

# 户用辅助加热式太阳能沼气池系统研究

崔俊奎<sup>1</sup>, 陈文婷<sup>2</sup>

(1. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000, 2. 辽宁工程技术大学 建筑工程学院, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:** 北方地区冬季温度较低出现沼气池产气量少甚至不产气的问题, 严重制约着沼气池在农村的应用与推广, 逐渐兴起的太阳能沼气池法受到人们的关注和重视。由于太阳能集热器只能在有日照的白天进行储能, 为保证沼气池正常连续高效的运行, 一种含辅助电加热器的户用太阳能沼气池系统被提出, 文章介绍了系统的组成和工作原理, 根据 k-ε 湍流模型与相应的计算网络及边界条件对沼气池进行了二维定常数值仿真, 并进行了实验观测从而验证了该系统的合理性。最后又从经济角度阐述了它的可行性。

**关键词:** 太阳能; 沼气池; 电加热器; 太阳能集热器

**中图分类号:** S214.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-2767(2012)06-0068-03

沼气是解决农村能源问题的一项重要途径。我国是一个农业大国, 有近 70% 的农业人口, 沼气发展近百年, 20 世纪 20 年代便开始对沼气进行开发、利用。据调查, 目前有近 4 000 万农户使用户用沼气, 涉及人数 1.5 亿人<sup>[1-2]</sup>。

温度是影响沼气池发酵的一个关键因素, 相同发酵条件下, 不同的温度, 产气量和产气速率将会有所不同<sup>[3]</sup>, 在冬季部分无保温措施的沼气池甚至会发生冻裂, 严重制约了沼气池在农村的应用与推广。目前, 在政府的鼓励和支持下, 逐渐兴起的太阳能加热沼气池法越来越受到人们的关注和重视。太阳能加热法, 即利用太阳能集热系统完成热能的采集和传输, 以太阳能热水为载体通过加热盘管与沼液进行热量交换<sup>[4-7]</sup>, 绿色环保、操作简单, 可实现自动化运行, 但易受天气情况的影响只能在有日照的白天进行储能、加热。为解决太阳能的这种间歇性与不稳定性问题, 石惠娟、裴晓梅等人提出了太阳能-空气源热泵耦合式沼气池加温系统、太阳能地源热泵沼气池加热系统<sup>[8-9]</sup>。空气源热泵在寒冷地区和高湿度地区热泵蒸发器的结霜问题可成为较大的技术障碍, 存在地域性限制问题; 太阳能地源热泵沼气池加热系统主要是针对集中供气的大型沼气工程, 农村的户用沼气池不适宜应用此类高投资较复杂的系统。赵金辉、王思莹等人提出太阳能沼气锅炉联合增温沼气池系统<sup>[10-11]</sup>。太阳能和沼气锅炉联合增温系统在连续雨雪天气即太阳能集热系统无法正常工作时, 沼气池发酵速率势必会受到影响,

那么沼气锅炉的燃料—沼气的提供也会受到牵制。沼气锅炉管理比较复杂, 初投资较高, 同样不适合户用沼气池应用。

含辅助电加热器的户用太阳能沼气池系统即利用太阳能给沼气池加热, 提高沼气池发酵速率, 在连续阴、雨、雪天气, 利用辅助电加热器维持沼气池在 10℃ 以上温度发酵。辅助电加热器的设置更好地实现了太阳能和生物质能的优势互补, 有效地解决了冬季户用沼气池无法正常连续高效使用的瓶颈问题, 达到了良好的经济效益和环境效益。

## 1 系统组成及工作原理

该加温系统主要由太阳能集热器、储水箱、电加热器、螺旋加热盘管、搅拌装置、沼气池、各种水泵、管路、阀门以及温度传感器等组成。其系统流程见图 1。

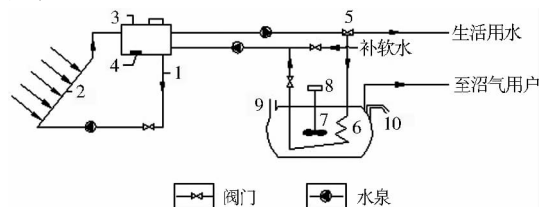


图 1 电加热器辅助太阳能加热户用沼气池原理图

1. 下循环管; 2. 上循环管; 3. 储热水箱; 4. 电加热器; 5. 三通阀; 6. 螺旋加热盘管; 7. 搅拌叶轮; 8. 电机; 9. 进料口; 10. 出料口

