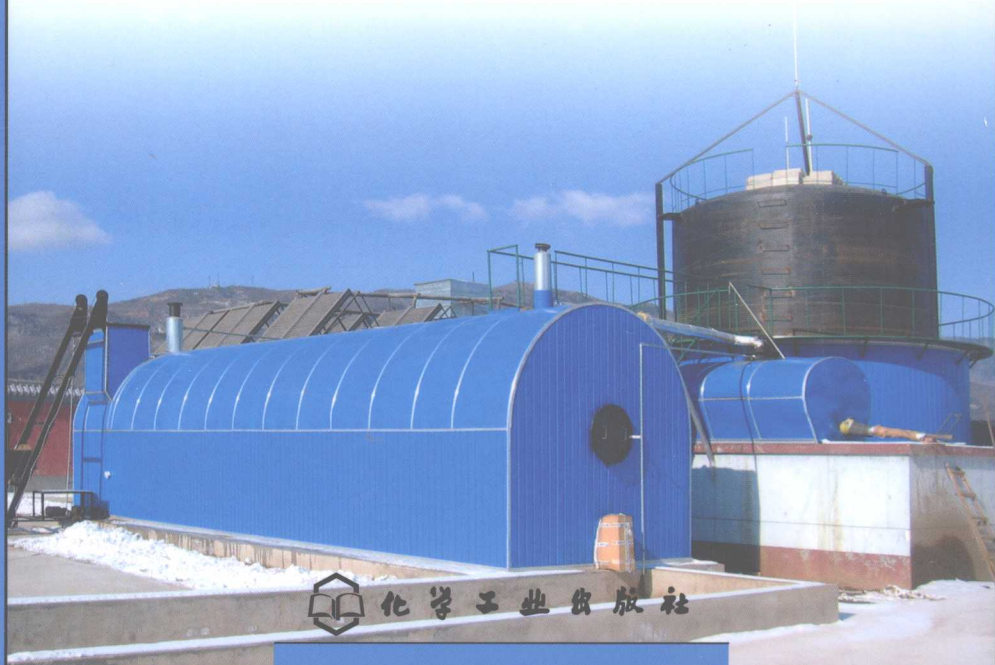


大中型 沼气工程技术

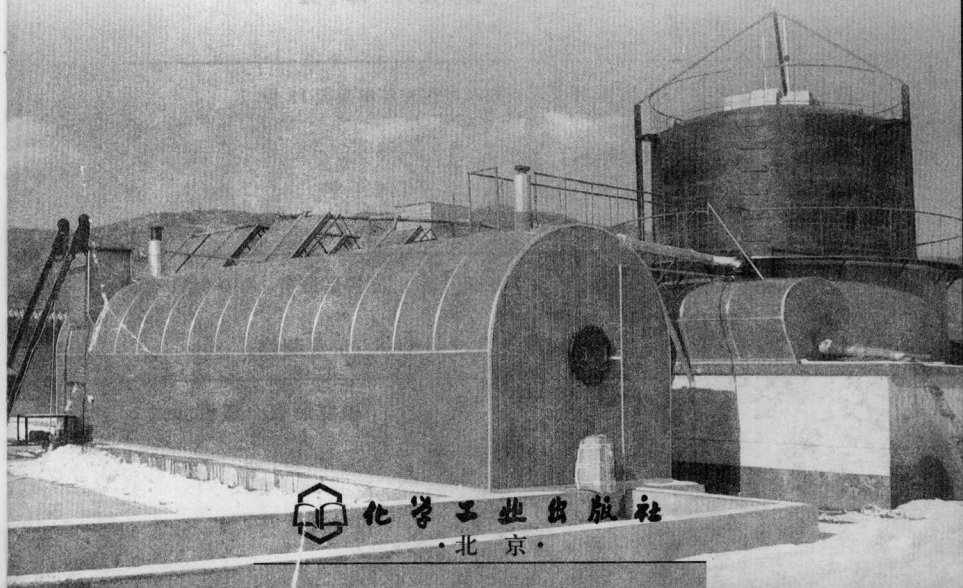
赵立欣 董保成 田宜水 编著
李长生 主审



化学工业出版社

大中型 沼气工程技术

赵立欣 董保成 田宜水 编著
李长生 主审



化学工业出版社

·北京·

中大 化学工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大中型沼气工程技术/赵立欣, 董保成, 田宜水编著.
北京: 化学工业出版社, 2007.9
ISBN 978-7-122-01062-9

I. 大… II. ①赵…②董…③田… III. 沼气池-工程
技术 IV. S216.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 136670 号

责任编辑: 邵桂林
责任校对: 周梦华

装帧设计: 郑小红

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: 北京市兴顺印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张 6 $\frac{1}{4}$ 字数 140 千字

