

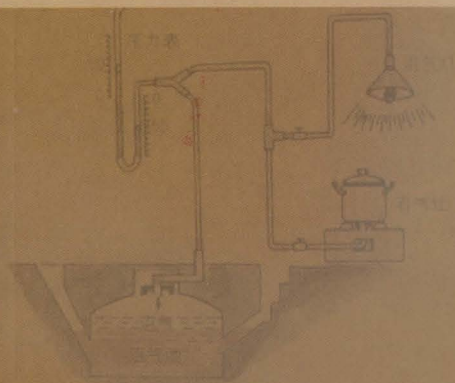
● 阳光工程丛书

沼气池建造、使用 与维护技术

ZHAOQICHI

JIANZAO SHIYONG YU WEIHU JISHU

李 健 贺瑞肖 主编



河北科学技术出版社

沼气池建造、使用与维护技术

主编 李 健 贺瑞肖

河北科学技术出版社

阳光工程丛书编委会

主 任	傅文才						
主 编	田 芬						
副 主 编	王仲群	宋海柱	李俊英	范海昌	杨伯明	李树强	
编 委	刘贵中	鲁新堂	张君惠	单占榜	安 蔚	任永志	
	王建新	张 斌	杨宪理	刘凤川	孙福军	董瑞峰	
	孙 毅	赵振英	苑清民	宗 纲	吕小强	杨秀萍	
	都建卫						

《沼气池建造、使用与维护技术》编委会

主 编	李 健	贺瑞肖					
副 主 编	安秀海	黄振平					
编 者	王丽丽	安秀海	韩 净	李 健	贺瑞肖	刘 栋	
	薛开吉	黄振平	杜东法	孟宪林	马吉华	李凤池	

前 言

目前,我国大力发展循环经济、低碳经济,沼气作为一种可再生的清洁能源,受到农村广大群众的青睐。以沼气为纽带的生态家园富民工程是推进社会主义新农村建设的重要内容。加快农村能源建设步伐,优化农村能源结构,积极推广沼气等可再生清洁能源技术,对促进新农村建设的可持续发展,实现农村家居环境清洁化、农业生产无害化、资源利用高效化,转变农民的生产、生活方式,改善农村的环境面貌,增加农民收入,提高新农村建设的科技含量,培育新型农民,都具有非常重要的意义。

为了适应新农村沼气建设的发展,满足广大沼气技术人员和沼气用户的需求,我们编写了《沼气池建造、使用与维护技术》一书。本书采用图文并茂的形式,全面系统地介绍了沼气池的设计、施工、发酵工艺、安全使用与维护等技术。本书内容丰富,技术实用,深入浅出,通俗易懂,是沼气技术人员和广大沼气用户必不可少的参考书。

在本书编写过程中,我们参考了一些专家、学者的研究成果和技术资料,在此一并表示感谢。由于水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者
2010 年 6 月

目 录

第一章 沼气发酵基本原理	(1)
一、沼气的概念	(1)
二、沼气的性质	(2)
三、沼气发酵的基本条件	(3)
四、沼气发酵的过程	(8)
第二章 沼气发酵原料	(11)
一、原料的种类及数量	(11)
二、原料的成分	(13)
三、原料的产气性能	(15)
第三章 沼气发酵工艺	(18)
一、发酵的基本条件	(18)
二、发酵的工艺类型	(24)
第四章 沼气池的构造及设计	(27)
一、沼气池的构造和工作原理	(27)
二、沼气池的设计原则	(32)
三、沼气池建筑材料	(39)
四、沼气池建筑施工	(54)
第五章 常用小型沼气池池型图	(62)
一、圆筒形水压沼气池	(62)
二、底层出料水压沼气池	(65)
三、分离贮气浮罩式沼气池	(68)

