

# 生物质能 及其发电技术

中国电力科学研究院生物质能研究室 编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 生物质能 及其发电技术

中国电力科学研究院生物质能研究室 编

---

中国电力科学研究院专著出版基金资助

---



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

生物质能是非常重要的可存储和运输的可再生能源, 生物质发电技术比较成熟, 综合效益较好, 产业前景广阔。本书共分八章, 内容包括绪论、生物质能概述、生物质能源利用、生物质发电技术、农林生物质直燃发电技术与产业、生物质发电工程、生物质电厂接入系统并网技术研究及生物质能发电产业的相关政策等, 主要介绍了生物质能资源及国内外生物质发电技术的发展状况, 各种生物质能源利用技术和生物质发电技术, 以及生物质发电产业相关的政策法规。

本书可作为生物质发电厂建设和运行技术人员的培训教材, 也可供从事可再生能源发电的科研、设计、制造和运行人员参考。

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

生物质能及其发电技术 / 中国电力科学研究院生物质能研究室编. —北京: 中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-7017-0

I. 生… II. 中… III. 生物能源—发电—技术培训—教材 IV. TM619

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 052910 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2008 年 7 月第一版 2008 年 7 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 22.25 印张 391 千字

印数 0001—3300 册 定价: 45.00 元

## 敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 《生物质能及其发电技术》

编审委员会

主 编 余 英

副 主 编 田国政 王志凯 赵碧光

参编人员 (排名不分先后, 按章节排列)

刘婷婷 王 乐 宋 洁 张贵山

徐 征 是艳杰 唐可新 申仲涛

陈翔宇 刘润花 万 博

# 序

能源是人类社会存在与发展的物质基础。自工业革命以来,社会的所有进步,可以说都建立在大量使用化石能源的基础上。由于社会经济的发展、人口的增加和人类物质文化生活水平的提高,人类对能源的需求还在急剧地增加,人们已经开始认识到大规模使用化石能源所带来的能源枯竭、环境恶化的严重后果。步入 21 世纪的今天,人类正面临着能源与环境的双重压力,节能减排是当今世界各国都十分关注的重大问题。生物质能作为一次能源消费中的第四大能源资源,在历史长河中与人类生活密切相关,是非常重要的可存储和运输的可再生能源,在人类未来的能源系统中也将占有重要地位。因此,改变我国传统的能源生产、消费模式,大规模开发利用生物质等可再生能源,在保证我国能源安全,减少环境污染,提高城乡居民生活水平和质量等诸多方面都有重要作用,对于我国建设节约型社会、发展循环经济、实现经济社会可持续发展具有重要意义。

我国是一个农业大国,生物质资源十分丰富。在生物质能现代利用技术中,生物质发电技术比较成熟,综合效益较好,产业前景广阔。近几年,生物质直燃发电、气化发电、沼气发电和垃圾发电在我国发展很快,每年都有数十座各种类型的生物质发电厂投入运行。《生物质能及其发电技术》这本书,理论联系实际,深入浅出,系统讲述了生物质能的基本概念、资源情况及特点,以及生物质能源利用技术,重点介绍了生物质发电技术和产业、生物质发电关键技术及生物质发电的相关政策。本书的出版,可为生物质发电厂建设和运行人员的技术培训提供一套适用的教材。希望本书的发行出版,能为我国生物质发电产业的健康发展作出积极贡献。

胡学浩

2007 年 11 月 12 日

# 前 言

目前,能源和环境问题已成为全球关注的焦点,节能减排已被我国党和政府摆在前所未有的战略高度,而开发利用可再生能源就是一条符合我国国情的节能减排之路。在可再生能源中,我国生物质资源丰富,因此,生物质能具有较好的开发前景。在生物质能现代利用技术中,生物质能发电技术比较成熟,综合效益较好,产业化前景广阔。

