

# 上海地区太阳能辅助燃气组合系统冬季实验分析

王 志, 蔡颖玲

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)



**摘 要:**上海地区冬季典型日完成了单独供生活热水和供生活热水采暖两种模式运行的太阳能辅助燃气实验。实验平台以 S7-200 型 PLC 为控制系统,以 WinCC 为数据采集软件平台。实验采集了系统回路各个点的水温、流量以及实验过程中太阳的辐射强度,并在此基础上分析了上海地区太阳辐射强度、室外温度以及系统运行模式等对太阳能保证率和燃气消耗量的影响。结果表明:气象参数对太阳能保证率和燃气消耗量有显著的影响。在天气晴好的天气(平均辐射量大于  $400 \text{ W/m}^2$ )条件下单独供热模式下太阳能保证率平均为 82%;阴到多云(平均辐射量小于  $250 \text{ W/m}^2$ )的条件下为 54%。在天气晴好的天气里在供生活热水采暖模式下太阳能保证率可以达到 10.3%;阴到多云的条件下只有 5.09%。

**关键词:**太阳能;生活热水;采暖;太阳能保证率;燃气消耗量

中图分类号:TU 996.7

文献标志码:A

文章编号:1006-7167(2017)05-0071-03

## The Winter Experiment and Analysis of the Solar Assisted Gas Combination System in Shanghai

WANG Zhi, CAI Yingling

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** The solar assisted gas winter experiments were carried out in a typical winter day in Shanghai, two models of domestic hot water and hot water heating were adopted. The experiment platform applied S7-200 PLC as control system, used WinCC as the data acquisition software. The water temperature, flow rate and the radiation intensity of the solar radiation at different points of the system were collected. On the basis of the data, the influence of solar radiation intensity, outdoor temperature and system operation mode on the solar energy guarantee rate and gas consumption in Shanghai area were studied. The experimental results show that the meteorological parameters have a significant influence on the solar energy guarantee rate and the gas consumption. In fine weather (average radiation amount is more than  $400 \text{ W/m}^2$ ) under the heating mode of guaranteed solar rate reached 82%, overcast to cloudy (average radiation dose of less than  $250 \text{ W/m}^2$ ) was 54%. In fine weather in the heating mode of guaranteed solar rate could reach 10.3%, in overcast or cloudy conditions only 5.09%.

**Key words:** solar energy; hot water for living; heating; solar guarantee rate; gas consumption

## 0 引 言

上海地区的太阳能年辐射量近年来平均值为  $4\ 700 \text{ MJ/m}^2$ ,具有开发利用太阳能的资源条件,但是太阳能具有间歇性、不稳定、能流密度比较低等缺点,导致了太阳能热系统的不稳定性。燃气炉可非常迅速、方便地为建筑提供热水,用于生活热水和采暖,但

收稿日期:2016-08-01

作者简介:王 志(1990-),男,安徽合肥人,硕士生,研究方向为可再生能源应用与节能技术。

Tel.:18201712937; E-mail.:1260301570@qq.com

通信作者:蔡颖玲(1964-),女,上海人,博士,副教授,研究方向为可再生能源应用与节能技术。

Tel.:13564358089; E-mail:caiylingling963@126.com

单独采用燃气炉采暖供热将消耗大量的清洁能源,不能达到节能的目的<sup>[1-4]</sup>。本文设计了太阳能辅助燃气组合系统,并进行了冬季典型工况下的实验,为上海地区建筑节能领域提供了有价值的探索。

1 实验平台

本实验平台(太阳能辅助燃气组合系统)位于上

海松江。本系统主要由太阳能集热系统、燃气辅助系统、室内用热水末端系统、控制及运行监测系统 4 个核心部分组成,同时系统还具备防冻、高压保护及过热保护等功能。系统工艺流程如图 1 所示。

