

生物质能学

程备久 主编

卢向阳 蒋立科 潘登奎 副主编



化学工业出版社
生物·医药出版分社

72.4
645

生 物 质 能 学

程备久 主编

卢向阳 蒋立科 潘登奎 副主编



化学工业出版社
生物医药出版分社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

生物质能学/程备久主编. —北京: 化学工业出版社,
2008. 1

ISBN 978-7-122-01819-9

I. 生… II. 程… III. 生物能源 IV. TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 000303 号

责任编辑: 邵桂林

装帧设计: 关 飞

责任校对: 战河红

出版发行: 化学工业出版社 生物·医药出版分社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 385 千字 2008 年 2 月北京第 1 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: 32.00 元

版权所有 违者必究

《生物质能学》编写人员

主 编 程备久 (安徽农业大学)

副 主 编 卢向阳 (湖南农业大学)

蒋立科 (安徽农业大学)

潘登奎 (山西农业大学)

编写人员 (以姓氏笔画为序)

方 茹 (阜阳师范学院)

卢向阳 (湖南农业大学)

叶 辉 (安徽农业大学)

田 云 (湖南农业大学)

朱苏文 (安徽农业大学)

向文胜 (东北农业大学)

李文哲 (东北农业大学)

李会珍 (山西中北大学)

张 明 (安徽农业大学)

郭春绒 (山西农业大学)

蒋立科 (安徽农业大学)

程备久 (安徽农业大学)

潘登奎 (山西农业大学)

前言

能源是人类生存与发展的重要保障，也是社会经济发展的引擎和根本动力。21 世纪，随着人类社会经济的快速发展，石油、天然气等矿物能源的消耗正在以比它们自然形成的速度快大约 100 万倍的速度增长，人类也因此面临着诸如能源短缺、资源匮乏、环境恶化等一系列重大问题。目前，能源问题已从一个纯粹的经济和生产问题演变成了一个涉及国际安全、政治、外交甚至军事的广义问题。开发和利用包括生物质在内的可再生能源，已引起世界各国的广泛关注。

我国能源形势十分严峻，能源的多元化发展是我国能源开发与利用的必然趋势。生物质能产业是一类跨学科、跨部门、跨行业的新兴的新型产业，发展生物质能，可以实现能源工业、能源农业、能源林业、能源畜牧业、能源加工业等多个产业的有机结合，促进液体燃料、生物塑料、生物肥料等生物质产品多元化发展，改善和提升能源产业结构与水平，保障能源安全，促进国民经济又好又快地发展。因此，我们编写了《生物质能学》一书作为高等院校本科学生素质教育的教材。其目的是促使学生了解生物质能的发展状况与紧迫性，提高节能和科学开发利用新能源、可再生能源的意识，掌握生物质转化的关键技术，明确未来生物质能发展的方向，拓展知识面，提高现代科技素质。为此，本书在编写过程中力求向以下几方面努力。

1. 建立新的教材结构体系。作为目前国内首部生物质能学教材，本书编写的指导思想是力求内容新颖全面，概念准确，语言深入浅出，通俗易懂，能反映生物质能学各技术领域的研究进展。在结构上形成了生物质能学基础（包括生物质与生物质能、生物质能资源、能源植物、能源微生物、能源生物遗传改良）、生物质能利用与转化技术（包括生物质直接燃烧、气化、热裂解、厌氧发酵、燃料乙醇、生物柴油等）和生物质能生产副产物的综合利用与展望三大部分；在编排上，每章前增加了言简意赅、趣味浓厚的“引言”作为整章的引子，增强了本章内容的可读性、趣味性和生动性；此外，还用英文批注了关键的名词，并附录了中英文对照，以便读者检索、查询与应用。

2. 开辟通往学科前沿的窗口。作为大学教材，本书重视开阔学生视野、为学生提供开辟通往学科前沿的多个窗口。通过相关章节深入浅出地介绍了生物质能研究与应用的热点和最新研究进展，如能源植物、能源微生物、能源生物的遗传改良、沼气产业化、生物产品、生物质产业、能源农业及未来生物质能的发展等。

3. 兼顾通用性和灵活性。本书可供综合性大学、师范院校、农林轻工等院校相关专业本科生作为教材或教学参考书，作为相关技术人员的技术培训资料，也可供相关专业的教师及科研人员参考。由于该书各章节既有机结合又相对独立，教师可根据学时的不同，因材施教，灵活地选择和组合不同的教学内容。

本书由全国六所院校的十三位教学、科研经验较为丰富的中青年骨干教师共同编写。绪论和第 14 章由程备久编写；第 1 章由田云编写；第 2 章由方茹编写；第 3 章由卢向阳编写；第 4 章由张明编写；第 5 章由朱苏文和叶辉编写；第 6 章由向文胜编写；第 7 章由

李文哲编写；第8章由蒋立科编写；第9章由叶辉和蒋立科编写；第10章由潘登奎编写；第11章由李会珍编写；第12章由郭春绒编写；第13章由叶辉编写。全书由程备久统稿。

本书从编写到出版，得到各有关院校和化学工业出版社的大力支持。在编写过程中，张家磊、冯春、汪结明参与了插图编排和文字核校工作。借此，一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，成书时间仓促，本书可能有不足之处，敬请有关专家和广大读者批评指正。

