

国农工

农业工程

第4辑

沼 气

中国农业工程研究设计院



上海科学技术文献出版社

目 录

建立产能农场, 种植高效产能作物生产沼气.....	1
几种沼气池池型介绍.....	10
用城市废物制造沼气——工艺要求.....	13
牲畜粪便制取沼气及其在日本的前景.....	23
垃圾填土产生甲烷及其外溢危险的控制.....	29
用牲畜粪水繁殖藻类及藻类的收获方法.....	32
利用固体废物制造燃气.....	40
两阶段厌氧消化.....	49
厌氧消化专门栽培的植物生产合成天然气(SNG)的经济性.....	68
采用小型沼气池由粪便制取沼气.....	76
藻类生物转化的系统分析.....	87
巨藻(<i>Macrocystis pyrifera</i>)中温厌氧消化.....	100
厌氧消化法的现状和问题.....	116
有机物垃圾用作能源的研究.....	122

建立产能农场, 种植高效产能作物生产沼气*

D. L. Million E. J. Szetela 等

前 言

一些农业发达国家,在高度机械化和施用化肥后,虽然能使农产品的产量显著增加,但能量的需要亦随之而巨增。矿物燃料的不足迫使人们不得不寻找其它能源。太阳能就是可资利用的一种,因为它几乎是取之不尽、用之不竭的再生能源。在各种收集太阳能的方法中,最适合的方法就是通过光合作用把二氧化碳和水转化成产能作物,再在无氧条件下经厌氧细菌的代谢作用转化成生物能——沼气。太阳能以植物的形式,既容易收割、运送和贮存,而且发酵方法简便,要求的温度、压力、酸碱度条件也不严格,因此最适于在农场应用。最佳化时,能的转化效率可达94%,而且剩下的液渣又是很好的有机肥料。

用厌氧发酵产能并不是新技术,许多年前就用此法处理下水污泥生产沼气,在污水处理厂普遍应用了。一些国家早已在农村采用小型沼气池制取沼气和沼肥。

近年来,美国的一些科研单位正在从事建立产能农场、种植高效产能作物生产沼气的研究工作,下面就是具有代表性的两项研究工作,现分述如下。

一、密苏里-洛纳(Missouri-Rolla)大学化工系的研究 工作——从农作物获取农用能

产能作物

大多数农作物吸收太阳能的效率只有0.1~3%,因此需要相当大的面积来种植。很多农场可以利用荒地来种植高效产能作物生产沼气,亦可把产能作物运送到中心地点去生产沼气。每家农户亦可用少量土地种植某一种产能作物生产沼气,供农户本身的需要。

种植的产能作物应符合几个标准:花钱少而且容易在沼气池附近生长,产量高;不与粮、林争地;只需少量耕作和肥料。据该大学的调查,发现禾本科牧草和某些野草都能符合这四项标准,农场的大多数作物秸秆亦适合作发酵原料。产能作物同其它作物一样,亦需要进行收割和收集,然后才能运送、切断、加到沼气池内。多余秸秆亦可堆放在农田里或干燥后贮存起来。这些秸秆即使有些腐烂,对发酵亦无明显的影响。对其贮存条件的要求并不象饲养牲畜的秣草那样严格。生产沼气后剩下的液渣经处理后应有高的肥效。种植产能作物在栽种和收割时要尽量使用农民原有的农机具,不要另外花钱购买昂贵的机具,这样才能降低费用。发酵原料在配料时,其碳氮比应小于25:1才便于消化。

根据本研究的设计,需要24.4吨作物干物质才能生产730 SCFD(标准立方英尺)沼

* 这是根据1976年出版的《生物化学工程——能,可再生的能源和新食品》一书中的两篇文献摘译综述的。一篇是美国密苏里-洛纳大学化工系D. L. Million 等合写的“从农作物获取农用能”;另一篇是康涅狄格州联合技术研究中心的E. J. Szetela 等合写的“建立海滨产能农场生产沼气”。——译者

气。如果用的是产能作物的干秸秆,就需要 5 英亩的面积,如果用的是禾本科牧草或野草就需要 10~20 英亩的面积。如果用的是玉米秆就需要 4 英亩的面积。总之,种植产能作物要尽量不与粮食作物争地。

能的需要

在现代化农场里,一般都需要购买液化石油气和电能。现在用产能作物放入沼气池厌氧发酵生产沼气就可代替这两种能源。图 1 是作物沼气池系统的示意图,从中可以看出它的发酵流程和发电设备。

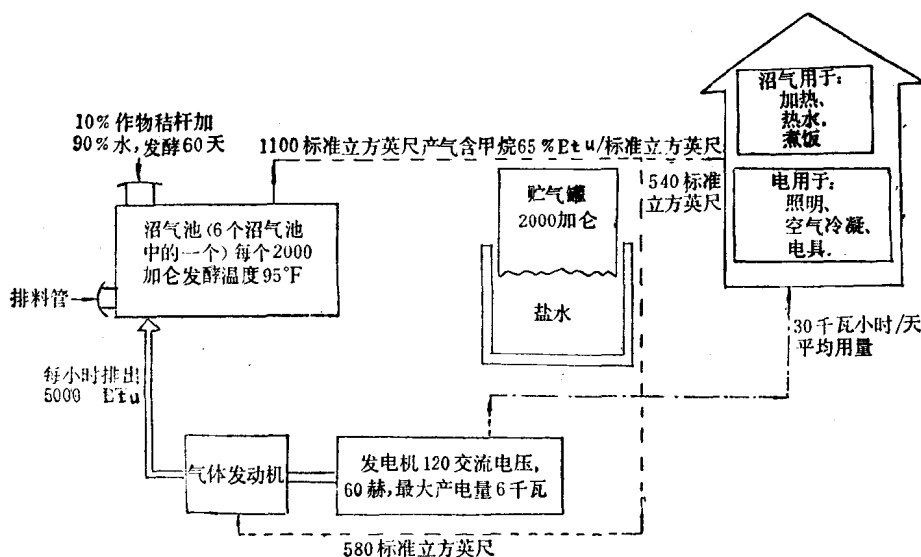


图 1 作物沼气池系统示意图

-----产沼气系统; - - - - - 电动力系统; ——加热系统(Btu 为英热单位)

