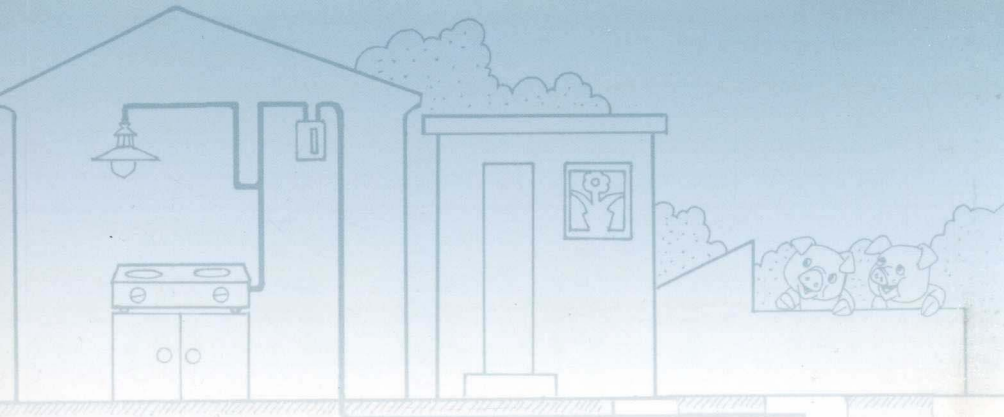




沼气技术手册

—— 户用沼气篇

邱 凌 董保成 李景明 主编

 中国农业出版社

沼 气 技 术 手 册

——户用沼气篇

邱 凌 董保成 李景明 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

沼气技术手册. 户用沼气篇 / 邱凌, 董保成, 李景明主编. —北京: 中国农业出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-109-19979-8

I. ①沼… II. ①邱… ②董… ③李… III. ①甲烷-技术手册 IV. ①S216.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 304100 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 张德君

文字编辑 曾琬淋

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 9.25

字数: 230 千字

定价: 25.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编 委 会

主 任 王衍亮

副主任 王久臣 杨礼胜

委 员 (按姓氏笔画排序)

孙丽英 李少华 李景明 邱 凌

林 聪 赵立欣 董保成 强少杰

主 编 邱 凌 董保成 李景明

副主编 石复习 郭晓慧 孙丽英

编写者 (按姓氏笔画排序)

王 飞 王玉莹 方 放 石复习

朱 琳 孙丽英 李冰峰 李景明

杨 鹏 杨选民 邱 凌 徐文勇

郭晓慧 席新明 梁 勇 葛一洪

董保成 潘君廷

前言

推进农村沼气建设是党中央、国务院做出的重大战略决策，是加快转变农业增长方式的重要举措，是社会主义新农村建设的重要内容，是农村基础设施建设重点工程。近年来，中央出台了一系列扶持和促进农村沼气发展的政策措施，仅“十一五”期间，中央就累计投入农村沼气建设资金212亿元。截至2013年年底，据农业部的统计，全国沼气用户已达到4150万户，建设各类沼气工程近10万处，成为新时期最重要的民生工程之一和新农村建设的一大亮点，被中央领导誉为我国应对气候变化最有效、最普遍的行动之一。

随着农村沼气的快速发展、建设数量的不断增长，农村沼气已经受到各级政府越来越多的关注，得到许多用户的欢迎。为了规范农村沼气设计、施工、运行和安全管理，特此出版一套《沼气技术手册》系列丛书，涉及户用沼气、沼气工程、设备与装备、材料等内容。《沼气技术手册》系列丛书以理论知识和图表、数据为主要内容，作为沼气行业从业者的参考工具书和指导用书。

《沼气技术手册——户用沼气篇》是《沼气技术手册》系列丛书之一，以户用沼气从业者为对象，系统介绍了完成户用沼气工程系统具体操作的知识、工艺、技术等。全书共分为 8 章，全面系统介绍了户用沼气的发展历程、沼气的基本特性、户用沼气系统规划设计、施工建设、运行管理、沼气综合利用、沼肥综合利用等方面的知识和技术。

