

生物质能 利用技术和装备研究

于海明 金中波 张雪峰◎著

 中国农业出版社

生物质能 利用技术和装备研究

于海明 金中波 张雪峰 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物质能利用技术和装备研究/于海明, 金中波,
张雪峰著. —北京: 中国农业出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-109-19503-5

I. ①生… II. ①于…②金…③张… III. ①生物能
源-能源利用-研究 IV. ①TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 192664 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 刘明昌

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 14

字数: 286 千字

定价: 38.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

PREFACE

人类社会正在面临着巨大的能源危机与环境污染的双重压力。经济社会的快速发展以能源为主要动力,经济发展越快,能源消耗越多,尤其是对化石燃料的需求。一方面是矿物能源资源在日益耗尽。按目前消费量推算,世界石油资源将在 2050 年前后消耗殆尽,国际石油价格已经是 20 年前的 5 倍左右。另一方面,大量使用矿物能源造成日益严重的环境问题。由于大量使用化石燃料,导致释放过多的 CO_2 ,破坏了自然界的碳和能量平衡。化石燃料的日渐枯竭和大量使用化石燃料所导致的生态破坏与环境污染问题已经严重地影响了人类社会的发展。目前,人类高度重视可再生能源(生物质能、太阳能、风能等)等新能源的开发与利用。由于生物质能是可再生能源的重要组成部分,并且是唯一一种可以运输和储存的可再生能源,所以,发展生物质能迫在眉睫。

生物质能,是指蕴含在生物质中的能量,即通过光合作用把太阳能以化学能或者其他的形式能量储存在有机体中的一种能源形式。从能源利用的角度看,凡是能够作为能源利用的生物质都是生物质能。目前中国生物质能来源主要为农业生物质资源、畜禽粪尿、林业生物质资源、生活污水、工业有机废水、城市固体废物等几大类。近年来,国内许多高校和科研院所对生物质能源及生产和利用设备进行了研究,取得了丰硕的成果,有的已经从实验室走向了应用。

为了推进生物质能源技术及装备的应用研究和开发,结合著者近年来在生物质能源技术及装备的应用研究中主持及参加的相关科研项目撰写了此书。书中介绍了生物质能源的概念、我国生物质能源的资源、高效沼气生产工艺及小型移动式太阳能沼气生产设备的研究、生物质致密成型技术的试验及利用生物质致密燃料棒为燃料

的装备研究、生物质燃料乙醇的生产原料及乙醇利用装备“双极板流道燃料电池”的研究。这些内容是著者多年来从事科学研究工作,在理论知识及技术应用方面的成果积累,撰写过程中对于一些设备的主要部件,给出了主要的设计过程。

本专著得到了新疆生产建设兵团科技局团高新产业项目“畜禽粪便高效厌氧发酵处理工艺与生物膜反应装置的研究(04HJ46)”、教育部博士点基金项目“温控式高密度寒地玉米秸秆固化成型机构及关键技术研究(20122325120024)”、黑龙江省自然科学基金“寒地高木质素玉米秸秆固化成型燃料机理与关键工艺(E201320)”黑龙江省科技厅科技攻关“温控式高密度生物质燃料成型设备及关键技术研究(GZ11B503)”、黑龙江省教育厅科学技术项目“具有新型菌群附着复合材料的家庭用沼气反应装备的研究(12531459)”、黑龙江农垦总局科技攻关“水稻植质钵育秧盘蒸汽干燥装置的研究(HNK10A-09-05)”、黑龙江省普通高等学校八一农垦大学农业机械化工程重点实验室开放课题资助项目(Hljbyndgc2013007)的资助与支撑。

本专著由黑龙江八一农垦大学工程学院教师于海明、金中波和张雪峰著。其中:第4章和第5章中的5.2、5.4、5.5节及前言由于海明著写;第1章和第3章中的3.1、3.2、3.3、3.4节由金中波著写;第2章和第3章中的3.5节及第5章中的5.1、5.3节由张雪峰著写。