以作物为发酵原料生产的沼气中含甲烷 65%, 二氧化碳 35%, 可贮存作为供煮饭及加热的燃料。一般农户只要装一个流量调节器就可利用沼气来代替液化石油气。或者用沼气发动机来驱动小型发电机发电供电灯及家用电器之用。

本研究是按农家所需能量设计的,至于开动卡车和拖拉机则要用压缩甲烷气,但目前要用沼气来代替液化石油气似乎成本还嫌太高,还有些危险性。

按每户平均一年需 1220 加仑液化石油气用于取暖,另以 280 加仑用于煮饭和热水,以每月要用 900 千瓦时的电能计算,则每个农场平均将耗用甲烷 730 SCFD,10 月至次年 3 月需热量最大,因此最大需甲烷量可高达 980 SCFD。

沼气动力学

沼气池可用分批加料或连续进料的方式。后一种方式是每日进料并排出等量的发酵液。一般农场多采用分批加料方式,因为沼气池是密闭的,氧气不易进去,同时操作方便,易于照管。关于厌氧发酵的动力学目前还知道得不多,因为厌氧发酵过程中的许多反应都是同时发生的,要推导出一个能说明问题的反应速度方程式比较困难。

图 2 是 Fry 所作分批加料、沼气池内在 95°F 发酵、随发酵时间而出现的产气曲线图,图中阴影部分表示 80% 碳素已被消化。装料后 12 天才开始产气,直到第 60 天才把 80% 碳

素完全消化。

也有一些文献支持选用 60 天作为一个发酵滞留时间 (retention time)。印度的 Singh 报告, 所设计的各种沼气池在 $90\sim 100^{\circ}\text{F}$ 时, 植物性废物在 45 天内就可完全消化。Klein 报告, 城市废物中的挥发性固体在 30 天内就可分解 65%。

密苏里-洛纳大学的实验室研究结果表明以作物茎秆分批入池, 经 60 天, 95% 的碳素转化成甲烷和二氧化碳, 其中甲烷含量 65%。每磅碳素经消化后得到比较理想的产气量是 30 SCFD 沼气, 或 19.5 SCFD 甲烷。这些研究结果基本上与图 2 的产气曲线一致。

沼气池的设计(见图 1)

为了克服分批加料的沼气产量不稳定的缺点, 采用了 6 个碳钢消化池并联的方法。每个池容积为 2300 加仑, 其中留有气箱和容纳浮渣层的空间。每隔 10 天各池轮流加料一次, 这样就能使至少有一个池经常处于产气高峰状态, 每个池内的碳素平均每磅可产沼气 2.36 SCFD, 其波动幅度大致在 2.16~2.49 SCFD 之间。表 1 是每个消化池容积的计算表。

表 1 消化池所需的容积

	平 均	最 大 量
耗用甲烷(SCFD)	730	980
耗用沼气(SCFD)(含65%甲烷计)	1120	1510
碳素需要量(磅/每个循环)(按 80%碳素被分解计)	468	631
需要的作物量(磅/每个循环)(按含35%碳素计)	1338	1804
消化池加料量(磅/每个循环)(另加90%水计)	13380	18040
每个消化池的容积(加仑)	1614	2173

消化池内温度的控制

为了充分发挥中温发酵细菌的作用, 应保持池温 95°F 。可以用所生产的沼气来加温。一般内燃机-发电机发电的效率大约为 25%, 可燃气体中有 60% 的能量 (10100 Btu/小时) 是废热, 因此可用几种方法来利用发电机的废热以维持池温。一种方法是用发电机的废热来加热水, 再用水泵泵入有隔热层的消化池底部的盘形管。此项加热系统(包括热交换器、水泵、隔热材料)的材料费将达 3200 美元。第二个办法是将热气(甲烷和二氧化碳)吹入消化池底部作加热用的混合热气, 此项系统将耗费 2560 美元。此法的缺点是增加氧污染的可能性, 特别是在起动消化池的时候。第三个办法是将一些无隔热的池子与发电机一起放在一个隔热的室内 ($31\times 18\times 8$ 英尺), 利用发动机冷却片的热量又可增加大量的废热。在墙上

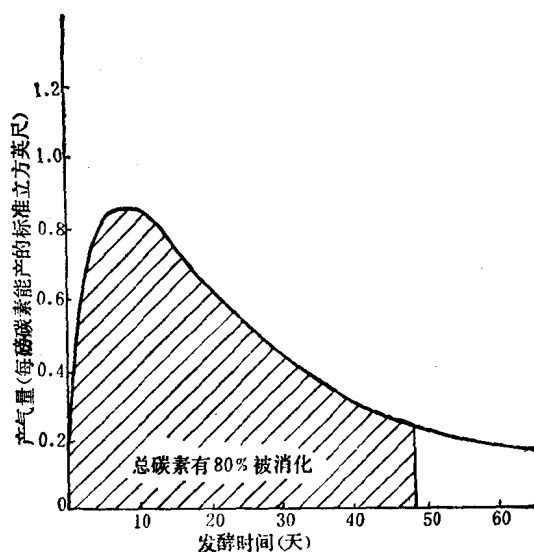


图 2 分批加料沼气池产气图

和天花板上铺一层厚约 6 英寸的玻璃纤维作为隔热体，地面上铺上一层约 3 英寸厚的松散锯木面以减少热量的散失，利用这些废热气就足以维持室温 95°F，室外维持 20°F 温度。室温的控制是通过利用废热作热源的一个空间加热器来进行空气循环的。此系统所需材料费约 1360 美元。

其它设备

为了适应需求上的小量变化需要贮存气体。把气体压缩是不易实现的，市售的浮动顶罐既大又昂贵，也不适用。于是设计了一个液体置换贮存装置，把一端开口的钢罐倒置于装有盐水的坑内，形成一个恒压的、可变容量贮气罐。一个 400 英尺³的钢罐就足够应付消化池产气的波动了。但季节性的大波动还需改变消化池装料量。一个直径为 8 英尺、长 8 英尺、容积为 10 加仑的钢罐的内压应为 5 英寸水柱，足够克服摩擦时的损失以及启动燃具。亦可在池顶上放置重物增加气压。