Fig. 1 Principle diagram of the household solar energy heating biogas digester system with auxiliary electric heater

1. Lower circulation pipe; 2. Upper circulation pipe; 3. Hot water storage tank; 4. Electric heater; 5. Three-way valve; 6. Spiral heating coil; 7. Mixing impeller; 8. Electric motor; 9. Feed inlet; 10. Discharge hole

寒冷季节当太阳能储水箱中的温度高于 35℃ 时, 启动热水循环水泵使贮存在储水箱中的太阳能热水由三通阀流经沼气池底部的螺旋加热盘管。为了使发酵池内原料温度分布均匀, 减少

收稿日期: 2012-03-22

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAA10B02)

第一作者简介: 崔俊奎(1974-), 男, 内蒙古自治区凉城县人, 博士, 副教授, 从事太阳能、地热能等新能源与可再生能源的规模化应用研究。E-mail: cuijunki@yahoo.com.cn.

结壳或破除已形成的结壳层方便沼气溢出,启动循环搅拌电机带动搅拌叶轮转动。太阳能热水在螺旋加热盘管中与发酵原料液通过温差传热进行热量交换,温度降低后的太阳能热水回流至储水箱。在阴、雨、雪天气日照量不足时,为保证该系统仍能够连续正常运转,此时开启储水箱中的电加热器,水温达到设定值后自动断电。

当不需要向沼气池提供热量时,将三通阀内部的阀芯调整到下部,左右相通,使得储水箱中的太阳能热水供给农户使用。当储水箱中的温度低于 35℃ 时,关闭循环水泵,避免因水泵长时间连续工作而浪费电能。

## 2 研究概况

### 2.1 研究对象

现以一户用 8 m<sup>3</sup> 沼气池为研究对象<sup>[12]</sup>,选用采光面积为 10 m<sup>2</sup> 的小型实验性全玻璃真空管型太阳能热水器,为保证系统冬季正常运行,太阳能集热系统采用防冻液乙二醇作为热媒进行流动换热,为减弱沼气池与大地、空气的热传导,池底和池壁采用聚苯乙烯泡沫板进行保温隔热,沼气池顶部覆盖大约是池体占地面积 1.2~1.5 倍的塑料薄膜。为加强换热效果采用外径为 700 mm 的普通无缝螺旋盘管,换热管总长度为 13 m,换热面积约为 1 m<sup>2</sup>,6 层圆排管以间距 100 mm 排列分布,钢管壁厚约为 5~6 mm。为防止沼液对盘管的腐蚀,换热器外壁采用多层环氧树脂涂层。实验将 3 台热水器(QBP58-1.8-24 管)并联在一起,选用 3 个 1.5 kW 的家用电加热器分别安装在每台热水器的储水箱内。

### 2.2 仿真模拟

为直观展现辅助电加热器对沼气池温度的影响,以沼气池及周边土壤为研究对象对沼气池内部传热进行二维定常数值仿真模拟。首先利用 Gambit 建模并进行非结构化网格划分,为便于模拟假设载热流体的热物性为常值,忽略一天之中空气温度对沼气池的影响,把加热盘管看成沼气池壁的面热源,忽略土壤中因水分迁移而引起的热迁移,土壤被视为均匀、各向同性的介质。在 Fluent 中设定边界条件后进行二维稳态计算,最后把输出的文件在 Tecplot 中进行处理。

从图 2 和图 3 可以看到整体来讲沼气池温度场分布较均匀,周边土壤温度由上至下逐渐升高趋于稳定。对于设置电加热器的沼气池温度属于常温发酵区中的适宜温度,更有利于发酵微生物活动;对于没有辅助设备的沼气池当集热器无法正常集热时内部温度整体下降,发酵温度明显没有添加辅助设备的沼气池运行良好。

