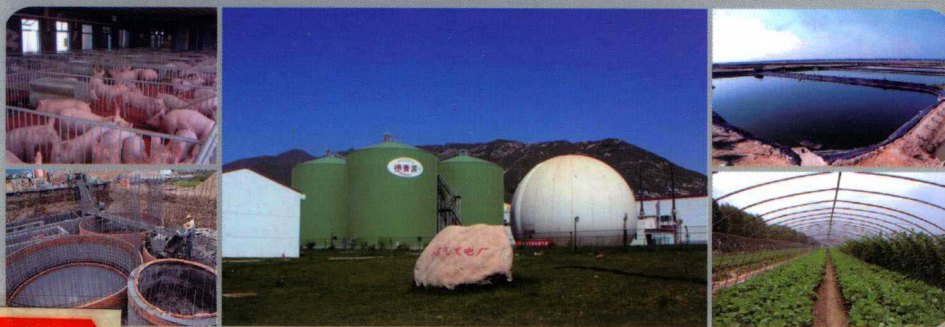


农村沼气生产与 综合利用实用技术

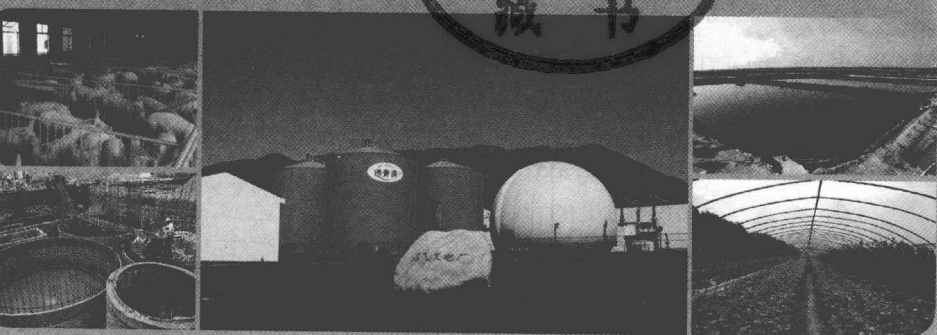
胡明阁 主编



中国农业科学技术出版社

农村沼气生产与 综合利用实用技术

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

农村沼气生产与综合利用实用技术 / 胡明阁主编. —北京:
中国农业科学技术出版社, 2015. 5
ISBN 978 - 7 - 5116 - 2070 - 5

I. ①农… II. ①胡… III. ①农村 - 沼气 - 生产②农村 -
沼气利用 IV. ①S216. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 078731 号

责任编辑 徐 毅
责任校对 李向荣

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)82109702 (发行部)
(010)82109709 (读者服务部)
传 真 (010)82106631
网 址 <http://www.castp.cn>
经 销 者 各地新华书店
印 刷 者 北京华忠兴业印刷有限公司
开 本 850mm × 1168mm 1/32
印 张 5. 875
字 数 135 千字
版 次 2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷
定 价 12. 00 元

—— 版权所有 · 翻印必究 ——

《农村沼气生产与综合利用实用技术》

编写人员

主 编 胡明阁

副 主 编 张 凯 姚善厚

编写人员 (以姓氏笔画为序)

尹 燕 朱邦友 华日海

刘 伟 刘 军 刘 焱

芦卫兵 李 杰 李 静

杨宏宪 杨 林 汪晓峰

张生辉 张 凯 张 艳

陈 晨 罗 峥 赵剑平

胡明阁 姚善厚 柴 杰

徐源畅 郭 彬 鲁 涛

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。沼气发酵后，作物生长所需的氮、磷、钾和微量元素基本上都保存在沼液、沼渣中，是优质、高效的有机肥料，用途也十分广泛，对于提高农产品产量、品质和防止病虫害等有明显的作用。近年来，我国农村沼气建设取得巨大成效，农村沼气用户达4 100万户，各类沼气工程8万多处，年生产沼气130亿立方米，减排二氧化碳5 000多万吨，生产有机沼肥近4亿吨，每年为农户增收节支400亿元。对开发新型清洁能源、缓解能源紧张压力、促进循环农业和生态农业发展、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、维持生态平衡等多方面，都具有重大意义。农村沼气建设正以其显著的经济、社会和生态效益，在节能减排、全面建成小康社会及新农村、“美丽乡村”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、环保工程、生态工程、清洁工程、民生工程、富民工程。

