

辅热集箱式畜禽粪便沼气系统研究

张全国, 范振山, 杨群发

(河南农业大学农业部可再生能源重点开放实验室, 郑州 450002)

摘要: 设计了一种新型厌氧发酵系统——辅热集箱式畜禽粪便沼气系统, 该系统采用太阳能和生物质辅助加热方式, 由若干个集箱式发酵单元组成, 可根据养殖规模集成成50、100、200、300、500 m³等不同规模的沼气工程。并在其应用示范工程上完成了运行试验和技术经济评价, 结果表明, 该系统池容平均产气率为0.80 m³/(m³·d), 所产沼气的热值为25.40 MJ/m³, 处理后的猪粪污水COD浓度由36500 mg/L降至6500 mg/L, 去除率达82.2%, 悬浮物浓度由17000 mg/L降至1900 mg/L, 去除率达88.8%; 其净现值为183530.5元, 静态投资回收期为3.58 a。该技术及其成套设备的技术经济可行性较高, 具有商业化前景。

关键词: 辅热集箱; 沼气; 畜禽粪便; 日光温室

中图分类号: S216.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)09-0146-05

张全国, 范振山, 杨群发 辅热集箱式畜禽粪便沼气系统研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 146-150

Zhang Quanguo, Fan Zhenshan, Yang Qunfa Design and test of auxiliary heating cluster case type biogas system for animal dejecta[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(9): 146-150 (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国的畜禽粪便污染问题已经成为困扰畜牧养殖业可持续发展的一个主要因素^[1-3]。尤其是随着集约化、规模化和现代化养殖业的快速发展, 畜禽粪便的产量也在不断增加, 1999年仅规模化养殖场排放的粪便量就已接近17亿t, 但由于规模化养殖场的粪便一般都采用水冲式进行处置, 其粪便的污水排放量要远远高于粪便量。1999年仅规模化养殖场实际排放的粪便污水总量超过200亿t, 其数量是粪便量的10多倍。同时, 畜禽粪便每年向水体排放的污染物总量也比较大。如在1995年主要畜禽粪便污染物COD、BOD、NH₃-N、TP(总磷)和TN(总氮)的排放量分别为728.26、498.83、132.20、41.95和245.50万t, 而同期工业废水的COD的排放量为768.57万t, 由此可以看出中国畜禽行业的COD排放量已接近全国工业废水的COD排放量。另外, 中国氮肥的正常流失率在8%~20%, 磷肥的正常流失率为5%, 按此计算, 畜禽粪便氮、磷的流失量大于化肥的流失量, 约为化肥流失量的122%和132%。因此, 可以说畜禽粪便污水污染正日益成为中国水体污染的主要因子^[4,5]。沼气技术作为解决畜禽粪便污染的最有效途径之一, 近年来得到了快速发展, 其具有的潜在社会环境经济效益受到了社会公认^[6-8]。

中国目前已建成农村户用沼气池近1000万个, 年产沼气27亿m³; 建成大中型畜禽粪便沼气工程1000多处, 形成了年产超过10亿m³沼气的生产能力, 已使十

几万户居民依靠集中供气用上了优质气体燃料; 沼气综合利用与生态农业和农村持续发展紧密结合, 蓬勃发展, 方兴未艾。沼气作为清洁的可再生能源, 经中国几十年来的研究与发展, 在农村户用沼气技术上已相当成熟, 推广普及率较高, 已在广大农村产生了显著的生态环境和经济效益。同时在中小型沼气工程化开发利用方面也积累了一定的经验, 但是由于目前的反应器如UASB(升流式厌氧污泥反应器)、IC(内循环式厌氧反应器)等, 它们的结构复杂, 有很高的技术要求, 管理起来较困难。并且, 一次建成投资费用大, 投资回收期长, 不利于推广。而传统型沼气池的发酵温度较低, 容积产气率又不高, 并且发酵温度受环境温度的影响较大, 发酵温度不稳定, 产气量小, 产气不稳定, 不能适合中小型养殖场污水处理的要求。同时, 对中小型沼气工程的一些关键技术和设备深入研究不够, 尤其是在中小型猪场粪便沼气生态工程技术的产业化开发方面明显存在不足, 一定程度上影响了其产业化的推广应用进程。