2008 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: 18.00 元

版权所有 违者必究

前 言

近年来,随着我国畜禽养殖业的发展,大中型沼气工程建设不断推进,截至2006年底,全国畜禽场大中型沼气工程已达5278处,总池容达139万立方米。然而总体来讲,我国的沼气工程在工艺选择、工程设计、施工、验收等环节尚存在一些不规范和质量不高的问题。为了满足沼气工程技术的需求、项目的标准化管理、科学投资和决策,特编写了本书,对沼气技术理论基础、工艺原理及其实用技术深入浅出地做了介绍。

本书主要适用于从事沼气工程建设的广大技术人员,从事生态农业、农业环境保护和农村可再生能源研究开发的科技工作者,以及企业和政府主管部门的决策人员;同时也适用于从事能源管理工作的领导干部。因此,技术实用性和指导性是本书最大的特色,其具体内容涉及沼气池设计工艺、沼气设备、沼气生产综合利用技术、农村沼气安全及防护、沼气生产与利用中常见问题解答、沼气池及相关设备的保养与维修技术等多个方面,比较翔实丰富。

本书在组织编写过程中,参考了各位沼气专家

的意见和资料文献，力争集思广益，力求内容系统、实用、规范，但由于时间紧迫，加之水平所限，书中定会有许多不足之处，欢迎广大读者不吝指正。

编者

2007年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 沼气的产生与特性	1
1.1.1 沼气的产生	1
1.1.2 沼气的主要成分	2
1.1.3 沼气的特性	3
1.2 我国畜禽养殖场大中型沼气工程发展背景与现状	5
1.2.1 我国畜禽养殖场大中型沼气工程发展背景	5
1.2.2 我国大中型沼气工程的技术现状	6
1.2.3 大中型沼气工程的类型	8
1.3 大中型沼气工程的相关法令、法规	9
1.3.1 我国畜禽养殖业污染物的管理措施	9
1.3.2 畜禽养殖业污染物排放标准	10
1.3.3 畜禽养殖场的环境污染控制和污染物排放应遵循的 其他标准	12
第 2 章 大中型沼气工程技术原理	14
2.1 基本概念与参数	14
2.1.1 原料有机物含量和沼气产量评价指标	14
2.1.2 原料产气量的表示和计算方法	17
2.1.3 厌氧反应器运行参数	17
2.2 沼气发酵原理	19
2.2.1 沼气发酵的特点	19

2.2.2 参与沼气发酵的细菌	19
2.3 沼气发酵的基本条件	27
2.3.1 沼气发酵的原料	28
2.3.2 接种物和厌氧活性污泥	30
2.3.3 消化器容积负荷	32
2.3.4 沼气发酵的温度	34
2.3.5 沼气发酵的 pH 值	36
2.3.6 搅拌	37
2.3.7 毒性物质	38
2.4 几种常见厌氧反应器的原理与优缺点	40
2.4.1 常规厌氧反应器	40
2.4.2 全混式反应器	41
2.4.3 塞流式反应器	43
2.4.4 上流式厌氧污泥床反应器 (UASB)	44
2.4.5 内循环厌氧反应器 (IC)	55
2.4.6 升流式固体反应器 (USR)	56
2.4.7 折流式反应器	57
2.4.8 附着膜型消化器	58
2.4.9 膨胀颗粒污泥床反应器 (EGSB)	61
2.4.10 单元混合塞流式厌氧消化器 (UPR)	62
第 3 章 大中型沼气工程工艺流程和设计原则	64
3.1 沼气发酵的工艺类型	64
3.2 大中型沼气工程基本工艺流程	64
3.2.1 原料的收集	65
3.2.2 原料的预处理	65
3.2.3 厌氧消化	66

3.2.4	厌氧消化液的后处理	66
3.2.5	沼气的净化、贮存和输配	67
3.3	畜禽养殖场“能源环保型”和“能源生态型”沼气工程	
	工艺流程	68
3.3.1	畜禽养殖场“能源环保型”沼气工程	69
3.3.2	畜禽养殖场“能源生态型”沼气工程	70
3.4	两步厌氧消化工艺	73
3.5	温度两相厌氧消化工艺	74
3.6	沼气工程工艺设计原则	76
3.7	沼气工程工艺设计的主要内容	77
3.7.1	沼气工程预处理系统设计的主要内容	77
3.7.2	厌氧消化器的设计	78
3.8	沼气净化系统	82
3.8.1	沼气脱水原理与方法	82
3.8.2	沼气脱硫原理与方法	83
3.8.3	沼气净化工艺流程	86
3.9	沼气贮气柜设计原则	87
3.10	在沼气工程工艺设计中考虑酸化或相分离的情况	89
3.11	工艺流程图和总平面布置图的具体内容	89

