

太阳能与生物质能联合驱动吸附制冷系统的适配性分析

刘恩海¹, 刘圣勇², 虞婷婷³

(1. 中原工学院能源与环境学院, 郑州 450007; 2. 河南农业大学农业部可再生能源重点开放实验室, 郑州 450002;
3. 河南城建学院能源与建筑环境工程学院, 平顶山 467036)

摘要:针对生物质能作为辅助能源用于太阳能吸附制冷系统供冷的适配性,以已搭建的太阳能与生物质能联合驱动吸附式制冷试验台为研究对象,试验研究了双热源联合运行供能耦合的可能性。采用 MATLAB 软件动态模拟了双热源串、并联运行工况,并借助非线性最小二乘法对数据进行处理、分析。结果表明:串联运行时,按照模式 2 工况循环流动,可较好地实现系统热量的传递;并联运行时,通过对太阳能与生物质能联合供能的适配性研究,结合系统末端供冷需求和经济运行模式分析,得出太阳能与生物质能联合供能的最佳回水流量分配比值范围为 0.5~0.6,提出适宜于双热源联合供能 3 种经济运行模式。研究结果可为改善制冷系统性能的稳定性和实现太阳能与生物质能的有效结合提供参考。

关键词:太阳能;生物质;制冷;适配性;分流比;模拟

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.13.029

中图分类号: S214; S216.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-13-0206-06

刘恩海, 刘圣勇, 虞婷婷. 太阳能与生物质能联合驱动吸附制冷系统的适配性分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 206-211. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.13.029 http://www.tcsae.org

Liu Enhai, Liu Shengyong, Yu Tingting. Suitability analysis of solar energy and biomass energy for adsorption refrigeration system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(13): 206-211. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.13.029 http://www.tcsae.org

0 引言

随着社会经济的可持续发展,能源危机和环境污染问题日益凸显,用以替代传统化石能源的太阳能、生物质能等低品位能源的开发利用具有重要的意义。太阳能、生物质能作为可再生的环保能源,具有无污染或低污染性、可再生等特点,被认为是现阶段人们可期待的能源^[1-3]。中国大部分地区的太阳能和生物质能资源非常丰富^[4-5],以太阳能和生物质能作为吸附式制冷系统的供热能源,对于改善缺电少能边远山区的能源资源利用和减少环境污染等具有重要意义。

太阳能与生物质能联合驱动的吸附制冷系统,是一种将太阳能与生物质能匹配组合、作为吸附式制冷系统驱动热源的能源利用系统。目前国内外已对太阳能、生物质能等可再生能源作为吸附制冷系统的驱动热源进行了深层的研究^[6-10],并在诸多制冷空调领域中得到应用。但对太阳能和生物质能联合驱动吸附制冷系统的适配性技术研究、应用报道较少。王如竹等提出了吸附式制冷可有效利用太阳能和工业废热等低品位能源,研制了太阳能热水器冰箱复合机,提高了系统能量的有效利用;冷小超等构建了一套太阳能与生物质能互补的联合循环系统,并进行了太阳能与生物质能互补的联合循环系统的研究;

庄友明等设计了一种新颖的太阳能固体吸附式制冷装置;郑宏飞等试验研究了一种新型的太阳能聚光集热装置驱动的小型吸附制冷系统。本研究根据太阳能与生物质能联合驱动吸附式制冷系统的制冷能力与末端热负荷变化具有同向变化的特性,以已搭建的双热源驱动吸附式制冷试验台为研究对象,试验研究了太阳能与生物质能联合运行供能的耦合适配性,并采用 MATLAB 软件动态模拟串、并联工况条件下,太阳能集热器和生物质锅炉热水出口温度、系统蓄热水箱热水进口温度等参数变化情况,分析研究生物质能作为辅助能源用于太阳能吸附制冷系统的供冷是可行的。

