

沼气——大中型沼气工程工艺流程

2008/9/20

兰州市生物和医药科技产业办公室 主办
客服电话：0931-8266411
Email: bec@bioenergy.cn
Copyright © 2005-2008 中国生物能源网

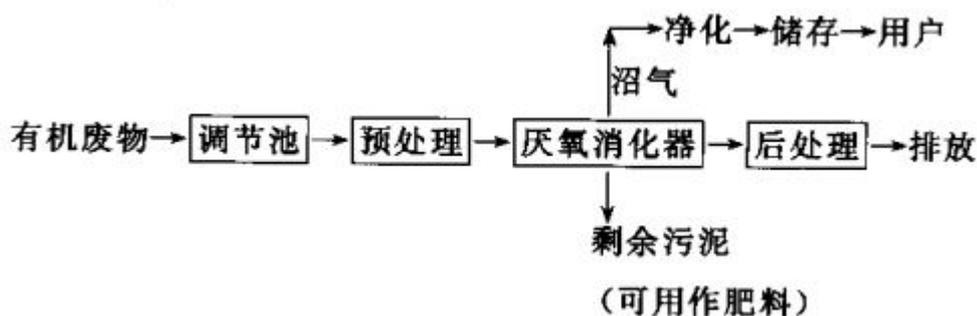
目 录

(一) 基本工艺流程	2
1. 原料的收集	2
2. 原料的预处理	2
3. 消化器	3
4. 出料的后处理	3
5. 沼气的净化、储存和输配	3
(二) “能源-生态”与“能源-环保”型	4
1. 能源-生态模式工艺流程	4
2. “能源-环保模式”工艺流程	6
(三) 两步厌氧消化工艺	7
(四) 温度两相厌氧消化工艺	8

大中型沼气工程工艺流程

（一）基本工艺流程

一个完整的大中型沼气发酵工程，无论其规模大小，都包括了如下的工艺流程：原料（废水）的收集、预处理、消化器（沼气池）、出料的后处理、沼气的净化、储存和输配以及利用等环节（见下图所示，方框表示大中型沼气发酵工程基本设施）。



沼气发酵基本工艺流程

1. 原料的收集

充足而稳定的原料供应是沼气发酵工艺的基础，不少沼气工程因原料来源的变化被迫停止运转或报废。原料的收集方式直接影响原料的质量，如一个猪场采用自动化冲洗，其 TS 浓度一般只有 1.5%~3.5%，若采用刮粪板刮出，则原料浓度可大 5%~6%，如手工清运则浓度可达 20% 左右。因此，在畜禽场或工厂设计时就应根据当地条件合理安排废物的收集方式及集中地点，以便就近进行沼气发酵处理。

收集的原料一般要进入调节池储存，因为原料收集的时间往往比较集中，而消化器的进料常需要在一天内均匀分配。所以调节池的大小一般要能储存 24h 的废水量。在温暖季节，调节池常可兼有酸化左右作用，这对改善原料性能和加速厌氧消化大有好处。

2. 原料的预处理

原料中常混垃圾和各种杂物，如牛粪中的杂草，鸡粪中的鸡毛和沙砾等。为了便于用泵输送及防止发酵过程中出现故障，或为了减少原料中的悬浮固体含量，有的在进入

消化器前还要进行升温或降温等，因而要对原料进行预处理。可选用酒精和丙酮丁醇发酵，有条件时可采用固液分离机将固体残渣分出用做饲料，提高经济效益。

3. 消化器

消化器（或称沼气池）是沼气发酵的核心设备，微生物的生长繁殖、有机物的分解转化、沼气的生产都是在消化器里进行的，因此消化器的结构和运行情况是一个沼气工程设计的重点。

消化器的工艺类型，根据消化器水力滞留期（HRT）、固体滞留期（SRT）和微生物滞留期（MRT）相关性的不同，可分为三大类（见下表）。在一定 HRT 条件下，设法延长 SRT 和 MRT 是厌氧消化器科技水平提高的主要方向，不同的厌氧消化器适用于处理不同的有机废水和废物，根据所处理废弃物的理性性质的不同，采用不同的消化器，是大中型沼气工程提高科技水平的关键。

厌氧消化器的类型

类型	滞留期特征	消化器举例
I 常规型	MRT=SRT=HRT	常规消化器、连续搅拌罐、塞流式
II 污泥滞留型	(MRT 和 SRT) HRT	厌氧接触 UASB、USR、折流式、IC
III 附着膜型	MRT (SRT 和 HRT)	厌氧滤器、流化床、膨胀床

