

国外沼气

第二集

科学技术文献出版社重庆分社

国外沼 气

第二集

农 牧 渔 业 部 沼 气 办 公 室
中 国 沼 气 协 会 编 辑
中国科学技术情报研究所重庆分所
科学技术文献出版社重庆分社 出 版
重庆市市中区胜利路91号
新 华 书 店 重 庆 发 行 所 发 行
科学技术文献出版社重庆分社印刷厂 印 刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 6.25 字数: 18万
1984年10月第一版 1984年10月第一次印刷
科技新书目: 67-246 印数: 3880

书号: 16176·76 定价: 0.60元

国外沼气

一九八四年

第二集

目 录

工 艺 与 装 置

- 介绍三种新的沼气发酵工艺.....顾坚 (1)
- 第三世界的沼气池.....R. F. Ward (10)
- 厌氧处理废水: 气-液-污泥分离器.....R. R. van der Meer等 (21)
- 厌氧消化系统设计特性.....W. Boader (30)
- 莱斯特自动消化器系统的分析.....D. F. Brewin等 (36)

农 业 沼 气

- 厌氧消化器中三种植物病原体的减少.....J. Turner (38)
- 猪粪的常温沼气生产.....A. Wellinger等 (43)
- 鸡粪产沼气的潜力.....J. J. H. Huang等 (49)
- 从农场动物粪肥生产甲烷的能源消耗.....J. R. Fisher等 (53)
- 动物废物甲烷发酵的简化 Monod 动力学.....D. T. Hill (59)
- 应用第二代消化器增加藻类消化中甲烷的产生.....A. Legros (66)

工 业 沼 气

- 用于食品及饮料工业的半生产性及生产性厌氧消化法.....
.....G. K. Anderson等 (69)
- 废水类型对厌氧固定膜和上流式污泥床反应器性能的影响.....
.....L. van der Berg等 (78)
- 用光合细菌从废水厌氧处理的出水中去除硫化氢.....
.....H. A. Kobayashi (83)
- 估计厌氧污泥中乙酸分解产甲烷生物量的一种实用方法.....
.....D. Valcke等 (92)
- 分析技术.....M. S. Salkinoja-Saloner等 (96)

介绍三种新的沼气发酵工艺*

顾 坚

参加1982年中美生物物质转换技术会议的美国专家高许 (Ghosh) 博士 (燃气研究所, IGT) 等在1983年里, 研制了三种 沼气发酵的新技术, 论文分别在 国际 气体 研究会议 (英国伦敦, 1983年6月), 水污染控制56届年会 (美国阿特兰塔, 1983年10月) 以及生物物质燃料及化学品 5 届年会 (美国加林堡, 1983年5月) 上发表。高许博士认为这些研究成果对我国发展沼气技术有参考价值。为此特详细摘要发表, 请从事沼气技术的同志研究探讨。

厌氧发酵技术虽然已有漫长的应用历史, 但只是在近十多年里才致力于研究发展非常规的先进的发酵工艺及设计以改进气化动力学以及整个系统的效率。这些研究包括应用创新的发酵模式、先进的反应器的设计、原料的预处理、消化后残渣的处理及再发酵。已经在研究或建议研究的其它课题, 还有生物化学激励技术, 应用遗传工程、发展优质菌种以提高厌氧消化的反应。不过后面所说的研究还没有充分发展起来。

这里介绍的三种新的沼气技术包括两步厌氧发酵技术和两级厌氧发酵技术。

一、两步发酵处理 城市垃圾的沼气技术研究⁽¹⁾

城市垃圾、人畜粪便、农林残余物以及泥炭, 这些原料本来的含湿度不大, 为生产沼气一般要加水后发酵。Ghosh 等人研究了

两步固体床消化技术。作了两种试验, 一种是以人工配制的城市垃圾为原料的初步研究, 实验室规模。废物床的容积为19升, 酸化池的容积为25升, 厌氧过滤器的容积为4.5升, 如图1所示。三种设备都是密封的, 垃圾床绝热但并不加热。而酸化池及过滤器维持35℃温床, 并利用液体在密闭环路中流动使原料得到搅拌。在固体床上放的原料是人工垃圾, 含有76.6%的废纸, 18.32%的食物和树叶等废料, 3.21%是纺织品废料和1.87%是皮革废料, 总重为1.25公斤。垃圾的固体物重量占93.3%, 其中78.3%是有机物。酸化池内采用了消化的浆状接种物, 在池内还添加了废糖蜜及胨, 当不再产生甲烷时, 表明在接种起始后25天之内, 实现了主要的酸化菌群的发展, 其有机酸的浓度为4000—6000毫克/升。至于固体床是在酸化池起动后36天才投入运转。固体床的顶部, 注入酸化池的菌液, 而将通过固体床后的滤液, 返回酸化池。在起动后的第十天, 酸化池的接种液使固体床充满, 每天只需15分钟, 就可有效地使固体床中的材料全部润湿, 在50天以后就停止运行。

在固体床运行21天后, 产甲烷的厌氧过滤器开始投入。过滤器每天从酸化池注入酸液。而过滤器中的流出液则返回到酸化池, 可从试验中得知, 大约18天过滤器运行成熟。过滤器的滞留时间为21天, 但这一滞留期可能缩短到19天, 然后到10天。

试验说明, 酸化池中酸度达4000毫克/

*本文承浙江农业大学钱泽澍教授审阅, 特此致谢

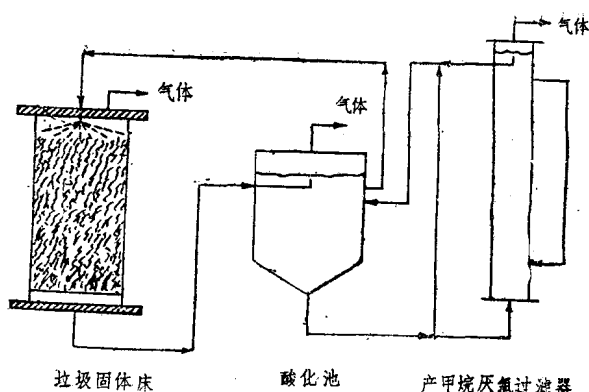


图1 以人造垃圾为原料的固体床两步发酵系统

升时，就不再产生甲烷，从固体床中回流滤液到酸化池后，有机酸的产量就显著增长。有机酸浓度在固体床滤液开始回流之前，平均为5000毫克/升，直到过滤器正常运行时，浓度增加到平均为8000毫克/升。浓度的峰值可达11000毫克/升。固体床和酸化池中的pH值在4.9和5.2之间。从固体床和酸化池中产生的气体，其甲烷含量分别为9.3%和12.9%。酸化池产的气体中有时含氢，其量为4—17.2%。固体床运行期内，各种有机酸的平均浓度为醋酸3600毫克/升；丙酸1050毫克/升；异丁酸210毫克/升；丁酸2660毫克/升；异戊酸180毫克/升；戊酸800毫克/升；己酸100毫克/升。在固体床运行的头15天中，察觉有乙醇，其平均浓度为500毫克/升。

