

高产低耗畜禽粪厌氧处理新工艺 研究及应用

李长生

(中国农业工程研究设计院)

提 要 高产、低耗是沼气发酵装置追求的主要目标。针对我国多数畜禽场以人工为主、水冲为辅的清粪方式,将常用的塞流、全混合(搅拌)和高浓度三种沼气发酵工艺有机结合,取长补短研制成一种新工艺,经应用于卧式机械搅拌加温沼气池取得成功,达到池容产气率高、自身耗能省、结构简单、投资低、操作方便等目标。该项新工艺及其装置具有较强竞争力和推广前景。

关键词 沼气池 畜禽粪 厌氧处理新工艺

1 引 言

“高产、低耗”是厌氧发酵工艺研究所追求的主要目标,鉴于我国畜禽场大多数采用人工为主、水冲为辅的清粪方式,对于粪便处理只宜采用全混合(搅拌)、塞流和高浓度等厌氧发酵工艺。全混合工艺有中温发酵、池容产气率较高和滞留期较短等特点,但耗能大,设施多,原料利用率稍低;塞流工艺有耗能省和原料利用率高的特点,但常温发酵,池容产气率和滞留期长;高浓度工艺有池容产气率高的特点,但原料利用率低和料液流动困难,可见上述三种工艺各有利弊^[1,2]。能否将上述三种工艺有机融为一体,取长补短,是畜禽粪厌氧发酵新工艺提出与研究的出发点,也是达到“高产、低耗”目标的技术途径。

2 工艺及其装置的确定

2.1 畜禽粪厌氧发酵新工艺的技术关键

(1) 发酵液干物质浓度的确定 浓度高有利于“塞流”,但难于搅拌;浓度低有利搅拌,但形成不了“塞流”,也达不到高浓度的要求。为此,分别将猪、牛和鸡粪,按干物质浓度10%~15%进行该工艺的适应性试验。试验结果,其最佳干物质浓度分别如下:

发酵原料种类	牛 粪	猪 粪	鸡 粪
发酵液(TS%)	10%~11%	11%~12%	12%~13%

(2) 高浓度发酵液的配制 高浓度的发酵液即使采用特殊的液泵也难以输送,笔者采取一种有效且简单的方法:将畜禽场运出的干、鲜粪,不经预处理和调配而直接倒入池内;再泵入适量的冲洗污水或余热水等,在池内搅拌装置的作用下,即可根据人为的需要配制成各种干物质浓度的发酵液。

2.2 装置的确定

根据畜禽粪厌氧发酵新工艺的要求,该装置在德国林普公司卧式机械搅拌全钢结构沼气的装置的基础上,进行了如下改进:

- (1) 改液泵进料为手推粪车经过提升机直接倒入装置前端顶部、大尺寸的进料口;
- (2) 改全钢结构为钢筋混凝土结构池体,可降低造价、延长寿命;
- (3) 改池体螺旋水套间接加热为蒸汽或热水入池的直接加热方式;
- (4) 在池内,增加上、下短隔墙,起了进料池、阻挡干、鲜粪夹有少量杂物和延长发酵流程的作用;
- (5) 改翻斗式出料机构为底部大口径斜管出料方式。

该厌氧发酵装置简图如图1所示。

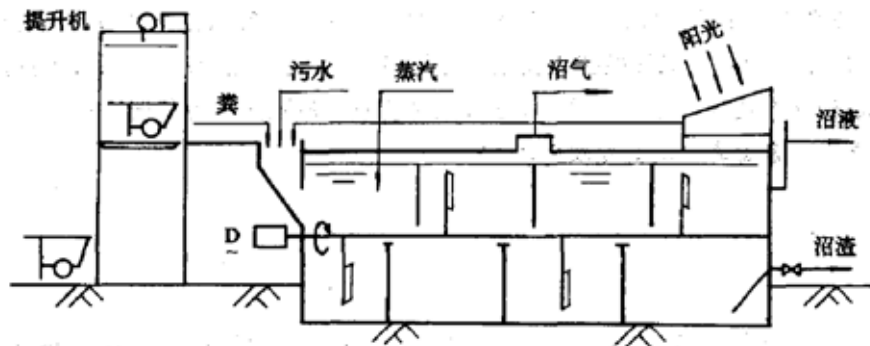


图1 厌氧处理新工艺装置示意图

该装置为组合池结构,每个单体池为近似圆柱体,容积 $100\sim 150\text{m}^3$,机械搅拌装置的配套动力为 600W ;可任意组装成多体池。

3 试验研究

3.1 池容产气率试验

根据北京 $4\times 100\text{m}^3$ 、上海 $5\times 150\text{m}^3$ 和上海 $2\times 150\text{m}^3$ 畜禽场沼气工程生产性试验,测试结果如下:

		$\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$				
发酵温度 $T/^\circ\text{C}$		15	22	28	30	34
肉牛粪 (TS%=10%)	平均值	0.50	0.77	1.07	1.15	
猪粪 (TS%=11%)	平均值		0.95	1.25		1.50
鸡粪 (TS%=10%)	平均值				1.40	

注:每车粪按 125kg 计,生产运行中,每车粪量多数偏少。

3.2 全年能量输出率 η 的测定

试验条件:较冷的北京地区,发酵原料为猪粪 TS%=11%;按 $1\times 100\text{m}^3$ 单池体 $V_{\text{池}}$ 计;

全年按 360 d 计;全年按两段时间运行:I—4~11 月份,II—12~3 月份;有关参数如下:

运行时间段 H		I (4~11 月份)	II (12~3 月份)
发酵温度 $T/^\circ\text{C}$		28	22
滞留期 HRC/d		18	23
每日进料量	鲜粪 q_1/m^3	3.42	2.65
	污水 q_2/m^3	2.18	1.7
产气率 $\eta/\text{m}^3 \cdot \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$		1.25	0.95
鲜粪温度 $T_1/^\circ\text{C}$		24	16
污水温度 $T_2/^\circ\text{C}$		17	11
平均气温 $T_0/^\circ\text{C}$		18.14	-1.4

能量输出率 η 由下式求出:

$$\eta = \frac{N_0 - N}{N} \quad (1)$$

式中 N_0 —全年产沼气的总能量;
 N —全年工程消耗的总能量。

$$N = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5 \quad (2)$$

① 池体全年散热量 J_1

首先用西德 JC10 型温度记录仪对该池进行了 24 h 温降测定,并通过计算得知池体散热量 J 、池内、外温度差 Δt 和池体散热的表面积 S 。根据 Randolf 计算公式^[3] $J = K \cdot \Delta t \cdot S$ 即可求出该池体的散热系数 K 值 ($2.72 \times 10^4 \text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)。再根据此 K 值和 I、II 运行时间段有关的 Δt 和 $S=124\text{m}^2$,利用上述公式求出 J_1 :

$$J_1 = J_{1-i} + J_{1-1} \quad (3)$$

由于 $J_{1-1} = 19167.17 \times 10^3 \text{kJ}$, $J_{1-i} = 22742.7 \times 10^3 \text{kJ}$, 得出
 $J_1 = 41909.9 \times 10^3 \text{kJ}$

② 发酵原料的全年加热量 J_2

设:鲜粪与污水的比热 C 均为 $4.1868 \text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

$$J_2 = C \cdot q \cdot \Delta t \cdot H \quad (\Delta t = T - T_1 \text{ 或 } T_2) \quad (4)$$

又

$$J_2 = J_{2-1-1} + J_{2-1-2} + J_{2-1-1} + J_{2-1-2}$$

式中 J_{2-1-1} I 段鲜粪加热量 $= 13748.1 \times 10^3 \text{kJ}$;

J_{2-1-2} I 段污水加热量 $= 24095.9 \times 10^3 \text{kJ}$;

J_{2-1-1} II 段鲜粪加热量 $= 7988.4 \times 10^3 \text{kJ}$;

J_{2-1-2} II 段污水加热量 $= 9395.2 \times 10^3 \text{kJ}$ 。

则 $J_2 = 55225.6 \times 10^3 \text{kJ}$

③ 机械搅拌全年耗能 J_3

$$J_3 = e \cdot N_e \cdot h \cdot H \quad (5)$$

式中 e —换算系数 $3600 \text{kJ}/\text{kW} \cdot \text{h}$;

