

生物质 发电技术

杨勇平 董长青 张俊姣 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

生物质 发电技术

杨勇平 董长青 张俊姣 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

生物质发电技术/杨勇平, 董长青, 张俊姣编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2007
ISBN 978-7-5084-4476-5

I. 生… II. ①杨…②董…③张… III. 生物能源—发电—高等学校—教材 IV. TM619

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 034086 号

书 名	生物质发电技术
作 者	杨勇平 董长青 张俊姣 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 10.25 印张 276 千字
版 次	2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	30.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

随着煤炭等化石燃料的不断消耗，研究者不断探寻新的能量来源。生物质作为一种以碳水化合物为基体的可再生能源，将逐步取代煤炭和石油，为人类提供化工原料和能源。生物质种类复杂，分布广泛，能量密度低，大规模集中利用面临诸多考验。近来网络上有不少对秸秆发电的质疑，认为秸秆被发电厂收购后，农民如改烧煤炭会造成更大的污染，同时由于秸秆发电的运输需要运力较大，会排放大量污染物。实质上，秸秆不仅可以用来发电，还可以转化为运输燃料和家用燃气，如果秸秆先制成家用燃气和运输燃料，这些问题就迎刃而解。生物质的利用是一个系统工程，通过合理配置生物质转化利用工艺和系统，是完全可以解决这些疑问的。希望在各位的共同努力下，可以真正实现生物质发电技术的健康快速发展。

基于此，我们深刻体会到需要有这样一本书，来对常见的生物质发电技术及其系统工艺进行较全面的介绍。编著者根据多年对生物质发电的研究和工程实践，编写了此书，以供高等院校相关专业本科生、研究生和科研人员、工程师等参考。本书根据国内外能源现状，回顾了生物质能利用技术发展现状和我国发展目标，系统分析了生物质的分类、物理和化学特性，以及常见的生物质利用方式，重点论述了农林废物燃烧和气化发

电、垃圾发电、沼气发电以及生物质制氢燃料电池发电工艺，并介绍了国内外大量工程实例，使读者对生物质发电技术有一个更加全面的认识。

本书的编写得到了华北电力大学能源与动力工程学院，电站设备状态监测与控制教育部重点实验室，能源的安全与清洁利用北京市重点实验室的大力支持。在本书的编写过程中，研究生王亮、梁慧、李永胜、何磊、杨睿、张世平、朱榜荣、韦杰、安璐、丁盛做了大量的工作，在此一并感谢。

由于成书仓促，加之作者水平有限，书中错误和不足之处敬请读者批评指正。

作 者

2007.1.28

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 世界能源现状及发展趋势	1
1.2 我国能源状况	5
1.3 我国可再生能源政策和发展目标	8
第2章 生物质及其利用方式	12
2.1 生物质定义与特点	12
2.2 开发生物质能的必要性	14
2.3 生物质能的利用方式	18
第3章 生物质物化特性	27
3.1 生物质组成	27
3.2 生物质的物理特性	30
3.3 生物质燃料的工业分析和元素分析	34
3.4 生物质的热解特性	49
第4章 生物质燃烧及发电工艺	59
4.1 生物质燃烧发电现状	59
4.2 生物质燃烧	60
4.3 生物质燃烧发电工艺	72
第5章 农林废物燃烧发电	80
5.1 农林废物的收集与供应	80
5.2 农林废物预处理	82
5.3 农林废物运输	100
5.4 燃料储存与给料方式	104
5.5 农林废物燃烧系统	111
5.6 余热利用系统	114
5.7 污染物控制	118