在厌氧过滤器中甲烷的积累产量遵循典型的S形曲线模式。平均甲烷产率为每日0.3。厌氧过滤器中所产气体的甲烷含量从55%到88%，稳定值为80%，添加到过滤器中的有机酸，几乎全部转化。值得指出的是，在酸化池中积累起来的有机酸，当过滤器运行正常后的大约15天时间内就迅速的消耗殆尽，甲烷的产量呈指数增长。

在固体床运行的50天时间内，从固体床、酸化池和过滤器积累的甲烷产量分别为0.2、3.7和57.9升。在运行期间系统总的甲烷产量为每公斤有机质0.07立方米。

这一试验证明固体床内的有机垃圾，当连续注入酸化池的高浓度的有机酸时，能转化为乙酸和脂肪酸。固体床中也会产生气体和甲烷，如果需要，只要维持一较低pH值(5)，并使有机酸浓度高于4000毫克/升，就可以加以抑制。产甲烷的厌氧过滤器，如用垃圾产生的酸液为原料，滞留期为10天，可以使进入过滤器的酸完全转化而得到含甲烷很高(80%)的沼气。

随后进行了以实际的城市垃圾为原料的试验。采用的酸化池和过滤器的体积分别比垃圾床小二个和一个数量级，酸化池中要维持和控制氧化还原电位，使固体床产生的滤液回流以维持较高的湿度促进加速分解。

如图2所示，固体床的体积为100升，

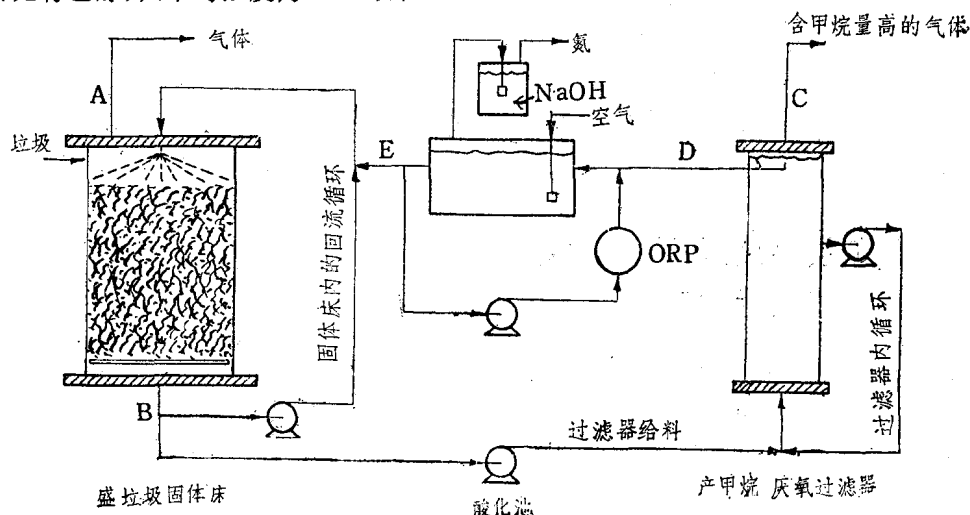


图2 城市垃圾固体床两步消化系统

酸化池的体积为1.8升,而过滤器的体积为12.5升。

固体床内装 26.21 公斤经过破碎和筛分过的城市垃圾。总固体 (TS) 含量为68.6%,挥发性固体 (VS) 含量为TS的 59.4%,总碳量为TS的33.8%。固体床用2升牛奶 驯化的产酸培养物作为接种物。

在固体床运行两天后,基质显著液化和酸化,这可从垃圾的COD转变为溶液的COD以及增加了滤液的酸浓度显示出来。产生沼气的厌氧过滤器已在预先的运转中适应了由垃圾获得的挥发酸,只要间歇地在底部泵入固体床的滤液就起动。停留时间为146小时,负荷率为0.11公斤COD/立方米·日。当过滤器产生沼气四天以后,停留时间可缩短为8小时,负荷率可增加到2.4公斤COD/立方米·日。过滤器中的流出液可回流到进口处以冲淡进入的挥发酸的浓度。

流出液还间歇地流回到停留时间为1—2小时的酸化池中。在需要时可以通入有限空气来控制酸化池的氧化还原电位,在-200毫伏到-300毫伏之间,以控制由产甲烷消化器连续地流入固体床顶部的流出液的产甲烷活性。由酸化池中排出的含有 CO_2 和 N_2 的气体通过NaOH小池后排出,如图2所示。

图3表明在固体床接种后,垃圾液化和脂肪酸形成立即起始,连续运行后,这一转换迅速增加,产生高浓度的醋酸和丁酸,随后产生丙酸和乙醇(高达540毫克/升)如图4所示。可以观察到乙醇的积聚和氢气的产生相吻合。由于有氢的存在,乙醇不会转化为醋酸。由于pH值低(5.5—5.9)氧化还原电位高(大于230毫伏)和低的生物碳酸碱度(以 CaCO_3 计,450毫克/升)等环境条件而抑制固体床中甲烷的产生。如图4所示在厌氧过滤器运行三天后,其特性有显著改善,即COD和有机酸的转换效率,产气量和甲烷含量很快增长。同时甲烷的产率也从起始时的0.21增加到第六天的4.0。

