

太阳能辅助加热户用沼气池

□ 同济大学机械工程学院 (201804) 张杨竣 秦朝葵 陈志光

摘 要: 户用沼气是我国农村能源的重要组成部分。本文针对北方寒冷地区冬季气温低、沼气产气少、利用率低等问题,设计了保温沼气池并结合家用太阳能热水器,提出了太阳能辅助加热户用沼气池系统。利用现场收集的运行数据,分析了该系统的实用性。

关 键 词: 户用沼气池 太阳能热水器 辅助加热 运行测试

Household Biogas Digester Heated By Solar-Collector

College of mechanical engineering, Tongji University, Zhang Yangjun, Qin Chaokui, Chen Zhiguang

Abstract: Household biogas has been an important part of rural energy in China. In northern part of China, gas production of conventional biogas digester reduces much due to low fermentation temperature. A biogas digester with effective insulation, integrated with solar-collectors was put forward and experimentally researched in this paper. Performance data from in-site operation was analyzed to make economic benefit assessment.

Keywords: household biogas digester solar collectors auxiliary heating operation measurement

1 引言

我国沼气事业开始于1930年前后,经过几十年的发展,沼气已成为我国农村生活用能的重要来源之一。“十一五”期间,中央累计投入农村沼气建设资金212亿元,其中2008年、2009年和2010年分别投入60亿元、50亿元和52亿元。截至2010年,我国户用沼气已达到4 000万户,占全国农户的33%,受益人口达1.55亿人,建设各种类型的沼气工程5.6万多处,沼气年产量140亿 m^3 ,相当于我国全年天然气产量的16%,预计到2020年沼气年产量将达到440亿 m^3 。

作为一种历史最悠久的生物质能利用技术,户式沼气在应用中存在一些问题,如:单位池容产气量低下、燃烧装置受成本限制性能不稳定、沼气池的热工制度方面尚缺乏系统的研究等。出于建设成本的考虑,绝大部分的户式沼气池很少使用有效的保温措

施,导致我国北方寒冷地区大量沼气池在冬季处于不产气或冻结状态,严重制约了农村户用沼气技术的发展及推广。

针对这一问题,本文设计了一种太阳能辅助加热户用沼气池系统。在沼气池内设置换热盘管和搅拌装置。夏季,沼气池与太阳能分开工作;冬季,利用太阳能热水器的低温热水间接加热沼气池。通过现场测试获取的运行数据,对该系统的实用性进行了分析。初步结果表明,沼气池的保温与太阳能辅助加热可实现太阳能与沼气的互补,充分发挥二者优势,具有良好的实用性。

2 温度对沼气池产气的影响

沼气是有机物质在一定温度、湿度、pH值和隔绝空气条件下经微生物发酵而产生的可燃性气体。影

响发酵过程的因素很多,其中发酵温度尤为重要。在我国农村,沼气池发酵温度随气温的变化而变化,沼气产气率变化很大。试验表明:池温低于 10°C ,发酵菌几乎处在休眠状态,沼气池基本停止产气;当池温在 15°C 以上时,沼气发酵才能较好地进行,产气率为 $0.1\text{m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})\sim 0.2\text{m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})$;池温在 20°C 以上时,产气率可达 $0.4\text{m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})\sim 0.5\text{m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。图1是沼气发酵温度对产气率的影响曲线^[3]。