在本书撰写过程中得到了黑龙江八一农垦大学梁远副教授、谢秋菊副教授,塔里木大学周岭教授、丁羽副教授,东北农业大学研究生俞林、丁宁的大力支持与帮助,在此表示感谢。全书由东北农业大学孙勇教授主审。

限于著者的学识水平,书中难免存在不足或不当之处,敬请广大读者批评指正,以共同推进生物质能源技术与装备的应用研究与发展。

联系电子邮箱地址:yhm1973@163.com

于海明

2014年7月

目 录

CONTENTS

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 能源的含义	1
1.2 能源状况	2
1.2.1 世界能源状况	2
1.2.2 中国能源状况	3
1.3 生物质能源状况	5
1.3.1 世界生物质能源消费	6
1.3.2 国外生物质能开发利用概况	8
1.3.3 我国生物质能源消费	10
1.3.4 我国生物质能开发利用现状	10
1.4 生物质能利用技术	12
1.5 生物质能在我国未来可持续发展战略中的地位	14
第 2 章 我国生物质能资源	17
2.1 纤维素类生物质的资源	18
2.1.1 农作物秸秆	19
2.1.2 薪柴	21
2.1.3 禽畜粪便	23
2.1.4 城市有机垃圾	25
2.1.5 工业有机废弃物	26
2.2 淀粉类原料的资源	26
2.3 糖类原料的资源	28
第 3 章 生物沼气技术和装备研究	30
3.1 国内外沼气发展及研究	30
3.1.1 国外沼气发展及研究	30

3.1.2 中国沼气发展及研究	33
3.2 沼气特性	36
3.3 沼气发酵基本条件	37
3.3.1 沼气发酵微生物	37
3.3.2 沼气发酵特点	44
3.3.3 沼气发酵基本条件	45
3.3.4 东北地区秸秆厌氧发酵制取沼气的主要工艺条件	61
3.4 畜禽粪便高效厌氧发酵处理工艺研究	65
3.4.1 研究内容	65
3.4.2 主要结论	68
3.4.3 不同接种时间对污泥发酵的影响	69
3.4.4 添加纤维素酶对污泥发酵的影响	70
3.4.5 菌群富集实验	72
3.4.6 正交回归 $L_{12}(5^2)$ 实验	72
3.5 小型可移动式太阳能高效沼气反应装备研究	75
3.5.1 我国小型沼气池的发展阶段	75
3.5.2 小型沼气池的类型	77
3.5.3 小型可移动式太阳能高效沼气反应装备设计原则	84
3.5.4 小型可移动式太阳能高效沼气反应装备的总体设计	84
3.5.5 小型可移动式太阳能高效沼气反应罐的设计	86
3.5.6 太阳能加热恒温系统的设计	90
3.5.7 进料、排料和搅拌系统的设计	93
3.5.8 菌群附着载体的设计	96
3.5.9 机架设计	97
3.5.10 移动式太阳能家庭用沼气生产装置的主要部件制造	98
3.5.11 移动式太阳能家庭用沼气生产装置的运行测试	100
3.5.12 小型可移动式太阳能高效沼气生产装置的经济分析	101
3.5.13 沼气及其产物的综合利用	103
第4章 生物燃料致密成型技术及装备研究	107
4.1 生物质致密成型研究现状	107
4.1.1 生物质致密成型理论研究现状	107
4.1.2 生物质致密成型技术研究现状	111
4.2 生物质能利用技术试验研究	113