程备久
2007年11月

目 录

绪论	1		
一、生物质能学研究对象与任务	1	六、国内外生物质能开发与利用现状	6
二、生物质能学与其他学科的关系	2	七、生物质能开发与利用的前景	10
三、生物质能与国家安全	2	思考题	11
四、生物质能与生态环境	3	参考文献	11
五、生物质能与其他可再生能源	4		
 第1章 生物质与生物质能	12		
1.1 生物质	12	1.2.1 生物质能的概念及其特点	21
1.1.1 生物质的概念	12	1.2.2 生物质能现代化开发与利用技术	22
1.1.2 光合作用生产生物质	12	1.2.3 生物质能开发与利用发展历史	23
1.1.3 生物质的种类	13	1.2.4 我国生物质能开发利用的关键 及其发展趋势	24
1.1.4 生物质资源的特点	16	思考题	27
1.1.5 生物质的组成成分与化学结构	17	参考文献	27
1.1.6 生物质资源的开发与利用	21		
1.2 生物质能	21		
 第2章 生物质能的主要资源	28		
2.1 林业生物质能资源	28	2.3.1 浆造纸业废水	32
2.1.1 林业生物质能资源分类	28	2.3.2 制革业废水	33
2.1.2 我国林业生物质能资源优势	29	2.3.3 酿酒业废水	33
2.2 农业生物质能资源	30	2.3.4 畜禽加工业废水	33
2.2.1 农作物秸秆	30	2.4 城市固体废弃物资源	34
2.2.2 其他农产品加工业废弃物	31	思考题	35
2.3 工业有机废水资源	32	参考文献	35
 第3章 能源植物	36		
3.1 能源植物的概念	36	3.3.4 藻类能源植物	45
3.2 能源植物的种类及其分布	37	3.4 能源植物的开发与利用	46
3.2.1 按照能源植物的形态和生活环境 分类	37	3.4.1 能源植物开发与利用的意义	46
3.2.2 按照能源植物的使用功能分类	38	3.4.2 国外能源植物开发与利用现状	46
3.3 重要能源植物及其主要生物学特性	38	3.4.3 我国能源植物开发与利用现状	47
3.3.1 草本能源植物	38	3.4.4 我国能源植物开发与利用优势、 存在问题及其解决策略	49
3.3.2 油料能源植物	40	思考题	51
3.3.3 制取碳氢化合物的能源植物	43	参考文献	51

第4章 能源微生物	52
4.1 产甲烷微生物	52
4.1.1 产甲烷微生物的组成与特征	53
4.1.2 参与甲烷产生的其他微生物	53
4.2 产酒精微生物	53
4.2.1 利用葡萄糖产酒精的酵母	54
4.2.2 利用葡萄糖产酒精的细菌	54
4.2.3 利用戊糖产酒精的微生物	55
4.3 产氢微生物	55
4.3.1 产氢的光合生物	55
4.3.2 产氢的发酵细菌	57
4.4 产油微生物	57
4.4.1 产油微生物的种类	58
4.4.2 微生物油脂的生物合成	58
4.5 用于能源生产的其他微生物	59
4.5.1 产脂肪酶的微生物	59
4.5.2 微生物电池	59
思考题	60
参考文献	60
第5章 能源生物的遗传改良	61
5.1 能源生物遗传改良的意义	61
5.2 能源生物遗传改良的主要技术方法	62
5.2.1 杂交育种	62
5.2.2 诱变育种	63
5.2.3 细胞工程育种	65
5.2.4 分子育种	66
5.3 能源植物遗传改良	67
5.3.1 能源植物遗传改良的目标	67
5.3.2 能源植物种质资源的发掘	71
5.3.3 能源植物优良品种的选育	72
5.4 能源微生物的遗传改良	75
5.4.1 能源微生物资源的发掘	75
5.4.2 能源微生物遗传改良的目标	75
5.4.3 能源微生物优良菌种的选育	76
5.4.4 能源微生物遗传改良新技术的 发展与应用	79
思考题	80
参考文献	80
第6章 生物质直接燃烧	82
6.1 生物质燃烧原理	82
6.1.1 元素分析成分	82
6.1.2 工业分析成分	83
6.1.3 生物质的热值	84
6.1.4 生物质的物理特性	84
6.2 生物质燃烧的过程	85
6.2.1 固体燃料的燃烧	85
6.2.2 生物质的燃烧过程	85
6.2.3 生物质燃烧的条件	85
6.2.4 影响生物质燃烧速度的因素	86
6.3 生物质特殊燃料	87
6.3.1 木炭	87
6.3.2 锅炉燃用的生物质燃料	88
6.3.3 生物质压缩成型燃料	88
6.4 生物质压缩成型工艺	89
6.4.1 生物质压缩成型的概念	89
6.4.2 生物质压缩成型的原理	90
6.4.3 生物质压缩成型技术的运用	91
思考题	95
参考文献	95
第7章 生物质热裂解技术	96
7.1 生物质热裂解原理	96
7.1.1 生物质热裂解的概念	96
7.1.2 生物质热裂解的过程和产物	97
7.1.3 生物质热裂解的原理	98
7.1.4 生物质热裂解的工艺类型	100
7.1.5 影响热裂解的因素	100
7.1.6 热裂解反应器的传热方法	102
7.1.7 常见的热裂解反应器的类型	103
7.2 生物质炭化技术	105
7.2.1 生物质炭化设备	105
7.2.2 炭化工艺技术类型	105
7.2.3 木材干馏的工艺流程	106
7.2.4 生物质炭化产品	107
7.3 生物质热裂解液化技术	108
7.3.1 生物质热裂解液化工艺流程	108
7.3.2 生物质热裂解液化产品	109
7.3.3 生物油的应用	110
思考题	111
参考文献	111

