

农村沼气工 实用手册

◎ 胡明阁 主编



中国农业科学技术出版社

农村沼气工 实用手册

◎ 胡明阁 主编

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农村沼气工实用手册 / 胡明阁主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2011. 3

ISBN 978 - 7 - 5116 - 0377 - 7

I. ①农… II. ①胡… III. ①农村 - 甲烷 - 综合利用 - 手册
IV. ①S216.4 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 257007 号

责任编辑 徐毅 杨博文

责任校对 贾晓红

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106631 (编辑室) (010) 82109704 (发行部)
(010) 82109703 (读者服务部)

传 真 (010) 82106636

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京华忠兴业印刷有限责任公司

开 本 850 mm × 1 168 mm 1/32

印 张 7

字 数 200 千字

版 次 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

————— 版权所有 · 翻印必究 —————

《农村沼气工实用手册》

编写人员

主 编 胡明阁

副主编 杨宏宪 张 凯 姚善厚

编写人员 (以姓氏笔画为序)

方 涛	尹 燕	刘 军	刘 威	刘玉莉
刘建杰	朱邦友	李春红	向家海	杨宏宪
杨 林	杨保全	张 凯	张建华	张新华
朱庭友	汪晓峰	陈崇豫	吴龙超	罗 峥
胡明阁	贺善学	姚善厚	董瑞祥	裴晓蔚
樊 航				

《农村沼气工实用手册》 编委会

主 任 潘 晟

副 主 任 胡明阁 张华忠 杨宏宪

成 员 (以姓氏笔画为序)

王亚军	王亚玲	方 涛	尹 燕	刘 军
刘 焯	刘 威	刘玉莉	刘建杰	朱邦友
李春红	向家海	杨 林	杨宏宪	杨保全
吴 建	张 凯	张建华	张华忠	张新华
张学斌	宋庭友	汪晓峰	陈崇豫	吴龙超
罗 峥	范拥义	姜 帆	胡明阁	贺善学
姚善厚	顾西勇	柴 杰	姬锐锋	黄 刚
鲁德秀	董瑞祥	裴晓蔚	潘 晟	樊 航

前 言

沼气是农作物秸秆、人畜粪便和生活污水等有机物质在一定水分、温度和厌氧条件下，经微生物发酵产生的一种方便、清洁、高品位的可燃气体，具有炊事、照明、供热、发电等多种用途。沼液和沼渣是优质、高效的有机肥料，对于提高农产品产量、品质和防止病虫害有明显的作用。发展农村沼气，对于开发新型清洁能源、缓解国家能源压力、促进循环农业发展、增加农民收入、提高农民生活质量、治理农村“脏乱差”、改善人居环境、保护林草植被、维持生态平衡等都具有重要意义。

我国推广农村沼气始于20世纪70年代，当时主要是为了解决农村燃料严重短缺问题，由于技术不成熟，建池材料多是三合土，容易漏水、漏气，发酵原料主要是秸秆，除渣比较麻烦，导致大多数沼气池在短期使用后报废。80年代中后期，改革给农村带来巨大变化，为满足广大农民对清洁、方便和低成本能源的需求，以燃料改进和能源开发为主要目标的农村沼气建设又重新兴起，但因为忽视了与农业生产和农民增收的结合，加上配套产品开发滞后，沼气池的好处未能完全显现，作用没有充分发挥。进入21世纪，随着生态家园富民计划的全面实施，沼气形成了技术先进、经济实用、效益明显、适用于不同区域推广的规范的建设标准。建池采用砖结构、混凝土现浇、预制板块或玻璃钢商品化池，解决了漏水、漏气问题，同时，把畜禽粪便作为主要发酵原料，采用新的池型实现了自动进出料。更重要的是沼气建设与增加农民收入、提高农民生活质量、改善农村面貌和生态环境等紧密结合，并得到了党和国家的高度重视，各级投入不断增

加。目前，作为农村基础设施建设“六小工程”之一的沼气建设，正以其显著的经济效益、社会效益和生态效益，在节能减排、全面建设小康社会和新农村建设中发挥着重要作用，已成为深受各级政府和广大农民欢迎的能源工程、生态工程、清洁工程、富民工程、民心工程。

