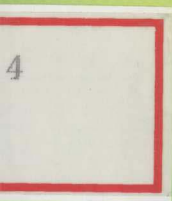


YANGZHICHANG ZHAOQI
GONGCHENG SHIYONG JISHU



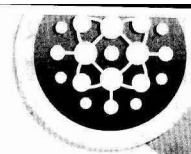
养殖场沼气工程 实用技术

林 聪 周孟津 张榕林 蔺金印 主编



化学工业出版社

YANGZHICHANG ZHAOQI
GONGCHENG SHIYONG JISHU



养殖场沼气工程 实用技术

林 聪 周孟津 张榕林 蔺金印 主编

S716.4
1992



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书详尽阐述了大中型沼气工程——养殖场沼气工程的沼气发酵原理、工艺、工程设计、工程建设、工程施工技术、工程质量验收与运行管理；沼气的净化与储存、输配和利用以及沼气发酵产物的综合利用；附录中还列举了沼气工程必需的各类设计规范和设计标准。本书可以作为环境工程、生态农业、农村能源及相关领域的科技人员和高等院校的师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

养殖场沼气工程实用技术/林聪等主编. —北京: 化学工业出版社, 2010. 3
ISBN 978-7-122-07540-6

I. 养… II. 林… III. 畜禽-养殖场-沼气池-工程技术 IV. S216.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 002736 号

责任编辑: 戴燕红

文字编辑: 陈 雨

责任校对: 陈 静

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{1}{4}$ 字数 328 千字 2010 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

前言

Foreword

近年来,在中央和地方各级政府的高度关注和大力扶持下,农村沼气建设得到了快速发展。到2008年底,全国规模化养殖场沼气工程总数达到39842处,总池容502.5亿立方米,其中大中型沼气工程15957处。通过沼气工程将畜禽粪便及各生产系统产生的有机废弃物转化为沼气能源和有机肥料沼渣沼液,形成以沼气为纽带的生态农业生产模式,符合当今循环经济、低碳经济发展的要求。这对于全方位利用资源,减少环境污染,缓解生活用能紧缺,提高农村的生活质量,改善农业生产条件和建立可持续发展的生态农业具有重要意义。

中国的沼气技术经过多年的探索研究和试点示范,沼气建设从池型设计、建设施工到运行管理逐步成熟,发酵工艺和综合利用技术已处于世界领先水平。同时,将农村沼气技术与农业生产技术紧密结合,形成了以南方“猪—沼—果”、北方“四位一体”和西北“五配套”为代表的农村沼气发展生态模式。同时畜禽养殖场大中型沼气工程建设,形成了规模更大,内容更多,效益更大的两种循环模式,即能源环保模式和能源生态模式,以沼气为纽带的各种生态农业模式均取得了较好的经济效益。因此可以说建设大中型沼气工程,实现畜禽粪便资源化利用,对于改善生态环境质量、促进畜禽养殖业健康发展具有重要意义。

沼气工程主要内容为“一池三建”,即沼气池和预处理建设、沼气净化与利用建设、沼渣沼液综合利用建设。沼气工程是一个有生命的系统工程,沼气工程相关的所有设备与装置的合理配套和技术集成都会影响工程的质量和效益,从沼气工程建设的情况以及运行管理的现状看,近两年工程建设质量提高很快,工艺技术选择优化有了很大的提高,沼气罐标准设备已形成市场,罐体已有80%以上采用了成套设备,目前正在朝着设备的标准化、模块化和自动化发展。沼气工程设备还包括温控系统,压力安全系统,电气控制系统,稳定燃烧系统,流量控制系统,消防系统,沼肥加工系统,沼渣沼液施用系统等,各种设备相互配合,形成完整的沼气工程装备系统,保证工程建设的整体质量。技术的突破为大中型沼气工程建设稳步发展奠定了建设的基础,未来沼气的建设将实现专业化施工、产业化发展。

通过管网输配气为居民提供生活用能是近几年沼气应用发展的趋势,特别是郊区和农村,集中供气改变了农村传统的燃料使用方式,改善了农民的生活质量和生活环境,热能有效利用率高,深受老百姓的欢迎。

我国自产单燃料沼气发电机技术越来越成熟,能源短缺的现实和可再生能源利用技术的完善,使沼气发电已经成为沼气工程中很重要的一部分。

沼肥是很好的有机肥料,已被广泛用作基肥和无土育苗基质,果园和蔬菜大棚有机肥灌溉施用,作为农作物的肥料和杀菌剂喷洒,培育出了茁壮的无病虫害蔬菜秧苗和无公害农产品,并作为固体有机肥进入了市场销售。