第 8 章 生物质气化工程	112
8.1 概述	112
8.1.1 生物质气化的含义	112
8.1.2 生物质气化过程	113
8.2 生物质气化工艺与设施	115
8.2.1 气化工艺	115
8.2.2 生物质气化装置与设施	116
8.2.3 气化炉性能与参数	120
8.3 生物质气化产品及特性	123
8.3.1 气化燃料的主要化学成分	123
8.3.2 燃气净化过程	123
8.3.3 生物质燃气用途	125
8.4 生物质气化在国民经济发展中的应用	125
8.4.1 燃气和发电	125
8.4.2 生物质气化制氢	126
8.4.3 F-T 法合成燃料	127
8.4.4 生产其他能源	128
思考题	128
参考文献	128
第 9 章 生物质燃料沼气	129
9.1 燃料沼气的概述	129
9.1.1 沼气发展简史	129
9.1.2 沼气的理化性质	130
9.1.3 沼气产生的生物学机制与条件	131
9.2 燃料沼气的生产主要途径与工艺	136
9.2.1 畜禽粪便发酵途径与工艺	136
9.2.2 农林废弃物发酵途径与工艺	137
9.2.3 工业有机废弃物沼气发酵途径与工艺	138
9.2.4 城市垃圾发酵途径与工艺	139
9.3 燃料沼气的产业化应用	139
9.3.1 燃料沼气国内外利用现状	139
9.3.2 燃料沼气应用的主要类型	140
9.3.3 我国燃料沼气的发展方向及应用前景	149
思考题	151
参考文献	151
第 10 章 生物质燃料乙醇	152
10.1 燃料乙醇的概述	152
10.1.1 乙醇的理化性质	152
10.1.2 乙醇发酵的原理与条件	153
10.1.3 乙醇发酵生产的主要原料	157
10.2 燃料乙醇的生产主要途径与工艺	158
10.2.1 谷物发酵途径与工艺	159
10.2.2 植物纤维质原料发酵生产乙醇工艺	166
10.2.3 其他发酵途径与工艺	171
10.3 燃料乙醇的商业化应用	172
10.3.1 发展燃料乙醇的意义	172
10.3.2 国内外燃料乙醇基本发展状况	172
10.3.3 燃料乙醇商业化发展与前景展望	173
思考题	175
参考文献	175
第 11 章 生物柴油	176
11.1 生物柴油的概述	176
11.1.1 生物柴油的概念	176
11.1.2 生物柴油的发展历史	177
11.1.3 生物柴油的理化指标及测定方法	177
11.1.4 生物柴油的质量标准	179
11.2 生物柴油生产原理与主要工艺	181
11.2.1 生物柴油的制备方法	181
11.2.2 生物柴油的生产原理	182
11.2.3 生物柴油生产的工艺流程	184
11.2.4 影响转酯反应的主要因素	186
11.3 生物柴油的商业化应用	186
11.3.1 国外生物柴油的研究、开发与利用现状	186
11.3.2 我国生物柴油研究进展	188
11.4 生物柴油的发展方向及其在我国可持续发展战略中的地位	188
思考题	190
参考文献	190

第 12 章 其他生物质能源	192
12.1 氢能	192
12.1.1 氢能的基本概念	192
12.1.2 生物质制氢基本原理与工艺	193
12.1.3 生物制氢技术的现状与发展趋势	197
12.2 生物甲醇	197
12.2.1 甲醇的一般性质	197
12.2.2 生物质甲醇生产主要技术	198
12.2.3 国内外甲醇研究及应用状况	199
12.2.4 甲醇的综合利用	199
12.3 二甲醚	201
12.3.1 二甲醚的基本性质与用途	201
12.3.2 二甲醚的制备原理	201
12.3.3 二甲醚的生产状况及发展趋势	202
思考题	202
参考文献	202
第 13 章 生物质能生产副产物的综合利用	203
13.1 沼气生产副产品	203
13.1.1 沼气的综合利用	203
13.1.2 沼液和沼渣的利用	209
13.2 乙醇发酵副产品的利用	212
13.2.1 CO ₂ 的利用	212
13.2.2 酿酒酵母的回收	212
13.2.3 酒糟的利用	213
13.3 生物质热裂解副产品的利用	216
13.3.1 木炭的应用	216
13.3.2 生物油的应用	217
思考题	219
参考文献	219
第 14 章 未来生物质能产业	220
14.1 生物质能与能源农业	220
14.1.1 能源农业	220
14.1.2 能源农业技术体系	222
14.1.3 能源农业的经济效益	225
14.1.4 能源农业是现代农业的有益补充	226
14.2 生物质能开发新技术	226
14.2.1 生物质转换技术的发展	226
14.2.2 生物质能开发新技术	229
14.3 生物质产品及其产业化	230
14.3.1 生物质新产品	230
14.3.2 生物质能新产品的产业化发展	231
思考题	233
参考文献	233
附录 《生物质能学》相关名词英汉对照	234

绪 论

能源是人类生存与发展的重要保障,也是国民经济增长与发展的根本动力与基本保证。21 世纪,随着社会经济的快速发展,人类面临着社会经济增长、环境保护、生存发展与能源消耗的多重矛盾与压力。目前,石油、天然气等矿物能源的消耗正在以比它们自然形成的速度快大约 100 万倍的速度增长,据专家估计,近 30 年来全球消耗了与此前整个历史时期所消耗能源总量相当的能源,同时矿质燃料所释放的碳总量每年已达 60 亿吨。因此,改变能源的生产方式和消费方式,积极探索并寻找矿物替代能源,加快包括生物能源在内的可再生能源、资源的开发与利用,促进人类经济社会的可持续发展,已引起世界各国的广泛关注。

