

沼气实用技术

● 周孟津 张榕林 蔺金印 编著



化学工业出版社

化学与应用化学出版中心

沼 气 实 用 技 术

周孟津 张榕林 蔺金印 编著

化 学 工 业 出 版 社

化学与应用化学出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

沼气实用技术/周孟津, 张榕林, 蔺金印编著. --北
京: 化学工业出版社, 2003. 11
ISBN 7-5025-4871-8

I. 沼… II. ①周…②张…③蔺… III. 甲烷-发酵
IV. S216.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 093991 号

沼气实用技术

周孟津 张榕林 蔺金印 编著
责任编辑: 孙绥中 靳星瑞
责任校对: 蒋 宇
封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
化学与应用化学出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订
开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 11¼ 字数 303 千字
2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-4871-8/X·341
定 价: 23.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书包括绪论和八章内容。绪论简要论述了沼气发酵在可再生能源、环境保护及生态农业建设中的重要作用。第一章至第八章分别介绍了沼气发酵的原理和条件、沼气发酵的工艺类型、农村家用沼气池、大中型沼气工程、生活污水净化沼气池、沼气的净化和储存、沼气的输配和利用、生态家园及沼气发酵产物的综合利用。内容详实，深入浅出，实用性强。可供培训沼气技术人员使用，也可供从事环境工程、生态农业、农村能源等专业的师生和科学技术人员参考。

本书由周孟津教授编写绪论、一、二、五章和第四章的一、四两节，张榕林教授编写六、七两章和第四章的二、三两节，黄金印高级工程师编写三、八两章。水平所限，书中不当之处欢迎批评指正。

目 录

绪论	1
一、我国沼气事业发展概况	1
二、发展沼气建设生态家园	2
三、发展沼气实现农村燃气化	4
四、厌氧消化保护环境	6
第一章 沼气发酵的原理和条件	8
第一节 沼气发酵的原理	8
一、什么是沼气发酵	8
二、沼气发酵过程的产酸阶段	9
三、沼气发酵过程的产甲烷阶段	14
四、产酸菌与产甲烷菌之间的相互关系	18
五、产酸与产甲烷的速度平衡	20
第二节 沼气发酵的条件	22
一、沼气发酵原料	22
二、厌氧活性污泥	30
三、温度	34
四、pH 值与碱度	39
五、负荷	44
六、发酵原料的碳氮比	48
七、搅拌	50
八、毒性物质	52
第二章 沼气发酵的工艺类型	55
第一节 沼气发酵的基本工艺流程	55
一、原料的收集	55
二、原料的预处理	56
三、消化器（沼气池）	57
四、出料的后处理	57

五、沼气的净化、储存和输配	58
第二节 厌氧消化器的分类	59
一、水力滞留期 (HRT)	59
二、固体滞留期 (SRT)	61
三、微生物滞留期 (MRT)	63
四、厌氧消化器的类别	64
第三节 常规型消化器	65
一、常规消化器	65
二、完全混合式消化器	67
三、塞流式消化器	68
第四节 污泥滞留型消化器	69
一、厌氧接触工艺	70
二、升流式厌氧污泥床 (UASB)	72
三、膨胀颗粒污泥床 (EGSB)	78
四、内循环 (IC) 厌氧反应器	79
五、升流式固体反应器 (USR)	82
六、折流式反应器	83
第五节 附着膜型消化器	84
一、厌氧滤器 (AF)	84
二、流化床和膨胀床 (FBR 和 EBR)	86
第六节 其它沼气发酵工艺	87
一、两阶段厌氧消化	87
二、干发酵	89
第三章 农村家用沼气池	91
第一节 农村家用沼气池的池形结构	91
一、沼气池的构造	91
二、水压式沼气池的优点	93
三、沼气池的工作原理	93
第二节 农村家用沼气池的建造	94
一、沼气池的设计与计算方法	94
二、建池材料	98
三、沼气池建造	107
第三节 农村家用沼气池的运行与管理	126

