

“十一五”国家重点图书出版规划



应用生物技术大系

Comprehensive Series of Applied Biotechnology



可再生能源的微生物转化技术

宋安东 等 编著



科学出版社

www.sciencep.com

应用生物技术大系

可再生能源的微生物 转化技术

宋安东 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在分析当前全球面临的能源和环境危机的基础上,阐述了利用生物物质转化为主的生物炼制的内涵,将微生物技术与可再生能源转化有机结合起来,全面论述了利用微生物技术转化可再生能源的基础理论、基本工艺、基本装备、应用情况和发展前景。内容主要包括生物炼制、生物沼气、生物氢气、生物乙醇、生物丁醇、生物柴油、生物采油、生物燃料电池、煤炭的生物转化、能源的洁净化等方面,为读者展示了能源微生物技术的全貌。本书是一部全面反映可再生能源生物转化的新技术、新材料、新方法、新进展的集理论性和实践性为一体的专著。

本书可以作为生物、环境、能源、生物化工等领域有关科研人员、生产技术人员参考书,也可作为高等院校的生物技术、生物科学、生物工程、生物化工、能源工程、资源利用等专业的研究生、本科生的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

可再生能源的微生物转化技术/宋安东等编著. —北京:科学出版社,2009
(应用生物技术大系)

ISBN 978-7-03-024586-1

I. 可… II. 宋… III. 再生资源:能源-转化-微生物催化作用-研究
IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 074690 号

责任编辑:李秀伟 李晶晶/责任校对:李奕萱

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 5 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 5 月第一次印刷 印张:21 1/2

印数:1—1 500 字数:486 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

序 一

能源、环境、人口与就业是影响全球经济社会可持续发展的主要因素,尤其是当前国际社会所面临的化石能源日益枯竭和环境污染日益恶化两大问题备受世人瞩目。

资料显示,目前我国石油消耗正以每年 13% 的速度增长,从 1993 年开始我国成为石油净进口国。现在我国已成为世界第二能源消费大国和第二石油进口大国,年消费量超过世界能源消费总量的 10%;按照目前 7% 左右的经济增长速度计算,我国对进口石油的依赖程度将越来越大,能源安全已经成为威胁国家长期发展战略和国家安全的重要因素。据专家估计,到 2010 年,我国民用汽车的保有量将达到 2000 万辆左右,年耗汽油 6400 万吨,原油供求矛盾将成为制约我国经济发展的长期压力。开发新的替代能源技术已经迫在眉睫。

微生物技术在几千年的社会进步和经济发展中已经呈现出了巨大作用。在能源紧张的今天,利用微生物开发新能源越来越受到世人的青睐,微生物技术已经在沼气发酵、乙醇生产等新能源的开发中呈现出巨大魅力。《可再生能源的微生物转化技术》一书对生物燃料乙醇、生物沼气、生物制氢、生物柴油、生物丁醇等可再生能源生产的原理、技术、研究现状与进展进行了系统、全面的介绍,并对微生物技术在石油和煤炭资源的清洁利用与开采方面进行了深入细致的总结与分析。

该书对从事生物质能源和微生物资源利用方面的研究者将具有重要的参考价值。

中国工程院院士
中国生物工程学会理事长

2009 年 4 月于北京

序 二

能源是人类活动的物质基础,是整个世界发展和经济增长的最基本的驱动力。人类社会的发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用。在当今世界,能源和环境是全世界、全人类共同关心的问题。

作为世界上最大的发展中国家,中国是一个能源生产和消费大国。能源生产量仅次于美国和俄罗斯,居世界第三位;基本能源消费占世界总消费量的 1/10,仅次于美国,居世界第二位。20 世纪 90 年代以来,中国经济的持续高速发展带动了能源消费量的急剧上升。自 1993 年起,中国由石油净出口国变成石油净进口国,能源总消费已大于总供给,能源需求的对外依存度迅速增大,到 2006 年石油进口依存度达 47%,且在逐年增加。石油需求量的大增以及由此引起的结构性矛盾日益成为中国能源安全所面临的最大难题。