### 2.3 观测结果

为进一步验证上述模拟结果的正确性与合理性,2011 年 11 月 1~16 日对储水箱及沼气池温度进行了观测和记录(见图 2),温度 1、3 分别为设置

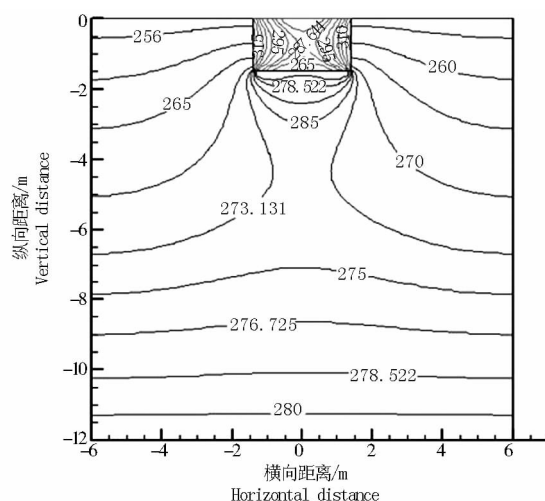


图 2 设置加热器的沼气池温度变化  
Fig. 2 Temperature change of the biogas digester with heater

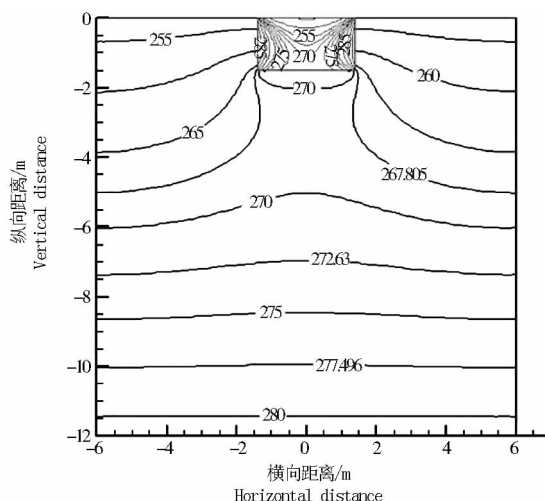


图 3 无加热器的沼气池温度变化  
Fig. 3 Temperature change of the biogas digester without heater

电加热器的太阳能储水箱温度和相应的沼气池发酵温度变化曲线,温度 2、4 分别为没有安装电加热器的太阳能储水箱和对应的沼气池温度变化曲线。

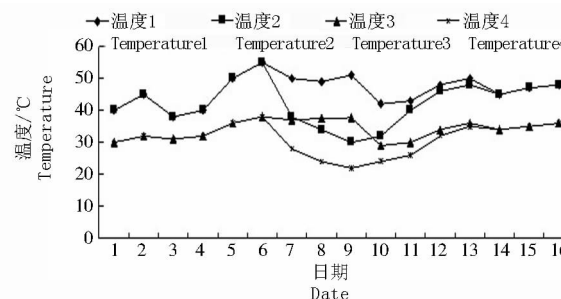


图 4 储水箱与沼气池温度变化曲线  
Fig. 4 Temperature variation curve of storage water tank and biogas digester

系统运行阶段,11月1~6日以晴天为主,集热器收集太阳能充足,沼气池发酵温度稳定,有无加热器的沼气池发酵情况基本一致。11月7~9日阴天、下雪,无日照,没有安装电加热器的太阳能集热器无法正常集热,储水箱中的水温逐渐下降;设置电加热器的热水器依靠短时间的电加热使得储水箱中水温依然保持稳定高温状态,保证沼气池连续高效运行。11月10~16日天气逐渐好转,关闭加热器,集热器重新收集能量加热沼液。由于受之前天气状况的影响,没有设置电加热器的储水箱及沼气池温度逐渐升高、稳定;配有电加热器的储水箱及对应的沼气池始终高效稳定运行。

从仿真模拟到实际观测,理论联系实际,户用辅助加热式太阳能沼气池系统在正常日照条件下通过集热器收集能量供微生物发酵,在阴雨天集热器无法正常储能时依靠电加热器仍保持较高的发酵温度,从而保证了沼气池正常高效连续地运转,增加了产气量。

### 3 经济分析

建立此座  $8\text{ m}^3$  的户用沼气池,总投资为  $1\ 600\sim 2\ 000$  元,日产气量为  $1\sim 2\text{ m}^3$ ,可供  $4\sim 6$  人家庭全年生活用能需求,按当地村民的燃料结构及比重估算沼气的使用价值,每户年均节省燃料费用为 900 元。太阳能热水器使用寿命长达 15 a,比其它热水器延长使用期  $8\sim 10$  a。每平方米太阳能集热器平均每个正常日照日,可产生相当于 2.5 度电的热量,1 度电以 0.6 元计算,假定集热器一年正常运作 280 d,则每平方米太阳能每年节约费用为:  $2.5\times 280\times 0.6=420$  元,即本例中的 3 台太阳能热水器每年可节约费用 4 200 元。