一、生物质能学研究对象与任务

生物质是指生物体通过光合作用生成的有机物,包含所有动物、植物、微生物以及由这些生命体排泄和代谢所产生的有机物质,是地球上存在最广泛的物质。生物质的种类繁多,植物类中有杂草、藻类、农林业废弃物(如秸秆、谷壳、薪柴、木屑等);非植物类中有畜禽粪便、城市有机垃圾及工业废水等。

生物质能是人类利用最早的能源之一,生物质能源分布极广,产量巨大,具有可再生、成本低等优点。据估计地球上每年通过植物光合作用固定的碳达 $1.8 \times 10^{11} \text{ t}$,含能量达 $3 \times 10^{21} \text{ J}$,每年通过光合作用贮存在植物的枝、茎、叶中的太阳能,相当于全世界每年总耗能量的 10 倍。生物质能遍布世界各地,其蕴藏量巨大,仅对地球上的植物而言,每年的生产量就相当于目前人类消耗矿物能的 20 倍,或相当于世界现有人口食物能量的 160 倍,而目前作为能源用途的生物质仅占总产量的 1% 左右,发展潜力巨大。

然而,长期以来,生物质能多是通过直接燃烧或堆埋焚烧生物质的形式加以利用的,不仅热效率低下,而且伴随着大量的烟尘和灰分的排放,环境污染严重,已成为阻碍经济发展和社会进步的重要因素之一。然而随着科学技术的发展与进步,生物质能可以通过各种转换技术高效地加以利用,如生产乙醇、沼气、生物柴油等各种清洁燃料或电力,以替代煤炭、石油和天然气等矿物燃料。而目前人类正面临着使用矿物燃料带来的环境、经济竞争甚至国际争端等日趋严重的问题,各国已经开始关注和重视生物质能的开发利用。开发与利用生物质能,对实现经济的可持续发展、保障国家能源安全、改善生存环境和减少二氧化碳排放都具有重要作用和战略意义。

我国是一个人口众多的农业大国,生物质能十分丰富,并在我国的能源结构中占有相当重要的地位。我国每年农村中的秸秆量约为 6.5 亿吨,2010 年将达 7.26 亿吨,相当于 5 亿吨标准煤;林业废弃物(不包括薪炭林)每年约达 3700 万立方米,相当于 2000 万吨标准煤。加之畜禽粪便、城市垃圾和工业废水等,我国每年的生物质资源量可达 6 亿吨以上标准煤。

与此同时,我国的生物质能用量很大,但技术水平与效率均较低。如农村户用沼气池建设的很多,但厌氧消化产气率低,设备与管理的自动化程度差,能够持续利用的沼气池较少;沼气发电与气化发电效率较低,二次污染问题没有彻底解决;“陈化粮”燃料乙醇的生产量虽然很大,但工艺落后,效益差,每吨需要国家补贴 1000 元以上;生物质气化发电与热裂解生产生物油,虽然运用较多,但由于去除焦油等关键技术尚未完全解决,因此成本较高;我国生物质能的研究较为分散,缺乏长远的规划与目标。目前,我国生物质能利用主要是在农村,约占总利用量的 70% 以上,其他的利用物料主要是城市生活垃圾、污水和林业废弃物等,而先进国家利用生物质资源主要是林业废弃物和薪炭林。

生物质能学是一门研究和利用生物质能资源,通过遗传改良和生物转化技术,提高生物质生物量及其资源利用率,促进生物质能的科学开发与利用,实现生物质能产业化发展和商业化运用的一门新兴学科。其研究内容和主要任务包括:通过对各类生物质资源特性的研究,弄清提高生物质的生物量和资源利用率的途径;通过对生物质能在我国可持续发展战略中的地位及其开发与利用方向的研究,探讨生物质能与生态环境、国家安全的关系;通过对生物质生物转化、直接燃烧、热解液化、气化与发电等生物质转化技术与利用技术的研究和改进,提高生物质燃料沼气、乙醇、生物柴油等产物的产量;通过加快生物质能生产副产物的科学的综合利用技术和工程技术的研究,为生物质能的开发和利用提供理论基础和技术支持,降低生产成本,提高产品附加值,提高生物质能开发与利用的经济效益、生态效益和社会效益。

二、生物质能学与其他学科的关系

生物质的主要化学成分与化石燃料类似,不仅含有 C、H、O 等元素,而且可以气体、液体和固体 3 种形态存在,既可作为能源,也可作为化工原料。生物质产业既不是传统意义上的能源工业,又不是传统意义上的农业和农产品加工业,它是跨学科、跨部门、跨行业的一类新兴的新型产业。由于生物质转化和利用的途径不同,产品种类也各不相同,其涉及的学科十分广泛,包括环境科学、生态学、经济学、生物学、物理学、化学、发酵工艺学、加加工工艺学、社会科学等。

生物质能的开发与利用必须将多种学科、技术、产品相结合,根据产业化要求,进行技术优化综合,逐步突破技术经济难关;把长远目标和近期目标紧密结合,稳定当前取得的各项技术及产业成果,并及时研究和引进先进技术,进一步优化和完善生物质生物的转化,通过采用直接燃烧、热解液化、气化与发电等技术工艺,促进生物质能产业的整体提升。