N_e —电机功率, kW;

h —每日工作小时。

搅拌电机 0.6kW, 每日工作 3 h。则 $J_3 = 2332.9 \times 10^3$ kJ

④ 提升机耗能 J_4

提升电机 1.5kW, 每日工作 0.7 h, 按 J_3 计算公式得: $J_4 = 1360.7 \times 10^3$ kJ

⑤ 污水泵耗能 J_5

污水泵电机 1.5 kW, 每日工作 0.13 h, 按 J_3 计算公式得出: $J_5 = 252.9 \times 10^3$ kJ

又因 J_1 和 J_2 由沼气锅炉提供, 故应考虑锅炉的热效率 η_1 (此值取 65%), 则

$$N = [(J_1 + J_2)/\eta_1] + J_3 + J_4 + J_5 = 1533385.5 \times 10^3 \text{ kJ}$$

全年产沼气的总能量 N_0 为第 I 阶段产能 N_1 与第 II 阶段产能 N_2 总和, 故

$$N_0 = N_1 + N_2 \quad (\text{沼气热值 } \lambda \text{ 取为 } 23027.4 \text{ kJ/m}^3)$$

⑥ I 段产沼气能量 N_1 (运行时间 H_1 为 8 个月, 每月按 30 天计算)

$$N_1 = \eta_{v1} \cdot V_{\#} \cdot H_1 \cdot \lambda = 1.25 \times 100 \times 30 \times 8 \times 23027.4 = 690822 \times 10^3 \text{ kJ}$$

⑦ II 段产沼气能量 N_2 (运行时间 H_2 按 4 个月, 每月 30 天计算)

$$N_2 = \eta_{v2} \cdot V_{\#} \cdot H_2 \cdot \lambda = 0.95 \times 100 \times 30 \times 4 \times 23027.4 \\ = 262512.3 \times 10^3 \text{ kJ}$$

基于上述各项所得, 可知全年能量输出率 η 为:

$$\eta = \frac{953334.3 \times 10^3 - 153385.5 \times 10^3}{953334.3 \times 10^3} = 84\%$$

4 北方畜禽粪沼气工程经济发酵温度问题

这个问题对长江流域以北地区有一定的普遍意义。“经济发酵温度”, 我们认为起码应具备两个概念: 既能满足对沼气产量的基本需要又同时具有较高的能量输出率。

通过计算表明, 本工艺所采用的卧式机械搅拌装置的机械装置耗能、池体散热和发酵液加热分别占总耗能的 3%、42% 和 55%; 而且随着发酵温度的提高, 池体散热所占比例下降, 而发酵液加热所占比例上升。所以发酵液加热量是耗能中的主要成分而发酵温度又是其决定因素。所以, 在满足基本需要的前提下, 降低发酵温度最为有利, 当然也只有本工艺及其装置才有这样的可能。

根据本工艺及其装置, 在北京地区冬季(2月份)所做的发酵温度 T 与能量输出率 η 曲线

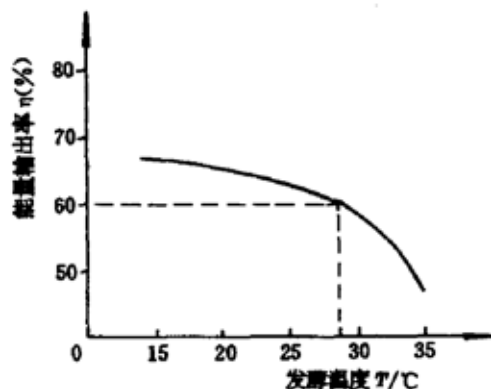


图2 冬季发酵温度与能量输出率关系曲线

表明(见图2): T 为 15°C 时, η 变化不大, 相差 5% 左右, 而且都大于 60%; 当 T 大于 28°C 后, η 急剧下降, 35°C 的 η 已低于 50%。这也是本工艺在北京地区, 保证产气率为 $1.0 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 左右, 采用 28°C 和 22°C 的阶段时间运行的原因。

