

齐岳 主编 高援朝 等审

沼气工程 建设手册

ZHAOQI GONGCHENG
JIAN SHE SHOU CE



化学工业出版社

沼气工程建设手册

	齐 岳	主 编
韩 芳	宋成军	副主编
	高援朝	等 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是作者多年从事沼气工程技术与推广应用工作的成果总结,并结合国内外沼气技术的最新进展编写而成。本书以沼气生态农业模式为核心,阐述了以厌氧发酵技术为纽带的沼气工程原理及其应用技术,系统介绍了沼气技术在国内外的发展历程和现状,沼气发酵工艺、沼气发酵装置与技术基础,户用沼气池与大中型沼气工程的设计、施工、设备及运行管理,发酵剩余物的综合利用技术,以及我国户用沼气工程和大中型沼气工程典型实例等内容。具有较强的技术性和实用性,为有效建立资源节约型社会、发展农业循环经济、实现农业可持续发展、增加农民收入及改善农村生产生活条件等提供可参照的工程技术模式。

本书适用于广大农村可再生能源领域的工程技术人员,从事现代农业建设和社会主义新农村建设的组织管理人员和广大基层沼气建设工作者,可作为农业工程、生态农业、可再生能源工程和农业环境工程等领域科技工作者的参考资料,亦可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

沼气工程建设手册/齐岳主编. —北京:化学工业出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-122-15682-2

I. ①沼… II. ①齐… III. ①沼气工程-手册
IV. ①S216.4-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第250184号

责任编辑:袁海燕
责任校对:顾淑云

文字编辑:吴开亮
装帧设计:刘丽华

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:三河市延风印装厂
850mm×1168mm 1/32 印张10 字数280千字
2013年1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:36.00元

版权所有 违者必究

《沼气工程建设手册》编写人员

主 编 齐 岳

副 主 编 韩 芳 宋成军

编写人员 由小卉 陈 鹏 宋立秋 王 骥 张 强

审 稿 高援朝 屠云璋

前 言

目前，全球普遍存在的农村工业化所造成的环境污染以及城市化进程加速带来的环境变化和气候变化等，已经成为国际热点，同时也提上了中国政府的议事日程。在这样的环境下，沼气工程技术就变得越来越重要，因为它有助于在未来低碳社会中实现循环经济、环境保护、减排温室气体和生产可再生能源等目标。农村沼气工程建设把可再生能源技术与高效生态农业技术结合起来，对解决农户炊事用能、改善农民生产、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有重要意义。

沼气技术已经成为我国生态农业发展和新农村建设的重要技术支撑之一，本书全面系统地介绍了农业生态工程中的户用沼气技术和大中型沼气技术。内容主要包括国内外大中型沼气工程发展现状、大中型沼气工程的设计原则、工艺流程、发酵原理、前处理技术、厌氧处理技术及消化器，以及沼气的净化、储存、输配、发电和安全使用，发酵剩余物的综合利用，沼气工程的施工与验收、核心设备及安装、沼气工程的维护运行及实例分析。最后，深入浅出地介绍了户用沼气工程的选址、设计、施工、质量控制与检修、启动与运行、故障与排除，以及典型模式与实例剖析，充分反映了沼气技术在我国农业生态工程中的研究成果和实践经验。未来沼气工程的建设将向产业化、标准化、模块化、集成化方向发展。

本书在编写过程中，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，得到了中国农村能源行业协会、农业部规划设计研究院有关专家的指导和帮助，谨此一并表示衷心的感谢。