第4章 大中型沼气的设备

4.1	固定格栅、水力筛网和格栅过滤机的特点及选用条件	93
4.1.1	固定格栅	93
4.1.2	水力筛网	93
4.1.3	格栅过滤机	94
4.2	布料系统特点及适用条件	95
4.2.1	配水孔口负荷	95

4.2.2	进水分配系统	96
4.2.3	配水管道设计	98
4.3	厌氧消化器的搅拌装置	99
4.4	固液分离机特点及选用条件	103
4.4.1	离心分离机	103
4.4.2	挤压螺旋分离机	104
4.6	带式过滤机	106
4.7	沼气的收集设施	108
4.8	沼气输配气系统	110
4.8.1	压力表	110
4.8.2	脱硫器	111
4.8.3	集水瓶	111
4.9	贮气柜	112
4.10	沼气使用装置	115
4.10.1	沼气炊事灶具	115
4.10.2	沼气灯	117
4.10.3	沼气饭锅	119
4.10.4	沼气热水器	120

第5章 大中型沼气工程的施工与运行管理

5.1	大中型沼气工程的施工人员和时间	122
5.2	沼气池的建设材料	122
5.2.1	建池原材料	123
5.2.2	密封涂料	125
5.3	大中型沼气工程的施工方法和注意事项	126
5.3.1	施工组织设计编制内容	126
5.3.2	建造沼气池应注意的安全事项	126

5.3.3	放线定位	127
5.3.4	池墙的施工方法	128
5.3.5	池基和池底的处理	129
5.3.6	混凝土整体现浇建池的施工方法	129
5.3.7	水泥预制板砌筑法的施工方法	130
5.3.8	建池混凝土和砌筑砂浆的配制方法	130
5.3.9	密封层的施工方法	132
5.3.10	输气管道的安装	133
5.4	沼气工程的质量检测标准和方法	134
5.4.1	沼气池施工质量的检测方法	134
5.4.2	厌氧消化器的质量标准	135
5.4.3	水泥砂浆防水层的施工规定	136
5.4.4	涂料密封层的施工规定	137
5.4.5	保温层的施工规定	137
5.4.6	提高混凝土密实度的主要措施	138
5.4.7	设备安装和试运行应注意的事项	138
5.4.8	地脚螺栓的敷设要求	139
5.5	厌氧消化器的启动过程及注意事项	140
5.5.1	厌氧消化器的启动	140
5.5.2	厌氧消化器启动前的准备工作和注意事项	143
5.5.3	厌氧消化器的主要维护保养内容	144
5.5.4	厌氧消化器正常运行时的主要参数值范围	145
5.5.5	厌氧消化器安全运行的保障措施	145
5.6	沼气池运行需注意的问题	145
5.7	安全用气的注意事项	148
5.8	沼气池检修方法	149
5.9	贮气柜的置换和运行管理	150

5.9.1 贮气柜的置换	150
5.9.2 气柜的运行管理	151
5.10 沼气发电机运行时应注意的内容	152
5.11 工程运行时控制室的主要工作	153

第6章 大中型沼气工程的产物利用

6.1 沼液的利用	155
6.1.1 沼液用作肥料	155
6.1.2 沼液浸种	156
6.1.3 沼液防治植物病虫害	156
6.1.4 沼液叶面肥	158
6.1.5 沼液养鱼	158
6.2 沼渣的利用	159
6.2.1 沼渣作肥料	159
6.2.2 沼渣配制营养土	163
6.2.3 沼渣栽培食用菌	163
6.2.4 沼渣养殖蚯蚓	164
6.3 沼气的利用	165
6.3.1 沼气施二氧化碳肥	165
6.3.2 沼气储粮	167
6.3.3 沼气保鲜水果	168
6.3.4 沼气供热孵鸡	168
6.3.5 沼气加温养蚕	170

第7章 大中型沼气工程的故障处理

7.1 沼气池管路故障处理	171
7.2 水泵故障的检测及处理方法	172

7.2.1 水泵是否正常工作的检查方式	172
7.2.2 水泵运行中应立即停机的情况	172
7.3 贮气柜保养维护的主要内容	173
7.4 燃烧器经常出现的故障及排除方法	173
7.5 沼气灶具使用要点	175
7.6 沼气灯故障及排除方法	176
附件 1 缩略语和相关参数	178
附件 2 农村沼气国家或行业标准名称	180
附件 3 沼气工程规模分类行业标准 (NY/T 667—2003)	182
参考文献	185