随着地球上化石能源(煤、石油和天然气)不断耗尽,寻找、开发新能源已成为世界各国亟待解决的问题。利用微生物开发新能源正日益受到人们的重视,并在石油开采、沼气发酵、生物制氢、生物乙醇等的研究和实践方面取得突出的成果。《可再生能源的微生物转化技术》一书是编著人员在长期的教学、科研、生产实践中的工作积累,对燃料乙醇、生物沼气、生物制氢、生物柴油、生物丁醇等可再生能源生产的原理、技术、研究现状与进展进行了系统、全面的介绍,并对微生物技术在石油和煤炭资源的清洁利用与开采进行了深入细致的总结与分析。

该书是目前为止国内最为系统的一本以微生物技术来转化可再生能源的专业论著,全面地反映了国内外在生物能源技术方面的理论、技术和实践。该书对从事生物质能源和微生物资源利用方面的研究者、工作者将具有重要的参考价值,也将为推动我国可再生能源的发展做出一定的贡献。

北京化工大学副校长

教育部“长江学者奖励计划”特聘教授

谭天伟

2009 年 4 月于北京

前 言

随着全球经济的发展和一体化进程的加快,人们对能源的需求日益增加。化石能源的大量消耗,导致全球气候变暖等环境问题日益突显。国际油价在 2004 年强劲攀升的基础上屡屡创出历史新高。因此,在当前仍然以化石能源消费为主的前提下,提高能源效率、减少温室气体排放、控制能源消费的数量、同时努力开发新能源与可再生能源,已成为全球的共识。

我国是一个化石能源资源十分短缺的国家,已探明的原油、天然气储量仅占世界储量的 2.4% 和 1.2%。从 1990 年起,我国国内生产总值年平均保持 9% 以上增长的同时,能源消费总量开始接近生产总量,1992 年能源的生产总量已略低于消费需求总量,自 1993 年起我国能源生产与消费总量缺口逐渐加大,能源特别是石油进口逐年增加,到 2006 年石油净进口约 1.8 亿吨,进口成品油 3600 万吨,石油进口依存度达 47%。据测算,到 2010 年和 2020 年,我国石油消费量还将呈现上升趋势,届时石油的对外依存度将分别接近 50% 和 60% 左右。这说明,我国能源总消费已大于总供给,能源需求对外依存度将继续增大,形势十分紧迫。能源安全尤其是石油供应安全将成为国家安全的重中之重。能源问题已成为我国经济和社会发展中的热点和难点,党中央和国务院一直高度重视能源问题。如何认识我国的能源安全,如何全面贯彻落实“十一五”规划纲要提出的优化能源结构,构筑稳定、经济、清洁和安全的能源供应体系,是实现国民经济和能源工业可持续发展的重大问题。大力发展生物能源是实现以上目标的重要途径。

我国提出了 2020 年能源战略目标,即进口石油 2 亿吨,进口依存度为 55%,2020 年生物能源替代 25% 进口石油,相当于整个石油消耗的 12.5%,其中,燃料乙醇 1500 万吨、生物柴油 1500 万吨、材料和化工原料用油 1500 万吨、二氧化碳排放减少 2 亿吨。

如何加快可再生能源开发,保护生态环境,增强能源的可持续发展能力?

现代生物技术将成为人类解决能源、食物、环境等重大问题的重要手段,是一项在温和的条件下进行的安全、经济和环境友好的技术。生物技术的第三次浪潮就是以生物催化和生物转化生产生物能源、生物材料和大宗化学品的新技术时代。现代生物技术包括基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程和过程工程五大技术体系。基于生物炼制、微生物基因组学和生物信息学、代谢工程、现代工业酶技术、生物炼制细胞工厂、生物催化与生物转化、工业生物过程技术以及工业微生物菌种的选育和改良等技术,来生产可以替代化石能源的生物能源,如生物乙醇、生物沼气、

生物柴油、生物氢气、生物丁醇等,并将这些技术应用于生物燃料电池、能源的生物净化、石油勘探与开采等领域,将在能源的可持续发展、缓解能源紧张的进程中发挥巨大的技术潜力。

利用生物炼制核心技术可以促进人类利用生物质发展生物能源,降低人类社会对石油的依赖,减弱对石油经济的冲击,使人类社会逐步向生物经济、碳氢化合物经济过渡,打造地球、人和经济效益的共同体,实现人类社会的和谐、可持续发展。正如美国战略经济分析家里夫金博士在《生物技术世纪》里指出的,生物技术世纪也可能是中国人的世纪,希望中国在生物技术世纪发挥重要的作用。我国在国际生物能源领域必将充当越来越重要的角色。

