

农村沼气技术

王广德 曹正寅 译



山东科学技术出版社



译 者 的 话

目前，许多国家都在积极研究和推广沼气技术。各国的实践证明，沼气是一种重要的代用能源，发展沼气是解决农村能源困难的有效途径。

近年来，我国的沼气事业发展很快。广大沼气工作者迫切需要更多的沼气技术资料。我们翻译这本小册子就是想提供这方面的国外资料。

本书是由美国和加拿大九所大学十一名专家共同编写的。书中较系统地介绍了农村实用沼气技术，包括沼气发酵的生物学机理与工艺、沼气池操作技术、设计方法、安全卫生知识和经济效益分析等内容，是一本较好的通俗读物。

由于我们的水平所限，谬误之处请读者批评指正。

一九八二年五月

序

近年来，人们对于利用有机物质在隔绝氧气的情况下进行分解所产生的沼气作为燃料，越来越感兴趣。产生这种兴趣有许多原因，其中很重要的一点就是矿物燃料价格的迅速上涨和由此而给发展中国家加重了负担。

目前，已经发表的普及性和技术性的文章很多，大都是根据印度的经验写成的。文章谈到了在工业化国家里受到环境困扰的人们采用这项技术代替常规能源（特别是在农村）的问题。除讨论在个别国家农村使用沼气外，大多数文章都认为现有的技术基础能够供应设备、构件和管道配件，可为沼气生产提供极大的方便。但是，这些文章没有充分论述沼气系统是个生物学系统的问题，也未谈到在这样的生物学系统中经常碰到的化学和生物学问题。

技术革新咨询委员会，得到国际关系委员会及其国际开发科学技术委员会的同意，认为现在准备一份关于这一课题的最新资料纲要是有用处的；这个材料，第一要为发展中国家负责农村计划和发展的官员提供一般性背景材料；第二要为那些热心于在农村地区办沼气的人员提供技术资料。

这个材料写成后，与技术革新咨询委员会“关于发展中国家农村地区可再生能源及其开发技术的报告”，恰成姊妹篇。用人畜粪便和农业废物制取沼气供农村地区使用，这个问题似乎值得单独出一本书作专门而详细的分析。委员会要

求被委派的专家小组，对沼气知识和技术的现状作出估计，提出有效的应用方法，并搞清需要研究和发展的方面。委员会还要求专家小组注意，这个报告是针对两类人写的：一是熟悉某些基本原理，但不一定熟悉其内在问题、目前的发展或资料来源的技术人员；二是必须根据国家的需要和条件限制，对这方面的技术性建议作出评价的决策人和计划人。

报告中讨论了人类控制厌氧发酵这一自然过程为自己服务的方法，以及怎样把用这种方法制取的沼气用作燃料。报告中还有较详细论述这一课题的著作目录，并有专家小组成员名单。发展中国家的技术人员在必要时可就一些具体问题直接向他们请求帮助。

本小组希望，这一报告不仅能提供关于利用废物的厌氧发酵制取燃料和肥料的最新资料，而且将促进利用这一技术提高农村生活水平。

沼气制取专家小组成员：

G·A·罗利奇 得克萨斯大学约翰逊学院土木工程系

V·沃尔波特 密苏里州华盛顿大学生物系

L·J·康纳 密执安州立大学农业经济系

C·G·戈鲁克 加利福尼亚大学土木工程系，卫生工程研究实验室，里士满野外站

T·D·希奈斯利 伊利诺斯大学农学系

P·H·琼斯 加拿大多伦多大学环境科学工程学院

H·M·拉普 加拿大曼尼托巴大学农业工程系

R·C·洛埃爾 纽约康奈尔大学土木与环境工程系

赛西尔·罗兴 大芝加哥城市卫生区

J·T·普费弗 伊利诺斯大学土木工程系

T·B·S·普拉卡萨姆 大芝加哥城市卫生区，研究与发展实验室

目 录

一、总论	(1)
(一)引言和历史	(1)
(二)沼气系统介绍	(6)
1.沼气的生产与应用	(6)
2.沼气污泥的用途	(7)
3.成功的沼气系统必须具备的条件	(9)
4.安全问题	(11)
(三)沼气生产在经济上的可行性	(14)
1.国内能源	(14)
2.原料	(14)
3.沼气的生产和利用过程	(15)
4.家用沼气池与公用沼气池	(16)
5.管理和技术	(17)
6.对效益与代价的估价	(17)
二、厌氧发酵技术	(24)
(一)生物学机理	(24)
1.第一阶段的基质与微生物学：聚合物分解	(24)
2.第二阶段的基质与微生物学：产酸阶段	(27)
3.第三阶段的基质与微生物学：产甲烷阶段	(28)
4.温度	(32)
5.沼气组成	(33)
6.沼气系统的其他参数	(33)
(二)原料及其制备	(33)

