

农村沼气和太阳能联合供暖系统的实验研究

张甫仁¹, 王乐祥¹, 王建辉¹, 江春雨²

(1. 重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆 400074; 2. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400044)

摘 要: 建立一种农村沼气和太阳能联合供暖系统,并在室外环境基本相同的条件下,与农村传统燃煤供暖系统进行对比试验,通过试验,分析农村沼气和太阳能联合供暖系统运行规律和节能效果,实际测量房间供水温度、室内空气温度、沼气池内温度、沼气消耗量、太阳辐射能、燃煤消耗量等性能参数。结果表明农村沼气和太阳能联合供暖系统供暖能力强,运行稳定,解决冬季农村沼气池产气量低的问题,在实验条件下,整个系统每日供热量约 326 MJ,且比传统燃煤供暖系统节能 75.92%,经济上节约 2791.29 元,每年供暖期减排 CO₂ 4726.58 kg。

关键词: 沼气; 太阳能; 联合供暖; 传统燃煤供暖

中图分类号: TU111.3

文献标识码: A

0 引 言

目前,中国建筑供暖一般都采用集中式供暖方式,因其技术成熟、安全可靠等优点成为城市住宅供暖的主要方式,而农村建筑具有分布广的特点,集中式供暖投资大、成本高,在农村难以实现应用^[1]。在农村广泛使用的沼气使得农村沼气和太阳能联合供暖的方式成为可能,利用可再生能源太阳能和沼气为家庭供暖是一种节能减排、提高能源利用效率的供暖方式^[2,3],不仅使太阳能和沼气生物能得到合理的、最大化的利用,而且也解决了单一能源供暖效果不佳的问题。

中国华北地区全年晴天多、日照长,太阳能资源好,例如太阳能墙^[4,5]、太阳能发电供暖^[6]等集热供热技术研究较多,但是在农村分户式沼气池生物能和太阳能热水联合供暖研究较少,沼气和太阳能联合供暖系统主要解决农村冬季沼气池产气不足^[7],太阳能热水供应不足的问题。该系统不仅能充分发挥沼气生物能和太阳能的作用,提高能源利用效率,提升系统供热效果,而且使热水得到两次利用,提高了系统能量转化率。农村沼气和太阳能联合供暖系统规律村供暖具有无可比拟的优势^[8-10],但是目前为止尚未整体分析其运行情况及节能效果。因此,针对此问题以山东省临沂市某农村沼气和

和太阳能联合供暖系统为例进行试验研究,分析系统的能量转换过程、运行规律以及节能效果。

1 系统简介和测试说明

1.1 系统介绍

农村沼气和太阳能联合供暖系统包括太阳能集热器,蓄能水箱,壁式沼气热水器,循环水泵,采暖热水供暖系统,沼气再生系统,辅助加热系统。太阳能热水先进入地暖盘管对房间进行供暖,再流经沼气池的圆盘形换热盘管对沼气池进行加热,从而增加沼气池产气量,流经沼气池的热水在循环水泵的作用下进入壁式沼气热水器,加热之后流入蓄能水箱,形成一个沼气生物能和太阳能联合供暖的热水循环系统,系统结构图如图 1 所示。

图 1 中,壁式沼气热水器出口温度设定为 40~55 ℃,室内供暖温度为 18~22 ℃,沼气燃烧效率 86%,沼气热值约为 25.1 MJ/m³。太阳能集热器面积 3 m²,采用 30 根 U 型管式真空管并且带 CPC 反光板的集热器,正面朝南,距水平地面 45°倾角放置^[11,12],30 根 U 型管式真空集热管在晴天时日平均集热量 21 MJ/m²。太阳能集热器 U 型管式真空管传热介质凝固点为 -35.2 ℃,容量 8 L,防冻能力强。太阳能集热器储热水箱容积 220 L,可承

收稿日期: 2017-05-17

基金项目: 重庆市重大民生科技创新项目(cstc2015shms-ztx30005); 重庆交通大学教育创新基金(20150107)

