

“十二五”
国家重点图书



21 世纪可持续能源丛书

生物质能资源 清洁转化利用技术

(第二版)

田宜水 姚向君 编著



化学工业出版社

“十二五”
国家重点图书



21 世纪可持续能源丛书

生物质能资源 清洁转化利用技术

(第二版)

田宜水 姚向君 编著



化学工业出版社

本书以可持续能源发展和环境保护为主题,重点介绍了生物质能资源及其清洁转化利用技术。全书共分为13章,内容包括生物质能的定义与分类、生物质能资源的生产与再生产、沼气技术、生物质燃烧技术、生物质固体成型燃料技术、生物质热解与碳化技术、生物质气化技术、生物质液化技术、生物柴油、生物燃料乙醇、微藻生物能源、城市固体废物能源处理技术以及生物质能开发利用技术展望等。本书作为高级科普读物,内容全面,逻辑严谨,结构清晰,技术前沿,富有生命力。

本书可供从事新能源、可再生能源研究的相关人员参考,也可供高等院校相关专业学生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

生物质能资源清洁转化利用技术/田宜水,姚向君编著.
2版.—北京:化学工业出版社,2014.4
(21世纪可持续能源丛书)
ISBN 978-7-122-20070-9

I. ①生… II. ①田… III. ①生物能源-资源利用-
无污染技术-基本知识 IV. ①TK6

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第049628号

责任编辑:戴燕红

责任校对:顾淑云 李爽

文字编辑:丁建华

装帧设计:韩飞

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:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张34 $\frac{1}{2}$ 彩插2 字数648千字 2014年8月北京第2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:138.00元

版权所有 违者必究



21 世纪可持续能源丛书

第二版序

20 世纪末，随着人类社会发展对能源可持续供应的迫切需要，出现了“可持续能源”的理念，并受到全世界人们的关注。

21 世纪以来，能源更是渗透到了人们生活的每个角落，成为影响全球社会和经济发展的第一要素。目前中国已经成为全球能源生产与消费的第一大国，能源与经济的关系、能源与环境的矛盾、能源与国家安全等问题日显突出。因此，寻找新型的、清洁的、安全可靠并可可持续发展的能源系统是广大能源工作者的历史使命。

2005 年，化学工业出版社出版了“21 世纪可持续能源丛书”，受到我国能源工作者的广泛好评；时隔 8 年，考虑到能源形势的变化和新技术的出现，又准备出版“21 世纪可持续能源丛书”（第二版），的确是令人高兴的事情。

“21 世纪可持续能源丛书”（第二版）共 12 册，仍然以每一个能源品种为一个分册，除对原有的内容做了更新，补充了最新的政策、技术和数据等外，增加了《储能技术》、《节能与能效》、《能源与气候变化》3 个分册。丛书第二版包括了未来能源与可持续发展的概念、政策和机制，各能源品种的资源评价、新工艺技术及特性以及开发和利用等；新增加的 3 个分册介绍了最新的储能技术，能源对环境与气候的影响以及提高能源效率等，使得丛书内容更加广泛、丰富和充实。

由于内容的广泛性和丰富性，以及参加编写的专家的权威性，本套丛书在深度和广度上依然保持了较高的学术水平和实用价值，是能源工作者了解能源政策及信息，学习先进的能源技术和广大读者普及能源科技知识的不可多得的

好书。

让我们期待这套丛书的出版发行，能为我国 21 世纪可持续能源的发展作出贡献。

王大中

中国科学院院士
2013 年 11 月 6 日

第一版序

能源是人类社会存在与发展的物质基础。过去 200 多年，建立在煤炭、石油、天然气等化石燃料基础上的能源体系极大地推动了人类社会的发展。然而，人们在物质生活和精神生活不断提高的同时，也越来越感悟到大规模使用化石燃料所带来的严重后果：资源日益枯竭，环境不断恶化，还诱发了不少国与国之间、地区之间的政治经济纠纷，甚至冲突和战争。因此，人类必须寻求一种新的、清洁、安全、可靠的可持续能源系统。

我国经济正在快速持续发展，但又面临着有限的化石燃料资源和更高的环境保护要求的严峻挑战。坚持节能优先，提高能源效率；优化能源结构，以煤为主多元化发展；加强环境保护，开展煤清洁化利用；采取综合措施，保障能源安全；依靠科技进步，开发利用新能源和可再生能源等，是我国长期的能源发展战略，也是我国建立可持续能源系统最主要的政策措施。

