

农村沼气实用技术

黄光裕 刘迪宇编

湖南科学技术出版社

农村沼气实用技术

黄光裕 刘迪宇 编

序 言

沼气是可再生的生物质能源，具有优质、清洁、廉价、制备容易的特点。其开发利用一举多得，在人们生活和工农业生产上具有广泛用途，沼渣沼液是具有多种功能的优质有机肥料和饲料，含有丰富的氮、磷、钾、微量元素、维生素和生物刺激素，能促进动植物生长，提高农作物抗逆性和品质，发展畜牧业和水产业。随着沼气综合利用领域的不断拓宽，沼气已成为具有能源、环保、生态及其它效益的综合系统工程。因此，开发沼气对于缓解农村能源紧张，合理开发利用资源，保持生态平衡，发展农村经济，改善人民生活条件都具有重要意义。

近年来，我国沼气建设的成就令人瞩目，涌现了一大批有关沼气的科研成果。推广步伐不断加快，每年新建池达20—30万个，至1990年底止，全国累计有户用沼气池400多万个。

随着农村经济的发展，农民生活水平的提高，广大农村对沼气技术的需求越来越强烈。但是，由于农村居住分散，推广体系不够健全，基层沼气科技推广人员少，沼气知识的普及还满足不了广大农村的需要。《农村沼气实用技术》的出版发行对于提高沼气技术，普及沼气知识，推动沼气事业的发展，无疑是大有裨益的。

本书作者长期从事农村沼气的科研和推广工作，具有一定的理论水平和丰富的实践经验。本书结合国内最新技术成果，总结近二十年的经验，在简述了沼气基本知识后，详细介绍了

实际操作方法及要领，融技术性和科普性于一体，内容全面，技术实用，文字通俗易懂，适合广大沼气用户阅读使用，对基层沼气推广工作者也有一定的参考作用。

我相信，本书的出版，将为推动我国农村的沼气建设，起到应有的作用。

谭祥云

1991年12月

目 录

序言	(I)
第一章 沼气的基本知识	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 沼气发酵微生物	(2)
一、不产甲烷微生物	(3)
二、产甲烷细菌	(3)
三、沼气微生物的相互关系	(4)
第三节 沼气发酵的生物化学基础	(5)
一、沼气发酵的阶段性的	(5)
二、甲烷的形成	(6)
第四节 沼气发酵条件及其控制	(8)
一、沼气细菌	(8)
二、营养物质	(9)
三、一定的温度	(10)
四、发酵浓度	(12)
五、适宜的酸碱度(pH值)	(12)
六、严格的厌氧环境	(13)
第二章 农村沼气池的设计与施工	(15)
第一节 地基	(15)
一、土的类型	(15)
二、地基土的容许承载力	(17)
第二节 圆柱形沼气池的设计	(18)

一、沼气池的类型和特点	(18)
二、几种小型高效沼气池	(20)
三、沼气池的设计参数	(23)
四、设计步骤	(25)
五、几何特征计算	(26)
六、荷载与荷载组合	(27)
七、内力分析	(33)
八、截面强度计算	(36)
第三节 浮罩式贮气柜	(38)
一、构造要求	(38)
二、浮罩重量计算	(38)
第四节 建池材料	(39)
一、建材基本知识	(39)
二、普通混凝土	(45)
第五节 施工技术	(49)
一、沼气池的施工	(49)
二、圆筒形浮罩式贮气柜的施工	(66)
第三章 农村沼气的生产管理	(71)
第一节 农村沼气发酵工艺	(71)
一、常规沼气发酵工艺	(71)
二、厌氧接触法沼气发酵工艺	(74)
三、菌种保留法沼气发酵工艺	(74)
第二节 农村沼气常用发酵原料	(75)
一、沼气发酵原料的类型和特性	(75)
二、农村常用原料的产气特性	(76)
三、沼气发酵原料的配比	(78)
四、原料体积与重量的数量关系	(84)
第三节 农村沼气的运行	(84)
第四节 农村沼气池的管理	(88)

