

可再生能源丛书

生物质能 利用原理与技术

袁振宏 吴创之 马隆龙 等编著



化学工业出版社



可再生能源丛书

氢燃料

燃料电池

地热利用技术

生物质能利用原理与技术

天然气水合物储存与运输技术

热能存储技术与应用

生物质热化学转换技术

太阳能光伏发电技术

燃料乙醇生产与应用技术

ISBN 7-5025-6310-5



9 787502 563103 >

销售分类建议：能源

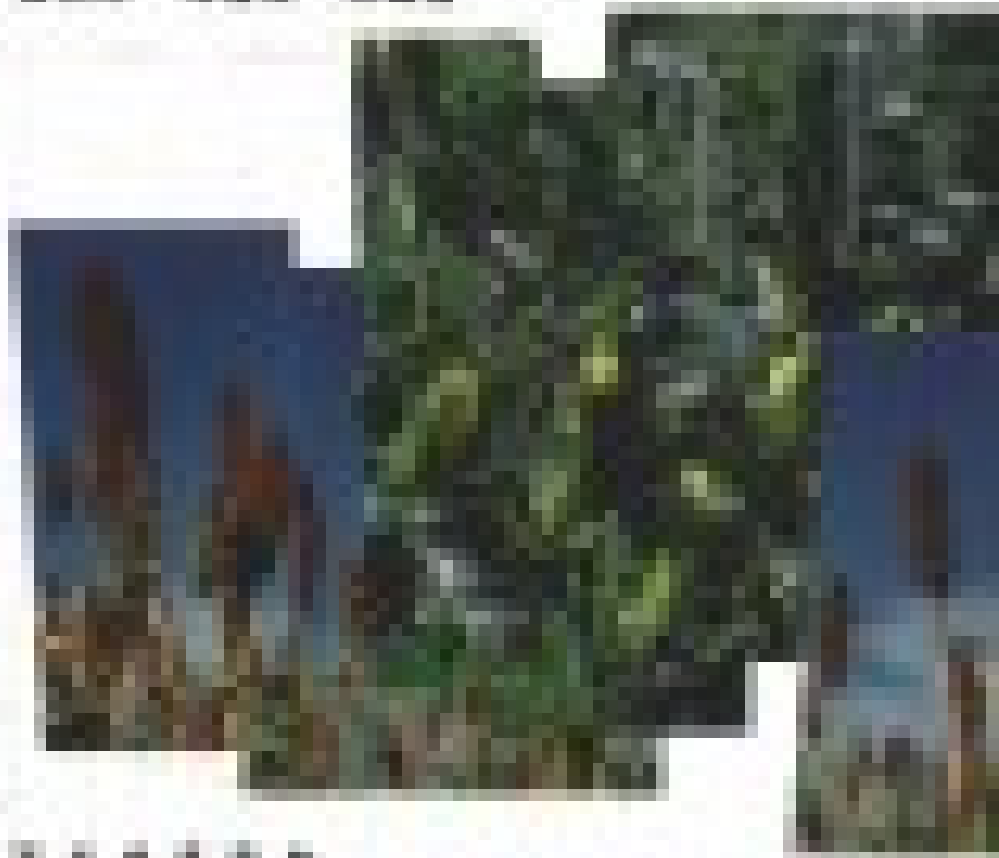
ISBN 7-5025-6310-5/TK·15

定价：42.00元

中国环境科学出版社

生物质能 利用原理与技术

张世英 王明强 王世强 王世强



中国环境科学出版社

可再生能源丛书

生物质能利用原理与技术

袁振宏 吴创之 马隆龙 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生物质能利用原理与技术/袁振宏, 吴创之, 马隆龙
等编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 11

(可再生能源丛书)

ISBN 7-5025-6310-5

I. 生… II. ①袁…②吴…③马… III. 生物能
源-应用 IV. TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 117077 号

可再生能源丛书

生物质能利用原理与技术

袁振宏 吴创之 马隆龙 等编著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 焦欣渝

责任校对: 顾淑云 吴 静

封面设计: 关 飞

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http: //www. cip. com. cn

新华书店北京发行所经销

北京兴顺印刷厂印装

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 25½ 字数 480 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6310-5/TK·15

