



新农村节能住宅建设系列丛书

节能住宅 沼气技术

常 茹 主编

中国建筑工业出版社

新农村节能住宅建设系列丛书

节能住宅沼气技术

常 茹 主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

节能住宅沼气技术/常茹主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 11

(新农村节能住宅建设系列丛书)

ISBN 978-7-112-17496-6

I. ①节… II. ①常… III. ①农村住宅-沼气利用
IV. ①S216.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 269818 号

本书共 9 章内容, 第 1 章简要介绍了生物质能的形成、来源、应用技术及其发展前景, 第 2 章至第 8 章分别介绍了沼气基础知识与沼气用具、户用沼气池技术、大中型沼气技术简介、沼气产品综合应用技术及生态农业模式、户用沼气池的使用与管理、沼气设施常见故障及解决措施、推行沼气技术的相关政策等。内容较为翔实, 深入浅出, 实用性较强。可作为广大农村沼气用户的技术资料, 也可作为沼气技术培训教材, 可供从事环境工程、农村能源、生态农业等专业的师生和技术人员参考。

* * *

责任编辑: 张 晶 吴越恺

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 关 健

新农村节能住宅建设系列丛书

节能住宅沼气技术

常 茹 主 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 13 $\frac{3}{4}$ 字数: 230 千字

2015 年 3 月第一版 2015 年 3 月第一次印刷

定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-17496-6

(26692)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

丛 书 编 委 会

主 任：王 喆

副主任：于双民 王建廷

委 员：王 俊 郑向阳 刘 戈 文科军 吴丽萍

张志刚 任绳凤 常 茹 赵国敏 龙天炜

序

本套丛书是基于“十一五”国家科技支撑计划重大项目研究课题“村镇住宅节能技术标准模式集成示范研究”(2008BAJ08B20)的研究成果编著而成的。丛书主编为课题负责人、天津城建大学副校长王建廷教授。

该课题的研究主要围绕我国新农村节能住宅建设,基于我国村镇的发展现状和开展村镇节能技术的实际需求,以城镇化理论、可持续发展理论、系统理论为指导,针对村镇地域差异大、新建和既有住宅数量多、非商品能源使用比例高、清洁能源用量小、用能结构不合理、住宅室内热舒适度差、缺乏适用技术引导和标准规范等问题,重点开展我国北方农村适用的建筑节能技术、可再生能源利用技术、污水资源化利用技术的研究及其集成研究;重点验证生态气候节能设计技术规程、传统采暖方式节能技术规程;对村镇住宅建筑节能技术进行综合示范。

本套丛书是该课题研究成果的总结,也是新农村节能住宅建设的重要参考资料。丛书共7本,《节能住宅规划技术》由天津市城市规划设计研究院郑向阳正高级规划师、天津城建大学张戈教授任主编;《节能住宅施工技术》由天津城建大学刘戈教授任主编;《节能住宅污水处理技术》由天津城建大学文科军教授任主编;《节能住宅有机垃圾处理技术》由天津城建大学吴丽萍教授任主编;《节能住宅沼气技术》由天津城建大学常茹教授任主编;《节能住宅太阳能技术》由天津城建大学张志刚教授、魏璠副教授任主编;《村镇节能型住宅相关标准及其应用》由天津城建大学任绳凤教授、王昌凤副教授、李宪莉讲师任主编。

丛书的编写得到了科技部农村科技司和中国农村技术开发中心领导的
此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

大力支持。王喆副司长，于双民处长和王俊副处长给予了多方面指导，王喆副司长亲自担任编委会主任，确保了丛书服务农村的方向性和科学性。课题示范单位蓟县毛家峪李锁书记，天津城建大学的龙天炜教授、赵国敏副教授为本丛书的完成提出了宝贵的意见和建议。

丛书是课题组集体智慧的结晶，编写组总结课题研究成果和示范项目建设经验，从我国农村建设节能型住宅的现实需要出发，注重知识性和实用性的有机结合，以期普及科学技术知识，为我国广大农村节能住宅的建设做出贡献。