本书在广泛征求相关专家、基层沼气工作者意见的基础上，经过多次讨论和修订后定稿。参加本书编写工作的有邱凌、董保成、李景明、石复习、郭晓慧、杨选民、朱琳、杨鹏、王飞、方放、席新明、梁勇、葛一洪、潘君廷、王玉莹、孙丽英、李冰峰等，并请张衍林、林聪、赵立欣、张榕林、颜丽等参加了审稿和修改工作。全书由邱凌和董保成统稿。由于专业知识水平有限，加之时间仓促，工作量大，书中不当之处在所难免，敬请读者提出宝贵建议，以便再版时修订。

编写组

2014 年 12 月

前言

第一章 户用沼气发展历程与特征	1
第一节 中国户用沼气发展历程	1
第二节 户用沼气发展模式与特征	7
第二章 户用沼气的功能与效应	19
第一节 户用沼气的功能	19
第二节 户用沼气的综合效应	30
第三章 沼气的基本特性	34
第一节 沼气的起源	34
第二节 沼气的理化特性	36
第三节 沼气的燃烧特性	39
第四章 户用沼气系统设计	45
第一节 户用沼气发酵装置设计	45
第二节 户用沼气系统保温与增温设计	84
第三节 户用沼气输配与使用系统设计	89
第四节 户用沼气池出料设备选配	106
第五章 户用沼气系统建设	118
第一节 户用沼气系统建造材料	118
第二节 户用沼气发酵装置建造	141

第三节 户用沼气输配系统施工	163
第六章 户用沼气系统运行	181
第一节 户用沼气系统快速启动	181
第二节 户用沼气系统科学管理	190
第三节 户用沼气系统安全运行	195
第四节 户用沼气系统故障防除	200
第七章 户用沼气综合利用	210
第一节 沼气炊事与照明	210
第二节 沼气供热与烘干	215
第三节 温室蔬菜沼气二氧化碳施肥	227
第四节 沼气保鲜水果与贮粮	231
第八章 户用沼肥综合利用	240
第一节 沼气发酵残留物的特性	240
第二节 沼肥在种植业中的应用	251
第三节 沼肥在养殖业中的应用	268
附录 1 各种能源折算标准煤参考值	281
附录 2 国际单位制与工程单位制的单位换算	282
参考文献	284

第一章 户用沼气发展 历程与特征

能源是发展国民经济的重要物质基础，农村能源是关系农村经济发展和农民生活质量提高的大问题，沼气作为一种可再生清洁能源越来越受到世界各国的广泛关注。户用沼气技术是中国沼气技术研究中开展较早、研究最系统和全面，也是成效较大的领域，在这一领域居于世界领先地位，并在我国新农村建设中发挥着越来越显著的作用。

第一节 中国户用沼气发展历程

一、中国沼气早期发展概况

(一) 沼气的萌芽

中国是研究和使用沼气较早的国家，利用水压式沼气池制取沼气已有近 100 年的历史。当时的沼气称为瓦斯，沼气池称为瓦斯库。早在 19 世纪 80 年代，我国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，这种雏形的瓦斯生产方法，与现在利用垃圾填埋发酵制取沼气相似。即先在地上建好库坑，并将发

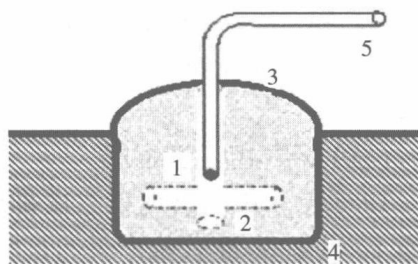


图 1-1 19 世纪末简陋的瓦斯库

1. 发酵池 2. 气体通道 3. 池盖
4. 地面 5. 输气管

酵原料堆聚坑中，然后在料堆上竖起一根导气直管，再用稀泥密封发酵（图 1-1）。这种锥形结构很简单，只有发酵池、气体通道、池盖、输气管。因产气少、出料难而未付诸应用。