5.8 生物质燃烧发电站实例	122
5.9 农林废物燃烧发电常见问题	138
第6章 生物质气化发电	159
6.1 生物质气化技术发展	159
6.2 生物质气化	159
6.3 气化指标及影响因素	163
6.4 生物质气化发电工艺	168
6.5 气化反应器	171
6.6 生物质燃气净化	178
6.7 燃气发电系统	185
6.8 生物质气化电厂工程实例	190
第7章 垃圾处理与焚烧发电	194
7.1 垃圾分类与收集	194
7.2 生活垃圾的处理方法	197
7.3 垃圾焚烧发电	199
7.4 烟气净化	212
7.5 灰渣处理	218
7.6 废水处理	222
7.7 垃圾发电厂建设的基本原则及工程实例	226
7.8 垃圾气化发电	244
第8章 沼气发电系统	250
8.1 沼气发酵原理	250
8.2 沼气发酵工艺	257
8.3 沼气净化和处理	275
8.4 沼气发电系统	281
8.5 垃圾填埋气发电	288
第9章 生物质与燃料电池联合发电系统	301
9.1 概述	301
9.2 燃料电池	303
9.3 燃料电池理想燃料—氢气的制取方法	309

第 1 章 绪 论

能源是发展国民经济的重要基础，是人类生产和生活必需的基本物质保障。以煤、石油、天然气为代表的常规化石能源终将被开采殆尽，同时由于大量使用这些化石燃料导致一系列的环境问题，制约着社会的可持续发展。因此，采用可再生能源逐步取代煤、石油、天然气等化石能源，开发清洁转化技术，大力提高能源利用率，是解决能源危机和环境问题的根本途径。近年来，风能、太阳能、生物质能等可再生能源发电技术发展迅速，成为世界能源中增长最快的新领域。

1.1 世界能源现状及发展趋势

现阶段全球能源消耗形势呈现以下特点。

1.1.1 世界一次能源消费量不断增加

如图 1.1 所示，1995 年世界一次能源消费量为 85.7 亿 t 石油当量，2005 年已达到 105.4 亿 t 石油当量。过去 10 年，世界能源消费量年均增长率为 1.8% 左右，且近两年增长幅度较大。

美国能源信息署 (EIA) 预计，2020 年世界一次能源消费量将达到 128.89 亿 t 石油当量，2025 年将达到 136.50 亿 t 石油当量，年均增长率为 1.2%。

1.1.2 发达国家能源消费增长速率明显低于发展中国家

发达国家近十年一次能源消费量增长幅度减缓，如图 1.2 所示，其中欧盟一次能源消费几乎接近零增长；而发展中国家自 2002 年以来的增长量明显加快。可以看出：发达国家能源消费增长速率是明显低于发展中国家，这主要是由于发达国家的经济

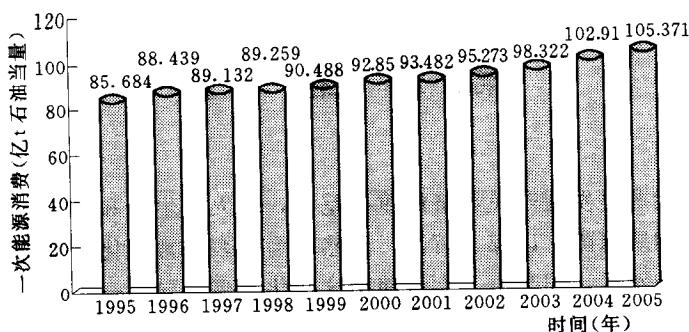


图 1.1 全球一次能源需求量

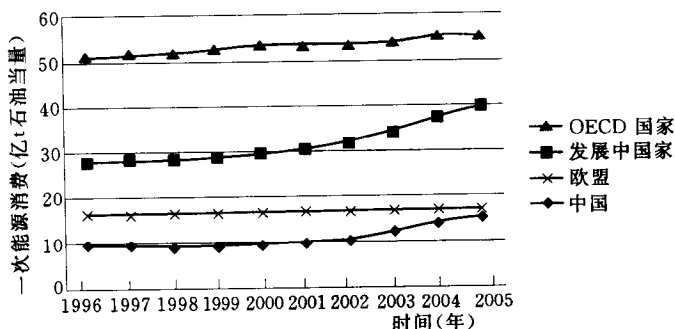


图 1.2 不同类型国家的能源消费增长形势

发展已进入到后工业化阶段，经济向低能耗、高产出的产业结构发展，高能耗的制造业逐步转向发展中国家；另外发达国家高度重视节能及能源使用效率的提高。

1.1.3 能源消费结构逐年变化

自产业革命以来，化石燃料消费量急剧增长。初期主要以煤炭为主，第二次世界大战以来，石油和天然气的生产与消费持续上升，石油于20世纪60年代首次超过煤炭，虽然20世纪70年代世界经历了两次石油危机，但世界石油消费量却没有丝毫减少的趋势。此后，石油、煤炭所占比例缓慢下降，天然气的比例稳步