1 试验方案

1.1 系统组成

生物质能辅助太阳能驱动吸附制冷系统由热源热水循环、吸附工质循环、冷却水循环和制冷剂(载冷剂)循环等 4 个循环回路组成^[11-13],其系统控制流程图如图 1 所示。联合驱动热源采用太阳能集热器(Spa 系列 TRX-408 型,吸热面积为 20 块×2.78 m²)和河南农业大学研制的生物质热水锅炉^[14-16](热负荷 35 kW,热水压力 0.1 MPa,热水温度为 20~95 °C,热效率为 73.13%),试验中采用长度为 300 mm 的打捆玉米秸秆为燃料(取自河南农业大学科技试验园区)其密度为 130 kg/m³、基净发热量值为 15 658 kJ/kg;设置铜-康铜 T 型热电偶测量系统内水温变化,通过 ZYW72 型温控仪进行数据采集、存储及处理;采用 JKC-DMR-5 型太阳辐射测量仪检测太阳光辐射通量;通过 AMF 型热水流量计采集系统内水流量数据。

收稿日期: 2015-12-22 修订日期: 2016-04-25

基金项目: 河南省科技创新杰出人才计划项目(2014KJJCXJRC015)

作者简介: 刘恩海,男(汉族),河南信阳人,讲师,博士,主要从事生物质能转化利用方面的研究。郑州 中原工学院能源与环境学院,450007。

Email: liuenhai1018@126.com

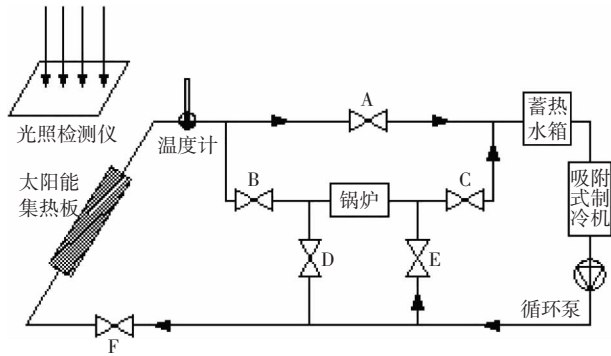


图 1 系统控制流程图

Fig.1 Schematic diagram of control system

1.2 试验方案

试验日期气象参数:2015年6月3日06:00~18:00,晴天少云,日照充足,最高气温31.4℃,最低气温15.9℃,日平均温度24.6℃。

依据太阳能与生物质能联合驱动的吸附制冷系统设计,启动相应生物质能辅助运行模式。测试过程中,采用预先设置各温度测点(测点处作密封、保温处理,适时测试信号输入温控仪采集系统。)的铜-康铜T型热电偶测量系统内供、回水管路及蓄热水箱内水温;选用JKC-DMR-5型太阳辐射测量仪(测量范围0~10kW/m²,分辨率为0.01kW/m²,标准精度±5%)适时检测、记录室外太阳光辐射通量;采用AMF型热水流量计(测量范围0~15m/s,精度±0.5%)监测系统供、回水管路水流量。所有试验工况中,数据测试均在整个系统运行稳定下进行。室外辐射强度及水流量值用以采集系统记录及后续的计算数据分析。

1.2.1 串联运行工况

运行模式1:开启阀门B、C、F,闭合阀门A、D、E。系统内循环回水→太阳能集热器(加热)→生物质热水锅炉加热→蓄热水箱;

运行模式2:开启阀门A、E、D、F,闭合阀门B、C。系统内循环回水→太阳能集热器(加热)→蓄热水箱→生物质热水锅炉(加热)→太阳能集热器(加热)→蓄热水箱。

1.2.2 并联运行工况

开启阀门A、C、D、F,闭合阀门B、E,系统内循环回水分别经太阳能集热器和生物质热水锅炉加热(通过管路阀门的开度、调节适宜回水流量的分配值)后流入蓄热水箱。

2 生物质能辅助供能分析模型

2.1 建模分析

为使模拟计算接近联合运行的实际情况,充分考虑到太阳能与生物质能的匹配组合、相互调节的适配性,采用MATLAB软件,借助SIMULINK进行数据处理、动态模拟联合工况下动态使用情况^[17]。选用双热源与蓄热水箱整体协同调试的稳定性作为研究对象,分析生物质能作为辅助能源用于太阳能吸附制冷系统供冷的可行性,建立物理模型如图2所示。依据数据点选用绘图命令,MATLAB运行界面如图3所示。