本书内容涉及面广、编者虽然收集了新的科研成果和内容，但受到学术水平和实践经验所限，书中还可能不足及疏漏之处，敬请读者提出宝贵意见，以使本书日臻完善

编 者
2012 年 12 月

目 录

第一章 沼气工程设计原则	1
第一节 沼气工程概述	1
一、沼气的定义、组成和分类	1
二、沼气的主要成分和特性	2
三、中国大中型沼气工程的发展现状	4
四、国外沼气工程发展现状	7
第二节 沼气工程相关政策、法规和标准	17
一、发展农村沼气的有关政策规定	17
二、发展农村沼气的相关法规	18
三、沼气设计有关标准、规范	18
第三节 沼气工程设计原则	19
一、沼气工程总体设计原则	19
二、沼气工程选址	20
三、沼气工程总体布置	20
第四节 沼气工程的基本工艺流程	22
一、工艺设计	22
二、典型工艺方案的介绍	22
第二章 厌氧发酵原理	25
第一节 厌氧发酵的原理	25
一、厌氧发酵的原理	25
二、厌氧发酵过程的产酸阶段	25
三、厌氧发酵过程的产甲烷阶段	26
第二节 厌氧发酵的影响因素	28
一、温度	28
二、pH 值	29
三、有毒和抑制性基质	30
四、营养物质	31
五、搅拌	32
六、碱度	33
七、负荷	36
第三节 不同原料的特性及产气量	39
一、原料特性指标	39
二、不同原料的产气量	45
三、污染物排放设计依据	46
第三章 前处理技术	49
第一节 格栅	49
一、格栅分类	50
二、格栅的设计	53
三、机械格栅	56

第二节 破碎	56	第四节 沉砂	61
第三节 粉碎	58	一、平流沉砂池的构造	61
一、一次粉碎工艺流程	59	二、平流沉砂池的设计	61
二、二次粉碎工艺	59		
第四章 厌氧处理技术	67		
第一节 全混合厌氧消 化器	67	化器	77
一、原理和特点	67	第三节 升流式厌氧污 泥床	79
二、构造	69	一、升流式厌氧污泥床 (UASB) 的特点	79
三、设备与装置	70	二、三相分离器	80
四、设计计算	71		
第二节 卧式推流厌氧消 化器	77		
第五章 沼气利用技术	87		
第一节 沼气净化技术	87	五、管道的试压和吹扫	119
一、沼气脱水的原理和 设备	87	六、沼气灶具	121
二、沼气脱硫的原理和 设备	89	第四节 沼气发电	123
第二节 沼气储存	97	一、沼气发电机的分类	123
一、储气装置的容积及其 位置的确定	97	二、沼气发电的特点	125
二、储气柜的分类	99	三、沼气发电系统	126
第三节 沼气输配与使用	108	四、沼气发电机组的 设计	130
一、沼气管道的布置	108	第五节 沼气使用安全	132
二、沼气输配管网的 计算	112	一、沼气中的有害组分	132
三、常用管材	115	二、防止中毒的发生	134
四、管道的连接	117	三、防止燃气着火和 爆炸	136
		四、对中毒者的急救 方法	136
第六章 发酵产物综合利用	137		
第一节 沼气的综合利用	137	二、沼气保鲜柑橘	139
一、沼气在塑料大棚蔬菜 生产中的应用	137	三、沼气储粮	141
		第二节 沼渣、沼液的出肥	

方式和利用技术	144	应用	147
一、沼渣和沼液混合		三、沼液在养殖业中的	
出料	144	应用	156
二、沼液单独出料	144	第四节 沼渣的利用	157
三、沼渣单独出料	145	一、沼渣作肥料	158
四、用沼渣制腐殖磷肥	145	二、沼渣在种植中的	
第三节 沼液的综合利用	146	应用	160
一、沼液的养分	147	三、沼渣在养殖中的	
二、沼液在种植业中的		应用	162
第七章 沼气工程的施工与验收	166		
第一节 测量	166	二、施工技术要点	187
一、测量准备	166	三、配电箱安装	190
二、高程测量	167	四、电缆敷设	191
第二节 土建施工	168	五、标志牌	191
一、土方开挖	168	六、管内穿线工程	191
二、钢筋工程	168	七、器具安装	192
三、模板工程	170	八、接地工程	192
四、混凝土工程	173	九、电气调试	193
五、砌体工程	176	第五节 设备安装	194
六、屋面工程	176	一、设备基础的验收	194
七、门窗工程	177	二、设备安装	195
八、抹灰工程	178	第六节 工程保证质量体系	
九、内墙饰面	180	及保证质量措施	196
第三节 管道系统安装	180	一、质量保证体系	196
一、管道安装工艺流程	180	二、质量保证技术措施	197
二、管道安装	183	第七节 沼气工程的验收	201
三、管道安装技术措施	186	一、验收程序	202
四、阀门、阀件及压力表		二、验收内容	203
温度计的安装	186	三、验收方法和标准	205
第四节 电气系统安装	186	四、沼气工程的渗漏	
一、施工工艺概述	186	检查	208
第八章 沼气工程常用设备	211		
第一节 厌氧发酵罐	211	一、罐体结构	211