四、旋流布料水压式沼气池	(71)
第六章 沼气池的正常启动	(77)
一、原料搭配与接种物选择	(77)
二、配料启动	(82)
第七章 沼气输配设施	(87)
一、管道与配件	(87)
二、沼气设备	(88)
三、输配设施的安装	(93)
第八章 沼气的安全生产使用管理与维护	(95)
一、日常管理	(95)
二、沼气的安全生产管理	(97)
三、沼气池的安全维护	(101)
四、沼气池常见故障及处理方法	(104)
五、预防沼气中毒和烧伤	(105)
第九章 沼气、沼液、沼渣的综合利用	(108)
一、沼气综合利用概况	(108)
二、沼气综合利用的基本原理	(109)
三、沼气的综合利用	(111)
四、沼液的综合利用	(123)
五、沼渣的综合利用	(131)
附录	(142)
附录一 各种能源热值及折标煤系数表(参考)	(142)
附录二 发酵原料的平均沼气产量(参考)	(144)
附录三 新能源技术节标煤量计算表	(145)
附录四 常用计量单位换算	(146)
参考文献	(147)

第一章 沼气发酵基本原理

一、沼气的概念

沼气是各种有机物质在一定温度、湿度、酸碱度和隔绝空气的条件下，经过微生物发酵分解作用而产生的一种可燃气体。由于这种气体最先在沼泽中发现，所以称之为沼气。

在自然界中，除含腐烂有机物质较多的沼泽、池塘、污水沟、粪坑等处可能有沼气外，也可以人工制取。用作物秸秆、树叶、人畜粪便、污泥、垃圾、工业废渣、废水等有机物质作原料，仿照产生沼气的自然环境，在适当条件下，进行发酵分解即可产生出沼气来。

沼气是属于生物质能利用的一种方式。生物质能是自然界各种植物通过叶绿素的光合作用，将太阳辐射能转换成化学能固定下来的，它是一种自然界不断再生的能源。由于制取沼气的原料很多，尤其是在我国农村，因此利用生物质能资源发展沼气的潜力很大。这对于解决农村燃料、肥料和饲料，加速发展农业生产，实现农业现代化，建设社会主义新农村，都有着极其重要的意义。同时，利用厌氧发酵处理城市和工厂排出的粪便、废物、污泥、垃圾、有机废水等，既可获得相当数量的沼气，又可达基本无害化处理的目的。因此，兴办沼气，综合利用生物质能资源，不仅是实现农业现代化的重要措施，也是处理城市“三废”、保护环境的有效途径。

二、沼气的性质

沼气是一种可燃性混合气体，其性质不像单一气体那样稳定。沼气的性质取决于沼气的主要成分。

（一）沼气的成分

沼气的组成以甲烷为主，其次是二氧化碳。据测定，沼气一般含甲烷（ CH_4 ）55% ~ 70%，二氧化碳（ CO_2 ）20% ~ 40%，还含有少量的硫化氢（ H_2S ）、氮气（ N_2 ）、氢气（ H_2 ）、一氧化碳（ CO ）和氧气（ O_2 ）等。沼气成分不是固定的，受发酵条件、工艺流程、装置结构等许多因素的影响。发酵条件适宜、工艺先进、装置高效、管理好，产生的沼气质量就好，甲烷含量高，二氧化碳等其他气体含量就低，反之二氧化碳等其他气体含量就高。

（二）沼气的理化特性

因为沼气的主要成分是甲烷，所以它的理化特性在很大程度上与甲烷的性质相似。又因沼气的含有一定量的二氧化碳，所以它也有二氧化碳的一些特性。同时沼气成分是变化的，这就导致了其自身理化特性的波动性。

1. 物理性质 沼气是一种无色、无一定形状、略有臭鸡蛋味的混合气体，难溶于水，易扩散，不易液化，其比重和密度随气体成分的变化而变化，在甲烷含量为50% ~ 70%、二氧化碳含量为50% ~ 30%时，比重为0.847 ~ 1.042，密度为1.095 ~ 1.347 千克/米³。

