

治气新技术应用研究

中国科学院成都生物研究所
四川科学技术出版社



沼气新技术应用研究

中国科学院成都生物研究所

主编	伍义泽	
副主编	刘克鑫	陈玉谷
	徐浩泉	刘之慧

四川科学技术出版社

一九八八年·成都

责任编辑：何 光

封面设计：李清拂

技术设计：李明德

沼气新技术应用研究

四川科学技术出版社出版

（成都盐道街三号）

新华书店重庆发行所发行

资中县印刷厂印刷

1988年2月第一版 开本 787×1092毫米/32

1988年2月第一次印刷 字数 256 千

印数 1—6120册 印张 12 插页 20

定 价： 2.65 元

ISBN 7—5364—0249—X/S·45

序

中国科学院成都生物研究所，近年来加强了沼气发酵的应用研究，并在有关单位的协作支持下作了示范推广，探索改革农村沼气发酵工艺和更广泛应用沼气作为解决农村能源的方法。他们现将发酵工艺、池型设计、应用效果和有关的基础研究编写成文出版，这可能对促进沼气的推广和研究起一定的作用。

我国广大农村，严重缺乏能源，大部分地区燃烧秸秆。据不完全统计，年消耗为2.3—2.5亿吨。这样大的数量尤嫌不足。少数地区能得到煤炭的供应，但数量亦很有限。其他地区则出现砍伐山林，挖树根，铲草皮，烧牛粪等等。总之，大量农民处于“锅下愁”状态，更严重的问题是会导致生态平衡的破坏，水土流失，灾害频仍，这种状况如不改善，并不需要很长时间，最多十数年就可能迅速恶化。这并不是危言耸听。一旦恶化后，使其逆转则需要相当长的岁月。对大自然的破坏，受到大自然的惩罚是屡见不鲜的。因此，既要解决农村燃料又要维护生态平衡，不能不认为是一个重大的问题。

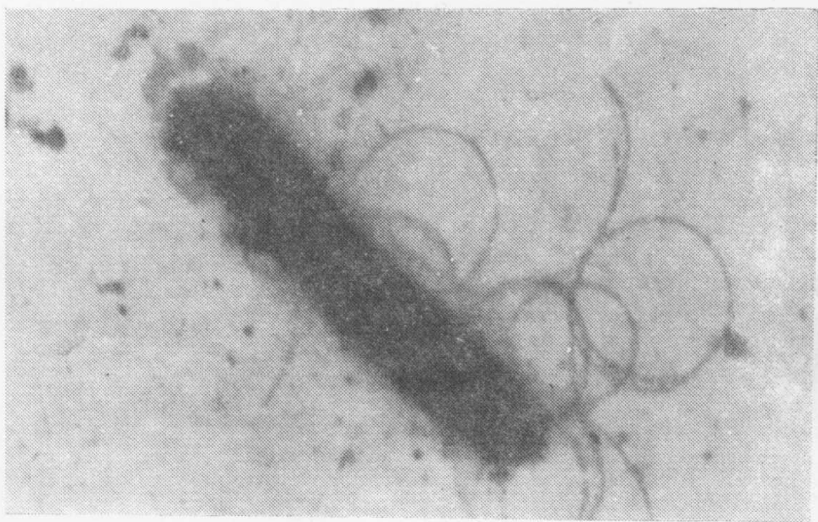
解决农村能源的途径虽然很多，如太阳能、风能、地热、潮汐能、波浪能、生物质能（包括薪炭林、节柴灶、沼气），还有小水电、小火电、化石燃料等等。由于我国地域广阔，地理条件复杂，情况各异，有的能源在某一地好用，

在另一地就不一定好用；或因价格昂贵，或因条件不具备，任何一种能源都不能解决全国农村能源问题。重要的是因地制宜，能源互补，才是出路。

这本书是着重谈沼气的，但决不是贬低其他农村能源的作用。总的来讲，沼气的利用在全国的覆盖面毕竟是大一些。这几年的工作不论在理论上、工艺上都有较大的突破，愈来愈显得沼气的前景是广阔的。当前需要进一步抓紧推广并继续加强研究，作到切切实实地按科学规律办事，认真地做好不同地区不同的工艺池型的研究，在研究取得可靠的成果的基础上有步骤地逐步推广。应改变过去那种把沼气问题看得过于简单，认为一切都已成功只要推广就够了的观点和作法，其结果是坚持应用者少，半途中断者多；又要改变把沼气问题看得太难，甚至认为不科学，要从此废止的说法，因为沼气仍然为广大农村所必须，且其技术问题是可以用科学方法解决的，本书的出版就是为了有助于解决这个问题。