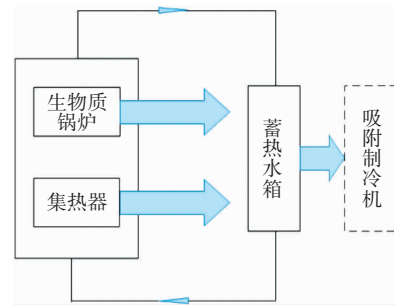


图 2 系统模型简化

Fig.2 Simplification of system

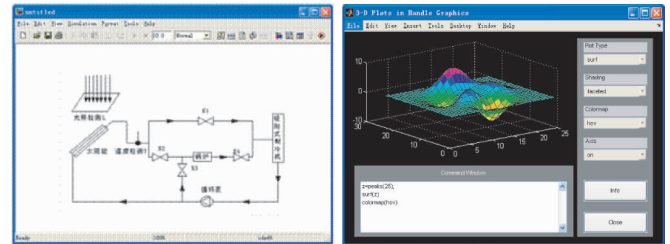


图 3 系统 MATLAB 界面图

Fig.3 Image of MATLAB

2.2 模型求解

1)生物质热水锅炉模型^[14,18-19]

锅炉水冷壁传热过程是一个复杂的传热过程,而且影响因素较多,为了使模拟具有一定的代表性,近似认为传热过程稳态传热。考虑其传热过程主要为系统循环水与炉膛内高温烟气间的换热,建模时依据圆管壁的传热性质,采用近似数值计算炉膛水冷壁的传热过程。根据圆管壁的传热理论,水冷壁传热过程可表示为

$$Q = \varepsilon A \sigma (t_1^4 - t_2^4); \tag{1}$$

$$Q = \lambda A (t_2 - t_3) \delta; \tag{2}$$

$$Q = h A (t_3 - t_4). \tag{3}$$

式中 Q 为热流量, W ; ε 为发射率; A 为换热面积, m^2 ; t_1, t_2, t_3, t_4 分别为外侧烟气温度、水冷壁外侧壁面温度、水冷壁内侧壁面温度和循环水平均温度, $^{\circ}C$; σ 为斯忒藩-玻耳兹曼常量; λ 为导热系数, $W/(m \cdot K)$; δ 为水冷壁厚度, m ; h 为表面传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$ 。

其中,水冷壁外侧壁面温度和循环水平均温度计算方程为

$$t_2 = t_a + \Delta t_0; \tag{4}$$

$$t_4 + \frac{Q}{KA} = 4 \sqrt{t_1^4 - \frac{Q}{\varepsilon A \sigma}}. \tag{5}$$

式中 t_a 为环境温度, $^{\circ}C$; K 为传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$ 。

2)太阳能集热器模型^[20-23]

太阳能集热器吸收的辐射能量包括辐射换热过程的能量损失、输出的能量和自身热容的变化量3部分,即

$$Q_a = Q_L + Q_o + Q_s; \tag{6}$$

$$Q_a = I_c A_c (\tau \alpha); \tag{7}$$

$$Q_L = A_c U_L (t_p - t_a); \tag{8}$$

$$Q_o = c_p \rho V_m (t_{w,o} - t_{w,i}). \tag{9}$$

式中 Q_a, Q_L, Q_o, Q_s 分别为集热器吸收的辐射能量、能量损失、输出能量和自身热容变化量, W ; I_c 为太阳辐射强度, W/m^2 ; A_c 为集热器有效面积, m^2 ; τ, α 分别为透光率、吸收率; U_L ,

热损失系数; $t_p, t_w, t_{w,i}$ 分别为吸热板表面温度和循环水的出、进口温度, $^{\circ}\text{C}$; c_p , 定压比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; q_m 为循环水质量流量, kg/s 。

3 适配性结果分析

3.1 串联工况动态仿真分析

基于串联工况太阳能集热器、生物质热水锅炉与蓄热水箱技术层面上的耦合性^[24-27], 采用 MATLAB 软件对 2 种运行模式蓄热水箱进口水温的变化进行模拟分析, 以期获得合理的运行模式。2 种串联模式下蓄热水箱进口水温变化曲线如图 4 所示。