上升,如图 1.3 所示。同时,核能、风能、水力、地热等其他形式的新能源逐渐被开发和利用,形成了目前以化石燃料为主和可再生能源、新能源并存的能源结构格局。

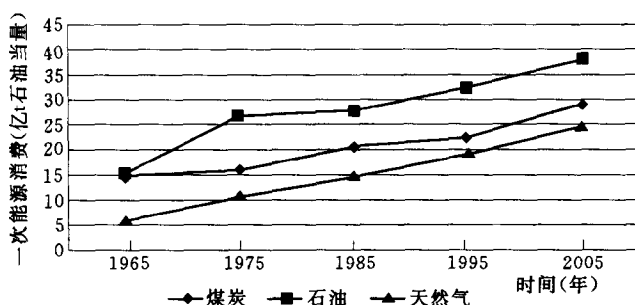


图 1.3 三种能源的消费量的发展趋势

1.1.4 能源贸易及运输压力增大

根据《2006 年 BP 世界能源统计》,截至 2005 年底,全世界剩余石油探明可采储量为 1638.1 亿 t,其中,石油输出国组织(OPEC)可开采量为 1230.9 亿 t,占到总量的 75.2%,经合组织(APEC)为 109.8 亿 t,占 6.7%。2005 年世界石油产量为 38.95 亿 t,中东地区需要向外输出约 9 亿 t,非洲和中南美洲的石油产量也大于消费量。煤炭资源的分布也存在巨大的不均衡性。截至 2005 年底,世界煤炭剩余可采储量为 9090.64 亿 t,欧洲、北美和亚太 3 个地区是世界煤炭主要分布地区,3 个地区合计占世界总量的 92% 左右。同期,天然气剩余可采储量为 179.83 万亿 m^3 。随着世界一些地区能源资源的相对枯竭,世界各地区及国家之间的能源贸易量将进一步增大,能源运输需求也相应增大,能源储运设施及能源供应安全等问题将日益受到重视。

伴随着世界能源储量分布集中度的日益增大,对能源资源的争夺将日趋激烈,争夺的方式也更加复杂,由能源争夺而引发冲突或战争的可能性依然存在。而且随着世界能源消费量的增大,

二氧化碳、氮氧化物、灰尘颗粒物等环境污染物的排放量逐年增大,化石能源对环境的污染和全球气候的影响将日趋严重。

面对以上挑战,未来世界能源供应和消费将向多元化、清洁化、高效化、全球化和市场化方向发展。

1.1.4.1 多元化

世界能源结构先后经历了以薪柴为主、以煤为主和以石油为主的时期,现在正在向以天然气为主转变,同时,水能、核能、风能、太阳能和生物质能也正得到更广泛的利用。可持续发展、环境保护、能源供应成本和能源结构变化决定了全球能源多样化发展的格局。未来,在发展常规能源的同时,新能源和可再生能源将受到极大的重视。欧盟 2010 年可再生能源发展规划中,风电要达到 4000 万 kW,水电要达到 1.05 亿 kW。英国 2020 年可再生能源发电量占英国发电总量的比例要从目前的 3% 提高到 20%。

1.1.4.2 清洁化

随着技术进步及环境保护标准的日益严格,清洁能源在能源总消费中的比例也将逐步增大。近几年世界能源消费结构中,煤炭所占的比例下降了许多,而天然气所占的比例则有了大幅度的上升。同时,煤炭和传统能源薪柴、秸秆、粪便的利用将向清洁化方面发展,洁净煤技术(如煤液化技术、煤气化技术、煤脱硫脱尘技术)、沼气技术、生物柴油技术等将得到广泛应用。