发电机对农场供电，平均应为 900 千瓦小时/月或 1.2 千瓦。但是，在同时操作几台装置时最大的负荷可高达 4 千瓦。沼气中含 35% 二氧化碳，用于发电机的引擎则应把二氧化碳降低到 30%。因此用于此消化池系统的发电机-引擎系统是 6 千瓦、120 伏交流电压、60 赫。用一个电池组和 AC 电流换向器来消除起动和停止时发电机输电的波动。

消化池应有搅拌器才能促进发酵。连续搅拌比较理想，但这种搅拌装置太昂贵。发现用廉价的人工搅拌机械进行定期搅拌仍能达到满意的效果。作物茎秆应用切碎机切细再入池。出料时可用每小时能抽 500 加仑的泥浆泵。此外，还应有一个罐子来贮存发酵间的浆液作下次进料时的种菌(seed bacteria)。这个罐子的容积相当于发酵间容积的 10% (200 加仑) 就够了。此外，还应有一些附属设备，如导气管、阀门、装料舱口和建筑物的照明装置及电线等。

农场产能系统的经济性

从表 2 和表 3 可以看出三种不同规模的农场沼气发酵系统的各项投资费用以及每年可获得的利润。从经济性观点进一步分析，投资还可以减少。例如农民已有切碎机，本系统就可少投资一千美元；把户外空地或饲养棚的一部分圈起来修沼气池，结合使用就可节约投资；买旧的设备代替新设备亦可减少投资。这种产能系统安装在密苏里州祖雷的一个农场，

表 2 农场沼气发酵系统的投资费用(美元)

	平 均 大 小 (SCFD)		
	730	1460	2190
6 个钢罐	2460	4080	5660
6 千瓦发电机，120 伏交流电压，60 赫，带引擎	1250	1250	1250
贮气罐(混凝土坑)	700	900	1200
用鼓风机的进料切碎机	1000	1000	1000
建筑材料	1060	1575	1960
加热器	300	400	500
泥浆泵(10 加仑/分钟)	200	200	200
管子、搅拌器、阀门等	400	600	800
人工费用	500	700	900
总 费 用	7870	10705	13470

表 3 按能的价格每MBtu3.5美元计算, 农作物厌氧发酵生产沼气可获的利润

	大 小 (SCFD)					
	730		1460		2190	
	例 I	例 II	例 I	例 II	例 I	例 II
投资费用(美元)	7870	7870	10705	10705	13470	13470
每年节约	801	801	1602	1602	2403	2403
每年操作费	401	300	702	500	1002	699
产能作物	244	143	488	286	732	429
维修费	157	157	214	214	270	270
每年可获利	400	501	900	1102	1401	1704
利润(%)	5.1	6.4	8.4	10.3	10.4	12.6
投资收益	19.6	15.7	11.9	9.7	9.6	7.9

采用旧设备只用了 6000 美元。

小 结

本研究业已证明所设计的一个实用农作物发酵系统, 以产能作物或农作物秸秆为原料生产沼气可为农场提供热能和用电。只要用 5~15 英亩土地来种植产能作物就可生产所需的能量(730 SCFD 甲烷)。安装投资等除外, 根据消化池的大小以及能的价格, 利润 可以达到 6~20%。深信以农作物为原料, 显示有相当大的经济潜力, 值得农业区采用。

二、美国康涅狄格州联合技术研究中心(UTRC)的研究工作 ——建立海滨产能农场生产沼气

本研究是在国家科学基金委员会 (NSF) 的资助下进行的, 开展了用海产植物吸收太阳能, 并转化成可储存的生物能的研究和评价。证明把海产植物收割后经过生物转化成沼气是行之有效的方法。

海滨产能农场的主要过程有: 植物的生长、收获、粉碎、发酵产气、气体分离、沼气液化等工序, 见图 3。所选用的产能作物是巨藻(*Macrocystis pyrifera*), 一般生长在北美西海岸和南美东西海岸。它在商业上的用途是提取藻酸 (algin)。这种巨藻生长很快, 对它的性质和生长特征都进行了观察、测定和详细记载, 通常生长在深约 30 米的海水中。同时研究了栖息作物与浮生作物。虽然巨藻具有生长快的能力, 但其浮生特性尚未得到证明。在相距 5000 海里处发现有一种浮生的马尾科 (*Sargassaceae*) 植物, 浮生植物可以在更开阔海域生长。因而具有很大的潜在生长面积。

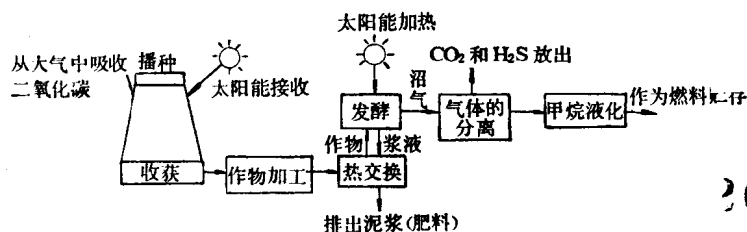


图 3 用海滨产能农场种植的产能作物把太阳能转化成燃料

267126

栖息作物(Anchored crop)

在加州的 San Clemente 岛海滨安置一些人工碇泊栅,种植 130 种巨藻属植物。在实验室先对产能农场的作物生长情况和营养等方面进行了研究,并建立一个生长模式,对影响作物的光合作用和生长的各种因子的关系进行了分析。本试验的任务是:(1)达到的指标至少要能解决目前美国天然气用量的 10%,并对能种植的宽度、能量的生产费用、耗能的速率进行测定;(2)通过实验,要证明生长在海水中的海洋植物能厌氧发酵,容易进行生物消化而产生沼气。

种植栖息作物的区域是在美国东海岸的大陆架(图 4)。水域面积最深处为 90 米。于是采用人工碇泊栅(图 5)办法使植物能按它们原来的自然深度生长。人工碇泊栅是用尼龙绳系着的栅格放入海内,由混凝土碇块沉到深度为 30 米的海底,尼龙绳顶部有浮标。