通信作者: 张甫仁(1975—),男,博士、教授,主要从事供热、供燃气与热能领域方面的研究。zh_feixue@163.com

压 0.9 MPa,联合供暖系统中蓄能水箱具有良好的保温效果,容积 320 L,可承压 1.2 MPa,能满足供暖回路对压力的需求,温控阀和控制器自动检测室内温度并控制供暖热水的流量和壁式沼气热水器的开关。

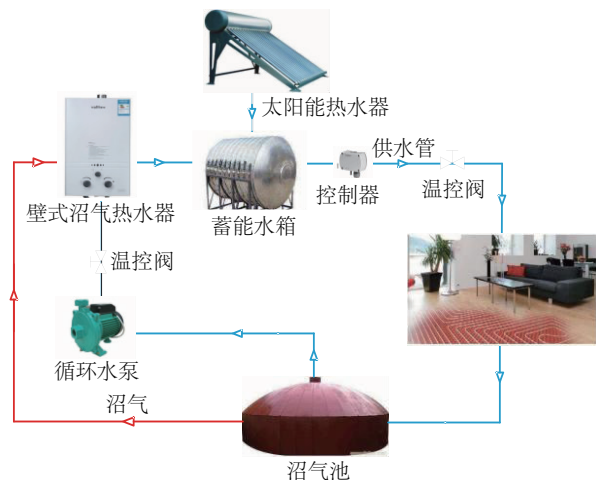


图1 系统结构图

Fig. 1 System structure diagram

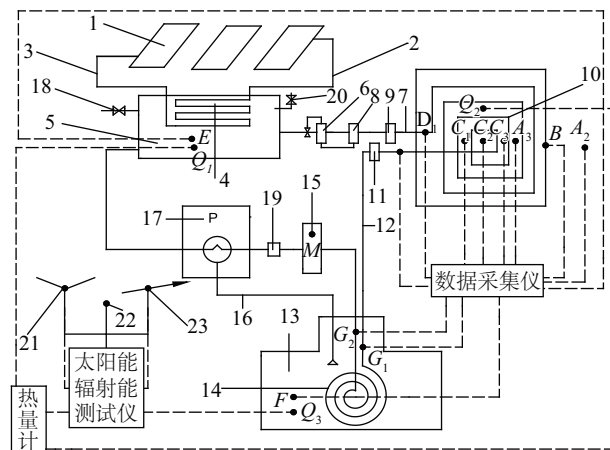
本实验地点位于山东省临沂市某农村,属于寒冷地区,建筑为单层独立式房间,高 3.5 m,面积 15.6 m²,建筑外无保温,无遮阳,属于砖混结构,沼气池的建设容积为 24 m³,且沼气池外壁建有保温层,池内有充足的人畜粪便供产气使用。为了与传统燃煤供暖方式供暖效果进行对比试验,在上述实验房间墙壁上安装 3 组暖气片,并与燃煤炉相连接,燃煤炉设在室外柴房,不考虑燃煤炉对实验房间的热影响。在每组暖气片进水管上装有温控阀,自动调节控制供暖热水的流量,来维持实验房间内温度在 18~22 ℃。

1.2 测试方法

本实验主要测试温度,热量,耗电量和燃煤量,测试设备主要有 Pt100 铂电阻,安捷伦数据采集仪,电脑,TDS-100P 便携式超声波热量计,电度表等。

农村沼气和太阳能联合供暖系统测试点布置示意图如图 2 所示^[13-15],主要测试实验房间内外空气温度 A_1 、 A_2 ,房间围护结构内表面温度 B ,房间地面温度 C (取地板 C_1 、 C_2 、 C_3 的平均值),房间供暖热水供回水温度 D_1 、 D_2 ,蓄能水箱温度 E ,沼气池内温度 F ,沼气池换热盘管内供回水温度 G_1 、 G_2 。热量测试需要测试蓄能水箱集热量 Q_1 ,房间内