农村沼气建设之所以广受重视，不仅仅因为它具有明显的节能效益和直接的经济效益，更重要的是因为它在农民生活和农业生产中有许多功能，尤其是在循环农业、生态农业建设中的纽带作用更是无以替代。以沼气为纽带连接种植业、养殖业和农副产品加工业，能促进农业的多层次循环利用，大大提高农业生产的综合效益，对农业增产、农民增收和农村生态环境改善及农业农

村可持续发展具有不可替代的显著效果。目前，各地建立的沼气综合利用多种模式说明，有了沼气这一关键环节，就能建立起一个高效的循环农业、生态农业系统，就能取得明显的经济、社会和生态效益。通过开展沼气综合利用，反过来也能增强沼气发展的生命力，从根本上促进沼气建设事业的持续健康发展。

为了适应农村沼气、沼气综合利用和循环农业、生态农业发展的需要，推动沼气向农业农村更广、更深领域迈进，我们组织河南省信阳市农业部门及农村能源环保行业从事沼气推广与管理工作的专业技术人员编写了《农村沼气生产与综合利用实用技术》一书，本书共分为三章，内容包括：农村沼气生产与管理使用；沼气发酵产物综合利用；沼气综合利用典型模式与配套技术。本书主要面向基层，注重可操作性和实用性，力求能为农村能源与农业环保工作人员、沼气施工与管理服务人员以及广大农村沼气用户提供一部全面、实用的学习参考用书。在本书编写过程中，得到了河南省农业厅、河南农业大学以及信阳农林学院、信阳市农业局、信阳市农科院等单位有关专家、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

2015 年 3 月

目 录

第一章 农村沼气生产与管理使用	(1)
第一节 沼气基础知识	(1)
第二节 沼气池建造与安装	(19)
第三节 沼气池启动与运行管理	(40)
第四节 沼气池故障判断、维修与维护	(51)
第五节 沼气安全生产与使用	(58)
第六节 大中型沼气工程	(67)
第七节 生活污水净化沼气池	(86)
第二章 沼气发酵产物综合利用	(95)
第一节 沼气炊事、照明	(95)
第二节 沼气发电	(99)
第三节 沼气、沼液、沼渣在种植业上的应用	(103)
第四节 沼气、沼液、沼渣在养殖业上的应用	(127)
第五节 沼气储藏、保鲜农产品	(144)
第三章 沼气综合利用典型模式与配套技术	(148)
第一节 “四位一体”农村能源生态模式	(148)
第二节 “猪—沼—果”模式	(158)
第三节 “稻—沼—蟹”模式	(161)
第四节 “莲—沼—鱼”模式	(163)
第五节 “牛—沼—草”模式	(166)
第六节 “五配套”生态果园模式	(168)
第七节 “二池三改”生态家园模式	(171)
第八节 集约化养殖场沼气工程模式	(174)
参考文献	(178)

第一章 农村沼气生产与管理使用

第一节 沼气基础知识

一、沼气的概念与特性

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。

沼气是人畜粪尿、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、优质的气体燃料。由于它最初是在沼泽中被发现的所以叫做沼气。沼气可以直接用于炊事和照明，也可以作为供热、烘干、贮粮之用，其发酵剩余物沼液和沼渣是一种高效有机肥料和养殖辅助营养料。

沼气分为天然沼气和人工沼气，都是以甲烷为主要成分的混合气体。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。其中甲烷约占 50% ~ 70%，二氧化碳约占 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。沼气是一种无色气体，常含有微量的硫化氢（ H_2S ）气体，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，它的理化性质也近似于甲烷。

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℃。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℃。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，也是沼气多以管道输气，不容易液化装罐的原因。

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 $60\% \sim 70\%$ ，所以，一个体积的沼气需要 $6 \sim 7$ 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 $8.8\% \sim 24.4\%$ ；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，还可以用做动力燃料。

二、沼气发酵的基本原理

沼气发酵又称为厌氧消化、厌氧发酵和甲烷发酵，是指有机物质（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。沼气发酵过程，实质上是微生物的物质代谢和能量转换过程。沼气微生物在分解代谢过程中获得能量和物质，以满足自身生长繁殖，大部分物质则转化为甲烷（ CH_4 ）和二氧化碳（ CO_2 ）。这个过程大体上分为水解发酵、产酸和产甲烷 3 个阶段。