一、控制发酵浓度	(88)
二、适当搅拌	(89)
三、适时换料	(90)
四、加强越冬管理	(92)
五、添加促进剂, 提高产气量	(93)
六、常见故障及处理办法	(94)
第五节 病态池的判断与维修	(99)
一、病态池常见故障类型及产生原因	(99)
二、病态池的诊断	(100)
三、怎样修补沼气池	(102)
第六节 安全知识	(104)
一、沼气的成分及其特性	(104)
二、安全管理知识及注意事项	(105)
三、沼气窒息中毒症状及抢救	(107)
第四章 沼气的日常使用	(110)
第一节 沼气输配系统	(110)
一、输气管道	(110)
二、管道配件	(111)
三、输气系统的安装	(114)
四、输气系统的检测验收	(115)
第二节 沼气的燃烧	(116)
一、沼气的燃烧特性	(116)
二、沼气的燃烧方法	(117)
第三节 沼气的科学使用	(118)
一、家用沼气灶具的使用方法	(118)
二、沼气灯的使用方法	(125)
第五章 沼气综合利用	(129)
第一节 沼气的综合利用	(131)
一、沼气作内燃机燃料的利用	(131)

二、沼气在贮粮灭虫及果蔬保鲜上的应用	(137)
三、沼气孵鸡	(143)
四、沼气红外线烘干和加温	(146)
五、沼气烙铁	(147)
第二节 沼肥的综合利用	(148)
一、沼渣的综合利用	(148)
二、沼液的综合利用	(169)
第三节 沼气发酵的环卫效果	(180)
一、粪便与疾病传播	(180)
二、利用沼气池管粪的好处	(185)
三、沼气池处理粪便的作用及效果	(185)
四、沼气池沉渣的处理方法和效果	(187)
附录	(188)
主要参考文献	(210)

第一章 沼气的基本知识

自然界的植物借助叶绿素，将二氧化碳和水经光合作用合成有机物质，从而把太阳能贮存起来。植物体经人和动物食用消化后，其中一半的能量被人体和动物体吸收，另外一半左右的能量又随粪便排泄出体外。沼气就是人畜粪便、作物秸秆等有机物质经沼气发酵而产生的一种气态生物能。

第一节 概 述

在自然界中，沼气的生成是一种古老的现象，早在34亿年之前，地球上就开始出现沼气，人们最先从沼泽中发现这种气体，所以叫沼气。但是人类认识利用它的时间并不长。17世纪才知道沼气可以燃烧，1875年波波夫等人发现沼气的产生是一个微生物学过程，1896年在英国厄勒特城建起了世界上第一座沼气池，用来处理生活污水所产生的污泥，所产沼气用来照明一条街道。1900年玛塔卡建造了用人粪做原料的沼气池，1914年美国大约有75个城市和许多机构建造了沼气池。1927年德国开始用沼气发电，并用冷却电机的热水为沼气池增温。

沼气发酵技术随着人们对发酵原理认识的提高飞速发展。从开始时简单的化粪池，到1950年采用具有搅拌的高速消化器，1955年出现了使微生物可以回流的厌氧接触法，这样使厌氧消化的效率大大提高。1969年杨革和马卡迪发表了厌氧滤器（AF）

的应用，1979年雷廷等研制成功厌氧污泥床(UASB)工艺。后二种工艺，使可溶性原料在沼气池内发酵的时间大大缩短，从原来的几十天缩短到一天，甚至几小时，这样就使沼气发酵用于处理污水等工程成为可能，也为沼气生产创造了更好的方法。

在我国，1902年，台湾人罗国瑞在广东汕头市开始建造沼气池。1929年夏季在汕头开设了我国第一个推广沼气的机构——汕头市国瑞瓦斯汽灯公司。1930年秋，工商部承认了罗国瑞的沼气专利权，在我国十个省建立了分行。沼气池的修建遍及十三个省。池形与我国目前使用的水压式沼气池基本相似，有的至今还可以使用。直至1942年商行遭到日本侵略者的破坏，沼气发展才被迫停止。

1958年，我国的沼气发展出现了第二次高潮，全国很多省、市都修建了沼气池。中国科学院微生物研究所等单位为沼气发展做了许多工作，全国也出版了不少指导沼气建设的书刊。第三次沼气发展高潮始于1968年，延续至今，现在我国累计已有农村家用沼气池405万个，虽然几经曲折，但终于闯开了这条路，走上了健康发展的轨道，从中央到地方成立了沼气建设的领导和推广机构，农村已经形成了一支沼气建设技术队伍，在科研和教学上已经有了一支训练有素的科研精干。我国是世界上农村沼气池数量最多的国家，已经基本掌握了目前世界上所拥有的多种发酵工艺，并且建成了象平沙糖厂、南阳酒厂等一大批大型沼气环保工程。在厌氧微生物研究方面，也取得可喜的进展。