农村沼气建设能够取得今天的成就，是各级党政的重视、有关部门的支持和广大农民的参与，以及广大科研、推广、管理工作者共同努力的结果，也得益于对基层从事农村沼气生产和管理、服务人员的大力培训。为了进一步做好农村沼气的培训工作，农业部办公厅2010年9月制定印发了《农村劳动力转移培训阳光工程沼气工培训规范》，明确将沼气工分为沼气生产工和沼气物管员，对两类人员培训内容提出了具体要求。根据《培训规范》要求，我们组织河南省信阳市从事沼气推广与管理工作的专业技术人员编辑出版了《农村沼气的实用手册》一书，本书共分为十一章，主要内容包括：沼气的基本知识、沼气池的施工、管路安装、故障判断维修、启动与运行管理、安全生产使用、大中型沼气工程、生活污水净化沼气池以及沼气、沼液和沼渣的综合利用和模式。力求能为农村沼气的培训和各级农村能源部门工作人员提供一部全面、实用的学习用书。在本书编写过程中，得到了河南省农业厅、河南农业大学、河南省能源研究所以及信阳市农业局、信阳市农科所、信阳农业高等专科学校和部分县区农业局、农村能源环保站等单位有关专家、专业技术人员的支持、指导，并参阅了国内有关研究成果和经验，在此一并致谢。

由于编者知识和水平有限，加之时间仓促，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

编者

2011年2月

目 录

第一章 沼气基础知识	(1)
第一节 沼气的概念与特性	(1)
第二节 沼气发酵的基本原理	(5)
第三节 沼气发酵的基本条件	(10)
第四节 沼气发酵常用工艺	(16)
第五节 典型户用沼气池	(26)
第二章 砖混组合沼气池施工	(41)
第一节 施工准备	(41)
第二节 池体施工	(46)
第三章 现浇混凝土沼气池施工	(58)
第一节 施工准备	(58)
第二节 池体施工	(68)
第四章 沼气管路与设备安装	(81)
第一节 管材与用具选择	(81)
第二节 管路与用具安装	(84)
第五章 沼气池启动	(94)
第一节 启动准备	(94)
第二节 投料启动	(97)
第六章 沼气池运行管理	(102)
第一节 沼气池日常管理	(102)
第二节 沼气池的保温	(105)
第七章 沼气池故障判断、维修与维护	(107)
第一节 故障判断与排除	(107)

第二节	维修与维护	(112)
第八章	沼气安全生产与使用	(116)
第一节	安全施工	(116)
第二节	安全管理与维修	(118)
第三节	安全用气	(120)
第四节	中毒事故与急救	(121)
第九章	大中型沼气工程	(127)
第一节	基本工艺流程	(127)
第二节	厌氧消化器	(132)
第三节	净化、贮存与输配系统	(143)
第四节	运行管理	(147)
第十章	生活污水净化沼气池	(151)
第一节	用途与功能	(151)
第二节	池型结构与工作原理	(153)
第三节	运行及管理	(157)
第十一章	沼气、沼液、沼渣综合利用	(160)
第一节	沼气的利用	(160)
第二节	沼液、沼渣利用	(173)
第三节	综合利用模式	(194)
主要参考文献		(216)

第一章 沼气基础知识

第一节 沼气的概念与特性

一、什么是沼气

在日常生活中，特别是在气温较高的夏、秋季节，人们经常可以看到，从死水塘、污水沟、储粪池中，咕嘟咕嘟地向表面冒出许多小气泡，如果把这些小气泡收集起来，用火点，便可产生蓝色的火苗，这种可以燃烧的气体就是沼气。由于它最初是从沼泽中发现的（图 1-1），所以叫做沼气（marsh gas）。沼气又是有机物质在厌氧条件下产生出来的气体，因此，又称为生物气（biogas）。

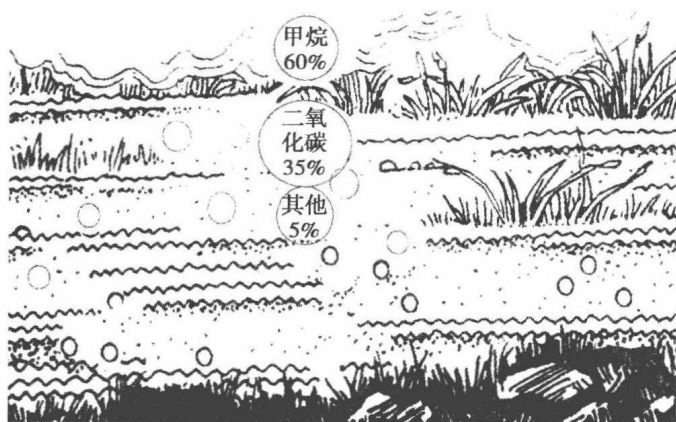


图 1-1 沼气的产生

沼气实质上是人畜粪尿、生活污水和植物茎叶等有机物质在一定的水分、温度和厌氧条件下，经沼气微生物的发酵转换而成的一种方便、清洁、优质、高品位气体燃料，可以直接炊事和照明，也可以供热、烘干、贮粮。沼气发酵剩余物是一种高效有机肥料和养殖辅助营养料，与农业主导产业相结合，进行综合利用，可产生显著的综合效益。

