

[文章编号] 1002-8528(2009)06-0054-04

# 严寒地区户用沼气池冬季使用保温增温技术研究

白莉<sup>1</sup>, 迟铭书<sup>1</sup>, 周学志<sup>1</sup>, 沈德安<sup>2</sup>

(1. 吉林建筑工程学院 市政与环境工程学院, 长春 130021; 2. 哈尔滨工业大学 市政与环境工程学院, 哈尔滨 150006)

[摘要] 严寒地区由于冬季气温低, 导致沼气产气率下降, 甚至不产气。本文介绍了一种利用太阳能—沼气锅炉联合运行加热沼气池的方法, 可保持沼气池池温, 并实现在冬季对池体进行增温, 使之在严寒地区可正常工作。

[关键词] 沼气; 太阳能; 保温增温技术

[中图分类号] TU833+.3 [文献标识码] A

## Research on Heat Insulation and Temperature Increasing Technologies for Household Biogas Pool in Severe Cold Region in Winter

BAI Li<sup>1</sup>, CHI Ming-shu<sup>1</sup>, ZHOU Xue-zhi<sup>1</sup>, SHEN De-an<sup>2</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Changchun 130021, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China)

[Abstract] Because of the low air temperature and the low ground temperature in severe cold region in winter, the rate of biogas production would decrease, and even there would no gas. In this paper, the technology of using the solar energy combined with the biogas fired boiler to heat the biogas pool was introduced. With this method, the temperature of the biogas pool would be maintained and also the temperature increasing for the pool would be realized. Therefore the biogas pool would be normally used in severe cold region.

[Keywords] biogas, solar energy, heat insulation and temperature increasing technology

沼气作为一种可再生的洁净能源, 其开发利用不仅是一项生态富民工程, 而且还是集能源开发、肥料建设、环境保护于一体的民心工程。但是, 由于我国严寒地区冬季寒冷漫长, 致使沼气的产气率低、综合使用效益差。因此寻求一种适合我国严寒地区使用的沼气池, 对于实现沼气在我国东北地区的广泛使用具有深远意义。

沼气是有机物质在隔绝空气和保持一定水分、温度、酸碱度等条件下, 经过多种微生物分解而产生的。影响沼气产生的因素很多, 如温度、浓度、接种物及 pH 值等。沼气池内的发酵温度是影响沼气产生和产气率高低的关键因素<sup>[1]</sup>, 在一定范围内, 温度高, 沼气微生物活动活跃, 繁殖力强, 厌氧分解和生成甲烷的速度就快, 发酵顺利进行, 沼气产生的快,

产气率也高; 温度低, 沼气微生物活动力差, 原料的产气速率差, 甚至长时间不产气。

因此, 在我国严寒地区冬季对沼气池温度的控制成为其产气乃至正常使用的关键。本文介绍一种利用太阳能—沼气锅炉联合运行加热沼气池的方法, 可为发酵池体增温保温, 确保沼气池池温适宜, 使其在严寒地区的冬季也可正常工作。

### 1 沼气实验基地基本状况

严寒地区沼气试验研究基地位于哈尔滨市市郊农村某小型养殖场, 实验日期选为 12 月 10 日~次年 1 月 15 日(为当地最冷月)。实验所用沼气池选择了我国农村推广最早、使用数量最多的池型——圆筒形水压式池。它采用适合北方农村的“三结合”建造模式, 集厕所、畜圈和沼气池为一体, 并在总结“圆小浅”、“活动盖”、“直管进料”、“中层出料”等北方农村建池经验的基础上, 加以结构优化而建成的。

[收稿日期] 2008-10-10

[作者简介] 白莉(1964-), 女, 博士, 教授

[联系方式] baili0308@163.com

沼气池建在厕所、畜圈下面,冬季可起到保温作用,同时人畜粪便可直接打扫到池里进行发酵。此种沼气池具有以下几个优点:1)池体结构受力性能良好,充分利用土壤的承载能力,省工省料,建设成本较低;2)适于装填多种发酵原料,特别是大量的作物秸秆,对农村积肥十分有利;3)厕所、畜圈建在沼气池上面,粪便随时都能打扫进池,便于经常进料;4)沼气池周围都与土壤接触,利于池体保温。

结合我国北方地区沼气池的建设情况,本文所介绍的实验用沼气池分别采用砖—混凝土、全混凝土、混凝土池体加玻璃钢池盖3种不同的池体材料建成,其中后2种池体采用发泡水泥做保温材料。3种沼气池壁厚均为12 cm,容积为8 m<sup>3</sup>。