国家“十一五”发展规划纲要中提出了建设生物质发电 5500MW 装机容量的发展目标,《可再生能源中长期规划》也提出了 2020 年,生物质发电装机容量为 30000MW 的目标。随着国家关于生物质发电的一系列政策的出台,目前,已经有不少投资主体进入了生物质发电行业,纷纷对新兴的农林生物质发电行业表示出了很大的兴趣和参与热情。目前,我国已建成各种不同发电形式的大、中、小型生物质能发电厂数百座,装机容量达到几十万千瓦。为了适应生物质发电产业的迅速发展,必须对从事生物质发电厂建设和运行的技术人员进行技术培训,希望本书能够为生物质能发电技术培训提供一套适用的教材。

本书采用理论与实践紧密结合的方法,重点介绍了各种生物质能发电的原理、生产过程、关键技术以及产业化发展情况,并且通过工程实例,系统阐述了各种不同类型生物质发电厂的生产工艺、组织系统以及综合效益。全书共分八章,分别介绍了生物质能的基本概念、资源情况及特点;生物质能源利用技术;生物质发电技术及产业;生物质发电工程实例;生物质发电厂综合控制技术和接入系统并网技术,以及生物质发电产业的相关政策。

由于编者水平有限,再加上时间仓促,书中一定会有不足之处,敬请读者给予谅解并提出宝贵意见。

编 者

2007 年 10 月 11 日于北京

# 目 录

序  
前言

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>第 1 章 绪论</b>        | 1   |
| 1.1 概述                 | 1   |
| 1.2 中国生物质能资源状况         | 3   |
| 1.3 中国生物质能发电技术的发展状况    | 6   |
| 1.4 国外生物质能发电技术现状       | 16  |
| 1.5 中国生物质能发电存在的问题及原因分析 | 22  |
| 1.6 中国生物质能发电产业的发展      | 25  |
| <b>第 2 章 生物质能概述</b>    | 35  |
| 2.1 生物质能基本概念           | 35  |
| 2.2 生物质资源              | 41  |
| 2.3 中国生物质资源的情况及特点      | 48  |
| <b>第 3 章 生物质能源利用</b>   | 56  |
| 3.1 生物质直接燃烧            | 56  |
| 3.2 生物质气化技术            | 70  |
| 3.3 生物质液化技术            | 102 |
| 3.4 生物质沼气技术            | 107 |
| 3.5 生物质固化技术            | 121 |
| 3.6 世界生物质能源的开发利用       | 123 |
| <b>第 4 章 生物质发电技术</b>   | 129 |
| 4.1 生物质直接燃烧发电技术        | 129 |
| 4.2 生物质气化发电技术          | 133 |
| 4.3 沼气发电               | 145 |
| 4.4 生活垃圾焚烧发电           | 158 |
| 4.5 生物质混合燃烧发电技术        | 166 |

|                                                     |            |
|-----------------------------------------------------|------------|
| 4.6 各种生物质发电技术的综合比较 .....                            | 169        |
| 4.7 中国的生物质发电 .....                                  | 172        |
| 4.8 生物质发电展望 .....                                   | 177        |
| <b>第5章 农林生物质直燃发电技术与产业 .....</b>                     | <b>179</b> |
| 5.1 生物质工业分析 .....                                   | 179        |
| 5.2 生物质物理性质 .....                                   | 182        |
| 5.3 生物质化学性质 .....                                   | 184        |
| 5.4 农林生物质直燃发电原理及系统构成 .....                          | 190        |
| 5.5 农林生物质直燃发电关键设备与关键技术 .....                        | 197        |
| 5.6 农林生物质直燃发电厂综合自动化系统 .....                         | 208        |
| 5.7 农林生物质直燃发电燃料供应系统 .....                           | 222        |
| 5.8 农林生物质直燃发电产业发展 .....                             | 225        |
| <b>第6章 生物质发电工程 .....</b>                            | <b>227</b> |
| 6.1 生物质大型直燃发电工程 .....                               | 227        |
| 6.2 生物质气化发电工程 .....                                 | 234        |
| 6.3 生物质气化联合循环发电工程 .....                             | 240        |
| 6.4 生物质小型直燃发电工程 .....                               | 243        |
| 6.5 生物质与煤混合燃烧发电工程 .....                             | 249        |
| <b>第7章 生物质电厂接入系统并网技术研究 .....</b>                    | <b>252</b> |
| 7.1 生物质大型直燃发电厂接入高压输电系统 .....                        | 252        |
| 7.2 生物质中小型发电厂接入配电系统方式探讨 .....                       | 259        |
| <b>第8章 生物质能发电产业的相关政策 .....</b>                      | <b>274</b> |
| 8.1 世界各国生物质能发电产业的扶持政策 .....                         | 274        |
| 8.2 我国生物质能发电产业的优惠政策 .....                           | 283        |
| 8.3 其他激励政策 .....                                    | 287        |
| <b>附录A 中华人民共和国可再生能源法 .....</b>                      | <b>291</b> |
| <b>附录B 可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法 .....</b>               | <b>297</b> |
| <b>附录C 可再生能源发电有关管理规定 .....</b>                      | <b>300</b> |
| <b>附录D 国家计委、科技部关于进一步支持可再生能源发展<br/>有关问题的通知 .....</b> | <b>303</b> |