根据上海气候特点和实验需要设计各部分的性能参数。各部分组成参数如表 1 所示。

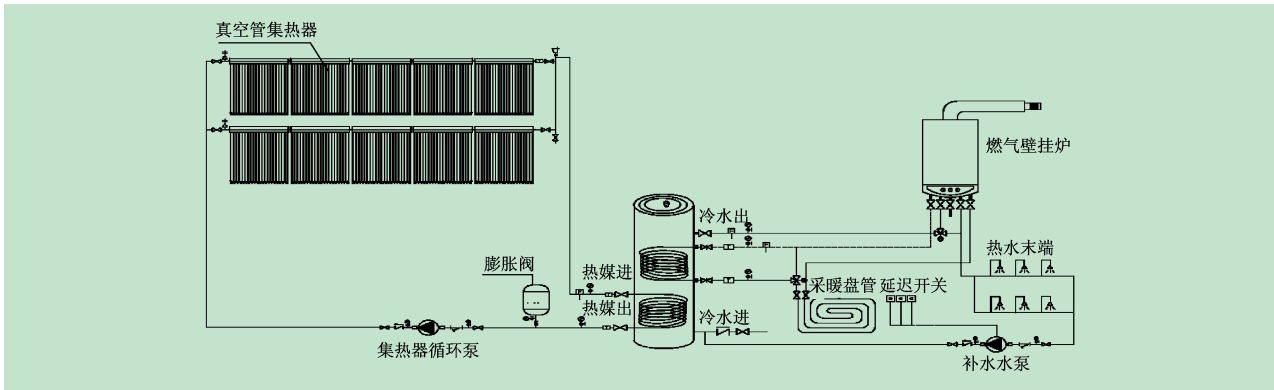


图 1 太阳能辅助燃气工艺流程图

表 1 实验平台各部分组成

设备	型号	参数及备注
集热器	LPCR58 ×1800	内径 47 mm, 外径 58 mm, 壁厚 1.8 mm 集热面积为 10.44 m <sup>2</sup>
燃气炉	A. O. 史密斯 B 系列	生活热水温度设置为 60 ℃, 供暖设置 为 45 ℃
储热装置	承压水箱	放于室内, 体积为 300 L
控制系统	S7-200 型 PLC 及其附 件和 PC 机	S7-200 型 PLC 作为下位机, 西门子 Win CC 组态软件上位机, 检测系统的运行状 态 <sup>[5-6]</sup>
温度传感器	PT100	采用四线制接法以提高误差精度
流量传感器	LWGY15	流量 < 1 m <sup>3</sup> /h
循环水泵	SUP 25-80	SUP 25-80 有 3 种工作模式, 选用高档位 额定功率为 110 W

2 冬季实验方案设计

2.1 运行策略

根据实验平台的特点和实验要求采用如下运行策略。系统中真空管集热器采集到太阳能通过集热器循环泵储存在储热水箱中, 如果储热水箱温度达到供热采暖要求, 直接供给用热末端; 如果到不到要求, 则通过辅助加热器燃气壁挂炉在供给用热末端。用热末端包括地暖采暖盘管和热水末端。

2.2 实验安排

由于冬季太阳辐射强度弱, 日照时间短。单独供生活热水实验只模拟晚间家庭用水, 以 3 口之家每人用水 50 L(包括洗澡和做晚饭、洗漱等)60 ℃共 150 L

的热水设计<sup>[7-9]</sup>, 早晨打开集热器循环泵和数据采集和监控系统, 晚上日落时放出热水。水温达到 60 ℃则直接放掉, 达不到 60 ℃则通过燃气壁挂炉加热到 60 ℃再放掉, 之后关闭系统。第 2 d 再打开系统开始新实验。实验在上海市 1 月份连续不间断, 共持续半个月。

1~2 月中上旬是上海全年最冷时候, 占全年严寒天气日数的 80%。联合供生活热水采暖实验在此期间进行的。当采暖盘管回水温度大于水箱上部温度时直接通过燃气壁挂炉循环供暖; 若采暖盘管水温小于水箱上部温度时则供暖循环通过水箱加热后再过燃气壁挂炉循环供暖; 若燃气炉进口的水温度大于 45 ℃时燃气壁挂炉自动停机, 低于 40 ℃时燃气壁挂炉自动开机。使采暖室的温度达到 20 ℃左右, 营造舒适温暖的生活环境。图 2 是供暖前后采暖室白天室内温度变化。在供生活热水采暖模式下采取 24 h 不间断实验。同时在晚间提供 1 家 3 口 150 L 60 ℃的生活热水<sup>[10-13]</sup>。