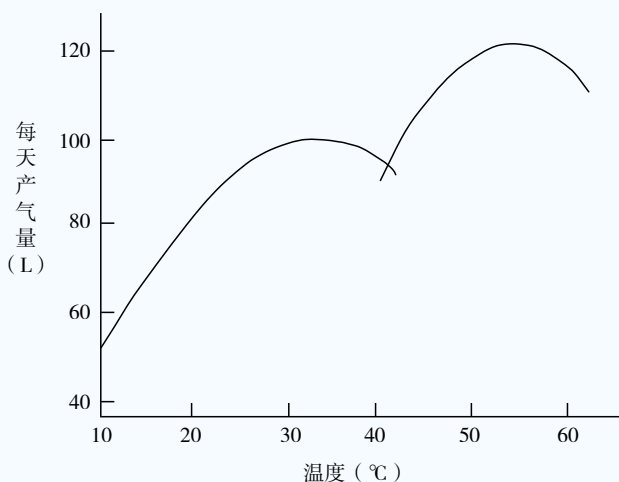


图1 温度对产气率的影响

我国北方地区冬季寒冷漫长,气温、地表温度较低,沼气池产气率低,无法满足农户需求,导致冬季农村沼气池存在大量闲置问题。极端寒冷时期,甚至出现冬季冻裂沼气池的现象,造成沼气池停用。为解决这一问题,在严寒和寒冷地区,沼气池必须采取必要的保温和加热措施。在农村沼气应用中,传统模式的保温加热方法在实际应用中存在一定的局限性和不便。如隔热材料保温技术^[4-6],虽有一定效果但只能延缓料液降温的速度,但在冬季极端寒冷时期不能保证发酵过程正常运行,且秸秆稻草类保温效果较差,经济性、防水性等方面还有待进一步改进;塑料暖棚增温技术,利用太阳能系统提高温度,但系统需配建塑料大棚,占地较大,推广受到当地实际条件限制^[7-8];燃料燃烧加热技术,通过燃煤或秸秆等生物质直接加热或通过热水间接加热沼气池,传统方法有燃池增温技术、“猪-沼-炕”增温技术、秸秆废弃物的燃烧、热水锅炉加热法等,该类方法需要消耗一定的化石或生物质燃料,在燃烧过程中造成污染,且经济

性不高。

近年来,随着太阳能热水器日益普及、成本下降,以及利用聚氨酯发泡材料进行保温的玻璃钢制沼气池技术的发展,为沼气池加热技术提供了新思路。基于此,本文设计了太阳能辅助加热户用沼气池系统,并结合理论分析计算和现场的连续跟踪测试,对其实际应用及推广价值进行研究。

3 太阳能辅助加热沼气池系统

3.1 系统介绍

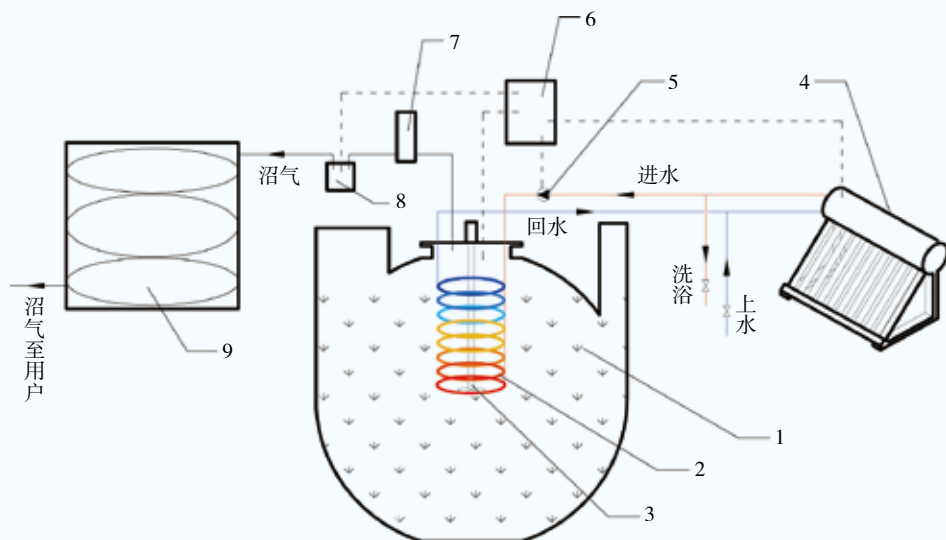
太阳能辅助加热户用沼气池系统,主要是利用太阳能热水器吸收太阳热量提高水温,通过水循环,加热沼液,从而提高冬季沼气池产气温度,利于产气。系统如图2所示,主要包括:水压式保温沼气池(8m^3)、家用太阳能热水器(200L)、控制柜和数据采集模块、位于沼气池内的加热盘管与搅拌装置、电加热带、沼气包、循环水泵、气表、脱硫器以及水管路配件和温度传感器等。