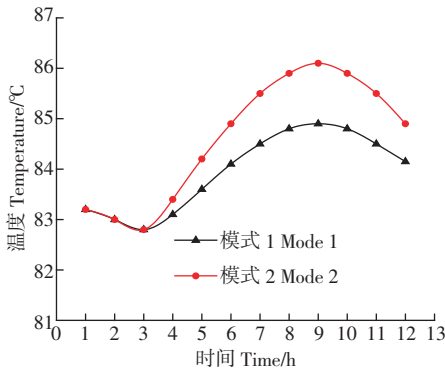


图 4 不同串联模式下蓄热水箱进口平均水温变化曲线

Fig.4 Temperature of heat storage tank entrance under different series connection mode

根据图 3 所示, 以 2015 年 6 月 3 日作为动态模拟条件, 时间起止点为 06:00~18:00 时。随着外界环境工况的变化, 2 种模式下蓄热水箱进口水温变化曲线均呈现下降→上升→下降的趋势。上午 06:00~09:00 时、下午 15:00~

18:00 时期间, 太阳辐射强度较弱, 系统内热水主要依靠生物质热水锅炉加热提供热量, 2 种模式下蓄热水箱进口水温变化趋势大致相同、波动不大。上午 09:00 时后, 太阳辐射增强, 光热转换能力逐渐增加, 蓄热水箱进口水温变化曲线呈上升趋势。模式 2 工况运行, 蓄热水箱进口水温峰值为 86.1°C , 高于模式 1 工况运行对应的峰值 84.8°C 。原因为模式 2 工况运行, 生物质锅炉流出的热水经过太阳能再次加热升温所致。结果表明: 双热源串联运行时, 应按照模式 2 工况循环流动, 能较好地实现热量传递。

3.2 并联工况适配性分析

3.2.1 联合运行理论模拟与试验

根据生物质能作为辅助能源用于太阳能吸附制冷系统供冷设计方案, 双热源联合运行供能的理论模拟和试验数据对照曲线见图 5 所示。

根据图 5 水温变化曲线, 理论模拟数据和试验值大致相仿, 误差较小, 结果表明建立的生物质能辅助供能模型合理。由图 5a 锅炉出口水温变化曲线可知, 前期(0~40 min) 试验值略低于模拟值, 分析其原因为开始阶段的炉膛内秸秆燃料燃烧不充分所致^[28-30], 随着系统稳定的运行, 中期变快、后期(300 min 后) 逐渐趋于平稳, 锅炉出口水温趋于稳定在 86°C 左右, 略低于模拟值。根据图 5b、c 可知, 太阳能集热器出口水温 and 蓄热水箱进口水温试验值变化趋势与模拟值变化趋势大致相似, 吻合良好。存在少许测量数据与模拟值偏差较大, 究其原因可能是热电偶测点位置选取不当受系统内水流的冲击影响造成的。结果表明: 生物质热水锅炉、太阳能集热器出口水温变化的模拟值与试验值平均偏差分别为 3.24%、2.03% 左右, 蓄热水箱进口水温变化的模拟值与试验值平均偏差约为 2.94%。