|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 附录 E 新能源和可再生能源产业发展“十五”规划 | 305 |
| 附录 F 电网企业全额收购可再生能源电量监管办法 | 310 |
| 附录 G 能源发展“十一五”规划         | 314 |
| 附录 H 可再生能源中长期发展规划        | 325 |
| 参考文献                     | 344 |

第 1 章

## 绪 论

1.1 概 述

能源是国民经济重要的基础产业,是人类生产和生活必需的基本物质保障。目前,能源供应主要依靠煤炭、石油和天然气等化石能源,化石能源资源的有限性和化石能源开发利用过程中引起的环境问题,对经济和社会的可持续发展产生了严重的制约。我国已成为能源生产和消费大国,在全国建设小康社会的进程中,如何改善能源结构,保障能源安全,减少环境污染,促进经济和社会的可持续发展,是我国面临的一个重大战略问题。

近二十年来,随着我国人口和经济的持续增长,能源消费量也在不断增长。1980年,我国一次能源消费量为 6.02 亿 t 标准煤,其中煤炭占 72.2%、石油占 20.7%、天然气占 3.1%、水电占 4.0%;到 1999 年,我国一次能源消费量达到 12.2 亿 t 标准煤,其中煤炭占 67.1%、石油占 23.4%、天然气占 2.8%、水电占 6.7%。同时,矿物能源的消费会产生大量的污染物,如  $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ , 它们是大气污染的主要污染源之一。当前,我国面临能源与环境问题的严峻挑战,开发和利用拥有巨大资源储量、环境友好的替代能源是事关我国国民经济可持续发展、国家安全和进步的重大课题。

生物质是由植物的光合作用固定于地球上的太阳能,每年经光合作用产生的生物质约 1700 亿 t,其能量约相当于世界主要燃料消耗的 10 倍,而作为能源的利用量还不到其总量的 1%。这些未加以利用的生物质,为完成自然界的碳循环,其绝大部分由自然腐解将能量和碳素释放,回到自然界中。另一方面,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,释放出大量的多余能量和碳素,打破了自然界的能量和碳平衡,更加剧了环境和全球气候恶化。

通过生物质能转换技术可以高效地利用生物质能源,生产各种清洁燃料,替代煤炭、石油和天然气等燃料生产电力,从而减少对矿物能源的依赖,保护国家能源资源,减轻能源消费给环境造成的污染。目前,世界各国,尤其是发达国家,都在致力于开发高效、无污染的生物质能利用技术,以达到保护矿产资源,保障国家能源安全,实现  $\text{CO}_2$  减排,保持国家经济可持续发展的目的。

专家认为,生物质能源将成为未来持续能源的重要部分,到2015年,全球总能耗将有40%来自生物质能源,主要通过生物质能发电和生物质液体燃料的产业化发展实现。

中国是一个农业大国,农村人口占总人口的70%以上,生物质一直是农村的主要能源之一,在国家能源构成中也占有重要地位。在中国,1979年以前农村能源消费量的70%以上来自生物质能源;1998年,仍有30%的农村能源来自生物质能源。但大多生物质能源以直接燃烧的利用方式为主,燃烧效率低于10%,造成了巨大的资源浪费和环境污染。