本书对生物炼制、生物沼气、生物氢气、生物乙醇、生物丁醇、生物柴油、生物采油、生物燃料电池、煤炭的生物转化、能源的洁净化等方面进行系统的论述,为可再生能源的微生物转化领域的技术进步和产业发展提供参考资料。

本书由河南农业大学、中国科学院上海生命科学研究院、青岛科技大学、南阳理工学院、河南天冠企业集团、上海天之冠可再生能源有限公司等单位相关研究人员编著而成,他们长期从事可再生能源转化和生物技术研究,具有丰富的教学经验和生产经验。本书共分十章,其中,第1章、第2章由宋安东编著,第3章由宋安东、康清浦、闫德冉、刘钺、冯文生编著,第4章由周志华、肖伟、于瑞嵩、李欣峰编著,第5章由杜风光、宋安东、康清浦编著,第6章由王风芹编著,第7章由谢慧编著,第8章由刘杰编著,第9章由谢慧、李琰、刘杰编著,第10章由杜风光、王风芹、苏丽娟、张建威、刘杰、沈兆兵编著。同时全书吸收和借鉴了国内外该领域的最新研究成果,作者在此对给予本书以启示及参考的有关文献的作者深表谢意。宋安东博士对全书进行了修改和定稿。原河南农业大学校长、博士生导师张百良教授对全书的构思撰写和定稿做出了科学指导并提出了意见,在此表示感谢。中国工程院院士杨胜利研究员和北京化工大学副校长谭天伟教授欣然为本书作序,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,时间仓促,书中可能存在一些不成熟的地方,也难免有疏漏和不妥之处,恳请专家与读者予以批评指正。

宋安东

2008年10月

目 录

序一

序二

前言

1 绪论	1
1.1 能源状况	1
1.1.1 世界能源状况	1
1.1.2 中国能源现状	2
1.2 微生物能源转化技术	3
1.2.1 解决中国能源安全问题的途径	3
1.2.2 利用微生物技术转化可再生能源	4
1.2.3 开发利用可再生生物能源的意义	5
参考文献	6
2 生物炼制与可再生资源	7
2.1 石油炼制到生物炼制	7
2.1.1 石油炼制	7
2.1.2 生物炼制——新型经济产业的缔造者	7
2.2 生物炼制基本内涵	10
2.2.1 生物工程	10
2.2.2 化学工程	11
2.2.3 分离工程	11
2.2.4 过程控制工程	11
2.3 生物炼制发展现状	11
2.3.1 生物能源	11
2.3.2 生物材料	14
2.3.3 精细化学品	14
2.4 我国发展生物炼制的问题及对策	14
2.4.1 资源定位和规划	14
2.4.2 加大技术攻关	15
2.4.3 政策倾斜	15
参考文献	16

3 生物沼气	18
3.1 沼气燃料的特性	19
3.1.1 沼气的主要成分及其特性	19
3.1.2 沼气的成分对其燃烧特性的影响	21
3.1.3 影响着火浓度极限的因素	21
3.2 沼气发酵原理	23
3.2.1 沼气发酵过程	23
3.2.2 沼气发酵的微生物学	24
3.2.3 沼气发酵的条件	27
3.3 沼气发酵工艺	35
3.3.1 沼气发酵工艺分类	35
3.3.2 典型农村户用沼气技术与工程	39
3.3.3 大中型沼气技术与工程	45
3.4 沼气发酵的综合利用	60
3.4.1 沼气的综合利用	60
3.4.2 沼液的综合利用	66
3.4.3 沼渣的综合利用	68
参考文献	70
4 生物氢气	71
4.1 氢气的燃料特性	71
4.1.1 氢气的性质	71
4.1.2 氢的特性	72
4.2 生物制氢原理	72
4.2.1 生物制氢的微生物学	73
4.2.2 生物制氢的关键性酶	78
4.2.3 生物制氢的产氢机理	82
4.3 生物制氢原料	86
4.4 生物制氢工艺	88
4.4.1 光裂解水生物制氢技术	88
4.4.2 发酵法生物制氢	90
4.4.3 光合细菌产氢	93
4.4.4 暗-光发酵偶联产氢	95
4.4.5 酶法制氢	97
4.5 生物制氢实践	98
参考文献	99