二、罐体附属设备	213
第二节 泵	214
一、泵的选择	215
二、离心式泵	215
三、轴流式泵	217
四、螺杆泵	219
五、开式、半开式叶 轮泵	223
六、旋流式无堵塞泵	223
七、单（双）流道无堵 塞泵	223
八、螺旋离心泵	224
九、切割式离心泵	224
第三节 常用阀门	224
一、阀门的种类	224
二、安装阀门时应注意的 问题	227
三、常见故障及维修 方法	228
第四节 搅拌设备	228
一、预处理搅拌设备	229
二、厌氧发酵搅拌设备	230
第五节 燃气流量计	231
一、膜式表	232
二、罗茨表（或称腰轮流	

量计）	235
三、涡轮气体流量计	237
四、涡街流量计	239
第六节 固液分离设备	241
一、螺旋挤压式固液分 离机	241
二、LW-400 卧式螺旋沉降 离心机	242
三、带式过滤机	244
第七节 调压设备	247
一、工作原理	247
二、调压器的种类	248
三、调压器的选择	248
四、调压箱（柜）的 安装	248
第八节 沼气压缩机	250
一、活塞式压缩机的工作 原理	250
二、活塞式压缩机的 组成	250
三、活塞压缩机的特点	251
第九节 阻火器	251
一、湿式阻火器	252
二、干式阻火器	252

第九章 沼气工程运行管理	253
第一节 沼气工程的启动	253
一、沼气池运行前的 试车	253
二、沼气池启动	253
第二节 沼气工程的运行及 管理	257
一、沼气管网的运行 管理	257
二、厌氧消化器的运 行管理	259
三、储气柜的运行和 维护	261
第三节 沼气站的安全 防护	262
一、密闭空间作业安全 管理	262

二、施工用火管理	263	四、维护保养	266
三、工程运行管理	265	五、安全操作	267
第十章 工程实例	269		
第一节 北郎中村沼气工程	269	三、项目建设主要经验与启示	274
一、项目介绍	269	第三节 杭州正兴牧业有限公司沼气工程	275
二、技术方案	269	一、地理位置	275
三、工艺流程单体设计	271	二、饲养规模	275
第二节 黑龙江省农垦总局海林农场沼气工程	272	三、污染物排放量及水质	275
一、海林农场沼气集中供气工程基本情况	272	四、废水处理工艺流程	276
二、海林农场沼气工程效益分析	273	五、综合利用工程	276
		六、效益分析	278
第十一章 户用沼气工程设计与管理	281		
第一节 农村户用沼气池选址与设计	281	一、户用沼气池的启动	289
一、农村户用沼气池选址	281	二、户用沼气池的科学管理	291
二、农村户用沼气池设计	281	三、户用沼气池的安全运行	292
第二节 农村户用沼气池施工	283	四、安全检修	294
一、建池材料	283	第五节 农村户用沼气池故障与排除	295
二、备料	287	一、裂缝的处理	295
三、池体施工	287	二、抹灰层翘或剥落现象的处理	295
四、密封层施工	288	三、渗水的处理	295
第三节 沼气池施工质量检修	288	四、导气管与混凝土交接处漏气的处理	295
一、目测检验	288	五、池下沉拉开的处理	296
二、气密性检验	288	六、进料管中间部位漏水的处理	296
第四节 农村户用沼气池启动与运行	289	七、漏气地方不明显	