生物质能源技术发展的原始驱动力在于能源市场的需求和环境保护的压力。中国政府及有关部门对生物质能源利用极为重视,20世纪70年代初,我国为解决农村能源短缺的问题,大力开发和推广户用沼气池技术、节柴炕灶和薪炭林,为农村能源建设和农村经济发展作出了重大贡献。

20世纪90年代,中国政府一直将生物质能利用技术的研究与开发列为重点科技攻关项目,研究开发了生物质气化集中供气、气化发电、沼气发电、甜高粱茎秆制取乙醇燃料、纤维素废弃物制取乙醇燃料、生物质裂解油、生物柴油和能源植物等现代生物质能技术。在国家“十五”863计划中,多项生物质能利用新技术研究课题被列为重点课题,这些技术的研究与开发将为今后中国生物质能产业化发展提供技术支撑。

目前,秸秆发电技术已经被联合国列为重点项目推广。随着全球环境问题的日益严重,能源危机越来越紧迫以及《京都议定书》的签订,世界各国开始关心生物质能对减少CO<sub>2</sub>排放上的作用;另外,由于发展生物质能源作物有利于改善环境和生态平衡,对今后人类的长远发展和生存环境有重要意义,所以许多国家已把生物质能的利用作为未来的一种重要能源来发展。欧洲的一些国家如瑞典,把生物质能作为替代核能的首要选择,丹麦更是大力发展生物质能,现在秸秆发电等可再生能源已占丹麦能源消耗量的24%。丹麦BWE公司率先研发的秸秆生物燃烧发电技术在上世界上保持领先地位。

中国的生物质能十分丰富,现每年仅农作物产生的秸秆量就达7亿t,到2010年将达到8亿t,相当于3.5亿~4亿t标准煤。而随着农业和林业的发展,特别是随着速生薪炭林的开发推广,我国可利用的生物质资源将越来越多,有非常大的开发和利用潜力。《可再生能源法》的实施和与之配套的政策措施出台,也将推动生物质能发电产业的发展。

有别于传统的火力发电,农作物秸秆发电的发展应突破3个瓶颈,即秸秆供应和成本、技术和设备以及上网电价问题。

目前,国家大力提倡和鼓励发展可再生能源、节约能源,建设节约型的社会。同时,一系列的法律、法规和综合利用的政策出台,保障了生物质能开发利用处于良好的政策环境,应该说当前发展秸秆发电项目的时机很好,其发展前景十分广阔。

## 1.2 中国生物质能资源状况

中国拥有丰富的生物质能资源,据测算,中国理论生物质能资源有 50 亿 t 左右。目前可供利用开发的资源主要为生物质废弃物,包括农作物秸秆、薪柴、禽畜粪便、工业有机废弃物、城市固体有机垃圾等。然而,由于农业、林业、工业及生活方面的生物质资源状况非常复杂,缺乏相关的统计资料和数据,加上各类生物质能资源间以各种复杂的方式相互影响,因此,生物质的消耗量是最难确定和估计的。鉴于它目前对全球能源需求所作的贡献超过其他任何形式的可再生资源,对其进行简单定量分析和描述是非常必要的。

近年来,高产的能源作物如甜高粱、甘薯、木薯、芭蕉芋、绿玉树、巨藻等,作为现代生物质能资源已引起广泛关注,众多科研机构 and 科技企业不断参与研究与应用,将会大幅度发展中国的生物质能资源,为生物质能源产业化提供可靠的资源保障。