丛书主编：王建廷

前 言

沼气是可再生的清洁能源，既可替代秸秆、薪柴等传统生物质能源，也可替代煤炭等商品能源，而且能源利用效率明显高于秸秆、薪柴、煤炭等。

中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。农村沼气把能源建设、生态建设、环境建设、农民增收连接起来，促进了生产发展和生活文明。

发展农村沼气，是建设节约型社会和环境友好型社会的重要措施，是全面建设小康社会、推进社会主义新农村建设的重要手段。加快发展农村沼气，是构建和谐农村的有效途径，是中国能源战略的重要组成部分，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。党的十六届五中全会明确提出“大力普及农村沼气，发展适合农村特点的清洁能源”。因此，大力发展适合新时期要求的新型农村清洁能源——沼气势在必行。

推广沼气技术，能够大大减轻农牧民劳动强度，减少炊事劳动时间，从根本上改善农村卫生环境状况，消除农牧民火灾隐患，农牧民生活质量将得到显著提高，而且农村牧区能源资源会得到合理开发利用，同时极大地调动广大农牧民学科学、用科学的积极性，提高劳动就业率。另外沼气产品的有效利用，使得耕地的有机质含量明显提高，封山育林成果进一步得到巩固，草原生态环境得以改善。

编写本书的主要目的在于普及沼气基础知识以及沼气池的管理和综合利用等实用技术，让农村沼气用户更好地掌握和使用沼气，使沼气产品更好地发挥其效能，避免安全事故的发生，但沼气知识的普及和应用并非纸

上谈兵，是一个任重而道远的过程！我们的编写工作只是起到试金石的作用。

本书第1~4章、第5章第1~2节、第6~7章、第9章由天津城建大学常茹编写，第5章第3节、第8章由天津城建大学建筑设计研究院范国强编写，全书统稿由常茹完成。天津城建大学能源与安全工程学院硕士研究生曹为学、李自朋等参与了本书的资料收集并绘制了部分插图，在此一并表示感谢。在编写过程中力求概念明确、层次分明、重点突出、简单实用。因编写人员知识水平和实践经验有限，书中定有诸多不妥之处，恳请广大读者和专家批评指正。

目 录

1 生物质能概述	1
1.1 生物质能的形成与来源	2
1.2 生物质能利用技术	8
1.3 生物质能发展现状与展望	26
2 沼气及沼气用具	31
2.1 沼气基础知识	31
2.2 沼气发酵基础知识	32
2.3 沼气用具与设备	41
3 农村户用沼气池	69
3.1 户用沼气池的分类	69
3.2 户用沼气池池型	70
3.3 商品化沼气池	82
3.4 沼气池的建造技术	87
4 大中型沼气工程技术简介	97
4.1 大中型沼气工程基本工艺流程	97
4.2 厌氧消化器	103
4.3 大中型沼气的设备	114
4.4 我国大中型沼气工程技术现状及相关法规、标准	125

5 沼气产品综合应用技术与能源生态农业模式	127
5.1 沼气的综合利用	127
5.2 沼渣和沼液的综合利用	132
5.3 沼气为纽带的生态农业模式	145
6 户用沼气池的使用与管理	155
6.1 沼气池的使用与日常管理	155
6.2 沼气池配套设备的使用与管理	161
6.3 沼气池的保养与维修	164
6.4 沼气池的运行与管理	167
6.5 沼气池安全	173
6.6 沼气池的冬春季管理	176
7 沼气池与配套设备常见故障及解决方法	181
7.1 沼气发酵过程中的常见问题与处理方法	181
7.2 病态沼气池及维修	182
7.3 沼气用具常见故障和解决方法	186
7.4 沼气池常见故障与处理方法	193
8 推行沼气技术的相关法规与政策	201
8.1 国家相关政策及法规	201
8.2 部分省、市、地区沼气政策汇编	203
9 结语	207
参考文献	210