2. 化学性质

（1）燃烧特性。沼气的可燃成分为甲烷、氢气、一氧化碳、

硫化氢等，在一定条件下，其可燃成分与氧发生激烈的氧化作用，并产生大量的热和光。这一物理化学反应称为燃烧。沼气燃烧的特性见表 1-1。

表 1-1 沼气的燃烧特性

特性参数	CH ₄ 50% CO ₂ 50%	CH ₄ 60% CO ₂ 40%	CH ₄ 70% CO ₂ 30%
热值 (千焦/米 ³)	17937	21524	25111
理论空气量 (标米 ³ /标米 ³)	4.76	5.71	6.67
爆炸极限 (%) $\frac{\text{上限}}{\text{下限}}$	$\frac{26.1}{9.52}$	$\frac{24.44}{8.8}$	$\frac{20.13}{7.0}$
理论烟气量 (标米 ³ /标米 ³)	6.763	7.914	9.067
火焰传播速度 (米/秒)	0.152	0.198	0.243

(2) 其他特性。因沼气的主要成分是甲烷，甲烷可以热分解，与卤素起化学反应，生成卤代甲烷，甲烷在特定的条件下也能与水发生相应的反应。所以沼气不仅是很好的气体燃料，也是很重要的化工原料。

三、沼气发酵的基本条件

沼气是多种厌氧性细菌发酵分解有机物质产生的。人工制取沼气，必须创造厌氧发酵的基本条件。这些细菌的生命活动越旺盛，产生的沼气就越多；相反，细菌的生命活动受到阻碍，产气就会减少，甚至不产气。这些基本条件是：

(1) 严格密封的厌氧发酵池。分解有机物质产生沼气的细菌（以下简称为沼气细菌）都是厌氧性细菌，它们的整个生命

活动（包括生长、发育、繁殖、代谢等）都不需要空气。相反，空气中的氧气对它们还有损害。它们对游离的氧非常敏感，有机物质的分解，在有氧气的情况下产生二氧化碳，在无氧气的情况下就产生甲烷。因此，修建储料间不漏水、贮气间不漏气的厌氧发酵池，是人工制取沼气的关键。这不仅是为了装料和贮气的需要，更重要的是保证细菌在厌氧条件下生活，使之达到正常产生沼气的目的。

（2）充足的发酵原料和菌种。各种有机物质如人畜粪便、作物秸秆、树叶杂草、污泥垃圾、生活污水以及含有机物质的工业废渣、废水等，都可以作为沼气池的发酵原料，也就是沼气细菌生长所需要吸取的营养物质。但是细菌对营养物质中的碳素、氮素的需要量必须维持适当的比例。据实际测定分析，适合厌氧发酵的碳氮比为 25 : 1 ~ 30 : 1。

人畜粪便含氮素较高，而含碳素较低，称为“富氮有机原料”；秸秆、树叶、杂草等纤维多的物质含碳素较高，而含氮素较低，称为“富碳有机原料”。因此，厌氧发酵池中，不仅需要经常补充足够的发酵原料，并应注意各种原料按碳氮比、产气量合理搭配，综合进料，这样才能多产气而且持续时间长。

同时，还要充分富集大量的厌氧发酵菌种，这样才能产气快。新鲜原料入池发酵，若加入的菌种很少，厌氧发酵停滞期很长，则迟迟不产气或产气甚微。采用预先沤制过的原料，并加入少量沼气池污泥（粪坑底脚污泥、各种阴沟污泥）进行发酵，甲烷含量很快上升，6 天即达 50% 以上，30 天左右可达 70%，这就说明厌氧发酵必须有大量的菌种。

（3）适当的水分。沼气细菌正常生长、繁殖需要有适量的水分，发酵池里水分过少，发酵液太浓，不利于沼气细菌的活动，发酵原料不易分解，产气慢而少，同时容易在发酵池液面浮料结壳，影响产气；水分过多，发酵液太稀，发酵原料相对减

少，沼气细菌养分不足，也影响产气，不利于沼气池的充分利用。实践证明，池中发酵物质的含水量控制在 90% 左右为宜，最适量的原料干物质浓度为 10%。由于发酵原料不同，干湿程度各异，进料时，应根据发酵原料的含水情况，加入适量的水，并随季节的变化而改变原料干物质浓度（夏季可低些，冬季要高些）。根据实践经验，配料时杂草、秸秆和人畜粪便等，约占全池的一半，另一半加清水，这样产气情况一般比较好。