畜禽养殖场配套建设沼气工程实现了农村可再生能源技术的推广和综合利用,有效地促进农村科技进步,实现传统农业向现代农业的转变。通过对沼渣、沼液的综合利用,增加了土壤的有机质含量,改善土壤理化性状,提高肥料利用率,减少农业生产对化学肥料的依

赖，提高农产品品质，为农产品的出口创汇奠定了基础，具有很好的生态效益和社会效益。

本书可作为从事沼气工程建设工程技术人员的参考书，也可作为农村能源专业研究生、本科生的辅助教材。

本书的编写过程中，广泛参考了国内外已经发表的有关资料，引用了编者多年的科研成果和工程实践经验。由林聪、周孟津、张榕林、蔺金印主编。王阳、段娜、张晓军、候雨、侯锦参加了编写工作。

由于本书内容涉及面广，虽然注意收集了新的科研成果和内容，但受编者知识水平和实践范围所限，书中难免存在不足和疏漏，敬请读者批评指正。

编者

2010年1月16日

目 录

Contents

第一章 绪论	1
第一节 沼气在我国的发展状况	1
第二节 养殖场沼气工程建设发展	2
第三节 沼气在建立生物质循环体系中的重要作用	4
第四节 养殖场沼气工程技术开发与综合利用	6
第二章 沼气发酵的原理和条件	7
第一节 沼气发酵的原理	7
一、什么是沼气发酵	7
二、沼气发酵过程的产酸阶段	7
三、沼气发酵过程的产甲烷阶段	10
四、产酸菌与产甲烷菌之间的相互关系	13
五、产酸与产甲烷的速度平衡	14
第二节 沼气发酵的条件	15
一、沼气发酵原料	15
二、厌氧活性污泥	20
三、温度	22
四、pH 值与碱度	26
五、负荷	28
六、发酵原料的碳氮比	30
七、搅拌	32
八、毒性物质	33
第三章 沼气发酵的工艺类型	35
第一节 沼气发酵的基本工艺	35
一、以发酵温度划分	35
二、以进料方式划分	36
三、按发酵阶段划分	38
四、按发酵级差划分	40
五、按发酵浓度划分	40
六、以料液流动方式划分	41
第二节 厌氧消化器的分类	41

一、分类依据	42
二、厌氧消化器类别	44
第三节 常规消化器	45
一、常规消化器	45
二、全混合式消化器	45
三、塞流式消化器	46
第四节 污泥滞留型消化池	47
一、厌氧接触工艺	47
二、升流式厌氧污泥床	48
三、膨胀颗粒污泥床	51
四、内循环厌氧反应器	51
五、升流式固体反应器	52
六、折流式反应器	53
第五节 附着型消化池	53
一、厌氧滤器	53
二、流化床和膨胀床	55
第四章 养殖场沼气工程建设	56
第一节 畜禽场粪污的排放量及其特性	56
一、粪便的形成过程	56
二、各种畜禽粪便的特征	56
三、尿的物理特性	57
四、粪的物理特性	57
五、尿的化学特性	58
六、粪的化学特性	59
七、粪便的分解	62
第二节 养殖场沼气工程技术路线选择	64
一、沼气规模工程分类标准	64
二、前处理系统	65
三、厌氧消化器（沼气罐）	65
四、后处理系统	66
第三节 养殖场大中型沼气工程的设计参数	67
一、原料的收集方式和产生量	67
二、发酵温度	67
三、厌氧消化器的水力滞留期	68
四、气压	68
五、产气率	69
六、储气量	69
七、沼气净化	69
八、输配系统的设计	69
第四节 沼气工程常用设备	69

一、常用阀门	69
二、燃气流量计	71
三、污泥泵	77
四、固液分离设备	79
第五章 沼气工程设计	84
第一节 工程设计内容	84
一、明确工程最终目标	84
二、工程设计注意事项	84
三、工程设计内容	84
第二节 沼气发酵消化器设计	85
一、消化器的设计要求	85
二、消化器设计主要考虑内容	85
三、消化器的设计	86
四、消化器的保温设计	87
第三节 沼气工程的结构设计	87
一、荷载种类	88
二、作用在沼气池上的荷载	88
三、荷载组合	91
第四节 池体结构内力分析计算	93
一、削球形池盖内力分析计算	93
二、圆柱形池墙内力分析计算	95
三、池底内力分析计算	96
第五节 截面选择	101
一、预制块砌体矩形截面强度验算	101
二、混凝土与钢筋混凝土矩形截面强度验算	105
第六节 地基承载力计算与基础设计	108
一、地基及承载力计算	108
二、基础设计	110
第七节 其他结构形式的沼气工程	116
一、搪瓷钢板拼装罐	116
二、利浦制罐技术	117
第六章 养殖场沼气工程施工技术	119
第一节 建池材料	119
一、普通黏土砖	119
二、水泥	119
三、普通混凝土	120
四、砌筑砂浆	123
五、钢筋	125
六、密封材料	125