一、准备充足的发酵原料	127
二、要做到合理配料和综合进料	127
三、严格装料方法和启动步骤	128
四、每年一两次大换料	133
五、加强沼气发酵原料的日常管理	134
第四节 农村家用沼气池常见故障及处理方法	138
一、沼气池常见故障及处理方法	138
二、发酵原料发生故障及处理方法	140
三、沼气气燃具(包括灶、灯、管件)常见故障及排除方法	141
第五节 农村家用沼气池维修和保养	143
一、沼气池的检查和维修	143
二、沼气池的保养	146
第四章 大中型沼气工程	147
第一节 沼气工程的施工	147
一、钢筋混凝土工程施工	148
二、利浦制罐技术	153
三、搪瓷钢板拼装制罐技术	157
第二节 沼气工程常用设备	160
一、常用阀门	160
二、燃气流量计	164
三、污泥泵	173
四、固液分离设备	178
第三节 沼气工程的验收	183
一、验收原则	183
二、验收程序	184
三、验收内容	184
四、验收方法和标准	187
第四节 沼气池的运行管理	189
一、沼气池运行前的试车	190
二、厌氧消化器的启动	190
三、厌氧消化器的运行管理	193
四、消化器的维修与安全	196
第五节 沼气站运行管理制度实例	196

一、沼气站负责人岗位责任制	197
二、沼气站管理区岗位责任制	197
三、进料工及机修工的岗位职责	198
四、化验室岗位责任制	198
五、固液分离机岗位责任制	199
六、锅炉工岗位责任制	199
七、电工岗位责任制	200
八、沼气收费修理处岗位责任制	201
第五章 生活污水净化沼气池	202
第一节 生活污水净化沼气池的用途和功能	202
一、用途	202
二、功能	203
第二节 生活污水净化沼气池的工艺	203
一、工艺流程	203
二、分流制工艺	204
三、合流制工艺	205
四、工艺参数	205
五、池型和施工	205
第三节 生活污水净化沼气池的运行管理	206
第四节 生活污水净化沼气池的使用效果	207
一、实用工艺参数	207
二、运行效果	208
第六章 沼气的净化和储存	209
第一节 沼气的净化	209
一、沼气脱水	209
二、沼气脱硫	210
第二节 沼气的储存	220
一、低压湿式储气柜	221
二、低压干式储气柜	222
三、湿式储气柜的腐蚀与防腐	225
四、储气柜的布置原则	225
五、储气柜的运行与维护	227
第七章 沼气的输配和利用	229

第一节 沼气输配技术	229
一、常用管材	229
二、管道的连接	231
三、管路的设计	232
四、钢管的防腐	234
五、沼气管道的布置	236
六、沼气管网的施工	241
七、沼气管网的运行管理	246
第二节 沼气燃烧技术及应用	248
一、沼气的基本性质	248
二、沼气的燃烧特性	250
三、沼气的燃烧方法及燃烧器	255
四、沼气用于炊事、照明	256
五、沼气用于食堂	263
六、沼气用于锅炉燃料	266
七、沼气用于发电	271
第八章 生态家园与沼气发酵产物的综合利用	278
第一节 沼气生态家园	278
一、沼气生态家园的概念	278
二、沼气在建立生物质循环体系中的重要作用	278
三、沼气生态农业模式的特点	280
四、沼气生态农业模式的布局	282
五、沼气生态农业模式的经济效益	283
六、南北沼气生态农业模式介绍	285
第二节 沼气发酵产物的综合利用	319
一、沼气发酵产物的概念	319
二、沼气的利用	325
三、沼液的利用	331
四、沼渣的利用	341
参考文献	348

绪 论

沼气是有机物在厌氧条件下经微生物的发酵作用生成的一种可燃性混合气体，其主要成分是甲烷和二氧化碳，通常情况下甲烷(CH_4)约占60%左右，二氧化碳(CO_2)约占40%左右，此外还有少量氢(H_2)、氮气(N_2)、一氧化碳(CO)、硫化氢(H_2S)和氨(NH_3)等。沼气发酵广泛存在于自然界，如湖泊或沼泽中常常可以看到有气泡从污泥中冒出，将这些气体收集起来便可以点燃，所以人们叫它沼气。沼气发酵是有机物在厌氧条件下被微生物分解的过程。地球上由于光合作用生成的有机物每年大约为4000亿吨，其中大约有5%在厌氧条件下被微生物分解掉。人们利用这一自然规律进行沼气发酵（又称厌氧消化），既可生产沼气用作能源，又可处理有机废物以保护环境，经沼气发酵后的沼渣、沼液又是优质的有机肥料。沼气发酵是综合利用有机废物，保护生态环境，促进农业生产可持续发展的重要措施之一。沼气燃烧后生成的二氧化碳，又可被植物吸收，通过光合作用再生成有机物，因而沼气又是一种可再生能源。