地板辐射换热热量 Q_2 ,沼气池内换热盘管换热量 Q_3 ,燃煤供暖系统耗热量 Q_4 。图 2 中温度单位为 ℃,热量单位为 MJ。电量测试主要为循环水泵和控制器的耗电量 M (kWh)。为了减少测量误差,对铂电阻,热量计,电度表等都进行校准测验,对测试数据也进行误差分析,结果表明测试结果精度较高,能够满足本实验要求。



1. 太阳能集热板 2. 集热供管 3. 集热回管 4. 换热盘管
5. 蓄能水箱 6. 控制器 7. 进水管 8. 温度传感器和温控阀
9. 集水器 10. 地暖盘管 11. 分水器 12. 出水管 13. 沼气池
14. 圆盘形换热盘管 15. 循环水泵 16. 沼气管 17. 壁式沼气热水器
18. 补水阀 19. 温度传感器和温控阀 20. 排气阀 21. 风速传感器
22. 太阳能辐射传感器 23. 风向传感器

图2 测试点布置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of test point arrangement

2 系统运行与分析

2017 年 1 月 7~13 日对沼气和太阳能联合供暖系统运行参数进行测试,测试时间处于临沂市冬季供暖期,该系统属于自动运行,测试期间系统运行良好,当室内温度超过 22 ℃时,温控阀自动关小,控制器关小壁式沼气热水器,整个系统处于半关闭状态;当室内温度低于 18 ℃,温控阀自动完全打开,供暖热水进入房间地暖盘管对房间进行供暖,供暖回水流入沼气池换热盘管内对沼气池进行加热,此时沼气池内温度升高,沼气池产气量增加。流经沼气池的供暖热水进入壁式沼气热水器进行加热后重新进入蓄能水箱与太阳能热水混合。2017 年 1 月 15~21 日,对房间采用传统燃煤供暖,当房间内温度高于 22 ℃时,暖气片进水管上的温控阀自动关小,供暖热水缓慢进入暖气片,燃煤炉采用闷气方式,

不再向炉内加燃煤;当室内温度低于 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,温控阀完全打开,往燃煤炉内添加燃煤,开始供暖。

2017 年 1 月 10 日沼气和太阳能联合供暖系统运行情况如图 3 所示。当天晴朗,室外日平均温度为 $-0.59\text{ }^{\circ}\text{C}$,太阳能总辐射能为 2840 W/m^2 ,日平均风速为 1.85 m/s ,风向为西北风。从图 3 中整体可看出室内空气温度随房间进水温度起伏变化,沼气池内夜间和白天温度变化较大。在 02:00 时,室内温度达到 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$,此时温控阀关小,控制器控制壁式沼气热水器关小,系统处于半关闭状态,房间进水量变小,室内地暖盘管内供暖热水温度缓慢降低,从而室内空气温度和沼气池内温度也随之缓慢降低,由于地板辐射换热具有一定的延缓性,当在 03:00 时,房间温度低于 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$,温控阀完全打开,控制器控制壁式沼气热水器开大,蓄能水箱内供暖热水升温,房间内供暖进水流量和温度升高,从而室内空气温度才缓慢升高。同理,在 04:00、07:00、12:00、15:00、18:00、22:00 系统进入半关闭状态,在 06:00、10:00、13:00、17:00、19:00、00:00 系统进入全开放状态。在 10:00~17:00 之间阶跃较大,房间进水和沼气池进水温度较高,这是因为太阳能热水的进入,蓄能水箱内供暖热水温度升高。