从上述试验得到的数据说明,这一系统

的酸化池和过滤器可以在很短即2和8小时的停留时间下运行。固体床中产气可以通过滤

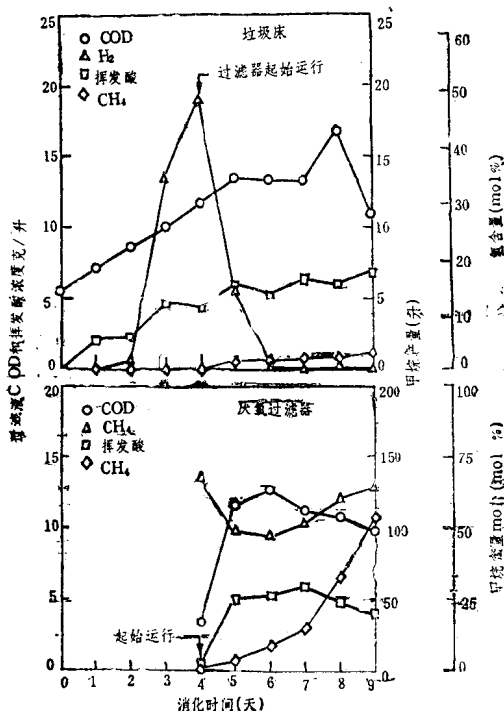


图3 用城市垃圾为原料的两步固体床发酵的特性

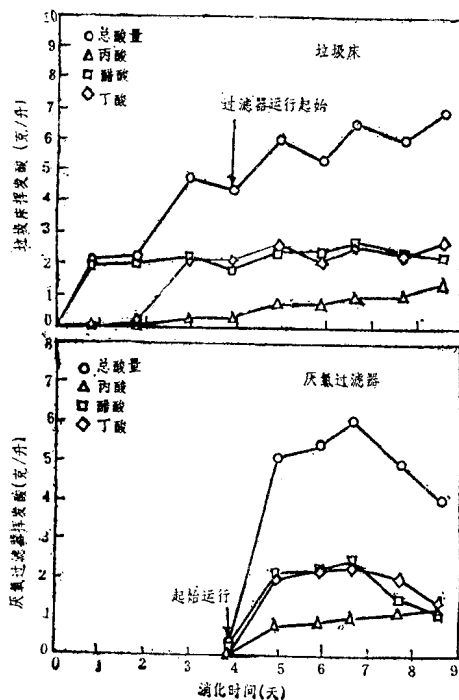


图4 在固体床以及厌氧过滤器出水中挥发酸的分布

液在垃圾层中的再循环而得到抑制，并维持氧化还原电位约为-200毫伏以促进垃圾的水解和酸化，而阻止从酸中产生甲烷。从过滤器可以回收含甲烷量很高的沼气。

结论认为城市有机垃圾只要连续的喷入可酸化有机物的活性菌群就能使其迅速转化为脂肪酸。当pH值为5或稍低，氧化还原电位-200毫伏或稍高，生物碳酸盐碱度为500毫克/升或稍低以及有机酸浓度在4000—6000毫克/升时，就可阻止固体床中产生甲烷。而酸化池的滞留时间只需1—2小时，从厌氧过滤器中可以得到甲烷含量高达80%的沼气，其产率达6。在过滤器中的滞留时间为8小时，还可更低。

二、处理工业有机物废水的两步厌氧发酵技术⁽²⁾

首先阐述了常规发酵技术由于受到产酸和产甲烷动力学不平衡的限制，因此滞留时间长而负荷率低。举软饮料厂有机废水为原料生产沼气的例子，其结果列于表1。

表1说明，用常规发酵技术，当COD浓

表1 3±36℃下常规发酵技术处理软饮料厂有机废水的数据

原料COD浓度，毫克/升	12,000	17,000	26,000
COD负荷率，公斤/立方米·日	0.8	1.7	2.6
滞留时间，日	15	10	10
甲烷产率，标准立方米/公斤COD	0.31	0.33	0.045
产气率，标准体积/体积·日	0.41	0.90	0.26
气体组份，克分子%			
甲烷	61.1	61.7	45.1
氢	0	0	0.6
挥发酸，毫克/升			
HOAc	180	110	2,480
出水pH	6.8	6.4	5.0

度高到26,000毫克/升，滞留时间为10天时就失效。

但采用两步发酵技术就可克服上述限制。这一两步发酵是由两阶段完成的。第一阶段酸化，采取高负荷和短滞留时间以得到最佳的酸化效果。然后将酸液注入第二阶段的发酸器中以产生富含甲烷的沼气。

为了试验以软饮料厂有机废水为原料的最佳酸化条件，对不同的负荷率和滞留时间(如表2所列)作了多种的试验。

表2 以软饮料厂有机废水为原料几种发酵条件

滞留时间，日	7.1	4.5	2.2
原料中挥发性固体浓度，克/升	29.1	28.3	35.2
COD浓度，克/升	38	37	45
挥发性固体负荷率，磅/立方英尺·日	0.26	0.40	1.00
COD负荷率，公斤/立方米·日	5.4	8.2	20.5

第二阶段的发酵采用上流式厌氧过滤器使有机酸转化为甲烷。两步发酵的试验，采取了完全混合、连续给料的酸化池，其酸液连续泵送进上流式孔隙率为90%的填充床厌氧过滤器。过滤器中的流出液以很高的体积比回流到过滤器的进口处，试验结果列于表3。

两步发酵工艺可以采用各种反应器的设计，应依据所用废液原料的物理和化学性能来进行选择。若是COD高而固体悬浮物较少的工业有机废水，那么采用完全混和的酸化池以及上流式厌氧污泥床(UASB)反应器已有成功的经验。采用污泥床反应器无需机械搅拌，不用内部的填充材料，而且比完全混和的反应器中悬浮固体物的滞留时间长。这一方法称为ANTHANE-ANODEK技术，表4列出了联邦德国和比利时已建处理工业有机废水生产沼气厂的情况，其系统示意图如图5。

表 3 以软饮料厂废水为原料中温35℃ 两步发酵数据

	产 酸	产甲烷	全系统
滞留时间	2.2	5.2	7.4
挥发性固体负荷率, 磅/立方英尺·日	1	0.40*	0.30
挥发性固体浓度, 克/升	35.2	—	35.2
COD 负荷率, 公斤/ 立方米·日	20.5	—	6.1
进料COD 浓度, 克/升	45	—	45
产气率, 标准体积/ 体积·日	1.03	3.68	2.80
气体组份, 克分子%			
甲烷	0.2	70.5	63.1**
氢	27.2	0	2.9**
甲烷产率, 标准立方米/公 斤 COD	0	0.42	0.30
COD 总量, 毫克/升	31,800	1,900	1,900
滤液 COD, 毫克/升	18,380	455	455
挥发酸, 毫克/升			
HOAc	7,880	450	450
乙醇, 毫克/升	3,540	33	33
出水 pH 值	4.7	7.5	7.5