一、我国沼气事业发展概况

我国沼气事业开始于1930年前后，当时绝大多数城镇均无电力供应，制取沼气的主要目的是用于一些商店、寺庙的照明。1929年夏季在汕头开设了我国第一个沼气商号中国天然气瓦斯灯行。后来在十几个省建立了分行，沼气池的修建遍及13个省，所用池型与我国目前使用的水压式沼气池基本相似，均为混凝土结构，至今有的沼气池还可以使用。

1958年我国沼气事业出现第二次高潮，全国很多省市都修建了沼气池，目的是想解决农村的炊事用能。中国科学院微生物研究所张树

政教授等在沼气发酵方面进行了一些研究工作。但由于严格厌氧微生物研究技术上的困难未能突破，理论研究未能深入下去，修建的沼气池又缺乏正确的技术管理，留下来能够使用的沼气池为数很少。

20 世纪 70 年代初期，由于农村生活燃料的严重缺乏，在四川、江苏及河南等省农村又一次掀起了发展沼气的热潮。农村家用沼气池的兴建很快遍及全国，几年时间家用沼气总数达到了 700 万个。但是由于急于求成，土法上马，加上水泥等建池材料不足，建成的沼气池的平均使用年限一般只有 3~5 年。到 70 年代后期即有大量沼气池报废，曾一度引起一些人对沼气技术的疑虑。

1979 年 5 月召开了全国沼气工作会议，认真总结了前一段发展沼气工作中的经验教训。1980 年又成立了中国沼气协会，使沼气建设事业逐步走上依靠科学技术，保证建池质量，重视经济效益，建管并重，稳步发展的道路，使沼气建设事业逐步形成以能源、环境保护和生态农业为目标的发展方向。

1980 年以后，在人民政府的大力支持下，对沼气发酵的科学原理和应用技术进行了大量研究工作，取得了许多出色的研究成果。通过国际间的学术交流和科研工作，使我们深刻认识了沼气发酵的微生物学原理。在我国先后分离出了几十种产甲烷菌，并对其生活条件进行了研究。在沼气发酵工艺研究方面，基本上达到了世界先进水平。到 2002 年我国户用沼气池已发展到 1000 万户，全国已有大中型沼气工程 1100 多处，总池容 64 万多立方米，向 16.4 万户居民集中供应管道沼气。生活污水净化沼气池发展迅速，全国已建池 8 万多处，总池容达 280 万立方米，可处理 280 万人的生活污水。

二、发展沼气建设生态家园

在自然界，植物、动物、微生物共同生活于地球表面的环境中，生物与环境构成一个相互作用的整体，这就是生态系统（图 0-1）。在这个生态系统中，植物是生产者，它们吸取环境中的二氧化碳、水和 N、P、K 等无机元素，利用太阳能进行光合作用，制造有机物并放出氧气；动物和人类都是消费者，他们以植物或来自于植物的

肉类为食，将一部分有机物氧化为二氧化碳和水获得能量，来合成新的细胞使自己得到生长繁殖，并将剩余的废物排出体外；微生物是分解者，它们将动植物的尸体及其排泄物等有机物彻底分解为二氧化碳、水和 N、P、K 等无机物，又可供植物生长所需。因此生态系统的物质循环处于平衡状态，自然界方才可以生生不息。如若这个生态系统的平衡

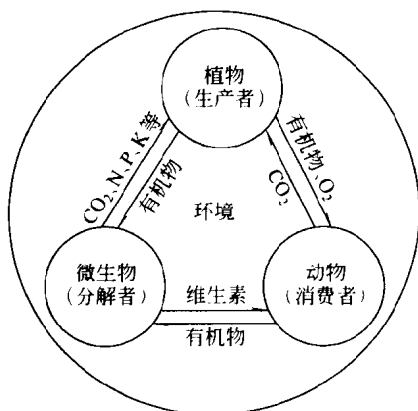


图 0-1 生态系统构成示意图

被打乱，假定没有微生物的分解作用，可以设想，不要很久，地球表面的动植物尸体就会堆积如山。二氧化碳和 N、P、K 等无机元素很快被耗尽，赖其生长的植物也会最终被“饿死”。生态家园和生态农业正是按照上述生态学基本原理合理组织农业生产，既可取得较好的经济效益，又可防止生态环境的破坏。