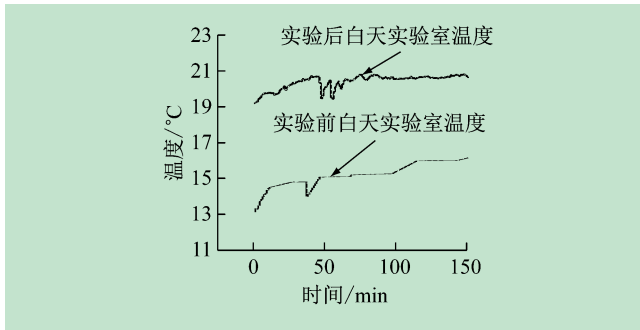


图 2 采暖实验前、后实验室的温度变化

3 实验结果与分析

本实验主要目的是探究太阳能保证率与太阳辐射

之间的关系,以指导实际冬季供生活热水采暖工程实施并分析系统本身的运行特性。

所谓太阳能保证率  $f$  就是系统总负荷中太阳能所担负的比例。如下式所示:

$$f = \frac{Q_M}{L} = \frac{Q_M}{Q_M + Q_R} \quad (1)$$

式中:  $Q_M$  为系统获得太阳热能量, J;  $Q_R$  为燃气提供热量, J;  $L$  为系统总热负荷, J。

$$Q_M = CM \cdot \Delta T = \sum_{i=1}^n c_{\text{oqt}} (T_{j\text{rc}} - T_{j\text{rj}}) \quad (2)$$

式中:  $T_{j\text{rc}}$  为集热器出口温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{j\text{rj}}$  为集热器进口温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $n$  为换热总分钟数;  $c$  为水的比热容,  $4.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $\rho$  为水的密度,  $1.0 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ ;  $q$  为集热环路的传热介质(水)流量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;  $t$  为时间,  $\text{min}$ 。

$$Q_R = Vq \quad (3)$$

式中:  $Q_R$  为燃气提供热量, J;  $V$  为燃气用量体积,  $\text{m}^3$ ;  $q$  为燃气热值,  $35.581 \text{ MJ}/\text{m}^3$  [14-17]。

图 3 是某一晴好天气里(平均辐照量大于  $400 \text{ W}/\text{m}^2$ )的集热器进出口的温度变化曲线。

### 3.1 单独供生活热水模式实验分析

图 4 是实验过程中连续 5 d 太阳能辐射强度实验数据。图 5 中曲线是这 5 d 日落时水箱中水的温度与太阳能保证率关系。由于水箱的温度一直达不到  $60^{\circ}\text{C}$  的设计温度所以必须用燃气壁挂炉辅助加热,也说明燃气辅助加热的必要性。

从图 4 可以看出,5 d 里,前 3 d 的太阳能辐射量曲线呈规则弧线,辐射量从开始一直增加在中午前后达到极值后逐渐减少,1 d 的太阳平均辐射量在  $400 \text{ W}/\text{m}^2$  以上,无云层阻挡阳光属于晴好的天气,水箱温度也较高。而后 2 d 太阳能辐射量曲线呈不规则锯齿状,太阳平均辐射量在  $250 \text{ W}/\text{m}^2$  以下。时有云层阻挡阳光属于阴或多云的天气,日落时水箱温度也较低。实验表明,太阳能保证率受天气的影响比较大。晴好时太阳能保证率平均值 82%;而在多云和阴天里太阳能保证率平均值为 54%。

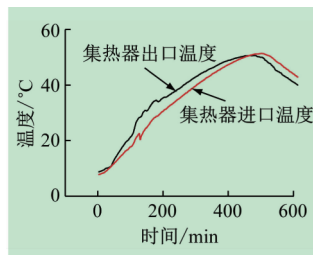


图 3 集热器进、出口的温度变化曲线

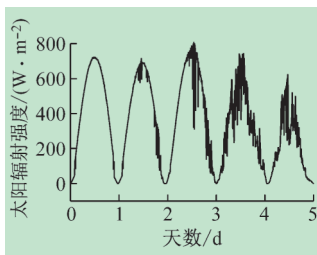


图 4 太阳辐射强度(供生活热水实验)

