

## 太阳能集热系统与回热盘管沼气工程的应用

沈宇麒<sup>1</sup>, 骆林平<sup>1</sup>, 阮乐华<sup>2</sup>, 翁佳丽<sup>2</sup>, 虞方伯<sup>1</sup>, 单胜道<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 313000; 2. 浙江省诸暨市能源建设办公室, 浙江 诸暨 311800)

**摘要:** 在寒冷的冬季, 沼气的使用中存在产气率低、使用率低、使用时间短、沼气使用综合效益差等问题。浙江省诸暨市银辉生态养殖场的沼气工程利用太阳能加热, 巧妙地解决了寒冷地区冬季沼气生产的问题。采用跟踪监测和对比参照的方法对该沼气工程进行了监测。结果表明: 在冬季, 该系统厌氧发酵池的池温最高温度为 22.8 °C, 最低温度为 12.7 °C, 产气率在 75 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup> 以上, 可产生经济效益 23 万元·a<sup>-1</sup>, 可以切实提高沼气工程的温度及产气率, 并对沼气工程的经济、生态、社会效益进行了评估, 值得大规模的推广应用。图 6 表 3 参 11

**关键词:** 沼气工程; 应用; 太阳能集热系统; 回热盘管

**中图分类号:** S216.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2014)05-0791-07

## Application of a solar collector system and heat recovery coil project

SHEN Yuqi<sup>1</sup>, LUO Lingping<sup>1</sup>, RUAN Lehua<sup>2</sup>, WENG Jiali<sup>2</sup>, YU Fangbo<sup>1</sup>, SHAN Shengdao<sup>1</sup>

(1. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 313000, Zhejiang China, 2. Office Construction of Rural Energy of Zhujia City, Zhujia 311800, Zhejiang, China)

**Abstract:** During cold winters, application of methane gas production has had problems, such as a low use-rate, a short use-time, and poor comprehensive benefits. To introduce the specific and assessed economic, ecological, and social benefits of biogas projects, solar energy was used for heating to solve the cold winter biogas production problems at the Zhujia City Silverlit Ecological Farms Biogas Project. Results from the project showed a maximum pool temperature for the anaerobic fermentation tank of 22.8 °C, a minimum temperature of 12.7 °C, a gas production rate that remained 75 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup> or more, and an annual income of 230 000 Yuan. Thus, it would be worthwhile to large-scale application of a solar collector system. [Ch, 6 fig. 3 tab. 11 ref.]

**Key words:** biogas project; application; solar collector system; heat recovery coil

日益严重的能源问题和环境污染问题受到了越来越多人关注。根据预测, 石油资源将在 40 a 内耗尽, 天然气资源将在 60 a 内枯竭, 煤炭资源将在 220 a 内用完, 核能(裂变)也只能使用约 260 a<sup>[1]</sup>。然而, 沼气工程技术不仅可以解决由于畜禽粪便排放所造成的环境污染, 而且可以产生新能源。所以, 沼气工程技术成为了能源研究领域的重点。作为历史最悠久的一种生物质能利用技术, 沼气发酵技术已经在中国发展了很多年。然而, 由于中国冬季寒冷漫长, 且气温、地温较低, 导致沼气发酵技术在应用中存在一些问题, 比如产气率不稳定、缺乏相应的保温措施、使用率低、使用时间短、沼气使用综合效益差等。对沼气在农村中的推广产生很大影响<sup>[2]</sup>。中国太阳能资源十分丰富, 而且, 太阳能集热和沼气发酵都是非常成熟的技术。国内对这 2 项技术的研究已十分完善, 所以将这 2 项技术结合起来使用是可行的。本研究以太阳能集热技术与回热盘管的大型沼气工程系统为研究对象, 对研究对象进行了 3 个月的连续实地调查, 主要对太阳能集热技术与回热盘管沼气工程系统中气温、地温、池温等因素进行影响因

收稿日期: 2013-11-11; 修回日期: 2014-03-08

基金项目: 浙江省科技厅优先主题重大农业项目(2010C12001)