定 价: 42.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

可再生能源，包括太阳能、风能、生物质能、水能、地热能、海洋能，是广泛存在、用之不竭、可以自由索取、最终可依赖的初级能源。直至近二三百年来化石能源得以大规模开发使用以前，它一直是人类赖以生存与发展的主要能源来源。当前，化石能源与核裂变能已成为最主要的商品能源，可再生能源中只有水能在商品能源中占有明显的份额。自20世纪70年代开始，人们认识到根据当今化石能源的开发使用力度，它将在几十至一百多年间衰竭，对于人类未来能源可持续供应来说，我们又将重新进入可再生能源为主的新时期。

与化石能源相比，可再生能源具有能量密度低；随着季节、昼夜与气候条件的变化而变化，不连续；难于携带和运输等特点。若要取代化石能源则需解决一系列科学技术问题和经济性能问题，整个过程需要长时间的持续努力。可喜的是，近年来，可再生能源的开发利用得到了日益增强的重视与支持，取得了一些重要的进展，大大增强了人类在化石能源衰竭后仍能依赖可再生能源可持续发展的信心。

化学工业出版社组织出版的《可再生能源丛书》，由各领域的知名专家编写，将为广大读者提供有关知识、进展情况和今后工作的方向，动员大家来更好地参与和支持开发利用可再生能源的伟大事业。相信定会受到大家的欢迎，取得预期的效果。

中国科学院院士、中国太阳能学会名誉理事长

严陆光

2004年10月

于北京

前 言

人类最初学会钻木取火使用的能源就是生物质。生物质是由植物的光合作用固定于地球上的太阳能，太阳能以化学能的形式储存于植物体，为人类提供食品和能源。事实上，在世界上大多数发展中国家的农村地区，生物质依然是主要能源，依然用生物质来烧火做饭，在全球范围内的消费量与天然气基本相当，只是热效率相当低。在薪柴稀少的农村，农业废弃物或粪便甚至也被用作燃料。

随着工业生产不断扩大、技术不断进步，人类需要也有能力使用更多、更方便的能源。于是，人类在地球上发现了煤炭，继而又发现了石油。然而，在不到200年的时间内人类竟将地球经数十亿年积蓄的财富挥霍一空，矿物能源资源已走向枯竭。另外，矿物能源的无节制使用，引起了日益严重的环境问题，如全球气温变暖、损害臭氧层、破坏生态圈碳平衡、释放有害物质、引起酸雨等自然灾害。

同时，中东石油危机和伊拉克战争给人类敲响了警钟：矿物能源供应非常容易受到战争等突发事件的影响，或受到强权控制，对国家安全构成相当大的威胁。所以，人类开始开发和寻找新的、清洁的、可持续的替代能源。发达国家在近10年来已开始重新审视生物质能源的地位，关注以新技术开发利用生物质能源。通过适当的技术和装置可以高效地转换生物质为与现代用能设备兼容的高档能源载体，如气体燃料、液体燃料和电力，可直接替代煤炭、石油和天然气等矿物燃料。有人预言，到2050年，生物质能源有可能提供世界60%的电力和40%的液体燃料，使全球CO₂排放量减少54亿吨碳。

我国政府及有关部门对生物质能源利用极为重视，国家几位主要领导人曾多次批示和指示加强农作物秸秆的能源利用，已连续在三个国家五年计划中将生物质能技术的研究与应用列为重点科技研究项目，涌现出一大批优秀的科研成果和成功的应用范例，如户用沼气池、禽畜粪便沼气技术、生物质气化发电和集中供气、生物质压块燃料等，取得了可观的社会效益和经济效益。

两年来，作者收集了大量国内外资料，查阅和参考了相关学科的各类著作和文献，经过反复修改和更新，方完成本书的编撰工作。本书阐释了各种生物质能技术的机理和工艺原理，简单描述了各种转换技术的工艺过程，介绍了各种技术的国内外发展状况，指出了存在的主要问题和未来的发展方向等。