基于上述情况, 本文研究设计了一种新型厌氧发酵系统——辅热集箱式畜禽粪便沼气系统, 该系统由若干个集箱式发酵单元组合而成, 并采用太阳能和生物质辅助加热方式, 可根据养殖规模集成成50、100、200、300、500 m³等不同规模的沼气系统, 安装与施工质量易于保证, 运行管理规范, 且工程投资明显低于传统的中小型沼气工程。该系统不但可以解决上述制约养殖业和种植业发展带来的一系列生态环境恶化问题和中小型粪便沼气生态工程技术的产业化问题, 而且还将在处理粪便的同时实现沼气厌氧发酵设备与工艺技术的商业化, 培植出一个新的农村经济增长点, 真正使农民增收, 促进无公害生态农业的可持续发展。

1 辅热集箱式畜禽粪便沼气系统的结构

辅热集箱式畜禽粪便沼气系统的结构如图1所示, 主要由进料口、出料口、供热管道、太阳能加热设备、辅

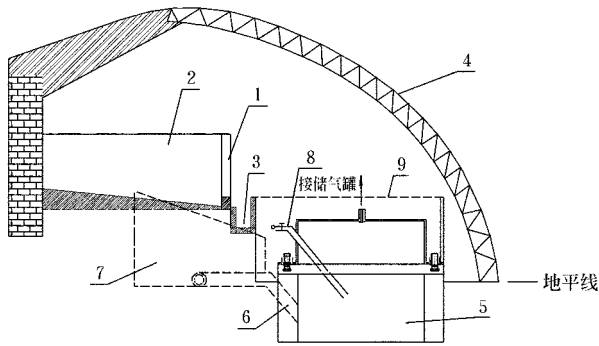
收稿日期: 2004-10-28 修订日期: 2005-05-19

基金项目: 教育部高等学校骨干教师资助计划项目和河南省重大科技攻关项目(0322030400)

作者简介: 张全国(1958-), 男, 河南郑州人, 教授, 博士生导师, 河南省太阳能学会理事长, 从事农业生物环境与能源工程方面的研究。郑州市文化路95号 河南农业大学机电学院, 450002。

E-mail: zquanguo@163.com

助加热设备、钢质沼气发酵池上盖等几个部分组成。



1. 猪圈前门 2 猪栏 3 排粪槽 4 日光温室 5 发酵间 6 进料口
7 预加热发酵池 8 沼液加入搅拌管 9 保温垫格板人行道

图1 辅助加热式沼气系统构成示意图

Fig 1 Sketch of biogas system with auxiliary heating cluster case

1.1 进料口

进料管下口上沿位于沼气池池体的1/3~1/2处,一般与沼气池池墙的夹角为30°左右。进料口口径为800mm×800mm,100m³规模进料口1个;200m³规模,2个;300m³规模,3个。

1.2 出料间及水压间

1) 出料间。出料间的大小设计为2800mm×2800mm×2500mm,出料间内的地平面应低于出料口平面大约200mm,以有利于料液的排出。出料间的设计原则应该是可以比较简单方便地清理沼渣,可利用污泥泵直接从出料间底部抽出池底沼渣。出料口位于烟气室的下面(如图2所示),口径大小为600mm×1000mm(100m³规模时),能够容一个人通过,以便于维修人员的出入。平时,少量出料时也可利用手工方式直接从出料间出料。

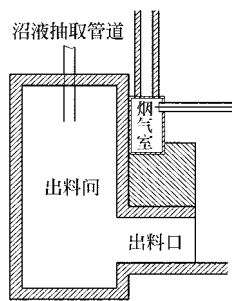


图2 出料口位置示意图

Fig 2 Sketch of discharge hole position

2) 水压间。水压间的容积以能容纳最高产气量时排出的水液为准,一般不小于主体容积的10%,水压间上部设有溢流槽,在沼气池产气过多时自动排出高位口的沼液,达到限制最高压力的目的。水压间设在温室的外面,上面盖有水泥预制盖以防人、畜不小心掉入。