(4) 适宜的温度。发酵温度（指池内发酵液的温度）对产气有很大影响。温度适宜，细菌的生命力旺盛，沼气就产得多、产得快。厌氧发酵的温度范围很广，沼气细菌在 8 ~ 70℃ 都能生存，根据实际使用情况，可分为高温发酵、中温发酵和常温发酵三种类型。高温发酵，最适宜的温度为 50 ~ 55℃，日产气量为每立方米沼气池产气 2.0 ~ 2.5 米³；中温发酵，最适宜的温度为 33 ~ 38℃，日产气量为每立方米沼气池产气 1.0 ~ 1.5 米³；常温发酵的温度为 10 ~ 30℃，日产气量为每立方米沼气池产气 0.1 ~ 0.3 米³。我国各地农村都是采用常温发酵，一般说来，夏季 7 ~ 8 月份，产气量最高，冬季 11 月至翌年 2 月份，产气量最低，从 3 ~ 4 月份开始产气回升。根据地区和季节的不同，要加强管理，采取保温措施，维持池温在 10℃ 以上，保证正常产气，如果池温低于 10℃，沼气产量明显下降。沼气细菌对温度的变化很敏感，上下突然波动超过 3℃，就要影响沼气的产生，所以，一定要保持池内温度的相对稳定性。温度对厌氧发酵的影响，实质上是对原料消化速度的影响。实践证明，在 15 ~ 35℃ 的范围内，每吨同种原料所产沼气总量大致是相等的。只是温度高时，发酵微生物的生命活动旺盛一些，原料消化速度快一些，发酵周期比较短一些；而温度低时，其消化速度慢一些，发酵周期要长一些。表 1 - 2 为粪便发酵期限与温度的关系。

表 1-2 粪便发酵期限与温度的关系

池温 (°C)	8	10	15	20	27	32
发酵周期 (昼夜)	120	90	60	45	30	20

(5) 适当的酸碱度。沼气细菌适宜在中性或微碱性的环境中生长繁殖，发酵液的酸碱度（即 pH）以 6.5 ~ 7.5 为宜，过酸、过碱都不利于产气。实验测定表明，pH 为 6 ~ 8，均有沼气产生；但 pH 在 6.5 ~ 7.5 的范围内，产气量最高；当 pH 低于 4.9 或高于 9 时，均不产气。并且发现，在正常厌氧发酵过程中，其 pH 有一个由高变低，然后又升高，以致基本恒定的过程。变化时间的长短与发酵温度等因素有关。在夏季发酵温度较高（22 ~ 26℃），6 天内，pH 就能达到稳定，而秋季温度较低（18 ~ 20℃），则需要 14 ~ 18 天才能稳定。这一变化说明厌氧发酵的 pH 有一个自然平衡过程，一般不需要进行调节。

只有在配料、管理不当的情况下，才可能出现挥发酸大量积累，pH 下降，需要采取措施进行调节。如果发酵液过酸，可加入适量的石灰水或草木灰中和；如果过碱，则加入一些鲜青草、水草、树叶和水，酸碱度就可以得到调节。实践证明，鲜青草、水花生等绿肥投料量大时，在发酵过程中容易使溶液过酸。发酵液过碱的情况很少发生。

(6) 严格控制阻抑物含量。沼气细菌很容易受到阻抑物的影响，抑制沼气细菌的生命活动，妨碍产气。在发酵料液中必须严格控制阻抑物含量，不超过其抑制浓度。沼气池内挥发酸浓度过高（0.2% 以上）时，对发酵有阻抑作用，氨态氮浓度过高（超过 0.15%）时，对发酵菌有抑制和杀伤作用，各种农药，特别是剧毒农药，都有极强的杀菌作用，其他很多盐类，特别是贵金属，也是厌氧发酵的阻抑物。

