

## 双轴跟踪槽式太阳能集热器实验研究

钱 裕, 朱跃钊, 王银峰, 陈海军

(南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏 南京 211816)

**摘 要:** 将双轴跟踪系统和国产集热管集成, 研制了一套聚光比为 24 的双轴跟踪槽式太阳能集热器。对该集热器进行了实验研究, 考察了集热器在不同流量下的集热性能, 分析了其归一化效率和烟效率。结果表明: 采用双轴跟踪, 集热器的最高集热效率为 80%, 平均集热效率为 48%~60%; 随着流量的增加, 集热效率略有降低; 集热效率归一化线性良好, 相关系数为 0.973, 热损失系数为  $1.693 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ; 集热器最佳工作温度为  $180^\circ\text{C}$ , 此时烟效率为 0.15。

**关 键 词:** 双轴跟踪; 国产真空集热管; 槽式抛物面集热器; 集热性能; 烟效率

**中图分类号:** TK513 **文献标识码:** A

**DOI:** 10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.04.032

### 引 言

槽式太阳能集热器由于成本低、容易规模化, 在热发电领域已实现工业化应用, 在供蒸汽、制冷和海水淡化等中温热利用领域有诸多示范。目前, 对槽式太阳能集热器的研究工作主要集中在如何提高其集热性能。研发高效的选择性吸收涂层和可靠的金属与玻璃封接工艺提高集热管的集热性能<sup>[1-3]</sup>, 但目前集热管的核心技术一直被国外大公司垄断, 国内仍处于仿制阶段; 另外, 通过提高槽式太阳能集热器的聚光性能可以减少其光学损失, 从而提高集热器集热性能。中国科学院广州能源研究所陈维对抛物柱面聚焦的几种跟踪方式进行了光学性能的理论研究<sup>[4]</sup>, 对几种跟踪方式的光学性能以及纬度对各种跟踪方式光学性能的影响进行了分析, 结果表明: 采用单轴跟踪, 全天造成的端部损失和余弦损失较大; Bakos 实验小组对双轴跟踪槽式太阳能集热器与斜轴(向南倾角  $40^\circ$ ) 固定式槽式集热系统的集热性能进行实验研究<sup>[5]</sup>, 结果表明: 全天双轴跟踪的集热量比固定式多出约 46.6%; 裴刚对槽式太阳能

聚光集热系统在双轴跟踪、东西跟踪和南北跟踪 3 种跟踪模式下的性能进行实验研究<sup>[6]</sup>, 结果表明: 双轴跟踪时系统集热性能最佳, 系统效率为 0.347~0.363; Ouagued 分别对固定式、单轴式和双轴式进行了实验研究<sup>[7]</sup>, 结果表明: 双轴跟踪接收的直接辐射效率比其它跟踪方式更高。

然而, 现有的槽式示范系统多以单轴跟踪为主, 对于分布式的中小型集热系统, 采用双轴跟踪槽式集热器可有效提高集热性能, 而有一定的应用空间, 但这方面研究工作不多见。

本研究在前期槽式太阳能锅炉及太阳能中温集热器的研究基础上<sup>[8-10]</sup>, 将国产直通式太阳能集热器与双轴跟踪技术集成, 研制了一台双轴跟踪槽式太阳能集热器。本研究对该集热器进行集热特性实验研究, 为其在太阳能中温热利用领域的推广应用提供依据。

### 1 实验部分

#### 1.1 实验装置及测试过程

双轴跟踪槽式太阳能集热器主要由双轴跟踪槽式聚光系统、直通式集热管、储油罐和离心泵组成, 实验装置如图 1 所示。双轴跟踪系统针对太阳位置的变化, 对太阳的高度角和方位角进行全方位的跟踪, 方位角的跟踪精度为  $0.1^\circ$ , 俯仰角跟踪精度为  $0.05^\circ$ 。槽式反射镜主体材质为低铁超白浮法玻璃, 其反射率为 0.93; 集热管为国产直通式金属-玻璃真空管, 长为 2 000 mm, 外层金属管与玻璃管外径分别为 40 和 100 mm; 金属管表面选择性吸收涂层吸收率 0.96, 玻璃管透射率 0.90; 系统采用长城 L