为了用沼气技术解决农村能源，近年来中国科学院成都生物研究所在有关部门协作支持下，在成都双流、河南封丘等处作了大量工作。实践证明，他们的研究是成功的，他们的工作方法是科学的，成果推广应用的效益是卓著的。但愿更加深入的悉心研究，锲而不舍的工作，这样必然会有更大的成就，为我国农村脱贫致富，为我国农业现代化作出有益贡献。

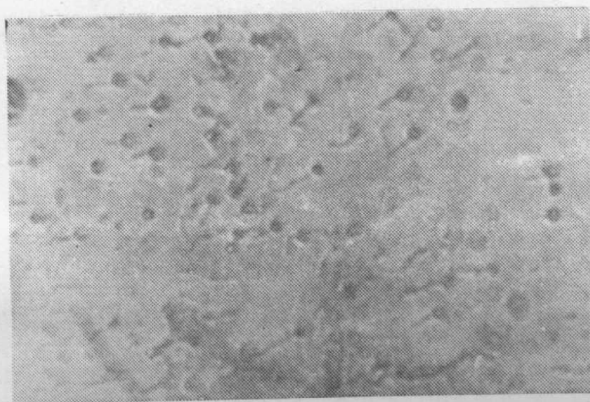
刘允中



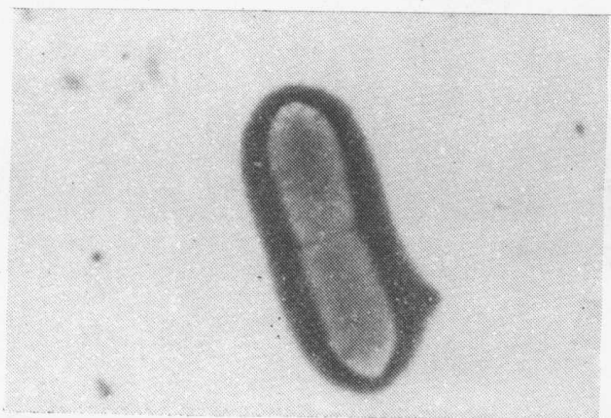
图版1 2000倍电镜下的细菌形态



图版2 600倍电镜下的细菌孢子形态



图版3 嗜热菌NO.10芽孢



图版 4 史氏产甲烷短杆菌细胞

目 录

序

一、我国近几年来农村沼气科研与发展概况介绍, 兼论农村沼气技术的改革.....	1
二、几种农户用新、旧沼气池型的对比试验.....	14
三、介绍一种农村新型沼气发酵工艺.....	22
四、中国科学院成都常乐能源实验村以能源为中心的农业废弃物多层次转化利用.....	26
五、干、湿(常规)沼气发酵工艺的研究与应用.....	38
六、沼气干发酵工艺必需的条件.....	46
七、沼气干发酵生产规模实验.....	59
八、几种干、湿沼气发酵相结合的池型设计.....	65
九、30米 ³ 干发酵池的运转与应用.....	74
十、干、湿沼气发酵池结合的施工方法.....	79
十一、环境温度猪粪沼气两相发酵.....	89
十二、甘薯藤厌氧发酵的沼渣用作动物饲料.....	99
十三、碳酸氢铵代替人畜粪作为氮源用于沼气发酵.....	107
十四、猪粪和稻草的中温厌氧发酵.....	113
十五、沼气池设计的微生物学原理.....	118
十六、生物能源——沼气的开发利用.....	135
十七、高温厌氧发酵马、牛粪产沼气及无害化的研究.....	143
十八、厌氧发酵——藻类二级处理缫丝厂低浓	

度废水·····	156
十九、两级厌氧折流板式消化器处理高浓度酒 厂废物·····	165
二十、酒精废液产沼气池型对比试验·····	176
二十一、中国农村沼气池主要微生物种群·····	181
二十二、厌氧纤维素分解细菌的分离和鉴定·····	196
二十三、沼气池中产氢细菌的研究·····	202
二十四、产氢菌的产氢、产酸功能的研究·····	209
二十五、薯蓣厌氧发酵产氢·····	214
二十六、薯蓣粉厌氧发酵产氢气的机制·····	221
二十七、史氏产甲烷短杆菌的分离和生理生化特性·····	229
二十八、马氏产甲烷球菌的分离及其生理学性 状研究·····	239
二十九、沼气发酵添加硫酸盐还原细菌对产甲烷 的影响·····	248
三十、沼气发酵微生物代谢的相互关联初探·····	253
三十一、沼气发酵动力学模型和参数测定·····	269
三十二、厌氧消化微生物的氢代谢·····	282
三十三、甲烷发酵若干基础理论概述·····	296
附录一、总氮测定中有机物质的快速消化法·····	350
附录二、农业废物种平菇的方法和效果·····	356
附录三、在庭院建池，用于发酵沼渣养黄鳝·····	360
编后·····	362