二、沼气的来源

沼气发酵是自然界中普遍而典型的物质循环过程，按其来源不同，可分为天然沼气和人工沼气两大类。天然沼气是在没有人工干预的情况下，由于特殊的自然环境条件而形成的。除广泛存在于粪坑、阴沟、池塘等自然界厌氧生态系统外，地层深处的古代有机体在逐渐形成石油的过程中，也产生一种性质近似于沼气的可燃性气体，叫做“天然气”。人类在分析掌握了自然界产生沼气的规律后，便有意地模仿自然环境建造沼气池，将各种有机物质作为原料，用人工的方法制取沼气，这就是“人工沼气”。人工沼气的性质近似于天然气，但也有不同之处，其主要不同点见表 1-1。

表 1-1 人工沼气和天然气的差异

气体种类	制取方法	可燃成分	含量 (%)	热值 (千焦/立方米)
人工沼气	发酵法	甲烷、氢气	55 ~ 70	20 000 ~ 29 000
天然气	钻井法	甲烷、丙烷、丁烷、戊烷	90 以上	36 000 左右

三、沼气的成分

无论是天然产生的，还是人工制取的沼气，都是以甲烷为主要成分的混合气体，其成分不仅随发酵原料的种类及相对含量不同而有变化，而且因发酵条件及发酵阶段的不同而各有差异。一

般情况下，沼气中的主要成分是甲烷（ CH_4 ）、二氧化碳（ CO_2 ）和少量的硫化氢（ H_2S ）、氢（ H_2 ）、一氧化碳（ CO ）、氮（ N_2 ）等气体。其中，甲烷占 50% ~ 70%、二氧化碳占 30% ~ 40%，其他成分含量极少。沼气中的甲烷、氢气、一氧化碳等是可以燃烧的气体，人类主要利用这一部分气体的燃烧来获得能量。

四、沼气的性质

沼气是一种无色气体，它常含有微量的硫化氢（ H_2S ）气体，在脱除硫化氢前，有轻微的臭鸡蛋味，燃烧后，臭鸡蛋味消除。沼气的主要成分是甲烷（ CH_4 ），它的理化性质也近似于甲烷（ CH_4 ）（表 1-2）。

表 1-2 甲烷与沼气的主要理化性质

理化特性	甲烷 (CH_4)	标准沼气 (CH_4 60%, CO_2 < 40%)
体积百分比 (%)	54 ~ 80	100
热值 (千焦/立方米)	35 820	21 520
密度 (克/升 标准状态)	0.72	1.22
比重 (与空气相比)	0.55	0.94
临界温度 ($^{\circ}\text{C}$)	-82.5	-25.7 ~ 48.42
临界压力 ($\times 10^5$ 帕)	46.4	59.35 ~ 53.93
爆炸范围 (与空气混合的体积百分比)	5 ~ 15	8.80 ~ 24.4
气味	无	微臭

1. 热值 甲烷是一种发热值相当高的优质气体燃料。1 立方米纯甲烷，在标准状况下完全燃烧，可放出 35 822 千焦的热量，最高温度可达 1 400 $^{\circ}\text{C}$ 。沼气中因含有其他气体，发热量稍低一点，为 20 000 ~ 29 000 千焦，最高温度可达 1 200 $^{\circ}\text{C}$ 。因此，在人工制取沼气中，应创造适宜的发酵条件，以提高沼气中甲烷的含量。

2. 比重 与空气相比，甲烷的比重为 0.55，标准沼气的比

重为 0.94。所以，在沼气池气室中，沼气较轻，分布在上层；二氧化碳较重，分布于下层。沼气比空气轻，在空气中容易扩散，扩散速度比空气快 3 倍。当空气中甲烷的含量达 25% ~ 30% 时，对人、畜有一定的麻醉作用。

3. 溶解度 甲烷在水中的溶解度很小，在 20℃、一个大气压下，100 单位体积的水只能溶解 3 个单位体积的甲烷，这就是沼气不但在淹水条件下生成，还可用排水法收集的原因。

4. 临界温度和压力 气体从气态变成液态时，所需要的温度和压力称为临界温度和临界压力。标准沼气的平均临界温度为 -37℃，平均临界压力为 56.64×10^5 帕（即 56.64 个大气压力）。这说明沼气液化的条件是相当苛刻的，也是沼气只能以管道输气，不能液化装罐作为商品能源交易的原因。