4.2.1 材料与方法	113
4.2.2 试验与结论	119
4.2.3 参数优化	134
4.2.4 玉米秸秆微观结构分析	136
4.3 生物质致密成型有限元分析	142
4.3.1 模型的建立	143
4.3.2 施加载荷并求解	145
4.3.3 玉米秸秆压缩过程中的有限元分析	146
4.4 生物质致密成型燃料利用装备研究	152
4.4.1 蒸汽干燥装置设计要求	152
4.4.2 干燥装置的总体结构	152
4.4.3 干燥介质供给装置主要技术参数设计	152
4.4.4 进气管的选择	157
4.4.5 蒸汽干燥器主要部分的设计	157
4.4.6 水稻秧盘蒸汽干燥装置性能试验	162
第5章 生物燃料乙醇利用技术及装备研究	166
5.1 国内外燃料乙醇的应用现状	166
5.1.1 国外燃料乙醇的应用现状	167
5.1.2 中国燃料乙醇的应用现状	172
5.2 生物乙醇的燃料特性	175
5.2.1 物理性质	175
5.2.2 化学性质	177
5.2.3 乙醇反应机理	177
5.2.4 乙醇的着火和燃烧特性	178
5.3 生物燃料乙醇的生产原料	178
5.3.1 糖类生物质原料	179
5.3.2 淀粉类生物质原料	180
5.3.3 纤维素类生物质原料	185
5.4 生物质乙醇利用设备双极板液流燃料电池的研究	186
5.4.1 液流电池的发展现状	187
5.4.2 液流电池内部流道结构的研究现状	196
5.4.3 DEFC 的工作原理及乙醇反应机理	198
5.4.4 双极板燃料电池单体结构	199

5.5 双极板流道的优化	201
5.5.1 理论基础	201
5.5.2 流道内流量分布均匀性的优化.....	203
参考文献	211

第 1 章 绪 论

1.1 能源的含义

能源在《科学技术百科全书》中定义为：能源是可从其获得热、光和动力之类能量的资源。《大英百科全书》认为：能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语，人类用适当的转换手段便可让它为自己提供所需的能量。我国的《能源百科全书》解释为：能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热和动力等任一形式能量的载能体资源。可见，能源是一种具有多种形式，且可以相互转换的能量来源。简单而确切地说，能源是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源。按照不同的分类方法，能源可以分为以下几类。

1. 按是否可再生

可再生能源：可不断再生并可以持续利用的资源，包括太阳能、风能、水能、地热能、生物质能等。

不可再生能源：经过亿万年形成的、短期内无法恢复的能源，包括原煤、原油、天然气、油页岩、油砂矿、核能、煤层气等。

2. 按物理形态是否改变

一次能源：指从自然界取得的未经任何改变或转换的自然能源，如原油、原煤、天然气、生物质能、水能、核燃料以及太阳能、地热能、潮汐能等。

二次能源：指一次能源经过加工或转换得到的能源，如煤气、焦炭、汽油、煤油、电力、热水、氢能等不同形式的能源。

3. 按对自然环境产生污染程度

清洁能源：对自然环境无污染或污染小的能源，包括天然气、水能、太阳能、风能和核能（安全使用时）。

非清洁能源：对环境污染大的能源，包括煤炭、石油等。

4. 按照目前开发利用状况

常规能源：已被人们广泛应用，而且使用技术又比较成熟的能源，如煤炭、石油、天然气、水能及传统生物能等。

新能源：新发现利用的能源如核能、沼气能、氢能、激光和潮汐能等；已利用但规模小、技术不成熟的能源，如太阳能、地热能、风能等。

1.2 能源状况

1.2.1 世界能源状况

1.2.1.1 世界能源消费概况

世界能源总体消费量持续增长,但增长速度逐步趋缓。表现在:①能源消费的分布发生变化,发展中国家能源消费比重快速增长;②石油消费增长减速,主要消费国出现负增长;③天然气消费量集中在经合组织国家,发展中国家消费逐渐增长;④煤炭消费总量稳步增长;⑤核能增长速度减慢,水电及可再生能源发展速度加快。

欧盟的8个利用核能的成员中有5个(瑞典、西班牙、荷兰、德国和比利时)宣布核能发电延缓行动。而可再生能源的利用得到重视,欧盟各成员或颁布、制定法律法规,或制定优惠政策和发展计划等,鼓励和推进可再生能源的利用。