（二）沼气的初次发展

1920 年前后，中国台湾省新竹县竹东镇罗国瑞先生总结前人经验，研究发明了“中华国瑞天然瓦斯库”，即长方形水压式沼气池，并在广东汕头、深圳等地推广。1929 年的夏天，在广东省汕头市建立了中国第一个推广沼气的机构——汕头市国瑞瓦斯汽灯公司，并在深圳、大埔、香港等地推

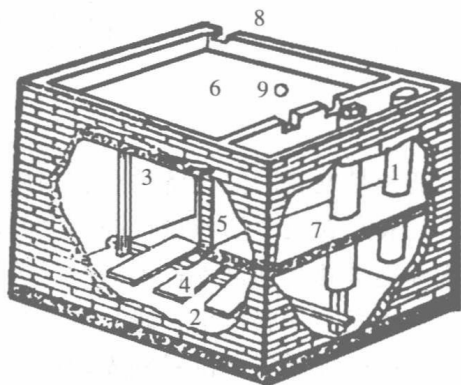


图 1-2 中国早期的长方形水压式沼气池

1. 瓦筒 2. 原料槽 3. 瓦斯库 4. 搅木
5. 直水库 6. 横木库 7. 通水穴
8. 排水沟 9. 瓦斯探取口

广。1931 年他又在上海设立了“中华国瑞天然瓦斯总行”，在全国各地推广沼气。这是我国在农村首次推广天然瓦斯，也是第一次将瓦斯应用到经济领域，为人类服务。当时的池型结构为地下水压式长方形，池内残渣无法排出，进料口容易堵塞，溢流口料液从库顶随意乱流，很不卫生，且无搅拌，表面易结壳（图 1-2），加之池体密封性也不好，用了 3 年后停用，因此推广面积不大。

（三）沼气的二次发展

1958 年，中国出现第二次推广沼气的热潮，这次热潮是在继承 20 世纪 30 年代推广天然瓦斯技术基础上，首先在湖北省武昌市推广开来。《人民日报》头版头条报道了武昌市推广沼气的经验和现场会议的情况。毛主席在武汉市参观应用沼气的展览时，发表了“沼气很好，这要好好地推广”的指示，导致了全国

掀起建设沼气池的高潮。由于一哄而上，操之过急，忽视技术和管理等原因，建池虽有数十万个，但没有巩固下来，大多废弃了。第二次热潮推广的沼气池将国瑞式沼气池作了改进，减少了直水库（出料连通管）的底高，将直水库置于瓦斯库外，如此的改变有利于施工建造，并且使各库气压保持不变。又将横直水库交接之隔墙取消，省工省料。一些科研单位和大专院校也设立了沼气研究机构，在池型设计、施工技术、发酵工艺以及沼气和残余物的综合利用等方面，作了大量的研究工作，积累了不少的经验 and 资料，为我国近期推广沼气准备了技术条件。

二、中国沼气近期发展概况

中国大规模发展户用沼气始于 20 世纪 70 年代，截止到 2013 年底，全国 4 150.37 万户家庭拥有沼气池（表 1-1）。在过去的 40 年间，由于社会、经济、环境、技术和政策等形势的不断变化，沼气的发展经历了曲折的路程，目前已经进入了持续、快速、稳定发展的新阶段。中国沼气近期发展大体可以分为四个历史阶段（图 1-3）：1973 年到 1983 年处于不稳定发展阶段，沼气的发展大起大落；1984 年到 1994 年处于调整阶段，发展缓慢；1995 年到 2000 年处于稳步发展阶段，发展速度逐年加快；进入 21 世纪后，中国沼气进入了持续、快速发展的新阶段。每个阶段的发展状况都是当时能源形势、经济和环境发展要求、技术水平和政策投入的反映。

表 1-1 中国近期户用沼气池历年保有量

年份	数量（万户）	年份	数量（万户）	年份	数量（万户）
1973	0.60	1977	576.88	1981	534.87
1974	46.35	1978	714.16	1982	499.38
1975	178.68	1979	658.97	1983	392.41
1976	435.39	1980	662.20	1984	449.70

(续)