生物质能概述

1

能源是人类赖以生存的物质基础，是国民经济的基本支撑。我国是能源消费大国，能源供应主要依靠煤炭、石油和天然气等化石能源，而化石能源资源的有限性及其开发利用过程对环境生态造成的巨大压力，严重制约着经济社会的可持续发展。在这种形势下，开发清洁的可再生能源已成为我国能源领域的一个紧迫课题。其中生物质能储量在全球十分丰富，是一种重要的可持续发展的可再生能源。我国是一个世界上最大的以农业为主的国家，具有极为丰富的生物质能资源。利用来源广泛、形式多样的生物质资源，为我国农村能源乃至国家能源安全提供保障，将是未来我国能源战略的重要内容。

中国政府及有关部门对生物质能源利用也极为重视，已连续在四个国家五年计划中将生物质能利用技术的研究与应用列为重点科技攻关项目，开展了生物质能利用技术的研究与开发，如户用沼气池、节柴炕灶、薪炭林、大中型沼气工程、气化与气化发电、生物质燃料技术等，取得了多项优秀成果。政策方面，2005年2月28日，第十届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议通过了《可再生能源法》，2006年1月1日起已经正式实施，并于2006年陆续出台了相应的配套措施。

胡锦涛总书记曾指出：“加强可再生能源开发利用，是应对日益严重的能源和环境问题的必由之路，也是人类社会实现可持续发展的必由之路。”《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》明确提出，要“加快开发生物质能”。《中共中央国务院关于积极发展现代农业 扎实推进社会主义新农村建设的若干意见》中提出，“以生物质能源、生物质产品和生物质原料为主要内容的生物质产业，是拓展农业功能、促进资源利用的朝阳产业”，“启动农作物秸秆固化成型燃料试点项目”，“鼓励有条件的地方利用荒山、荒地等资源，发展生物质原料作物种植”。这表明中国政府已在法律上明确了可再生能源包括生物质能在现代能源中

的地位，并在政策上给予了巨大优惠支持，因此，中国生物质能发展前景和投资前景极为广阔。

1.1 生物质能的形成与来源

生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体，包括所有动植物和微生物。生物质能是以生物质为载体，蕴藏在生物质中的能量。

1.1.1 生物质能的形成

生物质能直接或间接地来源于绿色植物的光合作用，通过叶绿素将太阳能转化为化学能而储存在生物质内部的能量，包括由生物质转化而来的现代能源载体。也可以说生物质能是太阳能以化学能形式储存在生物质中的能量形式，可转化为常规的固态、液态和气态燃料，替代煤炭、石油和天然气等化石燃料，生物质能是唯一一种可再生的碳源。从广义上讲，生物质能是太阳能的一种表现形式。

光合作用是绿色植物通过叶绿体利用太阳能把二氧化碳和水合成为储存能量的有机物，并且释放出氧气的过程。

从光合作用的全过程来看，可将光合作用分为两个阶段，一个是光反应阶段，在叶绿体内基粒的囊状结构上进行，首先将水分子分解成 O 和 H，释放出氧气；然后在光照下将二磷酸腺苷（简称 ADP）和无机磷合成为游离核苷酸（简称 ATP）。另一个是暗反应阶段，即没有光能也可进行的化学反应，在叶绿体内的基质中进行，首先是二氧化碳的固定，二氧化碳与五碳化合物结合，形成三碳化合物，其中一些三碳化合物接受 ATP 释放的能量，被氢还原，再经过一系列复杂的变化，形成糖类，ATP 中活跃的化学能转变为糖类等有机物中稳定的化学能。

生物质能与煤、石油和天然气等化石能源不同，它是来自新近生存过的生物。生物质能是一种取之不尽、用之不竭的可再生能源。在世界能耗中，生物质能约占 14%，在不发达地区占 60% 以上。可以说，全世界约 25 亿人的生活用能 90% 以上来自于生物质能。生物质能的优点是燃烧容易，污染少，灰分较低；缺