当我们在自己家园的土地上栽培植物求得高产时，土壤中的无机元素如 N、P、K 等，被植物大量吸收而得不到相应补充，于是人们连年大量施用化肥，这就造成土壤板结，农产品质量恶化，产量逐年下降。按照生态学原理，则应求助于微生物，沼气池则是培养微生物的场所。将畜禽粪便、瓜秧菜叶等有机废物投入沼气池内，微生物就会将有机物分解为二氧化碳和 N、P、K 等无机养分，并且还可产生沼气。将沼渣、沼液施入土壤，则可补充土壤养分之不足，使作物生长旺盛。按生态学原理办事，既不用花钱买化肥，又解决了环境和土壤污染问题，并可生产绿色安全食品，还可用上清洁方便的气体燃料，这足以显示出按生态学原理办事的优越性。根据这个原理，在我国的南方出现了猪-沼-果模式，北方将种菜、养猪、沼气池置于一个日光温室内，称谓“四位一体”模式，这就是生态家园。农业部及时总结了这些经验，提出了生态家园富

民计划，将生态家园加以推广，这既符合生态学原理，又有相当好的经济效益，深受广大农民欢迎。

杭州市浮山养殖场年饲养蛋鸡 3 万只，肉鸡 15 万只，商品猪 8000 头。每天产生畜禽粪便 15 吨，排放粪便污水 70 吨。该场还种植水稻、茶叶、西湖莼菜和养鱼等。为了治理污染，他们于 1988 年后分别建成了沼气池体积为 200m^3 和 500m^3 的两处沼气工程，日产沼气 700m^3 ，所产沼气除用作 262 户村民的生活燃料外，还用于炒制茶叶、加工西湖莼菜、孵化小鸡和鸡舍增温等生产用能。沼液用于养鱼、养猪和用作种植水稻、茶叶、蔬菜的有机肥料。沼渣加工成再生饲料和颗粒有机肥料。通过对畜禽粪便的资源化开发和多层次利用，不仅制取了优质燃料及有机肥料。从而建立起以沼气工程为纽带的生态农业良性循环系统，如图 0-2 所示。

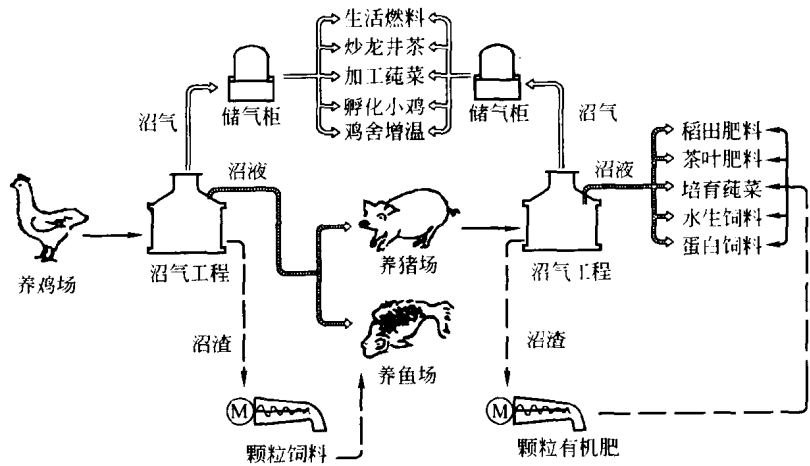


图 0-2 杭州浮山养殖场沼气生态工程示意图

三、发展沼气实现农村燃气化

20 世纪 80 年代在我国农村兴起办沼气的高潮，目的是为了了解决燃料的缺乏，沼气发酵装置以农村家用沼气池为主。随着生产的发展和居住地的集中，工农业生产和人民生活过程中所产生的有机

