, HUO Congying

(School of Energy and Safety Engineering, TCU, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to improve the performance of solar air collector, this article established a double-endothermic air collector by adding endothermic material based on conventional collectors. The results show that the double-endothermic collector is better than the conventional collector in the aspect of the temperature difference between the inlet and outlet, and the collection efficiency is better when the endothermic material is put under the collecting plate.

Key words: solar air collector; heat-sink material; heat collection efficiency

近年来,随着我国经济的快速发展,能源危机和环境污染问题日趋严重^[1].太阳能作为取之不尽、用之不竭的可再生能源,具有普遍、无害、巨大且长久等优势也越来越受到人们的重视^[2].平板型太阳能集热器^[3]就是热利用的一种装置.

相比于以水为介质的平板型太阳能集热器,空气集热器具有运行稳定、结构简单、冬季不结冰,不考虑防腐等优点,但存在的最大问题在于集热效率低、热损失较多.提高光热利用效率、增强集热器集热性能的研究具有重要意义^[4-6].

为提升平板型太阳能空气集热器集热效率^[7-10],本文提出双重吸热式平板型太阳能空气集热器结构,从吸热材料填加位置、空气质量流量、空气进出口温差等方面,与传统太阳能空气集热器的集热性能进行对比,探讨双重吸热式集热器的集热性能.

1 实验装置

本文搭建了传统型和双重式太阳能空气集热器

实验装置.传统型太阳能空气集热器主要由梯形波纹状吸热板、玻璃盖板、保温层以及铝合金外壳组成.双重吸热式太阳能空气集热器是在传统型设备基础上,以保持原有的结构尺寸、尽量不过多额外增加设备重量为宗旨,通过填充方式来适量增加一层吸热材料,制作双重吸热型内部构造,以期提高集热性能.

双重吸热式太阳能空气集热器装置如图1所示,结构尺寸为2000 mm × 1000 mm × 80 mm(长 × 宽 × 厚),总面积为2 m²,采光面积为1.85 m²,玻璃盖板采用一层厚度为3.2 mm、材质为钢化玻璃的结构,玻璃透过率为0.9,吸收率为0.06.梯形波纹吸热板为不锈钢材质,表面涂覆黑色选择性涂层,吸收率为0.94,铝合金外壳四周侧壁的保温层厚度为20 mm.辅助吸热材料为机床剩余废铁屑,填加质量为8.63 kg,填加体积为0.016 4 m³,填加密度为526 kg/m³.集热器背板开设2个直径为200 mm的孔口,作为进风和出风口,并连接1.25 m长的圆形风管,在风管上安装功率为120 W、额定风量为800 m³/h的风机,采用风阀调节风量.

收稿日期:2022-09-26;修订日期:2022-11-18

作者简介:李佳琦(1998—),女,江西南昌人,天津城建大学硕士生

通讯作者:常茹(1971—),女,副教授,博士,从事建筑节能与可再生能源应用研究. E-mail: nuan609@162.com.

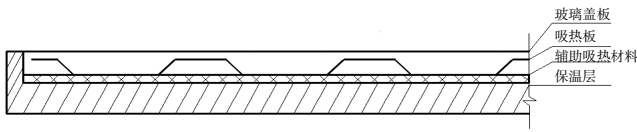


图1 实验装置

2 实验方法及测点布置

太阳能平板集热器热性能的测试标准有 GB/T4271—2007《太阳能集热器热性能试验方法》和 GB/T6424—2007《平板型太阳能集热器》等. 由于稳态测试方法对环境条件和气象参数要求较高且不易满足, 测试周期也较长, 因此, 本文采用瞬态测试方法进行试验^[10].

铜-康铜热电偶经恒温水浴校核, 用来测量吸热板的温度分布, 并由 34970A 安捷伦数据采集仪记录. 温度测点均匀分布在集热器内, 共 11 个测点, 如图 2 所示. 室内外温湿度由温湿度自计仪记录, 太阳辐射强度采用 TYD-PD1 矩阵式太阳能模拟器, 数据采集装置由 TBQ-2C 型太阳辐射表及 AF-FZB 型主机组成, 空气流量由热式气体质量流量计来测量, 进出口静压和空气流速由 TSI-9565 多参数热线风速仪测量并自动记录.