1. 性质	(34)
2. 植物性原料	(34)
3. 动物性原料	(38)
4. 收集、准备和储存	(40)
(三) 沼气的储存与利用	(42)
(四) 消化污泥的组成、储存与利用	(46)
(五) 公共卫生问题	(51)
1. 潜在危害	(51)
2. 预防性措施	(56)
三、厌氧发酵技术——工艺过程设计	(58)
(一) 总的设计考虑	(58)
1. 原料	(59)
2. 产气量	(61)
3. 建筑材料	(67)
(二) 设计要求	(71)
1. 与沼气池规模有关的设计依据	(72)
2. 与沼气池规模无关的设计依据	(74)
3. 发展中国家和工业化国家的沼气池的比较	(76)
4. 设计实例	(77)
(三) 操作与保养	(82)
1. 起动：沼气池接种	(83)
2. 温度	(84)
3. 有机物装料	(86)
4. 进料中固体浓度	(87)
5. 毒性	(88)
6. 养分不足	(89)
7. 间歇作业与连续作业	(90)
8. 消化污泥的处理	(91)

9. 厌氧消化过程的维护	(91)
10. 沼气池池体维护	(93)
(四) 性能测量	(94)
1. 厌氧消化的产气数量	(94)
2. 厌氧消化的产气质量	(95)
(五) 安全	(99)
四、需要研究与发展的问题	(102)
(一) 一般性问题	(102)
1. 发展中国家沼气池现状调查	(103)
2. 规划	(104)
(二) 需要研究与发展的技术问题	(105)
1. 改进原料的可生物降解性	(105)
2. 降低沼气池造价	(105)
3. 消化污泥的利用	(105)
附录	(107)
一、 日产沼气3立方米的沼气池所需要的建筑材料	(107)
二、 哥巴沼气池造价和收益的比较	(116)
三、 不同类型牛粪沼气池的比较	(118)
术语	(120)

一、总 论

(一) 引言和历史

显而易见，人们越来越需要替代性能源。我们的矿物燃料储藏量终有一天要枯竭。由于矿藏分布不均匀，有许多国家必须购买矿物燃料，而且价格越来越昂贵。另一方面，对许多发展中国家，运输问题也会严重限制矿物燃料在农村地区的使用。如同最近的事件所表明的那样，矿物燃料的价格高低和能否买到，主要取决于燃料生产国关于能源问题的决定，而不是市场的需求。

现在，发展中国家解决能源的办法主要是依靠当地资源，即烧木柴、谷草或牛粪，利用水力带动水车和发电以及任何在当地可以得到的矿物燃料。一个国家的能量需求，往往不能由这些当地资源完全满足，还必须用外汇购买所需要的矿物燃料。在大多数发展中国家里，基本经济和大部分人口依然在农村，并未大量使用消耗能量（特别是矿物燃料）的机械。由于缺乏廉价、充足的能源，妨碍着农村发展计划的实行，阻止了农村生活水平的提高。解决能源及其分配问题，成为执行经济发展计划的中心环节，特别在农村地区更是如此。由于进口矿物燃料的价格越来越昂贵，因此利用当地原料发展替代性燃料势在必行，好处很多。

本文论述了在农村环境中发展一种适合于个体农户或村

庄使用的替代性能源。理想的能源应为当地所产，应仅仅依靠当地原料和劳力，就能生产出可供农村使用的能量。与目前农村取得能量的办法（主要是通过燃烧取得热能）不同，理想的能源系统应能生产多种用途的燃料。理想的燃料应当易于收集和储存，以便根据需要用来发热、发光、小规模发电和作其他动力。此外，在可能的情况下，要求它能以同样的原料提供比现在更多的能量。

农村地区通常都有大量原料——作物残体和动物粪便。从理论上说，它们都可转换成可用的能源。对于利用这些原料作为燃料来源来说，目前最有潜力的方法似乎就是厌氧发酵。这种方法也称为厌氧消化，可以把复杂的有机物转换为甲烷和其他气体。它具有一些值得人们注意的优点：①它是人们已知的处理人畜粪便的最好方法，可减少粪便运送和处理所造成的公害；②产气后剩下的污泥是有价值的肥料，包含着发酵原料中所含的全部必需养分。