第二节 钢筋混凝土工程施工	125
一、土方工程	126
二、钢筋工程及预埋件安装	129
三、模板工程	129
四、混凝土浇筑	130
五、密封层施工	131
六、储气柜金属钟罩施工	131
第三节 金属罐施工技术	131
一、搪瓷钢板拼装制罐技术	131
二、利浦制罐技术	132
三、利浦罐建造过程	133
四、利浦厌氧罐的底板	133
五、罐体与底板之间的密封设计	133
第四节 沼气池的施工质量控制与安全要求	134
一、工程质量控制	134
二、施工安全要求	137
第七章 养殖场沼气工程质量验收与运行管理	138
第一节 沼气工程的验收	138
一、验收原则	138
二、验收程序	138
三、验收内容	139
四、验收方法和标准	140
第二节 沼气工程的渗漏检查	142
一、沼气池常见的漏水、漏气部位	142
二、造成漏水、漏气的原因	143
三、沼气池的渗漏检查	143
第三节 沼气工程的运行和科学管理	144
一、沼气池运行前的试车	144
二、厌氧消化器的启动	145
三、厌氧消化器的运行管理	146
四、消化器的维修与安全	147
第八章 沼气的净化和储存	149
第一节 沼气的净化	149
一、沼气脱水	149
二、氧化铁沼气脱硫	149
三、生物脱硫	155
第二节 沼气的储存	158
一、低压湿式储气系统	158
二、低压干式储气系统	161
三、高压干式储气系统	162

第九章 沼气的输配和利用	163
第一节 沼气输配技术	163
一、常用管材	163
二、管道的连接	164
三、管路的设计	165
四、钢管的防腐	166
五、沼气管道的布置	167
六、沼气管网的施工	170
七、沼气管网的运行管理	173
第二节 沼气燃烧技术及应用	174
一、沼气的物理特性	174
二、沼气的燃烧特性	176
三、燃烧器及炉具	178
第三节 沼气发电	183
一、沼气发电的特点	183
二、沼气发电系统	183
三、沼气发电机组的操作及故障排除	185
第十章 沼气发酵产物的综合利用	187
第一节 沼气发酵处理粪便的效果	187
一、粪便妥善处理的意义	187
二、粪便处理的卫生指标	188
三、沼气发酵处理粪便的效果	188
四、影响沼气池处理粪便效果的因素	190
第二节 沼肥与作物增产和土壤改良	190
一、沼气发酵残留物的概念	190
二、沼气发酵残留物的营养特性	191
三、沼肥对作物增产的效果	192
四、沼肥对土壤改良的作用	193
第三节 沼肥的利用技术	193
一、沼肥在种植中的利用	193
二、沼肥在养殖中的利用	196
第四节 沼气发酵残留物的其他用途	197
一、从沼肥中提取维生素 B ₁₂	197
二、从沼肥中提取短纤维原料、蛋白质饲料、腐殖酸类物质	198
三、沼肥利用的其他尝试	198
附录 相关设计规范和设计标准	199
参考文献	200

第一章

绪论

沼气是有机物质在厌氧条件下经过多种细菌的发酵作用而最终生成的一种混合气体。它的主要成分是甲烷 (CH_4)，通常占总体积的 50%~70%；其次是二氧化碳，约占总体积的 30%~40%；其余硫化氢、氮、氢和一氧化碳等气体约占总体积的 5% 左右。沼气是一种良好的气体燃料，燃烧时火焰呈蓝色，最高温度可达 1200℃ 左右。沼气中因含有二氧化碳等不可燃气体，其抗爆性能好，辛烷值较高，又是一种良好的动力燃料。