4. 出料的后处理

出料的后处理为大型沼气工程所不可缺少的构成部分，有些工程未考虑出料的后处理问题，造成出料的二次污染，白白浪费了可作为生态农业建设生产用肥料的物质资源。

出料的后处理方式多种多样，最简单而有经济效益的方法是直接用作肥料施入土壤或鱼塘。但施肥有季节性，不能保证连续的后处理。可靠的方法是将出料进行沉淀后再将沉淀进行固液分离，固体残渣用做肥料（或配合适量化肥）做成适用于不同作物的负荷肥料，这种做法很受市场欢迎，并有较好的经济效益。清液部分可经曝气池、氧化塘等好氧处理而排放，出水可用于灌溉或再回用为生产用水。目前采用的固液分离设备有沙滤式干化槽、卧螺式离心机、水利筛、带式压滤机和螺旋挤压式固液分离机等。

5. 沼气的净化、储存和输配

沼气发酵时会有水分蒸发进入沼气，水的冷凝会造成管路堵塞，有时气体流量计中也会进水。由于微生物对蛋白质的分解或硫酸盐的还原作用也会有一定量硫化氢

(H_2S) 气体生成并进入沼气。 H_2S 是一种腐蚀性很强的气体, 它可引起管道及仪表的快速腐蚀。 H_2S 本身及燃烧时生成的 SO_2 对人也有毒害作用。因此, 大中型沼气工程, 特别是用来进行集中供气的工程必须设法脱出沼气中的水和 H_2S 。中温 ($35^\circ C$) 运行的沼气池, 沼气中的含水量为 $40g/m^3$, 冷却到 $20^\circ C$ 时沼气中的含水量只有 $19g/m^3$, 也就是说, 每立方米沼气在从 $35^\circ C$ 降温到 $20^\circ C$ 的过程中会产生 $21g$ 冷凝水。脱水通常采用脱水装置进行。沼气中的 H_2S 含量一般在 $1\sim 12g/m^3$ 之间, 蛋白质或硫酸盐含量高的原料, 发酵时沼气中的 H_2S 含量就较高。根据城市煤气标准, 煤气中 H_2S 含量不得超过 $20mg/m^3$ 。硫化氢的脱除通常采用脱硫塔, 内装脱硫剂进行脱硫, 因脱硫剂使用一定时间后需要再生或更换, 所以脱硫塔最少要有两个轮流使用。

沼气的储存通常用浮罩式储气柜, 以调节产气和用气的时间差别。储气柜的大小一般为日产沼气量的 $1/3\sim 1/2$, 以便稳定供应用气。

沼气的输配是指将沼气输送分配至各用户 (点), 输送距离可达数千米。输送管道通常采用金属管, 近年来采用高压聚乙烯塑料管作为输气干管已试验成功。用塑料管输气不仅避免了金属管的锈蚀, 并且造价较低。气体输送所需的压力通常依靠生产沼气所提供的压力即可满足, 远距离输送可采用增压措施。