有机物质在隔绝空气的条件下腐烂会产生可燃气体，特别是“沼泽中冒出气体”的现象，为人们知道已有几个世纪了。在夜间偶尔看到的跳动的沼气火焰（可能是由附近的火发出的火星点燃的），曾引起关于“鬼火”或愚人之火这类的传说。虽然不能肯定是什么时候人们首次把粪肥放在密闭坑内分解产生可燃气体，但我们知道，1895年在英格兰的埃克塞脱城，曾把一个经过“精心设计”的腐解桶产生的气体用于街道照明。这一经验曾鼓舞过其他人，因此在十九世纪二十年代，英格兰又建造并使用了若干个专门用于制取这种气体的装置。这种气体主要是甲烷，即一种最简单的碳氢有机化合物。在第二次世界大战期间及以后，法国、阿尔及利

亚和德国等能源短缺的国家，也曾利用这种方法生产过甲烷，用来作机动车的燃料。

在那些天然资源不丰富或能源配给不充足的国家里，沼气设备更适合于满足农村的能源需要。家用沼气池已经在各种气候和耕作条件的地区使用。在印度，有把牛粪当燃料的传统，由于怕失去牛粪作肥料，他们先进行了试验，想研制一种既能提供燃料又不毁掉干牛粪的办法。这些试验是1939年在新德里农业研究所开始的。关于那些试验的一篇报道说：“试验的结果，设计出了一种简单而容易操作的产气装置；牛粪在这种装置内发酵，产生一种可以用作燃料的可燃气体；牛粪残渣可以作肥料。”在印度，这项工作在家庭织布与农村工业委员会的鼓励下得到了推广。1961年，在北方邦阿吉特马尔创建了哥巴沼气研究站；1971年该站公布了许多种沼气池设计图。印度自首次试验以来，已建起了数千个这样的装置，大多数建在农村，有的一家一个，有的几家共用一个。

至于其他发展中国家，究竟什么时候对厌氧消化方法产生了兴趣，不象在印度容易说得清楚，也许中国台湾省是个例外。在中国台湾省，大约于1955年开始试验用猪粪制取可使用的燃料。今天，在台湾已建成约7,500个这样的装置，都成了中小型饲养场养猪作业的永久性附属设施，虽然有报道说其中实际使用着的或许只有半数。

在中华人民共和国，这项工作自1970年以来一直在蓬勃开展，举办过几次沼气专题讨论会。1972年中国科学院和农林部在四川联合召开了会议，总结进展情况。据报道，在中国有数万个沼气池正在使用中，仅四川一个省就有三万多个

小型沼气池，基本原料是人畜粪便。

(南)朝鲜对利用农村沼气池也很有经验，在1969～1973年间就建成24,000个沼气池。

关于其他国家利用废物制取沼气的情况，也有一些零星的消息。据报道，坦桑尼亚、乌干达和孟加拉等国都建了沼气池。从1971年以来，南太平洋诸岛上也进行了一些试验，在斐济的一家小型农场里建起一个中等规模的试验沼气池。在巴布亚新几内亚的莫里斯比港建起了一个成功的示范性沼气池。在墨西哥最近建了一个利用鸡和火鸡粪的样板池。

在美国和西欧，近年来对于小规模地利用厌氧消化提供燃料和安全的“天然”肥料的兴趣一直在逐步增长，并且出版了不少小册子，其中或多或少地介绍了建造沼气池的细节。

这样，利用厌氧消化从废物中提取能量，已有几十年的历史。一般技术也都是大家所熟知的。然而，沼气池并不仅限于小规模使用。处理城市下水污泥用的就是大型城市沼气池，所产沼气可满足城市污水处理厂本身的部分能量需要。