* 以填充床总体积计算

**以酸化池及反应器中产生的气体混合后的值

典型的上流式污泥床反应器, 其产甲烷污泥床是在底部进口侧, 在床内的悬浮固体浓度大约为30公斤/立方米。在这一区域的上部其浓度介于5—7公斤/立方米之间。污泥的产甲烷活性十倍于常规的厌氧消化器。进来的酸液向上流过污泥床, 出水通过放在反应器顶部的沉淀池而排出。在污泥床中既有产甲烷菌, 也有不产甲烷菌在快速沉淀的凝聚物中集合在一起。

第一座采用上述技术的中间试验厂是在1977年建立的, 其能力为180公斤COD/日, 用来处理比利时的一个生产酶和酒精工厂的废水。随后在联邦德国和比利时建了用以处理不同工厂有机废水的五座容量45—170公斤COD/立方米·日的中间试验装置。这些试验装置处理废水的COD值从6,000到32,000毫克/升, 其负荷率分别为4和12公斤COD/立方米·日, 而滞留时间为0.5和2.8日。其产气率最高达到8 (60°F, 32英寸汞柱压力), COD和BOD₅可去除90%, 参看表5。很明显, 中间试验获得的成果可以和批量规模的指标相比, 甚至还高一些。所有设备是中温发酵。

第一座生产规模的工厂是比利时1980年建立的, 用来处理亚麻厂的废液, 处理的温度为30℃。处理过程中产生的废脂肪酸液

表 4 ANTHANE-ANODEK 两步发酵技术的中间试验和生产规模厂

运行起始 年份	工业类型	国 家	型 式	处理能力 公斤 COD/日
1977	蒸馏工厂 (酶和酒精)	比利时	中试	180
1980	甜菜糖厂	联邦德国	中试	45
1980	蒸馏工厂 (酵母和酒精)	比利时	中试	135
1981	甜菜糖厂	比利时	中试	170
1981	柠檬酸厂	联邦德国	中试	120
1981	甜菜糖厂	联邦德国	中试	45
1980	亚麻处理厂	比利时	生产规模	350
1982	淀粉到葡萄糖厂	联邦德国	生产规模	20,000
1982	甜菜糖和土豆片厂	联邦德国	生产规模	32,000
1982	甜菜糖厂	联邦德国	生产规模	15,000

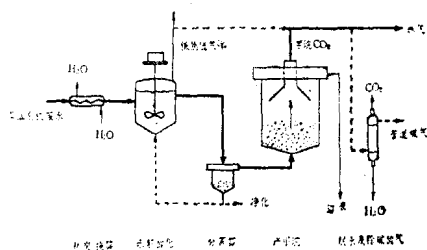


图5 采用上流式污泥床的两步发酵 (ANTHANE-ANODEK) 示意图

储于平衡槽内，然后作为上流式污泥床反应器的给料。由于亚麻处理是季节性的，所以这一沼气厂一年只能运转6个月。停机后再起动也未遇到困难。产生的沼气用于亚麻处理工艺，其它几个生产规模的沼气厂都建于联邦德国，而且其容量也大得多。参看表4。

采用这一新工艺的突出优点是本身消耗的能量要比常规方法少，对于工业来说，由

表 5 两步技术中间试验和生产规模沼气厂的数据

	中 间 试 验			生产规模	实验室规模
	酶和酒精厂	甜菜糖厂	酵母和酒精厂	亚麻处理厂	软饮料厂
原料 COD, 毫克/升	10,000	6,000	32,000	7,000	45,000
负荷率, 公斤 COD/立方米·日	4.1	10.8	11.6	10.0	6.1
滞留时间, 小时	58	13.3	66	17	178
产气率, 标准体积/体积·日	1.68	7.16	8.43	4.22	2.90
产气量, 标准立方米/公斤 COD	0.41	0.66	0.73	0.42	0.48
COD 去除率, %	79	90	72	87	96
BOD 去除率, %	88	93	88	93	—

表 6 以软饮料厂有机废液为原料的常规发酵和两步发酵技术对比数据

	常规 发酵 技术	两步 发酵 技术
负荷率, 公斤 COD/立方米·日	2.1	6.1
滞留时间, 日	15	7.4
反应器体积, 立方米	5.6	1.9
生产甲烷能量, 10 ⁶ 千焦耳/日	132	132
运转消耗的能量, 10 ⁶ 千焦耳/日		
给料液加热	59.4	40.1
搅拌	12.8	1.4
反应器的热损失	7.1	4.1
泵动力	0.5	0.5
小计	79.8	45.6
净能产量, 10 ⁶ 千焦耳/日	52.2	86.4
净能量占消化器甲烷能量的%	39.5	65

于可利用沼气以代替部分石油或其它燃料，因此净能量收益极为重要。表6以软饮料厂废水为例说明这一技术的优点，此外还可大大缩小发酵反应器的体积，因此投资省，投资回收期短，并提高了可靠性。

三、处理城市淤泥的两级发酵技术⁽³⁾

试验采用的是由美国 Salem 污水处理厂的淤泥，这一淤泥中含有40—60%（体积）的工业废物，所以有些重金属元素。其化学分析如表7。

采用了两个系统进行试验，第一系统为一般两级发酵，目的是为了培养接种菌群并用来探索第一级和第二级所需要的滞留时间。主要的试验是在第二个系统中进行的。系统2的特点是在发酵器内直管给料上部加上了伞盖，使得由向上进入发酵器中的污泥被