1.3 猪场养殖区

猪栏结构的大小可根据养殖规模的大小确定,为了有利于粪便及冲洗水顺利流入沼气池,猪栏地面应有一个适当的坡度(2‰),人行道宽度设计为1m,以便于饲养

人员及运料车通过。

本工程的沼气发酵及配套猪场的设计计算结果如表1所示。即与100m³辅热集箱式畜禽粪便沼气厌氧发酵工程相对应的养猪场规模为:存栏数为529头,年出栏数为918头;与300m³辅热集箱式畜禽粪便沼气厌氧发酵工程相对应的养猪场规模为:存栏数为1587头,年出栏数为2754头。

表1 沼气池配套猪场的设计参数

Table 1 Design parameters of the mating piggery of the methane tank

沼气池容积 /m ³	粪便干物质 /kg·d ⁻¹	存栏数 /头	年出栏数 /头	粪便入池率 /%
100	200	529	918	100
300	600	1587	2754	100

1.4 预加热发酵池

100m³规模时预加热发酵池的体积大约为4m×5m×1.5m(即30m³),300m³规模时其体积大约为5m×6m×2m(即60m³),池壁厚度为一砖墙,即240mm。预加热发酵池的上部有一个20°的倾角,上面覆盖塑料薄膜,可利用太阳能对料液进行加热,从而达到预加热发酵的目的。需要进料时,打开阀门料液即可流入沼气池,进完料后关闭阀门即可。

1.5 浮罩变容湿式集气罐

钢制储气浮罩以导向轮沿纵向导轨在水泥池内的水中上下浮动,浮罩重量和配重提供一定的沼气出口压力,压力一般为1.5~3.0kPa(153~306mmH₂O)。当储气罐内沼气过量时,多余的沼气从安全罩排出,其结构示意图见图3。

浮罩变容湿式集气罐的优点是沼气压力比较稳定,有利于燃烧器燃烧,可靠性好,容积可大可小;其主要缺点是占地面积大,投资费用高。运行试验结果表明储气罐容积以日供气量的50%~60%为宜。

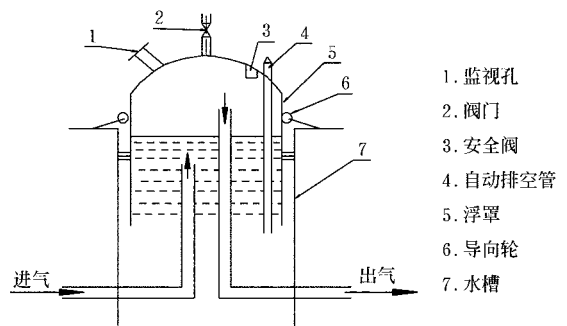


图3 浮罩变容湿式集气罐

Fig 3 Variable-volume wet-type gas-collecting tank with float cover

1.6 太阳能与生物质辅助加热设备

辅助加热设备由太阳能加热系统(包括钢材骨架、塑料薄膜等组成)和生物质加热设备(包括供热管道、加热室、烟囱等组成)两大部分组成。一般情况下,主要依靠太阳能加热系统调节厌氧发酵工艺所需的温度,实现

厌氧发酵正常进行。

1) 太阳能辅助加热系统工作时, 太阳短波能进入塑料温室内, 而地面辐射被塑料薄膜阻挡在温室内, 于是温室内的温度不断升高。涂有特制高吸收率黑色镀膜层的沼气池上盖吸收进入温室内的太阳能, 而使发酵液温度增高, 提高产气率。当环境温度过低时, 太阳能辅助加热系统不能满足沼气发酵所需要的温度时, 需启动生物质辅助加热系统, 以保证厌氧发酵正常进行。