制取沼气常用的原料通称为“废物”，即作物残体、动物粪便、城市垃圾（包括人粪尿）。这些原料中有一些已经在发展中国家用作燃料和肥料，如图1所示。

利用农村废物制取沼气，直接的好处是：

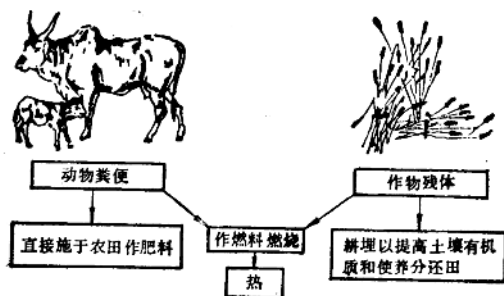
(1) 生产出一种可以贮存和更有效地利用的能源；

(2) 生成一种稳定的残渣（污泥），其中保留了原有物质的肥料价值；

(3) 节省了用合成法生产等量氮肥所需要的能量。

间接的好处是：

原来的用途：



加进制取沼气：

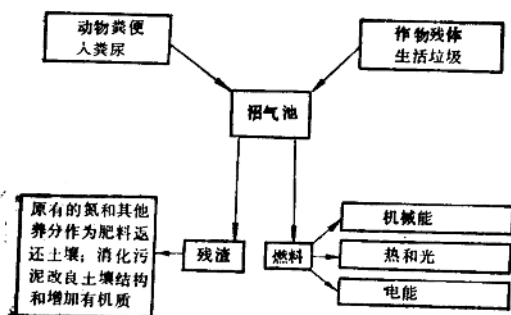


图 1 厌氧发酵对有机废物利用的影响

(1) 通过发酵对废物起到一部分杀菌作用，减少了粪便中病菌对公共卫生造成的危害。

(2) 通过发酵过程，减少了作物残体上的霉菌和其他植物病菌对新生作物的传播侵害。

(二) 沼气系统介绍

沼气系统包括沼气的生产过程、沼气的利用和发酵后剩余污泥的利用。

1. 沼气的生产与应用

可生物降解有机物质在厌氧发酵中的甲烷产量，是由投入沼气池的原料种类和数量决定的。产甲烷效能某种程度上取决于沼气池的连续运行情况。当有机物质（即人粪尿或禽、猪、牛粪等物质）很容易降解时，每投入沼气池 1 公斤挥发性物质能产沼气 0.5~0.6 立方米，其中甲烷占 50~70%。燃烧约 30 升沼气所释放的能量相当于一只 25 瓦的灯泡点亮 6 小时。

总之，废物的可生物降解性差，产气率就低。在发展中国家，应考虑的一个重要因素是，由不同来源产生的废物，在数量和质量上都不相同，如畜粪的质量和数量就受到饲料和动物整个健康状况的影响。表 1 列出了可用于制取沼气的有机物质来源。

沼气的用途取决于清除不可燃气体（如二氧化碳）和腐蚀性气体（如硫化氢）的情况。沼气的用途很多，包括烧热水、房屋供暖、室内照明和家庭做饭等。凡是烧气的设备，只要加以改装就可以使用沼气。把内燃机改装为烧沼气，可

能比较简单，因此沼气也可用于抽水灌溉。过去的经验表明，在发展中国家，凡是大量制取沼气的农村地区，沼气主要用于照明和做饭。

表 1 能产生沼气的有机物

农作物废物	甘蔗渣、杂草、玉米和其他庄稼秸、谷草、碎草
动物废物	牛棚垃圾（粪、尿、垫草）、禽舍垫草、山绵羊粪、屠宰场废物（血、肉）、渔业废物、皮毛业废物
生活垃圾	人粪尿和垃圾
以农产品为原料的工业下脚料和废物	油粕、蔗渣、稻糠、烟草废料和种籽、水果和蔬菜加工工业废物、糖厂榨泥、茶叶废物、纺织厂棉尘
森林地被	树皮、小树枝、树叶
水生废物	海藻、海草、凤眼兰

有机废物发酵产生的沼气是无色、可燃的，一般含有大约60%的甲烷和40%的二氧化碳，还有少量的其他气体，例如氢、氮和硫化氢。沼气的热值为每立方米18,676千焦耳以上。甲烷是一种无毒气体，略带一点不难闻的气味。但假如在发酵中混合产生大量硫化氢，气体就会具有浓烈的臭味。

2. 沼气污泥的用途

以植物性和动物性废物为原料的沼气池，在其排出污泥的有机质中，按干重计算可能含有30~40%的木质素和未消化完的纤维素以及类脂化合物，具体含量因所用的原料不同而有差异；其余部分为原料中原有的因木质素和角质的保护而未被细菌降解的物质、新合成的细菌细胞物质和较少量的挥发性脂肪酸。细菌细胞体的数量很少（有不到10~20%的