另外,实验还表明,集热器的瞬时换热量随瞬时太阳辐射强度增加而增加。在日出和日落时,会出现集热器进口温度大于出口温度,换热量小于零的情况。

这是由于在冬季室外气温较低,日出和日落的时候集热器向外环境散热大于其所吸收的热量。图 6 是天气晴好时太阳能集热器的瞬时换热量数据。

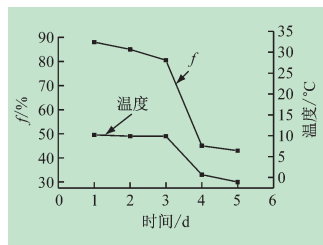


图 5 水箱温度与太阳能保证率的关系

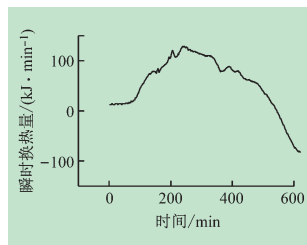


图 6 集热器瞬时换热量

### 3.2 联合供生活热水采暖模式

#### 3.2.1 太阳能保证率与太阳辐射的关系

本实验是在上海地区冬季典型日进行的,图 7 是实验中其中 5 d 的太阳能辐照数与这 5 d 太阳能保证率的关系。在这 5 d 里前 3 d 的天气较好(平均辐照量大于  $400 \text{ W}/\text{m}^2$ ),后 2 d 为多云到阴的天气(平均辐照量小于  $250 \text{ W}/\text{m}^2$ )。

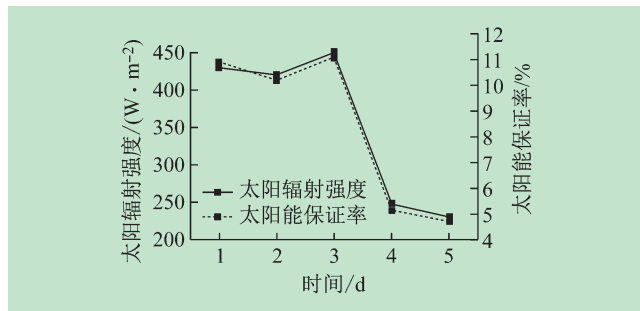


图 7 太阳能保证率与太阳辐射强度的关系

实验结果表明,在供生活热水采暖联合模式下天气晴好的情况下平均太阳能保证率为 10.3%;多云到阴的条件下平均太阳能保证率为 5.09%。在供生活热水采暖模式下太阳能保证率和太阳辐射也有很大的正相关的关系。

#### 3.2.2 燃气消耗量与室外气温的关系

实验结果表明,采暖时室外日均气温越高,燃气的消耗量越低,如图 8 所示。

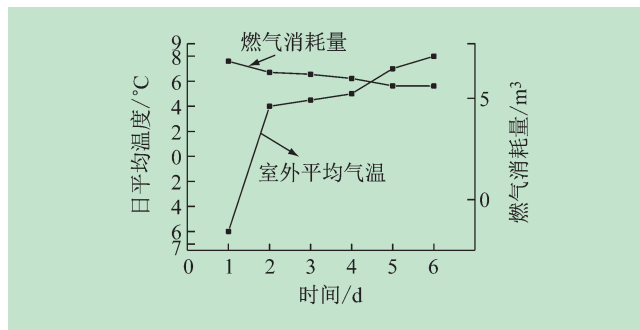


图 8 燃气消耗量与室外气温的关系

(下转第 105 页)

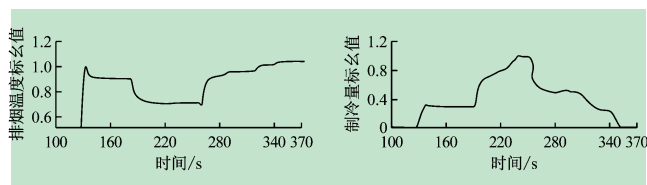


图9 沼燃气发电机排烟温度标么值响应曲线  
图10 沼燃气发电机跟随负荷制冷量标么值响应曲线

## 6 结语

图5~图10的仿真性能曲线表明,本文通过流体网络建立的燃气发电机仿真模型变化趋势与实际运行基本一致,参数计算精度在5%以内,作为精确设计燃气发电机本体模型是不够的,但作为运行参考是足够的。本文工作为进一步研究农村沼燃气发电机系统奠定了基础。