生物质能的载体是有机物,它是以实物形式存在的、唯一一种可储存和可运输的可再生能源。与煤炭、石油等矿物能源相比,生物质能对环境的污染较小。如生物质的灰分含量、含氮量比煤少,特别是含硫量,煤的含硫量一般为 0.5%~1.5%,而生物质的含硫量少于 0.2%。众所周知,硫在燃烧过程中产生的 SO_2 是酸雨形成的主要原因,这也正是煤燃烧时带来的最主要的环境问题,而生物质燃用时所排放氮氧化物和烟尘却较少,其产生的 CO_2 可被等量生长的植物的光合作用所吸收,实现 CO_2 “零”排放,有助于缓解“温室效应”。但是生物质转化技术较复杂,如生物质厌氧发酵技术,仅仅有优良的微生物菌群是不够的,它还需要经物理方法或化学方法预处理,要有生物质原料、良好的仪器设备、发酵工艺和对产物的收集技术等条件。因此,生物质能的开发与利用需要与生态学、环境科学、生物学、发酵工艺学等多个学科紧密结合,才能达到生态效益、社会效益和经济效益的协调统一。

三、生物质能与国家安全

传统的矿物质能源是当今社会发展和进步的发动机,目前全球总能耗的 75% 来自煤炭、石油、天然气等,到 21 世纪中叶,世界人口预计将达到 100 亿,这将促使能源消费以更加

惊人的数字增长。但是,矿物能源是有限的,据估计,全球化石能源的枯竭将不可避免,其峰值将出现在 2020~2030 年,并在 21 世纪内基本开采殆尽(见表 1)。为促进经济社会的快速发展,世界各国均十分重视包括矿物质能源在内的能源资源的开发与利用。

表 1 世界能源拥有量及可利用状况

资 源	拥有量(已确定蕴藏量)	利用情况	剩余可采年数
石油	1.0×10^4 亿桶	217 亿桶	约 50 年
天然气	1.13 万亿立方米	2 万立方米	约 60 年
煤炭(无烟煤、烟煤)	1.08×10^4 亿吨	33 亿吨	约 300 年
核能(钍)	3.60×10^2 万吨	3.7 万吨	约 100 年
水利	1.94×10^3 万千瓦时	已开发 22%	剩余 78%

能源保障问题关系着一个国家的国家安全,自“能源危机”以来,世界各国间的关系一直与“石油”联系在一起,也就是所谓的“石油外交”,石油资源与石油消费成了左右国际关系基本走向的决定性因素之一。而且 20 世纪围绕石油问题展开的战争屡见不鲜,可见能源问题的重要性,在能源消耗不断增长的今天,能源在国际关系中的地位越来越突出,越发制约着国家行为方式。

我国能源面临着总量不足、石油紧缺、环境污染严重、人均占有量少、能效低等诸多问题,这些问题已开始阻碍中国经济的高速发展,并将为长期制约我国经济发展和社会进步。中国是世界第二大能源消费国,2004 年我国能源消费量为 19.7 亿吨标准煤,随着经济的发展和人民生活水平的提高,我国能源消费量将持续增长。能源资源问题和能源环境问题将是我国经济发展面临的最重要的问题。

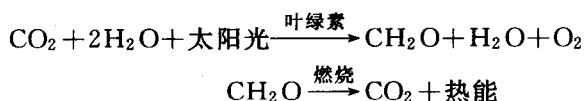
中国能源战略应着眼于长远目标,即要实现发展方向与发展方式的“转型”。首先,要转变经济增长方式,提高能源利用效率,坚持开发与节约并举,使能源发展的目标实现从“量”到“质”的转变;摒弃“先污染,后治理”的经济发展老路,将环境保护作为能源发展战略的决策要素。由于长期以来单纯地追求经济增长速度和产品数量,忽视产品质量和经济效益,形成了以高消耗、高投入、低效益为特征的粗放型增长方式。其次,要调整优化能源结构,大力发展可再生能源。可再生能源包括水能、太阳能、风能、生物质能、地热能 and 海洋能等,这样的能源均是可循环利用的清洁能源,符合可持续发展的要求。20 多年来,可再生能源技术发展迅速,已在目前的全世界能源消费中,占 22% 左右。此外,我国能源的开发与利用要依托国内,走国际化发展战略的道路,充分利用国内外两种资源、两个市场,实现能源供需平衡和国民经济的可持续发展。

生物质能属于低碳能源,对于逐步改变我国以化石燃料为主的能源结构具有重要作用。生物质资源量丰富且可以再生,其含硫量和灰分都比煤低,而含氢量较高,因此比煤清洁。若把它变成气体燃料或液体燃料,使用起来清洁、方便。在维护国家能源安全方面,大规模地发展能源农业和生物质基合成油化工业,将构建出新型的地面“油田”,当生物质基燃油总量达到一定水平并保持持续增长,就能在国际石油市场上拥有主动权和参与定价权,这不但可以调控进口石油依存度,而且还可以使国内的地下化石能源转变为战略性储备资源。随着国际社会对温室气体减排联合行动的实施,大力开发生物质能源资源,对于改善我国以化石燃料为主的能源结构,特别是对因地制宜地为农村地区提供清洁方便能源,具有十分重要的意义。

四、生物质能与生态环境

生物质由 C、H、O、N 和 S 等元素组成,是由空气中的 CO_2 、水通过光合作用的所产生的。生物质挥发分高,碳活性高,硫、氮含量低(S, 0.1%~1.5%; N, 0.5%~3.0%),灰