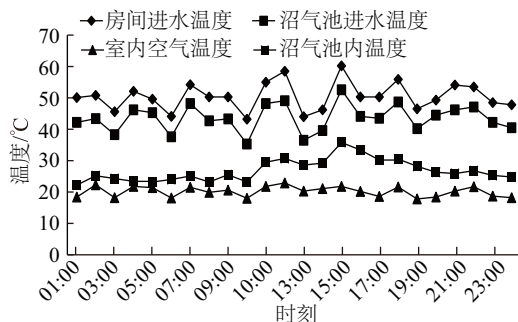


图3 2017年1月10日联合系统供暖运行情况

Fig. 3 Combined heating operation on January 10, 2017

图 4 显示太阳辐射能在 10:00~17:00 之间较充足,太阳能热水的进入,使得房间供暖进水温度升高,由于太阳辐射能透过墙壁对房间的作用和室外温度的升高,对房间内供暖起到积极的作用^[16],在 10:00~17:00 之间室内空气温度变化相比夜间缓慢,联合供暖系统处于半关闭状态的时间也较长。沼气池内温度在夜间变化不大,是因为沼气池处于地下,由于土壤散热较慢,沼气池外又附有保温层,所以沼气池内温度在夜间较稳定。在白天,由于太阳

辐射能的作用和沼气池进水温度的大幅度升高,沼气池内温度升高,又因为土壤传热的滞后性,所以在 15:00 时才达到最高温度,之后随着太阳辐射能的减少和室外温度以及沼气池进水温度的降低,沼气池内温度也逐渐降低并趋于稳定。

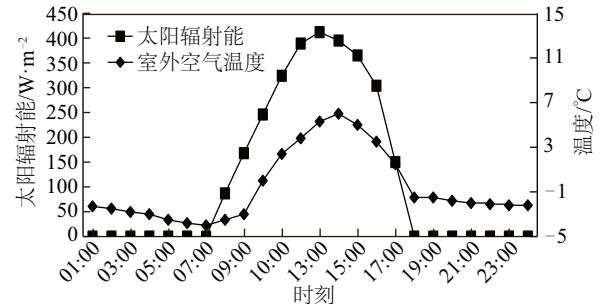


图4 2017年1月10日室外温度和辐射能变化情况

Fig. 4 Outdoor temperature and radiation energy on January 10, 2017

沼气日消耗量整体呈增多趋势,在 10:00~17:00 之间沼气消耗量较少,在夜间沼气消耗量增多,这是由于白天太阳能热水进入系统,联合供暖系统供暖热水热量来自太阳辐射能和沼气燃烧的热能这两部分,而在夜间主要依靠沼气加热热水对房间进行供暖,所以在夜间沼气消耗总量逐渐递增,如图 5 所示。

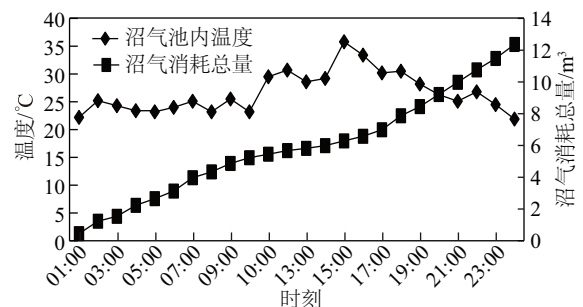


图5 2017年1月10日沼气池内温度和沼气消耗量情况

Fig. 5 Temperature and biogas consumption in biogas digesters on January 10, 2017

图 6 为 2017 年 1 月 16 日对房间采用传统燃煤供暖测试结果,当天晴朗,室外日平均温度为 $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当日供暖燃煤使用的是原煤,传统燃煤供暖采用的是普通燃煤炉,燃煤加热热水效率约为 75%。供暖进水温度和室内空气温度从 22:00~次日 06:00 一直在降低,这是因为在夜间对燃煤炉进行闷气,夜间没有对燃煤炉加燃煤,在农村整个传统供暖系统在夜间人休息时就进入到停止状态,