1.2.1.2 世界能源供应现状

1. 世界能源供应朝多元化、低碳化的方向发展,可再生能源发展迅速

(1) 生物燃料增长快,欧盟、美国和巴西领先发展

2000—2005年世界乙醇生产增长了1倍多,生物柴油生产扩大将近4倍。2005年,巴西领跑乙醇燃料生产,甘蔗作物提供其超过40%的非柴油燃料。美国乙醇燃料产量居世界第二。欧盟的生物柴油产量占世界的89%,2006年欧盟生物柴油产量增至400万吨。瑞典生物燃料的使用率达到56%。

欧盟委员会2007年1月的新能源政策动议,从可再生能源开发、提高能效和温室气体减排三个方面分别设定了雄心勃勃的目标。加大风力发电、潮汐发电和生物燃料等可再生能源的开发力度是欧盟新能源政策的三大支柱之一,提出将在未来6年内增加10亿欧元科研投入,进一步推广可再生能源,到2020年实现可再生能源占到能源总量的20%,而在交通能源消耗中生物燃料将达到10%。

(2) 风能增长快,欧洲是最大市场

世界风力资源十分丰富,风电市场发展迅速。2006年世界风能总装机容量达到7422万kW,增长率高达32%;2005年的增长率为23.9%。世界风能装机容量主要分布于德国(27.8%)、西班牙(15.6%)、美国(15.6%)、印度(8.4%)和中国(3.5%),德国依然是全球装机容量最大的国家。

2. 矿产资源分布相对集中(石油、天然气、煤炭)

表 1-1 2006 年世界矿产的储量分布

	国家名称和占世界比重 (%)		10 国合计占世界比重 (%)
石油储量	沙特阿拉伯 (21.9)	委内瑞拉 (6.6)	82.1
	伊朗 (11.4)	俄罗斯 (6.6)	
	伊拉克 (9.5)	哈萨克斯坦 (3.3)	
	科威特 (8.4)	利比亚 (3.3)	
	阿拉伯联合酋长国 (8.1)	尼日利亚 (3.0)	
天然气储量	俄罗斯 (26.3)	美国 (3.0)	75.5
	伊朗 (15.5)	尼日利亚 (2.9)	
	卡塔尔 (14.0)	阿尔及利亚 (2.5)	
	沙特阿拉伯 (3.9)	委内瑞拉 (2.4)	
	阿拉伯联合酋长国 (3.3)	伊拉克 (1.7)	
煤炭储量	美国 (27.1)	南非 (5.4)	91.0
	俄罗斯 (17.3)	乌克兰 (3.8)	
	中国 (12.6)	哈萨克斯坦 (3.4)	
	印度 (10.2)	波兰 (1.5)	
	澳大利亚 (8.6)	巴西 (1.1)	

1.2.2 中国能源状况

1.2.2.1 中国能源消费现状

能源消费总量快速增长,但增速有所减缓,15%~7%。

能源消费以工业为主,民用、交通比例低。

能源消费以煤炭为主,清洁能源比重小,污染严重。

表 1-2 1971—2008 年煤炭在能源结构中所占的比例

年份	1971	1980	1990	2000	2002	2004	2005	2008
比例 (%)	81.0	72.2	76.2	66.1	65.6	71.5	68.9	68.7

单位 GDP 能耗高,能源利用效率低。

2008 年我国 1 亿美元 GDP 约消耗能源 330.63~370.31t 油当量,分别是日本的 3.20~3.58 倍,美国的 2.04~2.29 倍,能源效率低。主要原因是产业结构不合理——第二产业比重高,且发展以量的扩张为主,第三产业不发达。2007 年,我国每千瓦时供电耗煤比国际先进水平高 44g 标煤,每吨钢能耗水平比国际先进水平高 58kg 标煤,每吨水泥综合能耗水平比国际先进水平高 31kg 标煤,分别高出 14%、10%和 24%。

1.2.2.2 中国能源供应现状

1. 煤炭总储量大，但人均不足

中国煤炭量人均值略低于世界水平，约为世界平均水平的 94%。截至 2007 年年底，中国煤炭剩余可采储量 1145 亿 t，仅次于美国和俄罗斯，位居世界第 3 位，占世界总量的 13.5%，煤炭的储采比为 45，远低于世界平均水平的 133。中国是世界第一产煤大国，据统计，2009 年煤炭产量达到 29.6 亿 t，比 2008 年增加 2.44 亿 t，同比增长 12.7%，占世界总产量的 42% 左右。