5. 分子结构与尺寸 甲烷的分子结构是一个碳原子和四个氢原子构成的等边三角四面体，分子量为 16.04。其分子直径为 3.76×10^{-10} 米（3.76 埃），约为水泥砂浆孔隙的 1/4，这是研制复合涂料，提高沼气池密封性的重要依据。

6. 燃烧特性 甲烷是一种优质气体燃料，一个体积的甲烷需要两个体积的氧气才能完全燃烧。氧气约占空气的 1/5，而沼气中甲烷含量为 60% ~ 70%，所以，一个体积的沼气需要 6 ~ 7 个体积的空气才能充分燃烧。这是研制沼气用具和正确使用沼气用具的重要依据。

7. 爆炸极限 在常压下，标准沼气与空气混合的爆炸极限是 8.8% ~ 24.4%；沼气与空气按 1 : 10 的比例混合，在封闭条件下，遇到火会迅速燃烧、膨胀，产生很大的推动力。因此，沼气除了可以用于炊事、照明外，还可以用作动力燃料。

了解和熟悉沼气的上述主要理化性质，对于制取和利用沼气有重要意义。

第二节 沼气发酵的基本原理

沼气发酵又称为厌氧消化、厌氧发酵或甲烷发酵，是指有机物质（如人畜家禽粪便、秸秆、杂草等）在一定的水分、温度和厌氧条件下，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，最终形成甲烷和二氧化碳等混合性气体（沼气）的复杂的生物化学过程。

一、沼气发酵微生物

沼气发酵微生物是人工制取沼气最重要的因素，只有有了大量的沼气微生物，并使各种类群的微生物得到基本的生长条件，沼气发酵原料才能在微生物的作用下转化为沼气。

（一）沼气微生物的种类

沼气发酵是一种极其复杂的微生物和化学过程，这一过程的发生和发展是5大类群微生物生命活动的结果。它们是：发酵性细菌、产氢产乙酸菌、耗氢产乙酸菌、食氢产甲烷菌和食乙酸产甲烷菌。这些微生物按照各自的营养需要，起着不同的物质转化作用。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而完成的。

在沼气发酵过程中，5大类群细菌构成一条食物链，从各类群细菌的生理代谢产物或它们的活动对发酵液酸碱度（pH）的影响来看，沼气发酵过程可分为产酸阶段和产甲烷阶段。前3群细菌的活动可使有机物形成各种有机酸，因此，将其统称为不产甲烷菌。后2群细菌的活动可使各种有机酸转化成甲烷，因此，将其统称为产甲烷菌。

1. 不产甲烷菌 在沼气发酵过程中，不能直接产生甲烷的微生物统称为不产甲烷菌。不产甲烷菌能将复杂的大分子有机物

变成简单的小分子量化合物。它们的种类繁多，现已观察到的包括细菌、真菌和原生动物 3 大类。以细菌种类最多，目前已知的有 18 个属 51 个种，随着研究的深入和分离方法的改进，还在不断发现新的属种。根据微生物的呼吸类型，可将其分为好氧菌、厌氧菌、兼性厌氧菌 3 种类型。其中，厌氧菌数量最大，比兼性厌氧菌、好氧菌多 100 ~ 200 倍，是不产甲烷阶段起主要作用的菌类。根据作用基质来分，有纤维分解菌、半纤维分解菌、淀粉分解菌、蛋白质分解菌、脂肪分解菌和其他一些特殊的细菌，如产氢菌、产乙酸菌等。

2. 产甲烷菌 在沼气发酵过程中，利用小分子量化合物形成沼气的微生物统称为产甲烷菌。如果说微生物是沼气发酵的核心，那么产甲烷菌就是沼气发酵微生物的核心，产甲烷菌是一群非常特殊的微生物。它们严格厌氧，对氧和氧化剂非常敏感，适宜在中性或微碱性环境中生存繁殖。它们依靠二氧化碳和氢气生长，并以废物的形式排出甲烷，是要求生长物质最简单的微生物。

产甲烷菌生长缓慢，繁殖倍增时间一般都比较长，长者达 4 ~ 6 天，短者 3 小时左右，大约为产酸菌繁殖倍增时间的 15 倍。由于产甲烷菌繁殖较慢，在发酵启动时，需加入大量甲烷菌种。产甲烷菌在自然界中广泛分布，如土壤中，湖泊、沼泽中，反刍动物（牛、羊等）的消化道，淡水或碱水池塘污泥中，下水道污泥，腐烂秸秆堆，牛马粪以及城乡垃圾堆中都有大量的产甲烷菌存在。