从 06:00 开始对燃煤炉添加燃煤,开始供暖,到 09:00 时,房间温度达到 22 ℃,对燃煤炉进行闷气,房间进水温度和室内空气温度降低。在 11:00、14:00、17:00、19:00 和 21:00 时,温控阀门完全打开,同时向燃煤炉添加燃煤对供暖热水进行加热,此时房间进水温度和室内空气温度逐渐升高;在 12:00、15:00、18:00、20:00 和 22:00 时,房间温度超过 22 ℃,对燃煤炉停止添加燃煤,供暖系统进入停止状态。白天室内空气温度降低速度相比夜间缓慢的原因是此时太阳辐射能穿透房间围护结构,对房间供暖起到积极作用^[15]。

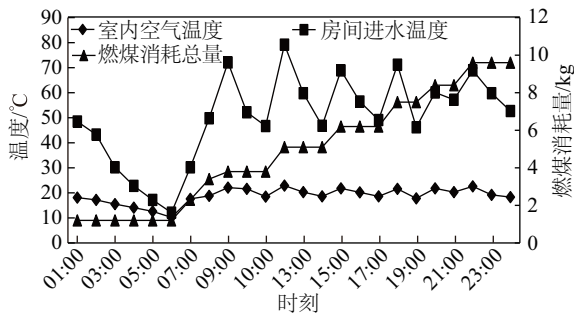


图6 2017年1月16日传统燃煤供暖系统运行情况

Fig. 6 Operation of traditional coal-fired heating system in January 16, 2017

3 测试结果分析

3.1 联合供暖系统供热量^[17]

沼气和太阳能联合供暖系统每日的供热量由太阳能集热器和壁式沼气热水器燃烧沼气组成,即:

$$Q = Q_z + Q_i \quad (1)$$

式中, Q ——联合系统供热量, MJ; Q_z ——沼气燃烧获得的热量, MJ; Q_i ——太阳能集热器提供的热量, MJ。

根据表 1 所得,平均每日约消耗 12.2 m³ 沼气为室内供暖,在试验期间,如前所述,30 根 U 型管式真空集热管在晴天时日平均集热量 21 MJ/m², 即 0.7 兆焦/(米²·根)。因此,式(1)可写为:

$$Q = V_z H \eta + q N S \quad (2)$$

式中, V_z ——沼气消耗体积,约为 12.2 m³; H ——沼气热值,约为 25.1 MJ/m³; η ——沼气燃烧效率 86%; q ——单根真空集热管每平方米集热量,约为

0.7 兆焦/(米²·根); N ——真空集热管根数,根; S ——真空集热管集热面积, m²。经过计算,得到沼气和太阳能联合供暖系统每日供热量为 326.35 MJ。

表 1 试验期每日沼气消耗量

Table 1 Daily biogas consumption

日期	沼气消耗量/m ³
2017-01-07	11.9
2017-01-08	12.6
2017-01-09	12.2
2017-01-10	12.4
2017-01-11	11.8
2017-01-12	12.7
2017-01-13	11.7
合计	85.3

3.2 能耗分析

农村沼气和太阳能联合供暖系统消耗的不可再生能源主要为电能,农村传统供暖方式消耗的能量主要为原煤。为了便于对比研究,需将 2 种能源转化为一次能源再进行比较,然后计算出联合供暖系统的节能率。取标准煤的低位发热量 29307 kJ/kg, PE 为基础能源消耗量,按式(3)计算^[18]。

$$PE = \frac{Q_{t,f}}{\eta_{t,f}} + \frac{3600E_e}{\eta_{e,f}} \quad (3)$$

式中, PE ——基础能源消耗量, kg; $Q_{t,f}$ ——供暖系统耗热量, kJ; $\eta_{t,f}$ ——传统供暖系统燃料转化为热能的效率, $\eta_{t,f} = \eta_b \eta_p = 75\% \times 95\% = 71.25\%$ (其中 η_b 为燃煤炉效率, η_p 为供暖水管输送效率); E_e ——沼气和太阳能联合供暖系统消耗的电能, kWh; $\eta_{e,f}$ ——从燃料转化电能的转化效率, $\eta_{e,f} = \eta_e \eta_n \eta_m = 39\% \times 95\% \times 95\% = 35.2\%$ (η_e 为发电厂效率, η_n 为电网效率, η_m 为电机总效率高)。