废物也越来越多，为沼气发酵提供了充足的原料。人民生活水平的提高，居住条件的改善，人们要求方便而清洁的生活能源，燃气将成为今后城镇生活能源的一种主要形式，大城镇的居民可望得到天然气、焦炉煤气或液化气的供应，而小城镇和农村居民的燃气化则寄希望于沼气。将当地所产生的有机废物集中起来进行沼气发酵，既可解决农村居民燃气，同时也可保护环境。经沼气发酵后所产生的已基本无害化的有机肥料又是生产绿色食品的肥源。因此，发展沼气实现农村燃气化是一项现实而又一举多得的科技事业。

一个完善的沼气工程，应当包括沼气的生产、净化、储存、输配、计量和燃烧利用。这些工作在城市燃气供应系统中分别由几个公司或若干服务站、维修站来完成，而在农村沼气生产供应过程中，这些工作则要靠一家一户或沼气站的几个管理人员来完成。作为一个沼气技术员，不仅要会修建沼气池，还必须懂得发酵工艺、装置、设备、管道、仪表、灶具等的运行和维修管理，并能及时排除运行过程中出现的各种故障和解决各种技术问题。这就要求一个集中供气工程必须具备充足而稳定的原料来源；科学而周密地设计和施工；同时要求有几个责任心强并训练有素的管理人员。这样才能保证沼气工程的成功建设和运行。

农村家用沼气池在温度适宜的季节里可为一家一户提供燃气，大、中型沼气工程可以不间断地为富裕起来的农民进行集中供气，从而明显改善农村的生活条件。杭州浮山养殖场以鸡粪和猪粪为发酵原料，1988年起为260多户居民供气；上海星火农场沼气站，以牛粪为主要原料，1991年起为2500多户居民供气；北京大兴县留民营生态农场，以鸡粪为原料，1992年起为200多户居民供气。这些沼气工程多年来运行稳定，做到了连续不断地供应居民沼气。至今全国集中供气的沼气用户达16万户以上，这足以说明无论是在我国南方或是北方，发展沼气实现农村居民燃气化是切实可行的。

养殖场的发展为沼气发酵提供了充足的原料，沼气工程的建设不仅为居民提供了燃气，更使这些养殖场本身实现经济生态系统的良性循环。然而到目前为止，我国养殖场中建有沼气工程的还很少。

以北京为例，由于畜禽养殖业发展迅速，据不完全统计，目前全规模化养殖场 800 余家，养殖小区 1000 余个，每年产生粪便近 800 万吨，产生污水 1570 万吨，每年排放 COD 总量达 13 万吨，占北京市 COD 排放总量的 40% 以上。如将这些粪便和污水进行沼气发酵，所产沼气可供几十万户居民用气。据国家环保总局调查显示，我国 1999 年畜禽粪便产量约为 19 亿吨，已成为我国有机污染的主要来源之一。由此可见我国开发沼气能源实现农村燃气化具有广阔前景。

四、厌氧消化保护环境

厌氧消化即沼气发酵，国际上习惯通用词为厌氧消化，我国习惯称沼气发酵。从字义上看厌氧消化有强调厌氧降解处理有机废物的一面，而沼气发酵则有强调沼气生产的一面，其工艺原理和过程则完全相同。在我国沼气发酵开始主要用于沼气生产，随着环境污染的加重和人们环境意识的提高，沼气发酵的意义逐步上升。

仅就畜禽粪便及其污染来说，环保部门对北京的大型猪场排放的粪便污水进行检测，结果表明，COD（化学耗氧量）超过国家规定标准 53 倍，BOD（生化耗氧量）超标 76 倍，SS（悬浮固体）超标 14 倍，污染十分严重。一些没有环保设施的大型养殖场，粪便堆积如山，粪水漫流成河，蚊蝇横飞，环境卫生十分恶劣。据北京市六大鸡场调查，蛋鸡在饲养过程中，中途死亡率高达 34.9%，其中因环境卫生恶劣引起的疾病传染致死率占 50% 以上，同时地下水也被污染，饮用水细菌总数全部超标，对周围居民健康造成很大影响。为了保护环境，必须将畜禽粪便污水加以治理，其处理方式目前主要有堆沤、烘干、厌氧消化和好氧消化处理等几种方法。现将各种处理方法的优缺点比较列于表 0-1。

