

*Yong You Ji
Fei Wu
Sheng Chan*



用有机废物 生产沼气

〔英〕 David A. Stafford 等著

张晋衡 译 王义炯 校

上海科学技术文献出版社

*Yong You Ji
Fei Wu
Sheng Chan*



用有机废物 生产沼气

〔英〕 David A. Stafford 等著
张晋衡 译 王义炯 校
上海科学技术文献出版社

Methane Production from Waste Organic
Matter; David A. Stafford, Dennis L. Hawkes,
Rex Horton; USA. CRC Press, Inc.; Boca Raton,
Florida;

First Edition 1980; p285.

用有机废物生产沼气

〔英〕 David A. Stafford 等著

张晋衡 译

王义炯 校

责任编辑: 徐永康

*

上海科学技术文献出版社出版、发行
(上海市武康路2号)

新华书店经销

宜兴南漕印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 9.5 字数 229,000

1987年2月第1版 1987年2月第1次印刷

印数: 1—1,300

书号: 15192-504 定价: 1.95元

《科技新书目》134-258

原 序

在过去一个世纪里,人们可以看到,在技术大踏步向前发展的同时,不可再生的能源正在迅速地枯竭。今天,我们不但处在能源利用的历史关头,而且也处在为世界与日俱增的人口生产足够食物的历史关头。厌氧消化工艺是一个模仿大自然生物循环有机物过程的模拟设计系统。能源以沼气的方式生产出来,而残渣因含有一定的养分可用于提高土壤的肥力,并且因含有其他物质比如蛋白质,可用作牲畜饲料。

为了使这样的生态系统能够满意地运行,必须使工程参数充分满足所提供的相应环境。而为了使工艺可以采用,经济上也必须是有利可图的。在全书十二章中,对生物学、工程学、经济学、过程控制和应用等因素作了通盘考察。本书试图把世界范围内有关消化工艺的已有知识辑录在一起,而这样的工艺有可能帮助人们解决能源的短缺,对某些国家来说,甚至可以形成全部替代能源系统。书中还叙述了这种工艺在废物处理、环境污染与疾病控制方面的好处,这就加深了人们对这种犹如生态循环系统的多方面效用的印象。

厌氧消化工艺的潜力是明显的,余下的问题便是实际开发这一工艺,以部分补救能源危机所造成的后果,这一危机所产生的影响将比最近的能源产品价格上升所引起的影响要大得多。我们希望适当规模地应用厌氧消化工艺将在不久实现,并且希

望本书提出的论点将有助于人们作出应用这一工艺的抉择。

戴维·A. 斯塔福德

丹尼斯·L. 霍克斯

霍克斯·霍顿

于南威尔士

1978年7月

译 序

厌氧消化生产沼气的优点久已为人们所知，但由于实验和工程诸方面问题，在相当长的一段时间内，其应用大多局限于污水和废水处理。这种局面直至最近几年才发生较大的变化。

由 D.A. 斯塔福德博士、D. L. 霍克斯博士和 R. 霍顿博士合作编写的《用有机废物生产沼气》一书(英文版)，总结了世界各国有关消化工艺的知识。该书在 1980 年出版之际，正值我国沼气建设的推广工作由试验示范进入到有计划地成片发展阶段。书中所介绍的沼气开发，特别是如何组织实验研究、掌握废物特性、控制消化池运行参数以及设计和建造高效消化池方面的丰富经验，对于我国城乡消化池向大型化、高级化、稳定化和商品化方向发展，并采用多种有机废物进行厌氧消化，提供了及时和有益的经验。

原书共有十二章，此次翻译出版仅选八章。为了保证章节内容的上下文衔接，原著这些章节重复之处未作删节，只是对部分明显的错误作了订正。原书第二章世界消化状况述评，第六章消化池气体，第十章厌氧消化的优点和第十二章消化的商情及附录、索引，因限于篇幅，未编入中译本。读者如果需要，可参考原著——《Methane Production from Waste Organic Matter》。

沼气生产技术是一种涉及专业面非常广泛的技术。例如植物分类学方面的知识，译者就曾得到广西植物研究所梁畴芬先生的鼎力相助，更正了原书中一些植物名称的错误(见第七章)，