第1章 绪论

1.1 沼气的产生与特性

1.1.1 沼气的产生

在江、河、湖、海的底层，沼泽、池塘、积水和粪坑等地，人们通常可以看到有气泡从水底污泥中冒出，如将这些气泡收集起来便可以点燃，人们称这种气体为沼气。实际上，沼气是多种有机质在一定温度、湿度、酸碱度及厌氧条件下，经微生物分解所产生的一种可燃性混合气体。沼气的产生过程称为沼气发酵，国际通称厌氧消化。

根据来源、产气地点及气体性质等不同，沼气又被分为污泥气、粪气、阴沟气等。由于沼气是由微生物消化分解生物有机质生成的，所以也称为生物气 (biogas)。地球上每年由光合作用生成四千亿吨有机物，其中约有 5% 以不同形式在厌氧条件下被微生物分解生成沼气。

根据产生的方式，沼气可分为天然沼气和人工沼气。天

然沼气广泛地分布于自然界；人工沼气属于二次能源，是经人工加工转化而成的。人类对沼气的研究已有百年的历史，我国于 20 世纪 20~30 年代研制出了沼气生产利用装置。近几十年来，沼气发酵技术已被广泛用于处理农业、工业以及人类生活所产生的各种有机废弃物，并为人类生产和生活提供了大量的可再生能源。

1.1.2 沼气的主要成分

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，有时还含有高级碳氢化合物 (C_mH_n)。沼气的成分随发酵的原料、条件和工艺流程的不同而不同。通常情况下，甲烷含量为 55%~70%，二氧化碳含量为 25%~40%，其他气体含量较低。

甲烷是沼气中主要燃烧成分，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 -161.4°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 1-1。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的原料。

表 1-1 甲烷的基本特性

特性	数值	特性	数值
熔点/℃	-182.5	临界温度/℃	-82.6
沸点/℃	-161.4	临界压力/MPa	4.59
相对密度	0.42 (-164℃)	闪点/℃	-188
相对蒸气密度	0.55	引燃温度/℃	538
饱和蒸气压/kPa	53.32 (-168.8℃)	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

1.1.3 沼气的特性

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 1-2。

表 1-2 不同组分沼气的特性参数

特性参数	50%CH ₄ , 50%CO ₂	60%CH ₄ , 40%CO ₂	70%CH ₄ , 30%CO ₂
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
理论烟气量/(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℃,压力为 1 标准大气压的状态)的密度,可按式(1-1) 计算:

$$\rho^0 = \frac{\sum x_i \rho_i^0}{100} \quad (1-1)$$

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 $0.717\text{kg}/\text{m}^3$, 二氧化碳的密度为 $1.977\text{kg}/\text{m}^3$ 。

在燃气的应用过程中, 经常用燃气密度与干空气密度 ($1.293\text{kg}/\text{m}^3$) 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含量的变化而变化, 当其含量为 50% 时, 沼气的相对密度大于 1; 当其含量为 40% 时, 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。

③ 燃烧方式: 在沼气燃烧过程中, 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式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度, 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扩散混合因素控制, 则成为扩散燃烧; 如果燃烧过程主要受化学动力学因素控制, 则成为动力燃烧。

1.2 我国畜禽养殖场大中型沼气工程发展背景与现状

1.2.1 我国畜禽养殖场大中型沼气工程发展背景

沼气工程最初是指以粪便、秸秆等废弃物为原料以沼气生产为目标的系统工程。我国的沼气工程建设起始于20世纪60年代,历经近半个世纪的发展,沼气工程从最初的单纯追求能源生产,拓展为以废弃物厌氧发酵为手段、以能源生产为目标,最终实现沼气、沼液、沼渣的综合利用。

20世纪90年代中期,规模化畜禽场污染问题日益受到关注,特别是近年来,随着我国经济的发展和人民生活水平的提高,我国的畜牧养殖业得到了迅猛发展,牛、猪、羊和家禽等的存栏量一直呈现上升趋势。2005年,全国生猪出栏75913万头,羊出栏34586万只,肉牛出栏5265万头,奶牛存栏1267万头,猪、牛、羊三大家畜存(出)栏总量约11.7亿头(只),蛋鸡、肉鸡存(出)栏量约83.64亿只。畜牧养殖业的快速发展在满足人民生活需求和促进农村经济发展的同时,也排放了大量的畜禽粪便。2005年,畜禽粪便资源的实物量为11.2亿吨,其中,大中型(养殖出栏3000头猪单位以上)约11952处,养殖量约7528万头猪单位,畜禽粪便资源的实物量为1.42亿吨。畜禽养殖场粪污排放COD已超过工业废水和生活污水的总和。这些畜禽