5 生物燃料乙醇	104
5.1 生物乙醇的燃料特性	104
5.1.1 物理性质	104
5.1.2 化学性质	105
5.1.3 乙醇燃烧反应机理	106
5.1.4 乙醇的着火和燃烧特性	106
5.1.5 乙醇和汽油、柴油等内燃机燃料比较	106
5.2 乙醇生产原理	110
5.2.1 乙醇发酵微生物学	110
5.2.2 乙醇代谢途径	116
5.3 燃料乙醇发酵技术	118
5.3.1 发酵原料	118
5.3.2 发酵工艺	125
5.3.3 发酵装备	138
5.3.4 综合利用	152
5.4 燃料乙醇的推广和应用	159
5.4.1 世界燃料乙醇的推广和应用现状	160
5.4.2 中国燃料乙醇的推广和应用现状	165
参考文献	169
6 生物柴油	171
6.1 生物柴油的燃料特性	171
6.1.1 生物柴油的燃料性能	171
6.1.2 生物柴油的排放性能	172
6.2 微生物油脂转化技术	172
6.2.1 发酵生产生物柴油原料	172
6.2.2 微生物产油代谢途径	179
6.2.3 微生物油脂发酵工艺	180
6.3 生物柴油酶法转化技术	184
6.3.1 生物柴油的转化技术	184
6.3.2 生物柴油酶法转化工艺	189
6.3.3 生物柴油酶法转化实例	191
6.4 脂肪酶发酵技术	201
6.4.1 脂肪酶的催化机制与特性	201
6.4.2 脂肪酶发酵的微生物菌种	204
6.4.3 脂肪酶发酵影响因素	206

6.4.4	主要生产菌种工艺介绍	207
6.4.5	固定化脂肪酶研究进展	210
	参考文献	211
7	生物采油	214
7.1	微生物与石油勘探	214
7.1.1	油气微生物勘探技术的发展历史	214
7.1.2	油气微生物勘探石油原理	215
7.1.3	油气微生物勘探石油应用	218
7.1.4	MPOG 的发展趋势	222
7.2	本源微生物采油技术	223
7.2.1	本源微生物采油机理	223
7.2.2	本源微生物采油技术设计与方法	225
7.2.3	本源微生物采油油藏工程分析	226
7.2.4	微生物提高采收油率的因素	228
7.2.5	地层微生物活性的保持	231
7.3	微生物系统的特性与选择	234
7.3.1	油藏本源细菌的生态特性	234
7.3.2	油藏本源细菌的应用潜力	235
7.3.3	微生物系统特性实例	236
7.4	异源微生物采油技术	238
7.4.1	异源微生物采油方法	238
7.4.2	MEOR 技术在油井处理中的应用	239
7.4.3	MEOR 在注水井的应用	242
	参考文献	246
8	生物燃料电池	248
8.1	发展简史	248
8.2	分类	249
8.3	微生物燃料电池	250
8.3.1	产电微生物	250
8.3.2	微生物燃料电池结构及改进	253
8.3.3	有介体的微生物燃料电池	259
8.3.4	无介体的微生物燃料电池	262
8.3.5	微生物燃料电池的影响因素	264
8.4	酶生物燃料电池	266
8.4.1	酶电极固定方法	266