在此谨表衷心感谢。限于译者的专业 and 外语水平，错误之处恐难免，欢迎读者批评指正。

译 者

1985 年 1 月

目 录

第一章 消化池的类型	(1)
第一节 引言	(1)
第二节 消化池的类型	(1)
一、批量投料消化池	(1)
二、连续投料消化池	(7)
三、活塞式流动消化池	(18)
四、高速消化池	(20)
五、厌氧过滤器	(28)
六、厌氧接触法	(30)
七、分步消化池	(35)
第三节 发展前景	(37)
第二章 厌氧消化的微生物过程——沼气生产的 有关细菌	(45)
第一节 引言	(45)
第二节 有关细菌	(45)
第三节 细菌的分离问题和分离技术	(48)
第四节 甲烷菌的生长	(51)
第五节 营养需要	(51)
第六节 纤维素分解细菌	(54)
第七节 厌氧消化的抑制剂	(56)
第八节 兼性厌氧细菌	(58)
第九节 生态关系	(60)

第三章 沼气生产的生物化学.....	(64)
第一节 引言.....	(64)
第二节 基本生化转化过程.....	(65)
第三节 代谢中间产物.....	(68)
第四节 生化控制和代谢抑制剂.....	(76)
第五节 厌氧消化的动力学.....	(79)
第四章 消化池的设计.....	(89)
第一节 设计的基本原理.....	(89)
一、总则.....	(89)
二、细节.....	(92)
第二节 设计方法.....	(92)
一、清单.....	(92)
二、消化池的控制.....	(96)
三、细节.....	(98)
第三节 废物的特性.....	(101)
一、物理性质.....	(102)
二、化学性质.....	(102)
三、微生物.....	(103)
四、其他.....	(104)
第四节 负载.....	(105)
一、负载率.....	(105)
二、滞留期.....	(106)
第五节 输送机械.....	(109)
一、总固体.....	(109)
二、输送方法.....	(110)
第六节 消化池的建造.....	(113)
一、规模.....	(115)

二、形状	(115)
三、材料	(116)
第七节 消化池的加热	(118)
一、不同温度的影响	(118)
二、热损失计算	(119)
三、加热消化池的方法	(125)
四、保温	(129)
第八节 搅拌	(130)
一、目的	(130)
二、搅拌需用的功率	(133)
第九节 费用	(137)
一、降低成本	(137)
二、费用估算	(138)
第十节 地基建备	(140)
第十一节 安全问题	(142)
第十二节 辅助设备	(143)
一、消化前设备	(143)
二、消化后设备	(144)
第五章 操作管理	(149)
第一节 实验室规模消化池	(149)
一、消化池	(149)
二、加料	(150)
三、搅拌	(153)
四、加热	(157)
五、沼气的收集和测定	(158)
六、校正沼气产量	(164)
七、应用的一般问题	(165)

第二节 实用规模消化池	(166)
一、设计不当产生的问题	(166)
二、一般设计问题	(170)
第六章 消化池运行管理的环境条件	(182)
第一节 灵敏度指数	(182)
第二节 碱度、pH 和挥发性脂肪酸含量	(186)
第三节 沼气产量和成分	(189)
第四节 温度	(189)
第五节 负载率	(192)
第六节 滞留期	(193)
第七节 毛细管吸入时间和挥发性脂肪酸	(194)
第八节 碳氮比	(201)
第九节 细菌循环	(202)
一、理论根据	(202)
二、实践根据	(205)
第十节 抑制剂	(206)
第七章 以特定有机废物作消化池料源	(212)
第一节 引言	(212)
第二节 特定的废物	(212)
一、农肥——牲畜粪肥	(212)
二、污水和下水污泥	(223)
三、啤酒厂和酒厂废液	(228)
四、食品加工废弃物	(233)
五、植物废弃物和能源作物	(235)
六、垃圾	(244)
七、肉类联合企业和屠宰场的废弃物	(250)
八、单一底物和复合底物	(252)

第八章	分析技术	(265)
第一节	挥发性脂肪酸	(265)
第二节	碱度	(266)
第三节	气体分析	(267)
第四节	生物需氧量	(268)
第五节	高锰酸盐值	(270)
第六节	化学需氧量	(271)
第七节	几种需氧量试验之间的相互关系	(271)
第八节	总有机碳	(272)
第九节	毛细管吸入时间	(272)
第十节	三磷酸腺苷	(275)
第十一节	挥发性固体	(277)
第十二节	氮	(278)
第十三节	磷	(279)
第十四节	其他无机物	(279)
第十五节	放射性示踪和标记	(280)
第十六节	取样方法	(283)
第十七节	采样的精度和误差	(284)
第十八节	病原菌计数	(285)