栖息作物生产沼气的费用,如用高营养液来培养,每英亩每年约可产 50(干)吨,费用相当于每百万 Btu 为 3.9 美元。估算的总燃料的热值相当于 $7 \times 15 \text{ Btu/年}$ 或相当于目前使用天然气的 28%。营养物大约要耗用所产沼气的 7%,约占沼气生产费的 10%(图 6)。

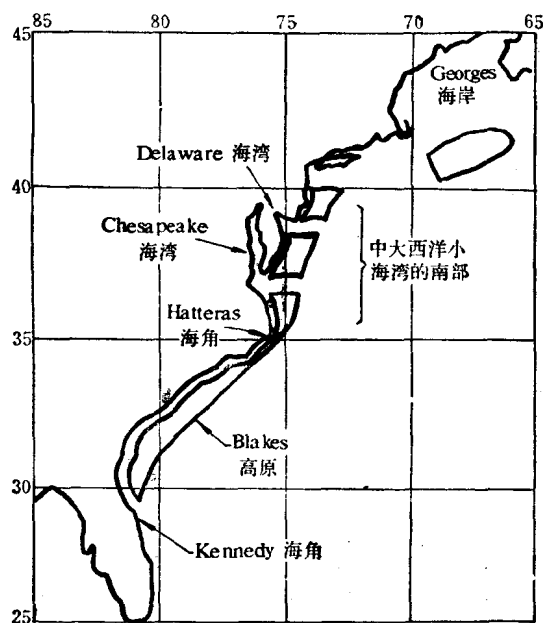


图 4 栖息作物的生长区域

浮生作物(Floating crops)

选择了北美和南美两个海域供浮生作物的研究之用。在加利福尼亚海流和秘鲁海流的海面有丰富的定向流动的植物营养物,流动期约 9 个月。种植浮生作物的方式是把小的种子放入上流而在下流收获。

浮生作物的生长模式(图 7)是把种子播在加利福尼亚海流北部约 80 英里宽的条带。生长的作物由海流携带和扩散,直到占据加利福尼亚沿岸宽约 400 英里的海域。据 Wiegall 估计,80%的浮生作物可在本系统中部 250 英里处收获。这两个海域每年能产作物(干) 1.8×10^8 吨。把生产的浮生作物发酵成沼气,每年的热值可达 $2.6 \times 10^{15} \text{ Btu}$,或相当于目前美国每年天然气消耗量的 10%。

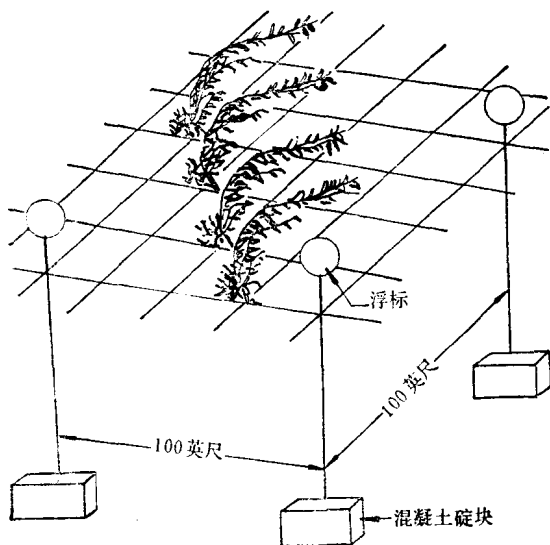


图 5 种植栖息作物用的碇泊棚

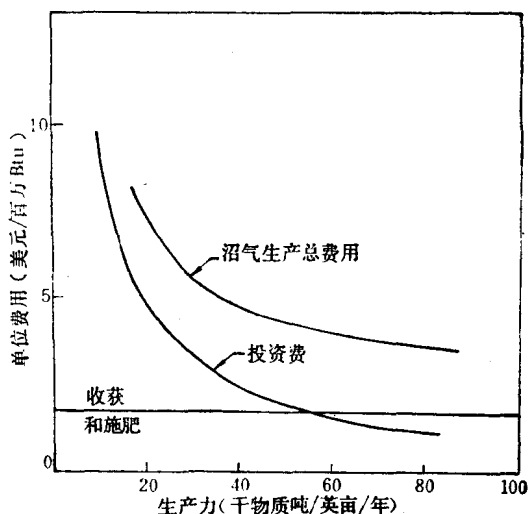


图 6 栖息作物生产燃料的费用

浮生作物含固体物质13~14%，其余是水份。把浮生作物粉碎制成浆液最适宜于生物转化。用泵打入沼气池内。经沼气池中的厌氧菌代谢作用把有机物质转化并产生沼气，其中含甲烷57%，二氧化碳43%，还有少量的硫化氢。沼气池把70%的原料转化成沼气能。先把原料预热后再入池。用一台热交换器把池温维持在50°C。太阳热能和附属的加热器提供的热量往往由于交换器在交换热量时不完全和晚上的热辐射而损失。沼气池在厌氧条件下发酵并用一个浮动气盖将压力维持在一个大气压。沼气池内有一些间壁，使工作不良的室不致互相影响。

生产费用

浮生作物系统的生产费用见表4。

沼气池试验

要成功地利用海洋作物，就需要采用一种良好的方法来厌氧发酵生产成沼气。为了对海滨种植巨藻和用太阳能转化成沼气的效果进行评价，特做了一系列实验。实验表明厌氧发酵工艺并不受这些含水分多的水生作物的不利影响，而且所生产的沼气可以利用美国现有的气管输气系统分配出去。

试验用的沼气池为铝制的圆筒形，容积281加仑。另一些是用有机玻璃制的，容积101加仑。这两种沼气池都便于操作。添加原料、排出液体和固体废物、搅拌、排出气体等都比较方便。容积为281加仑的沼气池，为了维持其理想的池温，用加热带触及铝制池墙的外

