

Biogas Technology and Application

沼气技术 及其应用

第四版

张全国 主编



化学工业出版社

沼气技术 及其应用

第四版

张全国 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书结合近几年沼气技术领域的新技术与新发展，对第三版中部分陈旧内容进行了修订和完善，补充了最新的数据和资料。本书在归纳我国沼气技术发展的历史及近年来沼气工程技术发展的现状及趋势的基础上，分别详细介绍了沼气技术原理，户用沼气池的设计、施工及运行管理，沼气工程的设计与施工和运行管理，沼液加工利用技术和沼渣综合利用技术，以沼气为纽带的生态农业模式，沼气能源化利用的基本原理、沼气发电技术以及其他沼气综合利用技术，新补充了近年来发展较为迅速的沼气提纯净化技术以及纯化沼气利用技术等内容，充分反映了沼气技术的国内外最新进展。

本书适用于广大农村的农业技术人员，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参阅，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，也可作为高等院校相关专业师生的教学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

沼气技术及其应用/张全国主编. —4 版. —北京: 化学工业出版社, 2017. 8
ISBN 978-7-122-30010-2

I. ①沼… II. ①张… III. ①沼气-技术 IV. ①S216.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 147655 号

责任编辑: 刘 军	文字编辑: 向 东
责任校对: 边 涛	装帧设计: 关 飞

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 刷: 三河市延风印装有限公司
装 订: 三河市胜利装订厂
710mm×1000mm 1/16 印张 23½ 字数 466 千字 2018 年 1 月北京第 4 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: 88.00 元	版权所有 违者必究
--------------	-----------

本书编写人员名单

主 编：张全国

副主编：王 毅 周雪花

编 者：杨世关 李 刚 焦有宙 胡建军

徐桂转 岳建芝 张志萍 郭前辉

贺 超 荆艳艳

前言

《沼气技术及其应用》自2005年第一版、2008年第二版以及2013年第三版出版以来,受到广大读者尤其是沼气行业读者的广泛好评,本书于2007年荣获第九届中国石油和化学工业科技图书一等奖,2009年获得“中国书刊发行业协会全行业优秀图书畅销品种”。近年来,我国沼气产业稳步快速发展,沼气基础理论与工程技术应用研究也在不断深化,沼气新工艺、新材料、新设备不断更新换代,沼气技术研究及工程应用等方面都出现了许多新内容,因此有必要对本书进行重新修订和增补,以反映我国沼气技术在这几年中的最新研究成果和工程应用经验,许多读者也希望能够修订再版。为此,作者根据化学工业出版社的修订四版计划,在本书第三版的基础上针对读者提出的意见和建议进行了较大幅度的增补和修订工作。

由于本书是第四版,原版的整体框架基本不动,在第三版的基础上,主要修订内容有以下几个方面:在绪论部分增补了沼气技术研究现状与趋势等内容,以期对近年来沼气技术的发展进行综合评述。在沼气工程的设计与施工部分增加了温室隧道式沼气工程和罐池组合式沼气工程等技术,在沼气技术研究现状部分增加了沼气热电冷联供技术,以增加本书的沼气工程技术覆盖面。沼气纯化技术是近年来沼气技术研究的一个新热点,本书将这部分内容单独增列为一章,主要介绍沼气纯化及其利用技术等方面的相关内容。此外,对原版中部分陈旧内容进行了修订和完善,尽量引用最新的数据和资料以反映沼气技术的国内外最新进展。

本版由张全国任主编、王毅和周雪花任副主编,其中第1章由杨世关和王毅编写,第2章由郭前辉和王毅编写,第3章由岳建芝和焦有宙编写,第4章由张志萍和胡建军编写,第5章由周雪花和胡建军编写,第6章由李刚和徐桂转编写,第7章由荆艳艳和贺超编写,第8章由徐桂转和王毅编写,第9章由贺超和张志萍编写。全书最后由张全国、王毅、周雪花统稿。本书第四版的编写工作得到了李景明、袁振宏、王凯军、赵立欣、陈冠益、邱凌、李文哲、林聪、王晓华、刘荣厚、李秀金、董仁杰、董长青、邓宇、刘庆玉等专家教授,以及化学工业出版社领导、编辑的帮助和大力支持,农业部可再生能源新材料与装备重点实验室、河南省沼气工程技术研究中心的博士研究生路朝阳、张洋和硕士研究生刘会亮、张甜、赵甲、