3 个  $1.5\text{ kW}$  的家用电加热器每小时耗电量为 4.5 度,1 度电 0.6 元,则每小时需花费 2.7 元。以煤为参考燃料,沼气价格为  $0.857\text{ 元}\cdot\text{m}^{-3}$ ;以液化气为参考燃料,沼气价格为  $2.727\text{ 元}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

电能虽属于二次能源,短时间启动加热还是有一定可行性的。此外,该系统总投资大概在  $2\sim 3\text{ a}$  内可以收回,具有较好的经济性。

### 4 结论

利用太阳能对沼气池内的料液加热,同时在连续阴雨天气启动电加热器辅助系统正常运行,使得该系统在一年四季都能够正常产气。全球能源短缺、环境恶化日趋严重,太阳能沼气池系统在满足人们健康舒适生活的同时也成为了建设绿色环保、节能低碳和谐社会不可或缺的部分,实现了用能的本地化和农业废弃物的循环利用,既而达到了良好的经济效益、社会效益和生态效益。

#### 参考文献:

- [1] 刘春明,姜广新,刘春华. 浅谈沼气池的结构特点[J]. 黑龙江农业科学,2010(3):108-109.
- [2] 王滢芝. 我国农村沼气利用的现状 & 政策介绍[J]. 水工业市场,2011(5):16-18.
- [3] 阳作峰,郭年东,梁志萍. 沼气池冬季保温效果好[J]. 江西能源,2004(3):46-47.
- [4] 白莉,石岩,齐子姝. 我国北方农村沼气冬季使用技术研究[J]. 中国沼气,2008,26(1):37-41.
- [5] Alkhamis T M, El-Khazali R, Kablan M M, et al. Heating of a biogas reactor using a solar energy system with temperature control unit[J]. Solar Energy, 2000(3):239-247.
- [6] Petros Axaopoulos, Panos Panagakos. Energy and economic analysis of biogas heated livestock buildings[J]. Biomass and Bioenergy, 2003(24):239-248.
- [7] 陆维德. 太阳能热利用的现状 & 我国的对策[J]. 科技导报, 1993(7):41-44.
- [8] 裴晓梅,张迪,石惠娴,等. 太阳能地源热泵沼气池加热系统集热面积优化[J]. 农业机械学报, 2011,42(1):122-128.
- [9] 石惠娴,王卓,朱洪光,等. 太阳能-空气源热泵耦合式沼气池加温系统设计[J]. 建筑节能, 2010(10):28-31.
- [10] 赵金辉,谭羽非,白莉. 寒区太阳能沼气锅炉联合增温沼气池的设计[J]. 中国沼气, 2009,27(3):34-35,39.
- [11] 王思莹,谭羽非. 寒区太阳能和沼气锅炉联合增温系统及试验研究[J]. 节能技术, 2011,29(4):364-366,371.
- [12] 张丹梅. 近 50 年阜新地区气候变化特征分析[J]. 气象与环境学报, 2007,23(1):27-29.

## Study of the Household Solar Energy Biogas Digester System with Auxiliary Electric Heater

CUI Jun-kui<sup>1</sup>, CHEN Wen-ting<sup>2</sup>

(1. Mechanical Engineering College of Liaoning Engineering Technology University, Fuxin, Liaoning 123000; 2. Construction Engineering College of Liaoning Engineering Technology University, Fuxin, Liaoning 123000)

**Abstract:** Due to the low temperature in winter, the biogas fermentation being influenced, the gas production will decrease, or there may produce no biogas, which seriously restricts the application and development of biogas digesters. The solar energy biogas digester causes more and more concern and attention, solar collectors only operates during the sunlight in the daytime. The household solar energy biogas digester system with auxiliary electric heater was put forward to ensure efficient operation. The composition and working principle of the system were explained, the two-dimensional steady numerical simulation of heating process in biogas digesters were carried on by using computational fluid dynamics (CFD), the multi-reference frame (MRF) and standard  $k-\epsilon$  turbulent model. At the same time, experimental observation was made to validate the rationality of the system. Finally, the feasibility of the system was explained from an economic point of view.

**Key words:** solar energy; biogas digester; electric heater; solar collector