作者试图努力使本书为从事和关心生物质能工作的人们提供一些有益的帮

助，包括从事科学研究、技术开发和企业界人士等，甚至希望本领域高等院校教师和学生也能够从中受益。但是，本领域科技发展日新月异，对最新科技进展介绍，难免疏漏之处；同时，由于作者水平有限，对原理和工艺技术的阐述未能达到透彻、全面，敬请读者批评指正，不胜感激。

在本书撰写过程中，刘国喜、田晓东和孔晓英等参与了本书部分编写工作；李宝山、陈勇、颜涌捷、李昌珠、王孟杰、杨秀山、程树棋、孙立、蒋剑春、雷廷宙和张全国等知名人士对本书的撰写给予了具体的指导和支持。李海滨、陈明强、周良虹、张素平、袁传敏和常杰等提供了大量的资料和文献方面的帮助。值此本书出版之际，向所有对本书给予支持、关心和帮助过的领导、长者、朋友和同事们表达我们最衷心的感谢。

编者
2004年10月

目 录

第一章 总论	1
第一节 生物质能的能源地位	1
一、世界生物质能源消费.....	1
二、我国生物质能源消费.....	2
第二节 生物质能利用技术	3
第三节 国外生物质能开发利用概况	4
第四节 我国生物质能开发利用现状	5
第五节 生物质能在我国未来可持续发展战略中的地位	7
第六节 我国生物质能源发展方向与对策	8
第二章 生物质能资源与能源植物	11
第一节 生物质能的物质基础	11
一、生物质原料类型	11
二、生物质能资源的特点	11
三、生物质的化学组成	12
四、生物质燃料的热值	13
第二节 生物质资源量估算方法	15
一、农作物资源	15
二、薪柴资源	16
三、人畜粪便资源	17
四、草资源	17
第三节 我国生物质能资源	18
一、纤维素类生物质的资源	19
二、淀粉类原料的资源	25
三、糖类原料的资源	29
第四节 能源植物	31
一、能源植物的概念	31
二、光合作用	32
三、能源植物的品种改良技术	34
四、重要的能源植物	39

五、薪炭林	47
第三章 生物质直接燃烧技术	51
第一节 生物质燃烧原理	51
一、生物质燃料的特性	51
二、生物质燃料的燃烧过程	52
三、燃烧过程的部分计算问题	53
第二节 传统炉灶及其改进	56
一、旧式炕连灶	56
二、省柴灶与节柴炉	58
三、旧式炕的改进	60
四、架空炕	60
五、节能地炕	61
第三节 生物质作锅炉燃料	64
一、锅炉燃用的生物质燃料	64
二、燃用生物质锅炉的应用	64
第四章 厌氧过程与沼气技术	67
第一节 厌氧过程的基本原理	67
一、沼气的理化性质	67
二、厌氧沼气发酵的主要反应历程	68
三、沼气发酵的微生物类群	69
四、沼气发酵工艺条件	71
第二节 小型户用沼气池	80
一、小型沼气池类型	82
二、发酵原料	88
三、小型沼气池发酵工艺类型	90
四、沼气池运行管理	95
五、小型沼气池配套设施	100
六、安全使用小型沼气设施	106
第三节 大中型沼气技术	107
一、大中型沼气工程现状与发展	108
二、几种常用的消化器	110
三、大中型沼气工程设计	117
四、沼气发酵消化器设计	132
五、大中型沼气工程的启动	134
六、大中型沼气工程运行管理	135