的处理	296
八、沼气池的整体处理 ...	296
第六节 不同的沼气技术	
模式	296
一、南方“猪-沼-果”能源	

生态模式	296
二、北方“四位一体”能源	
生态模式	297
三、西北“五配套”能源生	
态模式	298

参考文献	300
------------	-----

第一章 沼气工程设计原则

第一节 沼气工程概述

一、沼气的定义、组成和分类

沼气工程是以农业废弃物和有机垃圾的厌氧消化为主要技术环节，集污水处理、沼气生产、资源化利用为一体的系统工程。沼气工程一般由原料收集系统、预处理系统、厌氧消化系统、出料的后处理系统和沼气净化、储存、利用系统五部分组成（图 1-1）。沼气工程一般以畜禽粪便和有机垃圾为原料。规模化养殖场的粪尿排泄物及废水中含有的大量氮、磷、悬浮物及致病菌，污染物数量大而且集中，尤其以水质污染和恶臭对环境造成的污染最为严重，一般采用中温厌氧发酵。大中型沼气工程是指沼气池单体容积在 50m^3 以上，或总体沼气池容积在 100m^3 以上，日产沼气在 50m^3 以上的，具有原料预处理，沼气、沼渣、沼液综合利用配套系统的系统工程。

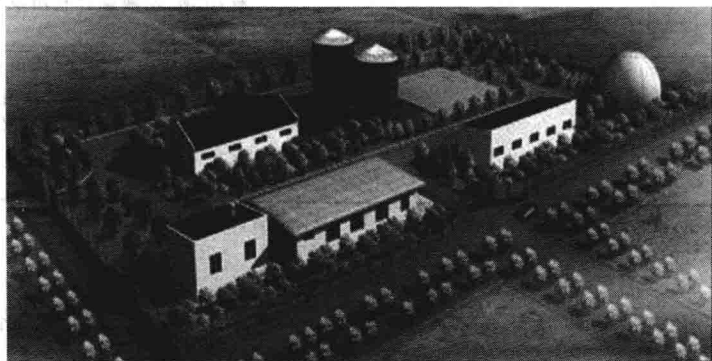


图 1-1 沼气工程全景

我国 NY/T 667—2003《沼气工程规模分类》标准根据沼气的单体装置容积、总体装置容积、日产沼气和配套系统的配置

四个指标将沼气工程的规模分为大型、中型和小型（表 1-1），其中单体装置容积和配套系统的配置为必要指标，总体装置容积和日产沼气量为择用指标。确定规模时要根据两个必要指标和一个择用指标确定沼气工程的规模。

表 1-1 沼气工程规模分类指标

工程规模	日产沼气量 /(m^3/d)	单体容积 V_1 / m^3	总体容积 V_2 / m^3	配套系统
特大型	$Q \geq 5000$	$V_1 \geq 2500$	$V_2 \geq 5000$	发酵原料完整的预处理系统；进出料系统；增温保温；搅拌系统；沼气净化、储存、输配和利用系统；计量设备；安全保护系统；监控系统；沼渣、沼液综合利用或后处理系统
大型	$5000 > Q \geq 500$	$2500 > V_1 \geq 500$	$5000 > V_2 \geq 500$	发酵原料完整的预处理系统；进出料系统；增温保温；搅拌系统；沼气净化、储存、输配和利用系统；计量设备；安全保护系统；沼渣、沼液、综合利用或后处理系统
中型	$500 > Q \geq 150$	$500 > V_1 \geq 300$	$1000 > V_2 \geq 300$	发酵原料的预处理系统；进出料系统；增温保温；回流、搅拌系统；沼气的净化、储存、输配和利用系统；计量设备；安全保护系统；沼渣、沼液综合利用或后处理系统
小型	$150 > Q \geq 5$	$300 > V_1 \geq 20$	$600 > V_2 \geq 20$	发酵原料的计量、进出料系统；增温保温；沼气的净化、储存、输配和利用系统；计量设备；安全保护系统；沼渣、沼液的综合利用系统