收稿日期: 2014-06-27; 修订日期: 2014-08-28

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAJ01B06); 国家自然科学基金项目(51276086); 江苏省“六大”人才高峰项目; 江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CXLX13-410) 资助课题

作者简介: 钱 裕(1990-), 男, 江苏常熟人, 南京工业大学硕士研究生。

—QB300 型导热油作为传热工质。



图 1 实验装置实物图

Fig. 1 Photo of the experiment set - up

实验装置工作流程如图 2 所示。通过双轴跟踪系统实现槽式抛面对太阳位置的跟踪,通过导热油泵实现导热油在系统中的循环,通过集热管对导热油进行加热。采用涡街流量计测量管路中工质流量,铂电阻测量温度,巡检仪采集温度数据, $T_0$  与  $T_i$  和  $T_a$  分别为进、出口温度和环境温度,总辐射表固定于聚光器的开口平面,太阳测试记录仪采集太阳辐射强度数据。实验使用的主要仪器和仪表如表 1 所示。

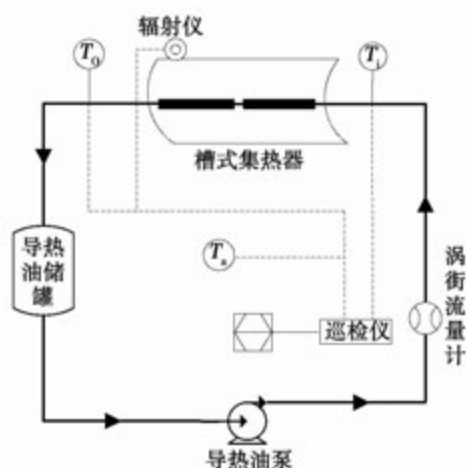


图 2 实验装置工作流程示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the experiment set - up

实验地点为南京工业大学江浦校区(东经 118.8°,北纬 32°),测试时间为 2013 年 4 月 12 日至 2013 年 4 月 15 日。主要考察导热油流量和导热油温度、太阳辐射强度等因素对集热器集热性能的影响。实验大多在晴朗天气条件下进行,环境温度范

围在 21.0 – 31.9 °C,分别考察了 0.4、0.8 和 1.0 m<sup>3</sup>/h 流量下集热器的集热性能。

表 1 主要仪器和仪表

Tab. 1 Specifications of the test components

| 仪器与仪表   | 型号/规格        | 精度                 |
|---------|--------------|--------------------|
| 离心导热油泵  | WRY26-20-100 | —                  |
| 太阳测试记录仪 | PC-2         | 1 W/m <sup>2</sup> |
| 总辐射表    | TBQ-2        | ±2%                |
| 涡街流量计   | LUGB-21/11   | ±1%                |
| 巡检仪     | WP-816       | 0.5%               |
| 铂电阻     | Pt100/Φ3 mm  | ±0.1 K             |

## 1.2 计算方法

### (1) 集热效率分析方法

槽式太阳能集热器瞬时效率计算公式为:

$$\eta_c = \frac{Q_u}{Q_0} = \frac{c_p q_v \rho (T_o - T_i)}{A G_b} \times \frac{1}{3600} \quad (1)$$

式中:  $c_p$ —传热工质的比热, J/(kg · °C);  $q_v$ —传热工质的体积流量, m<sup>3</sup>/h;  $\rho$ —传热工质的密度, kg/m<sup>3</sup>;  $A$ —集热器开口面积, m<sup>2</sup>;  $T_o$ —传热工质出口温度, °C;  $T_i$ —传热工质进口温度, °C;  $G_b$ —太阳直射辐射强度, W/m<sup>2</sup>;  $Q_u$ —集热器的有效集热量, W;  $Q_0$ —集热器总的集热量, W。

试验中测得太阳总辐射强度  $G$ , 晴朗条件下太阳直射辐射分量  $G_b$  约占总辐射强度  $G$  的 0.55 – 0.7<sup>[11-12]</sup>, 本研究计算时, 取  $G_b = 0.625 G$ ;  $Q_u$ —集热器的有效集热量, W;  $Q_0$ —集热器总的集热量, W。