第二节 沼气发酵微生物

沼气发酵是指有机物质在厌氧条件下，通过种类繁多，数

量巨大、功能不同的各类微生物的分解代谢，最终产生沼气的过程。在这个过程中，沼气微生物是最活跃的因素，没有它，沼气发酵就无法进行。沼气发酵微生物(又叫沼气细菌)是一个统称，其中包括不产甲烷菌和产甲烷菌。这些微生物按照各自的营养需要，进行不同的物质转化。从复杂有机物的降解到甲烷的形成，就是由它们分工合作和相互作用来共同完成的。

一、不产甲烷微生物

不产甲烷微生物就是将复杂有机物质转化为简单小分子化合物的一系列微生物。通过它们的代谢活动，为产甲烷细菌提供所需营养和产生甲烷的基质——乙酸和一碳化合物。

不产甲烷微生物的种类很多，数量也很大。不产甲烷微生物可分为细菌、真菌和原生动物三大类，其中以细菌为主，尤其是专性厌氧菌和兼性厌氧菌。其中专性厌氧菌数量最多，比兼性厌氧菌和好氧菌多100~200倍。

按功能划分，不产甲烷菌又可分为发酵性细菌群(水解性细菌)、产氢产乙酸细菌群和同型产乙酸细菌群三大生理类群。

发酵性细菌群有纤维素分解菌、半纤维分解菌、淀粉分解菌、蛋白质分解菌、脂肪分解菌。这些细菌能够将复杂的大分子有机物分解成可溶性的小分子化合物。

产氢产乙酸菌则将这些小分子化合物转变成甲酸、乙酸、氢和二氧化碳这样一些能为产甲烷菌直接利用的简单物质。

同型乙酸菌也可以产生乙酸，但它们利用氢和二氧化碳或氢与甲醇产生乙酸。

二、产甲烷细菌

产甲烷菌是沼气发酵中能利用小分子化合物形成沼气的微生物的总称。按形态可分为杆状菌、球状菌、螺旋状菌和八叠球菌四大类。

1.产甲烷菌的特点：现已发现的产甲烷菌有14种。它们具有一些共同的特征：①它们是严格的厌氧菌，对氧和氧化剂非常敏感；②对营养要求十分简单；③生长十分缓慢；④代谢的主要最终产物是甲烷和二氧化碳；⑤要求中性偏碱的环境条件。

2.产甲烷菌的分类：关于产甲烷菌的分类，目前还没有统一的意见。1956年巴克尔提出将产甲烷菌列为一个单独的类群。伯捷氏细菌鉴定手册(第八版)将产甲烷菌列为一个科——甲烷细菌科，科以下分3个属、共9个种。巴尔契和沃尔夫提出了一个比较新的分类系统，把产甲烷菌分为3个目、4个科、7个属、13个种。

三、沼气微生物的相互关系

沼气发酵过程是一个复杂的生物化学过程，各种各样的微生物在其中进行各种代谢活动。它们的代谢过程又都不是在孤立的环境中进行的，而是在一个复杂的共生系统中进行的。它们相互影响，相互协调又相互制约。

不产甲烷菌把各种复杂的有机物如碳水化合物、蛋白质和脂肪进行厌氧降解，生成氢气、二氧化碳、乙酸、甲酸、丙酸、丁酸、甲醇和乙醇等产物。这些物质中有的（如丙酸、丁酸和乙醇）又可被产氢产乙酸菌转化成氢、二氧化碳和乙酸等。这样不产甲烷菌通过其代谢活动为产甲烷菌源源不断地提供了合成细胞物质和产生甲烷所需的前体物质和能量。不产甲烷菌类群中的需氧和兼性厌氧微生物的活动，使发酵液的氧化还原电位不断降低，逐步为产甲烷菌的生长和生产甲烷创造严格的厌氧环境。不产甲烷菌在代谢过程中还可以分解发酵原料中的一些有毒物质(如酚类、氰化物、长链脂肪和重金属等)。这些物质对产甲烷菌有强烈的抑制作用。不产甲烷菌的产物硫化氢可以与重金属离子化合，生成难溶性金属硫化物沉淀下来。