(二) “能源-生态”与“能源-环保”型

根据沼气工程的目的和周边环境条件的不同, 大中型沼气工程可分为“能源-生态模式”和“能源-环保模式”两种类型。

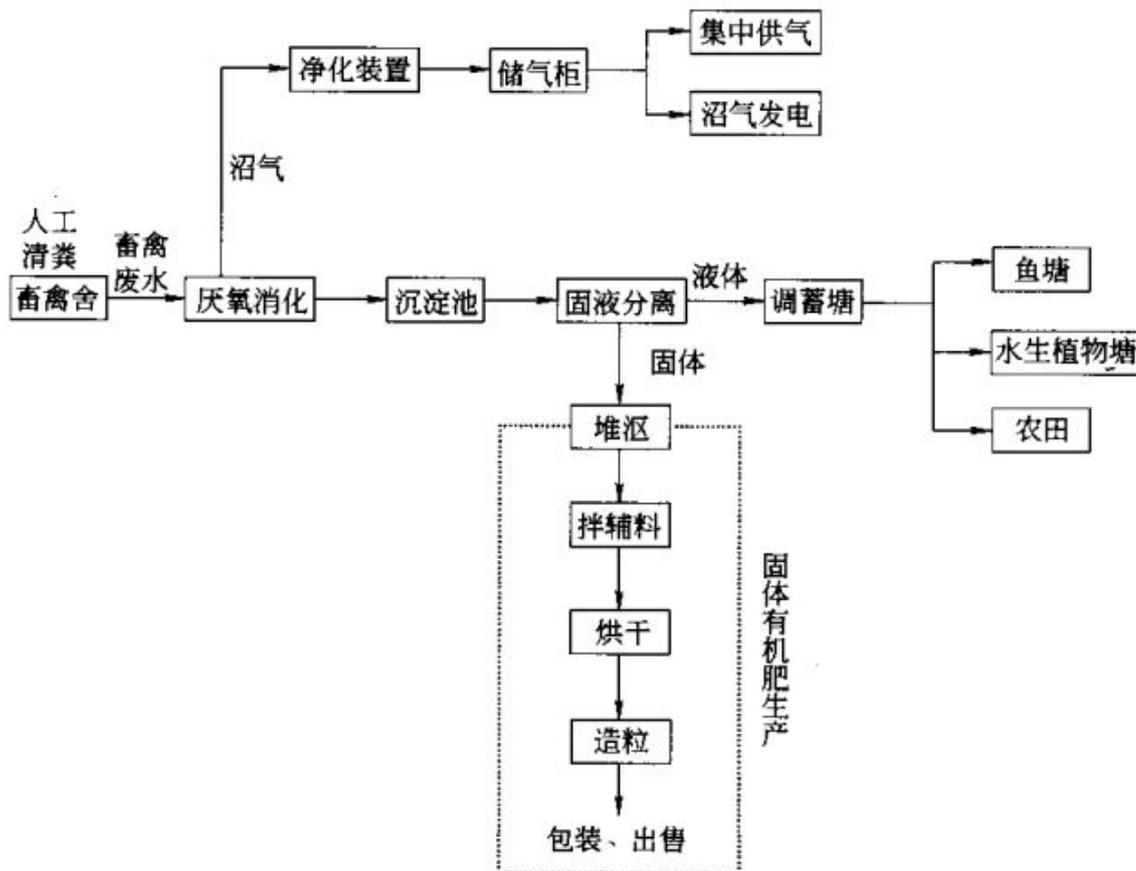
1. 能源-生态模式工艺流程

所谓“能源-生态模式”, 即沼气工程周边的农田、鱼塘、植物塘等能够完全消纳经沼气发酵后的沼渣、沼液, 使沼气工程成为生态农业园的纽带。如畜禽粪便沼气工程, 首先要将养殖业与种植业合理配置, 这样既不需要后处理的高额花费, 又可促进生态农业建设, 所以说“能源-生态模式”是一种理想的工艺模式。

“能源-生态模式”工艺流程, 充分体现了有机废气物的资源化利用, 通过沼气发酵工程为纽带, 将废物处理、能源开发、有机肥生产纳入了生态农业建设轨道。该工艺应将当天所能收集到的废物和废水, 设法送入调节池, 经沼气发酵后在做固液分离, 这

样即可更好地生产沼气用做能源，又使有机肥得到腐熟。

畜禽养殖场“能源生态型”沼气工程是指畜禽场污水经厌氧消化处理后消化液不直接排入自然水体，而是作为农作物的有机液体肥料工程，这类沼气工程适用于畜禽场周边有足够的农田、鱼塘、植物塘等，能够完全消纳经沼气发酵后的沼渣、沼液，使沼气工程成为生态农业园区的纽带。目前“能源生态型”沼气工程已经成为比较成熟的、适用的，以综合利用为主的沼气生产工艺。



“能源-生态模式” 工艺流程

采用能源生态型的沼气工程建设项目建设的目标是尽可能多生产沼气，并实现沼渣、沼液的综合利用。畜禽粪便、废水在经厌氧消化，后再经沉淀或固液分离，剩余的沼渣、沼液作为优质的有机肥料，用于绿色食品生产，使粪便得到能源、肥料等多层次资源化利用，最终达到区域内畜禽场粪污的“零排放”。这种工艺遵循了循环农业原则，具有良好的经济、环境和社会效益。