### 1.2.1 传统生物质能资源

#### 1.2.1.1 农作物秸秆

中国作为一个世界上的农业大国,农作物的种类很多,而且数量也较大。水稻、玉米和小麦是 3 种主要的农作物,其产生的废弃物——秸秆是中国主要的生物质能资源之一。1995 年,中国农作物秸秆总产量为 6.04 亿 t,可获得系数为 85%,约 5.13 亿 t,相当于 3.1 亿 t 标准煤,其中水稻、玉米和小麦秸秆约相当于 2.5 亿 t 标准煤,占秸秆总产量的 84.3% 左右。近年来,随着农村经济的发展,中国的农作物秸秆产量也在逐年递增,平均年增长率为 2.33%。如 1980 年,生物质能资源量约为 2 亿 t 标准煤,到 1995 年达到 3.1 亿 t 标准煤,到 2000 年,中国生物质能资源量达到 3.4 亿 t 标准煤。

在中国,农作物秸秆主要作为生活燃料、饲料、肥料和工业原料。据不完全统计,在 1995 年农作物秸秆 6.04 亿 t 总产量中,其中约有 15.0% (即 0.91 亿 t) 的秸秆被用来直接还田造肥,有 25.0% (即 1.51 亿 t) 的秸秆被作为饲料;约 9.0% (即 0.54 亿 t) 的秸秆被用作工业原料。除此之外,约 51.0% (即 3.08 亿 t) 的农作物秸秆可以作为能源用途,其中只有 1.9 亿 t 的农作物秸秆被中国

农民在民用炉灶内直接燃烧用来炊事和取暖,其余约 1.2 亿 t 则被废弃在田间地头或在田间直接焚烧掉,不仅浪费了资源,也严重地污染了环境。

### 1.2.1.2 薪柴

薪柴是几个世纪以来人类所用的主要能源,它不仅可用于家庭,还可广泛应用于工业。中国有 1.286 亿  $\text{hm}^2$  森林面积,森林覆盖率为 13.4%。根据统计数据,中国现有林木积蓄量达 8 亿  $\text{m}^3$  以上。据 1989 年的森林资源调查,中国有 444 万  $\text{hm}^2$  的薪炭林,占森林总面积的 3.72%;到 2000 年中国的薪炭林总面积达到 1000 万  $\text{hm}^2$ 。据估计,中国在“七五”期间年平均薪材产量约为 1.23 亿 t,约折 0.71 亿 t 标准煤;“八五”期间年平均薪材产量为 1.7 亿 t,约折 0.98 亿 t 标准煤。

以上是以理论估算的结果,而薪柴的实际消费量要大得多。20 世纪 70 年代,农村生活燃料严重短缺,造成林木植被破坏,薪柴的过耗量已达 9000 万 t,生态环境日趋恶化。至 90 年代中期,由于中国能源工业的发展,尤其是乡村煤炭工业、农村电气化和可再生能源的发展,缓解了农村能源短缺的局面,薪柴的过耗量降为 3000 万 t。据调查,1995 年共有 4800 万户农民以使用电炊、液化石油气、天然气、沼气等优质能源为主要的或部分的生活用能。

### 1.2.1.3 禽畜粪便

禽畜粪便是另一类生物质能资源,资源量与畜牧业生产有关。从畜禽粪便的可获得性来分析,中国主要的畜禽是牛、猪和鸡。根据这些畜禽品种和体重等因素以及畜禽平均一昼夜的排粪量,可以估算出 1995 年全国畜禽粪便可获得资源的实物量为 8.5 亿 t,折合 0.78 亿 t 标准煤。目前,可收集用于生物质能生产的禽畜粪便资源主要来自大中型畜禽养殖场。据估算,1995 年中国大中型养殖场粪便污水可获得量为 16 亿 t,约合 1150 万 t 标准煤。

但是,中国的禽畜粪便主要用于农业肥料,很少用于能源消费,只在西藏、青海、宁夏和内蒙古等少数民族地区由于燃料短缺,才通过风干直接燃烧的方法利用禽畜粪便作为燃料,约 1000 万 t。此外,有少量禽畜粪使用作农村沼气原料,约 700 万 t。而我国大中型奶牛、猪、鸡养殖场约有 6000 多家,每天排出的大量粪尿及冲洗污水有 80 多万 t,是环境的一个主要污染源,但目前处理的数量还很有限。目前,全国只有 20% 的粪便污水受到不同程度的厌氧或耗氧处理,其中采用沼气厌氧工程的仅为 10% 左右,大多数养牛场和养猪场,80% 左右的养殖场则直接将粪水排入田地及河流。