表 7 Salem 污泥的典型分析

	一次样品	二次样品
总固体 (TS), 重量%	6.64	6.11
挥发性固体 (VS), TS 的干重%	60.37	60.98
灰份, TS 的干重%	39.63	39.02
总悬浮固体, 毫克/升	63700	58100
挥发性悬浮固体量, 毫克/升	8400	36100
最终分析 干重%		
碳	38.2	38.4
氢	5.6	5.9
氮	2.63	2.70
硫	0.95	0.88
磷	0.99	2.94
氧	18.5	16.7
热值, BTU/磅 (干)	7305	7587
氨氮, 毫克/升	240	260
凯氏氮, 毫克/升	1980	1400
总 COD, 毫克/升	68950	50020
滤液 COD, 毫克/升	9600	5800
滤液 TOC, 毫克/升	2600	2360
挥发酸, 毫克/升		
醋酸	1580	1500
丙酸	560	810
异丁酸	40	120
丁酸	290	307
异戊酸	150	200
戊酸	20	40
总量(以醋酸计)	2360	2600
碱度, 毫克/升 (以CaCO ₃ 计)		
总量	11200	11800
重碳酸盐	9230	9630
pH	6.6	6.7
金属含量, 毫克/升		
Cd	1.1	2.4
Ca	3570	3990
Cu	18.8	16.0
Ni	5.7	2.8
Pb	31	23
Zu	35	37
Cr ⁺³	297	566
Cr ⁺⁵	—	<0.001
Cr 总量	297	566
固相	—	561
液相	—	5
Ba	22	8.8
Hg	0.01	—
Se	1.0	<0.5
Fe	584	416

伞盖挡住折向下行以促使固体物沉淀、滞留以提高其消化程度。这一系统可以消除短路并有较长的固体滞留时间。采用中温35℃发酵。系统布置如图6。

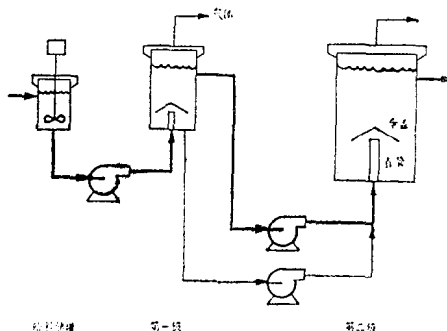


图6 两级上流式消化器示意图 (系统2)

对使用淤泥原料的分析说明两点，一是所含挥发酸的浓度相当高，介于2300—2600毫克/升之间，同时也有足够的缓冲能力(碱度)和氨态氮，使得淤泥的pH值仅比中性稍低一些。另外一点，虽然含有各种重金属元素，由于淤泥中一般含有100毫克/升的硫化物，而且淤泥的pH值能使金属保持固相，所以不致对生物消化系统发生毒害。

以这一淤泥为原料经厌氧消化并假定只产生甲烷和二氧化碳，那么按淤泥化学成份计算，每磅挥发性固体可得到14.2标准立方英尺的气体，沼气中甲烷含量为64%，CO₂含量为36%。实际上，由于有一部份挥发性固体得消耗于细菌细胞量的合成和维持能量，假定要消耗20%，则理论计算产甲烷值为每磅挥发性固体得到9.2标准立方英尺的甲烷。为进行对比，用此种淤泥为原料采用常规发酵技术，当滞留时间为18或19天时，分别可得甲烷4.8和5标准立方英尺/磅挥发性固体。如果滞留时间低到7天，则甲烷产率和产气率都很低。

但如果采用两级发酵，那么效果显著。按照系统2的试验，其稳态运行的成果列于图7。

这次试验采用含有6.1%TS的淤泥，系统的滞留时间为5.6天，系统负荷率约为0.4

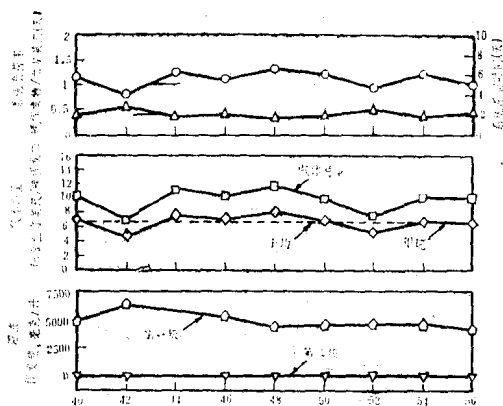


图7 稳态运行的性能 (系统2)

磅VS/立方英尺·日, 第一级负荷率为2.1, 第二级为0.5。甲烷产量为6.8标准立方英尺/磅VS, 甲烷产率为2.8V/V·天。在产甲烷的消化器中, 甲烷产量为6.7, 而产率为3.5。这一成果比用常规发酵技术好得多, 甲烷产量所以高, 理由之一是当滞留时间为5.6天时基质滞留时间达20天, 比系统1的15天长, 所以系统2出水中残留挥发酸的浓度只有60毫克/升, 而系统1中这一浓度达200毫克/升。

前面已提及, 两级发酵要求连续地供给稠的淤泥, 这在小规模试验时有较大困难。为了使具有基本连续的给料, 采用了定时运行的泵, 每日130次将淤泥泵送入第一级反应器中。给料流率的偏差大约为17%。负荷率和甲烷产量和给料量密切有关, 因此其偏差大约也在17%左右。在稳定运行时, 负荷率和甲烷产量的偏差值分别为20%和18%。甲烷产率的偏差7%, 至于甲烷含量和出水的pH值和给料流率无直接关系。所以在稳态运行时, 其变化范围是2%—4%。

认为系统2试验得到了高的甲烷产量和产率, 残余挥发酸量也较低。

两级上流消化工艺的优点十分明显, 举日处理100吨干淤泥的沼气厂为例, 如采用常规技术, 发酵容积得48万立方英尺, 如果滞留时间规定为5.5日, 则所产甲烷的能量不足供应运行中所消耗能量。采用两级消化工艺, 两个消化器的总体积只需29.2万立方英尺, 即为常规消化器体积的60%, 其净能

产量为 655×10^6 Btu/日, 而且处理效果好。其对比数据列于表9。

表8 两级上流式中温 (35℃) 消化系统 (系统2) 的数据 (给料中总固体为6.1%)

	第一级	第二级	系统
运行条件			
滞留时间, 日	1.2	4.4	5.6
负荷率, 磅VS/立方英尺·日	2.1	0.5	0.4
运行时间, 按滞留时间数计	46	13	10
稳态运行时间, 按滞留时间数计	17	4.5	3.6
池温℃	35	35	—
气体生产			
产气量, 标准立方英尺/磅VS	0.13	9.82	9.95
甲烷产量, 标准立方英尺/磅VS	0.05	6.71	6.76
甲烷产率, 体积/池体积·日	0.09	3.51	2.80
气体质量			
甲烷	34.2	68.1	67.8
CO ₂	57.1	31.3	31.5
N ₂	4.4	0.6	0.7
H ₂	—	—	—