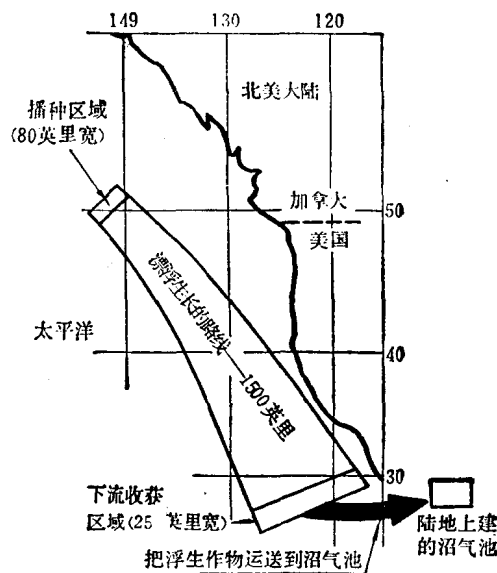


图 7 浮生作物的生长模式

表 4 浮生作物系统的生产费用(每年费用*)(美元×10⁻⁶)

	管 理 费 (未包括劳力费)	劳 力 费 (12 美元/小时)	投 资 (16%)	作燃料消耗的沼气 (%)
种 子	276	—	—	—
各种船只及收获机**	434	859.0	944	3.78
作物加工	—	0.2	4	1.00
泵入沼气池	1	0.7	3	0.19
沼气池	9	90.0	688	—
贮肥池	3	0.5	4	—
排料泵	0.4	0.6	2	0.13
二氧化碳的分离	—	0.8	8	0.68
液 化	74	25	229	10.70
总 计		3686		16.48

注：产沼气的费用按每百万 Btu 价 3.22 美元计算。

* 据 1975 年 3 月基价。

** 船只包括供应船、播种船、拖收获机的船、拖船、小驳船、驳船队等。

部,温度差控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 左右。至于容积为 101 加仑的有机玻璃沼气池则是放在一个能控制温度的橱柜内保温的。发现海藻在实验室设备情况下很难处理,需加少量稀释剂。

做了 5 个实验来检验温度、原料浓度和原料停留时间的效应。从加州海岸把巨藻收获后,在送到康涅狄格州之前先把原料进行冰冻或脱水。在一个沼气池内放淡水培养的细菌培养物,而另一些沼气池内则放曾适应过一段盐水环境的细菌培养物。表 5 是所研究的结果,这些资料代表主要趋势,具体数字在某些情况下可能有百分之几的误差。

表 5 具代表性的沼气池试验结果

试 验 编 号	1	2	3	4	5	6
沼 气 池 编 号	1	1	2	1	2	1
初期的细菌培养物	适应盐水	淡水培养	适应盐水	适应盐水	适应盐水	适应盐水
收获原料的方法	脱 水	冰 冻	冰 冻	脱 水	脱 水	脱 水
原料浓度(%)	4.4	4.9	4.9	6.1	6.1	6.1
发酵温度($^{\circ}\text{C}$)	48	35	35	38	35	35
原料停留时间(天)	20	28	28	28	28	20
总的工作时间(星期)	18	7	14	4	18	12
转化效率(%)	74	70	63	59	54	52

从表中可以看出,实验 1 得到良好的结果,其池温为 48°C ;实验用的原料停留时间为 20 天,原料浓度 4.4%。原料产气的转换热值效率为 74%。再以实验 2 和 3 的结果进行比较,表明在冰冻巨藻转化成沼气方面,适应过盐水的细菌培养物的转化有效性比淡水培养的细菌培养物要低。以实验 3 与实验 5 的结果进行比较,表明实验 5 的原料浓度增加后,其转化

效率反应降低9%。实验4和5的结果比较表明,实验4的池温比实验5高3°C,其转化效率就高5%。实验5与实验6比较,实验5的原料持留时间长8天,转化效率也高2%。

上述研究中,假定沼气池原料浓度为10%,原料持留时间为10天。热值转化效率为74%。实验研究表明池温必须保持在50°C左右。

为了进一步明确其详细的转化过程,把巨藻的三种组分分别放入容积为21加仑的玻璃消化池内,试验结果表明含 α -甘露糖醇的转化效率最高,达77%;而含两种多糖、藻酸和昆布糖的则转化效率为63~64%。

据报道,巨藻含碘多,对此特作了一个实验。在原料中添加了碘化钠,发现当原料含碘化钠0.45%(指干重)时,其产气量就要下降。又据报道,巨藻的最高含碘量只有0.04%,因此以巨藻作原料,正常的含碘量对沼气池的操作无严重的影响。

结 论

海滨产能农场的生长区域要适合于作物生产,而且海洋水域内有供作物生长的丰富营养物。加利福尼亚和秘鲁海流均各有50000英里²的水域可供浮生作物的生长,而美国东海洋则有35000英里²水域可供栖息作物的生长。如果在今后工作中掌握作物的生长速度、营养的供给、作物产量、沼气池厌氧发酵,那么这些水域具有相当大的潜力,可提供相当于目前所需天然气量40%的沼气。在本调查计划中,尚未对另一些水域进行调查,如墨西哥海湾、加勒比海以及澳大利亚的南部海洋均有潜在的区域可供种植海洋植物之用。

本试验证明,用巨藻来生产沼气基本上是无量度的,可以作为生物厌氧发酵沼气池的发酵原料。采用这些方法在最佳化时,其转化效率可高达74%,通过植物所含个别成分的试验数据亦证明有这样良好的转化效率。巨藻植物中所含正常的碘浓度,对产气率尚未发现有任何不利的影响。

(参考文献略)

陈光谦摘译自《Biochem Engineering—Energy, Renewable Resources and New Food》, 1976, p.6~10, 17~23 程敦荣校

几种沼气池池型介绍

为促进我国沼气的研究，我们收集了一些有关沼气池池型的资料，进行摘译，以便启发我们广开思路，从中吸收其长处，现介绍如下。

图 1 为印度的牛粪沼气池（小型自然温度发酵沼气图）。牲畜粪便由左边的池子自动进料，缓慢地向上流动，越过中间隔墙，由右边的管道溢出，池顶安置有插入于发酵液的浮沉式气罩，而由一个中心柱导向，气罩上设置有翼片，在发酵液上部进行搅拌。此种池子容积只有几立方米。