### (2) 效率归一化分析方法

为了综合评价系统在多变太阳辐射、环境温度以及导热油温度下的集热性能, 对其集热效率进行归一化处理, 得到一段时间内的平均集热效率<sup>[13]</sup>:

$$\eta = \eta_0 - U_L^* \left( \frac{T_i - T_a}{G_b} \right) \quad (2)$$

式中:  $\eta_0$ —效率截距;  $U_L^*$ —热损失系数, W/(m<sup>2</sup> · K)。

### (3) 焓分析方法

对于太阳能热利用, 真正可用的能量不是系统收集到的总热能, 而是其中的可用能。集热效率仅仅反映了集热器收集的热量增量, 并没有反映出收集热量中的可用能。由热力学第二定律可知, 相同数量的热量中可用的能量是随温度变化的。对于集热器而言, 由于工质在吸热增温过程中自身熵增, 造成吸收的热量中只有一部分可作为可用能去做功,

这部分能量称为“烟”,因此可以用烟效率评价集热器性能。烟效率越高,则集热器所获得的可用能越大,表明集热器性能越好。烟效率计算公式为<sup>[14]</sup>:

$$\Delta E = c_p q_v \rho [(i_o - i_i) - T_a (s_o - s_i)] \quad (3)$$

$$\eta_{ex} = \frac{\Delta E}{Q_o} \quad (4)$$

$$\eta_{ex} = \frac{\Delta E}{Q_u} \times \frac{Q_u}{Q_o} = \psi \times \eta_c \quad (5)$$

集热器的“烟系数”:

$$\psi = 1 - \frac{T_a}{T_o} (1 + \frac{\Delta T}{2T_o}) \quad (6)$$

式中:  $i_o$ 、 $i_i$ —进出口单位工质的焓, kJ/kg;  $s_o$ 、 $s_i$ —进出口单位工质的熵, J/(kg·℃);  $T_a$ —环境温度,℃;  $\Delta T$ —进出口温差,℃;  $\Delta E$ —可用部分的“烟差”(俗称可用能);  $\rho$ —传热工质的密度, kg/m<sup>3</sup>。

本研究对双轴跟踪槽式太阳能集热器进行烟效率分析,为其有效热利用提供参考。

## 2 结果与讨论

### 2.1 集热特性

测得了不同流量下导热油温度、环境温度和太阳辐射等参数,结果如图3所示。从图中可以看出,不同流量下,太阳直射辐射强度基本维持在740~1075 W/m<sup>2</sup>,整体变化趋势相同。各流量条件下导热油温度随时间呈线性趋势上升,最高集热温度达到200℃。当天太阳辐射整体水平偏低(流量为0.4 m<sup>3</sup>/h),全天的集热温度较低,最高集热温度为174℃。

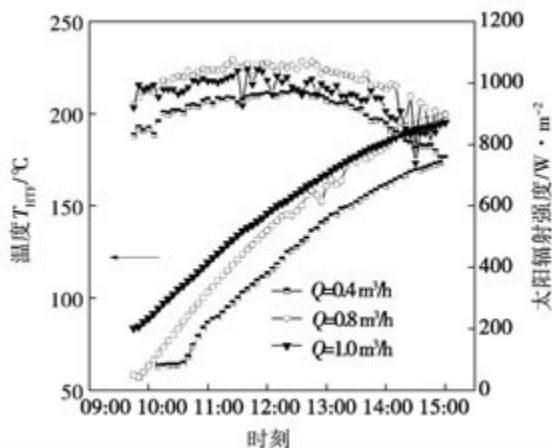


图3 太阳辐射强度和油箱温度变化

Fig. 3 Variation of solar radiation intensity and heat conducting oil temperature in the tank

### 2.2 热效率分析

#### (1) 集热效率

导热油流量是系统运行过程的重要参数,它对系统的集热效率有很大的影响。测定了不同流量条件下的瞬时效率,如图4所示。在不同流量下效率随着时间增加而降低,如流量在0.4 m<sup>3</sup>/h时,初始时刻效率达到最大值为0.80,15:00时效率为0.45,效率下降了44%。随着流量的增加集热效率有所降低,最大偏差约为0.23,随着时间的增加偏差逐渐减小,15:00时偏差为0.05。在实验初始时,集热管的效率都较高,这主要原因是初始时由于聚光器的影响集热管被空晒,在实验开始之前其中已累计较高热量,导致一开始进出口温差较大,使效率较高。而集热管突然下降的主要原因是刚启动时,系统还未稳定,管内有扰动,未形成真正的层流。如图5所示,在实验中集热管由于受热应力而发生弯曲。由于热量累计刚启动时流量从无到有,导热油未充满整个集热管,集中在下半管,上半管的热量没有及时带走导致集热管向上弯曲。实验后对集热管观察发现:集热管选择性涂层不同程度变红,而不受光面呈蓝色并且吸气剂有发白的现象,说明真空度在降低。因此,影响了其集热性能,造成了全天集热效率下降较快。