由于北方地区的农村,冬季仍需用煤来取暖,炊用与取暖相结合,对沼气需要量降低。所以,冬季降低发酵温度是可行的。当然,各地温度差异很大,其发酵温度也应因地制宜选择。南方地区采用 $28\sim 32^{\circ}\text{C}$ 发酵温度,显然是可行的。另外,若利用沼气发电机组余热和太阳能加温沼气池,理应另当别论。

5 应用情况

本工艺及其卧式机械搅拌装置,除1985年北京郊区建有 $4\times 100\text{ m}^3$ 沼气工程外,1991年已在上海宝山县两个大型猪场,分别建了 $5\times 150\text{ m}^3$ 和 $2\times 150\text{ m}^3$ 沼气工程两座,运行效果良好,并获上海市有关系统的表彰。1992年又在上海崇明兴建 $4\times 150\text{ m}^3$ 沼气工程一座。

6 结 论

(1) 本工艺将“塞流、混合(搅拌)、高浓度”三种畜禽粪沼气发酵工艺融为一体,相互取长补短,使其池容产气率远高于一般全混合沼气发酵工艺;由于使配料污水量减少一半,相应也减少了这部分无用的热耗,以节能的机械搅拌装置(0.6 kW)替代了耗能大的进料搅拌液泵($7.5\sim 11.0\text{ kW}$),故使其作为一种生物能装置,全年能量输出率大为提高(80%以上),比一般全混合工艺可高出25%~30%。

(2) 本工艺及其沼气工程,省去了预处理池、配料池、液泵及泵房等,使工程投资下降20%左右;操作运行简便、运行费用降低。

(3) 经济发酵温度的采用,具有一定的实用意义,特别是我国北方地区;而本工艺及其装置为此提供了有利条件。

(4) 本工艺采用的卧式机械搅拌装置,可根据各大中型畜禽场粪便处理的需要,进行 100 m^3 或 150 m^3 单体池的任意组合,设计与施工速度快,有利于该类型发酵装置的标准化工作。

(5) 鉴于本工艺及其卧式机械搅拌装置具有高产、低耗、使用方便和节省投资等特点,故可在我国大多数人工清粪为主、水冲为辅的畜禽场粪便处理工程中推广应用。

参 考 文 献

- 1 冯孝善,方士编著. 厌氧消化技术. 杭州:浙江科学技术出版社. 1989,108~112,157~162
- 2 Pande D R, F De Poli and A. Tilche. 卧式沼气池设计中的一些问题. 第五届国际厌氧消化讨论会论文集. 1988,5:453~456
- 3 中国科技情报所重庆分所编. 农用沼气池的设计和运转. 国外沼气资料. 1982,(1-2):26

A New High Output and Low Energy Consumption Biogas Fermentation Technology

Li Changsheng

(*Chinese Academy of Agricultural Engineering Research and Planning*)

Abstract

The main goal of the design of a good biogas digester is the high productive output per unit volume of the fermentation chamber with low energy consumption. In order to reach the goal, in the author's mind, the most important thing is what kind of fermentation technology used. In this paper, the author wishes to present a new design of biogas fermentation technology which has been used in some digesters in Beijing and Shanghai Municipalities in China. Each one of them got successful results.

The new design is to fit the features of most animal farms in China that they mainly use the manpower to clean the animal excrements which are used as the raw materials for biogas production. Surely, some farms may use the water to wash down all the excrements too.

In the customary design, there are three types of fermentation technology to be used in the biogas digesters. They are as follows; the first type is the forced sludge drain type equipped with certain device inside the fermentation chamber; the second one is to mix the sludge and newly feeding raw materials together by a stirrer; the third one is that the digester is feeded with the high concentrated solid raw materials. Each one of them has its own merits and demerits. Now, the author has adopted some of the merits of these three types and added authors' some new idea to make a new design of fermentation technology on the horizontal, mechanically stirred, and heat added digesters. All these digesters reached the goals of high gas productive rate based on the volume of the fermentation chamber, less energy consumption by the digester itself, simple structure, less investment and easy to operate.

Besides the new fermentation technology, the paper also presents the structure of the digester, the facilities to be equipped and the testing data of the experimental digesters.

Key words Biogas digester New technology of biogas fermentation Forced sludge drain type Sludge and raw material mixture with stirrer type High concentrated solid raw material type