

我国北方地区奶牛场粪便 中温厌氧消化装置试验研究

汤文秀 王孟杰

(中国农业工程研究设计院)

提 要

本文通过对300米³中温发酵装置的运转试验,分析研究了奶牛粪便产气量与干物质浓度、池温的关系;中温运行耗能及输出能的影响因素。通过对试验的研究分析,得出了本装置消化器保温性能、运行温度、环境温度对输出能的影响,并评价了装置的合理性。

牲畜粪利用厌氧消化技术处理,即可减轻对环境的污染,又能提供部分能源——沼气,并获得速效的、无害化的有机肥料。据统计每天每头体重为600公斤的奶牛的粪便可产沼气1.5米³、400公斤的肉牛的粪便可产沼气1米³、90公斤的猪的粪便可产沼气0.2米³、2公斤的家禽的粪便可产沼气0.01米³,牲畜粪便的产气潜力是很可观的。

我国北方地区温度低,如何使牲畜粪便在短时间内消化快,获得高的产气量,并且在在中温发酵条件下有较高的能量输出,必须创造良好的甲烷化条件和环境,即合理的沼气发酵工艺和先进的工程装置。为此我们进行了北京金星牛场300米³中温厌氧发酵装置的试验研究。

金星牛场位于北京南郊,有乳牛336头。每天排出约10吨粪便,每年可排3600吨粪便。

牛场能源短缺,特别是电力不足。由于停电不能及时制冷,牛奶经常变质。牛场急需利用牛粪制取沼气,解决电力不足的问题,并提供部份热源。

1984年夏季建成300米³中温发酵装置并开始运转。现已运转两年多。每天处理6吨粪便,平均日产沼气180~200米³。除去烧热水及食堂用外,每天还可发电150千瓦,供挤奶及奶品制冷用电。沼渣施于农田和养鱼。

整套设施包括消化器、操作间、贮气间、沼气发电机房。

消化器为半地上纺锤型(见图1)。结构为钢筋混凝土。消化器内径7米,总高11.5米,地上高7.85米。消化器保温层为加气混凝土,厚度25厘米。围护结构为37厘米厚的砖墙。

发酵工艺采用中温全混式发酵。乳牛粪便干物质浓度20%,进料浓度7%,滞留期20天,按下式计算消化器的容积为:

$$V = \frac{6 \times 20\% \times 20}{70\% \times 1.15} = 298 \text{米}^3$$

取整数为300米³。设计后实际容积为289米³,有效容积266米³。

搅拌采用水射器(见图2)。水射器安装在消化器的中心。泵进的料液通过水射器冲向池底从四周翻起形成循环达到搅拌的目的。热交换器加热料液,形成对流,也起到了一定搅拌

作用。

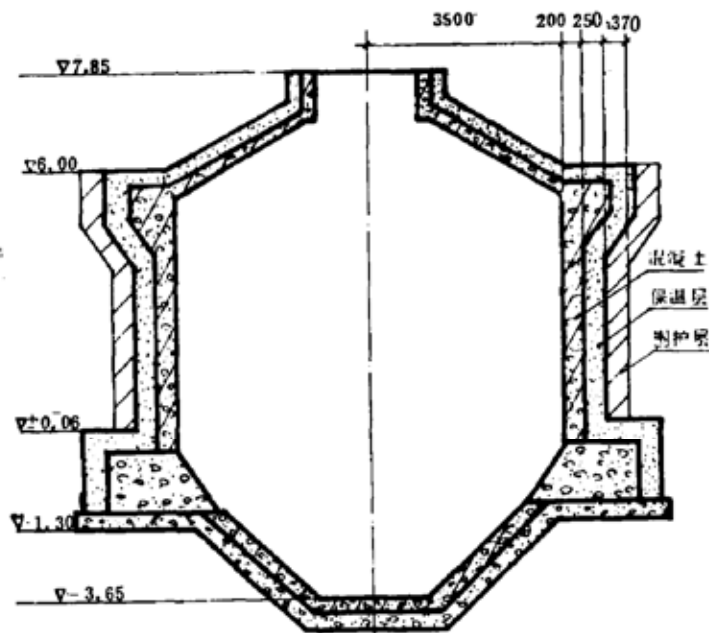


图1 消化器

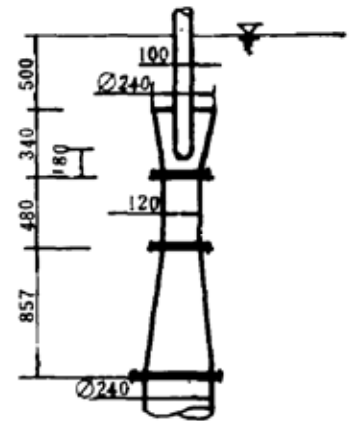


图2 水射器

热交换在消化器内进行。热交换器采用盘管式。管径60毫米，总长90米，热交换器面积16米²。沼气燃烧使水升温，通过热交换器对料液加温。

贮气装置采用低压柔性贮气袋。

本装置的工艺流程如图8所示。鲜牛粪由操作间墙外进料口流入配料池，加水或加消化器的回流上清液调节干物质浓度到6~8%，并由泵进行搅拌。料液搅拌均匀后，由进料泵经上部进料管泵入消化器。

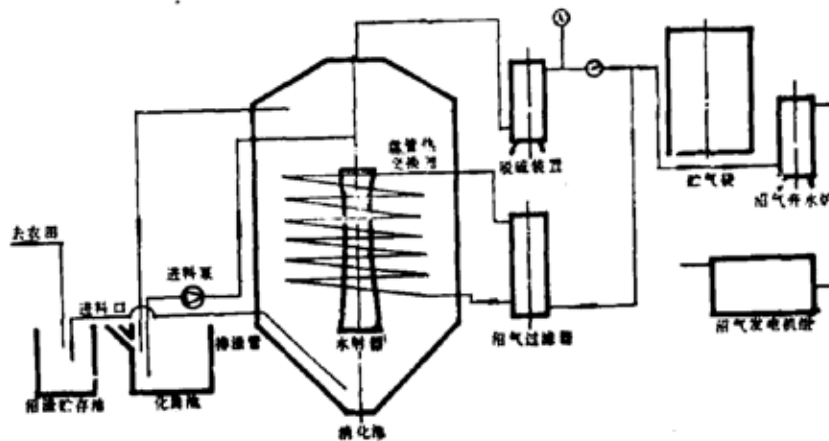


图8 工艺流程

两年来我们对本装置的产气性能及中温运转耗能等问题进行了一定的试验研究。

产气性能

金星牛场奶牛粪便中温35℃产气潜力试验结果表明，周期60天，产气254升/公斤粪便。从产气曲线看出，滞留期20天达到产气总量的74.6%，即每公斤干物质产气200升。消化器每

日进料 15米³,其中干物质浓度为 7%,折合干物质为 1.05吨。按产气潜力计算,日产沼气 240米³。该场牛粪中挥发性固体占 70%,则每公斤挥发性固体产气 0.34米³。

表 1 列出了 85 年到 86 年测定的部份运行数据。从表 1 可以得出挥发性固体含量与产气量的关系(见图 4)。图中粗斜线为小试结果,细实线为测定值。装置的挥发性固体负荷率约 2.5公斤/米³·日~3公斤/米³·日,每公斤挥发性固体产气量约 0.25~0.27米³。

通过小时产气量的测定可以看出,牛场 300米³中温发酵装置为牛粪的厌氧发酵提供了理想的甲烷菌生长的条件,具有较强的消化能力。

表 1 运 转 参 数

测定日期	进料干物质 浓度(%)	进料挥发性固 体VS(公斤/米 ³)	日产气量 米 ³ /日	单位产气量 (米 ³ /公斤VS)	池 温 ℃	VS 负荷 (公斤/日·米 ³)
85.7.26	3	21	77	0.26	38	1.05
7.29	3.2	22.4	79.3	0.28	38	1.12
8.3	4	28	103	0.27	38	1.44
8.7	4.5	31.5	111	0.24	38	1.575
8.9	4.3	30	94	0.26	38	1.5
8.11	4.2	24.5	80	0.26	41	1.2
8.12	4	21.7	88	0.27	41	1
8.15	4.5	31.5	108	0.31	41	1.575
10.15	6	42	164	0.31	35	2.1
10.16	6.8	47.6	182	0.32		2.38
10.17	6.9	48.3	190	0.29	33	2.415
10.18	7.3	51.1	207	0.27		2.6
10.19	8	56	210	0.26	34	2.8
10.20	8	56	200	0.28	35	2.94
10.21	8	56	195	0.27		2.94
10.22	7.3	51.1	176	0.27		2.5
10.23	7.8	54.6	191	0.21		2.73
10.24	7.4	51.8	142	0.24		2.59
10.25	8.6	60.2	184	0.26	34	3.01
10.26	7.9	55.3	188	0.28		2.765
10.28	6.5	45.5	167	0.29		2.275
10.29	6.7	46.9	173	0.28		2.345
10.30	6.5	45.5	167	0.28		2.275
11.1	7.3	51.1	184	0.28	35.5	2.6
11.2	6.2	43.4	186	0.33	35.5	2.17
11.4	6.1	42.7	180	0.32	35	2.135
11.5	5.8	40.6	161	0.31		2.03
11.6	6.7	46.9	185	0.3	35.5	2.345
11.7	6.7	45.5	178	0.3		2.275
86.1.15	7.2	50.4	154	0.23	32	2.52
1.18	7.8	54.6	161	0.22	32	2.73
1.18	7.9	55.3	162	0.22	33	2.765

