

高温沼气发酵 处理城市粪便的研究

张梦麟 黄爱光 魏文惠
(青岛市卫生防疫站)

一、工艺流程

如图1所示,粪便运来后,倾入计量验收池,测量数量及比重,通过格栅流入沉淀池,将杂物除掉,使粪便自然地分为粪皮、粪液和粪渣三层。中层粪液放入贮存池,余下的粪皮和粪渣用污泥泵在沉淀池内混匀,再经格栅进一步除掉杂物,泵入投料计量池。脱去粪液的粪便,含水率要求不高于95%。粪便经计量后投入沼气发酵池。每日投料的数量,一般占沼气发酵池装料容积的10% (即投配率为10%),投料前须放出等量的发酵粪便。发酵池每两小时用污泥泵搅拌10分钟。发酵温度要保持在 $53\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内,粪便在此产生沼气,同时完成无害化处理过程,产生的沼气供锅炉燃烧发生蒸气,通过盘管加热沼气发酵池,维持池温。

二、正常运转的条件

正常运转,实际上是以保持高温沼气发酵池内微生物的生态平衡来进行的。甲烷菌

城市粪便是市郊农业生产的重要肥源之一,不过其中含有大量的蠕虫卵和致病菌,如果不及时处理,就会成为孳生蚊蝇、污染环境、传播疾病的重要因素。青岛市城市粪便无害化研究小组为了解决这一问题,自1965~1972年对城市粪便进行了高温沼气发酵的试验研究工作,取得了较好的成果。

高温沼气发酵进行粪便无害化处理是利用粪尿中有机物,在隔绝空气和保持一定水分、温度和酸碱的条件下,使厌氧性生物繁殖,把有机物转化为菌体和甲烷等,再利用沼气燃烧锅炉产生蒸气,从而加热沼气发酵池,利用厌氧环境和 53°C 高温杀死粪便中蠕虫卵和致病菌,达到无害化目的。实践证明,这种方法不仅能达到无害化和提高肥效,而且剩余的沼气还可以综合利用。这是解决城市粪便污染、改善环境卫生、保护环境、支援农业生产、广泛利用生物能源的一个行之有效的方法。

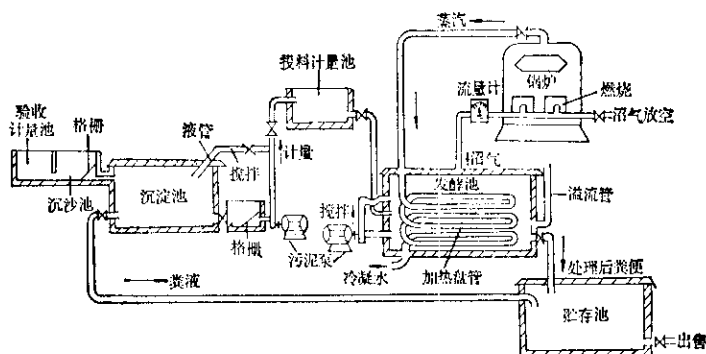


图1 高温沼气发酵池处理粪便结构组成及工艺流程示意

群对生活条件的要求是非常严格和敏感的,它可以通过一些生产指标反映出来。因此掌握和利用其生活特性而设计的工艺流程和运转条件,是保证正常运转所必需遵守的条件。

(一)培养菌种 高温沼气发酵的第一步是通过自行培养法或引进法获得甲烷菌种。自行培养法按沉淀后的粪便、污泥以1:2配料。引进法按发酵液、粪便以1:2配料。用石灰水澄清液调 $\text{pH}7.2\sim 7.6$,通入蒸气升温,一般每30分钟搅拌一次,每次5分钟(使池内温度均匀即可),3~7天均衡升温至 53°C ,立即停止搅拌,进入静止培养期。

当沼气产量达高峰后，静止培养菌种结束，开始正常运转。总共需要的时间，自行培养法需10~15天，引进法需7~10天。

(二) 投配率 投配率应适应沼气发酵池的消化能力，680 立方米沼气池按 7 %、10 %、13 % 三种投配率进行了试验，平均每日的沼气产量分别为995.7、1231.0、1208.4 立方米，以10 % 投配率较好。

(三) 含水率 沼气发酵需要适当的含水率，投料含水率控制在93 % 左右较好，最高不超过95 %。含水率太高，使用沼气池容积过大，不经济。含水率过低会使发酵中积累有机酸过多，妨碍正常发酵，沼气产量下降。如现场小型试验做的93 %、95 % 两种含水率试验，每吨粪便的日平均沼气产量分别为27.2立方米和22.5立方米。

(四) pH值 沼气发酵在 pH7~8 的条件下就能顺利进行，正常运转中不必把投料的 pH 值调到这一范围，因为在发酵过程中由于厌氧性分解，可使 pH 上升达到这一范围。如因某种原因 pH 在 7 以下时，沼气发酵的能率就会下降，应设法调整，如加石灰水澄清液等。