1.1.4.3 高效化

世界能源加工和利用效率差别较大,随着世界能源新技术的进步,未来世界能源利用效率将日趋提高,能源强度将逐步降低。

1.1.4.4 全球化

由于世界能源资源分布与需求分布的不均衡性,许多国家和地区越来越需要依靠其他国家或地区的资源供应,世界贸易量将越来越大。

1.1.4.5 市场化

市场化是实现国际能源资源优化配置和利用的最佳手段,故

随着世界经济的发展,世界能源利用的市场化程度将越来越高。

1.2 我国能源状况

2003年以来,我国不断出现“油荒”、“煤荒”和“电荒”,以及国际市场原油价格不断上涨加重了人们对能源危机的担心,促使人们更加关注世界能源的供需现状和趋势,也更加关注中国的能源供应安全问题。从能源总量来看,我国是世界第二大能源生产国和第二大能源消费国,煤炭的剩余可采储量约为1145亿t,石油的剩余可采储量约为22亿t,天然气的剩余可采储量约为2万亿 m^3 。从人均拥有量来看,煤炭、石油和天然气分别为世界人均水平的70%、10%和5%。按目前剩余可采储量和能源消费量来看,煤炭还可以开采50年左右,石油还可以开采40年,天然气还可以开采40年。要解决好我国的能源供应问题,满足经济发展对能源的需求,除了切实转变经济增长方式,努力提高能源利用效率,全面建设高效和节能型社会外,还必须高度重视可再生能源的开发利用,努力增加能源的供应量。因此,构筑清洁、安全、经济的能源体系,必定是一项十分紧迫而又艰巨的任务。

我国可再生能源资源十分丰富,具有开发利用的良好条件。经过多年发展,可再生能源已经发展为种类多样、初具规模、增长迅速的新兴产业,在我国能源消费结构中将扮演越来越重要的角色。

1.2.1 水能

我国水能资源丰富,根据2005年水力资源复查结果,水力资源理论蕴藏量为6.944亿kW;技术可开发装机容量5.4164亿kW;经济可开发装机容量4.018亿kW。截至2004年底,已开发装机容量约1亿kW,年发电量3310亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。我国水力资源还具有以下鲜明的特点:①水力资源在地域分布上极不平衡,总体来看,西部多、东部少;②大多数河流年内、年际径流

分布不均,丰、枯季节流量相差较大;③水力资源集中于大江大河,有利于集中开发和规模外送。

1.2.2 风能

我国幅员辽阔,海岸线长,风能资源比较丰富,探明风能理论储量约为 32.26 亿 kW,其中陆地上可开发利用的风能约为 2.53 亿 kW,近海可利用的风能约为 7.5 亿 kW,居世界首位。与可开发的水电装机容量为同一量级,具有商业化、规模化发展的潜力。2005 年我国风电新增装机容量近 50 万 kW,总装机容量由 2004 年的 76 万 kW 增加到 126 万 kW。

1.2.3 太阳能

我国处于北半球欧亚大陆东部,太阳能资源十分丰富,各地年辐射总量在 $3.35 \times 10^6 \sim 8.35 \times 10^6 \text{ kJ/m}^2$,平均值为 $5.85 \times 10^6 \text{ kJ/m}^2$ 。我国太阳能资源分布情况见表 1.1,其中 I、II、III 类地区是太阳能资源比较丰富的地区,面积占全国总面积的 2/5 以上。

表 1.1 我国太阳能资源的分布情况

地区 分类	全年日照 时数 (h)	太阳辐射 年总量 (10^4 kJ/m^2)	包 括 地 区
I	2800~3300	670~840	宁夏北部、甘肃北部、新获东南部、青海西部和西藏西部
II	3000~3200	590~670	河北北部、山西北部、内蒙和宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部和新疆南部
III	2200~3000	500~590	山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东和福建南部、北京
IV	1400~2200	420~500	江苏和安徽北部、湖北、湖南、江西、浙江、广西以及广东北部、陕西、江苏、安徽三省的南部、黑龙江
V	1000~1400	340~420	四川、贵州