注：沼气产量是指在发酵温度大于 25°C 时总体装置的沼气产量。

二、沼气的主要成分和特性

沼气是一种混合气体，除主要成分甲烷（ CH_4 ）外，还含有二氧化碳（ CO_2 ）、硫化氢（ H_2S ）、一氧化碳（ CO ）等气体，有时还含有高级烃类化合物（ C_mH_n ）。沼气的成分随发酵原料、发酵条件和工艺流程的不同而不同。通常情况下，甲烷含量为 $50\% \sim 70\%$ ，二氧化碳含量为 $25\% \sim 40\%$ ，其他气体含量较低。

甲烷是沼气中的主要燃烧成分，影响着沼气的特性。甲烷的分子式为 CH_4 ，属于最简单的有机化合物，分子量为 16.04。甲烷是没有颜色、没有气味的可燃性气体，沸点为 -161.5°C ，比空气轻，极难溶于水。甲烷和空气按一定比例混合，遇火花会发生爆炸。甲烷的化学性质相当稳定，一般不跟强酸、强碱或强氧化剂（如 KMnO_4 ）等起反应，但在适当条件下会发生氧化、热解及卤代等反应。甲烷的主要特性见表 1-2。甲烷在自然界分布很广，是天然气、沼气、坑气及煤气的主要成分之一。它可用作燃料及制造氢气、一氧化碳、炭黑、乙炔、氢氰酸及甲醛等物质。

表 1-2 甲烷的基本特性

特 性	数 值	特 性	数 值
熔点/ $^\circ\text{C}$	-182.5	临界温度/ $^\circ\text{C}$	-82.6
沸点/ $^\circ\text{C}$	-161.5	临界压力/MPa	4.59
相对密度	0.42(-164 $^\circ\text{C}$)	闪点/ $^\circ\text{C}$	-188
相对蒸气密度	0.55	引燃温度/ $^\circ\text{C}$	538
饱和蒸气压/kPa	53.32(-168.8 $^\circ\text{C}$)	爆炸上限/%(体积分数)	15
燃烧热/(kJ/mol)	889.5	爆炸下限/%(体积分数)	5.3

沼气的组分影响着沼气的特性，不同组分沼气的特性可参见表 1-3。

表 1-3 不同组分沼气的特性参数

特 性 参 数	CH_4 50%, CO_2 50%	CH_4 60%, CO_2 40%	CH_4 70%, CO_2 30%
密度/(kg/m^3)	1.374	1.221	1.095
相对密度	1.042	0.944	0.847
热值/(kJ/m^3)	17937	21542	25111
理论空气量/(m^3/m^3)	4.76	5.71	6.67
理论烟量/(m^3/m^3)	6.763	7.914	9.067
火焰传播速度/(m/s)	0.152	0.198	0.243

1. 密度

燃气的密度是指单位体积燃气的质量，一般是指在标准状态下（温度为 0°C ，压力为 1 标准大气压）的密度，可按下式计算：

$$\rho^0 = \frac{\sum x_i \rho_i^0}{100}$$

式中 ρ^0 ——生物质燃气在标准状态下的密度， kg/m^3 ；

x_i ——燃气中各组成气体的体积百分数，%；

ρ_i^0 ——燃气中各组成气体在标准状态下的密度， kg/m^3 ，其中，甲烷的密度为 0.717kg/m^3 ，二氧化碳的密度为 1.977kg/m^3 。

在燃气的应用过程中，经常用燃气的密度与干空气密度 (1.293kg/m^3) 之比来表征其特性，即相对密度。沼气的密度随沼气成分中二氧化碳体积分含量的变化而变化，当 CO_2 含量为 50% 时，沼气的相对密度大于 1；当 CO_2 含量为 40% 时，其相对密度小于 1。