第四节	沼气设施的综合利用	135
一、	沼气设施综合利用途径	135
二、	以沼气设施为纽带的生态模式	136
三、	沼气的综合利用	142
四、	沼液与沼渣的利用	144
第五章	生物质压缩成型燃料技术	149
第一节	概念与原理	149
一、	发展历史	149
二、	固体生物质结构特点	150
三、	生物质压缩成型原理	150
四、	压缩成型工艺类型	151
五、	生物质压缩成型工艺流程	153
第二节	生物质压缩成型机技术	157
一、	螺旋挤压成型技术	157
二、	活塞压力式成型技术	163
三、	压辊式成型机	164
第三节	秸秆压缩成型技术应用举例	165
一、	从丹麦引进技术与设备的运用	165
二、	日本颗粒燃料生产工艺	166
第六章	生物质气化技术	169
第一节	生物质气化原理	169
一、	生物质气化的概念	169
二、	生物质气化的基本热化学反应	170
第二节	常见生物质气化炉	171
一、	气化炉的类型	171
二、	固定床气化炉	172
三、	流化床气化炉	173
四、	气化炉性能及主要参数	174
五、	不同类型气化炉的特点及应用	179
第三节	生物质燃气的净化	181
一、	生物质气化生产中的主要问题	181
二、	燃气中的灰分与水分的去除	181
三、	燃气中焦油的特点及其危害	182
四、	催化裂解法除焦油	184
第四节	生物质气化技术在国内的利用	187

一、户用生物质气化供气热装置·····	187
二、生物质气化集中供气·····	188
三、生物质气用于烘干·····	199
四、生物质燃气作锅炉燃料·····	201
五、生物质发电·····	201
第五节 生物质气化在国外用于发电及供热·····	203
一、生物质气化发电方式·····	204
二、区域供热·····	208
三、为水泥厂供热与发电的生物质气化站·····	209
四、生物质气化用于氨的合成·····	210
第七章 生物质燃料乙醇技术 ·····	211
第一节 乙醇的性质与用途·····	211
一、乙醇的理化性质·····	211
二、乙醇用途·····	212
第二节 燃料乙醇生产原理·····	212
一、乙醇生产的主要方法·····	212
二、用于乙醇生产的主要原料·····	213
三、乙醇发酵的生化反应过程·····	213
四、乙醇发酵的微生物学基础·····	217
第三节 乙醇发酵的工艺类型·····	222
一、间歇式发酵法·····	223
二、半连续发酵法·····	224
三、连续发酵·····	224
第四节 淀粉质原料的乙醇生产·····	228
一、原料粉碎·····	228
二、蒸煮糊化·····	230
三、糖化工艺·····	232
四、酒母的培养·····	233
五、乙醇发酵·····	236
六、乙醇提取与精制·····	237
第五节 糖类原料的乙醇生产·····	242
一、糖蜜原料生产乙醇的特点·····	242
二、糖蜜生产乙醇的工艺流程·····	243
三、糖蜜的乙醇发酵·····	246
四、甜高粱茎秆制取乙醇·····	246

第六节	纤维素原料的乙醇生产	247
一、	水解基本原理	248
二、	纤维素酸水解和乙醇发酵	248
三、	纤维素酶水解及乙醇发酵	252
第七节	乙醇作为内燃机燃料的应用	253
一、	内燃机的乙醇代用燃料	253
二、	乙醇与汽油性能对比	253
三、	乙醇与汽油混合作内燃机燃料的应用	254
四、	乙醇与柴油混合作内燃机燃料的应用	255
第八节	国内外用生物质开发乙醇燃料概况	256
一、	乙醇燃料的研究与发展	256
二、	我国乙醇工业现状	259
三、	我国燃料乙醇的发展现状	260
第九节	燃料乙醇生产经济性分析	263
一、	淀粉类原料燃料乙醇生产经济性分析	264
二、	糖类原料燃料乙醇生产经济性分析	268
三、	纤维素原料燃料乙醇生产经济性分析	271
第十节	燃料乙醇生产的环境影响及控制	275
一、	燃料乙醇生产的污染物形成途径分析	276
二、	燃料乙醇生产的废弃物处理	280
三、	燃料乙醇生产的污染控制	283
第八章	生物质热裂解技术	289
第一节	生物质热裂解原理	289
一、	生物质热裂解的概念	289
二、	生物质热裂解反应的基本过程	289
三、	生物质热裂解工艺类型	290
四、	生物质热裂解过程的影响因素	291
第二节	生物质裂解油燃料	293
一、	生物质热裂解液化工艺过程	293
二、	国外常见的热裂解反应器类型	296
三、	国内生物质热裂解的试验研究	299
第三节	生物质炭化燃料	305
一、	主要工艺技术类型	305
二、	木炭的性质及应用	308
三、	生物质干馏气的应用	309