《Anaerobic Biological Methods》, Chapter 8, p.133

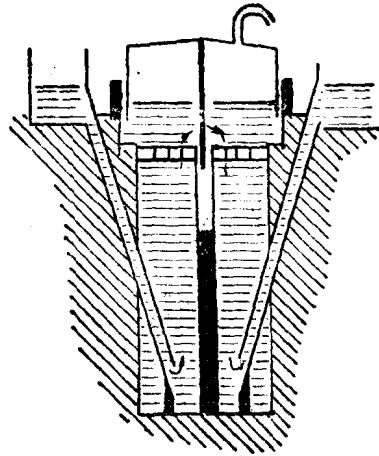


图 1

图 2 是南非的一种沼气池。发酵中的料渣和菌类(由黑点表示)由圆锥形罩子汇集，料液经上部管道流入厌氧过滤池，池底黑色 T 字型标记表示搅拌器的叶片。

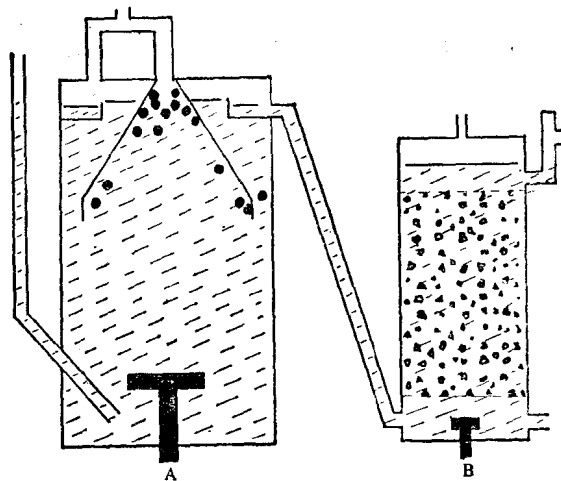


图 2 南非小型实验池(A)和厌氧过滤池(B)示意图

《Anaerobic Biological Methods》, Chapter 8, p. 152

图 3 中圆圈表示压力泵。A. 水封式储气罩。B. 设有搅拌器的进料池。C. 装有机机械搅

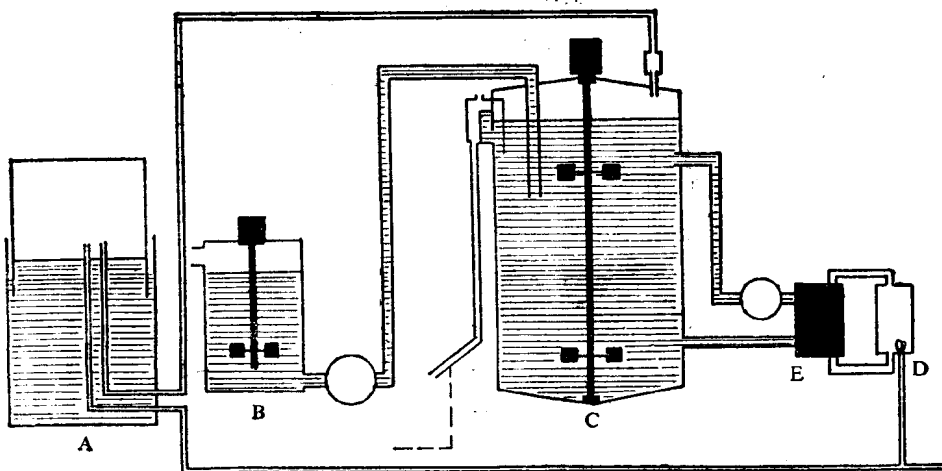


图 3 Aberdeen 地区适用于饲养场的试验池示意图

拌器的沼气池,发酵后的料液经上部溢流口流入虚线所示的贮存池内。D.为热交换器 E 提供热水的锅炉,由沼气池抽来的料液在热交换器中加温。

《Anacrobic Biological Methods》, Chapter 8, p. 174

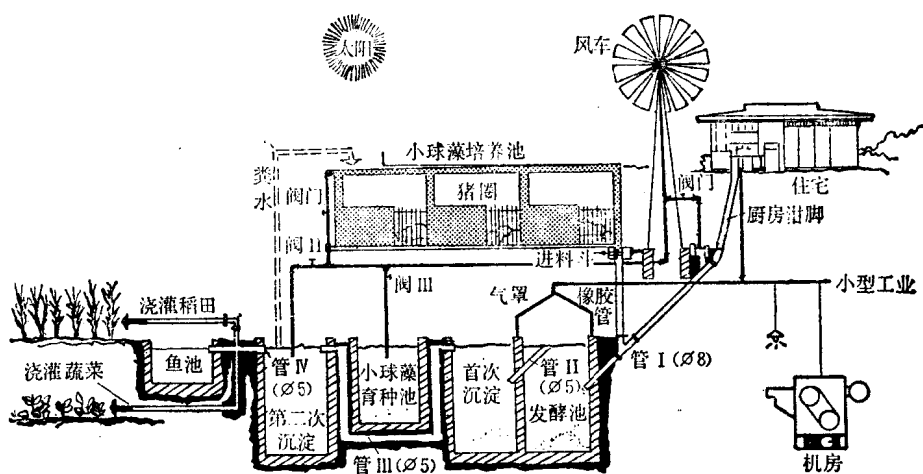


图 4 综合牲畜饲养和培育作物的再循环系统示意图

《Compost Science》, 1978, No. 2, p. 25

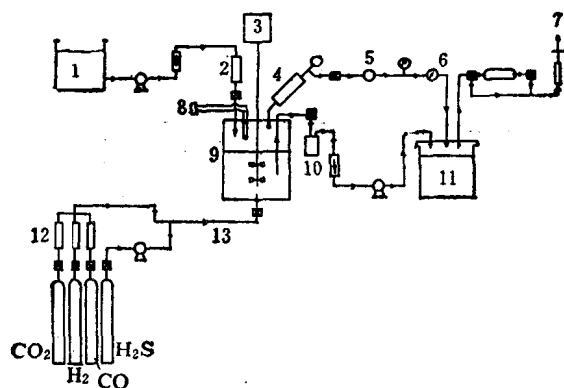


图 5 表压达 450 磅/英寸² 的高压沼气池示意图

1. 养料池; 2. 进料器; 3. 变速马达; 4. 凝气器; 5. 抽气气压调节器; 6. 湿度测定仪; 7. 至焚化炉; 8. 冷却装置;
9. 高压反应器; 10. 渣料收集器; 11. 储气柜 (harvest line); 12. 气流表; 13. 进气管