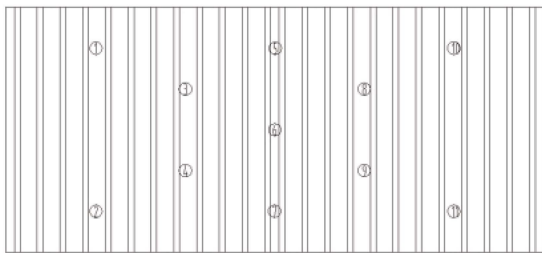


图2 实验测点分布

3 实验过程及结果分析

3.1 吸热材料传热特性及填加位置对集热性能的影响

吸热材料在集热器中设置位置不同, 会影响吸热板接收太阳辐射强度的能力, 本文在太阳辐射强度为 300 W/m^2 , 空气质量流量为 0.01 kg/s 的工况下, 通过测试集热器进出口温差和最大集热效率, 来确定吸热材料的合理位置.

在太阳辐射强度为 300 W/m^2 , 空气质量流量为 0.01 kg/s 的工况下, 3 种集热器进出口温差变化曲线

如图 3 所示. 传统空气集热器进出口温差为 $22.93 \text{ }^\circ\text{C}$, 上、下半部填加辅助吸热材料时进出口温差分别为 $25.69 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $27.81 \text{ }^\circ\text{C}$. 采用上半部填加的空气集热器进出口温差比采用下半部填加的空气集热器低 $2.12 \text{ }^\circ\text{C}$. 实验在 90 min 时停止太阳辐射, 传统型和上、下半部填加辅助吸热材料的空气集热器分别在 $56, 60, 64 \text{ min}$ 后进出口温差小于 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$, 提高率分别为 7.14% 和 14.29% . 填加辅助吸热材料的集热器进出口温差大, 进出口温差趋于稳定的时间长, 集热量有所增加. 下半部填加的空气集热器优于上半部填加和无辅助吸热材料的空气集热器.

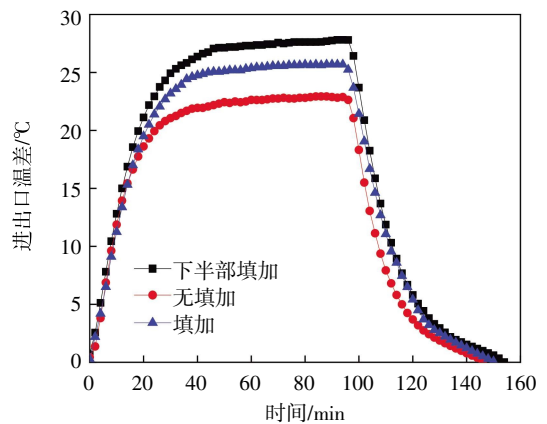


图3 集热器进出口温差

在太阳辐射强度为 300 W/m^2 , 空气质量流量为 0.01 kg/s 的工况下, 集热器集热效率如图 4 所示. 3 种空气集热器的瞬时效率曲线变化规律相同, 开始陡增, 随后增长速度放缓, 最后趋于稳定; 在停止太阳辐射后, 集热效率开始是骤降, 然后降低速度放缓. 上半部填加、下半部填加和无填加集热器的最大集热效率分别为 46.59% 、 50.43% 和 41.58% . 上、下半部填加辅助吸热材料的空气集热器最大集热效率相比于传统型空气集热器最大集热效率分别提高了 5.01% 和 8.85% .

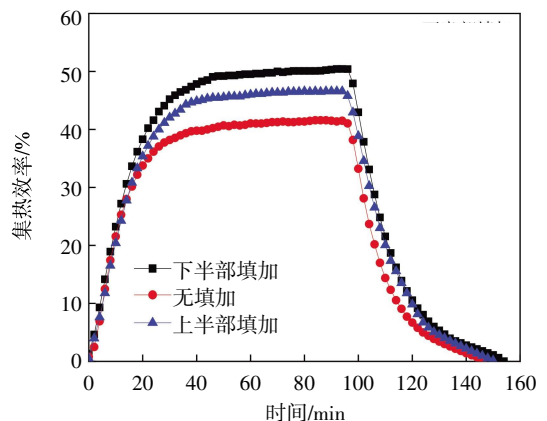


图4 集热器瞬时集热效率

双重吸热式空气集热器在进出口温差和集热效率方面优于传统型空气集热器;下半部填加的双重吸热式空气集热器在进出口温差、集热效率和延时性方面均优于上半部填加的双重吸热式空气集热器,由此确定将吸热材料置于吸热板下部。