第九章 生物质制氢与间接液化技术	313
第一节 氢能的基本概念	313
一、氢的性质.....	313
二、氢源生产的主要途径.....	314
三、氢能的优势.....	315
四、氢能利用.....	316
第二节 生物质制氢技术	317
一、生物质制氢的特点.....	318
二、生物质制氢的基本原理.....	318
三、主要工艺类型.....	320
四、经济可行性.....	326
五、国内外技术发展状况与趋势.....	327
第三节 生物质合成燃料	328
一、生物质合成燃料生产的基本原理.....	328
二、甲醇合成燃料技术.....	331
三、合成柴油燃料技术.....	335
四、二甲醚燃料制备技术.....	336
第十章 植物油与生物柴油技术	337
第一节 植物油燃料	337
一、植物油的理化性质.....	337
二、植物油直接作燃料油的方法.....	340
三、植物油制取工艺.....	341
四、菜籽油燃料的试验实例.....	343
五、棉籽油-柴油混合燃料实例.....	344
第二节 生物柴油	346
一、生物柴油生产原理.....	346
二、生物柴油生产工艺.....	348
三、各国发展生物柴油动态.....	355
第十一章 城市有机垃圾能源	364
第一节 我国城市有机垃圾的基本特征	364
一、城市生活垃圾资源量.....	364
二、城市生活垃圾的热值.....	366
三、垃圾的危害性和可利用性.....	368
第二节 垃圾处理 and 能源利用的途径	369
一、垃圾堆肥.....	369

二、垃圾填埋·····	370
三、垃圾焚烧·····	371
四、垃圾厌氧发酵·····	376
五、垃圾热解·····	377
第三节 垃圾资源化利用实例·····	377
一、德国斯图加特垃圾填埋场·····	377
二、贵阳高雁城市生活垃圾填埋场概况·····	380
三、深圳玉龙坑垃圾填埋场·····	382
四、丹麦 KNUDMOSE-VERKET 垃圾热电联产工艺·····	383
第四节 我国城市生活垃圾处理现状·····	385
一、我国的垃圾收集与处理系统·····	386
二、我国城市生活垃圾处理的几个问题·····	386
主要参考文献 ·····	389

第一章 总 论

生物质能是人类利用最早的能源之一，具有分布广、可再生、成本低等优点。我国是人口众多的农业国家，生物质能在我国的能源结构中占有相当重要的地位，尤其在广大农村地区，生物质能曾经是最重要的能源。但是，长期以来，大多生物质能的利用以直接燃烧为主，不仅热效率低下，而且伴随着大量的烟尘和余灰的排放，成为阻碍农村经济和社会进步的重要因素之一。随着科学技术的发展和进步，生物质能可以通过各种转换技术高效地加以利用，生产各种清洁能源和电力，以替代煤炭、石油和天然气等矿物燃料。所以，开发与利用生物质能源，对实现可持续发展、保障国家能源安全、改善生存环境和减少二氧化碳都具有重要作用和实际意义。

第一节 生物质能的能源地位

生物质能是可再生的，在能源分类中将其划为新能源。虽然生物质能是人类已经应用很久的一种古老的能源，但是，如今所讨论的生物质能的利用，是指在新的历史时期，如何利用新技术来应用它。能源的大体分类如表 1-1 所示。

表 1-1 生物质能源的分类

类 别		常 规 能 源	新 能 源
一次能源	可再生	水能	生物质能、太阳能、风能、潮汐能、海洋能
	非再生	原煤、原油、天然气	油质岩、核燃料
二次能源	焦炭、煤气、电力、氢气、蒸汽、酒精、汽油、柴油、煤油、重油、液化气、木炭、沼气等		