点是发热量及热效率低,直接燃烧生物质的热效率仅为 10%~30%,而且生物质能体积大,不易运输。

1.1.2 生物质能的来源

生物质能有两大主要来源,一个是为了获取生物质能而专门种植的农林作物,可称之为能源作物;另一个就是废弃物,包括农林业、工业和人们生活中的废弃物等。

1. 能源作物

能源作物是指经专门种植用以提供能源原料的草本和木本植物,包括农作物和林业作物两种。

(1) 农作物

我国有大量不适于粮食生产但可种植高抗逆性能源作物的荒山、荒坡和盐碱地等边际性土地,选择适合不同生长条件的品种进行培育和繁殖,可获得高产能源作物,并大规模转化为燃料乙醇和生物柴油等液体燃料。我国可转换为能源用途的作物和植物品种有 200 多种,目前适宜开发用于生产燃料乙醇的农作物主要有甘蔗、甜高粱、木薯、甘薯、玉米、马铃薯等,其中玉米、马铃薯用于生产燃料乙醇时,容易影响国家粮食安全,故不宜作为主要品种开发,用于生产生物柴油的农作物主要有油菜等。

1) 甘蔗

甘蔗属于多年生热带和亚热带草本作物,以南、北回归线之间为最适宜生长区,可用于制糖和生产燃料乙醇。今后利用甘蔗发展燃料乙醇的潜力主要来自三个方面:一是甘蔗糖料生产过程中产生的副产品糖蜜,2005 年至 2006 年度制糖期,我国甘蔗种植面积约 2000 万亩,产量约 8600 万 t,产糖 1000 万 t 左右,副产糖蜜约 340 万 t,可以生产燃料乙醇 80 万 t 左右,折合标准煤 110 万 t 左右;二是走以糖为主、糖能互动发展之路。目前,我国甘蔗亩产仅为 4.3t 左右,单产提升空间较大,有关科研单位已经选育出亩产 6~7.5t 的糖能兼用品种,若大面积种植,将大幅度提高甘蔗产量,不仅可以进一步保障食糖原料供应,还为生产燃料乙醇提供更多保障条件,实现糖能互动联产;三是适当开发南方宜蔗土地新增的甘蔗。我国广西、广东、海南、云南等省区尚有 0.1 亿亩的宜蔗土地,若

其中一半土地种植糖能兼用甘蔗, 按亩产 6t 计算, 可生产 3000 万 t 左右的甘蔗, 将产出 200 万 t 以上燃料乙醇, 折合 285 万 t 标准煤。

2) 甜高粱

甜高粱具有耐干旱、耐水涝、抗盐碱等多重抗逆性, 素有“高能作物”之称, 亩产 300~400kg 粮食以及 4t 以上茎秆, 茎秆汁液含糖量 16%~20% 左右, 每 16~18t 茎秆可生产 1t 燃料乙醇。目前我国种植规模不大, 且比较分散, 北京、天津、河北、内蒙古、河南、山东、辽宁、吉林、黑龙江、陕西、新疆维吾尔自治区等省份都有种植。若开发我国现有 1.5 亿亩盐碱地的 1/5 用于种植甜高粱, 按一般农田产量的 50% 计, 收获甜高粱茎秆 6000 万 t, 可生产 350 万 t 左右燃料乙醇, 折合标准煤 500 万 t 左右。

3) 木薯

木薯具有易栽、耐旱、耐涝、高产等特点, 适合在热带、亚热带地区种植, 主要分布在广西、广东、海南、福建、云南、湖南、四川、贵州、江西等九省(区), 但木薯亩产仅为 1.1t, 如采用优质木薯品种, 并加强田间管理和水肥到位, 亩产可达 3~5t。鲜木薯的淀粉含量在 30%~35% 左右, 约 7t 鲜薯可生产 1t 燃料乙醇。目前, 广西、广东、海南、福建、云南等省份仍有荒地、裸土地及后备宜林、宜农、宜牧荒山等未利用土地约 2 亿亩, 若开发 1/5 用于种植木薯, 按亩产 2t 计算, 可收获 8000 万 t, 生产燃料乙醇约 1000 万 t, 折合 1430 万 t 标准煤。

4) 甘薯

甘薯具有耐旱、抗风、病虫害少等特性, 能适应贫瘠土地。鲜甘薯淀粉含量在 18%~30% 之间, 约 8t 甘薯可生产 1t 燃料乙醇, 但因回收季节在秋冬季, 易冻伤和腐烂, 目前约有 20% 左右的甘薯在储存过程中损耗, 若及时加工, 可有效提高燃料乙醇的生产效率。