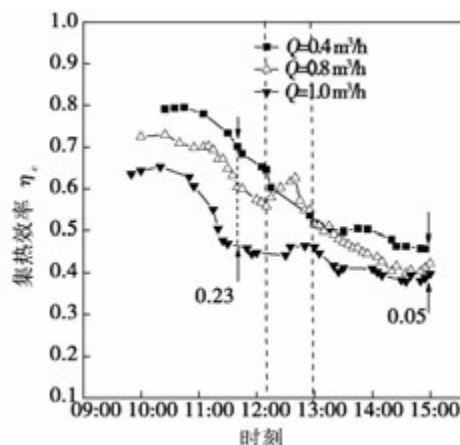


图4 不同流量下瞬时效率对比图

Fig. 4 Instantaneous thermal efficiency under different flow rates

此外,为了检验跟踪精度及聚光性能,在流量为0.8 m<sup>3</sup>/h时在12:10~12:40时间段通过手动调节跟踪,该时间段集热效率明显回升,从56%回升到63%。12:40以后重新采用自动跟踪,瞬时效率有

所下降。这主要由于集热管与聚光器存在的结构及跟踪误差导致的,集热效率仍有进一步提升的空间。

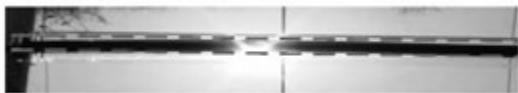


图 5 集热管弯曲图

Fig. 5 The bend of the receiver

## (2) 归一化效率

为了消除环境温度和辐射的影响,对集热效率进行归一化处理。图 6 是在  $0.8 \text{ m}^3/\text{h}$  流量下归一化效率曲线,相关系数 0.973,拟合相关性较好,表明拟合过程较可靠。效率截距为 0.861,热损失系数为 1.693。效率曲线与文献 [15] 值相比较,效率截距相对于文献值偏差 13%,热损失斜率相对于文献值偏差 9%。因此研制的双轴槽式太阳能集热系统有效提高集热效率,系统的热损失较大,集热性可进一步提升。

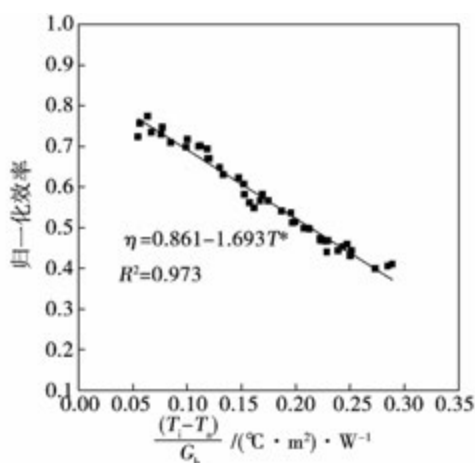


图 6 在工质流量  $0.8 \text{ m}^3/\text{h}$  下归一化效率曲线

Fig. 6 Normalized efficiency curves in  $0.8 \text{ m}^3/\text{h}$

## 2.3 焓效率分析

焓效率是评价集热器性能参数之一,通过焓效率可以确定集热器稳定运行时的出口温度,使集热器最有利。如图 7 所示,给出了在工质流量  $0.8 \text{ m}^3/\text{h}$  下该集热器集热效率和焓效率随传热工质运行温度变化的特性规律曲线。随着传热工质的运行温度升高,焓效率先增大后减小,存在最佳值。该集热器集热温度最佳值在  $180^\circ\text{C}$  左右,此时焓效率为 0.15。跟文献相比较<sup>[16]</sup>,焓效率相对文献值偏差 9%。而当集热温度在  $154^\circ\text{C}$  左右时,焓效率为