2) 生物质辅助加热系统主要由加热炉和供热循环管道两大部分组成, 如图 4 所示, 即分别由循环水泵、加热炉、管道及阀门等组成, 经联结后构成一个相对独立的沼液循环加热系统。生物质辅助加热系统的工作原理是依靠循环水泵把新鲜沼液从出料间经过滤后吸入生物质(秸秆或木屑等)燃烧加热炉内的加热水套(水套定期清理), 再利用循环管道把加热后的沼液从各个发酵单元的金属顶壳送入沼气发酵池内, 形成了沼液辅助加热的内外循环系统, 从而加热发酵液, 提高发酵温度。同时, 还起到了搅拌发酵料液的目的, 保证了发酵工艺的高效运行。

生物质辅助加热系统的运行工艺是在沼液出料口设抽液管道, 安装在循环泵进口, 再由循环泵出口管道上安装阀门 1 和阀门 2。打开阀门 1 关闭阀门 2, 料液可直接排出处口; 关闭阀门 1 打开阀门 2, 料液可经过加热炉加热水套, 通过管道经过回液阀可直接进入沼气池, 同时也可以调节回液阀控制管道内各段流量, 这样不断的连续循环加热沼液, 均匀的搅拌沼液, 提高沼气池内沼液温度。同时, 通过用沼液循环搅拌提高了发酵原料的产气率。沼液分流器主要作用是把池底的新进沼渣, 用液流动力向沼气池中间推进, 使发酵原料布局更加均匀。

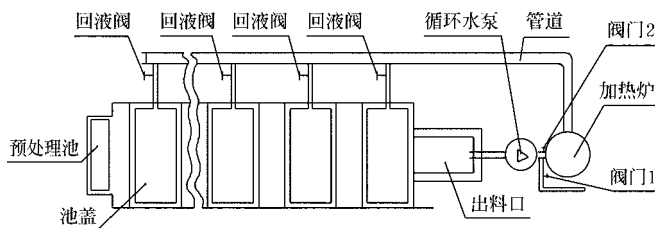


图 4 加热循环管道系统示意图

Fig 4 Sketch of heating circulating pipeline system

1.7 沼气池池体

沼气池池体的规格为 18000 mm × 2800 mm × 1500 mm。沼气池的底部墙根沿纵深方向用半径 $r = 300$ mm 的圆弧过渡, 这样可以避免形成死角, 有利于沼液的排出。而且, 沼气池底部地面设计成斜度为 1:50 的一个斜面, 这样有利于底部沼渣从进料口向出料口移动, 有利于沼渣的排出。

沼气池上盖(如图 5 所示)用 3 mm 厚的碳素钢板制成, 钢板传热效果好, 并且也减少了热胀冷缩对系统造成的破坏, 克服了以往砖砌上盖沼气发酵池的一些弊端。为了增强沼气池上盖吸收太阳光的能力, 可在上盖

外表面涂上一层阳光吸收率较高的特制黑搪瓷吸收涂层。材料应具有较高的抗压强度和抗弯能力, 抗腐蚀性应较好, 为了增强沼气池上盖的使用寿命, 在上盖的内表面涂上一层特制的防腐涂层。安装导气管时应靠近沼气池内部一端, 不能与拱顶面平齐, 而应高出 10~20 mm, 这样可以减少水分带入输气管道。

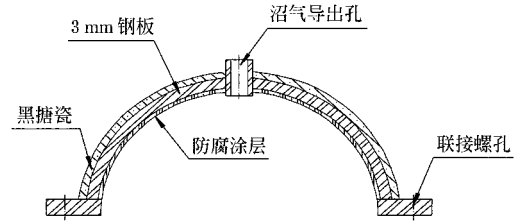


图 5 沼气池上盖

Fig 5 Top cover of methane tank

2 辅热集箱式畜禽粪便沼气系统的运行性能试验

辅热集箱式畜禽粪便沼气系统 40 m³ 规模的应用示范工程于 2003 年 6 月在河南省孟州市小仇镇的生态农业示范区内建成并投入运行, 300 m³ 规模的应用示范工程于 2004 年 5 月在河南省社旗县农业科技园内建成并正式运行。本文于 2003 年 6 月 10 日至 2004 年 6 月 9 日对 40 m³ 规模辅热集箱式畜禽粪便沼气系统的运行性能进行了历时 1 a 的试验研究, 试验结果如表 2、表 3 和表 4 所示。