产甲烷菌能及时利用不产甲烷菌的代谢产物有机酸和氢转化成甲烷，从而避免了有机酸和氢的积累，保持了产氢、产酸细菌的代谢活动正常进行。

不产甲烷菌和产甲烷菌属于不同类群，他们对营养物质、生长环境等都有不同的要求。不产甲烷菌的代谢底物是复杂的大分子有机物，适宜的发酵液的pH值为6左右，要求氧化还原电位偏高；产甲烷菌代谢的底物是可溶性小分子化合物、氢和二氧化碳，适宜的pH值为7以上，要求氧化还原电位很低。这样两个类群之间又是矛盾的，互相制约的。在发酵的前阶段，比较适合不产甲烷菌生长繁殖，是这一阶段的优势微生物。随着发酵的不断进行，氢细菌大量释放氢，使pH值逐渐上升，氧化还原电位下降，又比较有利于产甲烷菌的生命活动。甲烷菌数量迅速增长，又成为这一阶段的优势群体。

第三节 沼气发酵的生物化学基础

沼气发酵是生物化学反应的过程。在这一过程中各种各样的有机物质被分解代谢产生沼气，从而构成了自然界物质循环与能源循环中的重要环节。

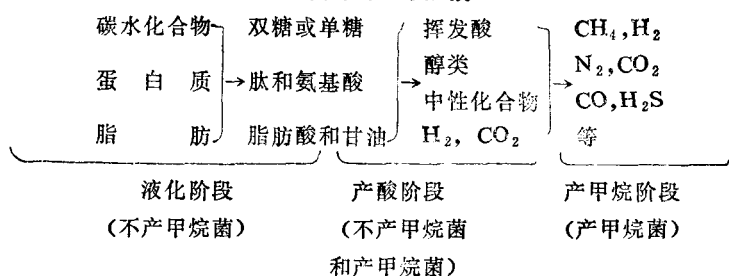
一、沼气发酵的阶段性的

根据人们对沼气转化全过程的研究，一致趋向把整个沼气发酵过程分为液化(水解)阶段、产酸(产乙酸产氢)阶段和产甲烷阶段，见表1—1。

1. 液化阶段：发酵原料中的碳水化合物、蛋白质、类脂化物的分子量大，结构复杂，不能直接进入沼气微生物细胞内。这些微生物通过分泌胞外酶，将原料中各种有机固形物进行水解形成单糖、氨基酸、脂肪酸等能溶于水的小分子化合物，这

表1—1

沼气发酵的三个阶段



些化合物直接进入微生物细胞内，经过代谢产生乙酸、丙酸、丁酸、甲酸等。

2. 产酸阶段：液化阶段生成的不能直接被产甲烷菌利用的中间产物，如丙酸、丁酸等，在产氢产乙酸菌的作用下进一步转变成乙酸、 CO_2 和 H_2 。因为这一阶段的主要产物是乙酸，故称为产酸阶段。

3. 产甲烷阶段：在产甲烷菌的作用下，乙酸、甲酸、 H_2 和 CO_2 被转化成甲烷，和液化阶段相比较，这一阶段进行较快。

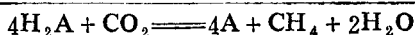
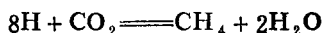
液化阶段是沼气发酵速度的限速步骤，原料的种类、发酵前的处理等影响液化速度的因素，都会影响发酵速度以致产气量。

复杂有机物在转化成甲烷的三个阶段中，约有20%的成分形成乙酸，直接转化成甲烷，有76%的成分形成丙酸、丁酸、乙醇，再转化成乙酸，进而转化成甲烷，乙酸是形成甲烷的重要底物。大约有72%的甲烷来自乙酸，28%的甲烷来自 H_2 和 CO_2 。

二、甲烷的形成

早在半个世纪前就开始了关于甲烷形成理论的研究，并建立了不同的学说。

1. 二氧化碳还原理论：这种理论是由万尼尔在30年代提出来的。他认为在所有情况下，可形成甲烷的有机物首先都要氧化成二氧化碳，然后二氧化碳被还原成甲烷，可以用下列分式来说明这个理论。

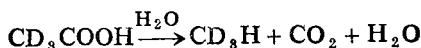
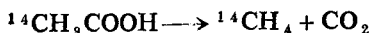


式中 H_2A 代表可能被沼气微生物所利用的化合物，二氧化碳则是由基质氧化而产生的。

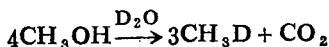
用乙醇、丁酸盐、一氧化碳转化为甲烷的研究，也都证实了这种理论。研究表明，已知的甲烷菌纯培养物都能利用氢还原二氧化碳形成甲烷。