各种有机的生物质，如秸秆、杂草、人畜粪便、垃圾、污水、工业有机废物等都可以作为生产沼气的原料。沼气微生物（产甲烷菌群）广泛存在于自然界里，诸如湖泊和沼泽的底层污泥中，有机物质经沼气微生物的发酵作用而产生出可燃气体，自水中冒出来。所以，人们称它为“沼气”。有些反刍动物的胃里（如牛胃），有时也能有沼气发生。人们有意识地建造的沼气发生器，就叫“沼气池”。沼气池中为保证细菌的厌氧消化过程，就要使厌氧细菌能够旺盛地生长、发育、繁殖和代谢，这些细菌的生命越旺盛，产生的沼气就越多。因此造成良好的厌氧分解条件，为厌氧细菌的生命活动创造适宜的环境是多产沼气的关键。

沼气发酵在自然界中普遍存在，早在 1866 年，勃加姆波 (Bechamp) 首先指出甲烷的形成是一种微生物学的过程。1896 年在英国埃克塞特市，用马粪发酵制取沼气点燃街灯是人类首次开发应用经济型生物能源。1936 年，英国首先在泰晤士河畔的废水工厂中应用厌氧消化技术，并将回收的沼气作为补充能源。1950 年洪格特创造了厌氧技术，以后经过许多科学家的研究，逐步建立起厌氧发酵制取沼气的工艺。第二次世界大战后，欧洲许多国家都大力发展厌氧消化处理废水和污泥的技术。但是，直到 20 世纪 70 年代，随着世界性能源危机和环境污染问题的产生，利用厌氧消化器分解各种有机物来获得能源并资源化利用废弃物的沼气发酵系统才真正引起人们的关注。

第一节 沼气在我国的发展状况

我国沼气事业开始于 1930 年，水压式沼气池早在 20 世纪 30 年代就有研究，目前农村中推广较多的就是这种池型，并且受到国际上的重视，通常把它称为“中国式沼气池”。著名科学家周培源教授于 1936 年在江西省宜兴县建造了水压式沼气池，用以烧饭点灯，随后浙江省诸暨县安华镇和河北省武安县也建了沼气池。

1958 年全国不少省市曾推广过沼气，但因技术不成熟和缺乏经验，没能巩固下来。20 世纪 70 年代，由于农村燃料严重缺乏，又一次重视并大力推进沼气建设，再次掀起了沼气建设高潮。农村沼气从 1970 年的 6000 户发展到 1980 年的 723 万户。但由于技术不成熟，没有专业施工队，多数沼气池质量问题突出，只能使用 1~3 年。出现了边建设边报废，到 20 世纪 80 年代中期，土法上马的沼气池基本上全部报废。

我国大中型畜禽场沼气工程的发展始于 20 世纪 70 年代末期,整个发展过程与我国养殖业的发展规模和集约化程度密切相关,也与整个社会对环境保护的关注程度有关。70 年代末期到 80 年代中期。在这一阶段所发展的畜禽场沼气工程主要是为了得到沼气能源,以缓解当时农村地区能源供应的严重不足。由于当时的大中型养殖场还不普遍,早期的工程所用发酵原料除了粪便外,一部分工程还用作物秸秆作为原料,采用常温发酵,池容产气率只有 $0.2\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 左右,发酵液不再处理,直接作为肥料。从 80 年代中期到 90 年代初期。这一时期针对养殖场沼气工程存在的问题,开展了发酵工艺、建池技术、配套设备等多方面的研究,引进了一些国外的先进技术,加强了培训和管理,使沼气工程的技术水平大大提高。从 90 年代初开始,大中型养殖场沼气工程的建设重视强调工程的环境效益并通过开展综合利用来增加工程的经济效益,把沼气工程作为一个有多种作用的系统工程进行设计和管理,通过高质量的设计、建造和优质配套设备来实现沼气工程的综合效益。研究开发了多种新型高效发酵工艺,使厌氧消化器的处理能力提高 2~10 倍、产气率提高 1~3 倍、COD 去除率提高 10~20 个百分点。这些装置的出现与成功应用,不仅标志着我国沼气工程技术水平的提高;同时也为畜禽场沼气工程进一步推广应用和商业化奠定了坚实的基础。

在我国,沼气的研究是与废弃物资源化处理、沼气发酵产物综合利用和生态环境保护等农业生产活动密切相关的。形成了以南方“猪-沼-果”、北方“四位一体”和西北“五配套”(在猪-沼-果的基础上增加太阳能暖圈和暖棚)为代表的农村沼气发展模式。从“八五”期间平均每年新增 36 万户,“九五”期间平均每年新增 75 万户,到 2000 年底全国已有农村用沼气池 980 万户,其中,55%的沼气池开展了综合利用。同时畜禽养殖场大中型沼气工程建设开始起步,先后建设了一批示范工程。截至到 2004 年底,全国已推广农村户用沼气池 1450 万户,大中型沼气工程 1960 处。