0.177。这是由于当集热温度在  $140 - 154^\circ\text{C}$  时,由于经过手动调节跟踪而集热效率回升,使得焓效率也有所提升。而从焓系数曲线斜率相对于集热效率曲线小,可以看出,效率曲线的变化趋势很大程度地影响焓效率曲线的趋势。当集热温度到达  $180^\circ\text{C}$  左右时,焓效率为 0.15,呈现下降趋势,这主要是由于当集热温度大于  $100^\circ\text{C}$  时,集热效率曲线斜率较大,下降速度较快,影响了焓效率的变化趋势。然而,集热器的焓效率远低于集热效率,是由于接收器的光学性质、表面涂层能够承受的温度及导热油流过集热器的熵增造成了焓损失。表面涂层存在的不可逆焓损失占总焓损失的比例最大,所以本研究中焓效率较低,与该国产集热管涂层性能的降低有着重要的影响。减小涂层的发射率及提高真空度消除残余空气的导热传热均能减小无效焓损失,是提高焓效率的重要途径<sup>[17]</sup>。因此,文中研制的双轴跟踪槽式太阳能集热器焓效率仍有进一步提升的空间。

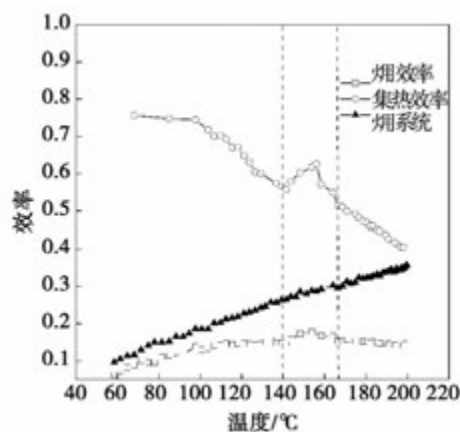


图 7 在工质流量  $0.8 \text{ m}^3/\text{h}$  下焓效率随传热工质运行温度的变化规律

Fig. 7 Relationship between exergy efficiency and operational temperature in  $0.8 \text{ m}^3/\text{h}$

## 3 结 论

通过对自行研制的双轴跟踪槽式太阳能集热器光热性能进行实验研究,得到如下的结论:

(1) 文中研制的双轴跟踪槽式太阳能集热器集热效率随着流量的增大而减小,集热效率变化范围为 0.05 - 0.23。光热性能较好,3 天平均集热效率为 48% - 60%,最高集热效率为 80%,集热温度可

以达到 200 ℃。

(2) 集热效率归一化线性良好, 相关系数为 0.973, 效率截距为 0.861, 热损失系数为 1.693 W/(m<sup>2</sup>·K)。

(3) 该集热器最佳工作温度为 180 ℃, 烟效率为 0.15, 但是烟效率仍可进一步提高; 由于集热器效率曲线效率下降较快, 使得烟效率曲线的最佳温度仅在 180 ℃, 最佳温度点仍可进一步提升。