分低 (0.1%~3.0%)。生物质分布广泛, 在生长过程中, 通过光合作用吸收 CO_2 ; 在其作为能源被利用的过程中, 排放的 CO_2 又有效地通过光合作用被生物质吸收, 使整个能源利用系统的 CO_2 净排放为零, 从而能有效地防止 CO_2 的释放对环境的危害。即:



生物质能利用是植物吸收空气中的 CO_2 进行光合作用产生生物质, 并通过燃烧反应等途径释放热能和 CO_2 的可逆循环利用过程。

以生物质资源代替化石燃料, 一方面减少化石燃料的供应量, 另一方面减少 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 等污染物的排放量, 有效地改善了环境质量。例如, 每利用 10 万吨秸秆替代煤炭, 将减少 CO_2 排放 1.4 万吨, SO_2 排放 40t、烟尘排放 100t, 可大大减少酸雨的形成, 缓解“温室效应”。若将秸秆消化利用技术与秸秆还田、饲料应用等技术结合在一起, 不仅可以有效减少秸秆大量焚烧现象的发生, 解决农村洁净能源供应问题, 保护农村生态环境, 还可以缓解“三农”问题带来的压力, 促进农民就业, 增加农民收入。

我国人口众多, 土地承载压力大, 长期以来农、牧民经营方式和收入方式单一。为了增加收入, 农牧民无节制地开荒增加草场的载畜量, 数十年下来欠下了巨额的环境债务。在干旱半干旱地区, 造成大面积的土地沙化, 水土流失严重, 一亩仅能产出几十斤粮食; 草原退化, 严重者成了半沙漠区。种植能源植物, 为农、牧民提供了一条既可增加收入又不危害环境的新途径。种植能源作物, 可以使土地实现免耕 (一次种植收获几十年), 在保证农牧民收入的情况下, 逐步使水土流失得到治理, 使沙化的草原生态得到恢复, 使年甚一年的沙尘暴得到扼制。

我国幅员辽阔, 存在着人口分布不均、东西部地区资源利用率相差较大、西北地区荒漠化程度日趋严重等问题。结合我国国情, 针对不同地区的不同情况, 因地制宜, 按照《生态工程条例》“宜林则林, 宜草则草”原则, 利用荒山野岭等不同地理条件大规模种植、发展能源植物。如麻疯树, 它是一种多年生灌木或乔木, 耐旱性强, 对土壤肥力和湿度要求不高, 环境适应能力强, 可以种植在其他植物不易生长的土地上, 大面积推广可以使贫瘠的土地重新变得肥沃, 是干旱地区理想的造林树种, 具有较高的经济价值和环保价值。在西南地区的 3 亿亩荒山荒坡上, 有选择地种植不同油料作物, 其生产的生物质能可相当于 3 个大庆油田的原油产量; 北方地区大约有 15 亿亩的盐碱地, 如种植抗盐碱植物, 则可提供丰富的生物质原料; 西部大面积的戈壁滩和沙漠, 是种植能源植物的理想场所; 沿海广大近海海面是繁殖能源藻的良好场所。这些不同地区为能源植物的选择性种植、利用均提供了发展条件。

大面积能源生物繁育, 不仅可以充分利用有限的国土资源, 为生物质能的开发与利用提供充足的原料, 而且可以提高森林覆盖率, 改善生态气候, 同时又可以起到恢复草原植被、防风固沙、防止水土流失、减少洪涝灾害的发生、改善水质等作用, 这对于改善和保护生态环境具有十分重要战略意义。

五、生物质能与其他可再生能源

可再生能源 (包括太阳能、风能、生物质能、水能、地热能、潮汐能等) 广泛存在, 是取之不尽、用之不竭、可以自由索取并能循环利用的初级能源。

(1) 太阳能 太阳能是一种巨大的无尽的能源, 它辐射到地球表面的能量高达 4×10^{10} MW, 相当于每年 3.6×10^{10} 亿吨标准煤, 约为全球能耗的 2000 倍。我国太阳能资源十分丰富, 全国 2/3 的地区全年日照在 2200h 以上, 某些年日照时间长的地方可达 2800~3300h。目前太阳能利用的主要方式有热利用和光利用两个方面。近年来对太阳能热利用极为迅速,

以太阳能热水器为例,据统计我国2004年销售量约1200万平方米,成为世界上最大的太阳能热水器产销国。我国的太阳光伏发电产品发展较快,到2002年底太阳能电池组件的年生产能力为10万兆瓦,2004年竟猛增到200万兆瓦。国家发改委拟筹资100亿元实施“光明工程”,用于推进太阳能电池技术的应用。太阳能具有能源来源取之不尽、用之不竭、利用形式多种多样、用途广泛、对环境无任何污染等特点,但太阳能能流密度过低,易受季节、气候、昼夜等条件和地理位置的影响,不易贮存,产品投入成本也较高。

(2) 水电能 我国的水能资源蕴藏总量达676亿千瓦,技术开发量为 3.78×10^6 万千瓦,年发电量可达 1.92×10^6 亿千瓦时,我国未来10年电力的年平均增长率将为5.97%,而我国的水电在电力生产中,将由目前的16%左右,增加到“十一五”末期的24.9%,水电装机容量达到8700万千瓦时。西部大开发首先开展的具有战略意义的三大工程之一的“西电东送”,就是把西部丰富的能源资源送到东部去,因为西部能源在我国能源资源中占了43.7%,水电更是占了77.7%。如举世瞩目的三峡水电站,它是世界上发电量最大的工程,将安装26台单机容量为70万千瓦的水轮机组,年平均发电量846亿千瓦时,比目前世界上最大的水电站巴西和巴拉圭两国合建的伊泰普水电站,年发电量多出130多亿千瓦时。