## 1.2.2 现代生物质能资源

现在,人们逐步认识到矿物能源的有限性,以及大量使用矿物能源所造成日益沉重的环境压力。在可以预见的将来,矿物能源不可避免地要退出历史舞

台。人类必须寻求新的替代能源,才能维持正常的生存条件,进入更加繁荣发达的未来社会。这一观念正在成为发展现代生物质能源工业的巨大推动力。所谓现代生物质能资源,主要指专门为能源生产工业提供生物质原料而发展的生物质能资源,如能源植物等。事实上,基于能源植物的能源农业和能源林业等概念已经在国内外形成,并通过试验、示范逐步成熟。有些现代生物质能源工业技术已经成熟,并进入推广应用阶段,如巴西甘蔗乙醇燃料等。

#### 1.2.2.1 薪炭林

以能源为目的的植树造林在中国的发展历史已有二十几年。在20世纪70年代,农村能源普遍短缺,除70%以上的秸秆用于烧柴外,还必须以掠夺性林木砍伐来满足农村居民的日常生活需求,严重地破坏了生态环境和林木资源。为制止农村能源短缺局面的延续,恢复和改善农村生态环境,中国政府启动了薪炭计划,开始了大规模植树造林活动。到1995年,森林覆盖率已从50年代初期的8%提高到了13.9%,其中薪炭林保有量已达到540万 $\text{hm}^2$ ,加上其他森林,每年可生产薪材约1亿t标准煤。未来20年国家将再投资建设1600万 $\text{hm}^2$ 薪炭林,届时每年将产生3亿t以上薪材。

事实上,能源用林和造纸用林之间实质上并无太大的差别,两者的目标都是既要产量高而又要使生长期(轮伐期)短。应当注意,燃料木材生产不必同其他木材生产分离开。从商用林中砍伐的过密的林木可以用作燃料,而建筑上用的轻质木料也可以从能源用林里获得。

#### 1.2.2.2 草本作物

甜高粱作物作为一种能源作物正受到人们的极大关注。它的气候适应性强,种植方法简单,有很好的遗传可变性,而且全世界很多地方都掌握了种植甜高粱的经验。高粱的耐干旱性比玉米强,具有很强的土壤适应性,对营养的要求也较低。一些杂交品种谷物的产量已达到 $10\text{t}/\text{hm}^2$ ,含糖茎秆则为 $100\text{t}/\text{hm}^2$ 。中国自“七五”开始就开展了甜高粱作物的研究,用高粱生产乙醇,淡季时再用乙醇作为制糖的原料。

木薯、甘薯和芭蕉芋作为生产乙醇的替代原料已引起人们的注意。木薯可以在酸性和贫瘠的土地里种植,而甘蔗则只能在比较适宜的环境下生长。在巴西,为了推动乙醇生产,木薯被当作甘蔗的补充代用品。1995年,中国甘薯种植面积952万 $\text{hm}^2$ ,年产甘薯3260万t,集中产地在四川、山东、河南和安徽等省,主要作为粮食、饲料和酿酒业原料。四川省已计划利用甘薯生产大省的优势,实施甘薯生产燃料乙醇发展计划,现已完成可行性研究。

### 1.3 中国生物质能发电技术的发展状况

中国政府及有关部门对生物质能源利用极为重视,已连续在四个国家五年计划中将生物质能利用技术的研究与应用列为重点科技攻关项目,开展了生物质能利用技术的研究与开发。研究的项目有户用沼气池、节柴炕灶、薪炭林、大中型沼气工程、生物质压块成型、气化与气化发电、生物质液体燃料等,取得了多项优秀成果。