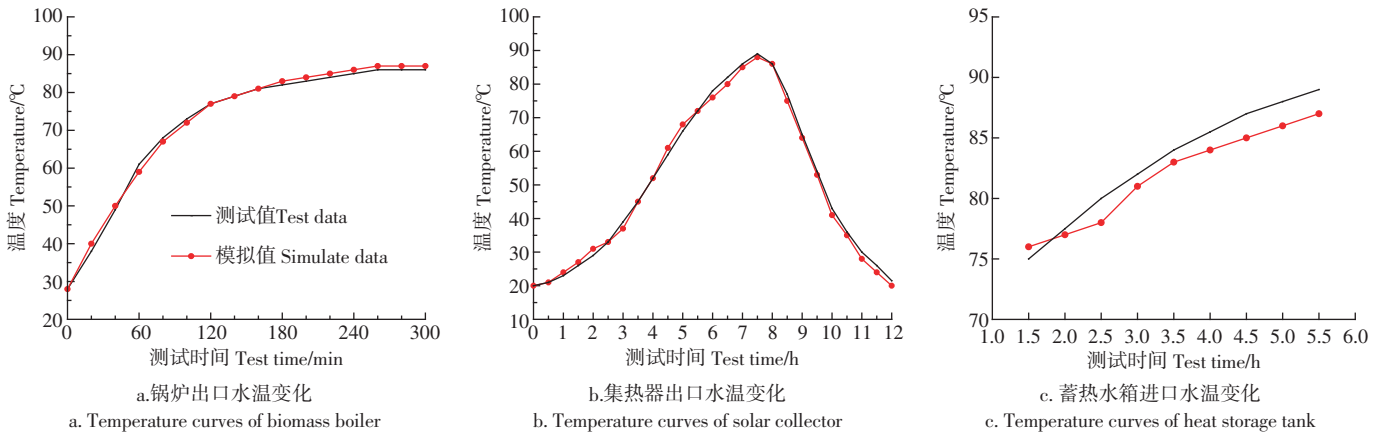


图 5 双热源联合运行供能的理论模拟和试验数据对照曲线

Fig.5 Oretical modeling and experimental data control curves for combined operation of two heat sources of energy

3.2.2 并联工况动态仿真分析

生物质能辅助太阳能并联工况供能运行时, 根据分流比例^[24-27](即流经锅炉的热水流量与系统总回水流量的比值) R 的不同进行动态仿真, 并利用非线性最小二乘法对数据进行处理、分析。模拟结果如图 6 所示。

根据图 6a 所示, 随着分流比 R 值(0.2~0.7)的增大, 蓄热水箱进口平均水温逐渐增加, 但增加幅度(2%~0.5%)依次减少。原因为分流比 R 值增大有利于增强锅炉内部换热, 提升热效率。流经太阳能支路的进水因受

到太阳日照升温的极限限制变化不大, 导致蓄热水箱热水温升较小、热效率降低。由图 6b 可知, 随着分流比 R 值(0.2~0.7)的增大, 锅炉出口平均水温逐渐增加, 但增加幅度(1.2%~2.5%)依次增加。因为随着分流比 R 值增大, 锅炉回水增加、单位体积的换热效率逐渐升高, 以至于锅炉出水温度增加幅度增大。根据图 6c 所示, 随着分流比 R 值(0.2~0.7)的增大, 太阳能集热器出口平均温度在不断增加, 增幅(0.5%~2.2%)越来越大。随着分流比 R 值增大, 锅炉的热效率呈下降趋势、出口水温低, 而流经

太阳能支路进水的换热强度增大、单位体积的换热效率逐渐升高,其出口水温升高的增幅变大。由图 6d 可知,随着分流比 R 值(0.2~0.7)的增大,由于受蓄热水箱进口水温的影响,出口平均水温不断增加,增幅(1.6%~2.1%)较为平缓。