基质转换为细胞)。因此,把沼气污泥堆放在田间或撒在田间,产生臭气和造成昆虫繁衍的可能性较小,如果把未经处理或只经部分处理的有机废物随意处置或存放,则危害较大。

前面说过,厌氧方法的直接优点之一是,作为发酵原料的植物残体和动物废料中所含的营养元素,都保存下来供给以后的作物生长需要。养分中的氮实际上全部保留了下来。由于氮常常以氨的形式存在于沼气污泥中,所以沼气污泥需要妥善储存,向田间施用也要得当,以便尽量减少这种挥发性化学成分的损失。除了碳、氧、氢和部分硫之外,植物残体和动物废料中所含的其他化学元素全都保存在厌氧消化污泥内。

往土壤中施用厌氧消化污泥的结果与施用任何其他有机物的作用完全相同。形成的腐殖质能够改善土壤的物理性质,譬如透气性、持水和渗水能力都得到改善;阳离子交换量也有所增加。此外,消化污泥成了土壤中微生物群繁衍赖以取得能量和养分的源泉,这些微生物又直接或间接地改善土壤无机成分中必需化学养分的溶解性,因而也就提高了高等植物对这些养分的利用率。

经证明,在工业发达的国家,城市污水处理厂(大量接收工业废水)的厌氧消化污泥,即使大量施于农田也不曾对植物造成危害。因此,在发展中国家将消化污泥施于农田,不可能因经过发酵的植物性和动物性废料中所含的重金属或农药而产生什么问题。用消化污泥作肥料可能会提高植物组织中某些元素的浓度,但从动物和人的营养观点来看,这更可能是个优点而不是缺点。在植物组织中含有量可能增加

的元素几乎都是动物所必需的营养。

3. 成功的沼气系统必须具备的条件

一个沼气系统要能够成功地运行，必须具备的条件是，用户欢迎，产出气来有办法利用，对沼气有足够的需求量，有充足的原料满足沼气生产的需要以及有良好的保养和操作管理。

许多对厌氧消化法有经验的科学家和工程师，对于从有机废物中提取能量的前景持谨慎的态度。这种方法的基本原理是众所周知的。在农村地区也有大量未被利用的有机物。这些有机物会产生大量沼气。目前的技术，凡是需要的地方都可以用，也能适应当地的情况，但必须有适当的指导。

总之，本专家组建议，任何国家在采用沼气池原理或使用沼气池处理某种具体废物之前，应先具备下列条件：

(1) 发酵设备必须经过试验证明能在拟定的作业规模中使用。

(2) 设备安装完后应提出明确的使用须知，如果能够做到，应写出书面说明。

(3) 发酵设备及设备能力必须与要处理的原料的数量和类型相适合，与其他相关设备相适应。

(4) 用户或操作人员必须有能力正确地保养和使用这种设备。

要得到足够的沼气产量，需要有合适的沼气池条件。要使投入每单位的原料在最短时间内取得最大产气量，就必须取得并保持细菌活动和厌氧发酵所需要的最佳条件。影响沼气产量的主要因素见表2。

沼气池的设计和产气量的预计必须与各地的原料、气候条件和建筑材料相适应。因此,在能够制取沼气的国家中,各个地区都可能需要有一个技术援助计划。为了尽量减少设备投资,沼气池的大小应当适合当地的需要,尽可能做到就地取材。不使用金属而使用木材、钢筋水泥、混凝土、砖或石头等耐腐蚀材料,也可以收到降低成本和延长设备使用寿命的效果。

表 2 影响沼气产量的主要因素

沼气池开始运行阶段	(1) 厌氧环境 (2) 合适的基质 (3) 合适的菌种类型 (4) 沼气池中有(对厌氧细菌)合适的环境条件
保持正常工作 沼气池的产气量	(1) 保护沼气池不使发生环境条件突变——保持足够的厌氧细菌群体 (2) 平稳投放基质——连续作业池比间歇池产气量高;半连续作业对小型池更实用 (3) 清除池内无用的东西,如砂子和石头,以防损坏机械部件 (4) 池温——在中温($30\sim40^{\circ}\text{C}$)和高温($50\sim60^{\circ}\text{C}$)范围内,给沼气池加热会提高细菌的活动效率,因而增加产气量、缩短基质在池内的滞留时间

在一个国家的各个地区,确定沼气池的起动条件也可能需要一些技术帮助。此外,当沼气池正常运行起来以后,偶尔也可能还需要技术帮助。然而,一旦人们了解了有关建池材料、可利用的有机物质、所需要的能量和使用技术知识以后,沼气池的操作可能就比较简单了。

确定沼气生产系统的设计参数所依据的技术要求都已在