2. 甲基还原理论：1948年，巴斯维尔和索洛用同位素示踪试验，得出与二氧化碳还原理论相反的结果，从而提出新的理论。该理论认为甲烷可以不经二氧化碳而由甲基直接还原形成。

用标记的乙酸盐进行试验的结果，表明甲基能直接形成甲烷。



甲醇试验也证明了这一点。



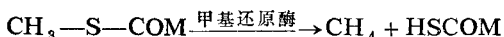
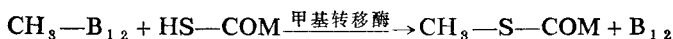
(注：D为H的同位素氘)

甲醇和乙酸盐的试验还表明甲基形成甲烷时，额外的一个氢来自于水。

3. 巴克爾假说：在甲烷形成的生物化学过程研究中，发现甲烷菌含有两种重要辅酶，即辅酶M和 F_{420} 。它们与甲烷的形

成有关，又是甲烷菌特有的。

辅酶M的化学结构已经确定并进行了化学合成。其活性型为2-巯基乙烷磺酸($\text{HSCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^-$)，简写成 HS-COM 。它是一种甲基转移酶。在厌氧条件下，它能以甲基维生素 B_{12} 作为甲基供体，形成 $\text{CH}_3-\text{S-COM}$ ，再在甲基还原酶的作用下脱去甲基形成甲烷。



辅酶 F_{420} 是一种低电子载体，它是以氢的载体参与反应的。 F_{420} 的作用是从氢或甲酸上接受电子，再将电子传递给三磷酸吡啶核苷酸，用去还原 CO_2 形成 CH_4 。

根据两种辅酶的发现及其它一些研究工作，巴克尔等提出了甲烷形成机制的假说。这种假说认为无论是二氧化碳、甲醇或乙酸在厌氧条件下都能形成 CH_3X 。 CH_3X 进一步被还原形成甲烷，只是它们所走的途径不同。

第四节 沼气发酵条件及其控制

沼气发酵只有在一定的条件下才能正常进行。当发酵条件发生变化，沼气发酵的进程及其产气情况也要发生变化。了解这种变化规律，采取相应的技术措施，对沼气发酵条件进行人工控制，是保证沼气发酵正常进行以及提高产气量的关键。人工制取沼气的基本条件是：沼气细菌、营养物质、发酵浓度、严格厌氧、适宜的温度和酸碱度。

一、沼气细菌

如同发面要有酵母菌一样，产生沼气也要有沼气细菌才行。

如果没有沼气细菌的作用,有机物质本身是不会转变成沼气的。所以说、沼气细菌是产生沼气的一个重要条件。

沼气细菌普遍存在于阴沟污泥、粪坑底污泥、老沼气池渣液中。这些富含沼气微生物的物质称为接种物,加入接种物的操作过程称为接种。沼气发酵不仅必须要接种,而且接种时接种物的数量多少对产气有着直接的影响。开始装料时接种量大,沼气发酵就能顺利进行。在不接种或接种量少的情况下,会造成长期不产气或产气少,沼气中甲烷含量低,无法燃烧。随着接种物数量的增加,发酵初期的产气量和甲烷含量都会增加,加大接种量是避免发酵初期因产酸过多而导致发酵受阻的重要措施。

表1-2 接种物数量对产气量的影响

原 料	接种量(%)	沼气量(毫升)	甲烷量(%)	每克人粪产气量 (毫 升)
人粪50克	10	1,435	48.2	28.7
人粪50克	20	4,805	56.4	96.1
人粪50克	50	10,093	66.3	201.85
人粪50克	150	16,030	68.7	320.6

注:1.发酵温度为28℃,产气量为28天累计数。

2.接种物为沼气池发酵残渣,其产气量已扣除

二、营养物质

沼气细菌可利用的物质很多,概括起来主要有水分、碳素、氮素和无机盐类。水分是一切生命活动必须的物质;碳素是构成菌体的重要元素,主要来源于有机物质;氮素是蛋白质的基本成分,是细菌的原生质和其它细胞结构的主要原料,主要来源于氨气、无机氮化物(铵盐、硝酸盐)、简单的有机氮化物(氨基酸),以及复杂的有机氮化物(如蛋白质)。无机盐类的