在 20 世纪七八十年代,中国针对农村能源严重短缺的状况,主要发展了户用沼气池、节柴炕灶、薪炭林营造、大中型沼气系统等技术。到 1998 年,全国推广了省柴节煤炉 1.85 亿户;发展户用沼气 688 万户(其中 10.9 万户为集中供沼气);大中型沼气工程 748 处;城市污水净化沼气池 5 万处,总池容积 209 万  $\text{m}^3$ ;大中型沼气发电装机容量 770kW,年发电量 130 万 kWh;新营造薪炭林 560 万  $\text{hm}^2$ 。农村能源总消费量为 4.7 亿 t 油当量,其中约 40%为生物质能源,达 2 亿 t 标准煤。生物质能源中农作物秸秆约 1.2 亿 t 标准煤,薪柴约 0.84 亿 t 标准煤。

90 年代以后,中国主要发展了生物质压块成型、气化与气化发电、生物质液体燃料等新技术。目前,村镇级秸秆气化集中供气系统近 300 处,供气户数 3 万余户;兆瓦级生物质气化发电系统已推广应用 20 多套。“十五”期间,中国政府再度将生物质能技术确定为国家后续能源重点发展内容,列入国家高科技发展计划(863 计划)。其中,生物质气化发电技术要建设 4MW 规模的研究示范工程;甜高粱茎秆制取乙醇燃料技术将建设年产 5000t 乙醇规模的工业示范工程;纤维素废弃物制取乙醇燃料技术已进入年产 600t 规模的中试阶段;生物质热裂解液化技术进入年产 300t 粗油规模的中试阶段。此外,还开展了生物柴油、植物油、能源植物、生物质快速裂解等方面的探索性、创新性研究。

到 1998 年,中国在生物质能利用领域已取得重大进展,特别是沼气技术,每年所生产能源已达 115 万 t 油当量,占农村能源的 0.24%;由节柴炕灶每年所节约的能量已达 52.5 万 t 油当量。近年来,中国还发展了一些新的生物质能转换技术,并投入小规模应用。如气化系统已有 820 余套应用于户用和集中供气,提供炊事用能、木材烘干或发电等最终用途;有 800 余台压缩成型机用于处理稻壳或秸秆生产固体燃料。新技术的能源产量已达 254 万 t 标准煤。

生物质能是唯一的一种既可再生,又可储存与运输的能源。中国生物质能

在能源消费中约占 20%，但大部分仍处于低效应用和直接焚烧的状况。自 20 世纪 70 年代以来，生物质能发电技术和高效利用得以发展，主要包括沼气发电、垃圾焚烧发电和生物质气化发电。

中国在生物质发电方面，已经基本掌握了农林生物质发电、城市垃圾发电、生物质致密成型燃料等技术，但目前的开发利用规模还有待扩大。到 2006 年，全国生物质发电装机容量超过 220 万 kW，其中蔗渣发电 170 万 kW，碾米厂稻壳发电 5 万 kW，城市垃圾焚烧发电 40 万 kW，此外还有一些规模不大的生物质气化发电的示范项目。2006 年，随着国家对解决三农问题政策和生物质发电价格政策等的出台，国内开始掀起秸秆、林木废弃物发电的热潮，中央和地方政府总计核准了 39 个项目，合计装机容量为 128.4 万 kW，投资预计为 100.3 亿元，截至 2006 年底，投产 5.4 万 kW。生物质气化以及垃圾填埋气发电，2006 年投产 3 万 kW，在建的有 9 万 kW。目前全国已有 10 多个生物质直燃发电项目在建，装机规模超过 20 万 kW。但是，要达到 2010 年和 2020 年生物质发电装机 500 万 kW 和 3000 万 kW 的发展目标，仍需要解决资源分散、原料收集成本高、原料供应的连续性和保证度等问题。

### 1.3.1 生物质发电技术的种类

生物质发电技术主要有直接燃烧发电、混合燃烧发电、热解气化发电和沼气发电四个种类。

(1) 直接燃烧发电。直接燃烧发电是指把生物质原料送入适合生物质燃烧的特定蒸汽锅炉中，生产蒸汽驱动蒸汽轮机，带动发电机发电。直接燃烧发电的关键技术包括原料预处理技术、蒸汽锅炉的多种原料适用性、蒸汽锅炉的高效燃烧、蒸汽轮机的效率。