(4) 建议精细的测量和在辐射值稳态下测量集热管的最佳流速, 形成相应经验公式指导规模化集热镜场的建设。

#### 参考文献:

- [1] Price H, Liipfert E, Kearney D. Advance in parabolic trough solar power technology [J]. Journal of Solar Energy Engineering, 2002, 124: 109 - 125.
- [2] 王 军, 张耀明, 王俊毅, 等. 槽式太阳能热发电中的真空集热管 [J]. 太阳能, 2007, 5: 51 - 55.  
WANG Jun, ZHANG Yao-ming, WANG Jun-yi, et al. Evacuated solar collector tubes in parabolic trough solar power technology [J]. Solar Energy, 2007(5): 24 - 28.
- [3] 殷志强, 严习元, 陈腾华, 等. 太阳吸收涂层与真空集热管的热性能 [J]. 太阳能学报, 1996, 17(1): 51 - 55.  
YIN Zhi-qiang, YAN Xi-yuan, CHEN Teng-hua, et al. The thermal performance of evacuated collector tubes with solar absorbing coating [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 1996, 17(1): 51 - 55.
- [4] 陈 维, 李骥洪. 抛物柱面聚焦的几种跟踪方式的光学性能分析 [J]. 太阳能学报, 2003, 24(4): 478 - 482.  
CHEN Wei, LI Jian-hong. Optical performance analysis for parabolic-trough focusing collector with several tracking modes [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2003, 24(4): 478 - 482.
- [5] George C. Bakos. Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement [J]. Renewable Energy, 2006, 31(15): 2411 - 2421.
- [6] 裴 刚, 符慧德, 季 杰. 槽式太阳能聚光集热系统在不同跟踪模式下的对比 [J]. 太阳能学报, 2010, 31(10): 1325 - 1330.  
PEI Gang, FU Hui-de, JI jie. Performance comparison of a trough solar concentration system in different tracking modes [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2010, 31(10): 1325 - 1330.
- [7] Malika Ouagued, Abdallah Khellaf, Larbi Loukarfi. Estimation of the temperature, heat gain and heat loss by solar parabolic trough collector under Algerian climate using different thermal oils [J]. Energy Conversion and Management, 2013, 75: 191 - 202.
- [8] 朱跃钊, 蒋金柱. 槽式聚光型热管式太阳能锅炉装置 [P]. 中国: 200620071109.5, 2007.  
ZHU Yue-zhao, JIANG Jin-zhu. Trough concentrating heat pipe type solar boiler plant [P]. China: 200620071109.5, 2007.
- [9] 孙 伟, 王银峰, 陈海军, 等. 跟踪式 CPC 热管真空管太阳能集热器性能研究 [J]. 热力发电, 2013, 42(11): 22 - 25.  
SUN Wei, WANG Yin-feng, CHEN Hai-jun, et al. Performance investigation on a sun-tracking CPC heat pipe evacuated tube solar collector [J]. Thermal Power Generation, 2013, 42(11): 22 - 25.
- [10] 许佳慧, 朱跃钊, 王银峰, 等. 国产直通式太阳能集热管性能研究 [J]. 太阳能学报, 2013.  
XU Jia-hui, ZHU Yue-zhao, WANG Yin-feng, et al. Research on performance of domestic straight-through solar tube [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2003.
- [11] 李 臻, 史月艳, 王毓琰, 等. 具有镜面反射和漫反射的 CPC 光学分析 [J]. 太阳能学报, 2003, 24(1): 58 - 63.  
LI Zhen, SHI Yue-yan, WANG Yu-yan, et al. Optical analysis of compound parabolic concentrator [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2003, 24(1): 58 - 63.
- [12] 刘 赞. 热管型槽式太阳能集热器的开发与研究 [D]. 南京: 南京工业大学, 2010.  
LIU Yun. Development and research on solar parabolic through collector with heat pipe [D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2010.
- [13] Li X, Dai Y J, Li Y, et al. Comparative study on two novel intermediate temperature CPC solar collectors with the U-shape evacuated tubular absorber [J]. Solar Energy, 2013, 93: 220 - 234.
- [14] 倪正伟, 朱明善, 王维城, 等. 以烟参数评价太阳能集热器的“动力”性能 [J]. 太阳能学报, 1981, 3(2): 281 - 286.  
NI Zheng-wei, ZHU Ming-shan, WANG Wei-cheng, et al. Performance of solar collector for power generation evaluated by exergy parameter [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 1981, 3(2): 281 - 286.
- [15] Joe S. Coventry. Performance of a concentrating photovoltaic/thermal solar collector [J]. Solar Energy, 2005, 78: 211 - 222.
- [16] 高志超, 隋 军, 刘启斌, 等. 抛物槽式太阳能蒸汽发生系统研究 [J]. 工程热物理, 2011, 32(5): 722 - 724.  
GAO Zhi-chao, SUI Jun, LIU Qi-bin, et al. Study on parabolic trough solar collector steam generation system [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2012, 33(7): 1219 - 1225.
- [17] 谷 伟, 王 军, 余 雷, 等. 聚光型热管式真空集热管的火用分析 [J]. 太阳能学报, 2012, 33(7): 1219 - 1225.  
GU Wei, WANG Jun, YU Lei, et al. Exergy analysis of concentrating heat-pipe evacuated solar collector tube [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2012, 33(7): 1219 - 1225.