2. 石油、天然气、核能等资源不足，对外依存度高

截至 2008 年年底，中国石油剩余可采储量 22.1 亿 t，位居世界第 13 位，但仅占世界总量的 1.3%，石油储采比为 11，远低于世界平均水平的 41.6。2009 年中国石油产量约 1.89 亿 t，比 2008 年降了 0.4%，占当年世界石油产量的近 5%，位居世界第 5 位，属于世界产油大国。中国石油对外依存度高，约 50% 的石油用量需要从国外进口。

3. 资源分布不均

表 1-3 中国各地区煤炭资源探明储量

单位：%，年

地 区	煤炭资源储量地区分布		资源探明率	资源保证年限
	资源总储量	探明保有储量		
华北地区	39.90	48.95	24.44	1486
西北地区	45.90	29.98	13.01	3734
东北地区	1.34	3.30	48.92	300
华东地区	4.44	5.90	26.47	341
中南地区	2.61	3.27	24.91	319
西南地区	5.80	8.61	29.56	1101

天然气资源集中分布在远离东部经济发达区的中、西部区，两者合计约占全国天然气资源量的 66.15%；其次是海域，中国近海大陆架可采储资源量占全国的 25.71%；东部地区资源相对较少，仅占全国的 8.14%。

中国水能资源理论蕴藏量为 6.89 亿 kW，居世界第一位，其中可开发水电装机容量为 4.02 亿 kW。但是，中国水能资源的地区分布很不均衡，70% 分布在西南地区。水电资源主要集中在长江、黄河的中上游，雅鲁藏布江的中下游，珠江、澜沧江、怒江和黑龙江上游，这七条江河可开发的大、中型水电资源都在 1000 万 kW 以上，总量约占全国大、中型水电资源量的 90%。

4. 石化资源产量持续增长，但储采比低

储量/产量 (R/P)，这个比率是储采比。假设将来的产量继续保持在某年

度的水平,那么,用该年年底的储量除以该年度的产量所得出的计算结果就是剩余储量的可开采年限。

表 1-4 2008 年年底主要化石能源储采比

	煤炭	石油	天然气
中国	41	11	32.3
世界平均	122	41.6	60.4

1.2.2.3 我国“十二五”能源规划结构调整

国家能源局制订了“十二五”能源规划,重点围绕实现中央提出的“两个目标”展开,将显著改变我国煤炭比重多年来居高不下的局面。“两个目标”即:到2010年我国非化石能源占一次能源消费总量比重达到15%,到2020年我国单位GDP二氧化碳排放比2005年下降40%~45%。我国将采取有效措施加大节能减排,提高传统能源清洁化利用水平,稳步推进替代产业发展,加大天然气等清洁能源利用规模,加快推进水电和核电建设,积极有序做好风能、太阳能、生物能等可再生能源的转化利用,大力推进能源结构优化调整,统筹规划重点能源基地建设和跨区域能源输送通道,协调能源资源在区域间和省之间的流转平衡,促进资源优化配置,是“十二五”能源发展的基本设想。

按照“十二五”能源规划制订的目标,预计到2015年,我国天然气占一次能源比重将提高4.4%,水电和核电占一次能源比重将提高1.5%,风电、太阳能、生物质能等新能源占一次能源比重将提高1.8%。在形成这样一个基础上,我国非化石能源占一次能源消费比重将达到11%以上,而煤炭占一次能源消费比重可由2009年的70%以上下降为63%左右。

此前,国内众多媒体披露,为了更好地推动“两个目标”的实现,也为了抢占未来战略发展先机,国家发改委按照国务院的部署和要求,已组织编制了一个涉及新能源产业发展的规划,规划期为2011—2020年,这个规划的名称正式定为“新兴能源产业发展规划”,主要是对核能、风能、太阳能、生物质能、地热能、非常规天然气等新能源的开发利用,清洁煤、智能电网、分布式能源、车用新能源等能源新技术的产业化应用的具体实施路径、发展规划以及重大政策举措做了具体部署。