“能源生态型”沼气工程工艺适宜的条件为：

(1) 养殖业和种植业的合理配置，即养殖场周围有足够的农田或市场能够消纳厌氧发酵后的沼液、沼渣，使沼气工程成为能源生态农业的纽带。

(2) 原则上畜禽场日污水排放量不大于日粪便排放量的 3 倍。

(3) 项目建设点周围环境容量大，排水要求不高。

“能源生态型”沼气的工艺特点有：

(1) 畜禽场污水、粪便可全部进入厌氧池。

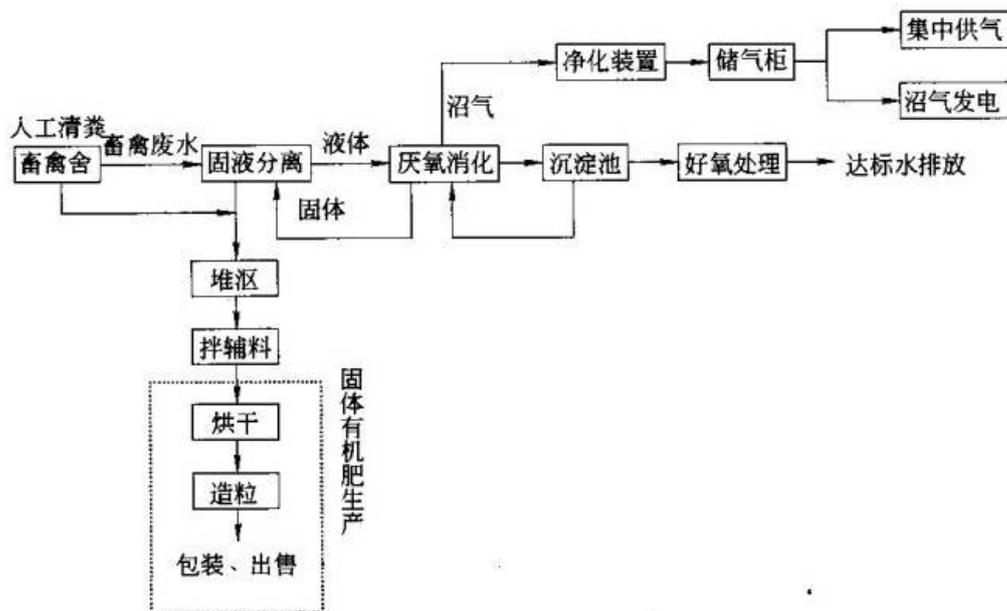
(2) 沼气产量大，沼液产量相对较少。

(3) 运行费用低。

(4) 操作简单，管理方便。

2. “能源-环保模式” 工艺流程

所谓“能源-环保模式”，即沼气工程周边环境无法消纳沼气发酵后的沼渣、沼液，必须将沼渣制成商品肥料，将沼液经后处理达标排放。该模式不但不能使资源得到充分利用，并且工程和运行费用较高，应尽量避免使用。但由于采用了沼气发酵工艺可回收一定量的沼气作为能源，并通过沼气发酵去除污水中的大部分有机物，因此，比单纯使用好氧曝气的方法来处理污水，既产能又节能。



“能源-环保模式” 流程示意图

由于“能源-环保模式”的首要目的是要达标排放，否则养殖场或发酵工厂就不能再办下去，所以在工艺上首先要使污水减量化。在猪场、牛场等采用拣干粪的方式人工收集固体有机物，进行好氧堆沤处理，然后再将残余粪便结用水进行冲洗。猪粪进入调

节池后，先进行固液分离，然后再进入沼气进行沼气发酵。这样水产量和水浓度都大幅度降低，有利于降低水处理成本，当然沼气产量也相应减少。

禽畜养殖场“能源环保型”沼气工程是指畜禽场的畜禽污水经过处理后直接排入自然水体或以回用为最终目的的工程，该工程要求最终出水达到国家或地方规定的排放标准。此类型沼气工程一般用于畜禽养殖场周边环境无法消纳的厌氧消化液，必须将其进行处理达标后排放。

采用“能源环保型”的沼气工程，项目建设目标是实现污水的达标排放、固体粪便制作有机肥，并通过对沼气的利用降低工程运行费用，此类工程项目具有良好的环境、社会效益。目前该类工程一般采用高效厌氧消化工艺（UASB、EGSB 反应器）与先进的好氧反应工艺（SBR、E-MBR，及萃取膜-生物反应器）相结合的典型工艺路线。

“能源环保型”沼气工程的工艺适宜条件为：规模化养殖场，污水处理量宜大于 50t/h；项目建设点周边排水要求高，污水需达标排放。

“能源环保型”沼气工程的工艺特点有：

- (1) 在前处理时尽可能通过物理方法去除污水中的固形物，降低厌氧池工作负荷；
- (2) 畜禽舍内清除的粪便以及固液分离机分离的粪渣可制作有机肥或直接外卖；
- (3) 污水达标排放，有效防止二次污染；
- (4) 沼气产量小；
- (5) 主体工程投资大、运行费用高；
- (6) 操作与管理水平要求较高。