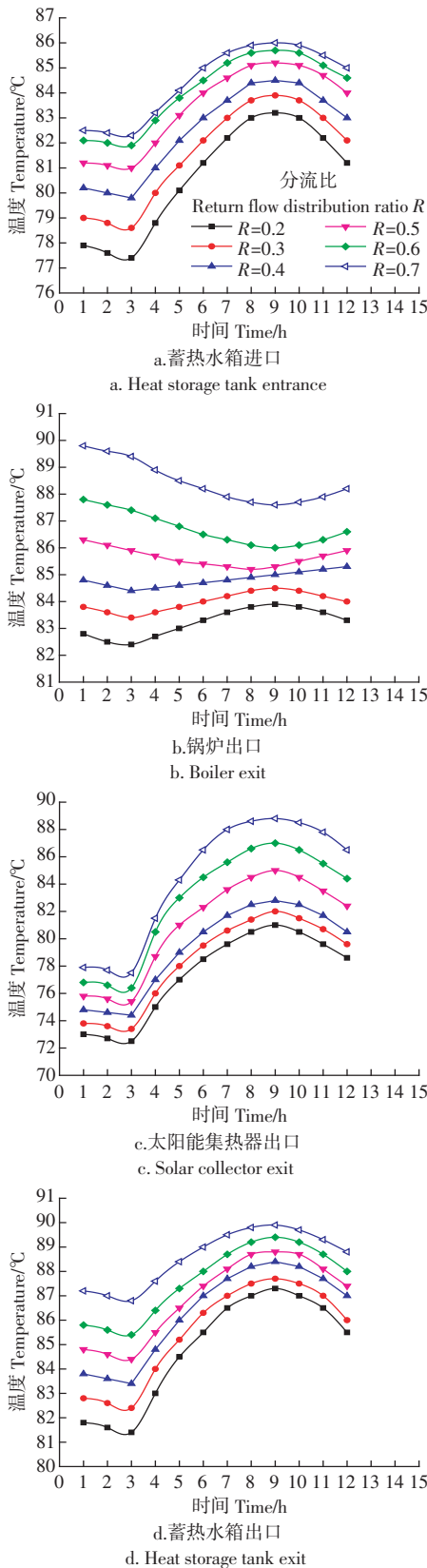


图 6 不同分流比锅炉、集热器和蓄热水箱出口平均水温变化
Fig.6 Temperature of biomass boiler exit, solar collector exit and heat storage tank exit under different by-pass ratio

根据曲线图 6,通过对太阳能与生物质能联合供能的适配性研究,结合系统末端供冷需求和经济运行模式分析,提出适宜于双热源联合供能的最佳分流比。研究结果表明:1)分流比 R 值为 0.5,适合太阳能供能的运行模式;2)分流比 R 值为 0.55,采用以生物质能辅助太阳能联合供能的运行模式;3)分流比 R 值为 0.6,适合生物质能供能的运行模式。

4 结论

1)以已搭建的太阳能与生物质能联合驱动吸附制冷试验台为研究对象,研究了双热源联合运行供能的适配性。

2)采用 MATLAB 软件动态模拟了太阳能与生物质能串、并联运行工况,分析了生物质能作为辅助能源用于太阳能吸附制冷系统供冷的可行性。串联运行时,应按照国家 2 工况循环流动;并联运行时,得出最佳回水流量分配比值范围为 0.5~0.6,提出适宜于双热源联合供能 3 种经济运行模式。

[参 考 文 献]

- [1] 赵军,王述洋.我国生物质能资源与利用[J].太阳能学报,2008,29(1):90-92.
Zhao Jun, Wang Shuyang. Bio-energy resource and its utilization in China[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2008, 29(1): 90-92.(in Chinese with English abstract)
- [2] 刘圣勇,赵迎芳,张百良.生物质成型燃料燃烧理论分析[J].能源研究与利用,2002(6):26-28.
- [3] 孙振钧.中国生物质产业及发展取向[J].农业工程学报,2004,20(5):1-2.
Sun Zhenjun. Biomass industry and its developmental trends in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2004, 20(5): 1-2.(in Chinese with English abstract)
- [4] 缪仁杰,李淑兰.太阳能利用现状与发展前景[J].应用能源技术,2007,(5):28-33.
Liao Renjie, Li Shulan. Actuality and prospect of solar energy's application[J]. Applied Energy Technology, 2007(5): 28-33.(in Chinese with English abstract)
- [5] 张文建,何玉林,刘健.中国太阳能资源利用现状及发展趋势[J].装备制造技术,2014,(11):137-143.
Zhang Wenjian, He Yulin, Liu Jian. The utilization situation and development trend of solar energy resources in China [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2014, (11): 137-143.(in Chinese with English abstract)
- [6] 王如竹,王丽伟,吴静怡.吸附式制冷理论与应用[M].北京:科学技术出版社,2007.9.
- [7] 冷小超.太阳能与生物质能互补的联合循环系统的研究[D].兰州:兰州理工大学,2014.
Leng Xiaochao. Study on the Combined Circle System of the Solar and Biomass[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2014.(in Chinese with English abstract)
- [8] Wang R Z, Li M, Xu Y X, et al. An energy efficient hybrid system of solar powered water heater and adsorption ice maker[J].