表 2 辅热集箱式畜禽粪便沼气池全年运行产气性能

Table 2 Yearlong aerogenesis state of controllable cluster case type methane tank

		沼液平均温度 /	池容产气率 /m ³ ·m ⁻³ ·d ⁻¹
秋季	常温	23	0.68
冬季	常温	16	0.61
	辅助加热	25	0.83
春季	常温	20	0.65
	辅助加热	25	0.83
夏季	常温	34	1.2
年平均		23.8	0.80

表 3 辅热集箱式畜禽粪便沼气池进、出污水 COD 浓度等的变化

Table 3 Indexes of methane tank before fermentation and after fermentation

指标	pH 值	悬浮物	悬浮物	BOD	BOD	COD	COD
		浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%
进料	4.3	17000	88.8	28000	82.1	36500	82.2
出料	7.6	1900		5000		6500	

表 4 沼气组成成分及热值

Table 4 Compositions and thermal value of biogas

CH ₄ /%	CO ₂ /%	H ₂ S/%	H ₂ /%	热值/MJ·m ⁻³
67	31.5	0.1	1.4	25.40

从表2、表3和表4,可以看出该系统池容平均产气率为 $0.80\text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ (池容产气率指沼气池单位体积每天生产的沼气体积),是国家标准规定值 $0.2\sim 0.4\text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的2~3倍;所产沼气的热值为 25.40 MJ/m^3 ,高于普通水压式沼气池所产沼气的热值,符合沼气燃烧器具对气体燃料质量的要求;处理后的猪粪污水COD浓度由 36500 mg/L 降至 6500 mg/L ,去除率达82.2%,悬浮物浓度由 17000 mg/L 降至 1900 mg/L ,去除率达88.8%。畜禽粪便发酵后的沼液可直接作为液肥或进一步加工成高效复合液肥(或生物农药)用于生态农业产品的生产中,可以真正实现畜禽粪便污水零排放。

两个不同规模示范工程的运行试验结果表明,辅热集箱式畜禽粪便沼气系统不但经济效益显著,环境效益也十分明显,消除了粪便堆放引起的蚊蝇滋生,因而大大减少了各种畜禽的传染疾病,同时,避免了高浓度粪便污水流入农田、鱼塘而造成粮食减产、鱼类死亡等损失。

3 经济效益分析

3.1 初期一次性投资费用与年支出费用

辅热集箱式畜禽粪便沼气系统(300 m^3 规模)初期一次性投资费用155100元,年运行费用27000元。

3.2 生产收益

1) 沼气的年收益

该系统年平均池容产气率为 $0.8\text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,每立方米售 0.8 元,各年的产量大致相等。 300 m^3 的沼气池年产气量为 86400 m^3 ,沼气的年收益为69120元。

2) 减免排污费的效益

据中国的排污收费标准,该猪场的污水如果不进行综合治理,按每t水收费 0.90 元计算,年排放污水1290t,年应交纳排污费1161元,项目实施后,按照该方案,减免的排污费为1161元。

3.3 工程寿命期间的净现值及静态投资回收期

假设近些年物价水平稳定,每年的净现金流入与净现金流出变化不大,并且第一年投资未见收益。该系统建设费为155100元,每年运行费用为27000元,每年的收益为69120元,每年减免的排污费为1161元,工程使用寿命为15a,工程寿命期间的净现值为183530.5元,静态投资回收期为3.58a。

结果表明,辅热集箱式畜禽粪便沼气系统具有很好的财务盈利能力和较快的投资回收能力。同时,辅热集箱式畜禽粪便沼气系统不仅具有沼气和减免排污费的年直接经济收益,而且由于辅热集箱式厌氧发酵装置生产出的沼液(渣)质量稳定,利用研制的沼液(渣)加工设备和工艺技术,进一步加工成生物农药和有机肥料,替

代化学农药和化肥,生产出无公害的农产品,提高沼气副产物的经济附加值,真正实现沼气技术的产业化和生态化,形成以沼气技术为纽带的新的农村经济增长点,使农民增产增收,改善生态环境,保证农产品安全生产,促进中国生态农业的持续发展。