（三）两步厌氧消化工艺

两步厌氧消化工艺是把厌氧消化的酸化过程分解，使厌氧消化反应分别在两个独立的反应器只完成一个阶段的反应，第一反应器只完成产酸阶段反应，第二反应器完成产甲烷阶段反应，故又称两段式厌氧消化工艺。按照所处理的废水水质情况，两步发酵可以采用同类型或不同类型的厌氧消化反应器。如对悬浮固体含量多的高浓度有机废水，第一步反应器可选用不宜堵塞、效率稍低的反应装置，由于经过水解产酸阶段后的上清液中悬浮固体浓度降低，在第二步反应器中可采用新型高效消化器。根据不产甲烷菌与产甲烷菌代谢特性及适应环境条件不同，第一步反应器可采用简易非密闭装置，可在常温、较宽 pH 值范围条件下运行；第二步反应器则要求严格密封、严格控制温度和 pH 值范围。两步厌氧法具有如下特点：

- (1) 耐冲击负荷能力强, 运行稳定, 避免了一步法不耐高有机酸浓度的缺陷;
- (2) 两阶段反应不在同一反应器中进行, 互相影响小, 可更好地控制工艺条件;
- (3) 消化效率高, 尤其适于处理含悬浮固体多、难消化降解的高浓度有机废水;
- (4) 两步厌氧法设备较多, 流程和操作复杂。

(四) 温度两相厌氧消化工艺

温度两相厌氧消化工艺是近年来美国依阿华州立大学开发出来的新工艺, 它将高温厌氧消化和中温厌氧消化组合在一起形成一个处理工艺, 其目的是充分发挥高、中温厌氧反应各自的优势, 如高温发酵具有的高反应速率和高去除致病菌的能力, 中温发酵所具有的低的能量需求和好的出水水质。

Dugba 等也研究证实了温度两相厌氧消化工艺处理乳制品废水的可行性。他们采用 2 套高温 (55℃) -中温 (35℃) 厌氧消化系统和一套中温 (35℃) -中温 (35℃) 系统, 在不同的水力停留时间 (HRT 分别为 3d 和 6d) 和不同的有机固体负荷[2, 3, 4, 6, 8g/(L·d)] 下进行了对比试验。其中中温-中温系统的两相反应器之体积比为 1: 4, 而两套高温-中温系统的体积比则分别为 1: 4 和 1: 2。该试验主要研究了温度变化、体积比、HRT、VS 负荷等对两相厌氧消化系统运行的影响。结果发现:

- (1) 当 HRT 分别为 3d 和 6d 时, 上述 3 个系统都可以获得较长的污泥停留时间, 达到 13~18d;
- (2) 3 个系统的运行均依赖于 HRT 和 VS 负荷;
- (3) 当 VS 负荷达到 6g/(L·d) 以上, HRT 为 3d 时, 3 个系统都遭到破坏;
- (4) 当 VS 负荷分别为 2g/(L·d)、3g/(L·d) 4g/(L·d), 3 个系统 HRT 分别为 3d 和 6d 时, 对 TS 和 VS 的去除率没有明显差别;
- (5) 当 VS 负荷在 2~4g/(L·d) 范围内, 在同样的 VS 负荷和相同的两相反应器的体积比 (1: 4) 下, 高温-中温系统的 VS 去除率和产甲烷速率分别为 43.8%~44.1% 和 0.41~0.82L/(L·d)。

Kaiser 等认为, 温度两相厌氧生物滤池工艺是一种新的告诉厌氧处理系统, 它由一个高温厌氧生物滤池与一个中温厌氧滤池串联组成, 能够形成一个具有两个温度段和两相厌氧生物处理系统。他们研究的 3 个系统中, 2 个反应器的体积比分别为 1: 7、1: 3 和 1: 1, 系统的 HRT 分别是 24h、36h、48h, 其中高温相的温度是 56℃, 中温相的温度是 35℃。当处理合成牛奶废水, 系统的进水负荷在 2~16gCOD/(L·d) 的范围内,

3 个系统对溶解性和总 COD 的去除率分别达到 97% 和 90%。运行结果表明，虽然 3 个系统的高温相和低温相的体积比有较大的差别，但系统的运行效果并没有很大的差别，说明可以选择较小的高温相反应器的体积。当系统的 HRT 为 48h，高温相的 HRT 为 6h，高温相达到了其最高的 COD 负荷，为 48g/(L·d)；如果此时再继续提高负荷，高温相的甲烷产率就会下降，而相应地，中温相的甲烷产率会增加，同时出水中异戊酸和丁酸含量也会明显增加。可以认为，在较高的有机负荷和较短的 HRT 下，在高温相反应器中发生了微生物群的变化。虽然发现在高温相反应器中的甲烷产率下降，但总系统的处理效果并没有下降。在相同的 HRT 和有机负荷下，温度两相厌氧消化系统的运行效果要比单极的厌氧滤池好。