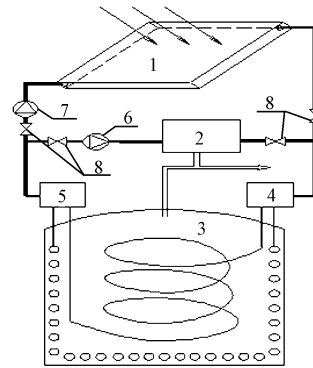
## 2 实验原理及方案

通过太阳能集热器与沼气锅炉联合运行,加热实验系统中的载热介质(乙二醇),载热介质通过布置于沼气池侧壁、底壁及池体中间层的换热器将热量传递给发酵料液,使料液均匀升温进行发酵,产生沼气。

图1为太阳能—沼气锅炉联合运行加热沼气池的系统示意图。太阳能集热器和沼气锅炉连接于集水器,在太阳辐射充足时依靠太阳能集热器产生的热量加热载热介质;夜晚及太阳辐射强度不能满足加热需要时,启动沼气锅炉补充热量。独立设置于池体不同区域的加热用换热器,通过分水器按设计温度分别进行控制加热,以保证池液温度场的均衡,达到沼液正常发酵产气所需要的温度。实验分2套方案对比进行。1)方案1:在冬季未加热及保温情况下,对砖—混凝土材料沼气池体进行自然状态下测试,测试池体内温度场及产气量变化情况。2)方案2:通过太阳能和沼气锅炉联合运行,对全混凝土材料沼气池和混凝土池体加玻璃钢盖沼气池进行加热,保持池体温度,并通过联合加热系统适量增加池内温度,分别测试2种材料沼气池温度场变化情况以及相应温度下产气量的变化情况,并进行比较分析。

## 3 实验测点布置和测试仪表

在沼气池体内侧的底壁、侧壁,池内沼液的低层、中层和顶层以及各层面的中心和边壁内侧、池体外壁(边壁等高线处)分别设置了温度测点,用于测



1 太阳能集热器 2 沼气锅炉 3 沼气池 4 分水器 5 集水器  
6 沼气锅炉侧循环水泵 7 太阳能集热器侧循环水泵 8 阀门

图1 太阳能联合沼气锅炉加热沼气池系统示意图

定池体的温度场,并在室内和室外分别布置温度测点。在太阳能集热器进、出口处及载热介质干管进、出口处分别设置温度测点,用于测量单位面积集热板和系统管路内的集热量。在沼气池进出口换热管路上设置温度测点,通过池内相关测温点的数据,得出管路热损失,有效反映出池体内温度场的变化。

本实验采用精确度为0.1 °C的WJK-E型多路数据采集仪测量温度,自动定时读取、记录数据;采用TFX1020P型超声波流量计测量流量。

## 4 实验数据计算与结果分析

### 4.1 计算公式

当太阳辐射强度高于临界辐射强度时,启动循环管路,对池体加热。此时太阳能集热器集热量为<sup>[3]</sup>:

$$q_i = A_c I_T \left( 0.744 - 4.45 \frac{t_{fi} - t_a}{I_T} \right) = m_j C_p (t_{fo} - t_{fi}) \quad (1)$$

式中, $q_i$ 为集热器集热量,W; $A_c$ 为太阳能集热器总面积,m<sup>2</sup>; $I_T$ 为太阳实际辐射强度,W/m<sup>2</sup>; $m_j$ 为系统循环质量流量,kg/s; $C_p$ 为循环介质比热,J/(kg·°C); $t_{fi}$ 和 $t_{fo}$ 分别为 $\Delta\tau$ 时间内集热器进、出口温度平均值,°C; $t_a$ 为环境温度,°C,为实际气象资料逐时值。

为了使沼气池内的料液升温发酵产生沼气,需及时供给热量,以维持一定的反应温度。根据热平衡原理,本实验通过对实际测得的结果进行分析,采用在池体围护结构布置加热器的方法来达到对池体保温并增温的目的。但由于沼气池内的发酵料液是不流动的,只有载热工质在盘管内流动进行换热,为



池的平均产气量达到  $0.76 \text{ m}^3 / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ , 通过对试验数据的比对分析发现, 由于玻璃钢池盖的厚度较小, 与全混凝土池盖相比, 对池体的保温能力较弱, 即池内沼液温度受室内温度波动影响, 当发酵液温度出现大幅度升降后(1月2~5日, 单日温度波动最大值为  $7^\circ\text{C}$ ), 沼气池的产气量有明显降低趋势(见图5), 因此发酵液的产气受到了影响。