- Solar Energy, 2000, 68(2): 189-195.
- [9] 庄友明. 一种新颖的固体吸附式太阳能制冷装置[J]. 制冷, 1991(4): 72-76.
- [10] 郑宏飞, 李正良, 何开岩, 等. 光导聚能高温箱变储热小型太阳能吸附制冷系统[J]. 广西大学学报, 2008, 33(3): 261-265.
Zheng Hongfei, Li Zhengliang, He Kaiyan, et al. Small solar adsorption refrigeration system with light guiding assemble energy and high temperature phase change thermal storage[J]. Journal of Guangxi University, 2008, 33(3): 261-265.(in Chinese with English abstract)
- [11] 吴业正. 制冷原理及设备[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
- [12] 陈洪杰, 芦苇, 郑立新, 等. 冷藏库用风冷太阳能双级水喷射制冷系统性能分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 302-306.
Chen Hongjie, Lu Wei, Zheng Lixing, et al. Performance analysis on a solar-powered air-cooled two-staged ejector refrigeration system with water as refrigerant for cold store[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(2): 302-306.(in Chinese with English abstract)
- [13] 刘恩海, 刘圣勇, 周光辉, 等. 吸附制冷系统吸附床设计及导热性能研究[J]. 低温与超导, 2016, 44(1): 64-69.
Liu Enhai, Liu Shengyong, Zhou Guanghui, et al. Design and study of heat transfer performance of new adsorbent bed about solid adsorption refrigeration[J]. Cryo & Supercond, 2016, 44(1): 64-69.(in Chinese with English abstract)
- [14] 刘圣勇, 白冰, 刘小二, 等. 生物质捆烧锅炉的设计与研究[J]. 太阳能学报, 2010, 31(12): 1527-1531.
Liu Shengyong, Bai Bing, Liu Xiao'er, et al. Design and study of biomass bales combustion boiler[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2010, 31(12): 1527-1531.(in Chinese with English abstract)
- [15] 赵迎芳, 梁晓辉, 徐桂转, 等. 生物质成型燃料热水锅炉的设计与试验研究[J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(1): 108-111.
Zhao Yingfang, Liang Xiaohui, Xu Guizhuan, et al. design and experimental study of biomass briquette boiler[J]. Henan Agricultural University, 2008, 42(1): 108-111.(in Chinese with English abstract)
- [16] 刘俊红, 王革华, 张百良. 生物质成型燃料产业化的理性思考[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 138-141.
Liu Junhong, Wang Gehua, Zhang Bailiang. Reasonable thought on the industrialization of straw densification briquette fuel[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(1): 138-141.(in Chinese with English abstract)
- [17] 吴礼斌, 李柏年. 数学实验与建模[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [18] 刘圣勇, 王艳玲, 白冰, 等. 玉米秸秆致密成型燃料燃烧动力学分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 287-292.
Liu Shengyong, Wang Yanling, Bai Bing, et al. Analysis on combustion kinetics of corn stalk briquetting densification fuel[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(9): 287-292.(in Chinese with English abstract)
- [19] 刘圣勇, 刘小二, 王森, 等. II型生物质成型燃料锅炉的研制[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 100-104.
Liu Shengyong, Liu Xiaoe, Wang Sen, et al. Development of model II biomass briquette boiler[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(12): 100-104.(in Chinese with English abstract)
- [20] 卢郁, 于洪文, 丁海成, 等. 平板太阳能集热器热性能数学建模及模拟[J]. 济南大学学报, 2013, 27(3): 293-297.
Lu Yu, Yu Hongwen, Ding Haicheng, et al. Mathematical modeling and simulation of thermal properties of flat-plate solar collector[J]. Journal of University of Jinan, 2013, 27(3): 293-297.(in Chinese with English abstract)
- [21] 刘建波. 太阳能集热器热性能研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2014.
Liu Jianbo. A Research for the Thermal Performance of Solar Collector[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2014.(in Chinese with English abstract)
- [22] 侯宏娟, 王志峰, 杨勇平. 太阳能集热器热性能测试方法研究进展[J]. 太阳能学报, 2009, 30(8): 1043-1048.
Hou Hongjuan, Wang Zhifeng, Yang Yongping, et al. Development performance test methods for solar collector[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2009, 30(8): 1043-1048.(in Chinese with English abstract)
- [23] 孙峙峰, 郑瑞澄. 太阳能集热器热性能动态测试方法研究[J]. 太阳能学报, 2007, 28(11): 1194-1199.
Sun Zhifeng, Zheng Ruicheng. Studies on test methods for the thermal performance of solar collectors under quasi-dynamic conditions[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2007, 28(11): 1194-1199.(in Chinese with English abstract)
- [24] 周恒涛. 生物质能-太阳能联合制冷的适配性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
Zhou Hengtao. Study on the Suitability of Biomass Energy and Solar Energy for Absorption Refrigeration System[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2010.(in Chinese with English abstract)
- [25] 张华, 朱跃钊, 廖传华, 等. 太阳能与生物质能耦合供能系统的应用研究[J]. 低温与超导, 2010, 38(9): 57-60.
Zhang Hua, Zhu Yuezhao, Liao chuanhua, et al. Application study on coupling solar and biomass energy supply system[J]. Cryo & Supercond, 2010, 38(9): 57-60.(in Chinese with English abstract)
- [26] 周鹏. 太阳能与生物质能互补的能源系统研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
Zhou Peng. Study on Energy System with Hybrid Using of Solar and Biomass Energy[D]. Beijing: University of Chinese academy of Sciences, 2014.(in Chinese with English abstract)
- [27] 王泽龙, 田宜水, 赵立欣, 等. 生物质能-太阳能互补供热系统优化设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 178-184.
Wang Zelong, Tan Yishui, Zhao Lixin, et al. Optimal design of biomass-solar complementary heating system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(19): 178-184.(in Chinese with English abstract)
- [28] 刘恩海, 刘圣勇, 白冰, 等. 玉米秸秆打捆燃料燃烧动力学模型[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 218-226.
Liu Enhai, Liu Shengyong, Bai Bing, et al. Development of dynamic model of cornstalk bale combustion[J]. Transactions of