注：1. 一次能源是指从自然界取得后未经加工的能源，它有三个初始来源：太阳光、地球固有的物质和太阳系行星运行的能量。

2. 二次能源是指经过加工与转换而得到的能源。

3. 新能源一般是指在新技术基础上加以开发利用的能源；早已被人们广泛利用的能源称为常规能源或传统能源。

一、世界生物质能源消费

生物质能一直是人类赖以生存的重要能源之一。人类自从发现火开始就以生物质能的形式利用太阳能来做饭和取暖。直到现在，在全球能源消费中仍占有相当的份额，约 15%，仅次于煤炭、石油和天然气，居于世界能源消费总量的第

4 位。

在发展中国家，生物质能消费量约占 40% 左右，在个别发展中国家，生物质甚至提供了能源总消费量的 90%。

在发达国家，生物质能也具举足轻重的地位，如美国，生物质能占能源消费总量的 4%，澳大利亚占 10%，瑞典占 9%。发达国家生物质能平均消费量达到能源消费总量的 2.8% 以上。

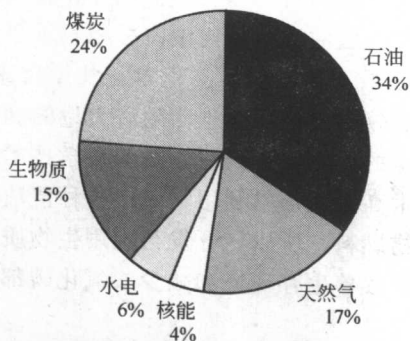


图 1-1 世界能源状况

总量 = 373EJ，人口 48.7 亿，人均能源消费 = 77GJ ($E=10^{18}$, $G=10^9$)

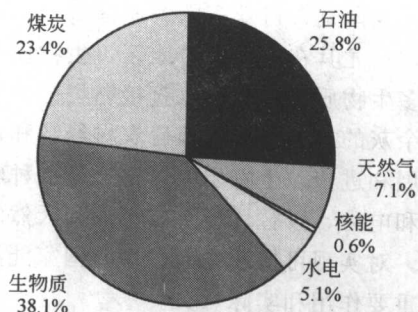


图 1-2 发展中国家一次能源使用情况

总量 = 126EJ (世界总量的 34%)，人口 36.5 亿 (世界总人口的 75%)，人均能源消费 = 34.5GJ

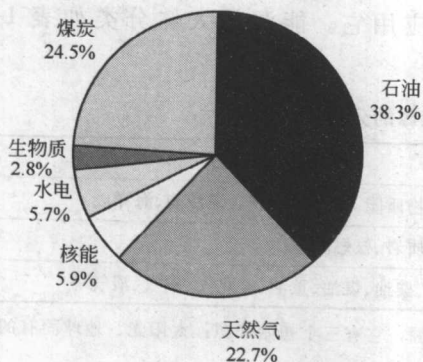


图 1-3 发达国家一次能源使用情况

总量 = 247EJ (世界总量的 66%)，人口 12.2 亿 (世界总人口的 25%)，人均能源消费 = 202GJ

图 1-1、图 1-2 和图 1-3 分别表示 1985 年全世界、发展中国家和发达国家能源消费量及生物质能所占比例。有关专家估计，生物质能极可能成为未来可持续能源系统的重要组成部分，到 21 世纪中叶，采用新技术生产的各种生物质替代燃料将占全球总能耗的 40% 以上。

二、我国生物质能源消费

我国是一个人口大国，又是一个经济迅速发展的国家，21 世纪将面临着经济增长和环境保护的双重压力。因此，改变能源生产和消费方式，开发利用生物质能等可再生的清洁能源资源对建立可持续的能源系统，促进国民经济发展和环境保护具有重大意义。

开发利用生物质能对中国农村更具有特殊意义。中国 80% 人口生活在农村，