作者简介: 沈宇麒, 从事农业资源利用研究。E-mail: shenyq123@sina.cn。通信作者: 单胜道, 教授, 博士, 博士生导师, 从事农业循环经济学研究。E-mail: shanshd@sina.com

素分析, 并对太阳能集热技术与回热盘管对厌氧发酵池的增温效果和保温效果进行评估, 以推动太阳能沼气工程的开发利用。

### 1 太阳能集热系统与回热盘管沼气工程的系统简介

#### 1.1 浙江省诸暨市次坞镇沼气工程概况

实验地点位于浙江省诸暨市次坞镇沈河村。诸暨市次坞镇银辉生猪养殖场存栏生猪 6 000 头·a<sup>-1</sup>, 出栏生猪 7 100 头·a<sup>-1</sup>, 日排放污水 100 t·d<sup>-1</sup>, 原有 200 m<sup>3</sup> 的小型沼气工程, 2011 年兴建的大型沼气综合利用工程主要有 700 m<sup>3</sup> 厌氧池、100 m<sup>3</sup> 集水池、300 m<sup>3</sup> 储肥池、100 m<sup>3</sup> 储气柜。为确保冬季的正常产气, 特安装太阳能增温设施 1 套, 建筑安装面积 200 m<sup>2</sup>, 设计日供水量 10 t·d<sup>-1</sup>, 供水温度 45~55 ℃, 热水通过钢管在厌氧池内循环, 利用热交换原理提高厌氧池内温度, 从而提高产气量。

#### 1.2 工艺流程

太阳能集热技术与回热盘管沼气工程系统主要由太阳能增温装置、水解酸化池、厌氧发酵池、沉淀池和气水分离器等几部分组成。系统组成和工艺流程见图 1 和图 2。养猪场的将每天所产生的粪便和废水首先进入调浆沉淀池和水解酸化池, 搅拌均匀并去除悬浮物质后调整溶液的比例、pH 值和碳氮比。进入厌氧消化池, 在太阳能集热技术与回热盘管的增温下充分发酵。沼气部分通过气水分离器、脱硫塔的净化后最后进入储气柜; 沼液沼渣部分进入沉淀池后分离出沼液和沼渣, 沼液直接进入喷灌装置进入农业生态园, 而沼渣进入储肥池堆肥后进入农业生态园。

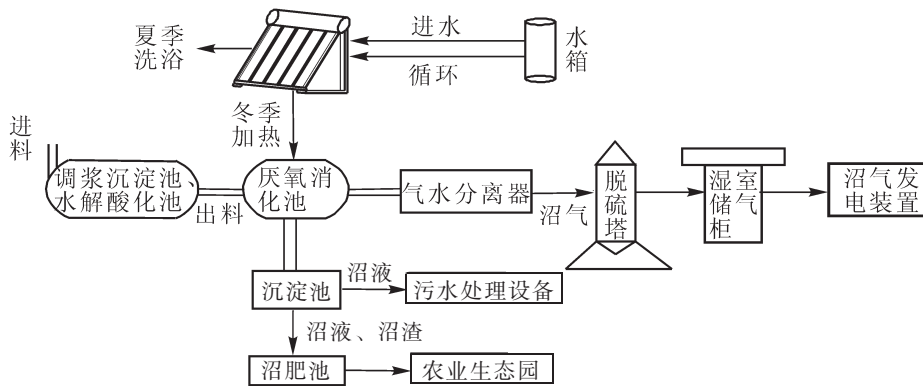


图 1 太阳能集热技术与回热盘管沼气工程系统组成图

Figure 1 System constitutional diagram of solar collector system and heat recovery coil project