第一章 消化池的类型

第一节 引言

消化池^①的复杂程度和设计布局变化无穷。没有一种简单的池结构能够说一直是理想的，这是因为有诸多的因素影响消化池的方案和结构，何况还须对每一特殊的情形和环境条件加以考虑，以达到最佳状态。不过，在消化池设计原理方面还是有某些基本的区别的。为方便起见，可以不太严格地把消化池归纳成为四种类型：批量型、连续型、高速型和其他型。这一排列的次序大体上是按由易到难的方式进行的，比较简单的结构一般列入批量池这一类型中，而较为复杂的，有加热和搅拌的，分步布局设计的则列入该序列的其他类的最末一种。

在各类池型中，也保持着由易到难的次序，但重迭现象恐难避免。棘手的还有，在应用地区人们对消化池已产生了浓厚的兴趣，随之而来，可能在十年内会出现较之过去任何十年的变动大得多的池型设计要申请专利的局面。

第二节 消化池的类型

一、批量投料消化池

把要处理的废物投入这种消化池，接种物或生物量一般在随后加入，然后将池封好，并保持到消化完成。某些热血牲畜的

① 消化池(digester)，国内也有叫沼气池、发酵池的。——译注

粪肥往往带有产甲烷细菌，这类细菌原本就存在于这些动物的肠内。其他种类有机废物，如秸秆、菜叶、农家垃圾，啤酒厂和酒厂的酒糟，造纸厂、纸浆厂以及纺织工业和食品工业的废弃物，也可用于消化。但如以运行中的消化池的池料进行接种，可显著加快过程的起动力。不加接种，消化可能要进行几个月。如起动力时没有菌种，可采用使消化池池料半好氧分解2~4周所产生的物质来加速消化过程。具体分解时间多长，取决于所用废物的数量和性质。然后就把消化池封闭起来，使之能获得厌氧环境。在这种情况下，沼气必定在3~4天内开始产生^[1]。在产气

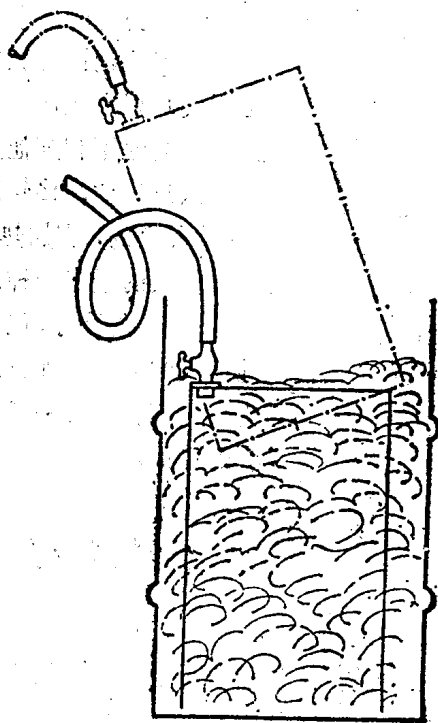


图1 竖筒型消化池

逐渐减少或停止时，可推断消化过程已经完成，随后把池料从槽、坑、沟或袋形的容器中取出，准备进行第二次这样的循环。

这一批量投料的最简单设备是图1所示的竖筒型构造。废料投入外筒内，然后用消化池料接种。带有开启排除全部空气塞的内圆筒向下扣入废物料中。在消化池起动之后，内筒由于消化气而受到一股向上的力，因此就有沼气产生的目测指示。这种简陋设备的缺点是明显的，如用气的量相当少，并且最初圆筒中的气体要排到大气中去，因为它常含有空气，当空气和甲烷以1:4~1:14比例混和时，就会形成爆炸混合气。此外，在开始时，气体中二氧化碳的产率很高^[1]，在这种装置中投料还要同时拿掉内筒，然后取出部分旧料并调换新料，进行一次费时、脏乱而又无效的操作。不过，这种系统对于初步的实验和特定的废料获得产甲烷菌，还是有用的。

第二次世界大战期间，欧洲建造了大批消化池，据说这些简单的装置提供了足够的沼气来满足小农庄的需要。图2中的示

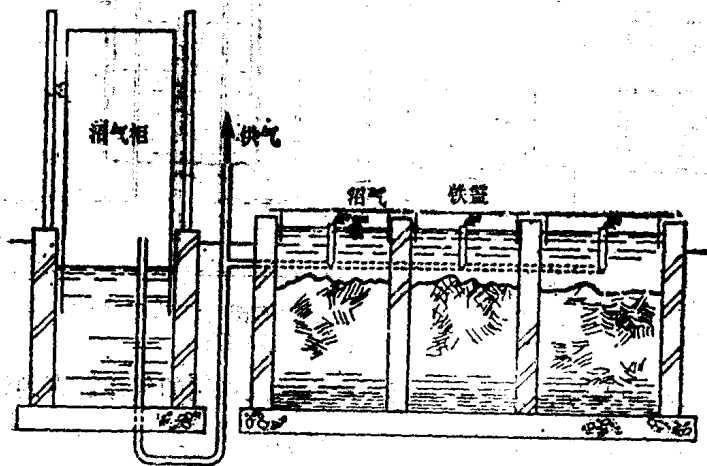


图2 托尔马什(Tollemache)装置示意图^[2]