目前,沼气技术的目标已从“能源回收”转移到“环境保护”,沼气的利用不仅仅局限于点灯做饭,已经发展到乡村集中供气和沼气发电,并且开展了沼渣沼液的综合利用,形成了以沼气为纽带的农村可再生能源技术的推广和综合利用,有效地促进农村科技进步,引导农民改变传统的生活和生产方式,提高了农民生活质量。在国家各部委的领导和支持下,已经建立了省级和国家级的沼气专业化组织,形成了农村能源建设技术管理与服务体系,进行了沼气技术、管理和维护人员培训,为沼气事业的发展提供了保障。

农村沼气建设受到了党中央、国务院和各级地方党委、政府的高度重视,社会各界人士、广大农民把农村沼气建设项目盛赞为建立资源节约型社会的能源工程,实现农业可持续发展的生态工程,增加农民收入的富民工程,改善农村生产生活条件的清洁工程,为农民办实事办好事的民心工程。

第二节 养殖场沼气工程建设发展

建设大中型沼气工程,实现畜禽粪便资源化利用,对于改善生态环境质量、促进畜禽养殖业健康发展具有重要意义。

据相关资料测算,目前我国畜禽粪未经处理排放所造成的环境污染,已经远远超过了工业生产和城镇生活污水的污染量,粪便中 COD(化学需氧量)的含量是全国工业和生活污水总排放 COD(化学需氧量)的 7 倍,已经大大超过了 2002 年的总排量。尤其是大中型规模化养殖场产生的粪便量大而集中,如果不进行有效的处理和利用,不仅污染环境,而且成为农村面源污染的主要原因,因此养殖场沼气工程建设已经成为解决农村能源和环境保护的重要手段。

1970年在能源危机时期,德国开始研究沼气并在FAL建设了第一座沼气工程。但是随着能源危机的消除,在1980~1990年,德国研究和推广沼气的主要侧重点是环境保护。1990年以后,尤其是进入21世纪,德国和整个欧洲对沼气的兴趣又更加强烈地凝聚到能源方面。从能源利用的角度发展沼气工程,以有机废弃物和能源作物为发酵原料,沼气工程的副产物作为农田的优质肥料。截至到2003年,全德国94%的沼气工程采用多种原料联合消化工艺,以提高系统的产气效率和系统工作的稳定性。截至到2008年,德国共建成了3900座沼气厂,总装机容量为1400MW,装机容量在2MW的有40个沼气厂,最小装机容量为50kW,有470个沼气公司从事沼气工程的设计、建造和设备供应。2000年德国可再生能源法开始实施,当时全德国仅有139个沼气工程,2004年对可再生能源法进行了修订,通过示范工程建设,沼气厂建设快速增加,2000年已建成1050个沼气工程,截至2008年建成3900个沼气工程遍及整个德国,几乎所有的沼气工程都实现了机械化、自动化。德国的沼气工程在设计、建设和运行方面世界领先,沼气生产,沼渣、沼液利用一条龙,自动化程度高。目前,可再生能源已占德国整个能源消费的8.6%。

美国的沼气研究与应用来源于20世纪上半叶的能源压力,但是几乎没有进入应用阶段就通过实验室研究走上了基础研究的道路,进行了厌氧菌的基因排序,发现了沼液中存在特殊的酶等。进入21世纪,美国又一次提出了开发生物能源的课题,将其提高到保障美国能源安全、利用购买外国石油的资金在美国当地创造更多就业机会等的高度,沼气作为一种能源越来越受到国会的重视。

在欧美发达国家,从政策法规上规定根据养殖项目的养分排泄量(主要是氮和磷)、当地的环境容量以及利用养分的配套设施来核准养殖规模,养殖业与种植业配套良好,即一定规模的养殖场必须配套相应数量的农田,养殖场的粪污经无害化处理后施用于农田。以德国为例,由于政府非常重视环保和资源的再利用,在粪污的资源化利用方面有相应的政策支持和经济支持,农户的积极性高,很多养殖场都建有沼气工程,生产的沼气用于发电,电力上网。实现了环境效益、社会效益、经济效益和资源循环利用的统一。