《Biotechnol. Bioeng.》, 1978, Vol. 20, No. 8, p. 1155

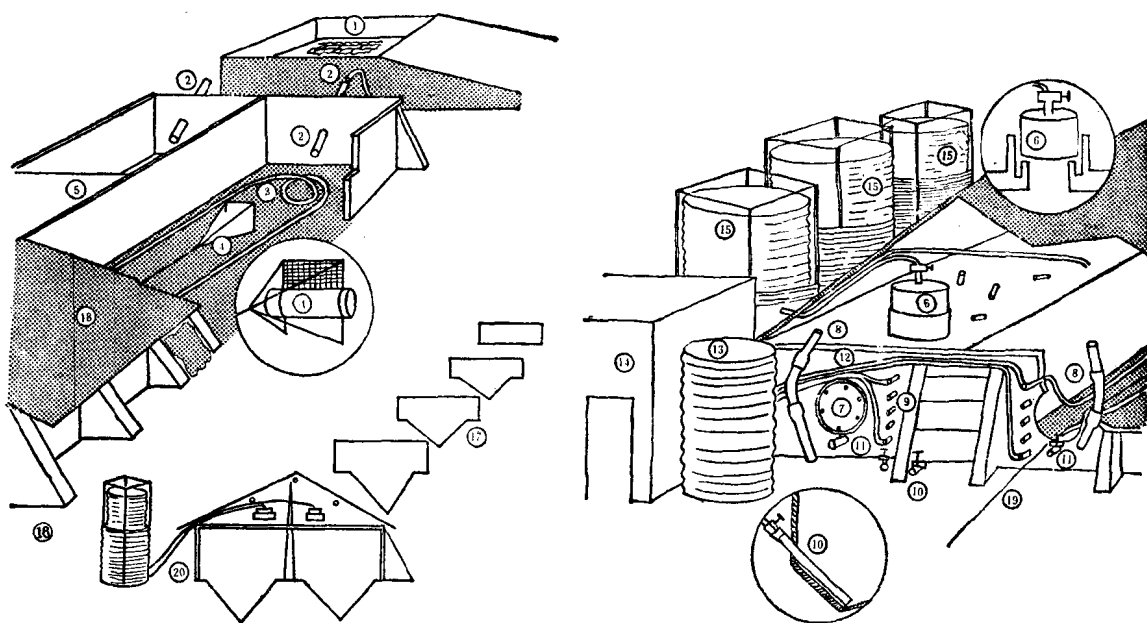


图 6 单级发酵沼气池

1. 混合与进料; 2. 进料管; 3. 升温管; 4. 清渣用的拖网; 5. 破碎浮渣用的管子; 6. 一端通向沼气池的水封式气罩; 7. 出渣口 (直径为 5 英寸); 8. 自动溢水管; 9. 上部清液的上部取样管; 10. 出料管及阀门 (3 英寸); 11. 再循环管及阀门; 12. 由机房引出的加温管; 13. 夏季用的冷却水桶; 14. 机房; 15. 气柜; 16. 池墙加强肋; 17. 带坡度的 V 型沼气池池底剖面图; 18. 池盖 (图中为了显示池体而未示出); 19. 清渣拖网的拉绳; 20. 将沼气送至储气柜 (冷凝捕集图中未划出)

《Practical Building of Methane Power Plants for Rural Energy Independence》,

1974, Vol. 1, p. 12~13

曹国强、蒋奋令摘译 程敦荣校

用城市废物制造沼气——工艺要求

John T. Pfeffer

摘 要

用厌氧微生物发酵把有机废物转化为沼气是回收城市废物中的能量的一个方法。人们利用实验室研究来确定在不同的工作温度下产气的速率和数量,而且确定了比较理想的发酵工艺参数。有机纤维特别是多细胞木质素合成物的特性被认为是决定转化效率的主要因素,因此把这种有机纤维作预处理就可提高转化率。

整个系统的工艺条件已经研制出来,发酵泥浆的脱水特性也已测定。这些泥浆脱水后的含水率极低,因而它在焚烧处理时不必再加辅助燃料。为了确定从焚烧的块饼中可能回收的能量而对这种焚烧系统进行了分析。从泥浆脱水处理的液体进行再循环,如果不可能全部循环的话,提出了处理这种液流的方法。

为了测定在各种工作条件下的性能情况,建成了整个系统的数学模拟,这种模拟系统提供了在具体工作条件下的材料和能量的平衡及费用的数据。

引 言

近年来越来越明显的事实是,工业化世界正在迅速地耗尽矿物能源,因此必需发展别的能源以维持目前工业国家所享有的生活标准;但是用目前的技术或到本世纪末可能掌握的技术还找不到一种新的单一能源可满足这个要求,因此必须尽快地发展所有其它能源以维持目前工业社会所需要的能量供应。

有一种用不完的而几乎是无限的能源是太阳能,如果有一种技术能有效地捕获并利用这种能,就不会出现能源不足了。目前已有好几种可能捕获并利用太阳能的方法。自从古代人类发现了火以来,一直在利用太阳能。通过光合作用,植物能够把太阳能以化学能的形式贮存在植物组织中,植物所含的能量可以用直接燃烧的方法来利用或转化成其它燃料。

用厌氧微生物发酵法可从植物原料获得一种代用天然气即沼气。生物质中所含的碳、氢和氧可以通过复杂的微生物发酵过程转化成沼气和二氧化碳;将二氧化碳分离后可得到高质量的管道沼气,可以用于现有的天然气输送和分配系统。这种沼气可以用作燃料或生产氨和化工原料的合成气体。

目前人们已掌握了用微生物从有机物质生产沼气的有关知识。对这种方法的最初研究集中在城市和工业废水处理系统产生的有机泥浆的发酵。新近在加利福尼亚(伯克利)大学和伊利诺斯(厄巴纳)大学把这个方法推广到利用城市废物的有机物质进行发酵。厄巴纳大学的研究还包括研究发酵过程和残余物脱水及最后处理的试验设备。其他研究者也一直在进行应用研究。但是,已经进行的试验工作很有限,大部分都是可实现性评价研究。由美国