年份	数量 (万户)	年份	数量 (万户)	年份	数量 (万户)
1985	458.99	1994	542.97	2003	1 319.99
1986	454.47	1995	569.64	2004	1 541.03
1987	463.36	1996	602.12	2005	1 751.03
1988	465.29	1997	638.21	2008	3 048.90
1989	469.43	1998	688.76	2009	3 507.03
1990	476.66	1999	763.47	2010	3 850.80
1991	475.10	2000	848.10	2011	3 997.48
1992	498.21	2001	956.69	2012	4 083.01
1993	524.99	2002	1 109.99	2013	4 150.37

(一) 沼气不稳定发展阶段

20 世纪 70 年代, 由于中国农村人口的过快增长, 加之农村政策指导上的失误, 强调以粮为纲, 大面积毁林开荒, 生态环境受到严重破坏, 致使农村能源资源大量减少, 农村能源需求急剧增加, 加剧了农村能源供求矛盾。政府和农民均看到了农村能源问题的迫切性, 开始了大规模的沼气开发利用。1973 年中国科学院等部门召开了第一次沼气技术现场会, 宣传介绍沼气技术。1977 年国务院正式确定由农业部主管沼气, 在农业部设立了沼气办公室。在国家的政策和措施的推动下, 农村户用沼气发展迅速, 沼气池建设数量直线上升, 1973 年到 1978 年 6 年时间发展到 700 多万户, 平均每年净增加 120 万户, 形成了全国性的建设高潮。

虽然这一阶段的前期沼气迅速发展, 但发展的势头和成果没有保持和巩固下去。1979 年之后, 大量的沼气池开始报废或弃置不用。尽管在政府的推动下, 沼气池的建设每年都在进行, 但建设的速度放缓, 而且新建的数量难以抵偿减少的数量, 沼气的保有量急剧下降。到 1983 年, 全国沼气池保有量减少到 392.4 万户, 5 年间平均每年减少 64.4 万户, 其中 1981 年减少

127.3 万户。造成沼气发展大幅度回落的原因有技术、经济和管理等多方面的原因。

(1) 施工和材料方面 由于缺乏研究和实践的基础,没有形成科学的建造施工标准,沼气池的质量难以保障;由于经济的原因,建造沼气池的材料是就地取材,土法上马,多数沼气池是由石灰、黄土和沙子建造而成的,使用寿命难以持久。

(2) 使用方面 没有开发出更为科学的沼气池进出料的技术和机械,尤其是沼气池的换料(大出料)期间,沼气池停用,用户直接到沼气池中清理肥料,劳动强度很大而且危险,因此,许多沼气池进一次料就停止使用,成了一次性设施。

(3) 适宜性方面 急于求成,全国一哄而上,没有对沼气技术的适应性进行认真分析研究。例如,北方地区气候寒冷,有半年时间不能正常产气,而且如不采取有效措施,经过一个冬季沼气池就会因冻裂而报废;有些地区因缺乏适宜的沼气发酵原料、缺乏沼气池后续维护管理及技术服务支持等,也使沼气的使用和发展受到影响。