太阳能作为一种无污染能源,其转换和利用方式有光热转换、光电转换和光化学转换。中国太阳能利用目前主要集中在太阳能光伏发电和太阳能热水器方面。据国家太阳能热利用专业委员会统计,截至2005年,我国太阳能集热器总保有量达到7500万 m^2 ,覆盖约4000万家庭的1.5亿人口。相当于电力装机3000万kW,年可节电1900亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,节煤5500多万t。

1.2.4 生物质能

我国生物质能资源非常丰富、开发潜力大,可开发生物质能目前约为3.18亿t煤当量,2050年约为9.76亿t煤当量。我国沼气工程建设初见成效,2005年沼气利用量达到80亿 m^3 ;生物液体燃料乙醇生产能力达到102万t,已在河南等9个省的车用燃料中推广使用乙醇汽油。生物质能源比其他几种再生能源有更大的群众参与性、多形式的可转换性和相对较少的开发投入性,这是在多种可再生能源中生物质能源被国家给予优先考虑的原因。

1.2.5 氢能和燃料电池

氢能是世界新能源和可再生能源领域正在积极研究开发的一种二次能源。氢以化合物形态存在于水和化石燃料等物质中。氢能不但清洁干净、效率高,而且转换形式多样,可以制成氢燃料电池等。科学家预言,在21世纪,氢能将会成为一种重要的二次能源,燃料电池将成为一种最具有竞争力的全新发电方式;在不远的将来,燃料电池系统即可在清洁燃料电站、电动汽车、移动电源、不间断电源、潜艇以及空间电源等方面获得应用,具有广阔的市场前景。

1.2.6 海洋能

海洋能是指蕴藏在海洋中的可再生能源,它包括潮汐能、波浪能、潮流能、海流能、海水温度差能和海水盐度差能等不同的能源形态。海洋能按储存的能量形式可分为机械能、热能和化学能。潮汐能、波浪能、海流能、潮流能为机械能;海水温度差能

为热能；海水盐度差能为化学能。

我国大陆海岸线长达 18000 多 km，拥有 6500 多个大小岛屿，海岛的岸线总长约 14000 多 km，海域面积达 470 多万 km²，海洋能源十分丰富，达 5 亿多 kW。其中，潮汐能资源约为 1.1 亿 kW，大部分分布在浙江、福建两省，约为全国总量的 81%；沿岸波浪能的总功率约为 0.7 亿 kW，主要分布在广东、福建、浙江、海南和台湾的附近海域；海流能的蕴藏量约为 0.5 亿 kW，主要分布在浙江、福建等省；海洋温差能约为 1.5 亿 kW；另外，流经东海的动力能源黑潮估计约为 0.2 亿 kW。若能将海洋能其充分开发应用，除可降低消费能源之外，更可兼顾环境保护。

在海洋能开发利用方面，我国目前已建有潮汐发电站总装机容量 5930kW，年发电量 1021 万 kW·h，同时波浪发电试验电站也在建设之中。

1.2.7 地热能

地热资源是指在当前技术经济和地质环境条件下，地壳内能够科学、合理地开发出来的热能和地热流体中的热能及其伴生的有用组分。地热资源按赋存形式可分为水热型、地压型、干热岩型和岩浆型 4 大类；按温度高低可分为高温型（>150℃）、中温型（90~149℃）和低温型（<89℃）。地热能的利用方式主要有地热发电和地热直接利用两大类。不同品质的地热能，可用于不同的目的。近 10 年来，中国地热能源利用约每年增长 10%。中国已施工的地热井近 2500 眼，深度从数百米到 4000m，开发地热水总量估计在 5 亿 m³ 左右，利用的地热能相当于 500 万 t 标准煤的热值。