图 5 示出了小时产气量的曲线。从曲线上看出进料后两小时便可达到产气高峰,此高峰可延续 3~4 小时。高峰后 10 小时小时产气量比高峰值低 20% 左右。

池温对产气量有较大影响,如图 6 所示。当挥发性固体含量为 2.5 公斤/米³时,池温 32℃,

35℃, 38℃, 41℃和 45℃时产气量分别为 145, 170, 180, 188, 192米³/日。随温度升高, 产气量增加, 但增长的幅度逐渐下降。随温度升高, 产气相对增长率分别为17%, 13%, 6%, 2% (见图7)。

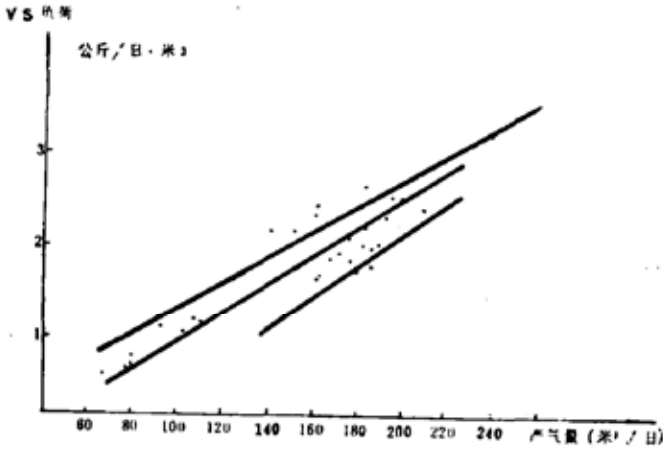


图4 挥发性固体含量与产气量的关系

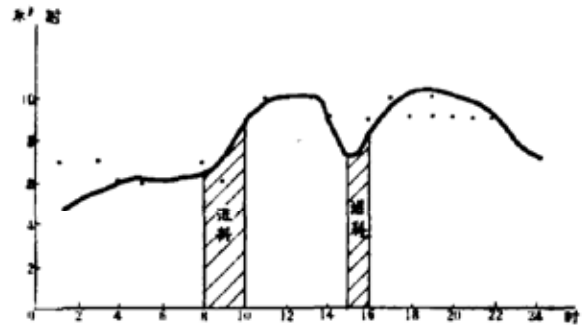


图5 小时产气量

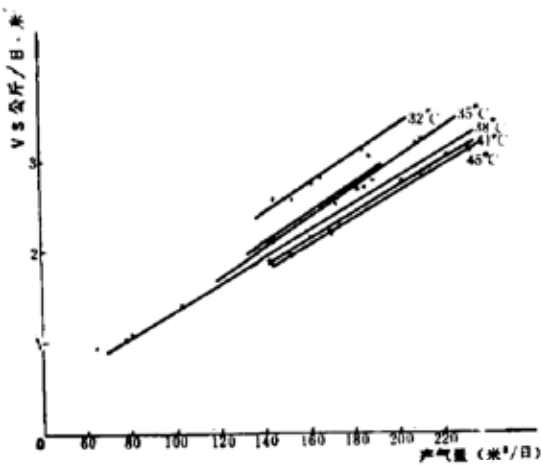


图6 池温与产气量的关系

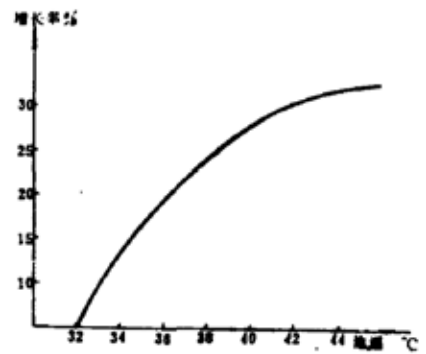


图7 池温与产气增长率

中温运行耗能与输出能

消化器在中温条件下运行必须消耗一定的能量。耗能量与消化器的保温性能、新鲜料液温度、运转温度、环境温度等有关。

消化器保温:

消化器采用25厘米厚加气混凝土做保温材料。加气混凝土的传热系数为0.029~0.05千焦耳/米·时。设计计算消化器温降速度为0.5℃/日。夏季消化器散热测定值列在表2上。测定时液化器供热停止, 不用回流上清液升温。10天池温共降3.2℃。料液比热为4.1840焦耳/克·度, 10天共散失热量 3561420.8 千焦耳, 每天散失热量 356142.08千耳焦。每米³沼气的热值为 20720 千焦耳, 则每天需补充16米³的沼气。消化器每日产气 200 米³, 夏季耗能不足10%。

1月份维持中温发酵供给热量的测定值见表3。每日进料15米³, 与回流上清液混合后的料液温度为22℃。除去新投入料液从22℃提高到33℃需要690360千焦耳热量外, 供给的其余

热量补充消化器散失的热量,即547041千焦耳。消化器的温降速度为 $0.491^{\circ}\text{C}/\text{日}$ 。池温 32°C 和 35°C 时,温降速度分别为 $0.471^{\circ}\text{C}/\text{日}$, $0.634^{\circ}\text{C}/\text{日}$ 。

表 2 夏季 消化器 散 热

测 定 日 期	池 温 $^{\circ}\text{C}$	环 境 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	
		最 高	最 低
8月6日	41.2	30	21
8月7日	40.9	30	22
8月8日	40.5	34	22
8月9日	40.2	32	21
8月13日	39.5	31	21
8月16日	38	32	22

表 3 1 月 份 供 热 测 定 值

测定日期	供给热量 (千焦耳)	池 温 ($^{\circ}\text{C}$)	新鲜料液所需热量 (千焦耳)	消化池散热补充的 热量 (千焦耳)	环境温度 ($^{\circ}\text{C}$)	
					最 高	最 低
86年1月15日	1152901.2	32	627600	525301.2	6	-8
86年1月17日	1521553.44	35	815880	705673.44	6	-8
86年1月18日	1237401.64	33	690360	547041.0	6	-7

运行温度:

随着运转温度的提高,新投入料液的增温及消化器所需补充的热量随之增加。图 8 示出了环境平均温度为 -1°C ~ -2°C 时不同池温耗能的曲线。从图 8 可以看出,池温 33°C 比 32°C 耗能增加7.3%, 35°C 比 33°C 耗能增加23%。

环境温度:

干物质含量为6%,池温为 35°C 环境温度与消化器耗能的关系见图 9。随着环境温度的降低,消化器耗能增加。环境温度从 25°C 降到 0°C 时,耗能增加62%。

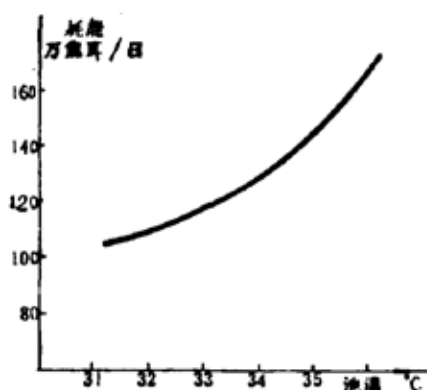


图 8 不同池温耗能

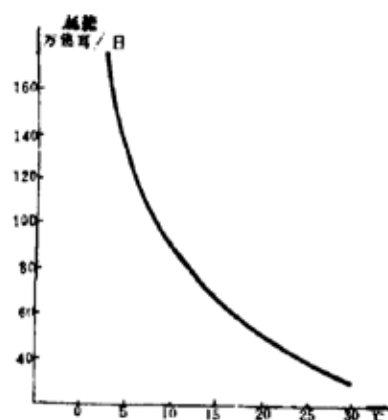


图 9 环境温度与耗能

输出能量:

装置所产生的沼气除自身消耗外,其余为输出能。输出能的多少是衡量装置运转状态的重要标志。牛场 300米^3 中温发酵装置耗能与输出能的关系见表 4。从表中看出夏季输出能达

80%以上。冬季最冷季节输出能占54%。如果采用33℃中温运行,冬季输出能可达60%。

表4 消化器耗能与输出能

测定日期	产气量 米 ³ /日	折合能量 千焦耳/日	耗能 千焦耳/日	输出能		平均环境温度 ℃
				千焦耳/日	%	
85年10月17日	190	3974800	794960	3176840	80	15
85年11月6日	185	3870200	1161060	2799140	72	7
86年1月17日	165	3681920	1657868	2024052	54	-7
86年4月15日	190	3994800	28000	2694800	67	10

讨 论

通过对牛场300米³中温发酵装置试验结果的分析研究,我们认为:

1. 金星牛场300米³中温发酵装置工艺合理,设备简单,操作管理方便,性能可靠,宜于推广使用。

2. 小时产气量测定结果表明,该装置菌种富集好,消化速度快,投料后两小时即出现产气高峰。

3. 北方地区采用中温厌氧消化处理牲畜粪便技术是可行的。关键在于消化器保温措施、新鲜料液输送时温降、运转温度选择及热交换器效率。平面布局和系统设计要紧凑合理。

冬季新鲜料液输送到配料池时温度为4~6℃,与回流上清液混合搅拌后,温度提高到22℃。当池温33℃时,投入新鲜料液增温所需热量占总耗能的56%,消化池散热需补充的热量占44%。因此提高保温性能和减少新鲜料液输送时的温降,对消化器中温运转都是重要的。

鲜牛粪刚排出时具有牛的体温,很快降到室温,但粪中心还具有一定温度。输送粪便装置布局合理,鲜牛粪入池温度可达10℃,投入料液增温所需热量可降低28%。

牛场300米³沼气池采用25厘米厚的加气混凝土保温,设计温降速度为0.5℃,如果加厚保温层采用更好的保温材料使温降速度为0.4℃/日时,则消化器散热量比原来降低35%。

运行温度对产气量有较大影响。但超过35℃时产气量增长幅度下降。

4. 北方地区中温厌氧消化处理牲畜粪便具有一定的经济效益。牛场300米³中温发酵装置冬季最冷季节54%能量供输出。能量输出多少与装置自身耗能有关。自身耗能包括设备所用动力(如进出料泵等),及供加热的沼气锅炉。由于泵等每日工作时间不超过305分钟,因而自身消耗主要为维持中温所需的热量。提高产气量,降低供给热量可使输出能量增加。提高运输温度可使产气量提高,但增加了供给的热量。因此必须在一定的运转温度下,使二者统一,既可增加产气量,又使供热不增加的太多。例如35℃运行温度产气量比33℃时,多产25米³沼气合523,000千焦耳,维持35℃中温运行比33℃运转时多耗能253,346千焦耳,即35℃比33℃多输出能269,654千焦耳,38℃比35℃多产气10米³,合209,200千焦耳。38℃比35℃耗能增加467,246千焦耳热量。由于提高温度所增加的沼气能不仅没有增加输出能,还需补充供热2,580,464千焦耳。因此38℃运转温度是不经济的。如果环境温度比北京地区高或低,那么以上结论也随之变化了。

参 考 文 献

- [1] 徐曾符主编: 沼气工艺学 农业出版社 1981.
2) D.L.Hawkes: “影响中温厌氧消化净能产量的因素” 《国外沼气资料》1986.6
[3] 汉斯.W奥尔特: “粪便料液传热系数的确定” 《国外沼气资料》 1982.12

EXPERIMENT AND RESEARCH ON MESOPHILIC
ANAEROBIC DIGESTER WITH DAIRY CATTLE
MANURE IN NORTHERN CHINA

Tang Wenxiu, Wang Mengjie

(Chinese Academy of Agricultural Engineering
Research and Planning)

ABSTRACT

By the test on the operation of a 300m³ mesophilic temperature—digestion plant, the paper represents and analysis the relationship between biogas production yield from cows manure and dry mass concentration, BPY with operation temperature in tank, net energy production with energy consumption requirement under condition of mesophilic operation.

According to analyses on the test, we gain factors effecting net energy production which include insulation performance of a digester operating emperature, ambient temperature. Meanwhile evaluate the rationality of the plant.