(五) 池内温度 高温沼气发酵池内温度是一项反映粪便无害化处理的重要指标。甲烷菌对温度比较敏感，温度如有较大的波动，就会妨碍甲烷菌的活动，使发酵情况变坏。根据多年试验及运转情况，高温发酵温度保持在53℃为宜，波动范围不超过±2℃，这个温度既能达到粪便无害化的目的，又能提高沼气产量，因此对温度应严格控制。

我们观察了10 % 投配率的 680 立方米发酵池，3、6、8、12月份的日内每间隔两小时平均池温（见图 2），1、4、7、10 月份的日平均池温（图 3）。两图表明，只要加强管理，保证正常运转，一年四季的日平均池温都能保持在53±2℃的范围。

(六) 搅拌：高温沼气发酵池内的粪便容易形成坚实的粪皮和比重较大物质的沉淀层，

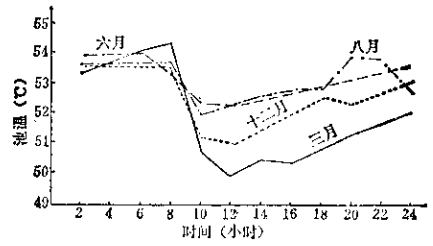


图 2 高温沼气池不同季节池内昼夜温度的变化

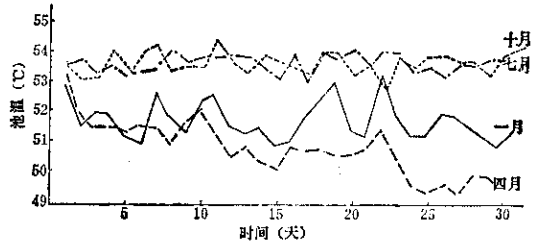


图 3 680 米³ 高温沼气发酵池四季平均池温波动范围

若不充分搅拌，不但会使池内发酵容积减小，而且时间一长就能导致池内发酵终止；并且由于水压的关系，池底部的气体 and 硫化物成过饱和状态，因而抑制了挥发酸的蓄积反应，气体和硫化物不能得以扩散，影响发酵。良好的搅拌能打破粪皮，使沉渣浮起，使粪便与菌体充分接触和池内温度均一化，这样发酵池的实际利用率也就提高了，其结果不但能提高处理效率，并能提高沼气产量。如 320 立方米发酵池搅拌与不搅拌的日平均沼气产量分别为481.9立方米和338.0立方米。

三、效果与评价

(一) 沼气产量与沼气组分 在保持池温53±2℃、水分93 %、投配率7 % 的条件下，不同类型发酵池（缸）每吨粪便的沼气产量见表 1。

只要发酵池内环境比较恒定，沼气组分就变化不大。680 立方米发酵池正常运转时测得的沼气组分百分比分别为：甲烷56、二氧化碳 30.9、氢2.9、一氧化碳 1.2、氧1.4、碳氢化合物 0.5，各种类型发酵池所产沼气的

甲烷含量在54.8~56%间。

(二) 沼气发热量和发酵池组耗热

沼气发热量=QCH₄·nCH₄+QCO·nCO+QH₂·nH₂+QC_nH_m·nC_nH_m
=8525×56%+3045×1.2%+2580×2.9%+1940×0.5%=4891.1千卡/米³

沼气发酵池组耗热主要包括投料、池壁、池盖、输热管道的耗热。680立方米发酵池组(3个)10%投配率6月份、11月份的日平均耗热情况表明,按池组日产沼气3693立方米计算,夏季可剩余沼气1/2~1/3,冬季可剩余沼气1/3~1/4。如果使用良好的沼气燃烧器和有节制的燃烧沼气,剩余量可

更多一些。

(三) 卫生学效果 1.不同类型高温沼气发酵池粪便发酵前后的大肠菌菌值和蛔虫卵死亡率见表2。从表中可以看出,经高温沼气发酵处理后,粪便中的大肠菌菌值从10⁻⁴~10⁻¹²变为>10⁻¹~10⁻⁴,蛔虫卵死亡率从5~40%变为95~100%。两项结果均达到我国现行规定的《粪便无害化卫生学评价标准》的要求。2.高温沼气发酵处理前后的肥分测定见表3。氮、磷、钾的变化一般不大,速效氮增高非常显著(P<0.01),500立方米发酵池增高75.3%,680立方米发酵池增高12.8%。