利用有机废弃物产生沼气已经成为一种国际趋势。英国有45座大型沼气工程,沼气发酵完全可以实现:①农场废弃物处理;②可再生能源生产;③营养成分利用;④土壤改良等。2000年前后,瑞典在两年内建造了5座大型沼气发酵装置,前期每年处理2.6万~8万吨农业废弃物,发酵后料液作为土壤肥料。在丹麦,2000年之前已经建造了19座集中沼气场和18座农场沼气装置,每年处理农业废弃物在1万~16万吨之间。这些工程基本为中温或高温发酵,产气率高,沼气发电上网,有明显的经济效益和社会效益。国外大多数规模化畜禽场的粪污处理是以厌氧消化法为主,自动化程度高,工程运行稳定。

采用厌氧发酵系统处理畜禽粪便是一种经济可行的处理方式。我国养殖场大中型沼气工程应用较多的是USR工艺、CSTR工艺、UASB工艺和HCF工艺,几乎所有的厌氧发酵工艺在中国都有工程应用。大多数沼气工程采用中温发酵和近中温发酵,并配有预热和加热循环装置以保证厌氧消化过程的温度稳定,所产沼气用于沼气发电和集中供气,部分企业沼气自用。目前常用的升流式固体反应器(USR),具有构造简单,能耗低,运行稳定可靠,管理方便等优点,已得到大家的共识。厌氧生物技术以其处理效果好,及其附加产品——沼气可解决部分能源问题,厌氧发酵后的沼渣、沼液被用于大田、果树和蔬菜等生产中的肥料而得到很好的应用,其综合利用已取得一定的经济效益,成为生态农业中的一个重要部分,被应用于养殖场粪污水处理工程中。

厌氧生物技术以其处理高浓度有机废水的优势得到一定的应用,目前我国以养殖场粪污

水处理为主的沼气工程已形成了两种模式：一是能源环保模式，其特点是畜禽废水在经厌氧消化处理后，必须再经过适当的好氧处理，如曝气、物化处理等，使其达到国家规定的相关环保排放标准；二是能源生态模式，其特点是畜禽废水在经厌氧消化处理后，排灌到农田、鱼塘或水生植物塘，经过多层次的资源化利用，既为无公害农产品生产提供充足的肥源，又实现了粪污的“零排放”。

沼气的发展已经开始注重集中供气系统的建设，利用增压和减压调节装置，通过输送管道将沼气配送到农户，形成了供气管网，并向农民供应沼气，农户平均每天使用沼气为 $0.8\sim 1.0\text{m}^3$ ，解决生活燃料问题，彻底改变了以往农村的能源结构和使用方式，改善了生活习惯和条件。

我国自产单燃料沼气发电机技术越来越成熟，使沼气发电成为沼气利用中的很重要的一部分。

养殖场沼气工程除了主要产品沼气之外，还有两种副产品——沼渣和沼液。沼渣、沼液中富含有机氮、钾等营养成分，是一种优质高效的有机肥料，能促进土壤结构改良，改善微观农业生态环境。沼肥与同数量的粪尿类肥料相比，全氮、全磷、全钾分别提高了1.65%、0.3%、1.61%，有利于保持生态平衡和改良土壤。由于使用沼渣、沼液，可大大改善土壤的颗粒结构，从而增加了土壤的肥力，增加农作物的产量，提高农作物的产品质量。

综上所述，通过养殖场沼气工程的建设把可再生能源和高效生态农业技术结合起来，基本解决了城镇农村居民炊事等能源供应，改善了农业生产、农民生活条件，促进农业结构调整和农民增收节支，巩固生态环境建设成果，深受群众欢迎。社会各界人士、广大城镇农村居民把沼气工程建设项目盛赞为建设资源节约型社会的能源工程，建设环境友好型社会的生态工程，增加农民收入的富民工程，改善农村生产生活条件的清洁工程，为农民办实事办好事的民心工程。各级政府把农村沼气建设作为社会主义新农村建设的“抓手”和有效的切入点，作为缓解我国资源环境压力、建设节约型社会的现实途径。

第三节 沼气在建立生物质循环体系中的重要作用

大农业的本质就是生态农业中物质和能量的转化过程。人的作用就是根据一定的自然规律，采取适当的技术措施，加速、加大植物、动物生产过程中量和质的循环，而不是削弱或者破坏这种循环，这就是生态平衡的观点，只有这样，自然环境才不会受到破坏，自然资源才能得到合理的利用，社会、经济效益才会显著。沼气工程的建设形成了一种纽带，将养殖业和种植业，环境保护和资源利用联系起来，合理地、有效地利用农业生产环节的各种能流与物流转换，保持生态系统的收支平衡。以沼气为纽带的把种植业和养殖业连接起来的农业良性循环的体系如图1-1所示。