意图表示的就是这样的装置。如图所示构筑了一组地坑，把废料——粪肥、秸秆、菜叶梢、树枝条铲进或叉进池中，随后接种厌氧细菌。此后再压池料，并用软管加水来封物料。这种不加热的池子，尤其是在冬天滞留期很长。杜塞勒(Ducellier)和伊斯曼(Isman)设计的类似池子，如图3所示。这种池型最早是1937年在南非研制出来的，并成为战时法国人开办的许多工厂能源供应的基本设施。这种池型的优点是，投料不必象连续和高速消化池那样，要制订详细的技术条件，注水到适当的“粘稠稠的稠度”。例如以自然状态运送的粪肥，除了占整个生产能力约10%的加料和接种操作之外，没有别的事情要处理。不过，这种池子是劳动密集型操作，每2~3个月就得做一次极为艰苦和令人讨厌的出料工作。

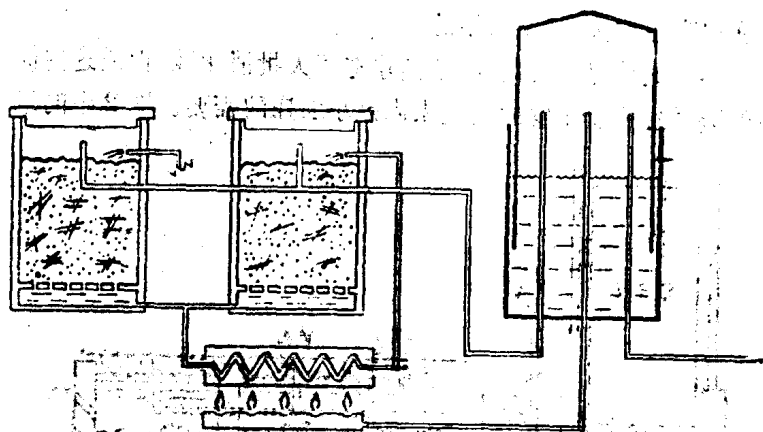


图3 劳动密集型的杜塞勒和伊斯曼消化工艺流程图(该工艺采用的是一种畜肥总固体浓度比较高的批量装置)

人们早就知道，垃圾分解会产生甲烷和别的气体。直到最近，人们才把这一事实和卫生填埋地的应用倾向一起考虑。不过，现在利用的似乎是批量投料的厌氧消化池。由于以这种办

法利用行之有效的地方数目极为可观,因而这类工艺在经济上也是可行的。可能在美国就有 13,000~20,000 处垃圾处理场^[4],尽管其中大多数地方并不适宜回收沼气,但估计仍有数百处对于商品化沼气的回收具有潜在价值^[5]。目前至少有一家公司从这种地方收集沼气^[6]。从这类垃圾填埋地收集的沼气,可用四种办法加以利用:

(1) 把低热值沼气掺混到适当的燃气发动机中来生产蒸汽和电力;

(2) 向工业用户提供部分净化的低热值沼气;

(以上两类应用可能会受到地方公用事业部门权限的影响,且敷设和维护管线的费用以及有关设备,可能代价高昂、易出故障。)

(3) 净化这些生物沼气,使之成为标准燃料,输入附近煤气公司的管线,在常规的使用条件下,借助整个分布网加以利用;

(4) 就地将垃圾填埋地生物沼气转化为甲醇或液化天然气。

第(3)个方案当计划可行时,看来优点较多。

不过,这些提取程序的工艺不是简单易行的,因为把 150 毫米直径的管子深埋到垃圾填埋地井底并抽出气体有很多问题。如果以快于沼气产气的速度从填埋地抽送提取的沼气,那么,由此引起的部分真空可能会把空气带进基本无氧的环境。相反,若抽气的速度比沼气产生的速度慢的话,可能意味着地井内的压力太大,这样沼气就会从垃圾场的意想不到的地方冒出来。抽气过程的工艺,需要各个学科大量的专门知识^[7]。

据估算,产气量为 30~90 米³/吨市政垃圾,典型的沼气其甲烷含量是 50.2%,据说其中还含有 48% 二氧化碳、0.86%