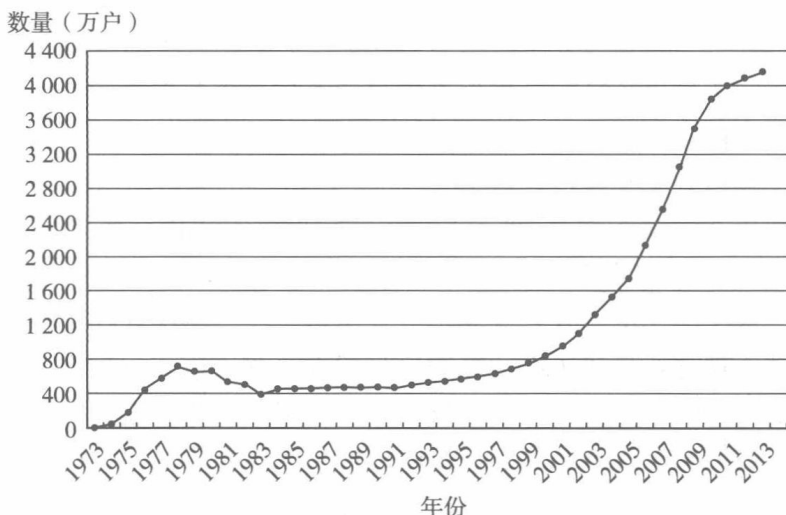


图 1-3 中国近期户用沼气池发展历程

（二）沼气发展调整阶段

从 1984 年到 20 世纪 90 年代中期，是中国沼气发展的调整时期，发展缓慢。针对前一阶段沼气发展中的问题，1979 年国家放慢了沼气发展速度，重在维修病池，提高使用率。到 1984 年，由于大量质量很差的沼气池基本报废，质量较好的沼气池能够维持使用。此后新建沼气池与退役沼气池数量大体相抵，沼气池数量急剧减少的态势得到了遏制，从 1984 年到 1991 年沼气发展处于调整阶段，数量保持稳定并略有增加，8 年间沼气池的保有量仅增加了 82.7 万户，平均每年增加 10 万多户。

究其原因，一方面是由于当时中国的政治局面不稳定，国家和政府没有投入一定的资金对科研单位予以资助，也没有制定相应的政策给予优惠；另一方面，由于大部分农民没有足够的资金和技术来修建和管理沼气池，因此导致沼气池的建设数量下降，并且一些已经修建的沼气池也弃之不用。

（三）沼气稳步发展阶段

进入 20 世纪 90 年代之后，沼气技术不断发展和完善，国家经济和社会发展形势也发生了变化。在法规政策方面，国家在《农业法》《农业技术推广法》《环境保护法》等法律中都对农村能源问题做出了规定，把发展农村能源作为农业发展和环境保护的重要措施。这些都促进了沼气发展的复苏。到 1995 年，全国沼气发展到 570 万户，从 1992 年到 1995 年的 4 年间增加了 94.5 万户，平均每年增加 23.6 万户，与 1991 年相比，年均增长率 4.7%。户用沼气池的推广及应用走出低谷，呈上升发展趋势。

这个时期沼气开发和利用改变了过去单一解决农村能源短缺问题的观念，形成了以沼气为纽带的综合利用模式，极大地提高了沼气池的利用效益，使沼气技术不仅能解决农村能源问题，而且对发展庭院经济、增加农民收入作出了贡献，因而突破了能源领域，进入了农村经济建设市场。在“因地制宜，多能互补，综合利用，讲求效益”的农村能源综合建设方针的指引下，以沼气

综合利用为纽带的各种模式的庭园农业生态工程模式，以其对农户生活和生产的显著效益而被迅速推广和深化。户用沼气池数量以 5% 的速度逐年增加，到 1996 年底发展到 602 万户。与此同时，广泛开展了各种形式的以沼气综合利用为纽带的庭园农业生态工程建设，覆盖面积达 1 600 万亩^{*}，不但提高了效益，还增加了其自身发展活力。

（四）沼气快速发展阶段

进入 21 世纪后，农村沼气建设对促进农业结构调整、农业增效、农民增收和生态建设所起作用日益突出，产生了良好的综合效益。全国各地以沼气建设为核心、纽带、切入点或抓手，与改厨、改厕、改圈相结合，改变了农民传统的生活方式；与改路、改水、改庭院相结合，改变了农村面貌。农业部不断创新农村沼气建设思路，与时俱进，于 2000 年 1 月启动和实施了以沼气综合利用建设为重点、符合当前农业和农村经济发展新阶段的“生态家园富民计划”。2008 年之后，户用沼气每年建设 200 万户左右，截止到 2013 年底，在全国推广“三结合”（畜禽舍、卫生厕所、沼气池）沼气池 4 150.37 万户，取得了显著的经济、生态和社会效益。通过生态家园富民计划的实施，使农民生活环境得到明显改善，生产活动实现经济生态良性循环；使农民生活用能效率达到 30% 以上，优质能源占 50% 左右；使农民人均收入在原有基础上增加 1 000 元以上，形成农户基本生活、生产单元内部的生态良性循环，达到家居环境清洁化、庭院经济高效化、农业生产无害化。