投入发酵池的原料、废水等都要经过检验，不能投入农药、

油毡、电石、刚喷过农药的作物秸秆，以及含有阻抑物的废渣、废液和废水等。

另外，要提高沼气产量，还应注意以下几个问题：

(1) 要经常对发酵料液进行搅拌。其目的是使发酵原料分布均匀，增加沼气细菌与原料的接触面，防止浮渣增厚和结壳，加快发酵速度，提高产气量。试验证明，在同样的发酵器、同样的容积和同样的发酵条件下，搅拌比不搅拌可提高产气量10% ~ 15%。特别是大型沼气池必须采取有效的搅拌措施，一般情况下，料液移动速度不超过 0.5 米/秒为宜，因为这一速度是发酵微生物生命的临界速度。

(2) 要控制沼气池内气压不宜过大。在实践中发现，沼气池内气压过大时产气减慢，据有关单位的试验研究表明，池内气压对产气有直接影响，压强在 40 ~ 50 厘米水柱高时，对产气量没有影响；压强大于 60 ~ 90 厘米水柱高时，产气量就会下降。所以，要注意合理设计气箱或贮气柜的容积。

(3) 可适量掺入添加剂。能促进有机物质分解并提高产气速度的各种物质，统称为添加剂。其种类很多，包括一些酶类、无机盐类、有机物和其他无机物等。添加少量的活性碳粉末，可提高产气量 2 ~ 4 倍，在碳的浓度为 500 ~ 4000 毫克/升时，产气量的增强与浓度成正比，并且甲烷含量增加，挥发性固体减少。加入 5 毫克/千克的稀土元素 (R_2O_3)，可提高产气量 17%。添加黑曲霉可以提高下水污泥的甲烷发酵能力，使甲烷产量提高 1.4 ~ 1.6 倍。通入氢或添加 0.25% ~ 0.5% 的甲醇和醋酸钠等，都可以提高沼气产量和甲烷含量。

(4) 必须经常补充新鲜原料。为了保持适宜的发酵原料浓度，保证沼气发酵微生物能经常得到新鲜营养物质和产沼气基质，维持正常而持久地产气，“勤进新料”和“勤出旧料”是一项重要措施。进料、出料的速度要一致，数量（按体积计）要

相等，按重量计，新料的有机物质重量要大于排出分解物的重量。保证适宜的添加料和发酵周期，减少进料量而增加进料次数，可连续维持比较高的产气量。采用混合原料发酵的农村常温沼气池，在池温为 20 ~ 24℃ 的情况下，经 38 天发酵后需开始添加新料，每隔 5 天添加 4% 的新鲜原料，可维持较高的产气量。城市下水和粪便污泥中温发酵，其投配率（每日投料数量占沼气发酵池有效容积的百分比）为 5% ~ 7% 较为适宜，其产气量最高。

四、沼气发酵的过程

沼气是有机物质在一定条件下，经厌氧性细菌的发酵分解作用而产生的。简单的说，沼气产生的基本原理，就是厌氧发酵机理。

（一）厌氧发酵的阶段

厌氧发酵是一个复杂的生物化学过程。大致经过以下三个阶段：

第一个阶段是液化阶段。微生物的胞外酶，如纤维素酶、淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶等，对有机物质进行体外酶解，将多糖水解成单糖（或二糖），蛋白质转化成肽和氨基酸，脂肪转化成甘油和脂肪酸。即把固体有机物转化成可溶于水的物质。

第二个阶段是产酸阶段。上述液化产物进入微生物细胞，在胞内酶的作用下将它们转化为低分子化合物（简单的有机物），如低级脂肪酸、醇等。其中主要是挥发酸（包括乙酸、丙酸和丁酸），乙酸比例最大，约占 80%，故此阶段称为产酸阶段。