不同类型高温沼气发酵池(缸)的沼气产量 表 1

时 间	池 型	样 本 数	含水率 (%)	pH	每吨粪便产气量(米 ³)	
					最小值~最大值	平 均
1970.9.30	实验室圆型沼气池	10	93	7.99~8.35	26.0~31.5	27.2
1970.9.30	现场圆型沼气池	10	93	8.00~8.30	24.9~31.1	27.2
1972.7.23	长方型模型沼气池	34	93	7.70~8.01	19.2~41.0	29.4
1972.3.11	现场圆型沼气池	90	93	7.45~8.40	20.9~41.1	22.6
1978.1.1	320米 ³ 沼气池	90	93	7.5~8.0	21.4~32.2	26.8
1979.11.7	680米 ³ 沼气池	8	93	8.0	21.7~27.1	24.6

不同类型高温沼气发酵池发酵前后的大肠菌菌值和蛔虫卵死亡率 表 2

类 型	大 肠 菌 菌 值				蛔 虫 卵 死 亡 率 (%)			
	发 酵 前		发 酵 后		发 酵 前		发 酵 后	
	样 品 数	结 果	样 品 数	结 果	样 品 数	结 果	样 品 数	结 果
模型及小型现场	20	10 ⁻⁶ ~10 ⁻¹²	20	>10 ⁻¹ ~10 ⁻²	20	20~30	20	100
500米 ³ 沼气池	9	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷	18	>10 ⁻¹ ~10 ⁻⁴	11	20~40	45	95~100
680米 ³ 沼气池	26	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁸	46	>10 ⁻¹ ~10 ⁻⁴	31	5~40	21	95~100

500米³及680米³高温沼气发酵前后的肥分测定 表 3

沼 气 池	样品种类	全 氮 (%)			速效氮(毫克%)			磷 (%)			钾 (%)		
		份数	结果	P 值	份数	结果	P 值	份数	结果	P 值	份数	结果	P 值
500米 ³	发 酵 前	12	0.37	>0.05	12	219	<0.01	11	0.21	>0.05	11	0.059	>0.05
	发 酵 后	12	0.37		12	384		12	0.14		12	0.059	
680米 ³	发 酵 前	48	0.40	>0.05	46	297	<0.01	43	0.21	<0.001	48	0.072	>0.05
	发 酵 后	48	0.41		48	335		48	0.15		48	0.072	

四、讨 论

(一) 培养高温甲烷菌种问题 我们运用了多种原料配比进行优良菌种的筛选。在实验室阶段选用粪便、污泥比为1:2, 粪便、污泥各半配料, 纯污泥进行培养, 结果以纯污泥最好。320 立方米发酵池按粪便、污泥比1:2配料, 获得了成功, 680 立方米发酵池按发酵液、粪便比1:2配料, 效果更好。

自然界中的甲烷菌一般分为低、中、高温三类型。高温型数量极少, 因此高温菌种的培养过程也就是对其它类型甲烷菌的驯化, 使之在高温环境中生长繁殖。培养菌种的升温时间不能过长, 过长可促使发酵液中有有机酸积累过多, 导致失败。我们采用3~7天内均衡升温至53°C就开始静止培养, 仅用10~15天的时间就获得成功。多次实验证明, 静止培养菌种是后期成败的关键, 因为连续搅拌使发酵液持续曝气, 不能保持厌气状态, 发酵就被抑制, 这是一个值得注意的问题。另外, 在培养菌种时, 人工调节pH为7.2~7.6, 可大大缩短菌种的培养时间。

(二) 运转管理问题 高温沼气发酵过程中, 有机物的分解作用分为两个阶段进行。第一阶段为液化(腐败菌的作用), 第

二阶段为气化(甲烷产生阶段), 所以沼气发酵是酸的生成和气化过程相平衡的复发酵过程。这一过程中的两者平衡是很重要的, 第一阶段酸生成菌的分布直接影响第二阶段, 而第二阶段进行的状态如何, 在很大程度上左右着发酵机能。因此, 从培养菌种到正常运转都应依照工艺流程严格操作。如果一个环节出现的问题得不到及时解决, 形成恶性循环, 再要恢复正常运转就需要较长时间, 所以应充分注意管理问题, 确保沼气发酵细菌的势力平衡不致被破坏。

(三) 无害化卫生学评价问题 粪便的常温和中温沼气发酵一般不能完全达到无害化卫生标准, 而我们做的高温沼气发酵的各种类型试验和大型投产观察结果表明, 粪便中的大肠菌值及蛔虫卵死亡率均达到我国粪便无害化的卫生标准, 而且这种方法还可以缩短粪便无害化处理的流程, 有利于城市粪便处理的周转。

此外, 沼气发酵系统是完全密闭的, 有利于保存肥分, 使发酵后粪便中速效氮含量保持较高水平。也是防止环境污染、控制蚊蝇孳生、搞好城市卫生基本建设、支援农业生产的一项重要措施。

(此研究工作承蒙中国医学科学院卫生研究所潘顺昌同志指导, 特此致谢)。