第二节 户用沼气发展模式与特征

人们最初认识沼气，注重的是它的能源功能，随着科学技术

^{*} 亩为非法定计量单位，1 亩 $\approx$ 667 米²，后同。

的发展和人类认识能力的提高，沼气的生态功能和环境功能越来越被人类所认可，沼气已经成为联结养殖和种植、生活用能和生产用肥的纽带，成为实现燃料、肥料和饲料转化的最佳途径，在生态家园和生态农业中起着回收农业废弃物能量和物质的特殊作用。发展农村沼气，建设生态家园，既可为农民提供高品位清洁能源，又可以通过生态链的延长增加农民收入，同时，能够保护和恢复森林植被，减少农药化肥和大气污染，改善农村环境卫生，促进农业增产、农民增收和农村经济持续发展。

一、沼气生态模式特征

沼气生态模式是以沼气为纽带，整合利用可再生能源技术和高效生态农业技术，建设以农村户用沼气为纽带的各类能源生态模式工程，同时根据实际需要，配套建设太阳能利用工程、省柴节煤工程和小型电源工程。从农民最基本的生产、生活单元内部着手，引导农民改变落后的生产、生活方式，使土地、太阳能和生物质能资源得到更有效的利用，形成农户基本生产、生活单元内部能量和物质的良性循环。以增加农民收入为目的，同时达到提高农民生活质量、发展生态农业、生产无公害农产品的效果，实现家居环境清洁化、庭院经济高效化和农业生产无害化的目标。

家居环境清洁化的建设内容包括沼气池、太阳能热水器、太阳灶、太阳房、省柴节煤炉灶及高效预制组装架空炕连灶，由此解决农民的生活用能，提高农民生活质量，减少林、草等生物质能的消耗；庭院经济高效化的建设内容包括“三位一体”“四位一体”和“五配套”等能源生态模式工程，由此实现农民家庭内部农牧结合，促进种植业和养殖业；农业生产无害化的建设内容包括沼液、沼渣等高效有机肥施用相关生态农业技术，建设无公害农产品生产基地，由此提高当地农产品质量，带动农业向优质、高产、高效发展。

沼气生态模式建设具有显著的特点：一是以人为本，从农民最关心的家园建设入手，重视改变他们的最基本的生产、生活条件，围绕人的需求，为了人的利益，实现人的发展；二是强化综合，通过对农户家园沼气池、畜禽舍、日光温室等多项农村能源技术和种植、养殖技术的优化组合，综合开发，实现集约化发展；三是循环再生，通过以沼气为纽带的能源生态模式的推广，形成种植业生产、养殖业消费、微生物分解的生态循环，实现生态与富民的协调；四是注重实效，大力推广适用技术、成熟技术，通过典型带动、效益吸引，增强农民建设的主动性；五是着眼大局，大处着眼，小处着手，以微观系统的生态良性循环来促进宏观系统的生态环境改善，兼顾国家生态利益和农民长久生计。

沼气生态模式建设把生态环境建设寓于农民增收和农村社会发展之中，通过以能源开发利用为纽带的生态家园建设，用综合效益吸引，使国家生态环境建设的目标与农民的切身利益紧密结合。一方面把生态建设任务分解到农户，集千家万户的力量和效益于一体；另一方面，燃料和生计问题的解决及农民收入的增加，引发了农民生活方式的改变，为农村和农业的现代化发展奠定了一定的基础。沼气生态模式建设把最适用的技术打捆送给农民。如沼气综合利用中的北方“四位一体”、南方“猪—沼—果”和西北“五配套”等能源生态模式的推广，改变了过去“单打一”的一般做法，注重适用技术的整合，通过沼气池这一物化的载体，从建到用，向农民推广一整套生态种植、养殖等具有较高科技含量的适用技术，同时采取区域性连片规划，注重规模，突出重点建设区域，所以，很快在农村见到了成效。

二、生态家园

生态家园是指农民在自己住宅院内及与宅基地相连的自留地、承包地、山坡、水面上，依据生态经济学的基本原理和系统