（一）水解发酵阶段

各种固体有机物通常不能进入微生物体内被微生物利用，必须在好氧和厌氧微生物分泌的胞外酶、表面酶（纤维素酶、蛋白酶、脂肪酶）的作用下，将固体有机质水解成分子量较小的

可溶性单糖、氨基酸、甘油、脂肪酸。这些分子量较小的可溶性物质就可以进入微生物细胞之内被进一步分解利用（图 1-1）。

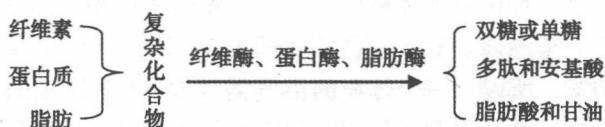


图 1-1 水解发酵阶段示意图

（二）产酸阶段

各种可溶性物质（单糖、氨基酸、脂肪酸），在纤维素细菌、蛋白质细菌、脂肪果胶细菌胞内酶作用下继续分解转化成低分子物质，如丁酸、丙酸、乙酸以及醇、酮、醛等简单有机物质。同时，也有部分氢（ H_2 ）、二氧化碳（ CO_2 ）和氨（ NH_3 ）等无机物的释放。但在这个阶段中，主要的产物是乙酸，约占 70% 以上，所以，称为产酸阶段。参加这一阶段的细菌称之为产酸菌（图 1-2）。

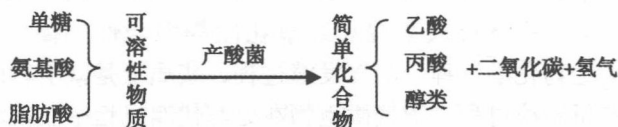


图 1-2 产酸阶段示意图

上述两个阶段是一个连续过程，通常称之为不产甲烷阶段，它是复杂的有机物转化成沼气的先决条件。

（三）产甲烷阶段

由产甲烷菌将第二阶段分解出来的乙酸等简单有机物分解成甲烷和二氧化碳，其中，二氧化碳在氢气的作用下还原成甲烷。

这一阶段叫产气阶段，或叫产甲烷阶段（图 1-3）。

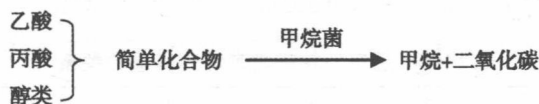


图 1-3 产甲烷阶段示意图

综上所述，有机物变成沼气的过程，好比工厂里生产一种产品的 3 道工序，1~2 道工序是分解细菌将复杂有机物加工成半成品——结构简单的化合物，第三道工序是在甲烷菌的作用下，将半成品加工成产品即生成甲烷气体。

三、沼气发酵的基本条件

（一）充足的原料与合理的碳氮比

沼气发酵原料是沼气微生物赖以生存的物质基础，也是沼气微生物进行生命活动和厌氧发酵产生沼气的营养物质，所以，生产沼气首先要有充足的原料。沼气发酵原料按其物理形态分为固态原料和液态原料两类；按其营养成分又有富氮原料和富碳原料之分；按其来源分为农村沼气发酵原料、城镇沼气发酵原料和水生植物 3 类。富氮原料指富含氮元素的人、畜和家禽粪便，因其含水量较高，容易分解，产气快，发酵期较短。富碳原料指富含碳元素的秸秆和秕壳等农作物的残余物，干物质含量比富氮的粪便原料高，且质地疏松，比重小，进池后容易漂浮形成发酵死区——浮壳层，发酵前一般需经预处理。富碳原料厌氧分解比富氮原料慢，产气周期较长。发酵原料的碳氮比不同，其发酵产气情况差异很大。在其他条件都具备的情况下，碳氮比例配成 25~30:1 可以使沼气发酵在合适的速度下进行，如果比例失调，就

会使产气和微生物的生命活动受到影响。因此，制取沼气不仅要有充足的原料（表 1-1），还应注意原料的碳氮比。

表 1-1 沼气池容积与畜禽饲养量的关系

项目	单位	成猪	成牛	成羊	成鸡
日排粪量	千克	3.0	15.0	1.5	0.1
总固体	%	18.0	17.0	75	30.0
6 米 ³ 沼气池	头、只	5	1	20	167
8 米 ³ 沼气池	头、只	7	2	28	222
10 米 ³ 沼气池	头、只	8	3	32	278