表 0-1 畜禽粪污水的处理方式比较

处理方法	能 耗	产 能	生产环境	肥分损失	投 资
堆 沤	低	无	差	多	少
烘 干	高	无	差	多	中
厌氧消化	低	多	好	极少	多
好氧处理	高	无	较好	较多	多

从表中可以看出，作为畜禽粪便污水处理的首选方式应当是厌氧消化。在厌氧消化处理过程中，不仅可以改善环境条件，并且可以提供燃气作为农民的炊事能源，在无电或缺电地区也可用于沼气发电。同时由于厌氧消化在密闭条件下进行，可减少臭气逸散。所产气体主要为甲烷（ CH_4 ）和二氧化碳（ CO_2 ），使发酵后的出料碳素含量降低，氮、磷、钾及各种微量元素都得到保留，并且在发酵中还可以生成氨基酸、维生素及生长素类物质，所以沼渣、沼液是富含植物所需营养成分的有机肥料。正因为厌氧消化比其它处理方法具有更多优点，所以，在环境治理工程中受到世界各国的重视，进行了大量研究工作，使得厌氧消化工艺技术飞速发展，开发出了多种新的工艺技术，使厌氧消化效率大大提高。例如用于可溶性废水处理的上流式厌氧污泥床反应器（UASB）、厌氧滤池（AF）等；用于畜禽粪便等高悬浮固体废水处理的升流式固体反应器（USR），在我国都得到广泛应用。

生活污水净化沼气池，在我国用于城镇生活污水处理已有二十多年的历史，该型沼气池是由农村家用水压式沼气池发展而成，适用于缺乏污水管网和污水处理厂的小城镇和城市郊区。生活污水净化沼气池，具有投资少、运行费用低、不需专人管理、不耗能、不占地等优点。在四川、江苏等省有关部门已明文规定，凡是在不能兴建污水集中处理管网和处理厂的集镇或城市郊区，新建住宅楼、办公楼、学校、公厕等，应尽量建造生活污水净化沼气池，并做到同时设计、同时施工，对原有的老式化粪池也应分期分批加以改造。城镇生活污水净化沼气池，作为生活污水分散处理的一项适用技术，已得到国家有关部门认可，在治理水污染过程中必将发挥更大作用。

沼气发酵不仅可以治理污染，更由于其将有机废物变成了燃气和肥料，解决了农民烧柴和有机肥料问题，因而使山林植被得到保护，土地得到有机肥的滋养，从而使山川绿化得到保护，土地肥力提高，减少水土流失。并可因减少烧煤而减轻大气污染。总之，坚持发展沼气事业有助于山川变绿、河水变清、天空变蓝，有助于生态农业建设。

第一章 沼气发酵的原理和条件

发现沼气已有很长的历史，早在 1866 年就有人明确认识到沼气的产生是一个微生物学过程，直到 1967 年布赖恩特分离纯化了沼气发酵微生物中的产氢产乙酸菌和产甲烷菌后，人们对沼气发酵的微生物学原理才开始有正确的认识。近二三十年，沼气发酵技术的广泛应用，新型高效工艺的开发和研究，使得人们对沼气发酵的原理和条件有了较深刻的认识，有力地推动了沼气发酵技术的发展。

第一节 沼气发酵的原理

沼气发酵是一个复杂的微生物学过程，了解这一过程中各类微生物的作用及其活动规律，才能把沼气发酵建立在科学的基础上。在沼气发酵过程中，人们往往只注意修建什么样的沼气池或消化器，供给什么样的原料，产了多少沼气，而忽略了怎样才能使沼气发酵微生物进行旺盛地生长繁殖这一最重要的内容。因为只有有了大量的沼气发酵微生物，并使各种类群的微生物得到最佳的生长条件，各种有机物原料才会在微生物的作用下转化为沼气。

一、什么是沼气发酵

沼气发酵又称厌氧消化，是指各种有机物在厌氧条件下，被各类沼气发酵微生物分解转化，最终生成沼气的过程。目前为大家所公认的沼气发酵的过程如图 1-1 所示，其中共有五大类群的细菌参与沼气发酵活动。它们是：①发酵性细菌；②产氢产乙酸菌；③耗氢产乙酸菌；④食氢产甲烷菌；⑤食乙酸产甲烷菌。各种复杂有机物，无论是固体或是溶解状态，都可以经微生物的发酵作用而最终生成沼气。