一、我国近几年来农村沼气科研 与发展概况介绍，兼论农村 沼气技术的改革

我国沼气研究始于本世纪一十年代末期。创始人罗国瑞经过十余年之研究，研制成功“经济、卫生、便利、安全”的“天然瓦斯库”。1929年之后，他先后在广州、上海设行推广。中国沼气事业开端良好，可惜这一新兴事业在1937年抗日战争爆发之后不久，不幸过早夭折。1958年沼气建设再度兴起，不过为期甚短。1960年之后，广大农村燃料缺乏日趋严重，因而在1970年之后，大规模沼气建设应运而生。我国现有农村家用沼气池444万个，对于缓和一些农村的缺烧问题，起了重要的作用。但在实践中也暴露出若干问题，需要研究解决。1978年后，我们对沼气建设的经验教训进行了总结，对沼气建设作了调整，采取了稳步发展的方针，加强了科研工作，因而创造了改进工作的较好条件。本文就沼气发酵的工艺与池型设计的研究、重要的基础研究、沼气和沼渣的利用，以及农村办沼气的经济效益等方面近几年来进展作一简要介绍。

我国现在有56个沼气科研单位和机构，有上千名沼气技

术科研人员。各省、市、县、区沼办（或农村能源办）拥有近1万名推广人员；716个技术服务公司，拥有职工1万余名；7000个建池专业队，拥有4万名沼气技术员。这一广大的科技队伍，就有关沼气各个方面的广泛题目进行着试验、研究与推广工作，取得了大量的进展与一定的成果。

不同工艺与池型的研究

1、现行水压式沼气池的优、缺点：现行水压式沼气池所以在我国广为推行，是因有其人所共知的优点，即经济、容易就地取材和迅速收回投资等。这些本文不多介绍。为了改革，仅提出缺点如下：

现行水压式沼气池，其基本原理来源于罗国瑞的“天燃瓦斯库”，但就工艺与池型设计而言，并非原来面目。罗国瑞的沼气发酵工艺是米糠等精料的单一发酵，池型设计为具有搅拌装置的长方形地下池。现行水压式沼气池为椭圆形地下池，较原设计更加合理，但取消了搅拌设备。发酵工艺改为人、畜粪便与秸秆混合发酵。虽然更加切合我国农村当前的实际情况，但没有通过正常的科研—发展—推广的程序，而是急于求成，先大规模推广，而后科研，而科研的目的往往是证明此种工艺与池型的合理性，而没有对它进行全面地研究与评价，以致其严重的缺点与问题至今未被认真对待和力行解决。

水压式沼气池的工艺，由于系静态的人畜粪便和作物秸秆的混合发酵，因而产生分层和顶部结壳现象。在有机玻璃模型的实验中，可以清楚地看出4层：即上部的浮壳层、中

部的清液层和混浊的活性污泥层，以及底部的残渣层。

这种工艺与池型的第一个致命缺点是浮壳造成的出料不安全和人身事故。因为浮壳厚度可达1米左右，其表层非常坚硬，很难在地面出料，往往须下池出料。池内除沼水沼壳外，顶部为气箱，储有约 1米^3 的沼气。池的顶口很小，只能容1人进出，故池内沼气很难向池外扩散，非采用鼓风吹散不可，而农户并非全部都具有必要的安全科学知识，鼓风设备有时并不方便，农民一下池清除沼壳沼水，即窒息昏倒池中而死亡，第二人去抢救，也遭同样结果，曾出现一连死亡三四人，使一家主要劳力丧身的现象。这一致命问题的根本原因在于工艺与池型设计的不安全因素，这是应引起重视而加以彻底解决的。因为它损伤了沼气发酵是解决农村能源的一种良好方法的形象，挫伤了农民办沼气的积极性，造成在部分同志中认为沼气问题多，应停办的不恰当的看法。

水压池的第二个缺点是效率低。表现为它的容积产气率和原料产气率都很低。容积产气率年平均仅为 $0.1\text{米}^3/\text{米}\cdot\text{天}$ ；原料产气率粪草合计仅为250升/公斤TS。其原因有以下几点：

①浮壳与残渣层占去了大量容积，成为“死区”。浮壳中原料分解利用很差，每次揭盖换料时，都可见到表层的大量粪草形色变化不大。相反，池内产生沼气的微生物活性区则大为缩小，而且料浆干物质含量低，都直接降低了沼气的产出。