由表 2、表 3 可知,在试验相同天数,对同一个房间进行不同方式的供暖,农村沼气和太阳能联合供暖系统总耗电量为 24.8 kWh,传统燃煤供暖系统房间总耗热量为 208.3 kWh,分别代入式(4)、式(5),计算得到 2 种供暖系统 7 d 的能源消耗总量 PE_1 和 PE_2 :

$$PE_1 = \frac{E_e \times 3600}{29037 \times 35.2\%} = 8.73 \text{ kg} \quad (4)$$

$$PE_2 = \frac{Q \times 3600}{29037 \times 71.25\%} = 36.25 \text{ kg} \quad (5)$$

式中, PE_1 ——沼气和太阳能联合供暖系统的基础能源消耗量; PE_2 ——传统燃煤供暖系统的基础能源消耗量。

表2 农村沼气和太阳能联合供暖系统耗电量
Table 2 Power consumption of rural biogas and solar heating system

日期	联合系统耗电量/kWh
2017-01-07	3.2
2017-01-08	3.5
2017-01-09	3.4
2017-01-10	3.8
2017-01-11	3.6
2017-01-12	3.7
2017-01-13	3.6
合计	24.8

表3 传统供暖系统房间供热量
Table 3 Building heating in traditional heating systems

日期	房间供热量/kWh
2017-01-15	30.6
2017-01-16	28.7
2017-01-17	29.4
2017-01-18	30.2
2017-01-19	28.6
2017-01-20	31.5
2017-01-21	29.3
合计	208.3

进而得出农村沼气和太阳能联合供暖系统的节能率为:

$$e = \frac{PE_2 - PE_1}{PE_2} \times 100\% = 75.92\% \quad (6)$$

由此可知,农村沼气和太阳能联合供暖系统相比农村传统燃煤供暖系统节能率可达 75.92%,并且传统供暖系统每日供暖时间仅 16 h,沼气和太阳能联合供暖系统的能量主要来自可再生能源太阳能和沼气生物质能。

3.3 经济环境效益分析

由表 4 可知,农村沼气和太阳能联合供暖系统平均每日能量损耗 2.03 MJ,这是由于在供暖过程中

管道散热,蓄能水箱等部件散热导致的能量损失,在实验过程中各个部件已进行保温,这部分能量损失在现有条件下已降至最低。农村沼气和太阳能联合供暖系统实际每日供热量 90.65 kWh,向房间内供热量为 63.08 kWh,向沼气池供热量为 26.85 kWh,代入式(7)可得联合系统每日基础能源消耗总量 $PE_{总}$:

$$PE_{总} = \frac{Q_{总} \times 3600}{29037 \times 35.2\%} = 15.77 \text{ kg} \quad (7)$$

即农村传统燃煤供暖系统每日需消耗 15.77 kg 基础能源才能达到沼气和太阳能联合供暖系统的供暖效果,传统燃煤供暖系统每日实际供暖时间仅 16 h/d,从舒适性上分析,沼气和太阳能联合供暖系统为全天供暖,室内空气温度波动较小,比传统燃煤供暖舒适性高。

表4 农村沼气和太阳能联合供暖系统热量统计
Table 4 Energy statistics of rural biogas and solar heating system

日期	蓄能水箱 集热量/MJ	地板辐射换热 总热量/MJ	沼气池换热 盘管换热量/MJ
2017-01-07	328.89	228.12	98.27
2017-01-08	326.22	218.43	105.72
2017-01-09	320.98	232.78	86.1
2017-01-10	327.12	226.56	97.65
2017-01-11	325.19	230.15	94.78
2017-01-12	325.67	225.18	98.32
2017-01-13	326.56	228.49	95.89
合计	2280.63	1589.71	676.73