- the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2013, 29(24): 218–226.(in Chinese with English abstract)
- [29] 刘圣勇,李荫,徐桂转,等. 秸秆成型燃料锅炉炉膛气体浓度分布规律的试验与分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 133–136.
- Liu Shengyong, Li Yin, Xu Guizhuan, et al. Experimental study of gas concentration distribution in the hearth of straw briquette boiler[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2005, 21(11): 133–136.(in Chinese with English abstract)
- [30] 王翠苹,李定凯,王凤印,等. 生物质成型颗粒燃料燃烧特性的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 182–185.
- Wang Cuiping, Li Dingkai, Wang Fengyin, et al. Experimental study on the combustion characteristics of biomass pellets [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(10): 182–185.(in Chinese with English abstract)

Suitability analysis of solar energy and biomass energy for adsorption refrigeration system

Liu Enhai¹, Liu Shengyong², Yu Tingting³

(1. School of Energy & Environment, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China; 2. Key Laboratory of Renewable Energy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 3. School of Energy and Building Environment Engineering, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan 467036, China)

Abstract: Energy is an important material foundation for the current national accounts and social economic sustainable development. With the continued rapid growth of social and economic development and energy demand, the environmental pollution is worsening, so the development and use strategy of the alternatives to fossil fuels, such as solar energy and biomass renewable energy, attracted more and more attention. Based on China's rural industrial structure adjustment and industrial model of development situation of farmers in the present, the suitability of biomass energy as an auxiliary energy for solar energy adsorption refrigeration system was studied. An adsorption refrigeration experimental station was set up, which was driven by solar energy and biomass energy for the study, and the matching suitability of energy coupling by 2 heat sources was experimentally studied. Whether biomass energy and solar energy matched or not had a greater impact on the capacity of the system, reflecting that the cooling capacity of the system and the heat load of the end had the change characteristics in the same direction. Biomass boilers and solar absorption refrigeration system combined with the actual match drive and operation were analyzed. In this paper, we studied the biomass energy and solar energy suitability (coupling process) problems by the system simulation and experimental testing. The operating conditions of series and parallel of dual heat sources were dynamically simulated using the MATLAB software, and the nonlinear least square method was used for data processing and analysis. The results showed that: when operating in series, according to the circulation under the mode 2 condition, the system could achieve better heat transfer; when it was in the parallel operation, by the research on the energy supply by solar energy and biomass jointly, combined with the analysis of the cooling requirement and economic operation mode of the end of the system, the optimum return flow distribution ratio for the energy supply jointly by solar and biomass energy was in the range of 0.5–0.6, and 3 modes of economic operation suitable for the joint energy supply by dual heat sources were proposed. The results can provide the reference for improving the stability of the refrigeration system performance and achieving the effective integration of solar energy and biomass energy.

Keywords: solar energy; biomass; refrigeration; suitability; by-pass ratio; simulation