②进出料管内口均位于发酵层，在同一平面，料液容易通过“短路”很快到出料口，使滞留时间短暂，原料消化利用不充分。埃及科学院中试实验室主任哈米德教授测定，加

新料6小时后，即可在出料间测出新料。同时，这种设计也使大量菌种随出料流失。

③高压造成漏气和沼气从进出料管外口逃逸。据成都科技大学谢新光等研究，甲烷分子的大小为3.74埃，而池壁众多孔隙的大小则超过20埃，有的达到数万埃以上，因而甲烷分子容易穿过飞散，压力越大，逃逸越多。这所大学和一些单位研究成功了几种密封涂料，对减少和消除甲烷逃逸收到了良好效果。又根据池型设计，进出料管内口都位于池下 $1/3$ 处，正好是发酵层。由于池内高压沼气大量从进、出料间飞散，哈米德教授测定可高达产气量的40%，且证明，池内压力越高，逃逸越多。孙国朝、刘克鑫等（1986年）的池型对比试验证明大口稳压溢流型沼气池比水压池的产气率提高30%以上。符放中、潘立章（1986）也证明：恒压式沼气池比水压式沼气池产气量高32.3%；并观察到主池内产的沼气转向水压间逃逸的现象。这说明在进出料间外口为什么经常可见大量可燃气泡溅逸，这些可燃气泡可作为沼气发酵良好的象征。

总之水压池的两大致命缺点是第一不安全，第二效率低。此外，还有日常管理繁琐和所花劳动力多、劳动强度大等缺点。因此，这种状况非改变不可。

围绕解决这些严重问题，许多沼气科研机构和人员，进行了多年研究，在治标和治本方面，都取得了很大的进展。在治标方面有以下几点：

①沼气池中只发酵人、畜粪便，不投入秸秆等原料，这样池内上部浮渣则不结为硬壳，容易在池上清除，不致出现人身事故。

②田崇民研究成功手动式和自动式搅拌装置，可大量提高产气率（1986）。

③孙国朝、刘克鑫、徐洁泉等提出改原水压式池设计为大开口、稳压溢流式池，可提高产出率30%以上。赵一章等人的（1985）有关水压池厌氧微生物纵向分布的研究，提出沼气微生物，特别是产甲烷菌在池下部和底部较其他层次为多，更说明了这种设计的合理性。

至于治本方面则为开发新工艺与新池型，由以下各节加以叙述。

2、农作物秸秆的干发酵和干、湿发酵相结合的池型及工艺：为了摆脱弊端较多的常规水压池和草粪混合发酵的老框子，探寻效率更高、安全、简便的沼气发酵，我国已研究和开发出一些新的池型工艺，并推广使用。农作物秸秆的干发酵和干湿结合的池型和工艺是其中之一。

对农作物秸秆的干发酵，有几个研究所都完成了富有成果的研究工作。根据他们的研究报告，干发酵的单位容积产气率高，一般达到 $0.25 \sim 0.5 \text{米}^3/\text{米}^3 \cdot \text{天}$ ，原料产气率也高，达到 $0.495 \text{米}^3/\text{公斤TS}$ 、 $0.56 \text{米}^3/\text{公斤VS}$ 。孙国朝、刘克鑫等开发的工艺，启动迅速，在24~48小时内，即产生可燃气体。提供沼气使用期可长达3~5个月，中途无需频繁的进料管理，残渣易于清除、运输和施肥。建池材料广泛，易于取得。这种工艺已与处理粪便的湿发酵稳压工艺相结合，在四川成都、河南封丘的一些村庄推广，受到群众的欢迎。成都市的双流县常乐村，已建成使用这种工艺为主，结合推广节柴灶和节能措施的能源试点村。

根据这个村的示范证明：沼气发酵是解决我国广大农村

能源匮乏问题的一种很好的方法。它占本村农户生活用能的64%，而且提供了丰富的优质有机肥料，使该村用于购肥的经费减少了2/3以上，还为农户发展了养蘑菇、养蚯蚓、养鳝（鱼）、养鸡等养殖业，农户增加了收入。又据作者对华南、华中、华北、东北一些农村办沼气的考察，在华南广东、福建一线可全年发酵，长江中下游，为8~10个月，黄河中下游为6~8个月，辽宁可用气半年。大量事实证明：在农村各种能源中，沼气发酵的覆盖面较大，优点较多，它不但在广大国土上解决了农户约40~80%的生活用能，从而有利植被的保护和恢复良好的生态平衡，而且有利于改良土壤，推动农业的发展。那种因噎废食、停办农村沼气的主张是不可取的，关键仍然是在于改革，改革沼气发酵的工艺与池型，改革推广方法，保证安全和高效。