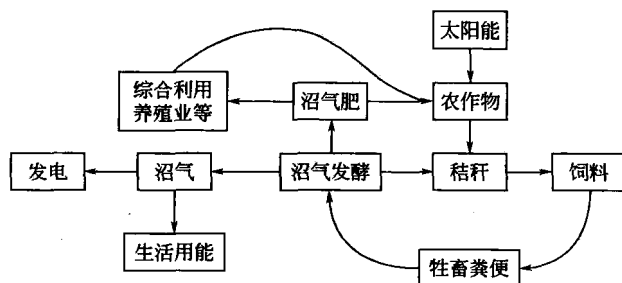


图 1-1 生物质的循环体系

在人类没有用人工制取沼气以前,对自然界生物质的利用只是单一利用其能源或其肥效,如农作物的秸秆,作为生活燃料,只利用了它的能量(热量),未利用其肥效;如作物秸秆,沤肥或堆肥或直接还田,只利用了它的肥效,而损失了它的能量(热量),两者都不能有效地、合理地利用其生物质。当人类用科学的技术人工制取沼气,先将生物质作为人类食物和牲畜饲料,而后人畜排泄物和作物秸秆等一起投入沼气发酵池,进行厌氧发酵,就可以得到能量和肥效,并能进一步发挥其综合利用,即生态农业模式。就能使生物质能多次合理利用,因此沼气发酵是生物质最有效的转换方式。就能形成以沼气为纽带的种植业和养殖业连接在一起的生态农业的良性循环体系。

生态农业是把农业生产、农村经济发展和生态环境治理与保护、资源培育和高效利用融为一体的新型农业综合技术体系。进入新世纪,农业生产已从单纯注重经济目标向“生产、生态、生活”协调发展的多元化目标转变,农业的多功能性日渐显现,发展生态农业,是实践科学发展观的重要内容。

以处理畜禽粪污、秸秆和各种农业废弃物为主的沼气发酵生态农业模式为我国农业生产中出现的种种问题找到了有力的结合点,得到了比较广泛的推广。建设农村沼气,对增加优质能源供应、缓解国家能源压力具有重大的现实意义。农村沼气建设的直接产品是沼气,沼气是可再生能源,既可替代秸秆、薪柴等传统生物质能源,也可替代煤炭、天然气、液化石油气等化石能源,而且能效明显高于秸秆、薪柴、煤炭等。建设一个户用沼气(池容 8m^3),年均产沼气 385m^3 ,可解决3~5口之家一年80%的生活燃料,相当于替代 0.8t 标准煤。一个年出栏1万头育肥猪场的沼气工程,年可处理鲜粪 3600t 左右,年处理污水17万多吨,产沼气约29万立方米,相当于每年可替代 600t 标准煤。如果1.46亿适宜沼气农户全部建设农村沼气,相当于替代1.17亿吨左右标准煤。

沼气发酵残留物有沼渣和沼液,也称沼肥。沼肥的成分复杂,因原料种类、配比和发酵条件的不同而有所差异。目前经专家研究,已经确认沼肥的营养物质含量较高,除含有N、P、K等常量元素外,还含有多种微量元素、水解酶、氨基酸、有机酸、腐殖酸、生长素、赤霉素、B族维生素、细胞分裂素及某些抗生素等生物活性物质。沼液的速效营养能力强,养分可利用率高,是一种速缓兼备的有机复合肥,主要用于浸种、叶面喷施、果园滴灌、水培蔬菜等。畜禽粪便等有机废弃物经沼气池厌氧发酵后,所产生的沼气、沼渣、沼液按食物链关系,作为下一级生产活动的原料、肥料、饲料、添加剂和能源等的系列化再生利用,沼气综合利用是生态农业主要有效模式的具体运用,是生态农业建设的主要内容,特别是沼肥的科学施用已成为沼气利用的研究重点。

我国农业资源和环境的承载力十分有限,发展农业和农村经济,不能以消耗农业资源、牺牲农业环境为代价。农村沼气将畜牧业发展与种植业发展联系起来,上联养殖业,下承种植业,促进了物质高效转化和能量高效循环,推进了农业种养一体化,以农村沼气建设为纽带,形成了“种植业(饲料)—养殖业(粪便)—沼气池—种植业(优质农产品、饲料)—养殖业”循环发展的农业循环经济基本模式。