4 结论与讨论

该系统是一种适合于中小型养殖场的辅热集箱式畜禽粪便沼气系统,主要特点为:每个单元 10 m^3 ,由若干个单元集成 $50\sim 100\text{ m}^3$ 的标准厌氧发酵系统,根据养殖规模由标准厌氧发酵系统相并联集成 200 、 300 、 400 、 500 m^3 等不同规模的厌氧发酵系统,安装与施工质量易于保证,运行管理规范,且工程投资明显低于传统的中小型沼气工程。厌氧发酵装置的结构设计采用具有自主知识产权的国家发明专利技术,下部为钢筋混凝土水泥池,上部为拱形钢结构上盖,钢盖内表面采用防腐涂层,延长设备使用寿命,钢盖外表面涂有太阳光高吸收率的黑色镀膜,不仅增加了太阳能吸热量,提高了厌氧发酵温度,实现了粪便厌氧发酵工艺要求的主要参数可控性,保证了粪便厌氧发酵工艺的稳定性,同时大大提高了沼气产气率。厌氧发酵装置采用独特的太阳能辅助加热与发酵液外循环物质辅助加热搅拌设备,解决了传统沼气池冬季发酵温度低、容积产气率低以及产业化问题,运行成本低,经济效益高,生态效益好,是实现畜禽粪便污水生态化和资源化的一条新途径。采用预加热发酵池技术,能够储存粪便并使其完成预加热发酵。系统成套设备采用工厂化生产,安装方便,密封性好,便于维护及维修。

辅热集箱式畜禽粪便沼气系统具有很好的财务盈利能力和较快的投资回收能力。

[参考文献]

- [1] 李改莲. 畜禽粪便厌氧发酵液产品的开发及其防虫特性试验研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2004: 1-3.
- [2] 姚燕. 利用畜禽粪便为原料的优质厌氧发酵液生产工艺研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2003: 1-4.
- [3] 田宁宁, 李宝林, 王凯军, 等. 畜禽养殖业废弃物的环境问题及其治理方法[J]. 环境保护, 2000(12): 10.
- [4] 李庆康. 中国集约化畜禽养殖场粪便处理利用现状及展望[J]. 农业环境保护, 2000, 19(4): 251-254.
- [5] 董克虞. 畜禽粪便对环境的污染及资源化途径[J]. 农业环境保护, 1998, 17(6): 281-283.
- [6] 杨朝晖, 曾光明, 陈信常, 等. 规模化养猪场废水处理工艺的研究[J]. 环境工程, 2003, 20(6): 19-21.
- [7] 田晓东, 强健, 陆军. 厌氧发酵及工艺条件[J]. 可再生能源, 2002, (5): 35-39.
- [8] 付秀琴, 陈子爱, 邓良伟. 规模化猪场粪污处理沼气池容积确定[J]. 中国沼气, 2002, 20(2): 21-27.

Design and test of auxiliary heating cluster case type biogas system for animal dejecta

Zhang Quanguo, Fan Zhenshan, Yang Qunfa

(Key Laboratory of Renewable Energy, Ministry of Agriculture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract A new type anaerobic fermentation system—auxiliary heating cluster case type biogas system for animal dejecta was designed. This system used solar heating and auxiliary heating, which was composed of independent unit and could assemble different scales of biogas engineering such as 50, 100, 200, 300 and 500 m³ according to farm scale. Then its operating test and techno-economic evaluation of the typical engineering were conducted. The results showed that the yearly average tank volume aerogenesis rate of the system was 0.80 m³/(m³·d), thermal value of biogas produced from it was 25.40 MJ/m³, COD concentration of pig dejecta waste water after treatment decreased from 36500 mg/L to 6500 mg/L, and dislodging rate of COD reached 82.2%. Concentration of suspension decreased from 17000 mg/L to 1900 mg/L, and dislodging rate of suspension was 88.8%. The net present value (NPV) was 183530.5 Yuan, and static period was 3.58 year. The system was feasible in technology and economy and had the good prospect of commercialized operation.

Key words: auxiliary heating cluster case; biogas; animal dejecta; solar greenhouse