3.2 系统控制功能

整个系统通过控制柜进行控制运行。控制柜设有简单的“冬”、“夏”模式切换,夏季太阳能与沼气池独立工作;冬季太阳能热水器集热,通过沼气池内部加热盘管进行加热,同时搅拌开启增强换热效果。控制柜的循环控制功能主要包括以下3种:

(1) 温差循环控制:利用温度传感器监测太阳能水箱内的水温 T_2 和沼气池内的温度 T_1 。当 T_2 大于 T_1 且 15°C 时(系统中控制温度均可根据各地区实际情况进行单独设置),循环水泵启动,同时搅拌电机启动,把太阳能热水的热量换给沼液; T_2 与 T_1 差值达到 5°C 时,循环水泵和搅拌电机延时1min后停止工作。当沼气池温度高于 25°C 时,循环停止。因为冬季太阳能热水器的温度一般不高,而沼气池位于地下、散热缓慢,通过温差控制循环的方式可保证系统循环加热的效率,同时避免传热过程的附加能耗过大。

(2) 防冻循环控制:考虑到北方地区冬季气温低,与太阳能热水器连接的水管系统可能冻结。为防止此情况发生,在管路适当位置设置温度传感器,当管路水温低于 4°C 时,水泵启动循环,当高于 8°C 时水泵停止。特殊极端天气可人工排空集热系统、以防集



1-水压式保温沼气池；2-换热盘管；3-搅拌器；4-太阳能热水器；5-水泵；6-控制柜和数据采集模块；7-脱硫器；8-气表；9-沼气包

图2 太阳能加热户用沼气池系统构成示意图

热管冻结。

（3）自动补水控制：系统为开式，当太阳能热水器内水量低于设定值时，实现自动补水。显示器显示储水箱中水位，可进行人工水位控制。

3.3 数据采集系统

数据采集系统主要通过ADAM4018数据采集模块、ADAM4015数据采集模块、ADAM4080数据采集模块、ADAM4520数据转换器、10V - 30V直流电源、电脑和LabVIEW程序来实现。

ADAM4015采集模块主要对沼气池内各温度测点、换热盘管进出水温度以及太阳能水箱温度进行监测和采集。

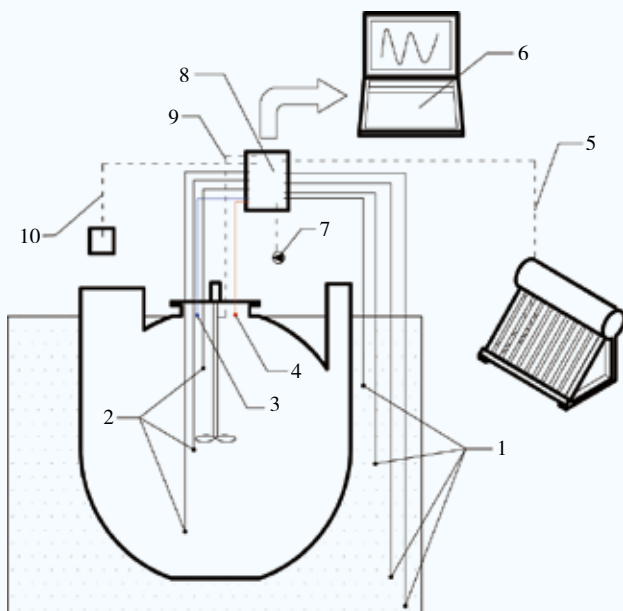
ADAM4018采集模块主要对土壤温度各测点进行温度监测和采集，同时对循环水泵、搅拌机、电加热带的工作状态及工作时长进行监测。

ADAM4080采集模块主要对气表脉冲信号进行监测，通过信号变化可以直接读取产气量。

所有采集模块采得的信号通过ADAM4520数据转换模块将信号输入电脑，通过LabVIEW程序进行数据实时显示和Excel存储，便于后期跟踪处理。

系统所用的温度传感器为Pt100热电阻（用于沼气池内沼液温度及换热盘管进出水温度监测）和铜康铜热电偶（用于土壤温度监测）。各温度测点分布及信号传输如图3所示，沼气池内部3支Pt100