表9 日处理100吨淤泥的两种消化工艺对比数据

	常规工艺	二级消化工艺
甲烷产量, 标准立方英尺/磅VS	2.0	6.8
甲烷产率, 体积/池体积·日	0.5	2.3
VS变成气体, %	24	65
甲烷总产量, 10 ³ 标准立方英尺/日	240	816
运行所需能量估计, 10 ⁶ Btu/日	259	161
其中: 给料加热	243	153
混合	6	0
泵运	2	3
加热、通风、照明等	8	5
净能产量, 10 ⁶ Btu/天	-19	655
消化器体积, 10 ³ 立方英尺	480	292

结论

——常规发酵技术,当水力滞留时间少于13日时,甲烷产量持续下降。

——水力滞留时间为7日或更少时常规发酵的甲烷产量只有理论值的16%,而产气率低于2 (v/v/d)。在这一条件下挥发酸积聚可达1400—3800毫克/升(以乙酸计)。

——与此相反,采用两级发酵技术,只要有两台无需搅拌的上流式反应器,水力滞留时间可缩短到4.8日—7.1日,没有挥发酸的积聚,甲烷产量可分别达到4.7和5.8呎³/磅VS(相当于51%到63%理论值)。系统出水中挥发酸的浓度分别为100毫克/升和240毫克/升,而且给料的总固体量可达7.5%而不致妨碍产气过程。

——在第一级中主要是产酸反应,第二级主要为产甲烷的发酵反应。

——实验证明第一级合适的水力滞留时间为1—1.5日,第二级为4—5日。

——所采用的是污水处理厂的淤泥,有40—60%是含有金属的工业废水。但没有发现对于发酵过程有重大影响。

——在反应器中采用了直管进料和上部加伞盖,对增加甲烷产量有显著影响。使系统中基质滞留时间延长到20天。不采用这一装置的上流式两级发酵,其基质滞留时间只有15日。

——进一步改进两级发酵技术,可使甲烷产量达到6.8呎³/磅VS(74%理论值),产率达2.8 (v/v/d),出水中挥发酸浓度降到60毫克/升(以乙酸计算)。这大大优于常规发酵技术,而且水力滞留时间仅5.6日,是目前已发表的处理淤泥的最佳成果。

——估计在第一级中有43%的挥发悬浮

固体成为可溶性物质。

——在第二级反应器中,底部约三分之一的体积,主要的反应是使高级酸和其它化合物转化成醋酸。而甲烷主要是在上部三分之二的体积中产生的。

——通过对于TS、VS和灰份的物质平衡计算,并考虑到7%的偏差,认为两级发酵上流式工艺可以达到稳定运行。

——预计,如果采用两级发酵技术来处理含有60%VS(占TS量)的淤泥,其排出的残渣量为63吨/日,如用常规发酵技术,则残渣量将达86吨/日。

参考文献

1. Ghosh, S., et al.: Noval two-phase anaerobic gasification with solid-bed acid digestion in tandem with fixed-film methane fermentation. Paper presented at "International Gas Res. Conf.", London, England, Jun. 13—16, 1983.
2. Ghosh, S. et al.: Stabilization of high-COD industrial wastes by two-phase anaerobic digestion to maximise net energy production. Proceedings, Industrial Wastes Symposium Water Pollution Control Federation 56th Annual Conference, Atlanta, Georgia, Oct., 1983.
3. Ghosh, S. et al.: Two-phase up-flow anaerobic digestion of concentrated sludge. 5th Symposium on Biotechnology for Fuels & Chemicals, Gatlinburg, Tennessee, May 10—13.

(上述三篇文献全文存武汉市能源研究所情报室)

第三世界的沼气池

Roscoe F. Ward

(联合国生物质能高级技术官员)

引言

第三世界面临的主要问题，就是试图为其迅速增长的人口提供基本的需要。这些国家在选择适用于本国人们需要的系统之前，应使用一种可能的系统处理，这是很重要的。为了解决大量的需求问题，沼气池是一个值得认真考虑的选择物。

本文的目的，就是讨论这一决定的过程，包括技术和政治方面的因素，评论某些新的经验。然后，重点讨论在这些情况下沼气池大概是一个有吸引力的选择。

第一章 行政管理决策过程

分配资源的行政管理过程是一个复杂的过程，如图一所示。

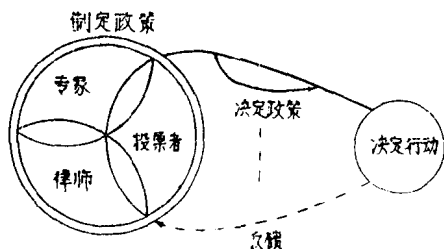


图1 确定资源分配的行政管理过程模式

当涉及自然环境或重要技术问题，工程师和科学家支配政策的意见经常占优势。当社会、经济、政治和环境的可行性等于或超过技术上可行性时，许多意见就被忽视。在任何事可能发生之前，控制资源的决策者

必须支配他们。控制资源的决策者常常通过推理或逻辑过程不能确定的有二个主要问题。

(1) 对资源的分配，在各种矛盾冲突中什么需要给予最优先考虑。

(2) 为了能够保持和增加其他计划，什么计划需要让步或什么计划应削减。

重要的是在作出决定之前，行政管理决策者提供特定计划的目的、完整的分析，而不仅仅是争论。这些分析必需包括综合好坏两个方面。分析不应试图作出决定，而应看作是建议，作出决定的事是属于行政管理的权力。

决定过程中，输入部分将由投票者、律师和专家来做出。投票者（或使用者的）资金是或者应该是影响决策者的一个主要因素。律师制度的作用可看作败坏的基础，但更重要的是可作为决定公共利益的手段。

第三者应是专家的参与。专家们常常不愿介入行政过程，他们认为，不是考虑解决技术问题的能力，而是考虑影响决策者的能力。欣慰的是专家们将为决策者提供项目分析，根据这些项目的分析，使行政过程较少符合律师的自身利益，而很可能符合公共的利益和需求。