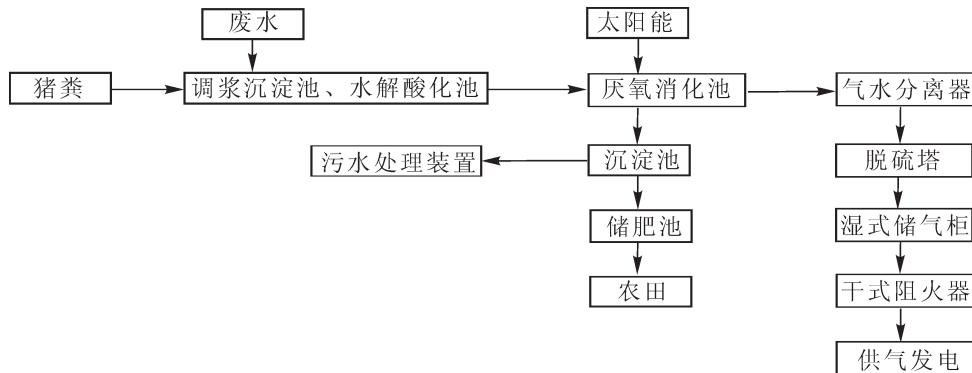


图 2 太阳能集热技术与回热盘管沼气工程工艺流程图

Figure 2 Process flow diagram of solar collector system and heat recovery coil project

#### 1.3 主要构筑物及特点介绍

太阳能集热技术与回热盘管包括如下装置: 原料的收集、预处理装置、发酵装置、出料后的分离装置以及增温装置(太阳能集热技术与回热盘管)。增温装置是该系统的主要特点。下面主要对增温装置的

运行原理进行介绍（各个子系统的容积等参数如下：200 m<sup>2</sup> 采光面积的太阳能，容量为 10 t 的水箱，100 m<sup>3</sup> 的调浆沉淀池，100 m<sup>3</sup> 的水解酸化池，700 m<sup>3</sup> 的厌氧消化池，100 m<sup>3</sup> 的沉淀池，100 m<sup>3</sup> 的储气柜，300 m<sup>3</sup> 的田间储肥池）

该装置主要由太阳能集热装置与回热盘管组成，是本研究的核心所在。控制柜设有简单的“夏”“冬”模式切换，夏季家用太阳能热水器与沼气工程分开独立运行，冬季则联合运行。当太阳能装置工作时，太阳能集热装置吸收了大量的太阳短波，将其转换成热量，从而加热水箱当中的水，使得水箱温度不断升高。水箱中的水在回热盘管的循环系统中不断流动，加热厌氧消化池中的料液<sup>[3]</sup>。

回热盘管：池外是直径 50 mm 的水管，池内是直径 38 mm 的 304 不锈钢管，池外的管道外设置有聚氯乙烯复合板作为保温材料。池内的管道导热性非常好<sup>[4-6]</sup>。

## 2 太阳能集热系统与回热盘管沼气工程的运行效果

为了测试该项沼气工程的运行效果，本研究从 2012 年 10 月 11 日开始对该系统进行监测，至 2013 年 12 月 31 日结束，持续时间约 3 个月。共进行 3 个方面的研究：①关闭太阳能系统的情况下沼气工程池温及产气率的影响因素分析；②太阳能集热技术以及回热盘管对沼气工程厌氧发酵池池温及产气率的提升效果分析；③太阳能集热技术以及回热盘管对沼气工程厌氧发酵池池温的保温效果分析。

### 2.1 材料与方法

气温采用气温计测量，地温采用直角地温计测量，沼气工程池温以及沼气工程进出口的料液温度采用温度计直接测量，pH 值的测定采用 pH 5~9 的 pH 试纸进行测量。实验数据用 Excel 2003 进行记录分析。

### 2.2 关闭太阳能系统沼气工程影响因素分析

从 2012 年 10 月 11 日至 2012 年 11 月 11 日共 30 d 太阳能的开关处于“夏”模式，即太阳能未工作，采集早上 7:00 的气温、地温、厌氧消化池的池温、每天的产气量进行比较分析。分析结果如图 3。