8.4.2 两极室酶燃料电池	268
8.4.3 无隔膜酶燃料电池	271
8.4.4 利用光能的酶燃料电池	273
8.5 生物燃料电池的应用	274
8.5.1 作为替代能源	274
8.5.2 生物传感器	275
8.5.3 污水处理	275
8.5.4 生物修复	277
8.5.5 在航空航天上的使用	277
参考文献	278
9 煤炭的生物转化技术	281
9.1 低阶煤的特点与生物转化	281
9.2 煤炭生物转化的微生物学	282
9.2.1 煤炭生物转化微生物多样性	282
9.2.2 高效菌株的选育	284
9.3 煤炭生物转化的机理	284
9.3.1 微生物生长过程中产生的碱性中间物的作用	285
9.3.2 微生物分泌的螯合剂和表面活性剂的作用	286
9.3.3 生物酶	286
9.4 煤炭转化方式	291
9.4.1 预处理	291
9.4.2 菌种固体培养基溶煤	292
9.4.3 无细胞培养液溶煤	292
9.4.4 发酵液溶煤	292
9.5 影响微生物降解煤的因素	292
9.5.1 煤炭的结构与组成	292
9.5.2 营养	293
9.5.3 工艺条件	294
9.6 煤炭生物转化的产物性质分析	294
9.6.1 产物组成	295
9.6.2 产物结构	295
9.6.3 产物的相对分子质量及发热量	295
9.7 煤炭生物转化产物的应用	296
9.8 煤炭生物转化的展望	297
参考文献	297

10 其他技术	302
10.1 生物丁醇	302
10.1.1 生物丁醇的燃料特性	302
10.1.2 丁醇转化原理	304
10.1.3 传统的丙酮-丁醇生产技术	308
10.1.4 纤维质原料发酵丙酮及丁醇	312
10.2 能源的生物脱硫净化技术	316
10.2.1 石油的生物脱硫净化	317
10.2.2 煤炭的生物脱硫净化	321
10.2.3 沼气的生物脱硫净化	325
参考文献	327

1 绪 论

1.1 能源状况

1.1.1 世界能源状况

能源是人类文明的先决条件，是经济增长和社会发展的物质基础。能源安全是一个国家或地区实现经济持续发展和社会进步所必需的保障。狭义的能源安全指的是液体燃料的供应安全，主要指石油供应安全。在 20 世纪的社会发展史中，以石油为主的化石能源占据着举足轻重的地位。具体来说，石油的供应与一个国家的外交、军事和经济等领域息息相关，一个国家的 GDP 对石油价格上涨的弹性指数为 -0.065 ，也就是说，石油价格上涨 1 倍，相应的 GDP 就损失 6.5%；石油中断供应时，外交和军事手段是解决经济问题的根本途径（张雷，1999）。

据统计，人类每年消耗掉的能源已经超过 87 亿吨石油当量，而且这一数字正以惊人的速度（ $1.6\% \sim 2.0\%$ ）增长，预计到 2015 年将达到 112 亿~172 亿吨石油当量。但资料表明，1991 年全球石油储量为 1330 亿吨，按每年 30 亿吨消费计算，全球石油仅能维持到 2050 年（宋安东，2003）。

过去的 200 多年，建立在石油、煤炭、天然气等化石燃料基础的能源体系极大地推动了人类社会的发展。人类所需的能量 80% 以上来源仍然是石油、煤和天然气。经济社会的发展以能源为重要动力，经济越发展，能源消耗越多，尤其是化石燃料消费的增加，有两个突出问题摆在我们面前：一是其造成环境污染日益严重，二是地球上现存的化石燃料总有一天要枯竭。由于过度消费化石燃料，过快、过早地消耗了这些有限的资源，释放大量的多余能量和碳素，直接导致了自然界的能量和碳平衡被打破、臭氧层被破坏、温室效应增强、全球气候变暖和酸雨等灾难性后果。化石燃料日益枯竭和环境问题的日趋严重，使人们对不可再生的化石燃料储量的有限性和使用的局限性有了深刻的认识。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，已经成为全球关注的焦点。因此，人们开始把目光转移到有利于社会可持续发展的可再生能源体系（宋安东，2003）。

目前，世界能源发展已经步入一个崭新的时期，能源结构将呈现多元化的发展趋势，即世界能源结构正在经历由化石能源消耗为主向可再生能源为主的变革。根据国际能源机构（International Energy Agency, IEA）预测，在未来的能源结构

中,石油和煤炭的比例将逐渐下降,天然气、核能和可再生能源比例将逐渐上升。

生物质能作为世界一次能源消费中的第四大能源,在历史长河中与人类的生活密切相关,是唯一可存储和运输的可再生能源,在能源系统中占有重要地位。生物质资源是生物质能的主要存在的载体,并且在可再生能源结构体系中占相当大的比例。生物质资源主要包括农作物秸秆、能源作物、畜禽粪便和农产品加工业副产品等,且取之不尽、用之不竭,具有广阔的发展空间和潜力。