（二）质优量足的菌种

人工制取沼气离不开沼气发酵微生物，即要有丰富的菌种或叫接种物。来源主要有：沼气池、湖泊、沼泽、池塘底部；阴沟污泥之中；积水粪坑之中；动物粪便及其肠道之中；屠宰场、酿造厂、豆制品厂、副食品加工厂等阴沟之中以及人工厌氧消化装置之中。农村沼气池一般加入接种物的量为总投料量的 10% ~ 30%。在其他条件相同的情况下，加大接种量，启动容易，产气快，气质好。

（三）严格的厌氧环境

沼气微生物的核心菌群——产甲烷菌是一种厌氧性细菌，对氧特别敏感，它们在生长、发育、繁殖、代谢等生命活动中都不需要空气，空气中的氧气会使其生命活动受到抑制，甚至死亡。也就是说，产甲烷菌只能在严格厌氧的环境中才能生长。所以，修建沼气池，要严格密闭，不漏水，不漏气，这不仅是收集沼气和贮存沼气发酵原料的需要，也是保证沼气微生物在厌氧的生态条件下生活得好，使沼气池能满足正常产气的需要。

(四) 适宜的发酵温度

沼气发酵与温度的关系十分紧密。研究发现,在 $10 \sim 60^{\circ}\text{C}$, 沼气均能正常发酵产气,一般温度愈高,微生物活动愈旺盛,产气量愈高。低于 10°C 或高于 60°C 都严重抑制微生物生存、繁殖,温度突升或突降,都会影响微生物的生命活动,使产气状况恶化。通常把温度区分为 3 个范围, $46 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 称为高温发酵, $28 \sim 38^{\circ}\text{C}$ 称为中温发酵, $10 \sim 26^{\circ}\text{C}$ 称为常温发酵。农村户用沼气池靠自然温度发酵,属于常温发酵。常温发酵虽然温度范围较广,但在 $10 \sim 26^{\circ}\text{C}$ 范围内,温度越高,产气越好,冬天必须采取越冬措施。但是在 $40 \sim 45^{\circ}\text{C}$ 发酵效率较低,实践中应避开这个温度范围。

(五) 适宜的酸碱度

沼气微生物的生长、繁殖,要求发酵原料的酸碱度保持中性,或者微偏碱性,过酸过碱都会影响产气。测定表明,酸碱度在 pH 值 $= 6 \sim 8$, 均可产气,以 pH 值 $= 6.5 \sim 7.5$ 产气量最高, pH 值低于 6 或高于 9 时均不产气。

(六) 适度的发酵浓度

农村沼气池的负荷常用容积有机负荷表示,即单位体积沼气池每天所承受的有机物的数量,通常以 $\text{千克 COD}/(\text{米}^3 \cdot \text{天})$ 为单位。农村沼气池的负荷通常用发酵原料浓度来体现,适宜的干物质浓度为 $4\% \sim 10\%$ 。发酵浓度随着温度的变化而变化,夏季一般为 6% 左右,冬季一般为 $8\% \sim 10\%$ 。浓度过高或过低,都不利于沼气发酵。浓度过高,则含水量过少,发酵原料不易分解,并容易积累大量酸性物质,不利于沼气菌的生长繁殖,影响正常产气。浓度过低,则含水量过多,单位容积里的有机物含量

相对减少，产气量也会减少，不利于沼气池的充分利用。

（七）适当的搅拌

沼气池中的原料按其比重和自然沉降规律，从上到下将分成浮渣层、清液层、活性层和沉渣层，这样的分层分布，对微生物以及产气很不利，导致大量的微生物集聚在底层活动。为此要采取搅拌措施，变静态发酵为动态发酵。搅拌通常分为机械搅拌、气体搅拌和液体搅拌。机械搅拌是通过机械装置运转达到搅拌目的；气体搅拌是将沼气从池底部冲进去，产生较强的气体回流，达到搅拌的目的；液体搅拌是从沼气池的出料间将发酵液抽出，然后从进料管冲入沼气池内，产生较强的液体回流，达到搅拌的目的。农村户用沼气池通常采用强制回流的方法进行人工液体搅拌，即用人工回流搅拌装置或污泥泵将沼气池底部料液抽出，再泵入进料部位，促使池内料液强制循环流动。实践证明，适当的搅拌方法和强度，可以使发酵原料分布均匀，增强微生物与原料的接触，使之获取营养物质的机会增加，活性增强，生长繁殖旺盛，从而提高产气量。搅拌又可以打碎结壳，提高原料的利用率及能量转换效率，并有利于气泡的释放。采用搅拌后，平均产气量可提高 30% 以上。