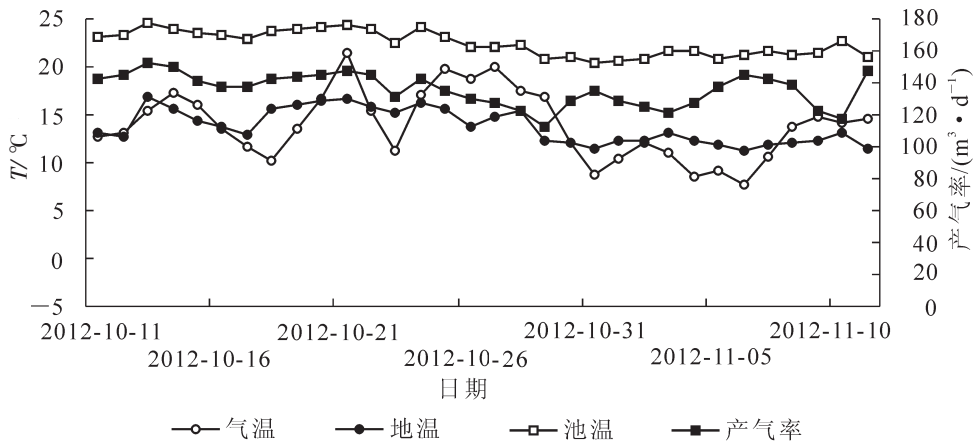


图 3 2012-10-11–2012-11-10 的气温、地温、厌氧消化池池温和产气率的变化

Figure 3 Temperature variation diagram of air, ground, anaerobic digester and the biogas production rate from 2012-10-11–2012-11-10

由图 3 可知：在关闭太阳能系统且时间差异不大的情况下，气温、地温、池温、产气率的变化趋势基本相同，都在第 3 天达到峰值，然后变化虽然有所起伏，但是，整体趋势在降低。气温、地温、池温、产气率的变化趋势无明显差异。其中气温在 2012 年 10 月 21 日的温度达到峰值 21.5 °C，但是地温、池温、产气率并没有出现太大提升。这些现象和数据说明，产气率基本取决于沼气池池温，池温高于气温和地温。池温的变化趋势更接近于地温。随着地温不断变化，沼气的池温和产气率也在随之变化。所以，池温和产气率取决于气温和地温，更取决于地温。

### 2.3 太阳能集热技术以及回热盘管提升效果分析

太阳能系统对产气率的提升是本研究的核心。太阳能能够提升厌氧消化池的池温，从而提高产气率。从 2012 年 11 月 11 日开始太阳能的开关处于“冬”模式，即太阳能开始工作。依然采集早上 7:00 的气温、地温、厌氧消化池的池温、每天的产气量进行比较分析(图 4)。

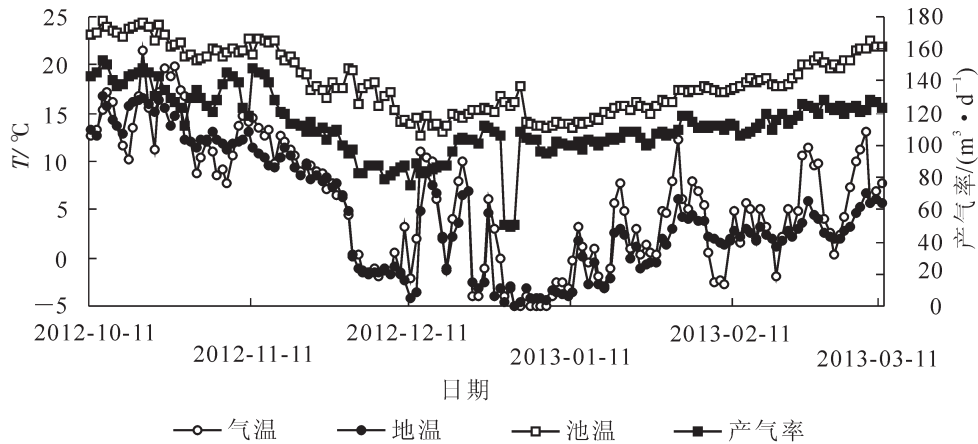


图4 2012-10-11-2012-03-11的气温、地温、厌氧消化池池温的变化

Figure 4 Temperature variation diagram of air, ground, anaerobic digester and the biogas production rate from 2012-10-11-2012-03-11