1.1.2 中国能源现状

中国已探明的石油可采储量约 62 亿吨,已累计采出 34.6 亿吨,剩余 27.4 亿吨。中国石油的消费,现仍以每年 13% 的速度激增,按目前的采油量计算,可供开采 17 年。进入 20 世纪 90 年代,中国的国民经济按年均 9.7% 的速度增长,原油消费按年均 5.77% 的速度增加,而同期国内原油的增长速度仅为 1.67%,导致中国自 1993 年开始成为石油的净进口国,且进口量逐年增大:1996 年为 1387 万吨,1999 年为 4381 万吨,2000~2002 年为 7000 万吨;中国石油的对外依存度也迅速增加,1995 年为 5.3%,1996 年为 8.0%,1997 年为 18.2%,1999 年为 21.1%,2000 年为 30.7%。近 10 年来,我国国民经济将以 7% 的速度发展,原油需求量也以 4% 的速度增加,而同期国内石油产量增长速度为 2% (叶焕民,2002;刘卿和胡迎春,2002;孔令标和侯运炳,2002)。2006 年,我国进口原油已达到 1.4 亿吨,石油的对外依存度达到 47% (田宜水等,2008)。

进口石油耗去中国大量的外汇。1999~2001 年,每年都需 100 亿美元以上的资金来进口石油;国际油价每桶升高 1 美元,中国每年就需多支出 50 亿美元,GDP 将损失 150 亿人民币 (郭云涛,2002;刘山,2002)。

这是一个严峻的事实:国际经验表明,当一个国家石油进口量超过 5000 万吨,国际石油市场行情的变化就会影响该国家的经济运行;超过 1 亿吨,石油的安全问题就要由外交、军事的手段来保证。国际惯例表明,当一个国家石油的对外依存度超过 30% 时,该国的石油安全是很危险的 (马维野等,2001)。因此,从现阶段起,中国的石油安全问题实际已成为维系国家和民族安危的大问题。

21 世纪的今天,随着经济的迅猛发展,中国已跃升为世界第二大能源消费国,已经成为全球化进程中的一个重要支点,其经济循环也日益融入世界经济体系中。在石油价格不断创历史新高、中国对石油需求快速增长、石油进口依存度不断攀升的情况下,石油问题已经严重影响到中国的发展战略和经济安全。中国每年石油开采总量基本增幅很小,完全不能满足社会发展的需要 (图 1.1);而每年的石油净进口总量却在迅猛递增 (图 1.2)。与此同时,以化石燃料为主的能源结构也带来日益严重的环境问题。

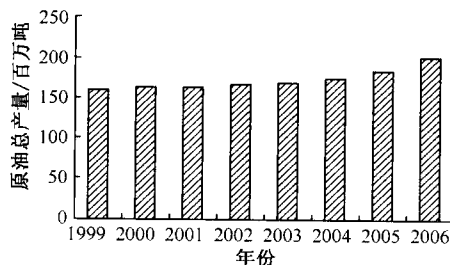


图 1.1 中国原油总产量统计图

(中华人民共和国国家统计局, 2006)

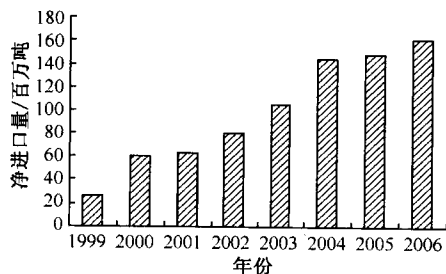


图 1.2 中国石油净进口量统计图

(中华人民共和国国家统计局, 2006)

从表 1.1 可以看出, 1990~2006 年, 我国成品油消费量从 1990 年的 4942.1 万吨, 增加到 2006 年的 18 203 万吨, 年均增长 8.5%。其中, 汽油消费量从 1899.5 万吨增加到 5245.2 万吨, 年均增幅 6.6%; 柴油消费量从 2691.7 万吨增加到 11 836 万吨, 年均增长率为 9.7%; 煤油的消费量从 350.9 万吨增至 1125 万吨, 年均增长 7.6%。按照上海财经大学吴方为教授的研究, 交通运输业对石油消费的急剧上升可以很大程度上解释经济增长与石油需求增长之间的逻辑关系, 即随着经济总量快速提升, 交通基础设施的高速建设为交通运输业的迅猛发展提供了物质保证, 交通运输所需的燃油数量也随之不断上升, 进而对石油的需求也不断上升。