热电阻（分别距沼气池顶部600mm、1 200mm、1 800mm）；土壤温度测点4支铜康铜热电偶（分别距地面600mm、1 100mm、2 000mm、2 200mm）；换热盘管进、出口2支Pt100热电阻。



1-土壤温度测点；2-沼气池内温度测点；3-换热盘管出水温度测点；4-换热盘管进水温度测点；5-太阳能水箱温度测点；6-数据采集电脑；7-水泵信号测点；8-控制柜和数据采集模块；9-搅拌器和电加热带信号测点；10-气表信号测点

图3 各温度测点分布及信号传输图

4 系统运行分析

4.1 安装初期系统效果分析

为验证该系统的实用性,在河北省石家庄市某地进行了实地测试,现场如图4所示。

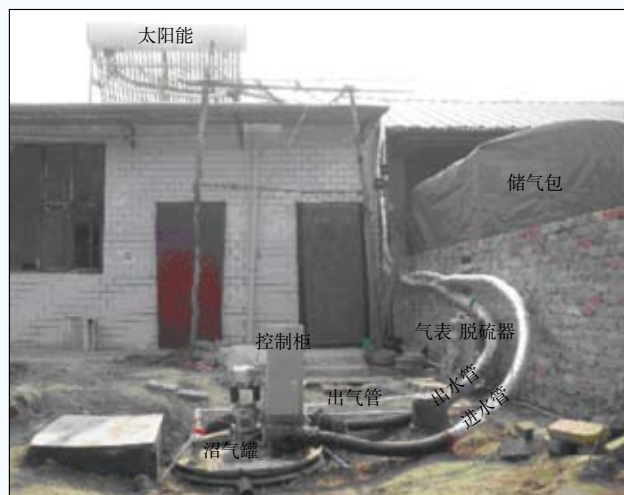


图4 石家庄现场安装效果图

系统于2010年2月12日安装运行,配套的数据采集系统于2月13日开始工作,数据采集由电脑自动控制,采集频率0.5Hz。

系统安装时石家庄正处于冬季,日均气温处于零度左右,水温及接种物的温度都较低,沼液温度在

10℃以下,因而系统初期需要辅以电加热带进行辅助加热。随各地区气候条件及系统安装时季节不同,电加热带工作时间将视情况进行控制,一般工作1天~3天后沼气池内温度便可升至15℃左右,此后电加热带停开,太阳能系统开启运行。当天气条件允许时,太阳能水箱温度升高,温差达到循环条件后,系统便进行热水循环,通过热水对沼液进行加热,维持并使沼气池温度继续升高。从实际系统运行情况来看,系统安装完成后,需经一段时期(一般为两周时间)的调试运行,才能进入正常产气工作状态。

4.2 冬季3月份系统运行效果分析

对3月份所采得数据进行分析,通过分析在冬季太阳能水循环系统的运行效果、沼气池温度变化及产气情况,来研究系统的实际应用效果。

4.2.1 3月份太阳能水箱日最高温度与沼气池温度及日均气温变化如图5所示

由图5可得:自2月13日系统安装调试完毕后,在太阳能热水循环作用下,3月初沼气池内温度已经升高并保持在17℃左右;3月份石家庄地区日均气温在10℃左右,太阳能水箱温度基本维持在30℃以上;沼气池通过保温层及太阳能水循环作用下基本高于日均气温10℃左右;整个3月份沼气池温度升高并维持在20℃左右,月底基本达到了25℃。