(2) 混合燃烧发电。混合燃烧发电是指将生物质原料应用于燃煤电厂中，使用生物质和煤两种原料进行发电。混合燃烧发电主要有两种方式：一种是将生物质原料直接送入燃煤锅炉，与煤共同燃烧，生产蒸汽，带动蒸汽轮机发电；另一种是先将生物质原料在气化炉中气化生成可燃气体，再通入燃煤锅炉，可燃气体与煤共同燃烧生产蒸汽，带动蒸汽轮机发电。无论哪种方式，生物质原料预处理技术都是非常关键的，要将生物质原料处理成符合燃煤锅炉或气化炉的要求。混合燃烧的关键技术还包括煤与生物质混燃技术、煤与生物质可燃气体混燃技术、蒸汽轮机效率。

(3) 热解气化发电。热解气化发电是指在气化炉中将生物质原料气化生成可燃气体，可燃气体经过净化，供给内燃机或小型燃气轮机，带动发电机发电。热解气化发电的关键技术包括原料预处理技术、高效热解气化技术、合适的内



燃机和燃气轮机。其中，气化炉要求适合不同种类的生物质原料；而内燃机一般是用柴油机或是天然气机改造的，以适用生物质燃气的要求；燃气轮机要求容量小，适合于低热值的生物质燃气。

(4) 沼气发电。沼气发电是指利用厌氧发酵技术，将屠宰厂或其他有机废水以及养殖场的畜禽粪便进行发酵，生产沼气 ( $\text{CH}_4$ )，供给内燃机或燃气轮机，带动发电机发电，也有的供给蒸汽锅炉生产蒸汽，带动蒸汽轮机发电。沼气发电的关键技术主要是高效厌氧发酵技术、沼气内燃机技术和沼气燃气轮机技术。

### 1.3.2 沼气发电

中国应用最广泛的生物质能开发利用技术还是沼气工程技术。2000年，中国工业废水年总排放量达 194.20 亿 t，废水中含有机物 (COD) 704.5 万 t。近期可采用厌氧发酵技术处理的工业有机废水量在 22 亿  $\text{m}^3$  以上，估计每年实际可转化的沼气约为 60 亿  $\text{m}^3$ 。另外，中国畜禽养殖场每年排放 16.76 亿 t 废水和废渣 (1999 年统计)，近期可开发的沼气为 40 亿  $\text{m}^3$ 。

可见采用厌氧发酵技术每年可开发的沼气体积达 100 亿  $\text{m}^3$ ，达到全国天然气产量的 40%。

经过近 30 年的发展，中国厌氧处理工业废水和畜禽养殖场废物的技术，已发展到中、大规模。至 2000 年底，中国已建立了 400 余处不同类型工业废水的沼气工程，年处理废水近 1 亿  $\text{m}^3$ ；并建立了 600 多个大中型畜禽废水、废渣的沼气工程 (池容在 100  $\text{m}^3$  以上)。上述两部分合计，沼气工程装置总体积可达 150 万  $\text{m}^3$  左右，年产沼气近 10 亿  $\text{m}^3$ 。

利用沼气发电的机组 (发电厂) 约在 200 座以上，总装机容量约 5MW，年发电量约 5400MWh；其中大中型沼气发电装机 770kW，年发电量 130 万 kWh。同时，0.5~250kW 不同容量的沼气发电机组已形成系列产品，沼气发电已在工矿企业、乡村城镇以及少煤缺水地区普遍采用。当前的发展趋势是提高机组先进性、经济性、可靠性和发展大容量机组，主要措施有：

(1) 开发 100~500kW 大中型系列机组，以满足大型环保处理工程建设沼气电厂的需要。

(2) 研制自动控制空气、沼气和空气燃料比的调速装置，以及直接用沼气启动的先进装置，提高机组调速和启动性能。

(3) 优化沼气和气源工程设计，提高产气量。

(4) 加强与机组配套的废热回收装置的研究，提高能量利用率。

(5) 降低发动机噪声，改善操作环境。

1998 年 10 月在杭州天子岭填埋场，利用垃圾建成首家沼气发电厂。1999