这两个阶段是一个连续的过程，我们统称它们为不产甲烷阶段。除了形成大量小分子化合物外，还产生大量二氧化碳和少量

氢气，这些都是合成甲烷的基质。因此，不产甲烷阶段可以看成是一个原料加工阶段，将复杂的有机物转化成可供甲烷细菌利用的物质，特别是低分子有机酸——乙酸。乙酸是脂肪、淀粉和蛋白质发酵后所生成的一种最普通的副产物。大约 70% 的甲烷都是在发酵过程中由乙酸来形成的。它们可以为产甲烷菌提供丰富的营养，为大量产生甲烷奠定雄厚的物质基础。

第三个阶段是产甲烷阶段。在此阶段，产氨细菌大量活动，而使氨态氮浓度增高，氧化还原势降低，为甲烷菌提供了适宜的环境条件，大量产生甲烷（简单有机物及二氧化碳氧化或还原成甲烷）。

这三个阶段不仅是相互衔接、逐步连续、交替变化的，而且是彼此相互依赖和互相约束，达到液化、产酸和产甲烷阶段的动态平衡，发酵初期大量产酸，在挥发酸浓度迅速增高的同时，氨态氮浓度也急剧上升。氨态氮浓度的增高，造成挥发酸浓度下降，氧化还原势下降，产气量和气体中甲烷含量上升。这一连续反应完成之后的一段时间内，pH、氧化还原势、产气量和甲烷含量等都基本稳定，而挥发酸浓度明显下降。这意味着在一定条件下微生物的种类、数量及其生化活性的稳定，相应的有机物消化速度、中间产物的浓度、产甲烷速度及沼气的成分都随之而保持稳定。

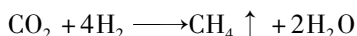
（二）复杂有机物的分解代谢

厌氧发酵原料十分复杂，主要有糖类、蛋白质和脂肪等。它们在厌氧条件下经过各类微生物的协同作用，分解成简单而稳定的物质，终产物主要是甲烷和二氧化碳，还有少量的硫化氢、一氧化碳和铵离子（ NH_4^+ ），发酵液中还有一类环状化合物的聚合物——腐植酸及未消化的残渣等。

(三) 甲烷形成途径

对甲烷形成途径的研究已经有近百年的历史，由于所得结果不同而产生了一些不同的看法。而甲烷菌利用氢气还原二氧化碳生成甲烷已得到公认。

二氧化碳 (CO₂) 还原成甲烷 (CH₄)，必须有氢气 (H₂) 作为电子供体，其反应为：



其他许多基质也能在甲烷菌的游离细胞浸液中产生甲烷，它们是丙酮酸 (CH₃COCOOH)、丝氨酸 (CH₂OHCHN₂COOH)、5-甲基四氢叶酸 (5-CH₃-FH₄)、5-10-甲基四氢叶酸 (5-10-CH₃-FH₄)、甲基维生素 B₁₂ (CH₃-B₁₂)、甲酸 (HCOOH)、甲醇 (CH₃OH)、甲醛 (HCHO)、蛋氨酸和一氧化碳等。

第二章 沼气发酵原料

农村沼气发酵原料主要有各种作物秸秆、树叶、杂草、畜禽粪便、人粪尿、生活垃圾、乡镇企业工厂有机废渣废水和各种农副产品加工的下脚料等农业废弃物。

一、原料的种类及数量

发酵原料是生产沼气的物质基础。建造沼气池之前应视原料的多少来确定池容。沼气池建造过大，会形成无“米”之炊，且造成建池材料的浪费；沼气池建造太小，不能满足用气要求，也达不到完全处理废弃物的目的。所以掌握各种原料的产量和收集量是建造沼气池的依据之一。

（一）人、畜禽粪便排泄量

人、畜禽粪便排泄量分理论值和实测值两种。粪便排泄量受机体代谢状况、个体大小、食物种类、季节变化等多种因素的影响。人、畜禽粪便排泄量理论近似值见表2-1。

表2-1 人、畜禽粪尿排泄量（理论） 单位：千克

项目 个体	体重	一昼夜排泄量			一年排泄量		
		粪	尿	合计	粪	尿	合计
人	50	0.5	1.0	1.5	182.5	365.0	547.5
猪	50	6.0	15.0	21.0	2190.0	5475.0	7665.0