3、利用太阳能加热沼气池：在我国高纬度地区，如吉林、黑龙江诸省区，暖季短而寒季长，地温常年过冷不适于建地下沼气池，因此发展了几种当地的设计类型。

第一是公用规模，大于100米³的地下沼气池，用玻璃或塑料顶罩笼盖，挖深隔冻沟环绕。在暖季，沼气系统运转供农家用气；在寒季，则利用顶盖土地生产蔬菜。

第二是小型，2~3米³的移动式干发酵池。暖季在向阳避风处建于地上，投料运转供气。在寒季拆除收藏，主要建材是红泥塑料。

第三是钢制或一种高分子化合物成型的厌氧消化罐，约2米³，在暖季安装使用。

所有这几种池都是具有季节性的，利用太阳能加热池子，因地制宜地采用，在吉林、黑龙江1年可用气4~6个月。

4、两步发酵：徐洁泉等完成了猪粪两步发酵的研究，小试时，产酸器的猪粪负荷为9.40克TS/升·天，滞留时间约15天，pH值6.0~6.8。产甲烷瓶挥发酸负荷为2.07克HAC/升·天，滞留时间为1.9天。在环境温度（21~30℃）下，运转78天，平均容积产气率为1.59升/升·天，或1.45 N升/升·天，甲烷含量达到72.8%，原料产气率为154N毫升/克TS，或185N毫升/克VS。1米³产甲烷池中试与生产试验，结果类似。此工艺适用于农牧场。

江苏沼气研究所等单位，还报告了风信子的两步发酵试验。

5、NH₄HCO₃用于沼气发酵：为了解决农民把人畜粪用于农业施肥和沼气原料之间的矛盾，孙国朝、刘克鑫等寻找化肥代替猪粪与秸秆混合进行沼气发酵试验，结果以NH₄HCO₃为最好。方法是取秸秆干重0.3%的NH₄HCO₃溶于适量水中，将略加堆沤的秸秆投入池时，同时泼上NH₄HCO₃溶液。然后加入接种物和水，使料液达到8%TS。这样沼气发酵进行良好，产气率比用猪粪者高出100%。NH₄HCO₃还成功地用于秸秆干发酵，其氮素的97%以上保存在残渣之内。

沼气发酵微生物及其 代谢物的相互关系的研究

近几年来，一些大学和研究所从事沼气发酵的基础研究，取得了一些进展和成果。

中国科学院成都生物研究所与浙江农业大学等单位从沼

气池中分离鉴定了若干厌气纤维分解菌（廖连华，1986）、产氢产酸菌（刘克鑫、徐洁泉等，1980）和产甲烷菌（赵一章，1985、1986；钱则澍，1985、1986；张辉、赵一章，1986）。

赵一章等研究了中国农村沼气池主要微生物种群的垂直分布。发现池深约 $3/4$ 及以下处产甲烷菌和发酵型产氢菌的密度最大，分别达到每毫升 3.3×10^7 和 4.6×10^8 。纤维素分解菌以表层为最多，达到每毫升 7.9×10^3 。经搅拌的池，各层产甲烷菌数比静态高出10倍到100倍。在我国，首次提出使用氢化酶测定技术评价沼气发酵的优劣。本研究还从沼气池中发现7种产甲烷菌（1985）。

马文华则研究了批量发酵期中主要微生物的消长。实验证明，产氢菌增长最快，数量最多，最先在数量上占优势；纤维分解菌、产甲烷菌增长缓慢，数量最少（1984）。

徐洁泉、张录等研究了猪粪两相发酵中的主要微生物种群，发现液相发酵产酸的微生物食物链与常规法相似，但产甲烷菌却为常规法的 10^{-3} ，是产甲烷相的 10^{-4} 。产甲烷相不仅完整地包含了酵解、产氢产乙酸和产甲烷菌群，而且具有比常规法更强的食物链（1985）。

刘克鑫、孙国朝、徐成基等（1978）发现，在沼气池中投入薯蓣粉，大量产生氢气。徐洁泉等（1982）发现其机理为薯蓣中的淀粉含量达到一定的水平（0.5%），则挥发性脂肪酸大量产生，迅速降低pH值，严重抑制产甲烷菌的活性，致使发酵中产出的氢不能利用来还原 CO_2 产生 CH_4 ，而成气态氢产出。料液中淀粉浓度越高，气态氢产出越快越多。