5) 油菜

油菜是主要油料作物之一, 适应范围广, 发展潜力大。我国长江流域、黄淮地区、西北和东北地区都适宜油菜生长, 适宜区域的耕地面积在 15 亿亩以上。2005 年我国油菜籽种植面积 1.1 亿亩, 年产量约 1300 万 t。目前, 我国南方水田区有冬闲田约 0.6 亿亩, 南方丘陵耕地、北方灌区、北方旱作耕地也存在不同

类型的季节性闲地约 0.8 亿亩。油菜亩产菜籽 120kg, 平均产油率 30%。如利用上述土地的 50% 种植油菜, 菜籽产量可达到 840 万 t, 可生产生物柴油约 250 万 t, 折合标准煤 350 万 t 左右。

(2) 林业作物

传统的林业作物需要很长的生长周期, 而专门用来获取能量的林业作物生长周期要短得多, 这种作物只需 2~4 年的生长之后就可将其树干砍下作为生物质资源, 而树桩还会继续生长, 这个循环大约能持续 30 年。

林业作物最典型的应用就是提供热量, 如瑞典就有 1.8 亿 m^2 的能源作物用来提供热量。林业作物既可单独作为能源来使用, 也可与煤炭等其他能源一起使用。在英国 North Yorkshire 即将建成的 ARBRE 发电厂是世界上最先进的利用能源作物的电厂之一, 它是将生物质汽化后再进行利用。在美国、澳大利亚和新西兰, 比较常见的能源作物是桉树, 利用的土地都是尽量选择退化荒废的土地。

我国国家林业局于 2008 年 1 月 22 日发布的《中国林业与生态建设状况公报》中表示, 中国将大力发展林业生物质能源。《公报》中指出, 发展林业生物质能源, 主要是通过工业化利用途径, 将富含油脂、木质纤维及非食物类果实淀粉的林木生物质材料转化为多种形式的能源产品和生物基产品, 包括生物柴油和燃料乙醇、固体成型燃料、气体燃料、直燃发电以及生物塑料等。

中国现有的灌木林、薪炭林、林业剩余物中, 每年可提供发展林业生物质能源的生物量为 3 亿 t 左右, 折合标准煤约 2 亿 t, 如全部得到利用, 能够减少十分之一的化石能源消耗; 如刺槐、沙棘、怪柳等资源, 通过平茬收割可作为燃料, 用于生物发电或加工固体成型燃料。此外, 中国木本油料树种总面积超过四百万公顷, 种子含油量在百分之四十以上的植物有一百五十四种。目前, 具有良好的资源和技术基础并可规模化培育的油料能源树种约有十种, 如文冠果、油桐、乌桕、石栗树等。其中, 麻疯树栽培二至三年即可结果, 结果期长达三十至五十年, 其果实平均含油率为 40% 左右, 每亩果实产量达 200kg, 可生产生物柴油 60kg 左右。

为大力发展林业生物质能源, 提升可再生能源比重, 促进节能减排降耗, 推动生态文明建设, 中国国家林业局成立了林业生物质能源领导小组及其办公室, 并将规模化培育能源林列入“十一五”林业发展规划, 编制了《全国能源林建设

规划》、《林业生物柴油原料林基地“十一五”建设方案》。为逐步建立从原料培育、加工生产到销售利用的“林油一体化”、“林电一体化”发展模式，中国国家林业局先后与中国石油、中粮集团、国家电网公司等开展了合作。2007年已在云南、四川、湖南、安徽、河北、内蒙古、陕西等省区合作建设油料能源林基地一百万亩，并积极推动林业生物柴油加工业的发展。国家电网公司所属的国能生物发电公司在山东省建立的以林木质为主要原料的生物发电厂已投产运行，并着手在黑龙江省、内蒙古自治区等地建设林木质生物发电厂。

2. 废弃物

废弃物包括林业废弃物、农业废弃物、动物排泄物、城市生活垃圾以及工业废弃物等。无论是农林业废弃物还是工业废弃物，都是生物质能的潜在来源。它们含有丰富的有机物，可以直接将其燃烧便能得到能量。当然工业废弃物中也含有塑料等一些不容易燃烧或降解的物质，所以能否将废弃物都称为可再生能源还存在一些争议。