(单丽华 编辑)

fit, the boiler can burn high-volatile bituminous coals with the normal operational parameters. The  $\text{NO}_x$  emission decreased by 60% with about  $210 \text{ mg/Nm}^3$  at full load, and the boiler efficiency increased by 1% than before. **Key words:** lean-coal boiler, low nitrogen combustion retrofit, coal adaptability

辐射管对火筒温度均匀性的影响 = **Effects of Temperature Uniformity of Radiant Tube on Firebox** [刊, 汉] LV hao, XU Hong-tao (University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093), Shan Tian-yu (Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, China, Post Code: 163319), LIAO Xiao-wei, (China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing, China, Post Code: 100013) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(4). -611 -616

In order to study the effect of the radiant tube and the influence of combustion power on temperature uniformity of the firebox, an experiment was set up with a forced air blast burner to obtain the temperature variation of the firebox before and after installing a radiant tube in the heater. Based on the Heater in Daqing Oilfield, this experiment was carried out by comparing the temperature variations before and after the radiant tube installation and at different powers. Results illustrate that after installing the radiant tube, the highest temperature difference of the firebox will drop to 49% at 400 kW and 48 % at 700 kW respectively. And the temperature uniformity of the firebox is obviously better than before, which decreased the risk of burning loss of the firebox greatly. The temperature of the firebox increases with the increasing powers, and the distribution trend of the temperature is consistent. **Key words:** : fire tube type heater, radiant tube, experimental test, temperature uniformity

双轴跟踪槽式太阳能集热器实验研究 = **An Experimental Study on A Two-Axis Sun-track Parabolic Trough Collector** [刊, 汉] QIAN Yu, ZHU Yue-zhao, WANG Yin-feng, CHEN Hai-jun (School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing, China, Post Code: 211816) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(4). -617 -622

A two-axis sun-track PTC (parabolic trough collector) with a concentration ratio of 24 was set up, which integrated a two-axis sun-track PTC with domestic parabolic trough receiver. Thermal performance of this PTC was experimentally tested at different heat transfer fluid flow rates. In advance, the Normalized efficiency and energy efficiency were analyzed. The results show that, thermal efficiency of this two-axis tracking collector is 40% ~ 80%; and the thermal efficiency decreases slightly with the increase of flow rate. In addition, the linear of normalized efficiency is

favorable, the linear correlation coefficient is 0.973, and the heat loss coefficient is  $1.693 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ; the optimum temperature value of the collector is  $180^\circ\text{C}$ , the energy efficiency is 0.15. **Key words:** two-axis sun-track, domestic parabolic trough receiver, PTC, thermal performance, energy efficiency

核电站硼回收处理系统蒸发塔放大效应研究 = **Magnification Effect Study on Boron Recycling System's Evaporator of Nuclear Power Plant** [刊, 汉] LI Shu-zhou ( Suzhou Nuclear Power Research Institute, Suzhou of Jiangsu, China, Post Code: 215000 ), WANG Teng-jiao, LU Jie, LIU Xia-jie ( China Nuclear Power Technology Research Institute, Shenzhen of Guangdong, China, Post Code: 518124 ) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(4). -628-631

By studying the similar principle of device model testing the transfer process, aiming at the working condition of the boron recycling's evaporator system in nuclear power plant and the magnification effect of testing evaporator, the main parameters that affect gas-liquid phase contact process in the evaporator is analyzed and determined. Thus, the similarity criterion between the evaporator and the testing evaporator is put forward. According to the similarity criterion that put forward in this paper, it is used in the design of the testing evaporator the same plate structure parameters, testing medium, operating temperature and operating pressure of prototype tower. And this meets the magnification criterion. Then, it is calculated that the diameter, backflow volume and steam flow of testing evaporator meeting the requirements of amplification are determined according to the remaining similarity criterion. The correctness and rationality of testing evaporator design is verified by analyzing the experimental results. **Key words:** nuclear power plant, boron recycling system, evaporator, magnification effect

垂直轴风力机叶片的流固耦合作用研究 = **Study on Fluid-structure Interaction of a Vertical-axis Wind Turbine** [刊, 汉] SUN Fangjin, LIANG Shuang, FENG Xu ( College of Architecture and Civil Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning, China, Post Code: 123000 ) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(4). -632-638

Vertical-axis wind turbines are promising, but the lagging behind of study on fluid-structure interaction between wind and wind turbine blade has become one of the key factors limiting their application. Thus, fluid-structure interaction of a vertical-axis wind turbine blade is studied in the present work. To overcome the excessive distortion of