一般认为,在能源工程中,水电工程对环境损害最小。水电不排放污染气体或放射性废物,但会产生其他方面的环境影响。水坝的建设将形成新的水库,在水库及其下游,改变了原有的生态系统。除发电、灌溉外,水库可以发展养鱼业、旅游业等,带来正面的效益;但是,水库大坝同时会造成上游水土流失和下游河流淤积,提高库区地下水位,引起土壤盐碱化,影响当地的气候,使生物多样性减少,水流速减慢造成水草生长和寄生虫的繁殖等。同时,电能都是通过高压电线将其输送至各能源需求区,应用形式单一,同时在环境日益污染严重、淡水资源相对匮乏的今天,显然对水力发电的限制或影响较大。

(3) 风能 风是由太阳光不均匀地辐射在地球上,引起地表各处热冷差异,从而造成大气对流的自然现象。它的能量虽然只占太阳对地球辐射能量的2%,但总量十分可观,其中可利用的风能为 2×10^7 MW,接近世界能耗。风能作为一种洁净能源,一直受到人们的青睐。目前,丹麦所拥有的风力发电设备总装机容量为1500 MW,发电量相当于总耗电量的9%。美国是目前世界上风力机装机容量最多的国家,超过20000 MW,占总发电量的1%,且还在以每年10%的速度增长。据估计,到2020年,全世界的风力发电将占全球总电力的10%,总装机容量达 1.2×10^9 kW。我国地处太平洋西岸,季风强盛,西北与沿海地区风力资源十分丰富,风能总资源量达到 1.6×10^9 kW,近期可供开发的约有10%,全国可开发利用的容量约为 2.53×10^8 kW。

风能的利用方式比较简单,就是利用机械设备将风的动能转换成机械能,再用于发电、带动机械运转。由于风能的能流密度比太阳能还低,而且也随地点、季节而变,所以,虽然人类利用风能的历史已有数千年,但风能技术的发展十分缓慢。目前的研究主要是用于发电,在这方面需要解决3个问题:一是地点的选择,风力机一般都是庞然大物,且大多设于牧场、草原、沿海、岛屿上;二是风车的材料,风力机叶片要有足够的强度和抗疲劳性能,目前主要材料是采用玻璃钢或碳纤维增强塑料;三是供能的连续性,因为风能是一种间歇性的、不稳定的能源,因此不仅需配备蓄能设备,而且要与火电或水电配合使用才能实现连续供能。

(4) 核电 全球核电站现在采用的反应堆型都是慢中子裂变堆,已建核电装置约400余座,目前生产的电能占世界电能的17%。核燃料、核电作为一种安全、清洁的能源,在发达国家的能源结构中占有十分重要的比例。如美国是世界核电大国之一,总共建造的商业核电站有132座,而我国还不到1%,发展潜力巨大。在不久的将来,核燃料、核电将成为发展中国

家能源发展的重要组成部分。由于核电站在运输、处理和存储核废料方面尚无绝对安全可靠的办法，安全隐患始终不能根除，导致目前核电发展缓慢。尤其是美国、俄罗斯等国家出现的核泄漏现象，使很多国家对此望而却步。1979年，位于美国首都华盛顿附近、处于宾夕法尼亚州居民稠密区之内的三哩岛核电站发生了严重事故。虽然没有人员伤亡，但仍震惊了全美国，使政府遭受了巨大压力，也使美国核电事业遭受了沉重的打击——美国核电建设走入了长达30多年的低谷，在这30年里，美国没有新建一座核电站。德国可再生能源委员会透露：德国将在未来20年内逐渐关闭所有的核电站，取而代之的是可再生能源，而可再生能源家族中现实可行的能源是生物能源。此外，俄罗斯切尔诺贝利核电站事故更是让人触目惊心。

生物质能是太阳能以化学能形式贮存在生物中的一种能量形式，是一种以生物质为载体 的能量，它直接或间接地来源于植物的光合作用。与风能、太阳能、水能等可再生能源相比，生物质能具有其独特的性质和优点。它可以参与“生物质产品”的物质性生产，参与资源的节约和循环利用；它是世界上唯一一种可再生的碳源，可转化成常规的固态、液态和气态燃料。与太阳能、风能等相比，其可贮性突出；与水能、风能、地热能等相比，其来源广泛、更适合可持续性发展。

可再生能源主要技术可分为4个方面：①发电技术，包括水电、风力发电、太阳能发电和生物质发电；②供热技术，主要是太阳能热水器、地热供热和生物质燃料；③供气技术，包括生物质气化技术、沼气发酵技术等；④生物燃料技术，如燃料乙醇、生物柴油、压缩成型燃料等。利用这4种技术均可以直接或间接地开发生物质能，可以根据实际要求，因地制宜，灵活选择运用不同的技术来进行产业化生产或商业化运用。而其他可再生能源仅能使用其中一种或两种技术，同时在原料来源、产品类型、贮存性能等方面均存在这样或那样的缺点，限制和影响了其大力发展。

六、国内外生物质能开发与利用现状

(一) 国外生物质能开发与利用概况

生物质能一直是人类赖以生存的重要能源之一。在远古时代，自人类发现火开始就以生物质能的形式利用太阳能来烧烤食物和取暖，直到近两个世纪，人类发现并大规模使用矿物燃料时，这一情况才有所改变。即便如此，生物质能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。据中科院统计资料显示，全球再生能源可持续为二次能源的储量共 1.8555×10^{10} tce(吨煤当量)，相当于全球油、气、煤等化石燃料年消费量的2倍，其中生物质能占35%，位居首位(表2)。