根据这些项目分析，能够制定政策，做出行动决定。但这种过程也常常与行动决定一起停止。这是不应该的，因为有必要对结果作重新评价，并且将评价结果向投票者、律师和专家报告。通过再评价，也可改进这个过程和决定。

本文的目的，是涉及行政管理决定过程

的各个方面，中心要求是为发展提供能源，通过处理废水减少疾病以致改善健康水平或为维持或提高粮食产量提供土壤改良。

A. 需求概念和个别要求

沼气可满足三个要求。

(1) 废水处理：世界卫生组织最近调查（联合国，1980年），估计发展中国家享有污水处理系统人口不到6.5%，城市人口只有25%有服务设施。而有服务设施的人口比例一直在减少而不是增加，因此，迫切需要寻找合适的废水处理系统。

(2) 供给能源：生产的沼气（甲烷和二氧化碳），可用于取暖、点灯、机器动力、生产蒸汽和发电。

(3) 土壤改良剂、养份和水份再循环：消化后剩余的是固体物和流出液。液体可用于灌溉作物，或用于沼气池再循环。有些地方将流出液施入水藻池塘作为饲料被鱼吃掉。

固体物质是未被消化的生物质，也是废物。有些人把流出物错误地称为肥料。实际上固体的营养成份很低，其主要价值是作为一种土壤改良剂。

上述的每一需求通过其他许多替代办法也可做到，而不仅是生物甲烷化方法，其中任何一种可能更经济，易被社会接受。在分析中必须作出评论，供给决策者新的和可再生能源资源的选择及其发展状况见表1。

表 1 新的和可再生能源资源的选择和状态

技 术 (所有形式)	太阳能 固定式集热器	太阳能 被动式集热器	太阳能 跟踪式集热器	太阳能电池	卫星电力系统	生物质、泥炭、薪材	直接燃烧	热解	气化和间接液化	液化	沼气	其他厌氧工艺(发酵)	水力能 小型 大型	风能	地热能	高温	低温	海洋能	海洋热能转换 (OTEC)	潮汐	波浪	油页岩	直接燃烧	页岩油和焦沙
取 暖	0	0	×	×			0	0								0							0	
蒸 汽		×	×	×			0									0							0	
发 电		0	×	×	×		0						0	×		0		×	×	×			0	
气体燃料								0	0		0	×												×
液体燃料								×	×	*	*	×												×
固体燃料							0																	×
化 学 品				×				×		*	*	×						*						×

0 商业性的

× 技术上和经济上可行的一未广泛应用

※ 技术上可行的——还未发展到上述二种状态

B. 资源和评价

世界上有一半以上的人口（主要是发展中国家）依靠薪材和生物质能供给其能源。在许多情况下，计算成本只是收集这种燃料的劳力。因此，其他能源通常就不能与之竞争。由于改变农业生产的实际、或人口的迅

速增加或严重干旱，某些国家和地区森林趋于耗尽并正在逐渐消失。在有些地区，人们重新用作物残余物和粪便作为能源被烧掉。在有些地区可烧掉有限的作物残存物没有不利的影响，而在另一些地区，过量使用土壤腐殖质和养份受到损失，导致粮食产量下

降。在消耗薪材和生物质中，一个主要因素就是使用明火炉灶或低效炉具。因此，为解决生物质过份消耗的办法之一就是采用廉价且高效的炉具。这些炉具比以前使用的炉具可减少一半或三分之一的能耗。只有通过资源和使用的评价，才能确定一个国家或地区的实际情况。

世界银行 (Kalbermatten, J. M. 等人, 1980年) 考察了一个个技术小组、社会行为因素、经济和金融方面的情况，建议改进传统技术和新技术的应用，制定了选择标准，并证明公共卫生效果的可行性比得上使用者所希望的要求，从而提高社会经济地位。可用一个类似的研究来考察能源的需求。所需的数据列于表 2。消化过程的特殊要求在下面作详细介绍。

表2 选择和设计需要的数据

1、人口

数量，现有的和计划的
密度，包括生长方式
房屋类型，包括占有率和使用方式
各种年龄等级的健康状况
收入水平
当地现有的技能（管理的和技术上的）
当地现有的材料和辅助设备
现有的城市服务设施，包括公路、电力

2、能源需求

家庭炊事
家庭取暖
家庭照明
工业供热和蒸汽
工业发电
运输

3、能源资源评价

油-气
煤
水电
生物质
太阳能
风能

4、气候条件

温度范围；降水量，包括干旱或洪水的周期

5、现场条件

地理特征
地质学，包括土壤稳定性
水文地质学，包括季节性水位波动
洪水威胁程度

6、社会-文化因素

人们目前的接受状况和兴趣，或容易改变看法的情况
对以前改革的尝试所表示接受和反响的原因
教育水平
影响执行和技术选择的宗教或文化因素
对资源回收的态度
对公共设施的态度

7、环境卫生

现有供水的能源设施水平（包括易达到和可能达到的情况）和费用
改善供水和供能的次要费用
现有的粪便处理、污水清除和排放设备
其他像垃圾或牲畜粪便造成的环境问题

8、农业实际情况

使农业残余物的实际状况
使用土壤改良剂和肥料的实际状况。

9、社会机构

国家、地方或城市机构职责分配和从事下列工作的效率
水
污泥、卫生、街道清洁、排污
健康
教育
家庭和城市改革
能源

B. 1. 生物质资源的评价

生物质资源的评价需要包括：

(1) 可以得到的薪材、农林残余物的数量。

(2) 有用的废水和废物的数量及其性

质。

(3) 这些材料可得到时的季节性及如何很好的贮存。

(4) 生物质能的通常使用和计划使用。

(5) 原材料使用的竞争性。

B. 2. 水资源的评价

沼气系统需要利用高湿度的原料或需要添加水。有些地区能源短缺,水也有限。还报导了沼气池使用硬水的困难(Lidzas, 1980年)。因此,水的可利用性和质量可能妨碍沼气系统的使用。如果用水受到限制,那么一个解决的办法就是循环使用沼气池流出液。由于盐份的含量是个未解决的问题,即在消化系统中可以耐受的盐份含量是多少。

B. 3. 建筑材料资源的评价

在价格上能够得到合适有用的建筑材料是成功执行计划的必要条件,Skrinde和Ratasuk(1978, 1979年)报导了在发展中国家利用金属罩的消化器成本高、问题多。金属罩在制造和保养维修方面碰到许多问题。在许多国家,除了很成功的例子外,具有浮罩的小型沼气池投资大,维修费用高。