夏晨曦、朱胜楠等也为本书第四版的编写修订工作付出了辛勤的劳动，谨此一并致以衷心的感谢。虽然本书的第四版内容注意吸收了沼气技术发展的最新成果，参考引用了沼气同行们的技术资料，但因编写人员学术水平和实践经验所限，书中还可能不足及疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者

2017 年 10 月

第一版前言

随着人们对健康生活的追求,科学消费观念的更新,人们更加关心生态环境对人类生活的影响。追求绿色、环保、健康型的产品,特别是在无污染的生态环境中,采用无公害、生态良性循环的生态农业工艺技术生产出来,经检验合格的安全卫生的食(饮)用优质农产品及其加工品更让消费者情有独钟。现代农业从作物、病、虫、草等整个生态系统出发,综合运用各种防治措施,创造不利病虫害孳生和有利于各类天敌繁衍的环境条件,保持农业生态系统的平衡和生物多样性,减少各类病虫害所造成的损失,强调生产环境无污染、生产要素无污染以及生产过程不造成环境污染和生态破坏,即农产品的采摘、分选、包装、储藏、搬运、直至上架销售的各个环节都有严格的要求,严禁二次污染,甚至对包装的材质是否达到环保标准都有要求。以沼气技术为纽带的农业生态工程作为按照生态学原理和经济学规律建立起来的社会、经济和生态三种效益统一的农业生产体系,它遵循生态学原理,能够有效地运用农业生态系统中生物群落共生原理,系统内多种组分相互协调和促进的功能原理,以及地球化学循环的规律,实现物质和能量多层次多途径利用与转化,从而设计与建设合理利用自然资源,保持生态系统多样性、稳定性和持续高效功能的农业生态系统。沼气技术已经成为我国生态农业发展的重要技术支撑之一。本书全面系统地介绍农业生态工程中的沼气技术。内容主要包括以沼气技术为基础的现代生态农业模式、理论基础、工艺原理及其实用技术,深入浅出地介绍了农村家用沼气工程应用技术及利用沼液沼渣替代农药化肥生产生态农产品等相关技术,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,适用于广大农村的农业技术人员,从事生态农业、农业环境保护和农村可再生能源研究的科技工作者以及从事管理工作的领导干部阅读,亦可作为高等院校相关专业的教材和参考书。

本书由张全国主编、倪慎军和关树义副主编,其中第一章由杨世关和倪慎军编写,第二章由杨群发和郭前辉编写,第三章由岳建芝和张国强编写,第四章由张全国和李改莲编写,第五章由李刚和张全国编写,第六章由杨世关和关树义编写,第七章由徐桂转编写,第八章由岳建芝编写,全书最后由张全国、关树义通稿。在本

书编写过程中，虽然注意吸收了沼气技术的新发展和新成果，但由于编写时间仓促和作者水平所限，书中难免存在不足及疏漏之处，敬请各位读者提出宝贵意见，以使本书日臻完善。

编著者
2004 年 12 月

第二版前言

《沼气技术及其应用》自 2005 年出版以来，深受广大读者的欢迎和好评，并于 2007 年荣获第九届中国石油和化学工业科技图书一等奖。尤其是近年来沼气建设事业的迅速发展，已使沼气技术研究与应用步入了新的更高的发展阶段，出现了许多新内容，有必要重新修订和增补，许多读者也希望能够修订再版。为此，作者根据化学工业出版社的修订再版计划，在第一版的基础上针对读者提出的意见和建议进行了较大幅度的增补和修订工作。

由于是再版，原版的整体框架基本不动，对书中的陈旧内容和资料进行了更新，增加了一些新知识、新技术和新工艺。第一章内容结构有所调整，增补了“沼气技术在促进社会发展中的作用”；第二章内容基本保持不变，章目修改成“沼气技术基础”，跳出原来“农村家用沼气技术基础”的框框；第三章增添了“输气管道的安装”和“户用沼气池启动过程中常见故障分析”等内容，同时在户用沼气池运行管理和安全管理方面也增多了篇幅；第四章“中小型沼气工程的设计与施工”是新增加的一章内容，并着重介绍了沼气新技术——辅热集箱式沼气工程技术。由于新增加了一章内容，原版的第四、五、六、七、八章依次成为第二版的第五、六、七、八、九章，这些章节的内容也都有所增补，尽量引用最新的数据和资料以反映沼气技术在这几年中的新发展。