## 参考文献 (References):

- [1] 吴创之,马隆龙.生物质能现代化利用技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [2] 翁一武,苏明,翁史烈.先进微型燃气轮机的特点与应用前景[J].热能动力工程,2003,18(2):111-116.
- [3] 钱申贤.燃气燃烧原理[M].北京:中国建筑工业出版社,1989.
- [4] 赵克,耿加民,孙力.微型燃气轮机发电系统新型并网控制技术[J].电机与控制学报,2008,12(4):409-414.
- [5] 翁一武,翁史烈,苏明.以微型燃气轮机为核心的分布式供能系统[J].中国电力,2003,36(3):1-4.
- [6] 孙可,韩祯祥,曹一家.微型燃气轮机系统在分布式发电中的应用研究[J].机电工程,2005,22(8):55-60.
- [7] 余涛,童家鹏.微型燃气轮机发电系统的建模与仿真[J].电力系统保护与控制,2009,37(3):27-31.
- [8] 王昱,张光.热力系统流体网络法的研究[J].现代电力,2005,22(2):38-41.
- [9] 倪何,程刚,孙丰瑞.热工流体网络简易模块化建模方法[J].系统仿真学报,2009,21(12):3536-3541.
- [10] 倪纬斗,苟建兵.热动力系统流体网络及算法处理[J].系统仿真学报,1997,9(3):78-83.
- [11] Rowen W I. Simplified mathematical representations of heavy-duty gas turbines[J]. Journal of Engineering for Power,1983(105):865-869.
- [12] 杨世铭,陶文铨.传热学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [13] 李政,王德慧,薛亚丽,等.微型燃气轮机的建模研究(上)-动态特性分析[J].动力工程学报,2005,25(1):13-17.
- [14] 王成山,马力,王守相.基于双PWM换流器的微型燃气轮机系统仿真[J].电力系统自动化,2008,32(1):56-60.
- [15] 葛东霞.基于Matlab建模的永磁同步电动机SVPWM控制性能仿真研究[J].实验室研究与探索,2013,32(4):246-249.
- [16] Fethi O, Dessaint LA. Modeling and simulation of the electric part of a grid connected micro turbine[J]. Power Engineering Society General Meeting, 2004(2):2212-2219.
- [17] 秦晓鹏, Qin Xiaopeng. 太阳能燃气集成供热系统设计探讨[J]. 科技创新与生产力, 2010(7):86-88.
- [18] 张立众. 水温一循环水流量串级控制系统的研究与设计[J]. 现代商贸工业, 2008(12):381-382.
- [19] 齐政新, 李岩. 太阳能低温地板辐射采暖系统的探讨[J]. 煤气与热力, 2003, 23(5):312-315.
- [20] 韩晶, 石久. 胜太阳能热水供应系统的经济分析[J]. 长春工程学院学报, 2013(7):21-26.
- [21] 黄海耀. LCA法比较太阳能热水器和燃煤锅炉系统的环境效益[D]. 天津:天津大学, 2004.
- [22] 李文博, 吕建, 解群, 等. 村镇住宅太阳能/沼气联合采暖系统的经济性分析[J]. 天津城市建设学院学报, 2010(2):118-121.
- [23] 张琛. 保定地区太阳能与燃气壁挂炉联合供热系统的研究[D]. 保定:河北大学, 2014.
- [24] Perez De Vinaspre M. Monitoring and analysis of an absorption air-conditioning system[J]. Energy and Buildings, 2004, 36(9):933-943.
- [25] Fu lvio Ardenete, Giorgio Beccali, Maurizio Cellura, et al. Life cycle assessment of a solar thermal collector[J]. Renewable Energy, 2005, 30:1031-1054.
- [26] Onut S Soner. Energy efficiency assessment for the antalya region hotels in turkey[J]. Energy and Buildings, 2006, 38(8):964-971.
- [27] Corgnati S P, Corrado V, Filippi M. A method for heating consumption assessment in existing buildings[J]. A Field Survey Concerning 120 Italian Schools, 2008, 40(5):801-809.

(上接第74页)

## 4 结语

在上海地区,完成了太阳能辅助燃气壁挂炉冬季一月份供生活热水采暖实验,主要得到了以下结论:

在单一供生活热水模式下,天气晴好的天气(平均辐射量大于 $400\text{ W/m}^2$ )情况下太阳能的保证率平均为82%;在多云到阴的天气情况(平均辐射量小于 $250\text{ W/m}^2$ )下太阳能保证率平均值为54%。在供生活热水采暖联合模式下天气晴好的情况下太阳能保证率为10.3%左右;多云到阴的条件下太阳能保证率为5.09%左右。

集热器的瞬时换热量随太阳辐射强度的增加而增加。

## 参考文献 (References):

- [1] 陈艳,成金华.我国能源政策问题研究综述[J].中国能源,2006(10):24-27.
- [2] 赵玉文.我国太阳能利用技术的发展概况和趋势[R].北京:北京太阳能研究所,2006.
- [3] 任东明,张正敏.论中国可再生能源发展的主要问题以及新机制的建立[J].可再生能源,2003(4):1-5.
- [4] 倪纬斗.我国的能源现状与战略对策[J].山西能源与节能,2008(2):1-5.
- [5] 刘寅.远程数据采集系统体系结构研究[D].长沙:中南大学,