面临这样一个能源发展的形势，化学工业出版社组织了一批知名学者和专家，撰写了这套《21 世纪可持续能源丛书》是非常及时和必要的。

这套丛书共有 11 册，以每一个能源品种为一册，内容十分广泛、丰富和充实，包括资源评价，新的工艺技术特性介绍，开发应用中的经济性和环境影响，还涉及推广应用和产业化发展中的政策和机制等。可以说，在我国能源领域中，这套丛书在深度和广度上都达到了较高的学术水平和实用价值，不仅为能源工作者提供了丰富的能源科学技术方面的专业知识、信息和综合分析的政策工具，而且也能使广大读者更好地了解当今世界正在走向一个可持续发展的、与环境友好的能源新时代，因此值得一读。

我们期待本丛书的出版发行，在探索和建立我国可持续能源体系的进程中作出应有的贡献。

中国科学院院士

王大中

2004年7月8日

第二版前言

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，而化石能源资源的不可持续性对生态环境造成的巨大压力，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。

生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体。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，它以生物质为载体，直接或间接地来源于绿色植物的光合作用，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，可永续利用，具有环境友好和可再生双重属性，发展潜力巨大。

发展生物质能产业，有利于拓展农产品的原料用途和加工途径，为农业提供了一个产品附加值高和市场潜力无限的平台；有利于转变农业增长方式，发展循环经济，延伸农业产业链条，提高农业效益，拓展农村剩余劳动力转移空间，在促进区域经济发展、增加农民收入等方面大有可为；对缓解化石能源供应紧张局面，优化能源结构，保障国家能源安全，建立稳定的能源供应体系具有重大意义；是推动节能减排的战略举措，是保护生态环境的重要途径，有利于建立资源节约型和环境友好型社会，促进人与自然和谐发展与经济社会的可持续发展。

本书第一版于2005年出版。当时，我国生物质能开发利用仍处在发展的初始阶段，不同种类技术的研发深度和产业化现状并不平衡，部分处于技术研发阶段技术并未涵盖或仅简单介绍。“十一五”以来，我国生物质能利用技术

取得了明显进展。农村户用沼气、养殖场沼气工程和秸秆发电技术等生物质能转化利用技术已经比较成熟，通过政府提供补贴等经济激励政策，实现了产业化应用；生物质固体成型燃料、秸秆沼气等技术正处于试点示范阶段，或正进入商业化早期发展阶段，将实现产业化；纤维素降解制取乙醇和费托合成等技术正处于研发阶段，有望在近期取得突破，实现商业化应用。这次针对上述形式作了较大修改，增加了许多新技术、新领域和新成果，反映了近年来生物质能技术产业发展现状与未来趋势，并对全书进行了修订，对数据进行了更新。

本书分为 13 章，内容包括生物质能的定义与分类、生物质能资源的生产与再生产、沼气技术、生物质燃烧技术、生物质固体成型燃料技术、生物质热解与碳化技术、生物质气化技术、生物质液化技术、生物柴油、生物燃料乙醇、微藻生物能源、城市固体废物能源处理技术以及生物质能开发利用技术展望。

与第一版相比，主要变化为：增加了第 11 章微藻生物能源，第 2 章更新了生物质能资源的数据，第 3 章增加了秸秆沼气和沼气提纯高值利用等，第 4 章增加了生物质收集、运输和储藏及生物质结渣问题和解决方法等，第 5 章增加了生物质成型燃料特性和标准，第 6 章增加了生物炭，第 9 章增加了生物柴油的燃料特性，第 10 章增加了生物丁醇和生物质化工等，重新撰写了第 13 章；此外，对其他章节进行了补充和修订，丰富了内容。

本书是由田宜水拟订全书总体修订框架和编写原则，并统筹全书编写工作。其中，袁艳文参与了第 4 章和第 6 章的编写工作，姚宗路、霍丽丽参与了第 4 章的编写工作，孙丽英负责第 11 章的编写。

目前，生物质能转化利用技术发展较快，其本身也是由多学科组成的交叉科学。由于时间仓促和编者水平所限，书中难免存在不足和疏漏，敬请读者批评指正。

编者

2014 年 2 月 25 日于北京

第一版前言

步入 21 世纪的今天,人类正面临着经济增长和环境保护的双重压力,能源问题是当今世界各国都面临的关系国家安全和经济社会可持续发展的中心议题。生物质能作为世界一次能源消费中的第四大能源资源,在历史长河中与人类生活密切相关,是惟一可存储和运输的可再生能源,在人类未来的能源系统中也将占有重要地位。因此改变我国传统的能源生产、消费模式,利用生物质能等清洁可再生能源,对建立可持续发展的能源系统,促进我国经济发展和环境保护具有十分重大的现实和战略意义。