本书的修订再版由张全国主编、王艳锦和樊峰鸣副主编，其中第一章由杨世关编写，第二章由杨群发和郭前辉编写，第三章由岳建芝和焦有宙编写，第四章由王艳锦和陈开碇编写，第五章由周雪花和李改莲编写，第六章由李刚和张全国编写，第七章由杨世关和樊峰鸣编写，第八章由徐桂转编写，第九章由岳建芝和周雪花编写，全书最后由张全国、王艳锦、樊峰鸣通稿。本书在修订再版过程中，得到了李景明、杨秀山、袁振宏、邱凌、李文哲、王晓华、刘荣厚等专家教授，以及化学工业出版社领导、编辑的关怀和大力支持，谨此一并致以衷心的感谢。虽然本书的修订再版内容注意吸收了沼气技术发展的最新成果，但因编写人员学术水平和实践经验所限，书中还可能有不足及疏漏之处，敬请读者批评指正。

编著者

2008 年 4 月

第三版前言

《沼气技术及其应用》自 2005 年出版和 2008 年再版以来,深受广大读者的欢迎和好评,并于 2007 年荣获第九届中国石油和化学工业科技图书一等奖。近年来我国沼气产业稳步快速发展,沼气技术应用及产业链发展也在不断深化,沼气新工艺、新材料、新设备不断更新换代,沼气技术研究及工程应用等方面都出现了许多新内容,因此有必要对本书进行重新修订和增补,以反映我国沼气技术在这几年中的最新研究成果和实践经验,许多读者也希望能够修订再版。为此,作者根据化学工业出版社的修订三版计划,在本书第二版的基础上针对读者提出的意见和建议进行了较大幅度的增补和修订工作。

由于是第三版,原版的整体框架基本不动,本书在第二版的基础上,主要修订内容有几个以下方面:增加了现阶段研究较广的沼气干发酵内容,包括沼气干发酵原理及工艺条件等方面;增加了大中型沼气工程的设计、施工、运行、维护等方面的内容,使书籍覆盖整个小型(户用)、中型、大型整个沼气工程,覆盖面更广,需求范围更广,并增加若干工程实例,使书籍更有直观性和指导性;增加了沼气综合利用相关内容。此外,对第二版中部分陈旧内容进行了修订和完善,尽量引用最新的数据和资料以反映沼气技术在这几年中的新发展。

本书的第三版由张全国主编,王艳锦、郑戈和王毅副主编,其中第一章由杨世关编写,第二章由郭前辉和胡建军编写,第三章由岳建芝和焦有宙编写,第四章由王艳锦和王毅编写,第五章由周雪花和李改莲编写,第六章由李刚和张全国编写,第七章由杨世关和荆艳艳编写,第八章由徐桂转和郑戈编写,第九章由岳建芝和周雪花编写,全书最后由张全国、王艳锦、郑戈和王毅通稿。本书第三版的编著工作得到了李景明、杨秀山、袁振宏、雷廷宙、邱凌、李文哲、王晓华、刘荣厚、李秀金、刘圣勇等专家教授,以及化学工业出版社领导、编辑的帮助和大力支持,农业部可再生能源新材料与装备重点实验室的博士研究生张志萍和硕士研究生朱艳艳、蒋丹萍、袁杭州等也为本书第三版的编著修订工作付出了辛勤的劳动,谨此一并致以衷心的感谢。虽然本书的第三版内容注意吸收了沼气技术发展的最新成果,参考引用了沼气同行们的技术资料,但因编写人员学术水平和实践经验所限,书中还可能有所不足及疏漏之处,敬请读者批评指正。

编著者

2012 年 8 月

目 录

第1章 绪 论 /1

1.1 我国沼气技术发展历程	1
1.2 沼气技术在促进社会发展中的作用	3
1.2.1 缓解我国化石能源供应压力	3
1.2.2 改善农民生活环境及卫生条件	4
1.2.3 控制局部地区环境污染	4
1.2.4 促进农业生态环境的改善	5
1.2.5 促进新农村建设	6
1.3 沼气技术研究现状与趋势	7
1.3.1 沼气生产技术	8
1.3.2 沼气提纯技术	8
1.3.3 沼气发电的热电冷联供系统	9
1.3.4 沼液、沼渣的综合利用	9
参考文献	10

第2章 沼气技术基础 /11

2.1 沼气发酵基本原理	11
2.1.1 概述	11
2.1.2 沼气发酵微生物	12
2.2 沼气发酵原料及处理	14
2.2.1 沼气发酵原料及其产气特性	14
2.2.2 沼气发酵原料预处理	19
2.3 沼气发酵工艺及控制条件	26
2.3.1 沼气发酵工艺	26
2.3.2 沼气发酵工艺控制条件	42
2.4 沼气干发酵	53