太阳能热水循环系统结合一定的保温措施对沼气池温升及保温的作用效果明显。

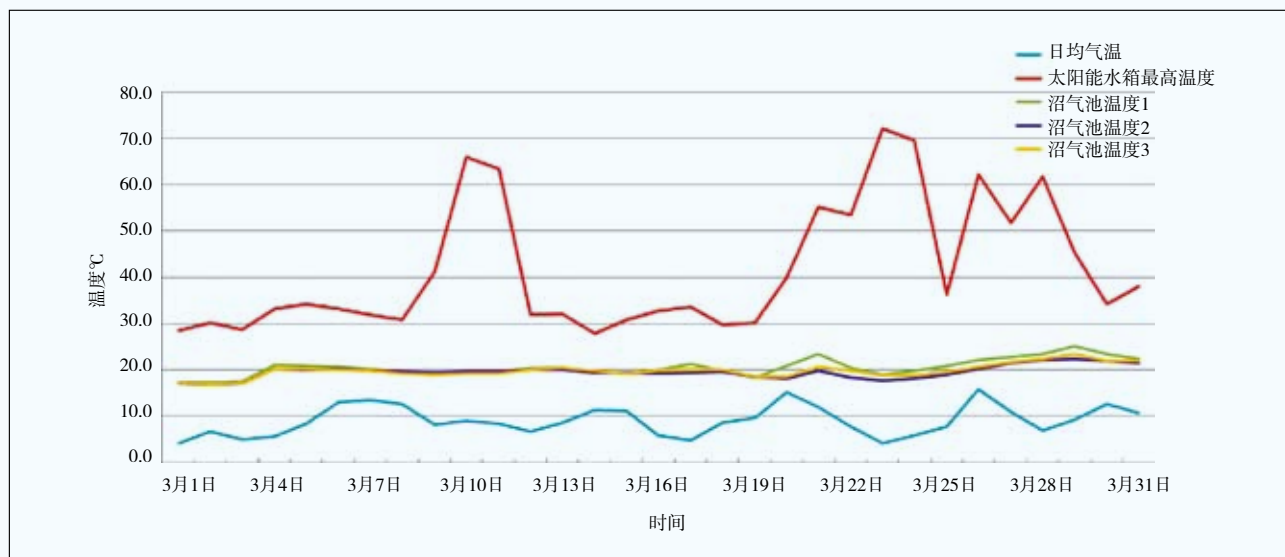


图5 3月份太阳能水箱日最高温度与沼气池温度及日均气温变化

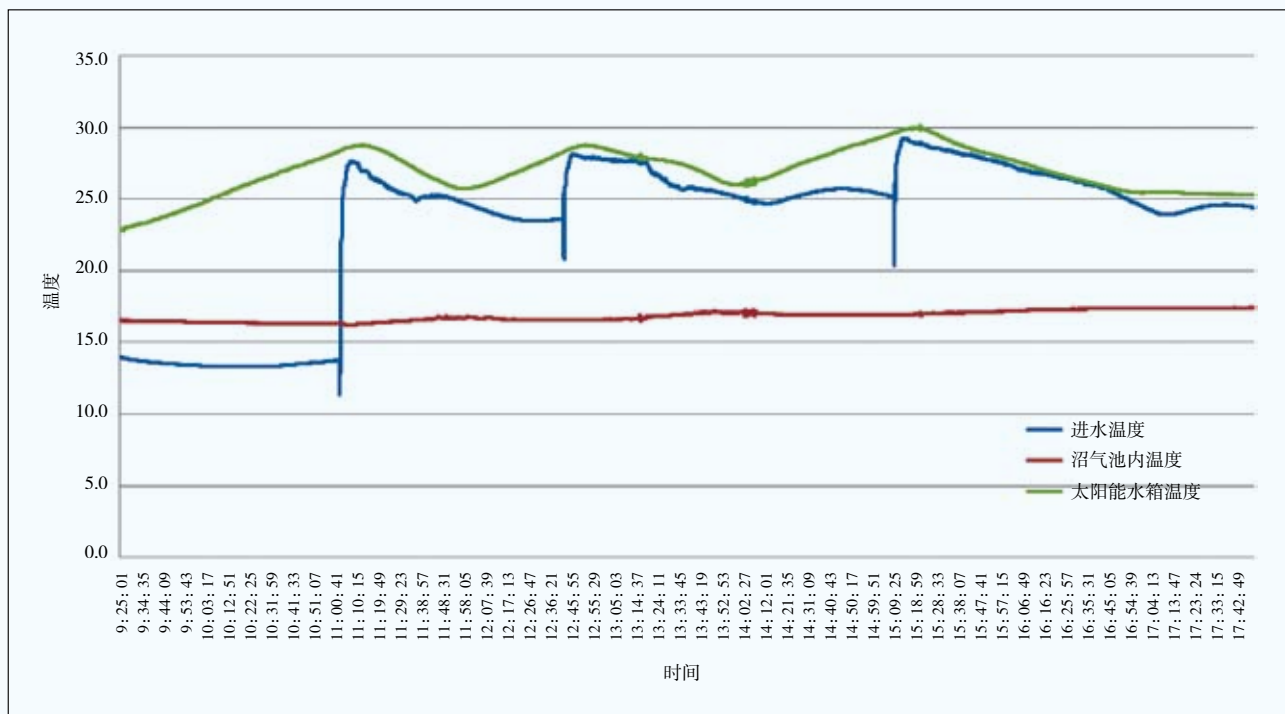


图6 太阳能温差循环系统各测点温度变化图

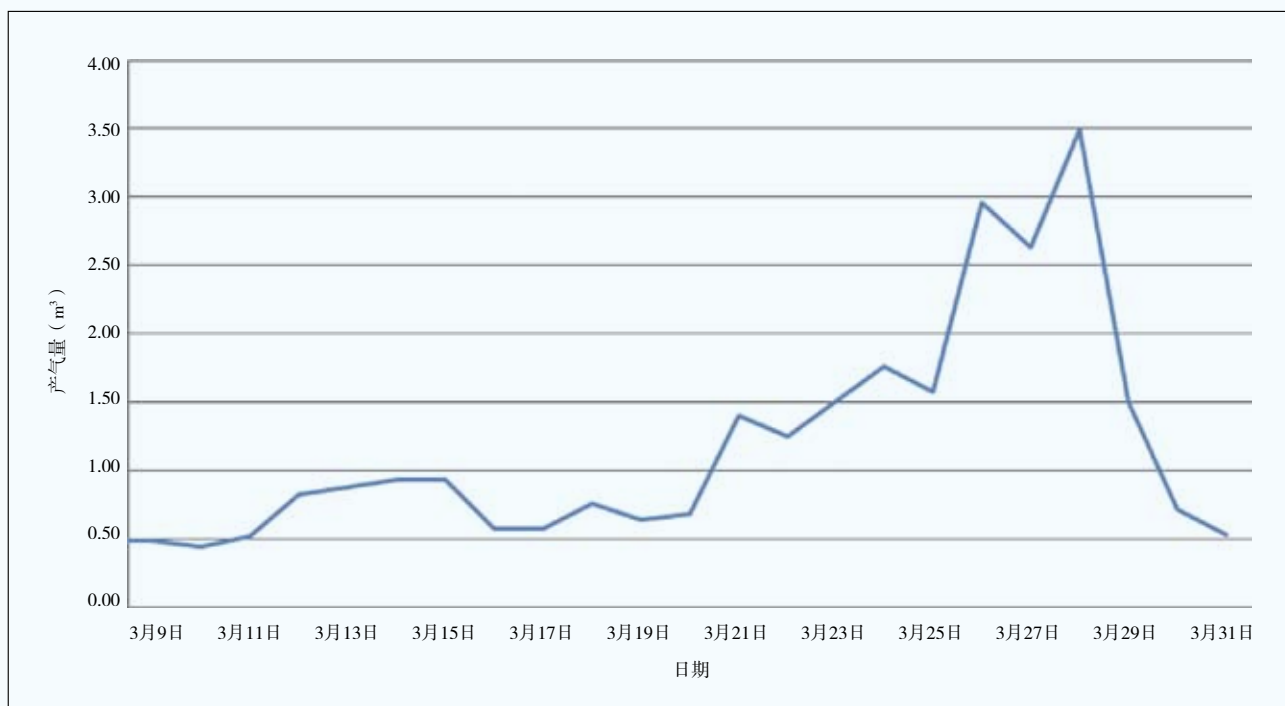


图7 沼气池日产气量

如图6是3月2日，中午11:00至下午17:00，系统进行太阳能温差循环温度变化图。图中中午11点左右，

太阳能水箱温度达到29℃，温差达到循环条件，系统温差循环启动。从11:00到17:00，系统一共进行了3次

温差循环,整个循环共进行了6h左右,沼气池内温度由原先的16.5℃升高到17.5℃,可见效果明显。

4.2.2 3月份沼气池日产气量如图7所示

由图7可以看出:

(1) 3月份随着沼气池内温度的不断升高,沼气池日产气量0.5m³/d以上;

(2) 随着池内沼液温度的升高,日产气量也随之升高,最高达到了3.49m³,能够满足一天农户日常生活需求。

其中26日到28日,这3天日产气量相比于其他时间要增加1m³,28日达到了3.49m³。究其原因,主要是农户对沼气池进行加料,由于沼气池为水压式,因此,加料过程中由于人为作用导致池内压力发生变化,将池内气体压入气包,气表读数增大;同时,加料后接下来几天的沼气池温度都明显高于先前温度,达到了23℃,利于沼液发酵产气,产气量增加。

4.2.3 3月份能耗分析

利用3月份记录的当天设备运行时间及产气量的数据,对能耗和产气量进行经济性比较。能耗主要以电能耗为主,包括水泵和搅拌机的电耗,水泵功率为100W,搅拌机功率为200W。所产沼气按50%CH₄和50%CO₂组分计算,热值为18.89MJ/m³。整个3月份的循环耗电量及产气量所对应的能量值如表1所示:

表1 耗电量及产气量能耗分析

	体积量 (m ³)	折算能量 (MJ)	折算能量 (kcal)	电耗占产气 比例(%)
产气量	26.98	509.65	121 723	7.26
	电量 (kWh)	折算能量 (MJ)	折算能量 (kcal)	
耗电量	10.28	37.01	8 839	

从表1可以看出:

(1) 整个3月份由系统运行造成的电能消耗为10.28kWh,日耗电量为0.33kWh,总耗电量相当于37.01MJ能量值;沼气池3月份的总产气量为26.98m³,日产气量为0.87m³,总产气量相当于509.65MJ能量值;耗电量占产气量比例为7.26%,电费在可承受范围内;

(2) 每天只需消耗少量的电能就能产出日常生

活所需沼气量,解决了北方寒冷地区冬季沼气池不产气问题,实现了北方冬季沼气由无到有,证明系统具有良好的实用性。

5 结论

本文提出了一种以太阳能辅助加热户用沼气池的沼气池加热保温方法,即将已有的太阳能热水器和沼气池集成一种新的装置,通过控制系统将两者有机的结合在一起,对冬季沼气池内沼液进行加热,从而提高沼液温度,提高产气量,使冬季沼气池产气也能满足一般农户的家庭日常生活需求,实现沼气池全年供气。

相比于传统应用模式实现了太阳能与沼气的互补,充分发挥二者优势。河北省石家庄市某地的实际应用测试结果表明,系统每月只需消耗少量的电能,日均产气量便能维持在0.8m³左右,证明该系统具有一定的实用性。

参考文献

- 1 赵庆波,单葆国.世界能源需求现状及展望[J].中国能源,2002;(02):34-36
- 2 胡亚范,马予芳,张永贵.生物质能及其利用技术[J].节能技术,2007;25(4):344-347
- 3 林聪,王久臣,周长吉.沼气技术理论与工程[M].北京:化学工业出版社,2007
- 4 郑竹胜,王立颖.北方沼气持续稳定发展措施探讨.农业技术与装备[J],2010;02(B):68-69
- 5 齐学义,季炜,董士奎等.基于太阳能及生物质能综合利用的分布式能源系统探讨[J].节能技术,2007;25(4):348-350
- 6 石磊,郑玉才,邓春岩等.新型太阳能玻璃钢沼气池的设计[J].太阳能,2008;3:34-35
- 7 崔景峰,胡江.太阳能沼气温室综合利用试验[J].中国沼气,1996;14(3):38-40
- 8 徐效俊,耿新美.沼气在太阳能大棚蔬菜生产中的应用[J].农村能源,1994;57(5):27