1.3 生物质能源状况

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。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,生产各种清洁燃料和电力,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。

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 1-5 所示。

表 1-5 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。

1.3.1 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,生物质能也具有举足轻重的地位,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、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。

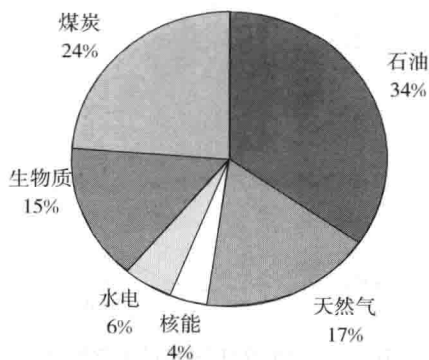


图 1-1 世界能源状况

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

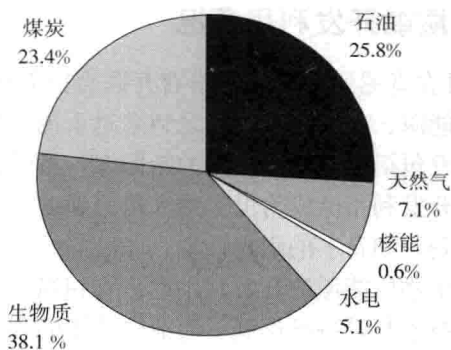


图 1-2 发展中国家一次能源使用情况

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

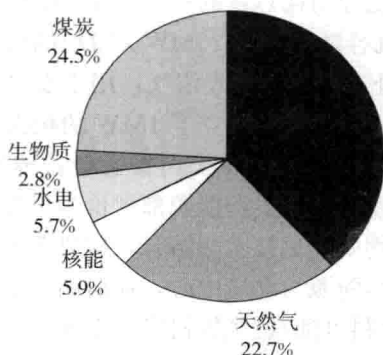


图 1-3 发达国家一次能源使用情况

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

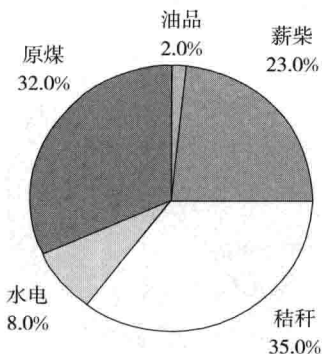


图 1-4 1998 年中国农村用能比例
(包括生活用能和生产用能)

1.3.2 国外生物质能开发利用概况

自从 1981 年 8 月在肯尼亚首都内罗毕召开联合国新能源和可再生能源会议以来，许多国家对能源、环境和生态问题越来越重视，特别是利用现代新能源技术和新材料来开发包括生物质能在内的新能源，备受各国关注。目前，生物质能的技术研究和开发利用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，如日本的阳光计划、印度的绿色能源工程、巴西的酒精能源计划等，其中生物质能源的开发利用都占有相当大的比重。现在，国外有许多生物质能利用技术与设备已达到了商业化应用的程度，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。用生物质能发电总装机容量已超过 10 000 MW，单机容量达 10~25 MW。纽约的斯塔藤垃圾处理站投资 20 000 万美元，采用湿法处理垃圾，回收沼气，用于发电，同时生产肥料；开发出利用纤维素废料生产酒精技术，建立了 1 MW 的稻壳发电示范工程，年产酒精 2500 t。STM 公司是美国通用汽车公司发展斯特林发动机技术的专业公司，研制出的 STM4-120 发动机被美国能源部评价为世界上最先进的斯特林发动机，可与沼气技术或生物质气化技术相结合，构成 54 kW 左右的村级生物质能发电系统。普林斯顿大学能源与环境中心，在研制以生物质燃气为燃料，发电功率为 200 kW 的小型燃料电池/燃气轮机发电系统。

2. 巴西

生物质能在巴西能源利用量中约占 25% 左右，其中薪柴和甘蔗占生物质