山东地区实际采暖天数为 118 d^[19],农村沼气和太阳能联合供暖系统在供暖期内节约标煤基础能源消耗量为 1860.86 kg,按照当前市场价格标煤为 1.5 元/kg,则联合供暖系统节约 2791.29 元。农村沼气和太阳能联合供暖系统建设投资为 11800 元,其中政府对沼气建设实施补贴每户 1500 元,按照投资静态投资回收期计算得到系统投资回收期限为 3.69 a。按照每千克标煤排放 CO₂ 2.54 kg 计算,农村沼气和太阳能联合供暖系统每年节能减排 CO₂ 4726.58 kg。在当前北方冬季雾霾严重的情况下,在农村建设沼气和太阳能联合供暖系统,不仅节能而且环保,有利于社会的可持续发展。

4 结 论

1)建立农村沼气和太阳能联合供暖系统可行,运行稳定,解决冬季农村沼气池产气量低的问题,维持沼气池内温度不低于 22 ℃,增加产气量;同时联合系统很好地利用太阳辐射能,每日吸收太阳辐射能约 60 MJ,整个农村沼气和太阳能联合供暖系统每日供热量约 326 MJ。

2)农村沼气和太阳能联合供暖系统相比农村传统燃煤供暖系统节能率可达 75.92%,并且联合供暖系统为全天供暖,舒适性比传统燃煤供暖高。

3)经济环境效益分析显示,农村沼气和太阳能联合供暖系统每年供暖期内节约标煤基础能源消耗量为 1860.86 kg,节约资本 2791.29 ¥,静态投资回收期为 3.69 a,每年供暖期减排 CO₂ 4726.58 kg,经济环境社会效益显著。

[参考文献]

- [1] 杨 铭. 北方供暖“零煤耗”农宅实现模式与关键技术研究[D]. 北京: 清华大学, 2011.
- [1] Yang Ming. Research on the realization mode and key technology of "zero coal consumption" in North China [D]. Beijing: Tsinghua University, 2011.
- [2] 叶晓莉, 端木琳, 齐 杰. 零能耗建筑中太阳能的应用[J]. 太阳能学报, 2012, 33(增刊1): 86—90.
- [2] Ye Xiaoli, Duanmu Lin, Qi Jie. Zero energy buildings in the use of solar energy solar energy[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2012, 33(Sup1): 86—90.
- [3] 季 杰, 于 志, 孙 炜, 等. 多种太阳能技术与建筑一体化的应用研究[J]. 太阳能学报, 2016, 37(2): 489—493.
- [3] Ji Jie, Yu Zhi, Sun Wei, et al. Study of multiple solar technologies integrated with building[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2016, 37 (2): 489—493.
- [4] Haghighi A P, Maerefat M. Solar ventilation and heating of buildings in sunny winter days using solar chimney[J]. Sustainable Cities and Society, 2014, 10: 72—79.
- [5] 王 纯, 姜曙光, 程 博, 等. 太阳能集热墙与地下室复合系统冬季供暖试验研究[J]. 太阳能学报, 2016, 3(3): 678—683.
- [5] Wang Chun, Jiang Shuguang, Cheng Bo, et al. Experimental study on solar heating wall and basement composite system heating in winter[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2016, 3(3): 678—683.
- [6] 李潜葛, 罗恩博, 吴张华, 等. 太阳能热声发电技术研究进展[J]. 中国电机工程学报, 2016, 12(12): 3242—3250.
- [6] Li Qiange, Luo Enbo, Wu Zhanghua, et al. Research progress of solar power generation technology [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 12(12): 3242—3250.
- [7] 李金平, 马思聪, 刁荣丹, 等. 新型农村绿色建筑的构建与能耗分析[J]. 中国沼气, 2012, 30(6): 28—32.
- [7] Li Jinping, Ma Sicong, Diao Rongdan, et al. Construction and energy consumption analysis of new rural green building[J]. Chinese Biogas, 2012, 30(6): 28—32.
- [8] 郑瑞澄. 中国太阳能供热采暖技术的现状与发展[J]. 中国勘察设计, 2010, 26(7): 68—71.
- [8] Zheng Ruicheng. Present situation and development of solar heating and heating technology in China[J]. China Survey and Design, 2010, 26(7): 68—71.
- [9] Jang Moonki, Liu Ronghou, Piao Zailin. Experimental study on the thermal character is tics of gravel layer for house heating by hot water natural circulation with solar collectors [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(12): 121—126.
- [10] 高新宇, 范伯元, 张红光. 太阳能采暖系统在新农村建设中的应用研究[J]. 太阳能学报, 2009, 30(12): 1653—1657.
- [10] Gao Xinyu, Fan Boyuan, Zhang Hongguang. Study on application of solar heating system in new countryside construction[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2009, 30 (12): 1653—1657.
- [11] 戴 飞, 张锋伟, 韩正晟, 等. 自动跟踪式小型太阳能集热玉米果穗干燥装置设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 189—193.
- [11] Dai Fei, Zhang Fengwei, Han Zhengsheng, et al. Design of small auto tracking solar collector drier for maize ears [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 189—193.
- [12] 戴巧利, 左 然, 李 平, 等. 主动式太阳能集热/土壤蓄热塑料大棚增温系统及效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 164—168.
- [12] Dai Qiaoli, Zuo Ran, Li Ping, et al. Active solar heating system with soil heat storage for plastic film greenhouse and its effects [J]. Transactions of the

- Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(7): 164—168.
- [13] Li Hong, Yang Hongxing. Potential application of solar thermal systems for hot water production in Hong Kong [J]. Applied Energy, 2009, 86(2): 175—180.
- [14] Ronnelid M, Karlsson B. Experimental study of CPC type ICS solar systems[J]. Solar Energy, 2004, 76(4): 389—408.
- [15] 班 婷, 朱 明, 王 海. 太阳能集热器的研制及结构优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 1): 277—281.
- [15] Ban Ting, Zhu Ming, Wang Hai. Design and structural optimization of flat- plate solar air collector [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27 (Sup1): 277—281.
- [16] 杨 昭, 郁文红, 张甫仁. 建筑物冬季太阳辐射得热分析[J]. 太阳能学报, 2005, 26(1): 104—109.
- [16] Yang Zhao, Yu Wenhong, Zhang Furen. Analysis on theutilization of solar energy in south rooms of building in winter [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2005, 26 (1): 104—109.
- [17] GB 50495—2009, 太阳能供热采暖工程技术规范[S].
- [18] 马洪亭, 张传龙, 宋肖的, 等. 太阳能-水源热泵多能互补供暖系统实验研究[J]. 太阳能学报, 2014, 35 (11): 2152—2158.
- [18] Ma Hongting, Zhang Chuanlong, Song Xiaode, et al. Experimental study on solar energy water source heat pump multi energy complementary heating system[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2014, 35(11):2152—2158.
- [19] GB 50736—2012, 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].

EXPERIMENT ANALYSIS OF BIOGAS AND SOLAR HEATING SYSTEM IN RURAL AREAS

Zhang Furen¹, Wang Lexiang¹, Wang Jianhui¹, Jiang Chunyu²

(1. School of Mechanotronics & Vehicle Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The construction of rural biogas and solar energy combined heating system was designed and was compared with the traditional rural coal-fired heating system in the same outdoor environment condition. In order to analyze the energy saving effect and running rules of rural biogas and solar heating system, the room supply water temperature, the indoor air temperature, the digester inside temperature, the consumption of biogas, the solar radiation energy, the coal consumption and other performance parameters were measured actually. The results show that the system runs stably and heating result is satisfied. It can solve that the problem of low biogas production in rural biogas digesters in winter. The overall system's daily heating capacity is about 326 MJ, saving energy available 75.92% and 2791.29 ¥ compared to traditional coal-fired heating system, and it's carbon dioxide emissions reduction run up to 4726.58 kg in annual heating period under experimental conditions.

Keywords: biogas; solar energy; combined heating; traditional coal heating