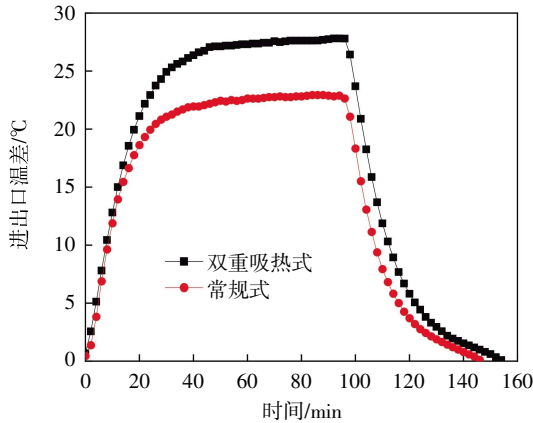
3.2 空气质量流量对集热性能的影响

整制太阳能模拟器辐射强度为 300 W/m^2 ,对常规

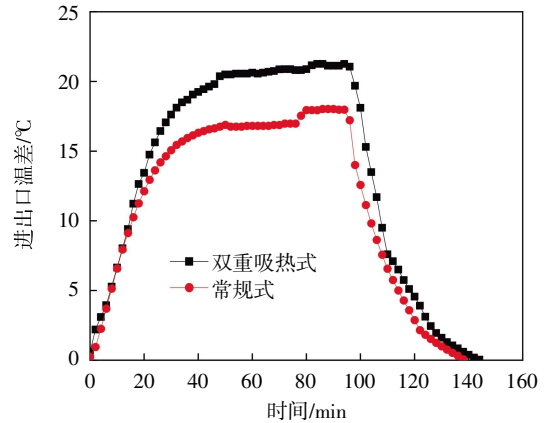
型和双重吸热式太阳能空气集热器4种不同空气质量流量的工况下进行集热性能实验,得到不同流量下的2种集热器进出口温差变化曲线如图5所示。2种集热器在4种不同空气质量流量条件下最大集热效率如图6所示。

3.2.1 进出口温差

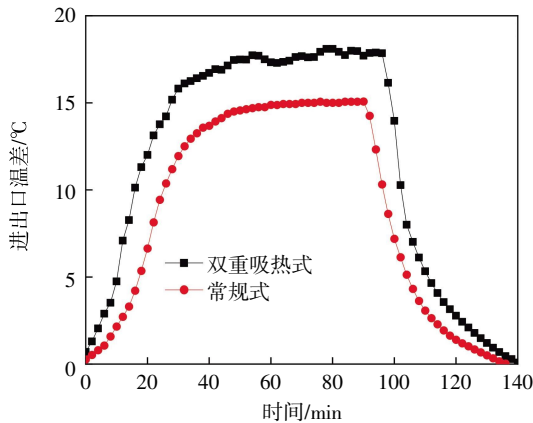
太阳能模拟器辐射强度为 300 W/m^2 时,空气质量



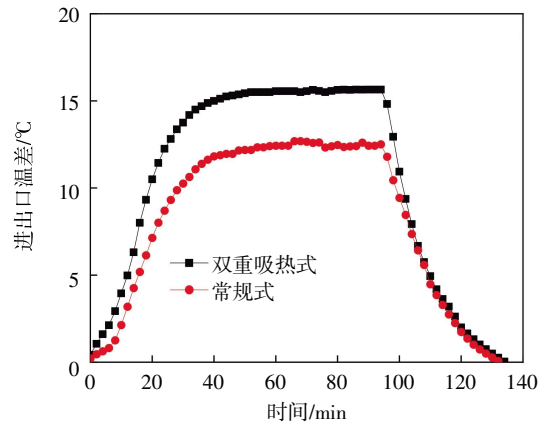
(a) 空气质量流量为 0.01 kg/s



(b) 空气质量流量为 0.015 kg/s



(c) 空气质量流量为 0.02 kg/s



(d) 空气质量流量为 0.025 kg/s

图5 2种集热器在不同空气质量流量下的进出口温差

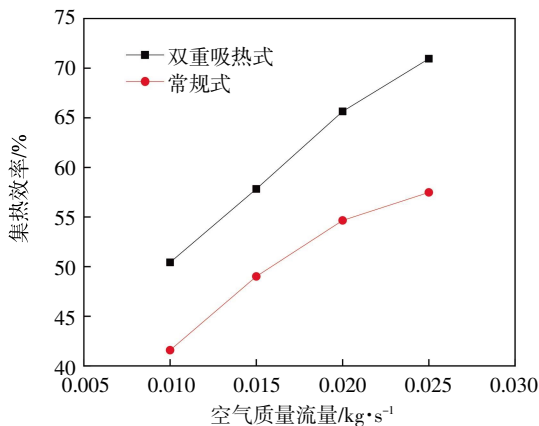


图6 2种集热器在不同空气质量流量下集热效率

流量分别为 $0.01, 0.015, 0.02, 0.025 \text{ kg/s}$ 的工况下,双重吸热式太阳能空气集热器的进出口温差为 $27.81, 21.26, 18.10, 15.65 \text{ }^\circ\text{C}$,传统型太阳能空气集热器的进出口温差为 $22.93, 18.02, 15.07, 12.68 \text{ }^\circ\text{C}$,双重吸热式太阳能空气集热器比传统型进出口温度提高了 $4.88, 3.24, 3.03, 2.97 \text{ }^\circ\text{C}$ 。同空气质量流量下的双重吸热式太阳能空气集热器进出口温差均大于传统型太阳能空气集热器,随着空气流量的增加,集热器温度将降低。进出口温差随空气质量流量的增大而减小。