目前,世界经济正朝着可持续发展、循环型经济和可再生能源的方向发展。沼气技术在实现废弃物资源循环利用,改善农村能源、环境、卫生条件和有利于温室气体减排方面起到了很大的作用,特别是沼气的综合利用在生态农业建设和实践中取得了丰硕成果。而沼气发酵处理畜禽粪污的卫生效果和缓解能源危机的潜力,正在成为许多国家应用和推广沼气技术的重要动因。

第四节 养殖场沼气工程技术开发与综合利用

来自植物、动物和人类的有机废物常常被当做是一种公害。而正是这样的废物中却潜含着相当大的能量,通过利用沼气技术在提供清洁能源的同时,还可改善环境卫生状况,缓解我国能源与环境压力、实现建设节约型社会的目的。

随着我国畜牧业的快速发展,畜禽养殖特别是规模化畜禽养殖产生的粪便已经成为我国农村环境污染的重要来源。在一些地区,畜禽养殖业污染物排放已超过居民生活、乡镇工业和餐饮业的污染物排放,成为水体污染和富营养化的重要原因之一。建设社会主义新农村迫切需要整治人畜粪便和秸秆对农村环境面貌造成的污染。在我国公共财力短期内无力大规模改善农村公共基础设施的状况下,发展农村沼气可有效地改善农村公共卫生脏、乱、差的现状,是一条成本低、见效快、技术成熟、综合效益明显、农民欢迎的改善农村生产生活条件和公共卫生条件、整治村容村貌的捷径,是目前最经济、最有效、最便捷的方式。不仅促进了农民传统生活方式的改变,而且使广大农民走向清洁、卫生、健康的生活之路。

养殖场沼气工程建设是解决规模化、集约化畜禽养殖业环境污染又一技术手段,随着沼气工程技术研究的深入和工艺流程较广泛的推广应用,近年来已逐步总结出一套比较完善的工艺流程,内容包括:粪污的前处理系统、厌氧消化系统、好氧水处理系统、沼气净化系统、沼气输配系统、沼气利用系统、有机肥料生产系统和沼肥综合利用系统。提出以“一池三建”为核心的主体工程建设,完善工程建设标准化、成套化、系列化、配套化的功能,一些新技术、新工艺、新材料、新设备不断被开发出来推向市场。国内一些沼气工程公司开始对欧洲技术进行引进和二次开发,并在国内开始建立大中型示范工程,中国政府对沼气工程每年也投入大量的资金扶持,各级地方政府也纷纷出台政策响应和资金支持,养殖企业建设沼气工程的积极性很高,中国的养殖场大型沼气工程建设具有很好的市场推广前景。

总之,近年来,我国养殖场沼气工程建设力度加大,技术成熟,发展速度较快,通过发展养殖场沼气工程,解决了畜禽粪便所造成的环境污染,为农民提供清洁能源——沼气,又提供了农业生产的有机肥料——沼肥,也有效地降低农药、化肥等农业投入品的施用量,减少了农业面源污染,提高耕地的有机质含量,促进生态农业、有机农业发展,大大提高农产品质量,节本增效。这种循环发展模式,根本上改变了规模化养殖所带来的环境污染,很好地利用了资源,有效地节约了能、水、肥、药等重要农业生产资源,是发展循环经济、建立节约型社会的有效途径。

第二章

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，只有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 2-1 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。

二、沼气发酵过程的产酸阶段

在沼气发酵过程中，五群细菌构成一条食链，从各群细菌的生理代谢产物或它们的活动对发酵液 pH 值的影响来看，可分为产酸阶段与产甲烷阶段。前三群菌的活动可使有机物形成各种有机酸。现分别加以叙述。

(一) 发酵性细菌

用做沼气发酵原料的有机物种类繁多，如禽畜粪便、作物秸秆、食品加工废物和废水以及酒精废醪等，其主要化学成分为多糖、蛋白质和脂类。其中多糖类物质又是发酵原料的主要成分，它包括淀粉、纤维素、半纤维素、果胶质等。这些复杂有机物大多数在水中不能溶

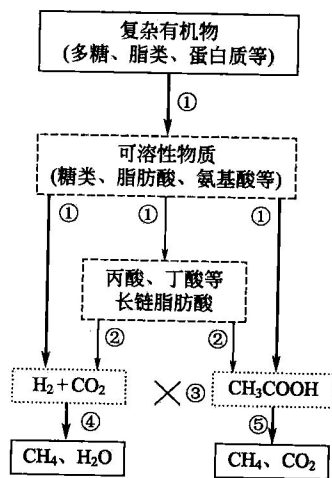


图 2-1 沼气发酵过程中五群细菌的作用及碳素转化
粗线所示为主要过程