表2 全球再生能源储量分类表

名 称	太阳能	水能	风能	地热能	海洋能	生物质能
年理论储量/kW	1.74×10^{14}	3.96×10^9	3.5×10^{12}	3.3×10^{10}	6.1×10^{10}	1.1×10^{11}
可转化为二次能源的储量/亿吨	32.20	32.28	23.67	21.52	11.26	64.56

就世界的整体发展状况而言，不同国家和地区生物质能消费在总能耗中所占比例差别很大。在发展中国家，生物质能消费量约占40%左右，非洲地区高达55%，在个别发展中国家如缅甸和苏丹，生物质分别提供了能源总消费量的90%和87%。发达国家生物质能平均消费量达到能源消费总量的3%左右，如美国生物质能占能源消费总量的4%，芬兰、澳大利亚、瑞典和奥地利较高，分别为17%、10%、16%、13%。随着社会经济不断发展，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，将为全球提供60%的电力和40%的直接燃料。

1992年世界环境与发展大会召开后,欧、美等大力发展生物质能,如北欧各国大力发展木材发电,德国大力发展沼气,美国加快燃料乙醇和木柴发电的启用,并于1999年明确提出到2010年把生物质能提高到现有水平的3倍,加速了技术开发。特别是1997年的“京都议定书”中确定对发达国家2010年减排CO₂的考核目标(实际,欧盟比1990年减排8%,美国减排7%,日本减排6%)后,促使有关政府采取了推动扩大利用生物质能的政策措施,进一步推动了生物质能的扩大应用。目前,生物质能技术的研究与开发已成为世界重大热门课题之一,许多国家都制定了相应的开发研究计划,如美国的能源农场、巴西的酒精能源计划、日本的阳光计划、印度的绿色能源工程等,均重点研究、开发和利用生物质能。目前,国外的生物质能技术和装置多已达到商业化应用程度,实现了规模化产业经营。

(1) 美国 生物质能利用占一次能源消耗总量的4%左右。美国对生物质能的利用较为重视,早在1979年,美国就开始采用垃圾直接焚烧发电,发电的总装机容量超过10000MW,单机容量最大达10~25MW;1992年,美国已经约有1000个利用木材气化的发电厂,运行装机650kW,年发电4200兆千瓦时,发电成本4~6美分/千瓦时,加州电力供应40%来源于生物质发电。生物质动力工业在美国已成为仅次于水电的第二可再生能源工业。为减少汽车尾气污染,美国大量推行由玉米等作物的秸秆制取燃料乙醇,以10%加入汽油中替代有害的MTBE,1995年乙醇产量已达 5.5×10^9 L。2001年的统计,美国消耗的可再生能源中有50.4%来自生物质能,41.9%为水电,其余为太阳能和风能等。目前美国拥有350多座生物质发电站。

美国建立了大规模的能源农场,进行生物柴油生产。自20世纪80年代以来,进行了能源植物物种的选择、富油树种的引种栽培、遗传改良以及建立“柴油林林场”等方面的工作与研究,并在能源植物特性的研究、植物燃料油的研制和燃料油使用技术等多个方面均取得了较大进展。目前已对40种不同的植物油在内燃机上进行了短期评价实验,它们当中包括豆油、花生油、棉籽油、油菜籽油、棕榈油等。1986年,诺贝尔奖获得者、美国加州大学的化学家卡尔文在加利福尼亚种植了大面积的石油植物,每公顷可收获120~140桶石油。美国种植有几百万英亩的石油速生林,加州的“黄鼠草”每公顷可提炼1000L石油;目前美国生物柴油的生产能力在100万吨以上,并计划到2010年将生物柴油产量提高到1200万吨。

(2) 巴西 生物质能在巴西能源利用总量中约占25%,其中薪柴和甘蔗占生物质能的50%~60%,其余是农业废弃物。巴西是乙醇燃料开发应用最有特色的国家,20世纪70年代中期,巴西为了摆脱对石油进口的过度依赖,实施了世界上规模最大的乙醇开发计划(原料主要是甘蔗、木薯等),到1991年,乙醇产量达到130亿升,在980万辆汽车中,近400万辆为纯乙醇燃料汽车,其余大部分燃用20%的乙醇-汽油混合燃料。目前乙醇燃料已占该国汽车燃料消费量的50%以上。

经过长期不懈的努力,与1975年相比,2000年巴西的甘蔗单产提高了33%,甘蔗的含糖量提高了8%,蔗糖-乙醇的转化率提高了14%,发酵罐生产率提高了30%。乙醇燃料已经由起初接受政府的价格补贴,到2000年无需政府补贴,而且燃料乙醇的价格已低于汽油的价格,具备与石油市场竞争的能力。巴西回过头来算了一笔总账,30多年政府发展燃料乙醇的总投入为49亿美元,而在此期间光节省进口石油的外汇达50亿美元。20多年来,实施乙醇燃料计划给巴西带来了许多收益:①形成了独立的经济能源运行系统;②刺激了农业、乙醇相关行业的发展,收益270亿美元,增加就业人数达1.05倍;③促进了技术的进步,包括单产提高和含糖量的提高均源自品种和栽培技术的进步,蔗糖-乙醇转化率的提高源自发酵菌种的改进,发酵罐产率的提高源于工艺的改进等;④促进了生态环境和人民生活