图4中：2012年11月11日之前为关闭太阳能系统的厌氧消化池池温变化，2012年11月11日之后为开了太阳能的厌氧消化池及产气率的变化。从图4中可以明显看出：从2012年10月11日到2012年11月11日，厌氧消化池温度变化趋势和地温基本保持一致。如果关闭太阳能系统，按照先前分析结果，厌氧消化池池温将会和地温变化趋势一致，但从2012年11月11日开始，地温虽然直线下降，池温却保持相对稳定，甚至还有上升趋势，产气率更是在11月11日这天有了明显提升，达到了 $148 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。另外，从11月11日开始，池温最高温度为 $22.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ，最低温度为 $12.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ，呈缓慢下降趋势。这些现象说明：冬季太阳能集热技术与回热盘管的存在维持了厌氧消化池池温的稳定，也显著提升厌氧消化池温度和产气率。

浙江省冬季大型沼气的厌氧消化池池温一般在 $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下(11月-2月)<sup>[7]</sup>。而且11月和12月甚至会出现沼气池冻裂，厌氧消化池不产气的现象，而有着太阳能集热技术和回热盘管存在的沼气工程，虽然冬季的厌氧消化池池温及产气率也会下降，但下降的十分平缓，池温基本维持在 $12.7 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上，产气率最低 $75 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。整个冬季该太阳能沼气工程系统的池温比起冬季浙江省沼气工程有了显著提升。

另外，太阳能集热技术与回热盘管的存在也维持了厌氧消化池池温的稳定。由图4可以看出，随着气温降低，厌氧消化池温度也有所下降，但厌氧消化池池温普遍保持稳定。尤其是1月份以后，虽然地温和气温都有着很大的起伏，但是池温和产气率都很平稳，没有什么较大的波动，而且稳中有升。

为说明太阳能集热系统对沼气工程池温及产气率的提升效果，从2013年12月1日开始对该系统进行监测，至2013年12月31日结束，持续时间为1个月。在本次试验中，前15d关闭太阳能，后16d正常运作，通过两者之间的对比，来进一步证明，太阳能集热系统与回热盘管对沼气工程的池温和产气率的提升效果。从图5中可以明显看出，前15d的沼气工程气温和地温明显高于后16d的沼气工程气温和地温，可是前15d的沼气池温度及产气率明显高于后16天的沼气池温度及产气率。这也从侧面说明，冬季太阳能系统的存在可以对沼气工程的池温和产气率进行提升。

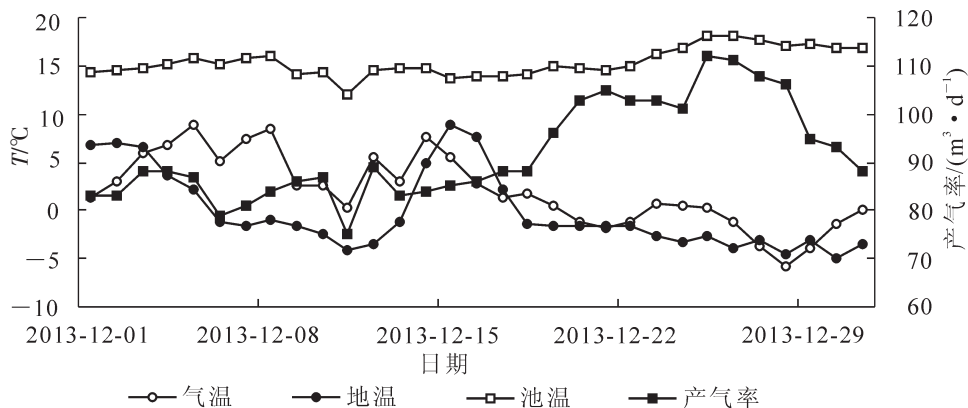


图5 2013-12-01-2013-12-31的气温、地温、厌氧消化池池温和产气率的变化图

Figure 5 The temperature variation diagram of air, ground, anaerobic digester and the biogas production rate from 2013-12-01-2013-12-31

表 1 反映了沼气工程池温及产气率的提升效果，后 16 d 的气温平均降低了 1.16%，地温平均降低 2.22%，池温平均提升 9.6%，地温平均提升 17.8%。这充分说明了太阳能集热系统与回热盘管系统可以提升沼气工程的池温和产气率。