2.4.1	沼气干发酵工艺	53
2.4.2	沼气干发酵工艺条件控制	55
2.4.3	发酵过程管理	57

参考文献	58
------	----

第3章 户用沼气池的设计、施工及运行管理 /60

3.1	户用沼气池的设计	60
3.1.1	沼气池设计原则	60
3.1.2	户用沼气池的常用池形及其特点	60
3.1.3	沼气池设计参数的确定	64
3.1.4	沼气池设计计算	64
3.2	户用沼气池施工工艺	66
3.2.1	建池时间的选择	66
3.2.2	池形选择	66
3.2.3	建池地址的选择	67
3.2.4	施工工艺的选择	67
3.2.5	建筑材料的选择	67
3.2.6	土方工程	69
3.2.7	施工标准及其操作要点	71
3.2.8	沼气池的验收	74
3.3	输气管道的安装	74
3.3.1	输气管道管材的选择	74
3.3.2	管径的选择	75
3.3.3	管件的选用	75
3.3.4	输气管路的安装要求	75
3.3.5	输气管路的安装方法	75
3.3.6	输气管路中疏水瓶的安装	76
3.3.7	输气管路的气密性检查	77
3.3.8	输气管路安装过程中的注意事项	77
3.4	户用沼气池的启动	77
3.4.1	发酵原料的处理与配料	78
3.4.2	投料	78
3.4.3	酸碱度的调整	78

3.4.4	封池	79
3.4.5	放气试火	79
3.4.6	户用沼气池启动过程中常见故障分析	79
3.5	户用沼气池的运行管理	80
3.5.1	沼气池的进出料管理	80
3.5.2	池内搅拌	80
3.5.3	发酵料液的酸碱度调节	80
3.5.4	冬季的保温增温管理	81
3.5.5	夏季防止沼气外溢	82
3.6	沼气池的安全管理	82
	参考文献	82

第4章 沼气工程的设计与施工和运行管理 /84

4.1	沼气工程的分类标准	84
4.2	中小型沼气工程的设计计算	85
4.2.1	基本参数的确定	85
4.2.2	池容的确定	88
4.2.3	结构设计	91
4.2.4	选址规划及施工准备	97
4.2.5	土方及基础工程施工	98
4.3	辅热集箱式沼气工程技术	107
4.3.1	概述	107
4.3.2	养殖场规模与沼气原料量的确定	107
4.3.3	辅热集箱式沼气工程的设计	110
4.3.4	辅热集箱式沼气工程施工工艺	117
4.3.5	辅热集箱式沼气工程技术特性及其应用	122
4.4	温室隧道式沼气工程技术	123
4.4.1	设计要求及设计原则	123
4.4.2	厌氧发酵系统的设计	124
4.4.3	温室隧道式沼气的联产成套设备	129
4.5	罐池组合式沼气工程技术	132
4.5.1	概述	132
4.5.2	罐池组合式气肥联产工艺	133
4.5.3	罐池组合式气肥联产设备	137

4.6 大中型沼气工程的设计、施工及运行管理	145
4.6.1 大中型沼气工程的设计要点	145
4.6.2 大中型沼气工程主要设备及设计	147
4.6.3 大中型沼气工程的施工与运行管理	163
4.6.4 大中型沼气工程的维护和故障处理	170
4.6.5 大中型沼气工程实例	173
参考文献	182

第5章 沼液加工利用技术 /184

5.1 沼液的主要组成和特性	184
5.2 沼液肥效及其增效技术	187
5.2.1 沼液肥效	187
5.2.2 厌氧发酵液的增效技术	189
5.3 沼液抗病虫害作用及其应用技术	190
5.3.1 沼液的抗病虫害作用分析	190
5.3.2 沼液抗病虫害技术的应用	193
5.4 沼液植物培养技术	195
5.4.1 沼液浸种和催芽技术	195
5.4.2 沼液无土栽培技术	198
5.5 沼液动物养殖技术	198
5.5.1 沼液养猪	198
5.5.2 沼液用于其他养殖	200
5.6 生态型沼液产品加工工艺	201
参考文献	202

第6章 沼渣综合利用技术 /205

6.1 沼渣的定义与基本特性	205
6.1.1 沼渣的定义	205
6.1.2 沼渣的基本特性	205
6.2 沼渣的肥料作用与技术应用	206
6.2.1 沼渣肥料的基本特性	206
6.2.2 农村沼肥应用技术	208
6.2.3 工业沼肥生产技术	208