(1) 林业废弃物

在砍伐和加工树木的同时，总会产生大量的木屑、锯末、刨花等，甚至是整块的木头被遗弃，如果不加以利用，它们在自然界中就会腐化成为其他作物的养料，同时也会散发大量的气体，污染大气环境。随着科技的进步，许多国家都开始利用这些废弃物来发热、发电，如澳大利亚有6%的电量就是利用林业废弃物来作为动力进行发电而供应给用户的。

(2) 农业废弃物

农业废弃物是指农业生产、农产品加工、畜禽养殖业和农村居民生活排放的废弃物的总称，农业废弃物种类多种多样，但按其成分，主要包括植物纤维性废弃物和人类尿与畜禽粪便两大类。其中植物纤维性废弃物主要包括农作物秸秆、农产品加工业废弃物等。

1) 农作物秸秆

我国的农作物秸秆主要分布在河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、河南、山东、湖北、湖南、江西、安徽、四川、云南等粮食主产区，单位国土面积秸秆资源量高的省份依次为山东、河南、江苏、安徽、河北、上海、吉林、湖北等省。依据《全国农业和农村经济发展第十一个五年规划》提出的主要农产品

发展目标测算,预计到2015年我国主要农作物秸秆产量将达到9亿t左右,其中约一半可作为农业生物质能的原料。

2) 农产品加工业废弃物

农产品加工业废弃物主要包括稻壳、玉米芯、甘蔗渣等,大多来源于粮食加工厂、食品加工厂、制糖厂和酿酒厂等,数量巨大,产地相对集中,易于收集处理。其中,稻壳是稻谷加工的主要剩余物之一,占稻谷重量的20%,主要产于东北地区和湖南、四川、江苏、湖北等省;玉米芯是玉米穗脱粒后的穗轴,约占穗重的20%,主要产于东北地区和河北、河南、山东、四川等省;甘蔗渣是蔗糖加工业的主要副产品,蔗糖与蔗渣各占50%,主要产于广东、广西、福建、云南、四川等省区。稻壳和玉米芯可通过固化成型转化成为固体燃料、甘蔗渣可通过发电等方式提高利用效率。2005年上述副产品的总量超过1亿t,经充分利用可生产0.31亿~0.67亿t标准煤的能源。

此外,我国作为世界最大的棉花生产国,每年棉籽产量1300万t,可产棉籽油200万t左右,由于近年来我国豆油产量迅猛增长,棉籽油消费量萎缩,大量的棉籽没有充分利用,为生物柴油提供了一条重要的原料来源。

3) 畜禽粪便

畜禽粪便是畜禽排泄物的总称,它是其他形态生物质(主要是粮食、农作物秸秆和牧草等)的转化形式,包括畜禽排出的粪便、尿及其与垫草的混合物。畜禽粪便是一种重要的生物质能源,除在牧区有少量的粪便直接燃烧外,禽畜粪便主要是作为沼气的发酵原料。

截止到2005年,全国有生猪分散养殖户0.9亿户,奶牛、肉牛养殖户0.157亿户,蛋肉鸡养殖户0.85亿户,羊养殖户0.26亿户。综合考虑混合养殖、气候和社会经济等因素对利用畜禽粪便生产沼气的影 响,约有1.48亿农户适宜发展沼气。考虑到城镇化和养殖业变化,预计到2015年我国适宜发展沼气农户为1.30亿户,沼气产量可达到502亿 m^3 ,相当于替代7880万t标准煤。同时全国有猪、牛、鸡三大类畜禽规模化养殖场约391万处,其中,各类畜禽规模化养殖小区已达4万多个,存栏量约5.7亿头猪单位(30只蛋鸡折算成1头猪,60只肉鸡折算成1头猪,1头奶牛折算成10头猪,1头肉牛折算成5头猪),畜禽粪便资源的实物量为11.2亿t,理论上可生产670亿 m^3 的沼气。其