#### 2.4 太阳能集热技术以及回热盘管保温效果分析

为进一步了解太阳能集热技术与回热盘管对于冬季厌氧消化池的保温效果，本试验于 2012 年 11 月 13 日对该沼气工程系统的各项温度数据进行分析。测定方式为从早上 7:00 开始隔 1 h 测定 1 次。沼气工程的各项参数变化如表 2 和图 6 所示(当天天气晴，气温 4.0~14.0 °C)。

表 1 打开太阳能系统和关闭太阳能系统的温度和产气率的提升效果

Table 1 Gas production rate and the temperature improving effect which solar energy is open or not open

项目	气温/°C	地温/°C	池温/°C	产气率/%
前 15 d 平均值	4.94	1.53	14.64	84.13
后 16 d 平均值	-0.78	-1.86	16.05	99.13
提升率/%	-115.70	-221.60	9.63	178.30

表 2 2012 年 11 月 13 日厌氧消化池各项参数的记录表

Table 2 Parameters of anaerobic digester record table in November 13, 2012

时刻	地温/°C	气温/°C	池温/°C	进料口温度/°C	出口储肥池温度/°C	pH 值	水箱温度/°C
7:00	10.5	11.7	22.6	20.3	22.6	7.0	37.0
8:00	10.6	12.0	22.5	20.3	22.4	6.5	37.0
9:00	10.6	12.6	22.3	20.4	22.3	6.5	38.0
10:00	10.6	12.8	22.3	20.7	22.3	7.0	38.0
11:00	10.8	13.5	22.5	20.5	22.4	7.0	38.0
12:00	11.1	13.7	22.6	20.8	22.5	7.0	38.0
13:00	11.6	14.2	23.0	21.1	23.0	7.0	38.0
14:00	11.8	14.5	23.2	21.0	22.9	7.5	39.0
15:00	11.8	14.7	23.3	21.0	23.2	6.5	39.0
16:00	11.7	14.1	23.3	20.6	23.1	6.5	38.0
17:00	11.4	13.3	23.0	20.5	22.9	7.0	38.0
18:00	11.1	12.3	23.0	20.2	22.7	6.5	37.0
19:00	10.7	11.4	22.8	20.1	22.5	7.5	37.0

从图 6 中可以明显看出：1 d 中的池温、进料口温度、出口温度、水箱温度在 1 d 中基本保持稳定，这恰恰说明了该系统具有很强的稳定性。由此可见，太阳能系统对厌氧消化池的保温效果明显。

厌氧消化池内的发酵料液温度整体呈先下降再上升再下降的趋势，但总体来说变化幅度较小。早上气温略有下降，到 9:00 时温度停止下降，而且出现最低点，此后温度开始出现上升趋势。这一方面是由于早上 9:00 以前环境温度较低，导致发酵池内热量散失，9:00 时环境温度已经有了很大提升；另一方面是由于从早上 9:00 开始，水箱温度与厌氧消化池池温温差达到 15.7 °C，温差循环系统启动，太阳能系统开始对厌氧消化池加热。从 9:00 至 16:00 整个循环持续 7 h，厌氧消化池温度从原先的 22.3 °C 上升到 23.3 °C，达到最大值，16:00 以后，发酵料液温度持续下降，由于水箱温度与厌氧消化池池温温差只有 14.7 °C，温差循环系统停止，增温系统内没有供给热量，沼气系统处于放热状态的缘故。由此可见，太阳能集热技术与回热盘管厌氧消化池加热效果明显。另外可以发现：从厌氧消化池的池温明显高于进料口，而略高于出料口，这主要是归功于微生物反应和太阳能加热所产生的效果。

### 3 太阳能集热系统与回热盘管沼气工程的效益分析

沼气工程的利用具有经济、社会、环境等多方面的效益。其中，有的可以被定量化，有的则难以定量化。因此，本研究结合研究区域的实际情况，通过对可以定量化的指标进行分析，对沼气工程经济效