2. 热值

每立方米沼气的热值约为 21520kJ ，约相当于 1.45m^3 煤气或 0.69m^3 天然气产生的热值。

3. 燃烧方式

在沼气燃料燃烧中，由于燃料与氧化剂都是气态，所以它属于一种均相燃烧。根据沼气是否预先与氧化剂混合，沼气燃烧可分为预混燃烧和非预混燃烧两种方式。预混燃烧是指沼气与氧化剂预先按一定比例均匀混合，形成可燃混合气，再进行燃烧，燃烧速率取决于化学反应速率，燃烧过程受化学动力学因素控制。非预混燃烧是指沼气在燃烧前不预先与空气混合，而是在燃烧装置内边扩散边燃烧，此时，燃烧过程主要受到化学动力学因素与扩散混合因素的影响，如果燃烧过程主要受到扩散混合因素控制，称为扩散燃烧，如果燃烧过程主要受化学动力学因素控制，则称为动力燃烧。

三、中国大中型沼气工程的发展现状

1. 中国沼气产业发展历程

沼气发酵在自然界中普遍存在，人类发现这一技术也有很久的历史了。中国沼气应用的历史可追溯到 20 世纪 20 年代，沼气工程的建设始于 20 世纪 50 年代，大中型畜禽养殖场沼气工程发展始于 20 世纪 70 年代末。沼气工程的整个发展过程与中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。20 世纪 70 年代末到 80 年代中期，这一阶段发展畜禽养殖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，发酵液不经处理，直接被用作肥料。20 世纪 80 年

代以后，中国开展了大量有关厌氧消化制沼气的理论和应用技术的研究，并取得了可喜的研究成果，国内的沼气工程开始稳步发展。20 世纪 90 年代以来，沼气工程技术获得重大突破，研究开发出了多种新型高效发酵工艺，厌氧消化器的处理能力、产气率、COD 去除率都明显提高。此后，大中型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。中国许多地区先后开展了不同程度的沼气综合利用实践活动，走出了一条以沼气为纽带，并使之与种植、养殖和农产品加工等有机结合，发展农村经济的新路子。21 世纪以来，以制取沼气、治理污染为目的的大中型沼气工程进入了稳步、健康的发展阶段。

中国沼气产业的发展依据其发展驱动力和目的不同，概括为三个阶段：第一阶段源于农民用能，以小型户用沼气池提供农户做饭和照明用能为主；第二阶段源于环境保护和资源利用，以大中型沼气工程提供生活和生产用能为主；将要进入的第三阶段源于可持续发展，以大型商业化沼气工程建设和独立经营为主，并提供清洁能源和有机肥料。

2. 中国沼气工程研究现状

中国的大中型沼气工程工艺技术已日趋成熟，配套设备已达到或接近国际先进水平。在沼气工程的配套技术方面，可根据猪粪、鸡粪、牛粪等原料特性的不同，对包括预处理系统、厌氧发酵系统、沼气输配系统、制肥系统、消化液后处理系统进行差异化的设计；在发酵工艺方面，生物厌氧发酵机理研究、不同粪便高效能发酵工艺（如 CSTR、UASB、USR、HCPF）的制定、沼气工程产气率、COD 去除率已居国际领先水平；在配套设备方面，中国已研制出纯燃沼气发电机组，制罐、自动控制、脱硫脱水、固液分离等装置已形成标准化成熟产品。除此之外，根据中国的经济实力和具体国情，开发出以 CSTR（全混合厌氧消化器）和 HCPF（塞流式厌氧消化器）为主的“能源生态型”和以高效厌氧消化器（UASB、EGSB）与好氧处理（SBR、水生植物塘）相结合为主的“能源环保型”的典型处理工艺。中国现阶段沼气工程的研究与废弃物资源化处理、沼气发酵产物综合利用、生态环境保护等和农业生产活动密切相关。