6.3 沼渣的饲料作用与技术应用 209

6.3.1 沼渣饲料的技术分析 209

6.3.2 沼渣饲料技术应用 210

6.4 沼渣实用技术 211

6.4.1 沼渣在种植业的应用 211

6.4.2 沼渣在养殖业的应用 212

参考文献 216

第7章 以沼气为纽带的生态农业模式 /218

7.1 以沼气为纽带的农业生态工程理论与技术体系 218

7.1.1 基本概念 218

7.1.2 基本原理 219

7.1.3 农业生态工程设计的技术体系 227

7.2 以沼气为纽带的生态农业模式 232

7.2.1 以沼气为纽带的生态温室模式 232

7.2.2 以沼气为纽带的生态果园模式 252

7.2.3 以沼气为纽带的生态农场模式 271

7.2.4 以沼气为纽带的气肥联产应用模式 282

参考文献 292

第8章 沼气利用技术 /294

8.1 沼气的成分和燃烧特性 294

8.1.1 沼气的成分和物理性质 294

8.1.2 沼气的燃烧特性 297

8.2 沼气的能源化利用途径 303

8.2.1 沼气热利用技术及装置 303

8.2.2 沼气发电技术 312

8.3 沼气综合利用技术 331

8.3.1 沼气应用于蔬菜大棚 331

8.3.2 沼气储粮 332

8.3.3 沼气保鲜贮藏 332

8.3.4 沼气烘干粮食 334

8.3.5 沼气灯育雏 334

参考文献 335

第 9 章 沼气提纯净化技术 /338

9.1 沼气提纯技术 338

 9.1.1 沼气脱水工艺及装置 338

 9.1.2 沼气脱硫工艺及装置 340

 9.1.3 沼气脱二氧化碳工艺及装置 352

9.2 纯化沼气应用技术 355

 9.2.1 纯化沼气并入燃气管网作为燃气方面的应用 355

 9.2.2 纯化沼气在车用燃料方面的应用 356

 9.2.3 纯化沼气在沼气燃料电池方面的应用 358

参考文献 358

绪 论

1.1 我国沼气技术发展历程

沼气在我国的应用已经有一个多世纪的历史，其发展历程大体上可分为4个阶段，即20世纪30年代、50年代、70年代、80年代至今。

沼气早期被称为瓦斯，沼气池被称为瓦斯库。在19世纪80年代末，广东潮梅一带民间就开始了制取瓦斯的试验，到19世纪末出现了简陋的瓦斯库，并初步懂得了制取瓦斯的方法。由于当时沼气池过于简陋，产气率低，没能得到推广应用。我国真正意义上的沼气研究和推广始于20世纪30年代。当时的代表性人物主要有台湾省新竹县的罗国瑞和汉口的田立方。他们从反对帝国主义对中国进行经济侵略和为农村解决燃料问题出发，决心从事天然瓦斯的研究推广工作。罗国瑞从20世纪初期即开始了天然瓦斯库的研究和试验工作，历经10多年的辛勤工作，研制出了我国第一个较完备且具有实用价值的瓦斯库。他为了推广该项技术，于1929年在广东汕头市开办了我国第一个推广沼气的机构——汕头市国瑞瓦斯汽灯公司。为了能在更大范围内推广该技术，1931年他将公司迁至上海，更名为“中华国瑞瓦斯总行”，之后又更名为“中华国瑞瓦斯全国总行”。总行又在全国各地设立了分行，据考证，当时共在全国设立了14个省分行，21个市分行，15个县分行。“中华国瑞瓦斯全国总行”于1942年被日军纵火焚毁而停办，其下的省、市、县分行也相继关门。罗国瑞于1933年开始了沼气技术人员的培训工作，并编写了培训教材《中华国瑞天然瓦斯库实习讲义》。田立方在1930年左右成功设计了带搅拌装置的圆柱形水压式和分离式两种天然瓦斯库。由于瓦斯库应用效果较好，所以他于1933年左右开办了“汉口天然瓦斯总行”，在总行内设立了一个研究机构——“汉口天然瓦斯灯技术研究所”和一个人员培训机构“汉口天然瓦斯传习所”。田立方于1937年编写了《天然瓦斯（沼气）灯制造法全书》，此书共4个分册，即《材料要论》《造库技术》《工程设计》和《装置使用》。1937年日本侵占武汉时“汉口天