1.3 我国可再生能源政策和发展目标

随着工业化、城镇化进程加快，能源需求量持续增长，资源与环境对社会发展的压力也越来越大。而开发利用可再生能源，

则是满足能源增长需要,建设资源节约型、环境友好型社会,实现可持续发展的重要措施。

我国在2005年2月28日颁布了《中国可再生能源法》,其中第4条规定,“国家将可再生能源的开发利用列为能源发展的优先领域”;第12条规定,“国家将可再生能源开发利用的科学研究和产业化发展列为科技发展与高技术产业发展的优先领域”,这充分体现了可再生能源的开发将成为我国基本能源政策。

国家正在积极推进可再生能源技术的产业化发展,建立可再生能源技术创新体系,形成较完善的可再生能源产业体系;到2010年,基本实现以国内制造设备为主的装备能力;到2020年,形成以自有知识产权为主的国内可再生能源装备能力。

1.3.1 水能

水电仍是我国可再生能源发展的重点。水电建设面临的主要问题是生态和移民。2010年水电装机容量达到1.8亿kW;2020年达到3亿kW,使我国水能资源的开发利用率达到70%以上,在我国发电装机中占到约30%。

1.3.2 风能

通过大规模风电开发和建设,促进风电技术进步和产业化发展,大幅降低风电成本,提高风电市场竞争力。2010年,全国风电总装机容量将达到500万kW,到2020年,风电装机容量将达到2000万kW,占全国电力总装机容量的2%。

1.3.3 太阳能

太阳能光伏发电具有技术成熟和成本较高的特点,适宜分散供电,在偏远地区推广使用户用光伏发电系统或建设小型光伏电站,可解决无电人口的供电问题。在经济较发达、城市现代化水平较高的大中城市,建设与建筑物一体化的屋顶太阳能并网光伏发电设施前景较好。计划2020年达到的目标是:无电地区电力增加40万kW,解决400万户居民用电;屋顶和公共设施光伏

发电达到 100 万 kW；大型太阳能电站达到 40 万 kW，其中光伏电站 20 万 kW，太阳热发电量达到 20 万 kW。

另外将要在农村和小城镇推广太阳能热水器、太阳房和太阳灶，2010 年太阳能热水器达到 1.5 亿 m^2 （2000 万 t 标准煤）；2020 年达到 3 亿 m^2 （4000 万 t 标准煤）。

1.3.4 生物质能

今后 15 年，我国生物质能发展的重点是生物质发电、沼气工程、生物液体燃料和生物质固体成型燃料。《可再生能源中长期发展规划》确定的主要发展目标是：到 2010 年，生物质发电达到 550 万 kW；生物液体燃料达到 200 万 t，沼气年利用量达到 190 亿 m^3 ，生物固体成型燃料达到 100 万 t，生物质能年利用量占到一次能源消费量的 1%；到 2020 年，生物质发电装机达到 2000 万 kW，生物液体燃料达到 1000 万 t，沼气年利用量达到 400 亿 m^3 ，生物固体成型燃料达到 5000 万 t，生物质能年利用量占到一次能源消费量的 4%。

对于其他可再生能源，包括地热能和潮汐能等，也将通过适当的方式予以支持。特别是将重点支持利用地源热泵技术解决建筑物供热和制冷问题，在适宜发展潮汐发电的地方将支持潮汐发电工程的建设，并将鼓励开发利用波浪能等其他海洋能发电的技术。

参考资料

- 1 史立山. 我国可再生能源现状及展望. 财经界. 2006. 3: 57-59
- 2 国家发展改革委能源局. 可再生能源法实施及规划目标. 2005. 11
- 3 胡莹莹. 我国新能源和可再生能源现状、发展政策与措施. <http://www.amr.gov.cn:8080/yjbg.nsf/d8466781431b676c48256c3e000d8f3f/75d73cd20ae91b704825716a000a80f8?OpenDocument>
- 4 2006 年 BP 世界能源统计. <http://www.bp.com>
- 5 国家发展改革委副主任陈德铭在全国生物质能开发利用工作会议