在陈(1980年)的论文中回顾了中国的经验,指出沼气计划之所以成功,是因地制宜利用当地的材料。报告指出,建一个沼气池需要买的原材料费大约只有30到50美元,这费用只有自行车价钱的三分之一,而自行车在中国很普遍。因此,他的结论是:这种沼气池是中国一般家庭在经费上能够负担的。为了克服成本高和利用当地的材料问题,Chantavorapap(1980年)建议在泰国使用廉价的大型水坛子作为沼气池。

B. 4. 可得到的资金

任何能源系统都与它的价格有联系。中国报道的沼气池系统的费用,只是买材料的费用,不包括劳力。其他国家使用许多复杂的经济分析来确定建筑和操作沼气池的费用。在中国,公社或大队提供建沼气池的材料费用(Van Buren, 1979年)。在印度和南朝鲜,可从政府以拨款补助和贷款的形式

得到经费(沼气, 1979年10月)(Vause, 1980年),公民必须支付给予的补助费,有时是贷款的一部分。必须问的问题是多少钱是适合的并能满足家庭或社区的需要。许多人认为,一个沼气池最大的投资回收周期是二至三年是可信的。

B. 5. 教育和培训

虽然沼气池已经使用了近一个世纪,但人们并未完全理解其操作情况。在考察许多国家的经验时,人们发现,正在推荐和试验的沼气池很少了解消化原理或是别人在这方面所做的工作。甚至在像美国这样的发达国家中,在肥育场根据建筑者的错误意见建造一个大型沼气池。投资了几百万美元,最近报道这个大型沼气池仍未投入运转。

一些过分献身的工程师,科学家和其他人正在重新发明和推荐专家认为是不可行的或太贵的沼气系统。

中国在采用和管理大量沼气池方面得到成功信誉的重要因素,就是他们在沼气池建筑和操作方面执行了教育和培训计划。

中国不仅具有良好训练的工程师,而且还有技术顾问,他们在建池和管理的费用方面提供有利的意见和帮助。通过培训和推广机构,中国看来已解决了这个问题。这些机构与世界其他地方的农业推广机构相似,只不过他们专门从事沼气工作。据估计,中国大约有十多万名受到过训练的沼气推广工作人员,他们可以帮助建池和管理沼气池。只有通过教育和培训,才能胜任沼气系统的设计、建筑、管理及其评价。

B. 6. 其他经验

其他实行沼气计划的成功和失败经验能够提供见解,为什么这种系统能或不能被接受、利用或持久。Skrinda(1978年)和Pyle(1979年)评论了世界上办沼气的经验,在这篇文章中有其他成功和失败的例子。新技术的采用是综合一系列技术、文化和经济因素为基础的。国家科学院(指美国)进行了一个项目,就是评价有关可再生能源技术的

引进和推广的因素，打算帮助其他国家。这一研究工作预定1981年9月完成。

C. 代用能源的评价

一旦收集了所有资源的资料，在选择的基础上推荐给决策者考虑和制定政策，以及

为作出行动的决定提出方案。各种选择的初步评价是一项艰巨的任务。表3列出了一些代用燃料的比较。有些工艺的热值和转换效率变化很大，这样必须作出说明。按本文的目的作出假定选择了沼气系统。

表 3 代 用 能 源 的 热 值

燃 料	单 位	能源热值 (兆焦)	转换器	效 率	有 效 热	1m ³ 沼气有效热值 相当于
沼 气	立方米	20(E)	炉 灶	60	11.8	1 立方米
电	度	3.6	电 炉	70*	2.5	4.7度
煤 油	升	3.8	煤油炉	50	19	0.62升
煤 炭	公斤	29(E)	明火炉	28	8.1	1.46公斤
薪 材	公斤	20(E)	" " "	17	3.4	3.47公斤
石油气	公斤	46	气 炉	60	27.3	0.43公斤
牛粪饼	公斤	8.8	明火炉	11	0.96	12.30公斤

(E) 估计值——有改变

* 原文是50，但与其他数据不符，应为70。按有关文献，70不为高——译注

第二章 消化工艺

发展沼气工艺作为一种处理废水或废水污泥的方法。用于处理废水和污泥时，微生物在缺氧的条件下降解有机物质，并产生气体和液体。在这一过程中产生沼气（像甲烷、二氧化碳、氢和硫化氢），分解了二分之一或三分之一的固体物质。最近引起发达国家和发展中国家兴趣的是利用这种工艺生产能作为能源使用的气体燃料（中等热值）。必须处理沼气池流出物，用于水藻池和鱼塘，用来浇灌果园和作物以及固体物作为土壤改良剂。据经验介绍，单一为了生产沼气，从经济上来说不一定合算，但是一旦从多方面来考虑，则沼气工艺就非常经济。

沼气工艺不同与其他生物能转换工艺，在于投入的原料不必消毒或灭菌。在自然界原料种类很多，人畜粪便、城市废物、农业残余物、水陆生新鲜植物或这些物质的混合物都是可以使用的原料。沼气工艺不需专门的菌种培养，通常只需启动反应系统，形成

甲烷所必要的各种微生物将会繁盛起来。沼气容易回收和使用。当然，这并不意味着沼气工艺就没有操作上的问题了。Ratasuk（1978，1979年）和 Skrinde（1978年）报道在印度和远东，大量沼气池没有运转，并且已被放弃。

A. 背景

历史上，首次进行污水处理的生产沼气系统是污水池。污水池是建在地下的一个池，砖墙或石头建起的池墙上开有口子，底部未封闭。废水或污水进入池内，然后液体渗入土壤，池中留下消化的固体物质。污水池的工作常不能令人满意，因为池子附近的土壤孔隙堵塞后，液体就不再流走。

为了克服固体物堵塞土壤孔隙，建成了具有排放系统的化粪池。在化粪池中，带有固体的废水通过档板进入池内。在进出口处利用档板，以延长循环时间和减少流出物中的固体物。在理论上，沉降到池底的固体物产生沼气。液体溢流入瓦管排水沟并在排放场渗入土壤。池底的消化固体物质产生沼气（甲烷和二氧化碳），因为这些气体上升，