四、沼气发酵常用工艺

沼气发酵工艺是指从发酵原料到生产沼气的整个过程所采用的技术和方法，包括原料的收集和预处理，接种物的选择和富集，沼气发酵装置的发酵启动和日常管理及其他技术措施。

（一）沼气发酵工艺类型

沼气发酵工艺一般从投料方式、发酵温度、发酵阶段、发酵

级差、发酵浓度、料液流动方式等角度进行分类。

1. 以投料方式划分

沼气发酵微生物的新陈代谢是一个连续过程，根据该过程中的投料方式的不同，可分为连续发酵、半连续发酵和批量发酵3种工艺。

(1) 连续发酵。沼气池发酵启动后，根据设计时预定的处理量，连续不断地或每天定量加入新的发酵原料，同时排走相同数量的发酵料液，使发酵过程连续进行下去。发酵装置不发生意外情况或不检修时，均不进行大出料。采用这种发酵工艺，沼气池内料液的数量和质量基本保持稳定状态，因此，产气量也很均衡。这种发酵工艺的最大优点就是“稳定”，工艺流程是先进的，但发酵装置结构和发酵系统比较复杂，造价也较昂贵，适用于大型的沼气发酵工程系统，如大型畜牧场粪污、城市污水和工厂废水净化处理，多采用这种工艺。该工艺要求有充分的物料保证，否则就不能充分有效地发挥发酵装置的负荷能力，也不可能使发酵微生物逐渐完善和长期保存下来。

(2) 半连续发酵。发酵装置启动后，一次性投入较多的原料（整个发酵周期投料总固体量的 $1/4 \sim 1/2$ ），正常发酵产气后，随着产气下降，就需要每天或定期加入新物料，这种工艺称为半连续发酵。我国农村沼气池大多属于此种类型。例如，“三结合”沼气池，就是猪圈、厕所里的粪便随时流入沼气池，在粪便不足的情况下，可定期加入铡碎并堆沤后的作物秸秆等纤维素原料，起到补充碳源的作用。这种工艺的优点是比较容易做到均衡产气和计划用气，可与农业生产用肥紧密结合，适宜处理粪便和秸秆等混合原料。

(3) 批量发酵。发酵原料成批量一次性投入沼气池，发酵后将残留物全部取出，又成批地换上新料，开始第二个发酵周

期，如此循环往复。农村小型沼气干发酵装置和处理城市垃圾的“卫生坑填法”均采用这种发酵工艺。这种工艺的优点是投料启动成功后，不再需要进行管理，简单省事，其缺点是产气分布不均衡，高峰期产气量高，其后产气量低，因此，所产沼气适用性较差。

2. 以发酵温度划分

沼气发酵的温度范围一般在 $10 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ，温度对沼气发酵的影响很大，温度升高，产气率也随之提高，通常分为高温发酵、中温发酵和常温发酵工艺。

(1) 高温发酵。高温发酵指料液温度在 $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ，实际控制在 $53 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，其特点是微生物生长活跃，有机物分解速度快，产气率高，滞留时间短。高温发酵可有效杀灭各种致病菌和寄生虫卵，具有较好的卫生效果，但要维持消化器的高温运行，能量消耗较大。在一般情况下，在有余热可利用的条件下，采用高温发酵工艺，如处理经高温工艺流程排放的酒精废醪、柠檬酸废水和轻工食品废水等。

(2) 中温发酵。中温发酵指料液温度在 $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的范围，与高温发酵比，这种工艺消化速度稍慢，产气率降低，但维持中温发酵的能耗较少，沼气发酵能总体上维持在一个较高的水平，料液基本不结壳，可保证常年稳定运行。为减少能量消耗和均衡产气，常采用近中温发酵，料液温度为 $25 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 常温发酵。常温发酵指自然温度下的沼气发酵，我国农村户用沼气池基本上采用这种工艺。特点是发酵温度随气温、地温的变化而变化，一般料液温度最高时为 25°C ，低于 10°C ，则产气效果差。优点是不需要对发酵料液温度进行控制，节省保温和加热投资，缺点是一年四季产气差别大。南方沼气池在有足够原料的情况下，冬季可维持用气。北方沼气池则需建在太阳能暖圈或日光温室下，以确保安全越冬和产气。