（二）沼气发酵微生物的作用

在沼气发酵过程中，不产甲烷菌与产甲烷菌相互依赖，互为对方创造维持生命活动所需的物质基础和适宜的环境条件；同时又相互制约，共同完成沼气发酵过程。它们之间的相互关系主要表现在下列几个方面。

1. 不产甲烷菌为产甲烷菌提供营养 原料中的碳水化合物、蛋白质和脂肪等复杂有机物不能直接被产甲烷菌吸收利用，必须通过不产甲烷菌的水解作用，使其形成可溶性的简单化合物，并进一步分解，形成产甲烷菌的发酵基质。这样，不产甲烷菌通过其生命活动为产甲烷菌源源不断地提供合成细胞的基质和能源；另一方面，产甲烷菌连续不断地将不产甲烷菌所产生的乙酸、氢和二氧化碳等发酵基质转化为甲烷，使厌氧消化中不致有酸和氢的积累，不产甲烷菌也就可以继续正常的生长和代谢。由于不产甲烷菌与产甲烷菌的协同作用，使沼气发酵过程达到产酸和产甲烷的动态平衡，维持沼气发酵的稳定运行。

2. 不产甲烷菌为产甲烷菌创造适宜的厌氧生态环境 在沼气发酵启动阶段，由于原料和水的加入，在沼气池中随之进入了大量的空气，这显然对产甲烷菌是有害的，但是由于不产甲烷菌类群中的好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下降（氧化还原电位愈低，厌氧条件愈好），逐步为产甲烷菌创造厌氧生态环境。

3. 不产甲烷菌为产甲烷菌清除有毒物质 在以工业废水或废弃物为发酵原料时，其中往往含有酚类、苯甲酸、氰化物、长链脂肪酸和重金属等物质。这些物质对产甲烷菌是有毒害作用的。而不产甲烷菌中有许多菌能分解和利用上述物质，这样就可以解除对产甲烷菌的毒害。此外，不产甲烷菌发酵产生的硫化氢（ H_2S ）可以与重金属离子作用，生成不溶性的金属硫化物而沉淀下来，从而解除了某些重金属的毒害作用。

4. 不产甲烷菌与产甲烷菌共同维持环境中适宜的酸碱度 在沼气发酵初期，不产甲烷菌首先降解原料中的淀粉和糖类等，产生大量的有机酸。同时，产生的二氧化碳（ CO_2 ）也部分溶于水，使发酵液的酸碱度下降。但是，由于不产甲烷菌类群中的氨化细菌迅速进行氨化作用，产生的氨气（ NH_3 ）可中和部分有机

酸。同时，由于甲烷菌不断利用乙酸、氢和二氧化碳形成甲烷，而使发酵液中有机酸和二氧化碳的浓度逐步下降。通过两类群细菌的共同作用，就可以使发酵液酸碱度稳定在一个适宜的范围。因此，在正常发酵的沼气池中，发酵液酸碱度始终能维持在适宜的状态而不用人为的控制。

（三）沼气发酵微生物的特点

理论和实践证明，沼气发酵过程实质上是多种类群微生物的物质代谢和能量代谢过程，在此过程中，沼气发酵微生物是核心，其发酵工艺过程及工艺条件的控制都以沼气发酵微生物学为理论指导。其具有以下特点。

1. 分布广，种类多 沼气微生物在自然界中分布广，在沼泽、粪池、污水池以及阴沟污泥中，存在有各种各样的沼气发酵微生物，种类达200~300种，它们是可利用的沼气发酵菌种的源泉。

2. 繁殖快，代谢强 在适宜条件下，微生物有很高的繁殖速度。产酸菌在生长旺盛时，20分钟或更短的时间内就可以繁殖一代，产甲烷菌繁殖速度较慢，约为产酸菌的1/15。微生物所以能够出现这样高的繁殖速度，主要因为它们具有极大的表面积和体积比值。例如，直径为1微米的球菌，其面积和体积的比值为6万，而人的这种比值却不到1。所以，它能够以极快的速度与外界环境发生物质交换，使之具有很强的代谢能力。

3. 适应性强，容易培养 与高等生物相比，多数微生物适应性较强，并且容易培养。在自然条件下，成群体状态生长的微生物更是如此。例如，沼气池里的微生物（主要是厌氧和兼性厌氧两大菌群）在10~60℃条件下，都可以利用多种多样的复杂有机物进行沼气发酵。有时经过驯化培养后的微生物可以加快这种反应，从而更有效地达到生产能源和保护环境的目。