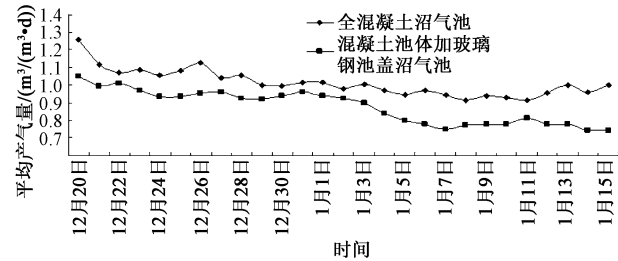


图5 加热对2种池型平均产气量的影响

## 5 太阳能投资经济性分析

### 5.1 利用太阳能加热沼气池的优势

太阳能是一种洁净、可再生的能源。我国北方地区具有光照时间长、干旱少雨等特点, 适于开发利用太阳能。本实验主要是利用太阳能集热器加热工质, 并通过再热工质的循环来实现沼气池保温增温的目的。应用太阳能加热沼气池, 节能环保、安全可靠, 可实现自动运行, 操作简单, 基本上无维修工作量, 免除了农户购买常规能源的费用, 在沼气池不需加热的季节, 还可利用太阳能集热器加热生活热水。

### 5.2 系统投资经济性分析

沼气池温度保持在  $25^\circ\text{C}$  时, 有机物产气率至少在  $760 \text{ L/kg}$  以上<sup>[5]</sup>, 以  $8 \text{ m}^3$  的沼气池平均每天发酵  $20 \text{ kg}$  有机物计算, 平均产气量为  $15.2 \text{ m}^3 / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ , 生产沼气的价值按下式计算<sup>[1]</sup>:

$$\text{沼气的价值} = \frac{\text{沼气的热值} \times \text{沼气灶热效率}}{\text{被替代燃料热值} \times \text{燃料灶热效率}} \times \text{被替代燃料的价格} \quad (3)$$

式中, 沼气的热值取最低值为  $20935 \text{ kJ/m}^3$ ; 沼气灶热效率取为  $60\%$ ; 被替代燃料薪材的热值取为  $14263 \text{ kJ/m}^3$ ; 燃料灶热效率取为  $20\%$ ; 被替代燃料薪材的价格取为  $0.10 \text{ 元/kg}$ <sup>[9]</sup>, 则每  $\text{m}^3$  沼气的价值为  $\frac{20935 \times 0.60}{14263 \times 0.2} \times 0.1 = 0.44 \text{ 元/m}^3$ , 每天生产沼气的价值为  $6.69 \text{ 元}$ , 整个冬季(按全年不大于  $5^\circ\text{C}$  的天数共计  $171 \text{ d}$ )生产沼气的价值为  $1143.99 \text{ 元}$ 。

太阳能加热系统主要由太阳能集热器、换热盘

管、温感循环控制器、水泵和其它辅助部件组成。该系统设计使用寿命为  $20 \text{ a}$ , 全年运行。其中夏季(按6个月计算)可提供生活热水, 通过表1列出的系统经济性分析, 可见利用太阳能为沼气池保温增温的技术方法, 经济性突出, 具有推广意义。

表1 太阳能沼气保温系统的经济分析

项目	费用
太阳能集热器 6组-581800x22	3960.00元
循环泵 1台	200.00元
温控装置 1套	350.00元
管材及人工	400.00元
初投资成本	4910.00元
冬季生产沼气的价值	$1143.99 \text{ 元/a}$
夏季生产生活热水的价值	$549.00 \text{ 元/a}$
系统全年生产总价值	$1692.99 \text{ 元/a}$
初投资成本每年折旧费用	$260.00 \text{ 元/a}$
系统全年运行及维护费用	$400.00 \text{ 元/a}$
系统全年产出效益	$1113.82 \text{ 元/a}$

## 6 结论

1) 本文介绍了一种利用太阳能和沼气锅炉联合运行加热沼气池体的方法, 通过在寒冷季节对池体的保温和增温, 实现了冬季池体的正常产气。

2) 通过对实验方案1的总结, 在方案2中提出了对池体内部采用边壁(侧壁和底壁)和中心部(活性层)布置加热盘管的方法, 实现对池体的保温和增温, 使得池体温度和沼气产气量显著增加。同时方案2比较了全混凝土沼气池和混凝土池体加玻璃钢池盖沼气池在冬季使用时的温度变化, 提出全混凝土池型的池体适合北方地区冬季沼气池保温增温技术的应用。

### [参考文献]

- [1] 白莉, 石岩, 齐子姝. 我国北方农村冬季使用沼气的技术研究[J]. 长春工业大学学报(自然科学版), 2007, 28(z1): 177~181.
- [2] 尹海文. 太阳能联合沼气锅炉加热沼气池的模拟研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006: 31~32.
- [3] 金其荣. 沼气能源发酵池的热量计算[J]. 化学世界, 1980, 4: 25~28.
- [4] 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.
- [5] 陈声明, 吴金鹏. 生物质能源概论[M]. 1版. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1993: 112~172.
- [6] 王学涛. 新型高效户用沼气发酵装置试验研究[D]. 河南: 河南农业大学, 2002.