延迟性上,双重吸热式和传统型空气集热器系统在4种空气质量流量下进出口温差小于 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 的时间分别为 64 min 和 56 min 、 54 min 和 48 min 、 50 min 和

46 min 以及 44 min 和 42 min. 与传统型空气集热器系统相比, 双重吸热式空气集热器延时时间分别提高了 8,6,4,2 min, 提高了 14.29%、12.50%、8.70%和 4.76%.

3.2.2 集热效率

在太阳能模拟器辐射强度为 300 W/m² 时, 空气质量流量分别为 0.01, 0.015, 0.02, 0.025 kg/s 的工况下, 双重吸热式太阳能空气集热器的最大集热效率为 50.43%、57.83%、65.64%和 70.95%. 传统型太阳能空气集热器的最大集热效率为 41.58%、49.02%、54.66%和 57.68%. 双重吸热式太阳能空气集热器比传统型最大集热效率提高了 8.85%、8.81%、10.98%和 13.47%.

辅助吸热材料对于空气集热器的压降影响较大, 根据热线风速仪测量结果绘于图 7 中, 在 4 种空气质量流量条件下, 双重吸热式空气集热器的压降分别是 22.36, 50.73, 89.97, 141.21 Pa. 相比于传统集热器, 进出口压降分别增加了 17.27, 39.16, 68.43, 108.02 Pa. 与传统型的空气集热器相比, 双重吸热式的空气集热器的机械功分别增加了 0.16, 0.51, 1.19, 2.36 W. 双重吸热式的空气集热器的净效率在 4 种空气质量流量条件分别是 50.38%、57.71%、65.36%和 70.39%. 由于机械功而导致集热效率分别下降了 0.05%、0.12%、0.28%和 0.56%.

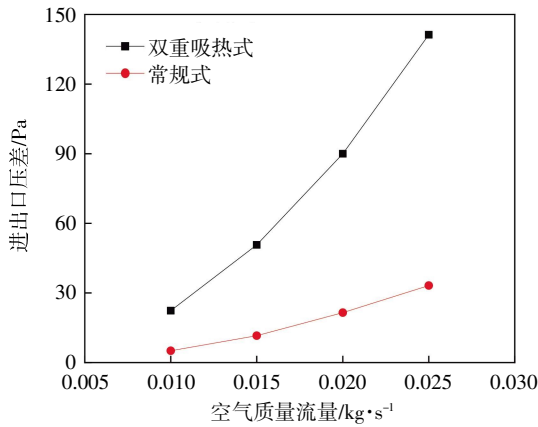


图 7 不同空气质量流量下的集热器进出口压降

3.3 太阳辐射强度对集热性能的影响

3.3.1 进出口温差

当空气质量流量为 0.025 kg/s 时, 分别对太阳辐射强度为 300, 500, 700 W/m² 的工况进行实验, 得到常规型和双重吸热式空气集热器的进出口温差变化曲线如图 8 所示.

传统型太阳能空气集热器的进出口温差为 12.68, 22.19, 31.75 °C, 而双重吸热式太阳能空气集热器的进出口温差为 15.69, 27.96, 40.91 °C. 进出口温差分别提

高了 3.01, 5.77, 9.16 °C, 提高了 23.74%、26.00%和 28.90%, 当关闭太阳辐射后, 双重吸热式空气集热器和传统型相比, 衰减时间分别延长了 2, 4, 8 min, 提高了 4.76%、9.09%和 13.33%.

双重吸热式空气集热器的集热效果从进出口温差与衰减延长时间方面均有较大的优势, 随着太阳辐射强度的增大, 进出口空气温差增大. 分析可知, 太阳辐射强度增大, 吸热板表面温度升高, 吸热板与空气间的温差增大, 从而换热量升高, 进出口温差增大. 但由于集热器表面温度的升高也会带来热损失的增大, 在使用时须注意保温隔热措施的合理使用, 以免降低集热效率.