益、环境效益、社会效益方面进行评价。

### 3.1 经济效益

直接经济效益,是指沼气替代的煤炭、秸秆、薪柴、液化气等燃料和沼气工程所产生的沼渣沼液所代替的化肥、农药带来的经济价值。1个700 m<sup>3</sup>沼气工程,年均增收节支在971~1 073元<sup>[8-9]</sup>。主要包括以下方面:一是节约燃料,即1个700 m<sup>3</sup>太阳能集热技术与回热盘管沼气工程,年产沼气7.7万m<sup>3</sup>,按1.5元·m<sup>-3</sup>来算,可产生11.5万元的经济效益。二是沼气发电,年沼气发电9.6万kW·h,按0.7元·(kW·h)<sup>-1</sup>来算,可产生6.72万元的经济效益;三是产生有机肥,年产有机肥可达500 t,按300元·t<sup>-1</sup>来计算,可产生15.0万元的经济效益。可产生直接经济效益33.2万元·a<sup>-1</sup>。

成本效益分析。成本投入:修建1个700 m<sup>3</sup>太阳能集热系统与回热盘管的沼气工程,修建成本共计250万元。另外算上动力费(用电量40 kW·h·d<sup>-1</sup>,0.7元·(kW·h)<sup>-1</sup>计),工资福利费(2人,工资按1.5万·人<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>计算),综合折旧费(投资总额250万元,折旧年限20 a,年折旧率5%),检修维护费(按总投资额1.0%计),日常管理费用(按总投资额1.5%计)。总投资额如下表3所示。所以,太阳能沼气池的年收益可以达到33.2-10.3=22.9万元,在头20 a不算折旧费的情况下,可以在第11年收回成本(250.0万元/22.9万元·a<sup>-1</sup>=10.9 a)。虽然缓慢,但是每年的收益可达将近23万,回报率很高(表3)。

### 3.2 环境效益

太阳能集热系统与回热盘管的沼气工程产生的最大的环境效益就是对沼液、沼渣的利用。研究表明,合理施加沼液、沼渣会提升土壤中的速效养分含量,且提升效果优于传统施肥模式,更有利于植物的吸收。但是施用沼液、沼渣也存在一定的风险。土壤中施用沼液、沼渣会导致土壤中微量元素明显增加,过量施用就会导致重金属中毒。所以我们以沼液、沼渣作为肥料时,必须要做到合理施肥,控制并规范施用量<sup>[10]</sup>。另外,该项工程的建设还可以减小污染、减少疾病传播,降低化肥施用。间接的带来巨大的环境效益

### 3.3 社会效益

发展农村沼气,在推进社会生产发展,改善农村环境卫生质量,减少农村环境污染,推进农村精神文明建设等方面,有积极的推动作用。特别是对区域经济的发展产生了巨大的拉动作用。1座700 m<sup>3</sup>的太阳能沼气池,加入人畜粪便、各种农作物秸秆和水,管理得当,可产气100~150 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>,冬季亦可产气50~100 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>。产沼气7.7万m<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup>,可以满足全村150户人家10~12个月的日常炊事与照明用能<sup>[11]</sup>。这样就会让更多人选择农村,而建设沼气工程同时需要水泥、沙子、沼气输配系统装置,这对相关产业的发展起到了一定的带动作用。

## 4 结论

①关闭太阳能系统的情况下,沼液温度及产气率的变化规律与气温和地温一致,随着冬季温度的降低而降低。②打开太阳能系统,温度下降趋势明显缓解,甚至还有上升趋势。相比于浙江省其他的沼气工程而言,产气率和池温都有很大的提高。③监测显示,温度在1 d内的变化非常平缓,最高温度与最