能源研究和开发局投资的利用城市废物生产沼气的试验工厂已在佛罗里达 Pompano 滩 建造。

图 1 为工艺流程。利用现有的从废物生产再生燃料的技术,有可能产生轻馏分物质(主要是有机物质),可作厌氧微生物发酵的基质。废物回收区的废物,先要切碎,目前常采用两级

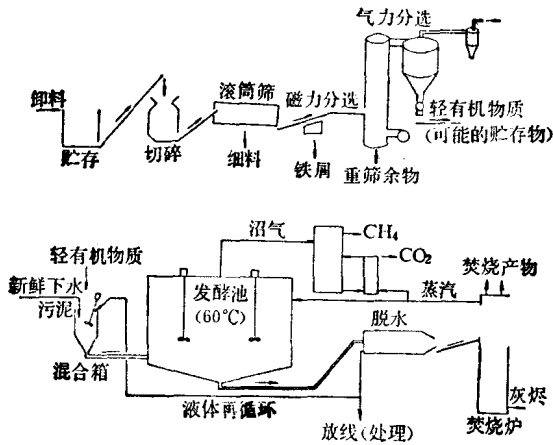


图 1 从城市废物制造沼气流程图

运行。用单乙醇胺将二氧化碳与甲烷分离。反应器的泥浆用离心机脱水,发酵基的一部分再循环,剩余物则作最后处理。将含有 35~40% 固体的块饼焚烧,再用废热锅炉回收 焚烧炉的热量。这部分热量用于产气流程,剩余部分则可出售。本文的一部分将论述发酵残余物的处理。

产气量和产气率

为了确定一种能有效地把城市废物转化为甲烷的生物学方法,在实验室进行了研究,以建立在各种不同温度下的动态关系。这项研究在另文中作了详细论述。其有关结果示于图 2 和表 1。图 2 表示在各种不同温度和滞留时间的产气量(0°C和大气压下的干沼气)。研究中使用的基质是俄亥俄州辛辛那提市美国环境保护中心(USEPA Center) Hill 实验室的切碎废物。表 1 中的挥发性固体的破坏率是从产气量计算出来的。由于所采用的基质和实验室反应器的特性,不可能获得精确测量挥发性固体破坏率所需要的固体平衡。值得注意的是,最大的挥发性固体破坏率为 52.4%。而送入发酵池的一大部分原料仍须作最后处理。

初始的实验室研究在工作容积为 15 升完全混合的反应器内进行,又在 400 升的反应器

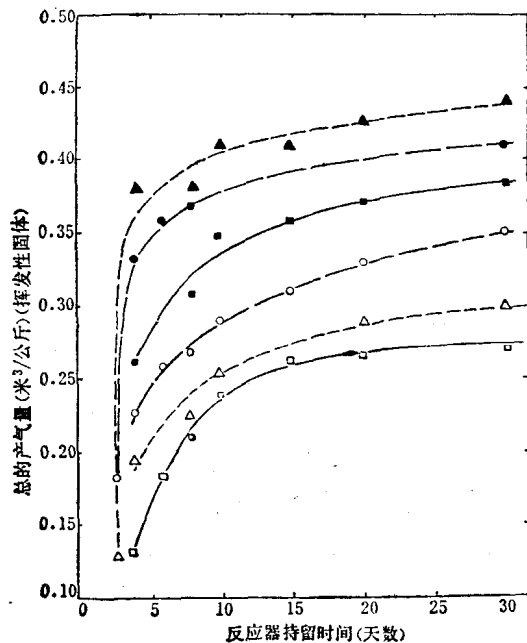


图 2 城市废物发酵产气量(0°C和大气压下的干沼气)

表 1 挥发性固体的破坏率(%)

温 度 (°C)	持 留 时 间 (天 数)						
	4	6	8	10	15	20	30
35	16.5	26.4	28.6	29.8	32.0	32.7	34.0
40	31.0	33.6	35.7	36.8	39.0	39.9	40.7
45	26.7	29.0	31.2	32.3	34.1	35.4	36.4
50	34.9	38.6	41.0	42.2	44.2	45.4	46.1
55	40.4	42.6	44.5	45.2	47.2	48.2	49.1
60	41.9	46.6	48.3	49.6	50.8	51.8	52.4

内进行试验, 试验温度 60°C, 持留时间 10 天。利用当地垃圾填土中的废物, 产气量为每公斤挥发性固体 0.39 米³, 比图 2 所示的城市废物产气量(0.40 米³/公斤)略低。然而, 当用威斯康星州的麦迪逊市破碎厂的废物做发酵池的原料时产气量仅为 0.32 米³/公斤挥发性固体, 比原先用的废物产气量低 18%。使用圣路易市联合电厂的废物时, 产气量为每公斤挥发性固体 0.31 米³。产气量低的原因是潮湿废物在运输和干燥过程中发生好氧性堆沤。产气量视原料而异。因此用高质量的原料, 产气量就高。温度对产气量的影响也很显著, 最佳的中温为 40°C 左右。温度加到 43°C 时, 产气受到明显的抑制, 45°C 的产气量仅略高于 35°C 的产气量, 在中温范围内的最高产气量为 0.29 米³/公斤 VS。在高温范围内产气量大大增加, 最高达 0.45 米³/公斤 VS。

产气率在高温范围内高得多。温度为 60°C、持留时间为 4 天(液态)的系统, 产气量为 30 天的 85%。在高温发酵条件下 4 天的产气量就大于发酵温度为 40°C、持留时间为 30 天的产气量。

泥浆脱水-真空过滤法

对发酵泥浆的特性, 特别是对脱水性能进行了仔细的研究。利用过滤试片技术在实验室里测定了真空过滤系统, 表 2 所示为这些研究的技术数据。采用的是粗组织滤布, 捕集的固体率不高, 但是因为大部分过滤物还要重新循环, 因此捕集率的高低并不重要。

表 2 用真空过滤试片研究所得的过滤率数据(公斤/米²·小时)

块饼固体含量 (%)	过 滤 进 料 的 固 体 含 量 (%)			
	2	4	6	8
不 加 化 学 剂				
16	140	200	310	440
18	110	155	245	360
20	77	112	185	280
22	55	82	140	215
24	35	67	110	165
26	25	45	75	100