表 1.1 成品油消费和石油消费

年份	石油消费量/万吨	年均增长率/%	成品油消费量/万吨	年均增长率/%	成品油消费所需的石油量/万吨	年均增长率/%	成品油消费所需的石油占石油消费总量的比例/%
1990	11 486	N. A.	4 942.1	N. A.	7 722	N. A.	67.2
1995	16 065	6.9	7 743.1	9.4	12 099	9.4	75.3
2000	22 439	6.9	11 148.8	7.6	17 420	7.6	77.6
2005	32 535	7.7	16 902.6	8.7	26 410	8.7	81.2
2006	34 876	7.2	18 203	7.7	28 442	7.7	81.6

资料来源: 中华人民共和国国家统计局, 2006; 中华人民共和国国家统计局, 2007。

注: N. A. 表示负增长。

1.2 微生物能源转化技术

1.2.1 解决中国能源安全问题的途径

国际上解决能源安全问题的途径主要是建立战略石油储备, 即储存多余的石

油来保障在石油危机时国家社会和企业的石油供给。

根据中国的国情,中国解决能源安全问题主要有节能技术推广、能源供应多元化、石油进口多元化和建立战略石油储备等途径。节能技术推广可以缓解但不能彻底解决能源安全问题;石油进口多元化仅能在一定程度和一定范围内解决能源问题;建立战略石油储备是一个系统工程,需要政府为主的庞大资金投入;目前最有效的途径是能源供给多元化,而利用生物技术开发的可再生能源是多元化能源体系中的关键部分(马维野等,2001)。

1.2.2 利用微生物技术转化可再生能源

不管是液态的如乙醇、生物柴油、丁醇还是气态的如沼气和氢气,均可来自于生物资源。通过生物技术的方法,利用能源微生物如产乙醇菌、产丁醇菌、产甲烷菌、产氢菌等对生物质进行发酵生产。生物燃料乙醇、生物沼气已成为当前可再生能源的重要组成部分,生物氢气被认为是最有发展潜力、最清洁的能源,生物丁醇是刚刚引起重视的具有很高燃值的液态生物燃料(丁福臣和易玉峰,2006)。

随着生物酶技术的应用,生物柴油的转化可以不通过碱法皂化,也可以不通过化学催化剂转酯化而可直接通过脂肪酶的生产和应用来进行酶法转化。用动物油脂、植物油脂、微生物油脂和低碳醇通过脂肪酶进行转酯化反应,制备相应的脂肪酸甲酯或乙酯。微生物油脂是由微生物利用生物质通过培养合成的,脂肪酶可以通过微生物发酵生产(李昌珠等,2007)。

燃料电池是一种将持续供给的燃料和氧化剂中的化学能连续不断地转化成电能电化学装置。生物燃料包括氢气、甲醇、甲烷可以通过生物技术的方法生产供应给燃料电池系统,也可在燃料电池系统中直接配套生物燃料的发酵装置,将生物燃料的制取与电能的获得偶联起来。在生物燃料电池系统中,氧化剂也可用生物酶如葡萄糖氧化酶等来替代。葡萄糖氧化酶可以通过生物技术的手段发酵获得。目前,氢能利用的最好方式就是在生物燃料电池中的应用(毛宗强,2005b)。

石油工业与生物技术之间有着密切的联系。微生物活动与石油地质学和地球化学之间有很强的相关关系,可以通过微生物的种类、数量来勘探石油;微生物的存在与活动对石油的开采有很强的推动作用,可以通过微生物的生长、代谢产生一系列的物质来提高石油的开采率;抑制有害于石油工业的微生物的活动对提升油的品质、提高油的产量有很重要的作用(彭裕生,2005)。

利用生物技术手段将煤炭变成高附加值的化工品或油类物质,尤其是对低阶的褐煤、风化煤的转化更为重要,这是一项重要的矿业生物工程,更是一项生物技术能源领域的应用体现(王龙贵,2006)。