全书以可持续能源发展和环境保护为主题,重点介绍生物质能资源及其清洁转化、利用技术。全书共分 10 章,包括生物质能的定义与分类、生物质能资源的生产与再生产、沼气技术、生物质燃烧技术、生物质压缩成型技术、生物质热化学转化技术、生物燃料、城市固体废物能源利用技术以及生物质能开发利用技术展望等内容。

本书由姚向君和田宜水编著,在第 3 章的编写过程中,得到了邱凌教授、周孟津教授和张衍林教授的大力帮助。另外,吴文树工程师在资料收集、图形处理和文稿校对等方面做了大量的工作,崔远勃教授也提供了一些帮助,特此表示感谢。

目前,生物质能转化利用技术发展较快,其本身也是由多学科组成的交叉科学。由于时间仓促和作者水平所限,书中难免存在不足和疏漏,敬请读者批评指正。

编者

2004 年 6 月 6 日于北京



图 1 木薯种植林



图 2 微藻养殖

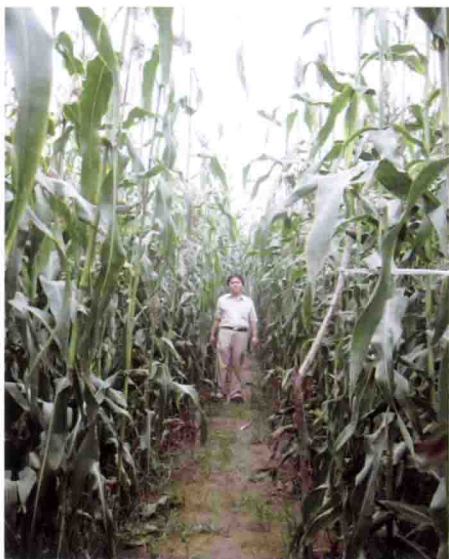


图 3 甜高粱种植



图 4 秸秆捆烧锅炉（波兰）



图 5 北京大兴生物质成型燃料生产厂



图 6 德国生物质成型燃料厂



图 7 生物质成型燃料专用运输车



图 8 秸秆直接燃烧发电（江苏射阳）

图 9 Alholmen Kraft 生物质能热电联产电厂（芬兰，240MWe）



图 10 Dynamotive's 生物质流化床快速热解设备（加拿大）

图 11 生产乙醇的工厂（美国）





图 12 用生物柴油驱动的汽车（德国）



图 13 沼气工程（德国）



图 14 沼气工程（丹麦）

目 录

1 生物质能	1
1.1 生物质的组成与结构	1
1.1.1 光合作用	2
1.1.2 植物细胞的结构	3
1.1.3 原生质的化学组成	4
1.1.4 细胞壁的化学组成	5
1.1.5 细胞后含物	6
1.1.6 植物的组织和器官	8
1.2 生物质能资源	9
1.2.1 资源的概念	9
1.2.2 能源的概念	10
1.2.3 生物质能的分类	14
1.3 生物质能转化利用技术	15
1.3.1 生物质能转化利用技术	15
1.3.2 生命周期分析法	18
2 生物质能资源的生产与再生产	20
2.1 生物质资源的生产与再生产	20
2.1.1 生物圈的环境	20
2.1.2 生态系统	21

2.1.3	生态系统的能量流动	21
2.1.4	生态系统的物质循环	22
2.1.5	生态系统的生产与再生产	23
2.1.6	人工生产与再生产	24
2.2	生物质资源生产的周期性	24
2.2.1	植物生活周期	24
2.2.2	季节周期性	24
2.2.3	昼夜周期性	25
2.3	林业生物质能资源的生产与再生产	25
2.3.1	林业资源	25
2.3.2	薪炭林	27
2.3.3	林产品加工业废弃物	29
2.3.4	木本油料作物	29
2.3.5	林业的可持续发展	30
2.4	农业生物质能资源的生产与再生产	30
2.4.1	农作物秸秆	30
2.4.2	农产品初加工剩余物	41
2.4.3	畜禽粪便	41
2.4.4	生产燃料乙醇的原料	47
2.4.5	利用未利用土地资源发展能源作物潜力分析	58
2.4.6	草本木质纤维原料	73
2.5	工业有机废水	77
2.5.1	几种典型的工业有机废水	78
2.5.2	废水对环境的影响	79
2.6	城市固体废物	80
2.6.1	废物的循环	80
2.6.2	城市固体废物的特性	81
2.6.3	固体废物对环境的影响	82
2.7	藻类	84
2.7.1	内陆水域资源	85
2.7.2	海洋水域资源	86
3	沼气技术	88
3.1	沼气发酵原理	88
3.1.1	沼气的定义	88
3.1.2	沼气发酵的微生物学原理	89