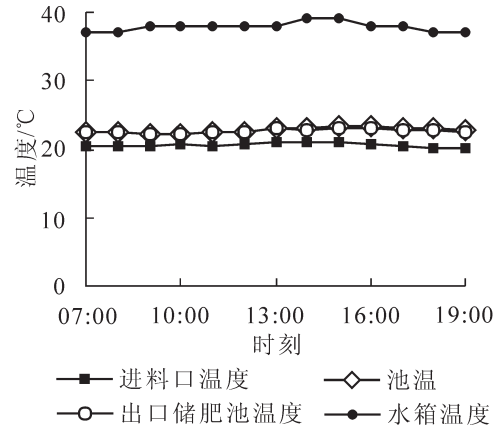


图6 2012年11月13日厌氧消化池各项参数的变化图

Figure 6 Parameters of anaerobic digester record figure in November 13, 2012

表3 沼气工程的成本表

Table 3 The cost table of biogas project

序号	费用名称	费用/(万元·a <sup>-1</sup> )
1	动力费	1.02
2	人工费	3.00
3	检修维护费	2.50
4	日常管理费用	3.75
5	年经营成本费用(1+2+3+4)	10.27
6	折旧费	12.50
7	年总成本费用(5+6)	22.77

低温度相差不到 1.0 ℃，保温效果明显。④太阳能集热系统与回热盘管的沼气工程的具有经济、社会、环境等多方面的效益。可以产生 23 万元·a<sup>-1</sup> 的收益。

总之，太阳能集热系统与回热盘管的沼气工程充分利用了自然界的能源，不仅缓解了畜禽养殖业带来的污染，而且解决了部分农村能源问题，同时还能带来巨大的收益，值得大规模的推广。

#### 参考文献：

- [1] 李敏. 浅谈中国能源现状及未来[J]. 山西电力, 2004(3): 15 - 18.  
LI Min. Discussion on energy situation and future in China [J]. *Shanxi Electr Power*, 2004(3): 15 - 18.
- [2] 姜森林, 吴荣妹, 刘海潮, 等. 我国北方农村沼气池冬季主要发酵条件及其保温增温技术的研究[J]. 农业工程学报, 1987, 3(4): 79.  
JIANG Sengling, WU Rongmei, LIU Haichao, *et al.* The rural biogas research of major fermentation conditions and warming technology in rural northern of China in winter [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 1987, 3(4): 79.
- [3] 王瑞平. 平板集热器热效率分析[J]. 西安科技学院学报, 2002, 22(3): 11 - 14.  
WANG Ruiping. The analysis of the flat-plate collector thermal efficiency [J]. *J Xi'an Sci Technol Univ*, 2002, 22(3): 11 - 14.
- [4] 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.  
SHI Lei, ZHEN Yucai, DENG Chunyan, *et al.* The new type of the solar glass steel digesters design [J]. *Solar Energy*, 2008(3): 34 - 35.
- [5] 赵玉文. 太阳能采暖和热水系统的设计与安装[M]. 北京: 新时代出版社, 1990.
- [6] 田琦. 大型太阳能热水供应系统设计的若干问题[J]. 中国给水排水, 2001, 17(6): 17 - 21.  
TIAN QI. Several problems of large-scale solar hot water supply system design [J]. *China Supply Drain*, 2001, 17(6): 17-21.
- [7] 张杨竣, 秦朝葵, 陈志光. 太阳能辅助加热户用沼气池[J]. 城市燃气, 2011(8): 5.  
ZHANG Yangjun, QING Chaokui, CHEN Zhiguang. Solar energy heating household biogas digesters [J]. *City Gas*, 2011(8): 5.
- [8] 崔景峰, 胡江. 太阳能沼气温室综合利用试验[J]. 中国沼气, 1996(3): 38 - 40.  
CUI Jingfeng, HU Jiang. Solar energy greenhouse biogas comprehensive utilization's experiment [J]. *Chin Biogas*, 1996(3): 38 - 40.
- [9] 张广宇. 住宅太阳能热水的应用[J]. 太阳能, 2002(2): 21 - 22.  
ZHANG Guangyu. The applications of housing solar heating water [J]. *Solar Energy*, 2002(2): 21 - 22.
- [10] 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(3): 27.  
XU Xiaojun, GENG Xinmei. The applications of biogas in solar energy greenhouse vegetable production [J]. *Rural Energy*, 1994(3): 27.
- [11] 王波. 昆明地区户用太阳热水器技术经济评价[J]. 可再生能源, 2004(3): 65 - 67.  
WANG Bo. The water technical and economic evaluation of household solar heater in Kunming [J]. *Renewable Energy*, 2004(3): 65 - 67.