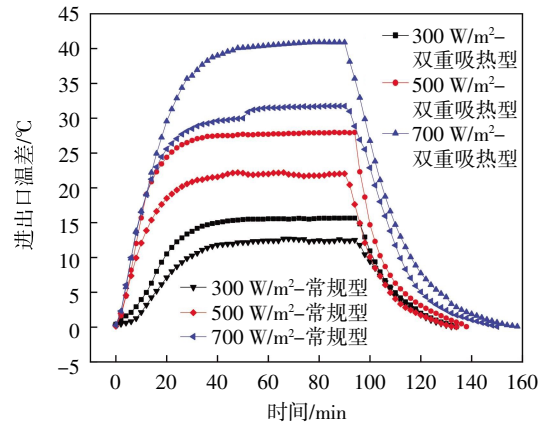


图 8 2种集热器在不同太阳辐射强度下的进出口温差

3.3.2 集热效率

在太阳辐射强度分别为 300, 500, 700 W/m² 条件下, 集热效率变化规律见图 9 所示.

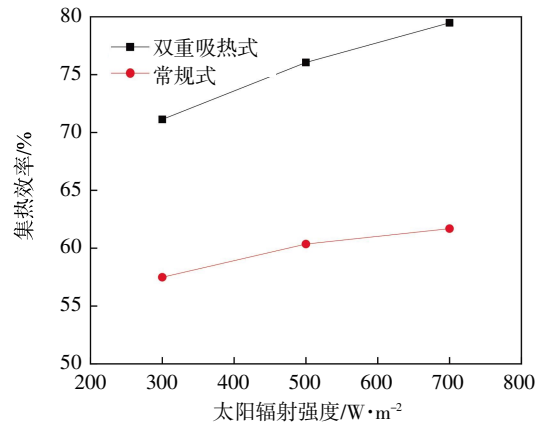


图 9 2种集热器在不同太阳辐射强度下的集热效率

双重吸热式太阳能空气集热器的最大集热效率为 71.13%、76.05%和 79.48%, 传统型太阳能空气集热器的集热效率分别为 57.48%、60.36%和 61.69%, 相较于传统集热器, 双重吸热式太阳能空气集热器的集热效率分别提高了 13.65%、15.69%和 17.79%, 集热效果良好.

4 结 论

本文对双重吸热式和传统型太阳能空气集热器的集热性能进行了对比实验研究,从辅助吸热材料的填加位置、空气质量流量和太阳能辐射强度等方面探讨了集热器的集热性能,得到的主要结论如下:

(1)双重吸热式太阳能空气集热器辅助吸热材料的填加位置以置于吸热板下部为佳。

(2)进出口温差随空气质量流量的增大而减小,随辐射强度的增大而增大。集热器的集热效率随空气质量流量和辐射强度的增加而增大。

(3)由于双重吸热式太阳集热器填加吸热材料造成的流动阻力低,占总能耗的比重很小,因此集热效率和净效率的趋势基本一致。

参考文献:

- [1] 孙炜钰,朱琳,杨金钢. 太阳能集热器研究近况与展望[J]. 绿色环保建材,2019(10):24-25.
- [2] KARALI M A, ALHARTHI M A, REFAEY H A. Influence of using different tapered longitudinal section manifolds in a Z shaped flat plate solar collector on flow distribution uniformity [J]. Case Studies in Thermal Engineering,2022,33:18-20 .
- [3] 张跃智,董明明,赵健森. 平板型太阳能集热器研究现状及展望[J]. 节能,2021,40(10):77-80.
- [4] KUVSHINOV V, ABD A L M, MOROZOVA N V, et al. Experimental studies on receiving surfaces of flat solar collectors [J]. Surface Engineering and Applied Electrochemistry,2021,57(6):43-46.
- [5] 王勇,段广彬,刘宗明. 平板太阳能集热器强化传热特性研究[J]. 材料导报,2014,28(10):62-67.
- [6] 吉佳文,王文志,李金凯,等. 平板太阳能集热器强化传热应用研究进展[J]. 材料导报,2016,30(5):24-25.
- [7] 范满,由世俊,张欢,等. V型多通道平板太阳能集热器的热性能研究[J]. 太阳能学报,2022,43(1):478-483
- [8] FIUK J J, DUTKOWSKI K. Experimental investigations on thermal efficiency of a prototype passive solar air collector with wavelike baffles[J]. Solar Energy,2019,188:495-506.
- [9] 许立鹏. 储能型空气平板集热器的实验与传热分析[D]. 包头:内蒙古科技大学,2020.
- [10] 路颖. 碳塑平板太阳能集热器效率研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2021.